

FELIX LINKE

RAKETENFLUG



ins WELTALL



DIE EROBERUNG
DES UNIVERSUMS
DURCH DEN MENSCHEN

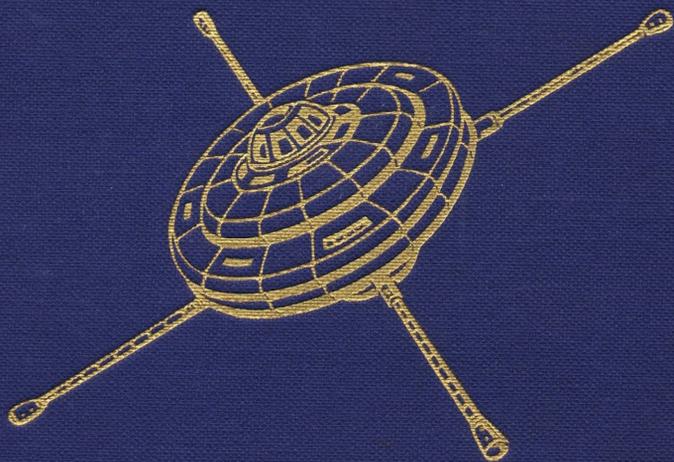
W. ROMER
MÜNCHEN

Die Sehnsucht der Menschen, Reisen in den interplanetarischen Raum, zum Mond und zum Mars antreten zu können, erhielt in den letzten Jahren neue Nahrung. Laufend starten unbemannte Raketen bis in die höchsten Schichten der Erdatmosphäre; die Versuche, mit ihnen den Bereich der Erde zu verlassen, haben begonnen. Das „Marsprojekt“ des deutschen Forschers Wernher von Braun wird in der wissenschaftlichen Literatur und auf Tagungen der Astronautiker diskutiert. Da hat jeder an der Technik und am Weltgeschehen Interessierte den Wunsch, seine Kenntnisse auf diesem großen Gebiet, die er bisher fast nur aus utopischen Romanen und Sensationsartikeln schöpfen konnte, sachlich zu untermauern.

Felix Linke hat dieses spannende Buch von der Weltraumrakete aus den Ergebnissen der physikalischen Forschung heraus geschrieben. So phantastisch die einzelnen Kapitel auch anmuten - nirgends wird der Boden der Tatsachen verlassen. Trotz seiner Realistik stellt es infolge seiner phantastischen Prägnanz und Gigantik alle romanhaften und abenteuerlichen Geschichten weit in den Schatten. In anregendem Plauderton unterrichtet der Verfasser über das alle menschlichen Wissensbereiche durchdringende Gebiet der Rakete und der Weltraumfahrt. Am Probefall „Raketenfahrt“ erlebt der Leser zudem eine ungeahnte Auffrischung seiner naturwissenschaftlichen Kenntnisse; er erfährt eine eingehende Belehrung über physikalische und technische Tatsachen, die seine exakte Vorstellungswelt bereichern und seine Urteilsfähigkeit klären und festigen.

Ein Buch von Felix Linke —

ein Franzis-Buch





RAKETENFLUG INS WELTALL

DIE EROBERUNG DES UNIVERSUMS
DURCH DEN MENSCHEN

Von
FELIX LINKE

*Mit 150 Bildern im Text
und auf 16 Tafeln*

FRANZIS-VERLAG MÜNCHEN

Umschlag- und Einbandentwurf von B. u. R. von Römer
Text-Zeichnungen von Günther Burgfeld, Heinz Gellert, Julius Schmidt und Erich Schülzke
Sämtliche Rechte — besonders das Übersetzungsrecht — an Text und Bildern vorbehalten
Fotomechanische Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Verlages
Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, ist verboten
Copyright 1952 by Franzis-Verlag, München
Druck der G. Franz'schen Buchdruckerei G. Emil Mayer, München

Dieses Buch ist dem großen Pionier der Welt-
raumforschung

HERRN PROFESSOR HERMANN OBERTH

in herzlicher Verehrung zugeeignet.

Es soll der Verbreitung naturkundlichen und technischen Wissens und Denkens dienen, wie das die Gegenwart mehr denn je erfordert. Die Schätze der wissenschaftlichen Forschung sind so unerhört reich und umfassend, daß keine Mühe gespart werden sollte, sie wenigstens in großen Zügen allen denen zugänglich zu machen, die guten Willens sind. Einen kleinen Teil dazu beizutragen, beabsichtigt dieses Buch, das nichts Geringeres versucht, als den Weg der Eroberung der planetarischen Nachbarschaft unserer Erde durch den Menschen darzustellen.

München, November 1952

FELIX GEORG HUGO LINKE

Ein Feuerwagen schwebt, auf leichten Schwingen,
An mich heran! Ich fühle mich bereit
Auf neuer Bahn den Äther zu durchdringen,
Zu neuen Sphären reiner Tätigkeit.

Ja, kehre nur der holden Erden Sonne
Entschlossen deinen Rücken zu!

Vermesse dich, die Pforten aufzureißen,

Und wär es mit Gefahr, ins Nichts dahin zu fließen.

Ja, wäre nur ein Zaubermantel mein!
Und trüg er mich in fremde Länder,
Mir sollt er um die köstlichsten Gewänder,
Nicht feil um einen Königsmantel sein.

(Faust)

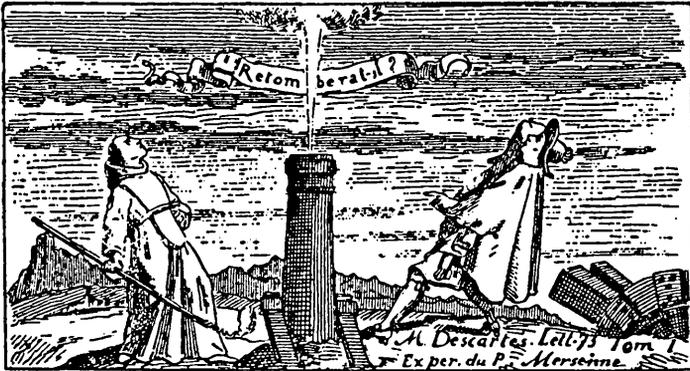
INHALTSVERZEICHNIS

<i>Die Grundlagen</i>	11
Wie man einen künstlichen Mond baut	17
Allgemeine Massenanziehung	18
Größen- und Entfernungsverhältnisse der Körper im Sonnensystem	21
Die Sandrechnung des Archimedes	26
Mit Hüh und Hott! — Der Parallelogrammsatz	27
Warum bewegen sich Planeten und Monde in Kreisbahnen? ..	30
Die Baustelle für den künstlichen Mond	33
Die Keplersche Ellipse	35
Kann man in einer frei fliegenden Rakete gehen, sitzen, liegen?	36
Das Weltall ist schwarz!	38
Woher kommt die Bläue unseres Himmels?	38
Warum funkeln die Sterne?	40
Die Weltraumfahrer brauchen Atemluft und Luftdruck	41
Der Mensch lebt von der Luft!	42
Im Weltraum sei es unbändig kalt	44
Taucheranzüge aus Gummi?	44
Arbeiten leicht gemacht!	45
Nachteile und Bedenken gegen die Schwerelosigkeit	46
Man erzeugt künstlich Schwerkraft! — Die Schwerkraftkabine ..	49
Sollen Automobile mit Raketenantrieb fahren?	54
Ohne Reibung keine Welt, und keine Welt ohne Reibung! ..	55
Die Oberfläche glatter Körper	57
Die Oberfläche aller Körper, auch der Flüssigkeiten ist rau!	58
Reibungswiderstand und Reibungsarbeit	60
Fortbewegung ist nur mit Hilfe der Reibung möglich	62
Es gibt aber doch eine Welt ohne Reibung!	64
Warum keine Kanone und keine Reise in der abgeschossenen Granate?	65
Vernes Reisende fuhrten nicht in Kanonenkugeln, sondern in Langgeschossen	65
Und nun nochmals: Der Schwerpunkt	67
Flugeigenschaften der Langgeschosse	70
Erlebte Wissenschaft	73
Ein Schuß in den Weltraum kostet 100 Millionen Mark	73
Eine Kanone von 5000 Metern Länge!	75
Die wahre Flugbahn eines Geschosses	76

Der Luftwiderstand und die günstigste Form in Luft fliegender Körper	78
Kuriose Geschütze: Das Solenoid- und das elektromagnetische Geschütz	80
Der Rohrpostplan	82
Ulinskis „Düsenreaktionsgerät“ und die „Elektronenrakete“	82
Warum eine Rakete?	83
Kegelschnitte	85
Die Bahnen der Himmelskörper sind Kegelschnitte	87
Vom Schwerfeld der Erde	89
Welche Eile ist nötig, um der Erdschwere zu enttrinnen?	91
Die Bahnlinie einer Rakete bei einem Mondbesuch	93
Der Kanonenschuß — ein Sturz ins Grab	94
Ein funkelnagelneues (?) Prinzip der Fortbewegung	95
Von fallenden Menschen, Fliegern, Schwimmern, vom „Andruck“ und vom Weltraum-Reisetraing	96
„Andruck“	97
Es ist alles relativ	98
Training und Gewöhnung	99
Die biologischen Fragen des Hochgeschwindigkeitsfluges	100
Die Art der Beschleunigungsschäden im Organismus	102
Die Mittel zur Erhöhung der Andruck-(Beschleunigungs)-Festigkeit	105
Nur ja keine Sorge um die Erhaltung des Schwerpunktes! Er tut's von selbst!	108
Auf dem Drehschemel	108
„Sich“ bewegen	110
Erhaltung der Schwerpunktslage	112
Die Masse muß es bringen! — oder eigentlich das Gegenteil!	113
<i>Die Rakete</i>	116
Goddards Pulverrakete	116
Oberths Flüssigkeitsrakete	117
Steuerprobleme und Weltraum-Steuerautomat	119
Richtschnüsse	120
Auch „kopplastig“ muß sie sein	120
Wie soll sie fahren?	124
Wie landet die Rakete?	130
Fahrpläne und Fahrtrouten für den interplanetarischen Reiseverkehr	134
Ein Glück, daß alle Planetengötter linksherum tanzen	136
Fahrdauer gleich Geduld mal Hoffnung	138

Liebhaber der Venus	140
Unsere Rakete — ein kleiner Eiffelturm	140
Der moderne Tannhäuser oder der wahre Weg zur Venus	141
Die Luftbremse — ein verbessertes System Sternschnuppe ..	142
Der erste interplanetarische Reisefahrplan	143
Aus-puff! Auspuff!	145
Pulver und Dynamit oder was sonst für Treibstoffe?	146
Halten das alles unsere Werkstoffe aus?	149
Vom Raketenmotor	150
Die Atomenergie und das Weltraumraketen-Problem	152
Elektroraketen — mit elektrischem Winde!	155
Wie es in der Praxis aussieht — Amerikanische Raketen-Ver- suchsaufstiege der letzten Jahre	156
Technische Zukunftsmusik	162
Die Rakete ein verbessertes Flugzeug?	164
Rakete und Kanone	164
Die Form der Flugzeuge und der Raketen	164
Flugzeug oder Rakete?	165
Die Abhängigkeit des Flugzeugs vom Wetter	166
Die Zwiebelschalen der Atmosphärenschichten	166
Warum fliegen wir nicht in der Stratosphäre?	172
Das Atmungsproblem bei Hoch- und Höchstflug	173
Atmung des Motors	179
Das Flugzeug in sehr großer Höhe	182
Einiges von der Entwicklung des Flugzeugantriebs	184
Raketenfahrten zu fernen Erdorten	187
In einer Stunde zu den Antipoden!	187
Der Raketenmotor für Antrieb in der Luft	188
Rakete, Luftwiderstand und Andruck	189
Müssen Weltraumreisende nicht ersticken und erfrieren?	190
Die ideale Sternwarte nur im freien Weltraum möglich	192
Die Rakete wird im Weltraum beschossen!	198
Das Weltall als Müllschlucker	200
Die Langeweile und physikalischer Zauber bei den Weltraum- fahrern	201
Nachrichtenverkehr und Ortung im Weltraum	205
Die neue Lebensweise des Weltraumfahrers	207
Wissenschaftliche Fehler Vernes	214
Die gefahrdrohende kosmische Strahlung	218
Außerirdische Einstrahlungen	224
Wie orientieren sich die Weltraumfahrer von der Rakete aus?	227
Résümee eines Raketen-Ingenieurs	230

Wert der künstlichen Monde und Außenstationen	231
Was erwarten wir, wenn wir andere Himmelskörper besuchen?	233
Wert der Reisen auf fremde Weltkörper	235
<i>Wie man die Weltraumschiffahrt in der Praxis beginnen will</i>	238
Die bemannte Rakete und der kosmische Erdhafen	238
Das Marsprojekt	242
Die Reise zum Mars	246
Der Aufwand für den Marsbesuch	248
Der Sinn der Weltraumschiffahrt	249
<i>Komplette Weltgeschichte der Rakete</i>	253
<i>Fliegende Untertassen</i>	261
<i>Zu den Raketenfilmen</i>	266
<i>Stichwortverzeichnis</i>	267
<i>Verzeichnis der Bildtafeln</i>	277



Wird die Kugel zurückfallen? Mersenne, der Freund des berühmten Philosophen und Mathematikers Descartes, feuerte mit dem Festungsintendanten Petit einige Kanonenschüsse senkrecht in die Höhe ab. Da sie den Rückfall der Kugel ins Rohr nicht beobachteten, stellte Descartes die obige Frage: Retombera-t-il? (Wird sie zurückfallen?). Um sie philosophierte man dicke Bücher her. Natürlich war die Kugel irgendwohin gefallen, nur nicht ins Rohr, weil sie nicht vollkommen senkrecht hochgeschleudert war (was sicherlich eine große praktische Schwierigkeit ist). Man glaubte jedoch, die Kugel sei ins Weltall hinausgeschleudert worden, weil man von der Physik noch herzlich wenig verstand.

Der sagenumwobene Traum der Menschen, sich dem Vogel gleich in die Lüfte zu erheben, hat seit den Urzeiten des Menschengeschlechts zahlreiche Legenden, Göttergeschichten und Heldengesänge hervorgebracht. Noch in meiner Jugend schien das Schweben und Fliegen eine Unmöglichkeit, und man belächelte den komischen Kauz Otto Lilienthal, der sich bei seinen Flug- und Schweberversuchen schließlich den von den meisten Zeitgenossen als selbstverständlich vorausgesehenen und — halbverdienten — Tod holte. Sich gar auf einen anderen Stern oder auch bloß auf den Mond versetzt zu denken, war der Gipfel einer weitschweifenden Phantasie, an deren Verwirklichung kein Mensch je ehrlich gedacht hat. Den Menschenflug haben wir erlebt. Und wie steht es mit dem Ausflug in den Weltraum? Noch heute zweifelt fast jeder an solcher Möglichkeit, um so mehr, als man weiß, daß keine Luftbrücke in jene Fernen führt, von denen man uns schon in der Schule vorgerechnet hat, daß sie ein Eisenbahnzug mit 100 km Stundengeschwindigkeit erst in 161 Tagen erreicht, wenn man das der Erde nächste Ziel, den Mond, ansteuert, während eine Fahrt zum Mars mit dieser Reiseschnelligkeit unter den günstig-

sten Umständen 33 000 Tage oder 90 Jahre dauerte und damit die durchschnittliche Lebensdauer der meisten Menschen weit überstiege. Gerade jetzt aber ist ein Buch von dem Raketentechniker Prof. Dr. Werner von Braun herausgekommen, „Das Marsprojekt“, das nichts weniger ist als die Durchrechnung der Notwendigkeiten für eine interplanetarische Expedition zu unserem Nachbarplaneten — wobei allerdings die Reiseschwindigkeit meistens bei über 8 Kilometern in der Sekunde liegt. Man fliegt dann nicht in gerader Linie, sondern in einer elliptischen Bahn und braucht 260 Tage, um den Mars zu erreichen. Und diese Berechnung ist nicht eine Milchmädchenrechnung, sondern sie erfolgte mit einem wissenschaftlichen und technischen Apparat, der nicht jedermann zugänglich ist.

Nun ist schon vieles kalkuliert worden, was sich schließlich als Humbug erwiesen hat. Hat nicht seinerzeit der Präsident der Preußischen Seehandlung, eines Bankinstituts von dem Range der ehemaligen deutschen Reichsbank, den Standpunkt vertreten: Mark = Mark, und damit als verantwortlicher Finanzmann der gediegensten Finanzverwaltung, die es vielleicht je gegeben hat, nämlich der des preußischen Staates, für seinen Verantwortungsbereich die entsetzliche Katastrophe der deutschen Inflation gestützt, weil er gewisse volkswirtschaftliche Einsichten nie begriffen hatte? Auch der Panamakanal ist zuerst mit 1 Milliarde Goldfrancs in die Binsen gegangen, und zwar unter der Betreuung des erfolgreichen Suez-Kanal-Erbauers Ferdinand de Lesseps. Haben die Menschen doch noch nicht einmal die nüchternsten Berechnungen über das Absterben der Menschen geglaubt, als die Sterbetafelberechnungen der besten deutschen Statistiker zahlenmäßig ergaben, daß die durchschnittliche Lebensdauer der Menschen seit Ende des verflossenen Jahrhunderts um die Hälfte und mehr zugenommen hat. Und das nicht bloß in Deutschland, sondern in allen zivilisierten Staaten der Welt. Was mag da schon an der Rechnerei einiger Leute sein, die ein derart phantastisches Projekt ausgeheckt haben, wie es die Welt noch niemals gesehen! Zu alledem haben ja die Zeitungen und die bekannten „Illustrierten“ schon so viele Artikel über die Herumkutschiererei im Weltraum gebracht, daß die ganze Sache damit eigentlich schon den meisten Kredit im Publikum verloren hat.

Ich war selbst einer der ersten unter denen, die die Raketentechnik populär machten. Von mir erschien bereits 1928 ein Büchlein über das Raketen-Weltraumschiff. Dennoch habe ich vermieden, in der Nachkriegszeit die phantastischen Erzählungen um ähnliche zu vermehren. In dieser Hinsicht muß ich auch hier den Leser enttäuschen. Mein Buch ist kein utopischer Roman und jeder Phantasterei so fern wie nur irgend möglich. Wer hier erfundene oder verrückte Geschichten vermutet, lege es von vornherein und sogleich wieder aus der Hand. Was hier dargestellt wird, sind nichts

als ganz nüchterne Tatsachen, denen allein bekannte und neue wissenschaftliche und technische Einsichten und Arbeiten zugrunde liegen. Was sich aus ihnen ergibt, ist allerdings so phantastisch, daß man vor Staunen schier ungläubig ist und sich immer nur wieder wundern kann und wundern muß darüber, wo wir heutzutage mit unserm Wissen angelangt sind, was wir damit bereits leisten können.

Und wie wir's dann zuletzt so herrlich weit gebracht. —
O ja, bis an die Sterne weit! — — —

Mit dem Wundern ist es allerdings so ein eigenes Ding. Die meisten Menschen haben diese Eigenschaft längst verlernt, sind sie doch seit einem Jahrhundert mit Wundern geradezu übersättigt. Sie gehen nunmehr an den größten ziemlich achtlos vorbei, weil sie sie und ihre Bedeutung gar nicht erkennen und in der Flüchtigkeit der sich überstürzenden Tagesereignisse jene Gründlichkeit, Befriedigung und tiefe Freude verlieren, die das schwer Erworbene dem mühevoll Strebenden zu verleihen pflegt. Das allzu bequem gebotene Vergnügen verdrängt sogar allen Trieb, durch schwer zu erwerbende Mittel zu den Quellen zu steigen. So ergötzt man sich nur am Endeffekt, der jedoch nur wenig befriedigen und fesseln kann, weil das geistige Band fehlt, das die wahren Einsichten schafft und die nachhaltige Genugtuung und Freude an der besinnlichen, nachschaffenden Erkenntnis erzeugt.



Nun sind sie aber dringlicher als je, die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse und das Wissen darum, auch für die breite Masse der Menschheit. Aber selten wurden sie so wenig geschätzt wie heutzutage. Um die Jahrhundertwende lechzten besonders die jungen Menschen nach naturwissenschaftlicher Aufklärung. Ein wahrer Strom ergoß sich aus den Vorlesungen an den Volkshochschulen, die damals mit ach so primitiven Mitteln ihre Aufgabe erfüllten. Ich selbst hatte den Vorzug, dabei mitwirken zu können, und erlebte die Freude daran, manches Wissen an andere — und nicht bloß junge — Menschen weitergeben zu können. Es waren ausschließlich astronomische Themen, mit denen ich mich an die Hörer wendete; und ich erlebte die Begeisterung vieler daran, ja sogar alter Frauen, die immer wieder in meinen Vorträgen erschienen.

Was ist heute davon geblieben? Wer liest noch naturwissenschaftliche, am Ende gar himmelskundliche Schriften? Wer geht noch in solche ernsthaften Vorträge? Was bieten in dieser Hinsicht überhaupt die Volkshochschulen? Sie erschöpfen sich der Hauptsache nach in literarischen Kursen. Und was könnte man heute in naturwissenschaftlicher, technischer und in astronomischer Hinsicht bieten gegen damals, vor einem halben Jahr-

hundert! Wem man jetzt mit astronomischen Dingen kommt, der zitiert (führt wörtlich an) in literarisch-ästhetizierender Überheblichkeit bestenfalls Goethes „Erinnerung“:

Willst du immer weiter schweifen?
Sich, das Gute liegt so nah — —

Aber was nahes „Gutes“ meint ein solcher Zeitgenosse? Daran denkt er weniger als an den Umstand, daß astronomische Beschäftigungen doch nur brotlose Künste seien, die nichts einbringen. Und noch nicht einmal amüsante (belustigende) seien, wie so viele andere! (Nebenbei: Bringen die literarischen und die orientierenden Beschäftigungen mit künstlerischen Angelegenheiten etwa mehr ein?) Was haben uns astronomische Beschäftigungen in unserm Leben schon bemerkenswertes gebracht? Man denke nur an die Enttäuschung, die uns 1910 der seit langem angekündigte Halleysche Komet bereitet hat. Ein schwaches Lichtstreifen war es nur, von dem die sensationslüsterne Öffentlichkeit zum mindesten einen kleinen Weltuntergang mit Schwefelregen, anderen ähnlichen und pyrotechnischen (Feuerwerks-)Effekten erwartet hatte. Seitdem haben die Astronomen beim breitesten Publikum so ziemlich allen Kredit verloren. Kann man nicht mit einer Sensation aufwarten, so ist man von vornherein dazu verdammt, daß die meisten Menschen interesselos an den Büchern vorbeilaufen. — —

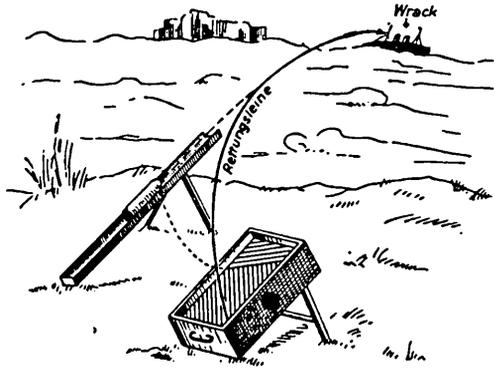
Aber — um auf die Rakete zurückzukommen: Der schwer zu interessierende Zeitgenosse denkt auch nicht an die selbstlose Arbeit, die seit fast zwei Jahrhunderten einige Gesellschaften zur Rettung Schiffbrüchiger leisten, ziemlich unbeachtet von der Öffentlichkeit. Von Schiffbrüchen pflegt sie ja nur Notiz zu nehmen, wenn man, wie beim Titanic-Untergang, eine Sensation daraus machen oder rührselige und womöglich Liebesgeschichten damit auftischen kann. Daß sich diese Rettungsaktionen an gestrandeten Schiffen des Raketenapparates bedienen, wer weiß das? Obwohl da die alte Rakete schon seit langem mit großem Erfolge in Aktion (Tätigkeit) tritt.

Bei Strandungen an Steilküsten und in Fällen, wo ein Wrack nicht weiter als 300 Meter vom Strand entfernt liegt und ein Rettungsboot die Schiffbrüchigen nicht abholen kann, wird der Raketenapparat angewendet. An die Stelle des ursprünglich verwendeten Mörsers traten schwere Raketen, die heute durch die leichte deutsche Sander-Rakete ersetzt sind. Die Ausnützung von Pulvergasen durch ein Düsensystem verleiht dieser Rakete hohe Anfangsgeschwindigkeit und Treffsicherheit. Sie trägt zum gestrandeten Schiff eine dünne Leine, an der die Schiffbrüchigen einen Block hinüberziehen, über dessen Scheibe ein endloses Joltau läuft.

Raketen als Kriegswerkzeuge

Der Block wird an der höchsten festen Stelle auf dem Wrack festgemacht, worauf nach einem Zeichen von Land aus mit Hilfe des Jolltaus das dickere Rettungstau an Bord gezogen wird, um dort über dem Block befestigt zu werden. Durch eine Hosenboje, die auf dem Rettungstau

Die Rakete als Hilfsmittel zur Rettung Schiffbrüchiger. Sie schafft durch Hinüberschießen einer Leine die erste Verbindung mit dem Wrack. So arbeitet selbstlos die Deutsche Gesellschaft zur Rettung Schiffbrüchiger in Bremen.



läuft und von den an Land befindlichen Rettungsmannschaften hin und her gezogen wird, werden die Schiffbrüchigen nun in luftiger Fahrt nacheinander geborgen. Liegt das Wrack aber weit vom Strand entfernt, arbeitet es sehr heftig oder befindet es sich schon in einem Zustand, der es nicht ermöglicht, das Rettungstau in genügender Höhe zu befestigen, müssen die Schiffbrüchigen oftmals direkt durch die Brandung geholt werden, wobei auf das Rettungstau verzichtet und an Stelle der Hosenboje ein am Jolltau befestigtes Rettungsfloß verwendet wird.

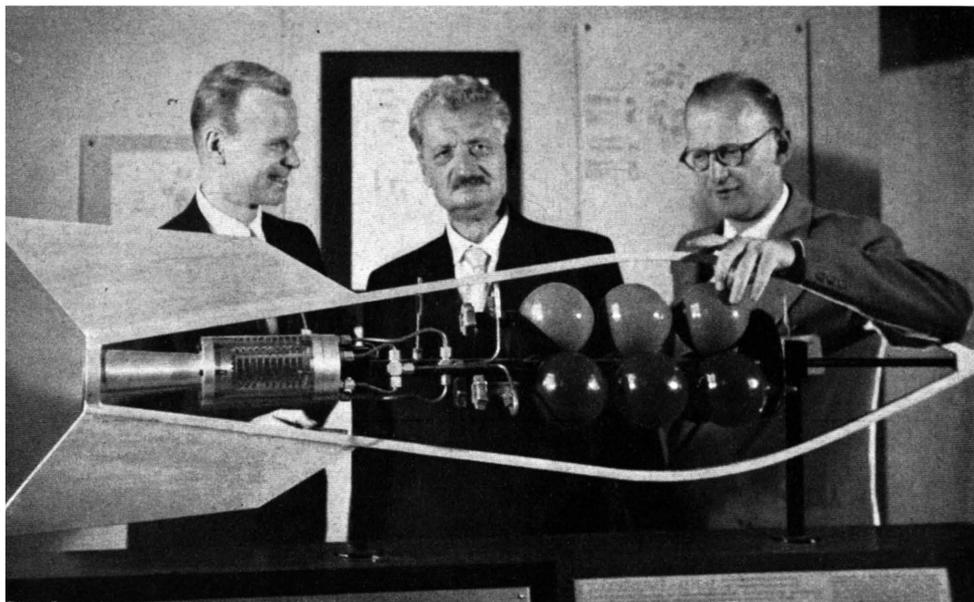
Der Raketenapparat wird wie das Ruderrettungsboot, und oft neben diesem, auf Wagen betriebsklar in geschützt in den Dünen liegenden Schuppen untergebracht und von Pferden durch den losen Sand zur Unfallstelle gezogen; neuerdings finden auch geländegängige Dieselkraftwagen mit Spezialkarosserie Verwendung. — Das sollte bei der Gelegenheit zu erwähnen nicht vergessen werden, um daran zu erinnern, daß die Rakete nicht bloß zur Festtagsbelustigung dient.

Daß die Raketen früher im Kriegswesen verwendet wurden, hat man jedenfalls vergessen. Die moderneren Feuerwaffen haben ihnen den Rang abgelaufen, waren viel stärkere Vernichtungswaffen und deshalb viel interessanter und sensationeller, bis die Raketen in neuer Form als Panzerfaust oder in ganz moderner als V-Waffen im zweiten Weltkriege ihre allerdings ganz veränderte und phönixhafte Auferstehung feierten. Diese Raketenart erregte natürlich die Öffentlichkeit aufs allerhöchste,

um so mehr, als die Reklametrommel des Dritten Reiches sie in Zeiten hoher Kriegsnot als geheime Retter in den Vordergrund schob. Und da es ein Vernichtungsmittel war, nicht eine segensreiche Erfindung für humanitäre Zwecke wie der Schiffbrüchigendienst, wurde es sogleich allerneueste Sensation. Vorher, als Professor Hermann Oberth im rumänischen Deutschenwinkel die Rakete als Mittel propagierte, die Erde zu verlassen und in den Weltraum hinauszusteuern, machte das kaum von sich reden. Eine astronomische Angelegenheit! — die von den meisten Menschen, selbst den Technikern, einfach verlacht und als Mumpitz angesehen wurde. Selbst ein so ernsthafter und grundgelehrter Militär wie August von Parseval, der mit seinem unstarren Luftschiff doch bei der Öffentlichkeit wie bei der Fachgenossenschaft auch seine Erfahrungen gemacht hatte, war nicht für diese Raketentechnik zu haben. Ich habe ihn oft genug und vergeblich dafür zu erwärmen versucht.

Erst als Fritz von Opel für den modernen Götzen, das Automobil, von dem sich simple Fußgänger noch immer mit Begeisterung und ergebungsvoll totfahren lassen, die Rakete einsetzte, wurde sie für die breiteste Öffentlichkeit eines gewissen Interesses für wert gehalten. Allerdings wußten und wissen heute noch die meisten nicht, was es mit jenen Raketenautos auf sich hatte. — Mit dem Begriff „Rakete“ waren seit je immerhin der rauchende, fauchende, zischende und glänzende Feuerschweif und das Flitzen verbunden. So ergab sich von selbst die Ideenverbindung: Flitzendes Auto, unerhörte Geschwindigkeit, die die Straßen noch unsicherer macht — tolle Sache —. Das Interesse war geweckt. — — — Eine solche Angelegenheit interessierte jedenfalls viel mehr als alle die Planeten und Sterne, die im Weltraum mit ja noch unvergleichlich viel größeren Schnelligkeiten herumsausen, nur daß man das so unmittelbar nicht wahr- — und deshalb auch nicht für wahr nimmt.

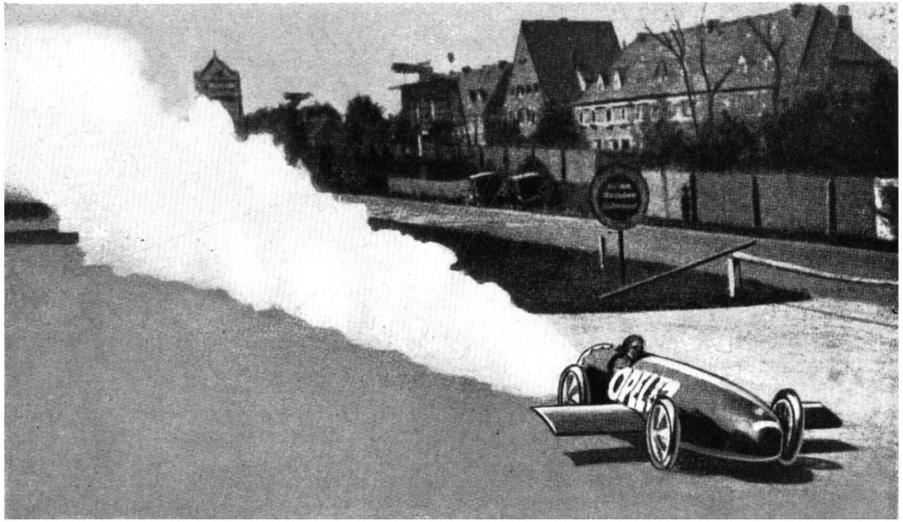
Was ist denn eigentlich gewesen mit diesem Opel-Wagen, der da am 11. April 1928 mit 170 km Höchstgeschwindigkeit über die Avusbahn gerast ist? Wir wissen doch, daß 1910 ein paar elektrische Züge zwischen Berlin und Zossen schon 213 km Stundengeschwindigkeit erreicht haben? Also nicht einmal ein Rekord war es — der doch sonst allein Effekt verbürgt. — — Erst der Opel-Sander-Raketen-Schienenwagen, der einige Monate später zwischen Burgwedel und Celle 281 km erzielte und dann verunglückte, schuf den Rekord — allerdings *ohne* die Sicherheit jener nicht so anspruchsvollen Eisenbahnzüge. Daß diese Wagen mit Pulver angetrieben wurden, daß es ganz besonders stark feuerte, knallte, puffte und rauchte, war etwas Besonderes, geeignet, die allgemeine Aufmerksamkeit zu erregen, ebenso wie der 1. Flug Fritz von Opels mit einem Raketenmotorflugzeug, das gleichfalls zertrümmert landete, — eine Fallböe war da die Ursache.



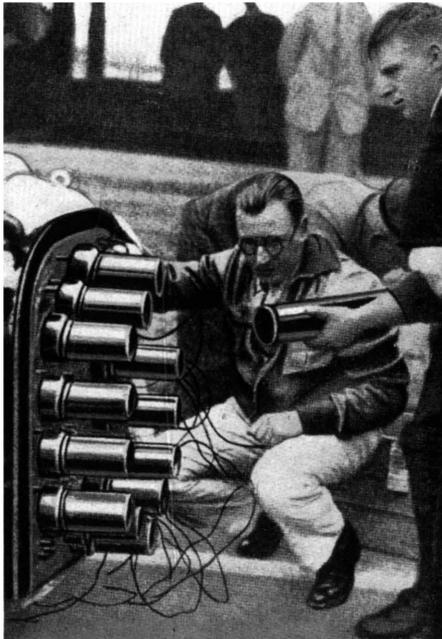
Mitte: Prof. Hermann Oberth, der geniale und unerschrockene Pionier der Weltraumfahrt und ihrer wissenschaftlichen und technischen Vorbereitung, Ehrenpräsident der Gesellschaft für Weltraumforschung. Links: Mr. Durant, American Rocquet Society; rechts: Mr. A. C. Clarke, Chairman of the British Interplanetary Society. Aufnahme von F. Linke vor dem Modell des Schoenenberger-Effekts für Raketentriebwerkskühlung und Treibstoffmedien-Mischung auf der Stuttgarter Ausstellung September 1952



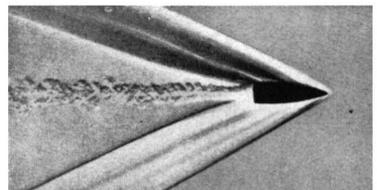
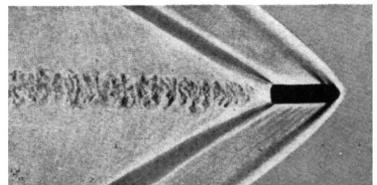
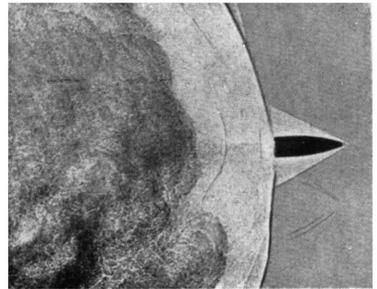
Prof. Dr. Wernher v. Braun, früher maßgeblicher Mitarbeiter auf dem Peenemünder Raketengelenke, Mitarbeiter der amerikanischen Armee für Raketenforschung, Inhaber der Hermann-Oberth-Medaille 1952



*Fritz v. Opel mit seinem Raketen-Automobil
„Opel Rak 2“ auf der Avusbahn bei 236 km/s
Geschwindigkeit*



*Der Raketenmotor des „Opel Rak 2“ mit den
Auspuffdüsen, aus denen die Explosionsgase
abströmen (Opel-Bilderdienst)*



Geschloßfotografien nach Crantz

Wie man einen künstlichen Mond baut

Aufregend war jedenfalls, daß man mit einem feuerschnaubenden Raketenfahrzeug nicht bloß auf der Erde dahinflitzte, sondern in die Luft emporstieg, wie wir das schon von den Feuerwerksraketen seit langem kennen.

Wir haben bei den Feuerwerksraketen, die in unserer frühesten Jugend besonders großartigen Eindruck auf uns gemacht haben, wohl nie den Gedanken gehabt, mit ihnen einmal einen Menschen aufsteigen zu lassen. Aber nichts mehr und nichts weniger als das ist der eigentliche Ursprung der Versuche mit dem Raketenautomobil gewesen. Astronomen sind schließlich auf den Gedanken gekommen, in einem solchen Fahrzeug die Erde zu verlassen und in den Weltraum hinauszuwandern.

Natürlich die Astronomen! sagt der vernünftige Bürgersmann und Zeitgenosse, der sein Brot in solider täglicher Arbeit verdient (weil gewöhnlich nur diese von anderen Leuten bezahlt wird). Zwar weiß man, daß es viele Leute gibt, die auch für irgendwelche Schrollen ihr Geld hinauswerfen, aber für eine derartig verlorene Sache wie das Hinauswandern in den Weltraum dürfte kaum jemand Geld aufzubringen beabsichtigen. Nicht einmal 20 Seiten Buchlektüre ist man geneigt, einer solchen Angelegenheit zu widmen, der man höchstens 50 Zeilen zugesteht. Wenn ich Sie, verehrter Leser, deshalb bei der Stange halten will, muß ich schon anders vorgehen. Ich will Ihnen deshalb zuerst erzählen,

WIE MAN EINEN KÜNSTLICHEN MOND BAUT

„Man nehme“ — Steine, Lehm, Sand, und da es sich um einen Kunstbau handelt, natürlich auch Kalk oder Zement, natürlich auch Eisen usw. usw. und baue — — — — — ja, wohin?

In diesem Falle ist das „Nehmen“ viel leichter als in den meisten Rezepten, die uns wohlmeinende Kochbücher empfehlen, während im Gegensatz zu jenen das „Wohin“ damit außerordentlich schwierig ist.

Denn wohin soll man den künstlichen Mond bauen? In die Luft, oder, da in einigen tausend Kilometern von der Erde nicht einmal diese mehr vorhanden ist, in den leeren Raum, oder wohin eigentlich?

Man ist doch gewohnt, einen soliden Bau, wie es ein künstlicher Mond immerhin sein müßte, auf einen festen Boden zu bauen. Ein Wolkenkratzer, der auf dem Manhattanfelsen von New York steht, ist ein solches solides Gebilde, das selbst ein handfestes Erdbeben überdauern könnte. Aber im leeren Weltraum? Wo soll man da was gründen? Es ist doch kein Baugrund vorhanden. Das erscheint denn doch noch luftiger als die meisten „Gründungen“, selbst die gewagtesten, von denen die Weltgeschichte berichtet.

Allgemeine Massenanziehung

Und dennoch, verehrter Leser, wenn man es nur richtig anfängt, ist dieser künstliche Mond eine Sache, die Aktienliebhabern eine sicherere Anlagegelegenheit böte als die meisten bomben- und mündelsicheren Papiere. Diese könnten einer Inflation zum Opfer fallen, während ein astronomisch richtig berechneter künstlicher Mond eine Gründung von kosmischer Sicherheit darstellt und Ewigkeitswert besitzt. Fiele selbst dieser einem „Weltuntergang“ zum Opfer, so hätten wir selber dabei ja auch nichts mehr verloren.

Denn daran zweifeln wir trotz aller Unsicherheit mit kosmischen Geschichten nicht, daß Erde, Mond, andere Planeten und Sterne doch schon ihre diversen Millionen, Milliarden, vielleicht sogar Billionen Jahre überdauert haben, während wir auf der Erde sonst nichts dergleichen mit ähnlicher Sicherheit ausgestattet kennen. — — —

Also wohin mit dem künstlichen Mond?

Ein künstlicher Mond muß, wie der natürliche, ständig um die Erde kreisen. Täte er das nicht, so fiel er unbedingt auf die Erde selbst hernieder.

Warum in aller Welt sollte man diesen künstlichen Mond nicht irgendwo im Weltall aufbauen können, *ohne* daß er sich bewegt? Er liefе uns anderenfalls vielleicht doch nur weg, wenn wir auf ihm mit einer Rakete landen (oder richtiger „monden“) wollten.

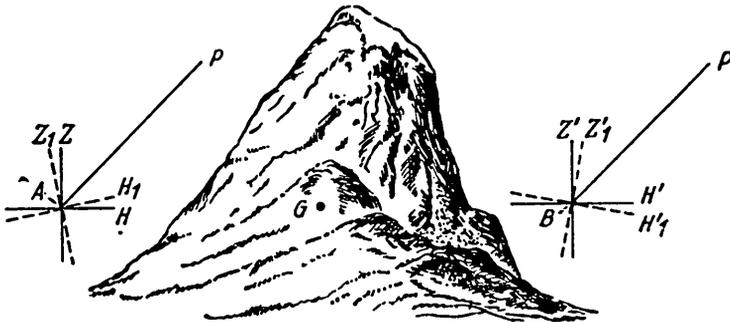
Überlegt man sich alles genauer, so kommt man allerdings zu der Einsicht, daß es gar nicht anders geht als daß er „läuft“. Denn dieser künstliche Mond unterliegt selbstverständlich denselben Kräften und Gesetzen wie alle Körper im Universum, vor allem aber der

ALLGEMEINEN MASSENANZIEHUNG

die eine durch das ganze Weltall wirkende Kraft ist. Der Mensch lernte sie zuerst durch die Schwere kennen. Jeder Körper ist schwer, der eine mehr, der andere weniger. Das drückt sich aus durch sein Gewicht. Wir beobachten, daß alle Körper zur Erde fallen, wenn man sie nicht durch Stützen daran hindert. Wir schreiben das Fallen der „Schwerkraft“ zu, die von der Erde ausgeht. Später fand man, daß diese Anziehungskraft *jedem* Körper innewohnt, daß also alle Körper einander anziehen. Die Schwerkraft, d. h. die allgemeine Massenanziehung, holt nicht bloß den Apfel vom Baum, die Lawine vom Berghang, auch den Mond faßt sie und hilft, ihn in seine Bahn um die Erde zu bannen. Wenn man die allgemeine Massenanziehung aller Körper zueinander auf der Erde nicht merkt, so kommt es daher, weil die Körper nicht massiv genug sind, um merkliche gegenseitige Anziehungen zu offenbaren. Dennoch hat Cavendish mit Hilfe seiner Drehwaage bewiesen, daß sich Metallkugeln an-

Lotablenkung

ziehen und daß sie aufeinander so wirken, als ginge ihre Anziehungskraft von ihrem Mittelpunkt aus. Für die Erde ist der Erdmittelpunkt der Schwerpunkt, weil von ihm aus die Schwere zu wirken scheint. Andere Forscher haben das vielfach bestätigt.



Die Lotabweichungen in der Nähe eines Bergmassivs kann man beweisen, indem man auf jeder Seite des Massivs, in A wie in B, ein Pendel aufhängt. Wäre der Berg nicht vorhanden, so zeigte ZA das linke, Z'B das rechte Lot an. Die Anziehung des Berges, die man sich in seinem Schwerpunkt G vereinigt denken kann, lenkt das linke Lot zum Berge hin ab, und es nimmt die Stellung Z'A an, das rechte Pendel Z'B. Richtet man nun von A aus ein Fernrohr zum Polarstern P, so kann man den Winkel PAZ' messen, von B aus den Winkel PBZ'. Diese Winkel sind verschieden, der linke größer als der rechte. Man kann also die Ablenkung des Bergmassivs auf das Lot angeben. Und wenn man nachrechnet, so ergibt sich die Größe der vom Bergmassiv ausgeübten Anziehungskraft. Stellt man in A eine Wasserwaage (Libelle) auf, so wandert die Wasserblase infolge der Anziehung zum Berge hin, die Waagerechte stellt sich schräg auf AH₁, während die wirkliche Waagerechte AH wäre. Und ebenso ist es auf der anderen Seite, wo die Waagerechte von BH' auf BH'₁ verschoben wird. Das ist ein sehr schöner und einfacher Beweis für die allgemeine Massenanziehung.

Das Lot zeigt daher immer direkt auf den Erdmittelpunkt. In diesem kann man die ganze Erdmasse vereinigt denken. Aus größerer Ferne im Weltraum kann man die Erde als Kugel ansehen, und der Erdmittelpunkt ist der Schwerpunkt der Erde. Die Erdoberfläche ist aber keine Kugelfläche; Berge und Täler wechseln mit Meerestiefen. Und wenn man ein Lot irgendwo in der Nähe eines Berges aufhängt, so macht sich dieser dadurch bemerkbar, daß seine Masse selbst unmittelbar auf das nahe Lot wirkt und es von der Senkrechten etwas ablenkt. Die Geodäten, die mit feinen astronomischen Hilfsmitteln die Erde ausmessen, haben den Beweis geliefert, daß große Massive wie Berge das Lot, das in freier Ebene immer zum Erdmittelpunkt gerichtet ist, ablenken. Daraus geht hervor, daß auch Teile der Erde Anziehungskräfte besitzen. Man hat daraus die

Warum der Mond nicht auf die Erde fällt

Dichte und das Gewicht der Erde ermitteln können. Bezeichnet man die Dichte des Wassers mit 1, so beträgt die Erddichte im Durchschnitt 5,5. Das Gewicht der ganzen Erde ergibt sich daraus zu fast 6 000 Trillionen Tonnen (genau 5 977).

Der große Naturforscher Isaak Newton machte sich zuerst Gedanken darüber, wie weit wohl die Anziehungskraft der Erde reiche. Ein vom Baum fallender Apfel soll ihn auf diese Frage gebracht haben. Die Anziehungskraft der Erde wirkt noch auf den höchsten Bergspitzen. Besteht sie auch noch in der hundert-, in der tausendfachen Höhe? Erstreckt sie sich am Ende gar bis zum Mond? Ist das der Fall, so müßte eigentlich der Mond auf die Erde fallen, wie alle anderen Körper auch. Das tut er jedoch nicht. Viele hätten daraus den Schluß gezogen, daß die Erdanziehung also nicht bis zum Monde reiche. Newton jedoch erkannte sofort, warum das nicht eintritt. Der Mond hat ja eine Bewegung am Himmel, er bewegt sich um die Erde. Seine Bewegung geht vielleicht so schnell, daß der Mond trotz seines steten Fallens zur Erde nicht mehr auf sie selbst fällt, sondern darüber hinausstürzt, weil sie nicht groß genug ist, ihn mit ihrer Oberfläche noch auffangen zu können? — So verhält es sich auch. Die Umlaufgeschwindigkeit des Mondes um die Erde schützt ihn tatsächlich vor dem Aufsturz auf sie. Diese Frage ist für unsere ganzen Betrachtungen so wichtig, daß wir sie zunächst klären und die Erörterungen zur Angelegenheit des künstlichen Mondes unterbrechen müssen. Wie kommt es denn, daß auch die Erde nicht in die Sonne stürzt, da deren Anziehung doch so übermächtig ist?

Wäre nur die allgemeine Gravitation, wie man die Anziehungen zwischen den Weltkörpern nennt, vorhanden, so fielen natürlich alle Monde in ihre Planeten, alle Planeten in die Sonne, und schließlich stürzten alle Sterne zu einem ungeheuren Masseklumpen zusammen. Das Ende der Welt wäre da. Nirgends gediehe mehr Leben, kein Mensch, kein Tier, keine Pflanze bevölkerte diese Welt, denn nur ein toter Masseklumpen flöge durch das All oder stände darin still — was dasselbe wäre, da ja nicht mehr entschieden werden könnte, ob er sich bewegt. Bewegung kann man immer nur feststellen, wenn wenigstens ein zweiter Körper vorhanden ist und zwischen beiden eine Verschiebungsbewegung beobachtet werden kann. Die Bewegung ist immer etwas verhältnismäßiges, relatives, von einem auf den anderen Körper bezogenes.

Es kann also nicht bloß eine einzige Kraft, die Gravitation, wirken, sondern mehrere Kräfte müssen so zusammenwirken, daß die Körper umeinander kreisen. Alle Planeten laufen um die Sonne in fast kreisförmigen Bahnen. Die Erde braucht dazu ein Jahr, die Venus 224 Tage, der Jupiter knapp 12 Jahre. Der am weitesten von der Sonne entfernte, von Tombaugh erst 1930 auf der Flagstaff-Sternwarte, Arizona, USA ent-

Etwas vom Planetensystem

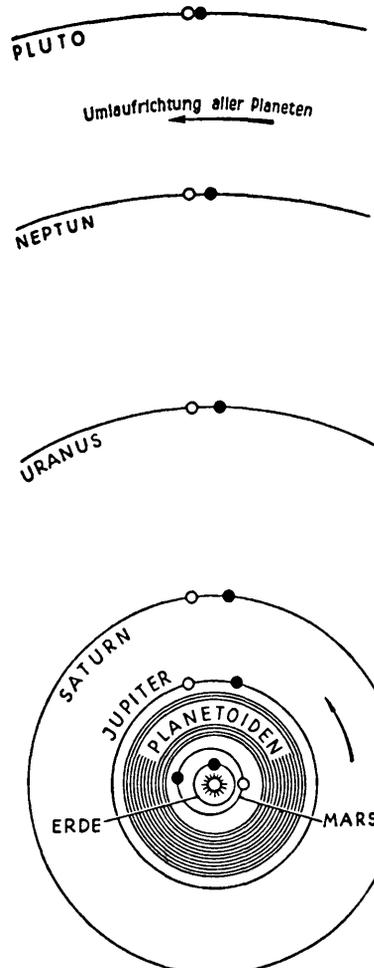
deckte Pluto braucht ein Vierteljahrtausend (248 Jahre) zu einem einzigen Umlauf. Aus diesen Zahlen ersieht man schon, daß die Umlaufzeiten um die Sonne um so größer werden, je weiter die Planeten von der Erde entfernt sind. Die Erde hat 149,5 Millionen Kilometer Abstand, Venus nur 108 Millionen Kilometer, Jupiter 778 Millionen Kilometer und Pluto gar 5908 Millionen Kilometer. Dort hinten ist die Anziehungskraft der Sonne nur noch verhältnismäßig gering — obwohl genügend, diesen großen Körper mit 8000 Kilometer Durchmesser, etwas größer als der Mars, in ihrem Banne zu halten. Näher zur Sonne ist die von ihr ausgeübte Anziehungskraft viel stärker. Und wie kommt nun der Umlauf der Planeten um die Sonne zustande? Das müssen wir auch einmal gründlich klären. Zu dem Zweck schweifen wir nochmals ab und machen uns mit einigen mechanischen Tatsachen bekannt.

Vorher aber wollen wir noch einiges zur Klärung der

GRÖSSEN- UND ENTFERNUNGSVERHÄLTNISSSE DER KÖRPER IM SONNENSYSTEM

sagen. Als Grundlage dazu diene die kleine Zahlenübersicht auf Seite 22. Von diesen Verhältnissen und von denen in der stellaren Welt (der Sterne)

kann man sich keine richtige Vorstellung machen. Dennoch wollen wir versuchen, diese für uns abnormen Verhältnisse durch Verkleinerung aller Maße in eine Größenordnung zu rücken, die uns zwar auch nicht mehr



Bahnen der äußeren Planeten in richtigem Maßstabsverhältnis

Das verkleinerte anschaulichere Planetensystem

völlig anschaulich erscheinen kann, unseren Gedankenkreisen jedoch wesentlich näher liegt als die kosmische Wirklichkeit.

Verkleinern wir die Sonne auf 188 m Durchmesser und setzen sie in die Mitte der ehemaligen Reichshauptstadt Berlin, als welche die Stelle des Denkmals des sogenannten Großen Kurfürsten Friedrich Wilhelm (1640 bis 1688) auf der Kurfürstenbrücke gilt (siehe das Kartenbild von Berlin und Umgebung, Seite 23). Die Sonne wäre damit bereits ein Kolossalgebilde im Bereiche der Stadt und überragte alle, selbst die größten Bauten wie die Technische Hochschule, die neue Reichsbank, das Schloß, das Stadthaus, das alte Wernerwerk der Siemens-Industriegebäude u. a.

an Masse um das Vielfache. Ihr Rauminhalt wäre $\frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi = \frac{4}{3} \cdot 94^3 \cdot \pi = 348\,000$ Kubikmeter (m^3). Sie reichte damit in die Körperinhalte der Pyramidenbauten, deren größte, die des Cheops bei Gizeh, mit einer quadratischen Grundfläche von $232 \cdot 232$ m und einer Höhe von 147 m (fast so hoch wie die Kölner Domtürme mit 156 m) einen Kubikinhalte von $\frac{1}{3} \cdot 232^2 \cdot 147 = 2\,638\,000$ m^3 hat, also $7\frac{1}{2}$ mal so viel wie unser

Sonnensymbol. Aber mit dem Inhalt der kleinen Pyramiden kann unsere Sonnenkugel immerhin konkurrieren. Sie ragte in Berlin weit über alle Bauwerke hinaus, von denen keins auch nur annähernd ihre Höhe erreichte. Ist doch selbst der Ulmer Dom, das höchste Monumental-Bauwerk in Deutschland, nur 167 m hoch. Aber in diese Höhe ragt er nur mit einer zarten Steinspitze (s. auch S. 125).

Himmelskörper	Zeichen	Äquatorialer Durchmesser		Entfernung von der Sonne		Länge eines Umlaufs um die Sonne Mill. km	Länge der jährlichen Bahn Mill. km	Sekundliches Bahnstück km	Umlaufsdauer um die Sonne	
		km	verkleinert	Mill. km	verkleinert km				Jahre	Tage
Sonne	☉	1 390 900	188 m	—	—	—	—	—	—	—
Merkur	☿	4 770	64 cm	58	7,85	356	1 630	51,7	—	88
Venus	♀	12 420	168 cm	108	14,6	677	1 100	35	—	224
Erde	♁	12 755	173 cm	149,5	20,2	937	937	29,6	—	$365\frac{1}{4}$
Mars	♂	6 780	93 cm	228	30,8	1 490	790	25	1	322
Jupiter	♃	144 600	19,6 m	778	105	4 875	410	13	11	315
Saturn	♄	118 000	16 m	1 426	192	8 940	283	9	29	167
Uranus	♅	50 300	6,8 m	2 869	388	17 900	213	5,83	84	8
Neptun	♆	55 500	7,5 m	4 495	606	28 200	171	5,43	164	282
Pluto	♇	8 000	140 cm	5 908	800	37 200	149	4,73	248	157

Unanschaulichkeit der stellaren Verkleinerungen

Pluto (.....), nach unseren jetzigen Kenntnissen der äußerste Planet des Sonnensystems, ist nur ein kleiner Körper in der Größe zwischen Merkur und Venus stehend. Er würde in unserem System als 140 cm dicke Kugel erscheinen, die in 800 km Abstand Berlin umkreiste, so daß seine Bahn ganz im Auslande verlief. Er kreuzte Venedig, die Westalpen, die Burgundische Pforte, Calais, Norwich im Südostzipfel Englands, die Doggerbank, Südnorwegen (ohne Oslo ganz zu erreichen), Stockholm, (Riga würde fast erreicht), Lemberg. Drei Meere, die Nord-, die Ostsee und das Adriatische Meer, würden durchschnitten. Die sehr exzentrische Bahn wird durch unser Kreisbild nur sehr angenähert dargestellt. —

Man kann sich auf diese Weise eine Vorstellung davon machen, mit welchen ungeheueren Entfernungen selbst im Planetensystem gerechnet werden muß, und wie dünn die Körper gesät sind. Im interstellaren Raum (Fixsternraum) aber verflüchtigen sich die Entfernungen schier ins Unendliche. Steht doch der Sonne nächste Fixstern α Kentauri (Alpha im Sternbilde des Kentauren¹⁾), ein Stern 1. Größe, am südlichen Himmel sichtbar, nicht weniger als 4,3 Lichtjahre oder 41 Billionen Kilometer ab. 1 Lichtjahr ist die Strecke, die ein Lichtimpuls während eines Jahres von seiner Quelle aus fortwandert. Da ein Lichtstrahl in jeder Sekunde 300 000 km fortschreitet, muß man diese Zahl mit der der Sekunden eines Jahres multiplizieren. Diese sind $365 \times 24 \times 60 \times 60 = 31\,536\,000$. Und 300 000mal genommen ergibt dies die Strecke von 9 460 800 000 000, rund $9\frac{1}{2}$ Billionen Kilometer.

In unserem verkleinerten Sonnensystem stände α Kentauri gar nicht mehr auf der Erde, sondern 275 000 km weit draußen im Weltraum, fast auf $\frac{3}{4}$ des Weges zur Mondbahn, die die Erde in 384 400 km Abstand umschließt. Das ergibt schon wieder völlig unanschauliche Verhältnisse. Um mit kosmischen Entfernungen in ein Verstellungsverhältnis zu gelangen, verkleinern wir Größen und Entfernungen der Sterne auf 1 Billiontel. Die Sonne hätte dann die Größe eines Stecknadelkopfes. Und der der Sonne nächste Stern, nämlich α Kentauri, stände von ihr in 41 km Entfernung. Die praktische Aufgabe wäre also in diesem Falle, vom Berliner Zentrum aus einen Stecknadelkopf im Umkreise Eberswalde — Münchenberg — Fürstenwalde — Teupitz — Spremberg — Luckenwalde — Beelitz — Nauen — Kremmen — Liebenwalde — Eberswalde zu suchen. Aber damit wäre sie erst zum kleinsten Teil bezeichnet, weil wir hier nur von einer Ebene gesprochen haben, während der Stecknadelkopf auch nach oben und unten wie in jeder Richtung ebenso weit abliegen kann, im Weltraum also auf einer Kugelfläche der Entfernung 41 km gesucht werden müßte.

¹⁾ Über die Sternbezeichnungen und näheres über den Bau der Welt siehe mein Buch Linke „Streifzüge im Reiche der Sterne“, Stuttgart.

DIE SANDRECHNUNG DES ARCHIMEDES

Es ist höchst bemerkenswert, daß diese Zahl von $9\frac{1}{2}$ oder $9\frac{1}{4}$ Billionen km in der Geschichte der Wissenschaft schon einmal eine Rolle gespielt hat, und zwar gleichfalls im Zusammenhang mit kosmischen Dingen. Der größte Mathematiker, Physiker und Ingenieur des Altertums, Archimedes von Syrakus, ein Geist von unausschöpfbarer Tiefe und Fruchtbarkeit, hatte mit dem Kronprinzen Gelon von Syrakus eine Unterhaltung über die Ungeeignetheit des griechischen Systems der Zahlenschreibung, namentlich für sehr große Zahlen. Man kam auf solche zu sprechen und jemand sagte, man könne solche Größen wohl nur an der Natur demonstrieren (aufzeigen). Die Anzahl der Sandkörner an den Strandküsten Siziliens sei sicherlich unzählbar, unendlich und in Zahlen gar nicht aussprechbar.

Einige Tage später antwortete Archimedes darauf mit einem Briefe an Gelon, in dem es hieß: Die Zahl der Sandkörner werde von vielen als unbegrenzt angenommen, und es sei jedenfalls noch niemals eine so große Zahl genannt worden. Wenn sich nun diejenigen, die so dächten, „einen so großen Sandhaufen wie die Masse der ganzen Erde, dabei sämtliche Meere ausgefüllt und alle Vertiefungen der Erde so hoch wie die höchsten Berge zugeschüttet annähmen, so glaubten sie gewiß um so mehr, daß keine Zahl zur Hand sei, die Menge dieses Sandes noch zu überbieten. Ich aber will nun mittels geometrischer Beweise, denen Ihr, o Prinz, beipflichten werdet, zu zeigen versuchen, daß unter den von mir benannten Zahlen, die sich in meiner Schrift an Zeuxippos befinden, einige nicht nur die Körnerzahl eines Sandhaufens übertreffen, dessen Größe der Erde gleichkommt, wenn sie nach meiner obigen Erklärung ausgefüllt wäre, sondern auch die einer Sandmenge, deren Größe dem Weltall gleich ist.“

Archimedes bildete sogenannte „Oktaden“, das sind Zahlengruppen des Zehnersystems, deren erste 10^8 oder 100 000 000 (hundert Millionen) beträgt. Wir bilden in unserem Zahlensystem ja „Sextaden“, $10^6 = 1\ 000\ 000$ (1 Million), $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$ (Billion), $10^{18} =$ Trillion, $10^{24} =$ Quadrillion usw. — Die Oktaden des Archimedes reichten in einer ersten Periode bis $10^{800\ 000\ 000}$, das wäre eine 1 mit 800 000 000 Nullen dahinter geschrieben. Die Länge dieser Zahl in der hier benutzten Druckart wäre 1500 km lang, d. h. so lang wie die Entfernung von Berlin nach Palermo auf Sizilien in der Luftlinie. Diese erste Periode kann von weiteren fortgesetzt werden, und zwar grenzenlos. Archimedes nimmt nun an, daß ein Sandkorn der zehntausendste Teil eines Mohnkorns sei (also fast unendlich feiner Sand), von dem 40 auf eine Fingerbreite gehen. Da der Erdumfang — Archimedes sah die Erde als Kugel

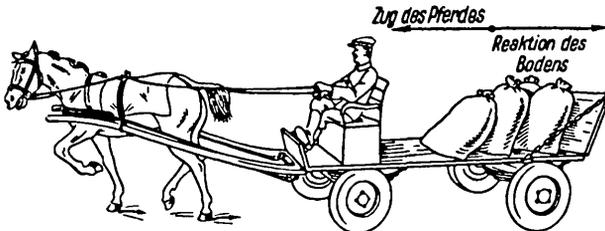
Der Parallelogrammsatz

an — 55 000 km lang (in Wirklichkeit nur 40 000 km), und die Sonne von der Erde 925 Millionen km entfernt sei (in Wirklichkeit nur 149,5 Millionen km), und wenn man das Sonnensystem nur als einzigen Teil der Weltkugel (womit Archimedes das Fixsterngewölbe meint) ansetzen könne, deren Durchmesser sich zum Bahnkreise der Erde wie dieser zum Zentrum verhalten möge, dann erhält man als Durchmesser des Weltalls $9\frac{1}{4}$ Billionen Kilometer oder fast 1 Lichtjahr. Diese Kugel sei nun aber durch 10^{68} Sandkörner bereits erfüllt, d. h. eine Zahl, die noch ganz im Anfang der ersten Periode liegt, eine Zahl der siebenten Oktade (was wir bei unserer Sextadeneinteilung Dezillionen nennen).

Wir sind über die weitgehend richtigen astronomischen Zahlen des Archimedes erstaunt. Denn sie liegen nicht nur in der richtigen Größenordnung, sondern bemerkenswert nahe an der Wirklichkeit. Daß die Annahme der Weite des Fixsternhimmels gerade auf ein Lichtjahr trifft, ist gewiß ein Zufall, aber doch ein erstaunlicher.

MIT HÜH UND HOTT! — DER PARALLELOGRAMMSATZ

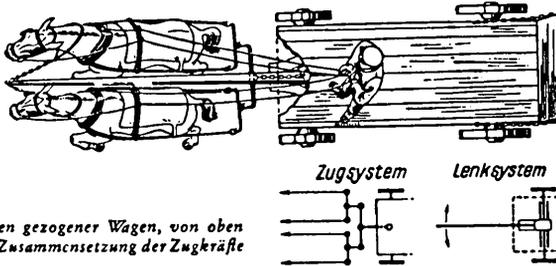
Wenn man einen Wagen zieht, so stemmt man sich mit den Füßen gegen die Erde und bietet seine Kraft auf, bis der Wagen in der gewünschten Richtung nachgibt. Das ist eine verhältnismäßig einfache Angelegenheit. Ein Pferd macht es ebenso; es zieht den Wagen, als wäre er ein Stück seines Körpers. Bei zwei Pferden ist es schon nicht mehr so einfach. Man muß beide Zugkräfte zusammenführen. Um ihre Kraft zu einen, hakt man die Zuggurte von den den Pferden übergeworfenen Geschirren nicht einfach irgendwo an den Wagen, sondern die Gurte jedes Pferdes werden hinten zu einem Bügel geführt, der in der Mitte eine Öse besitzt, die wiederum in die Öse am Ende eines größeren Bügels eingehakt ist. Erst



Von einem Pferd gezogener Wagen. Oben rechts die auftretenden Kräfte. Das Pferd zieht an den Gurten, die an einem Zugbügel angehakt sind, der selber wieder am Zughaken des Wagens hängt. Die Lenkung besorgt die Wagendeichsel durch das vom Kutscher dirigierte Pferd

Zusammensetzung von Bewegungen

die Mitte dieses größeren Bügels ist am Wagen befestigt, so daß von beiden Pferden nur ein zusammengefaßter Zug am Wagen angreift. Ließe man jedes Pferd mit seinen Gurten am Wagen ziehen, so würde dieser ungleichmäßig einmal links, dann vielleicht mal wieder mehr rechts ge-



Von zwei Pferden gezogener Wagen, von oben gesehen. Rechts: Zusammensetzung der Zugkräfte

zogen und auf der Fahrbahn einerschlingern. Das Zusammenfassen der Züge der beiden Pferde hingegen und ihr Angriff an *einem* Punkte setzt am Wagen eine gleichmäßig wirkende Zugkraft an, selbst wenn die Pferde ungleich stark ziehen. Man lenkt also die Zugkräfte, indem man die einzelnen zusammenfaßt. Um Hin- und Herschlingern des Wagens zu vermeiden und ihn lenken zu können, bedient man sich der Deichsel.

Nicht immer ist es möglich, ein Fahrzeug zu lenken. Befindet sich z. B. ein Boot auf einem Fluß, so wird es von der Strömung mitgenommen. Zugleich wirkt auf sein Segel der Wind, der in der Richtung C weht. Wie bewegt sich das Boot unter der Wirkung dieser beiden Kräfte? Bei Windstille zieht das Boot mit dem Wasser flußabwärts, in einer Minute also von A bis B. Bliese der Wind allein und stände das Wasser still, so triebe das Boot in einer Minute von A nach C zum jenseitigen Ufer hin. Wirken aber Strömung und Wind zugleich, so kann das Boot nicht einer dieser Einwirkungen allein folgen, sondern es muß beiden nachgeben. Dann kann es jedoch weder nach B noch nach C gelangen. Unabhängig um das Wehen des Windes wird das Boot von der Linie AC weggetrieben, es wird um die Strecke AB nach abwärts getragen, die es vermöge der Strömung allein einschläge. Zugleich wird es vom Winde in der Richtung zum jenseitigen Ufer weggetrieben bis zur Linie CD, die der Linie AB gleichgerichtet ist. Nach Ablauf der Minute wird sich also das Schiff in D befinden, wo sich die zu AC und AB Gleichlaufenden BD und CD treffen. Dazwischen schwimmt das Boot weder auf der Linie AB noch AC, sondern auf der Linie AD, der Diagonalen oder Eckenlinie des schiefen

Zusammensetzung von Kräften

Rechtecks ABDC. Das Boot bewegt sich also gerade so, als ob es auf strömungslosem Seespiegel durch einen Wind von A nach D getrieben würde, und dieser Wind vermöchte daher die beiden zusammenwirkenden Bewegungen vollkommen zu ersetzen.

Zum Parallelogrammsatz



Wie wir hier die Weglängen zusammengesetzt haben, können wir auch die Schnelligkeiten (oder Geschwindigkeiten) oder auch die verschiedenen Stärken der Züge oder Schübe zusammensetzen. Ja, man kann auch Beschleunigungen, also anwachsende Geschwindigkeiten (wie beim Anfahren von Eisenbahnen), so zusammensetzen. Man nennt dieses Verfahren den *Parallelogrammsatz*, weil sich die einzelnen Wege, Geschwindigkeiten usw. so zusammensetzen wie die Seiten in einem Parallelogramm; so nennt man ein Schiefek (gewissermaßen ein schiefes Rechteck) oder besser Raute. Die Eckenlinie ist z. B. der Weg, den ein Körper befolgt, wenn zwei Züge oder Schübe auf ihn wirken. Die Eckenlinie stellt nach Stärke und Richtung auch die zusammengesetzte Kraft, die Mittelkraft oder Resultante, dar, wenn zwei Seitenkräfte (wie AB und AC) an einem Punkt unter irgendeinem Winkel zugleich angreifen.

Auf diese Weise lassen sich sogar drei oder beliebig viele gleichzeitig wirkende Kräfte zusammensetzen. Hat der Mann im Boot noch ein Steuerruder zur Verfügung, mit dem er seitlich gegen die Strömung drückt, so wirkt eine dritte Kraft, die man mit der vorhin gefundenen Eckenlinie ebenso zusammensetzen kann und damit den Punkt findet, an dem sich das Boot unter der Wirkung der drei Kräfte nach Ablauf der Minute befindet. Der Segler muß die Geschicklichkeit besitzen, das Zusammenwirken der auf sein Boot wirkenden Kräfte so abzuschätzen, daß er zum gewünschten Ziel gelangt. Auch eine vierte Kraft, etwa, wenn das Boot vom Ufer aus getreidelt würde, könnte man mit den anderen zusammensetzen, immer nach dem Parallelogrammsatz. Wer die Dinge beherrscht, kann das auch ausrechnen. Hier kommt es aber nur darauf

Drehmoment

an zu zeigen, daß man solche Aufgaben lösen und wie man es machen kann. Die Zusammensetzung von Kräften, Bewegungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen spielt in der Technik eine sehr große Rolle. Auch die Bewegungen und Geschwindigkeiten der Himmelskörper können so verfolgt und bestimmt und der Einfluß von mannigfachen Kräften festgestellt und untersucht werden. Wir kommen später darauf noch einmal zurück.



Nicht immer lassen sich Kräfte zusammensetzen. Sind zwei Kräfte gleichlaufend und entgegengesetzt, und greifen sie an einem Körper an, so kann man keine Mittelkraft bilden. Man erkennt aus dem beistehenden Bilde, daß sie die Verbindungslinie, etwa einen Stab, drehen müssen. Die Kräfte, die man ein Kräftepaar nennt, ergeben also ein Drehmoment.

Hüh und Hott benannten wir unsere Betrachtungen. Ja, auch wenn zwei Tiere nach verschiedenen Richtungen ziehen, kann man ermitteln, was dabei herauskommt. Der Mensch wird in solchen Fällen regelnd eingreifen und Hüh und Hott so lenken, daß etwas Vernünftiges dabei geleistet wird — immer nach dem Parallelogrammsatz. Er ist also schon wichtig und es war nötig, ihn kennenzulernen, wenn wir die *Bewegungen von Geschossen, Raketen oder Himmelskörpern* verstehen wollen.

WARUM BEWEGEN SICH PLANETEN UND MONDE IN KREISBAHNEN?

Wir wissen nun schon, daß sich die Erde auf einer kreisförmigen (genauer elliptischen) Bahn um die Sonne bewegt oder sich um sie herumschwingt, wie vielleicht besser zu sagen wäre. Es dauert ein Jahr, ehe sie einmal herumkommt. Den Grund für dieses Herumschwingen wollen wir gern kennenlernen, da es doch merkwürdig ist, daß die Erde gerade um die Sonne läuft und in solcher Bahn. Wie hängt das zusammen?

Wir können einen Versuch machen, der uns lehrt, daß dieses Herumschwingen nur unter bestimmten Bedingungen möglich ist. Befestigen wir einen Stein an einem Bindfaden und schwingen ihn mit der Hand herum, so daß er einen Kreis beschreibt, dann merken wir, daß wir einen Widerstand mit der Hand überwinden müssen, der, wie wir fühlen,

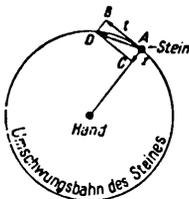
Kreisbahnen von Himmelskörpern

immer die Richtung zum Stein hat. Also muß eine Kraft in dieser Richtung wirksam sein, und diese empfinden wir um so größer, je schneller wir den Stein umschwingen. Diese Kraft müssen wir mit der Hand überwinden und stets nach dieser hinziehen. Lassen wir den Faden

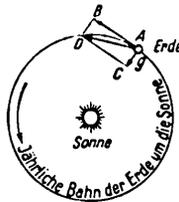


plötzlich los, so fliegt der Stein nicht etwa weiter im Kreise, sondern er bricht aus der Kreisbahn heraus und fliegt geradlinig weiter in der Richtung, die er im Augenblick des Loslassens gerade innehatte. Der Stein muß also während der Kreisbewegung, die ihm die Festigkeit des Fadens aufzwingt, zugleich auch noch die Richtung der den Kreis berührenden Geraden, der sogenannten Tangente, gehabt haben. Das ist keineswegs verwunderlich, denn die Hand selbst hat dem Stein doch zu Anfang den Schwung gegeben.

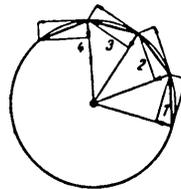
Zeichnen wir uns das schematisch auf, so ergibt sich das beistehende Bild. An dem Stein greifen zwei Kräfte zugleich an, eine mit z bezeichnete in Richtung zur Hand hin, die man die Zentripetalkraft nennt, eine



Die Kräfte und ihre Zusammensetzung bei einer Schleuder in Kreisbewegung



Die Kräfte und ihre Zusammensetzung beim Umlauf der Erde um die Sonne



Wie die kreisförmige Erdbahn entsteht

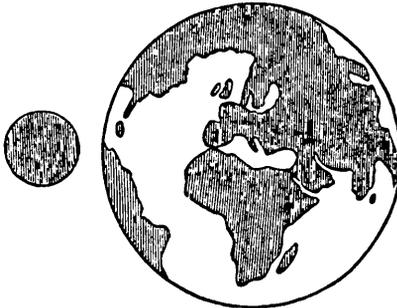
andere t in tangentialer Richtung. Die Zentripetalkraft zwingt den Stein, in der Kreisbahn zu laufen. Dabei steht der Faden ständig unter Spannung, die bei stärkerem Umschwingen so groß werden kann, daß der Faden reißt. An dem Faden zerren also eigentlich zwei Kräfte, eine zur Hand hin, die Zentripetalkraft, und eine zweite genau entgegengesetzt gerichtete, von der Hand weg. Diese zweite heißt die Zentrifugalkraft oder Fliehkraft, weil sie dem Zentrum, das ist hier die Hand, zu entfliehen bestrebt ist. Wir fühlen sie als Zug des Fadens zum Stein hin.

Sie wird im Faden kompensiert (ausgeglichen), während die Zentripetalkraft am umschwingenden Stein angreift. Setzt man t und z nach dem Parallelogrammsatz zusammen, wie wir das vorhin kennenlernten, so findet man, daß der Stein unter Einwirkung beider Kräfte weder nach B noch nach C , sondern nach D kommen muß (Parallelogrammsatz).

Ganz ähnlich ist es im Sonnensystem. Zwischen Sonne und Erde ist die allgemeine Massenanziehung g wirksam; sie ersetzt den Faden im eben beschriebenen Beispiel mit dem umschwingenden Stein. Woher die Erde den Schwung bekommen hat, wissen wir nicht. Jedenfalls ist er vorhanden. Das Zusammenwirken von Anziehung und Schwung zwingt die Erde in die Kreisbahn.

Im dritten Bilde sind die aufeinanderfolgenden Schritte der Erde 1, 2, 3, 4 usw. nach unseren Darlegungen eingezeichnet. Natürlich folgen sie nicht so grob, wie hier der Deutlichkeit halber gezeichnet, sondern von Ort zu Ort, so daß keine Ecken in der Kreisbahn der Erde entstehen. Diese ist vielmehr eine völlig gerundete Kurve wie der eingezeichnete Kreis selber.

Fiele in diesem Sonnensystem die Anziehung plötzlich weg, so flöge die Erde in tangentialer Richtung in den Weltraum hinaus, wie der Stein aus der runden Bahn fliegt, wenn der Faden reißt. Fiele der Schwung der Erde weg, so stände sie still. Da dann nur die Anziehung zwischen Sonne und Erde wirksam bliebe, stürzte die Erde geradenwegs in die Sonne.



*Größenverhältnisse
von Erde und Mond*

Das ist zweifellos recht aufklärend und man sieht, warum wir uns zuerst mit dem Parallelogrammsatz beschäftigen mußten.

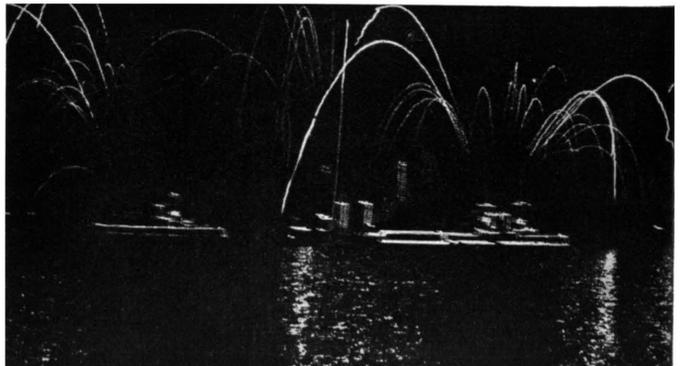
Ebensolche Verhältnisse wie zwischen Sonne und Erde bestehen zwischen der Erde und dem Monde. In diesem Erde-Mond-System ist die Erde Zentralkörper und zwingt den Mond in ihren Bann. Dieser läuft in etwa 28 Tagen einmal um die Erde. Anziehung und Schwung halten sich auch



Maßstäbliche Verkleinerung der Bahnen der äußeren Planeten auf europäische Verhältnisse.

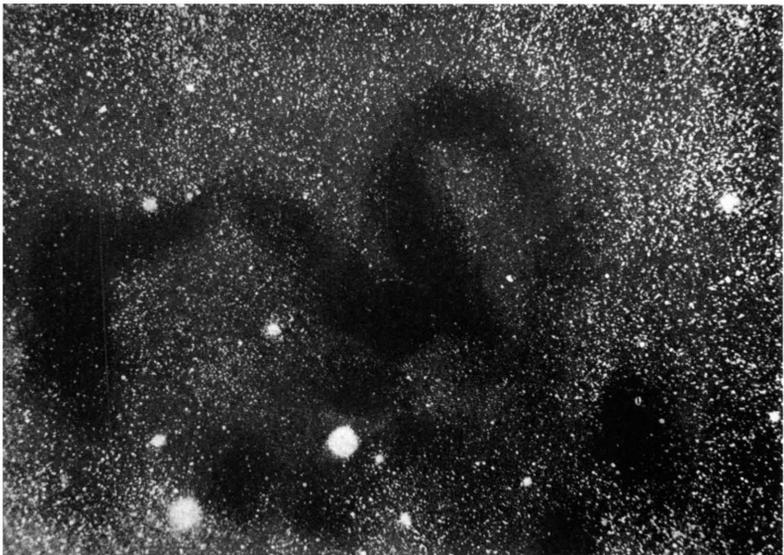
— Jupiterbahn, - - - Saturnbahn, — · — Uranusbahn, — · — · — Neptunbahn,
 · · · · · Plutobahn. Die Städtenamen der durchlaufenden Orte sind: 1 Guben, 2 Kottbus, 3 Burg,
 4 Stendal, 5 Stettin, 6 Soldin, 7 Dessau, 8 Braunschweig, 9 Stralsund, 10 Görlitz, 11 Chemnitz,
 12 Würzburg, 13 Lodz, 14 Brünn, 15 Graz, 16 Straßburg, 17 Haag, 18 Frederikshavn, 19 Lublin,
 20 Norwich

Leuchtraketen schießen von Kriegsschiffen. Die fotografischen Leuchtpuren machen den Eindruck von Parabeln, da sie steil sind





Zur Orientierung bei der Raketenfahrt. Sieht man die Erde zu groß, so ist man noch zu nahe; die Fahrtgeschwindigkeit war zu gering, und der Raumschiffer muß seine Rakete beschleunigen. Erscheint die Erde zu klein, so ist man schon zu weit und muß abbremsen. Links ist die berechnete Stellung, rechts steht die Erde zu weit westlich. Die Größe der Verschiebung zeigt den Fahrtfehler an, der durch Richtschüsse berichtigt werden muß.



S-förmiger Dunkelnebel im Schlangenträger

Die Baustelle für den künstlichen Mond

in diesem System das Gleichgewicht, und die Bahn ist gleichfalls kreisförmig (genauer elliptisch). Noch besser: Erde und Mond drehen sich um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Da die Erdmasse 81 mal so groß ist wie die Mondmasse, liegt trotz der erheblichen Entfernung beider Weltkörper voneinander (384 400 km) der gemeinsame Schwerpunkt noch innerhalb der Erde, und zwar um $\frac{1}{4}$ des Erddurchmessers vom Erdmittelpunkt entfernt. Um diesen beschreibt die Erde einen kleinen, der Mond einen großen Kreis. Wir werden ähnliches beim künstlichen Mond (S. 50) wiederfinden.

Es sei ausdrücklich hervorgehoben, daß alle Naturgesetze nicht bloß auf der Erde oder im Sonnensystem gelten, sondern im ganzen Universum (dem Weltraum). Überall in der Welt sind sie die gleichen, wohin wir auch unsere wissenschaftlichen Feststellungen bisher richteten. Das ist durchaus verständlich. Es läßt aber auch weitgehende Schlüsse in bezug auf den Kosmos (Weltall) zu.

DIE BAUSTELLE FÜR DEN KÜNSTLICHEN MOND

Was von unserem guten alten Monde gilt, gilt mechanisch ebenso von einem künstlich aufzubauenden Mond. Auch dieser muß um die Erde laufen, und zwar mit einer Geschwindigkeit, die seiner Entfernung von der Erde entspricht. In nur 1000 km Abstand muß er schneller laufen, als wenn er in 100 000 km Entfernung die Erde umkreiste.

Dieser Mond muß, wenn seine Bahn ständig und gesichert sein soll, so schnell laufen wie nötig ist, um dem Absturz auf die Erde gerade zu entkommen. Solche umlaufenden Trabantenkörper eilen also mit ihrem Absturz um die Wette. Die richtige Geschwindigkeit hat er immer dann, wenn sich Anziehung und Fliehkraft genau die Waage halten. Bei dem umschwingenden Stein ist das der Fall, wenn der Faden gerade gespannt ist.

Wir haben nun herausbekommen, warum ein künstlicher Mond unbedingt um die Erde laufen muß und nicht frei und unbewegt im Weltraum schweben kann. Und die Baustelle befindet sich irgendwo im freien Weltraum dort, wo die Anziehungskraft der Erde noch mächtig genug ist, den künstlichen Mond in ihrem Anziehungsbereich in eine geschlossene Bahn um die Erde zu zwingen. In welcher Entfernung von der Erde, ist eine praktische Frage.

Wie der künstliche Mond, so schweben mit ihm auch alle Einzelgegenstände in, um und an ihm frei und in gleicher Bahn um die Erde. Das heißt eben, daß auch die größten Konstruktionen und Konstruktionsteile frei schweben und leicht zu handhaben sind. Die Arbeiter, die sie zusammenfügen und

Der künstliche Mond

-stellen, haben leichtes Arbeiten, denn ein „Gewicht“ gibt es dort nicht, da alle Kräfte im freien Umschwung um die Erde kompensiert (ausgeglichen) sind. — Schwierig ist hingegen, die Baustoffe und Konstruktions-
teile von der Erde heranzuschaffen, denn das muß mittels Raketen bewerkstelligt werden, und diese müssen sie gegen ihre Erdschwere, ihr großes Gewicht, bis zum künstlichen Mond emporheben und ihnen zugleich die Umschwungsgeschwindigkeit in der Bahn des künstlichen Mondes erteilen. Doch davon später.

Es ist nicht allzu schwierig, so ziemlich beliebig viele Stellen im Weltall anzugeben, wohin man einen künstlichen Mond setzen kann. Wir haben dadurch die Möglichkeit, ihn dahin zu setzen, wo wir ihn am zweckmäßigsten brauchen. Ja, wir werden später auch noch die Möglichkeit erkennen, ihn jederzeit woanders hin in eine stabile Lage zu dirigieren, wenn sich das fortan oder auch nur zeitweilig als vorteilhaft und zweckmäßig erweisen sollte. Bedingung für das sichere Bestehen eines solchen künstlichen Mondes ist nur, daß seine Entfernung von der Erde und seine Umlaufgeschwindigkeit um diese so abgestimmt sind, daß sich Anziehung und Fliehkraft die Waage halten.

Wie nun die Astronomen dem Monde und den Planeten, ja den Sternen im fernsten Weltraum nachrechnen, welchen Schwung sie besitzen und welchen Anziehungen sie unterliegen, und wie das alles ganz genau stimmt (so genau, daß man in einem Falle, wo es um $\frac{1}{10}$ Sekunde im Jahre nicht stimmte, etwas Neues entdeckte, was man bisher noch nicht wußte), so ist es verhältnismäßig sehr leicht, diese Angaben für einen künstlichen Mond zu machen. Wir brauchen jetzt also bloß das Baumaterial zu „nehmen“, es an der betreffenden Stelle im Weltraum aufzubauen, und der künstliche Mond ist fertig.

Die Leser werden vielleicht über dieses einfache Rezept lachen. Es hat ja nicht einmal die Länge eines Kochbuchrezeptes. Aber genau so, wie ich es beschrieben habe, kann es gemacht werden und wird es gemacht werden! Ich stelle den Lesern in Aussicht, sie im folgenden davon noch genauer zu unterrichten und zu überzeugen.

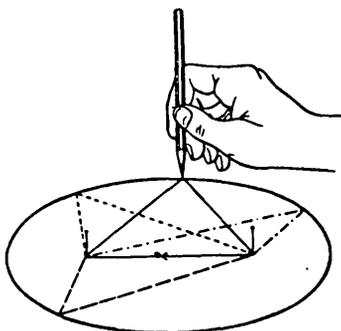
Bauen wir also zuerst einmal in einigen tausend Kilometern Entfernung von der Erde unseren künstlichen Mond auf, damit wir von dort aus die Fahrten ins Weltall unternehmen können, die uns mit Hilfe der Rakete für die nächsten Jahrzehnte schon versprochen werden.

Bauten gewisser Größe und Stabilität stellt man zweckmäßig wohl aus Metall her. Wir würden also, falls nichts anderes dagegen spricht, falls nicht etwa ein leichteres Metall benutzt wird, den künstlichen Mond aus Blech herstellen, etwa nichtrostendem Stahl oder Aluminium oder vielleicht sogar noch aus einem anderen Metall, das gerade in der merkwürdigen physikalischen Umwelt jener Gegend vorteilhafte Eigenschaften besitzt.

Die Keplersche Ellipse

DIE KEPLERSCHE ELLIPSE

Vielleicht haben manche Leser in der Schule von ihr gehört und wissen, daß Johannes Kepler die kopernikanischen Kreisbewegungen der Planeten um die Sonne durch Ellipsen ersetzt und deren Eigenschaften angegeben hat. Davon müssen wir noch sprechen. Auch wir vermerken schon bei der Erläuterung der Kreisbewegung, daß strenger genommen die Planeten- und Mondbahnen Ellipsen seien, keine Kreise. Eine Ellipse sieht aus wie ein gequetschter Kreis. Man kann eine Ellipse zeichnen, indem man einen geschlossenen Faden um zwei Stecknadeln legt und einen Bleistift, den Faden nach außen spannend, herumführt. Die beiden Stecknadeln spielen die Rolle der Brennpunkte der Ellipse.



Zeichnen einer Ellipse: Ein um zwei Stecknadeln geschlungener Faden wird von der Spitze eines Bleistifts herumgeführt. Die Spur des Bleistifts ergibt eine Ellipse. Die beiden Stecknadeln bezeichnen die beiden Brennpunkte der Ellipse



Johannes Kepler

Alle Planetenbahnen sind Ellipsen, der eine der beiden Brennpunkte ist der Ort der Sonne. Auch die Monde (Trabanten) umlaufen ihre Planeten in Ellipsen. Der Planet steht in einem der Brennpunkte der elliptischen Mondbahn. Warum die Planetenbahnen Ellipsen sind, das zu erklären, würde etwas zu weit führen. Für das Verständnis der Zentralbewegungen von Himmelskörpern ist das auch nicht unbedingt nötig, zudem sind diese Ellipsen für die Planeten und Monde alle fast genaue Kreise. Wer das kennenlernen will, muß sich unter Zuhilfenahme astronomischer Bücher eingehender mit diesen Fragen befassen.

Wir nannten die elliptischen Bahnen der Planeten und der Monde „Keplersche“ Ellipsen. Sie heißen so nach dem großen deutschen Astronomen

Oben, Unten, Schwere in Raketen

Johannes Kepler, der diese Bahnen als Ellipsen beschrieb und die drei großen Gesetze im Sonnensystem entdeckte. Aus ihnen heraus entwickelte *Isaac Newton* die allgemeine Massenanziehung als universelles Weltgesetz. Diese Entdeckungen schufen die Grundlage für die Himmelsmechanik, die von deutschen, französischen und englischen Forschern unter ungeheurem wissenschaftlichen, namentlich mathematischem Aufwand als eines der kunstvollsten Lehrgebäude der Wissenschaft entwickelt wurde.

KANN MAN IN EINER FREI FLIEGENDEN RAKETE GEHEN, SITZEN, LIEGEN?

So viel wissen die meisten wohl schon, daß man im freien Weltraum in einem Raketenkörper reisen wird, der einer Schiffskabine nicht unähnlich sein dürfte. Sie wird von der Erde oder einem künstlichen Mond aus abgelassen (ich sage nicht „abgeschossen“, um von vornherein falsche Vorstellungen auszuschneiden). Das Anfahren oder Starten wird nicht ganz so sanft vonstatten gehen wie in einer Eisenbahn, es wird vielmehr einem schnellen anhüpfenden Automobil ähneln, deshalb einen Ruck geben und angesichts der Schnelligkeit des Anlaufs einen ziemlich starken Druck auf den Körper des Reisenden ausüben. Selbstverständlich läßt sich das alles durch federnde Polster und bestimmte Stellungen oder Lagen des Körpers außerordentlich mildern. Aber ein starker Druck wird eine zeitlang den Körper belasten, bis die Rakete die erforderliche Geschwindigkeit erlangt hat, und der Antrieb von den Düsen der Brennkammer her aufhört. Dann aber treten neue und ganz ungewohnte Verhältnisse ein. Die Rakete mitsamt ihrem Inhalt bewegt sich unter dem Einfluß der Anziehungs- und Schleuderkräfte wie ein Himmelskörper, für den es kein Oben oder Unten gibt. Von einer „Schwere“, die sie „nach unten“ zieht, ist nichts mehr zu spüren. Deshalb könnten die Reisenden in der Rakete nicht auf dem Fußboden gehen. Jeder Schritt stieße sie vom Boden ab, und sie landeten an der entgegengesetzten Begrenzung ihrer Kabine, also der ehemaligen Decke. Das haben wir ja schon bei unseren bisherigen Betrachtungen gelernt.

Man darf vor allem nicht denken, daß die Raketenreisenden einem Zuge in der Flugrichtung unterliegen. Auch dieser Zug ist während des Schwebens in einer Keplerschen Bahn um einen Zentralkörper ausgeglichen. Der im Weltraum Schwebende merkt überhaupt gar nicht, ob er sich bewegt oder ob er ruht, ebenso wenig wie man auf der Erde merkt, mit welcher Geschwindigkeit man sich um die Erdachse schwingt. Man hat ja auch in diesem Falle immer die Empfindung, daß man ruhe und

Bewegung der Weltraumfahrer in Raketen

Sonne, Mond und Gestirne sich bewegen. Die Menschheit hat Jahrtausende lang dieses Empfinden für Wahrheit gehalten, und der naive Mensch glaubt das noch immer. Erst Kopernikus hat in diese Anschauungsweise Bresche geschlagen und uns gelehrt, daß die Erde sich um die Sonne schwingt, und daß die tägliche Bewegung aller Gestirne um die Erde nichts anderes ist als Schein. Die Erde dreht sich täglich einmal um ihre Achse. Wir Erdenbewohner, für die die Erde den größten Teil der sichtbaren Welt bildet, haben trotzdem den Eindruck der sich um uns drehenden Sternsphäre.

So verstehen wir nun auch, daß man in der Rakete bei jedem Schritt nach vorn zu stürzen droht. Jeder in einer Rakete Gehende würde sich, je nachdem sein Abstoß vom Fußboden zustande kam, vielleicht auch überschlagen oder drehen und erst wieder durch Festhalten an einer Wand sich so richten können, wie er es wünscht. Wollen Raketenreisende also ruhig liegen und ausruhen, ohne sich durch eine beliebige Bewegung in den kuriosesten Körperstellungen immer durch den Raum der Kabine schweben zu sehen und irgendwo anzustoßen, so werden sie sich auf ihrem Lager oder auf einem Sitz anschnallen.

Will man sich in der Raketenkabine in bestimmter Weise oder Richtung bewegen, so ist das gar nicht anders möglich, als sich an den Haltern, Griffen, Stangen, Gurten oder ähnlichen Gegenständen entlang zu ziehen. Bewegte man nämlich irgendein Körperteil willkürlich, so reagierte sogleich der ganze Körper in entgegengesetzter und unkontrollierbarer Weise darauf. Es ergäbe die kuriosesten Situationen, und man wäre nie Herr seiner Lage oder seiner Bewegungen. Deshalb braucht man die Halter, deren Gebrauch jedoch nur sehr geringe Mühe erforderte. Die dazu nötige Kraftanstrengung wäre lächerlich klein, weil der Körper ja nicht schwer ist, und weil weder die Beine noch der Rumpf etwas zu tragen oder steif zu halten haben. Man könnte also im Stehen ebenso gut und ohne Anstrengung schlafen wie im Sitzen oder im Schweben.

Natürlich überträgt sich jede Bewegung der Reisenden in der Kabine auch auf die ganze Rakete, so daß sich die Richtung des Augenblicks aus einem Raketenfenster dabei sofort stark änderte. Will man eine bestimmte Blickrichtung beibehalten, so muß man sich absolut ruhig verhalten. Das sind merkwürdige Verhältnisse, die man alle erst einmal richtig durchdenken muß, um sich eine klare Vorstellung von dem Leben eines Weltraumfahrers machen zu können (siehe hierzu auch S. 207).

Diese Verhältnisse sind für das wissenschaftliche Arbeiten in einer Rakete überaus wichtig; sie dürfen nicht unterschätzt werden. Sie lassen den Leser erkennen, welches Maß von Vorkehrungen getroffen werden muß, um die neuen Verhältnisse zu beherrschen und sie nützlich zu verwenden.

DAS WELTALL IST SCHWARZ!

Der Ausblick aus der Kabine eines Weltraumfahrzeugs in den freien Weltraum gleicht dem Anblick des freien Himmels auf der Erde in einer sehr finsternen Nacht ohne Mondschein, etwa in einer weiten Wüste, die durch keine künstliche Beleuchtung erhellt ist. Die Sterne strahlen jedoch noch viel heller, weil keine lichtzerstreuende Atmosphäre ihren Anblick hindert, den Raum nicht im geringsten erhellt oder die Durchsicht trübt. Ist das Kabinenfenster der Sonne zugewendet, so erhellt sie die Kabine ganz. Denn diese ist ja mit lichtzerstreuender Luft angefüllt, und die Wände reflektieren, namentlich wenn sie hell gehalten sind, den einfallenden Sonnenlichtstrom nach allen Richtungen.

Anders ist es außerhalb der Kammer, im freien Weltraum. Dort herrscht überall tiefstes, schwarzes Dunkel, so weit nicht irgendein Körper von der Sonne direkt beschienen wird. Überall waltet dort tiefschwarze Nacht, obwohl die Sonne ununterbrochen scheint. Dieses Dunkel herrscht sogar schon unmittelbar neben dem Feuerball der Sonne. Der gesamte Himmel ist mit Ausnahme der Sterne völlig schwarz, im Gegensatz zum Himmel, den wir von der Erde aus sehen. Dieser erscheint uns bekanntlich blau — wenn keine Wolken ihn bedecken.

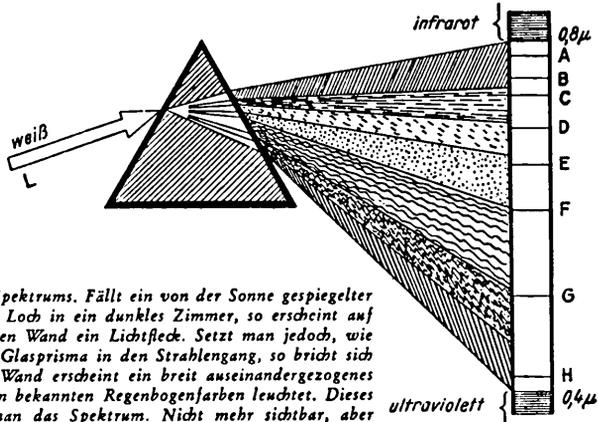
WOHER KOMMT DIE BLAUE UNSERES HIMMELS?

Die irdische Atmosphäre ist nicht bloß ein Gemisch von mehreren verschiedenen Gasen, sondern in ihr schweben auch unzählige feste Staubteilchen, Eiskriställchen, flüssige Partikelchen (Teilchen), Wasserdampfbläschen, Wassertröpfchen, Wasserdampf. Alle diese Teilchen werden vom hereinstrahlenden Sonnenlicht getroffen, und an jedem bricht, beugt und zerstreut sich die Sonnenstrahlung. Nun wissen wir, daß das weiße Sonnenlicht aus allen möglichen einfachen reinen Farben zusammengesetzt ist. Wir sehen das, wenn wir Sonnenlicht auf ein Prisma fallen lassen. Hinter diesem erscheinen die Farben des Regenbogenbandes Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett. Und bei genauer Untersuchung finden wir jenseits des roten Lichts noch ein dem Auge unsichtbares ultrarotes, jenseits des violetten noch ein ultraviolettes Licht. Das Licht besteht aus wellenförmigen Schwingungen, von denen die roten Strahlen die langen Wellen (0,77 tausendstel Millimeter = $0,77 \mu$), die violetten die kurzen (0,4 tausendstel Millimeter) bilden.

Man spricht deshalb von langwelligem und kurzwelligem Licht. Die langwelligeren Strahlen unterliegen der Zerstreung (Diffusion) sehr viel stärker als die kurzwelligeren. Die von der Sonne kommende Lichtstrahlung wird in der Atmosphäre durch die erwärmten Teilchen gewisser-

Die Bläue des Himmels

maßen gesiebt. Die langen Wellen von rot bis grün werden in der Luft verschluckt, wohingegen hauptsächlich die kurzwelligigen blauen und violetten Strahlen übrigbleiben und von uns wahrgenommen werden. Deshalb erscheint uns der Himmel blau. Das reine Blau wird bei starker



Die Entstehung des Spektrums. Fällt ein von der Sonne gespiegelter Lichtstrahl durch ein Loch in ein dunkles Zimmer, so erscheint auf der gegenüberliegenden Wand ein Lichtfleck. Setzt man jedoch, wie in diesem Bilde, ein Glasprisma in den Strahlengang, so bricht sich dieser, und auf der Wand erscheint ein breit auseinandergezogenes Lichtband, das in den bekannten Regenbogenfarben leuchtet. Dieses Farbenband nennt man das Spektrum. Nicht mehr sichtbar, gibt es dennoch mit Leuchtschirm bemerkbar, gibt es jenseits des Violetts noch ein Ultraviolett; jenseits des Roten auf der anderen Seite des Spektrums läßt sich noch ein Infra- oder Ultrarot nachweisen

Helligkeit des Himmels, d. h. bei hohem Stande der Sonne und niedriger geographischer Breite (im Tropengürtel der Erde) himmelblau, bei schwacher Helligkeit des Himmels (in Bergeshöhen und bei hoher geographischer Breite, also in den Polarzonen und in höheren gemäßigten Breiten) indigofarben. In der Meeresnähe entsteht infolge der Rückstrahlung (Reflexion) vom heller blauen Wasserspiegel eine hellere Blaufarbe.

Im freien Weltraum liegen die Verhältnisse ganz anders. Dort gibt es keine Luft und daher auch keine darin schwebenden, trübenden, brechenden und beugenden Teilchen. Das Sonnenlicht strömt frei hindurch, wird nicht gebrochen und zerstreut und hinterläßt im Raum keinerlei leuchtende Bestandteile, so daß also der Himmel völlig unerleuchtet, eben schwarz erscheinen muß.

Der Glanz der Sonne wie des Mondes und aller Sterne ist von einem künstlichen Monde aus betrachtet daher unvergleichlich viel prächtiger als von der Erde aus. Denn von hier aus sehen wir diesen Himmelskörper

Das Funkeln der Sterne

immer durch die mehr oder weniger trübe Atmosphäre, die einen großen Teil des Glanzes wegnimmt. Der Unterschied mag derselbe sein, als wenn man einen geschliffenen Diamanten und einen gleichen Glasschliff betrachtet. Wer nur einmal beide miteinander verglichen hat, wird sich in der Beurteilung eines Diamanten nie mehr täuschen.

Eine andere Erscheinung, die wir auf der Erde bemerken, fehlt im freien Weltraum völlig, nämlich das Funkeln der Sterne.

WARUM FUNKELN DIE STERNE?

Das Funkeln der Sterne, das unserem Himmel oft den wunderbaren Reiz verleiht, als sei er ein schwarzer, samtener mit Diamanten übersäter Teppich, ist eine Erscheinung, die allein auf die Erdatmosphäre zurückzuführen ist. Sternfunkeln entsteht und hat dieselbe Ursache wie das Flimmern, das wir alle aus der Natur her kennen. Ein entfernter, niedrig stehender Gegenstand erscheint an einem heißen Sommertage meist zitternd; seine Umrisse sind nicht scharf, sondern wallen hin und her. Nehmen wir ein Fernrohr zur Hand und betrachten diesen Gegenstand dadurch, so wird diese Unruhe noch größer, und nicht selten sehen wir dann den Gegenstand noch undeutlicher als mit dem bloßen Auge; der Nutzen des Fernrohrs verkehrt sich in solchem Falle in sein Gegenteil. Das Flimmern kommt dadurch zustande, daß sich die Luft an dem von der Sonne stark bestrahlten Erdboden erwärmt, aufsteigt und sich mit der überliegenden kühleren Luft mischt. Die durch diese wallende, siedende Atmosphäre hindurchstrahlenden Lichtstrahlen werden dauernd verschieden gebrochen und von ihrem Wege abgelenkt, so daß das Gesamtbild des Gegenstandes in seinen einzelnen Teilen immerwährend schwankt und keinen scharfen Eindruck im Auge aufkommen läßt. (Die Fata Morgana kommt ganz ähnlich zustande.)

Dieselbe Erscheinung tritt in der Dämmerung und nachts auf, denn auch dann mischen sich verschieden warme Luftmengen. Die Erscheinung ist überhaupt stark örtlich bedingt und in verschiedenen Gegenden ganz verschieden. Das die Erdatmosphäre durchsetzende Licht der Sterne unterliegt den Brechungen der sich mischenden und kreuzenden Luftströmungen der übereinanderliegenden Luftschichten. Der Stern erscheint deshalb dem betrachtenden Auge nicht ruhig, sondern als unruhiger glitzernder Lichtpunkt, der um so glänzender funkelt, je heller er ist.

Mit dem Fernrohr betrachtet, ändert sich das Bild. Der Stern erscheint, je stärkere Vergrößerung man anwendet, um so verwaschener, nebliger, wallender, unschärfer und kann nur schlecht beobachtet werden. Bei solchen Beobachtungen kommt es fast immer darauf an, den Stern scharf und klar zu sehen, als scharfen kleinen Lichtpunkt, um seinen Ort am

Atemluft in der Raketenkabine

Himmel möglichst genau ausmessen zu können. Wallt das Bild des Sternes aber und erscheint es nicht als Punkt, sondern als undeutlicher Fleck, so wird seine Ortsbestimmung ungenau. Das wird um so schlimmer, je mehr sein Bild vergrößert wird und in einem um so größeren Fernrohr man ihn betrachtet. Je größer nämlich die Fernrohröffnung ist, d. h. die dem Gegenstande (Objekt) zugewendete Linse (das deshalb so genannte Objektiv), ein desto dickeres Lichtstrahlenbündel wird von dem Objektiv erfaßt. Größere Teile der Atmosphäre aber sind viel seltener gleichmäßig als kleinere. Aus diesem Grunde sind die erzeugten Bilder ungleichmäßiger, wallender und unschärfer, als die mit kleinem Fernrohr und geringeren Vergrößerungen.

Wo im freien Weltraum keine Atmosphäre ist, kann auch kein Stern mehr funkeln. Dafür ist das Licht der Sterne völlig klar und scharf, ich möchte sagen stechend, und von auf der Erde unbekanntem, stillem Glanz, was durch die vollkommene Schwärze des Himmels im Kontrast (Gegensatz) noch verstärkt wird. Für die Genauigkeit astronomischer Beobachtungen ist das von unschätzbarem Wert. Wir werden später noch einmal darauf zurückkommen (S. 233).

DIE WELTRAUMFAHRER BRAUCHEN ATEMLUFT UND LUFTDRUCK

*Beim ersten Schritt aus diesem Zimmer
Tauchen sich zwanzig Degenspitzen euch ins Herz*

läßt Schiller *Adelma* in *Turandot* sagen. Dieser Schritt bedeutet also den Tod. Und ebenso bedeutet es den Tod, im freien Weltraum einen Schritt zur Rakete hinauszutun, denn dort gibt es keine Atemluft und keinen Luftdruck. Der Raum zwischen den Sternen und auch der zwischen Erde und Mond ist leer und enthält (außer in den Weltnebeln) weder Gase noch Atemluft. Diese braucht man jedoch zum Atmen unbedingt. Raketenfahrer müssen deshalb Luft mitnehmen. Ihre Kabine muß luftdicht abgeschlossen sein, die Luft muß in der Kabine einen Druck von fast einer Atmosphäre haben und darf nicht entweichen. Der Luftmantel der Erde ist so hoch, daß er an seinem Grunde, wo wir leben, 1 Kilogramm je Quadratzentimeter wiegt, mit anderen Worten: daß er einen Druck von etwa 1 kg auf den cm^2 Erdoberfläche ausübt. Das nennen wir im technischen Maßsystem eine Atmosphäre.

Luft brauchen die Reisenden nicht bloß zum Atmen, sondern sie brauchen auch den *Druck* der Luft, denn unser Körper ist diesem Druck angepaßt. Wäre er nicht vorhanden, so strömte das Blut durch Augen, Nase, Mund, alle Körperöffnungen und durch die Poren der Haut aus dem Körper

heraus. Aus Mangel an Luft und Luftdruck würden die Menschen zugrunde gehen.

Das Mitnehmen von Luft genügt aber nicht, denn die Atmung verbraucht die Luft. Sie muß namentlich durch Zufuhr von Sauerstoff, der ja das eigentliche Lebelement der Luft für Menschen und Tiere ist, immer wieder ergänzt, erneuert, regeneriert (wieder aufgefrischt) werden. Aufgaben dieser Art erfüllen wir seit langem in Unterseebooten, Flugzeugen, Bergwerken, bei „Arbeiten vor dem Schilde“ — wie man Arbeiten in offenen, von hydraulischen Pressen im Erdreich vorgetriebenen Rohren unter innerem Überdruck nennt. Man muß bei diesen immer Sand- (fließend) und Wassereinbrüche befürchten und daher die Arbeitskammer unter den Überdruck mehrerer Atmosphären als Gegendruck setzen. Der innere Luftüberdruck verhindert, daß sich ein solches Rohr plötzlich ganz mit hereinstürzendem Sand oder Wasser füllt und die Arbeiter gefährdet. Lufterneuerung (Luftregeneration) auf Wochen oder Monate muß man allerdings erst noch meistern lernen. Man dürfte sich dabei vielleicht im wesentlichen auf flüssige Luft stützen, die man in verhältnismäßig kleinen wärmeisolierten Behältern in großer Menge von der Erde aus mitnehmen kann. Man wird gesondert auch flüssigen Sauerstoff mitnehmen. Die Regeneration der verbrauchten Luft ist im wesentlichen eine Anreicherung mit Sauerstoff und eine Bindung der eingeatmeten Kohlensäure. Das sind keine unlösbaren technischen Aufgaben. Übrigens enthält flüssige Luft viel mehr Sauerstoff als die atmosphärische Luft, weil bei dem Verfahren zur Verflüssigung der Stickstoff schwieriger flüssig wird als der Sauerstoff und leichter als dieser verdampft. Flüssige Luft ist 191° unter Null kalt.

DER MENSCH LEBT VON DER LUFT!

*Ihr Menschen klaget für und für,
Ihr könntet von der Luft nicht leben.
Seht dort das Wundermännchen schweben!
Das lebt von ihr.*

Ernst Langbein, ein preußischer Zensor, mit der in diesem Beruf äußerst seltenen Gabe des Witzes, bekannt geworden durch seine launigen, poetischen Erzählungen in Balladenform und durch seine komischen Romane, hat einstmals diese Verse geschrieben. Er meinte damit, der Veranstalter von Schauflügen — damals mit einem Luftballon — konnte gewissermaßen von der Luft leben. Daß wir aber auch in anderem Sinne von ihr leben, ja ohne sie gar nicht existieren können, haben wir vorhin wohl kennengelernt. Es sei ergänzt, daß es überhaupt kein so wichtiges Lebelement gibt wie die Luft. Essen und Trinken können wir verhältnis-

mäßig lange aussetzen. Hungerkünstler haben schon Wochen — ja beinahe monatelang — ohne zu essen gelebt. Mit dem Trinken ist es schon dringlicher. Eine Woche ohne Flüssigkeitseinnahme dürfte für den Menschen bereits tödlich sein. Wie aber ist es mit der Luft?

Die Haifischjäger, die ohne Tauchgeräte unter Wasser schwimmen und jagen, haben uns erzählt, daß sie nach langem Training (Abriechung durch Üben) imstande seien, drei bis höchstens fünf Minuten ohne zu atmen auszuhalten, dann aber wieder Luft schöpfen müssen. Es bestätigt sich also, daß die Luft das allerdringlichste Lebenslement ist und daß wir mehr als von allem anderen gerade „von der Luft leben“.

Aber auch noch in anderem Sinne brauchen wir die Luft notwendig. Die Luft ist Erhalterin und Verteilerin der Wärme und nimmt Einfluß auf vieles, was uns ohne weiteres gar nicht erkennbar ist. Darauf wollen wir nun etwas näher eingehen.

Der sich von der Rakete in den freien Raum Hinausbegebende braucht gleichfalls Atemluft. Als technisches Mittel schlug Gail Taucheranzüge aus Gummi vor, die den zur Rakete Hinausschwebenden gegen die Gefahr des Erstickens schützen sollen. Er dachte dabei an die Gummianzüge der Wassertaucher. Aber dort liegen die Verhältnisse doch ganz anders. Dort drückt etwas auf den Menschen von außen, die Umgebungstemperaturen aber sind die dem Menschen auch sonst gewohnten. Im freien Weltraum hingegen besteht kein Luftdruck, ja es fehlt sogar der dem Menschen nötige Druck von etwa einer Atmosphäre, dem die Körperkonstitution (Körperbeschaffenheit nach allen Erfordernissen und Eigenschaften) angepaßt ist und ohne den kein Mensch bestehen kann. Er muß also künstlich um den Menschen geschaffen werden, und darum wird man diesen zweckmäßig wohl mit einer Hülle umgeben, in der ein solcher Druck herrscht und in die hinein frische Luft geschafft und aus der die verbrauchte irgendwie abgeführt wird. Dazu der Schlauch mit der Doppelleitung, der jeden außerhalb der Rakete oder des künstlichen Mondes Freischwebenden an deren Luftraum anschließt. Es ist nahelegend, für die Hülle einen Gummianzug vorzusehen. Aber ist das auch richtig?

Eine Gefährdung liegt nämlich in den Temperaturen, denen der Weltraumschwebende ausgesetzt ist. Wir wissen, daß die Sonne unablässig scheint und ihre Wärme, wenn sie sich nicht im Schatten befinden, auf die beschienenen Körper entläßt. Was das heißt, kennen wir von der Erde her schon. Es ist für Weiße unmöglich, in den Tropen ohne Kopfbedeckung ständig in der Sonne zu bleiben, obwohl die umgebende Luft einen großen Teil dieser Wärme vom Körper wieder wegführt. Die Temperaturen werden eben schon zu hoch, als daß sie unser Organismus zu ertragen vermag. Wie ist das im freien Weltraum? Man hört immer:

IM WELTRAUM SEI ES UNBÄNDIG KALT

Die Temperatur sei gleich der des absoluten Nullpunktes, die nach den Angaben unserer Thermometer bei -273° läge. Das ist jedoch falsch. Im freien Weltraum, wo keine Atmosphäre vorhanden ist, kann man von einer Temperatur recht eigentlich gar nicht sprechen, der Begriff verliert seinen Sinn. Denn Wärme ist Bewegung der Stoffmoleküle (mechanische Wärmetheorie). Wo aber kein Stoff vorhanden ist, können sich keine Moleküle bewegen, also keine Wärme vorhanden und damit auch keine Temperatur feststellbar sein.

Auf der Erde wird die Temperatur durch unsere Atmosphäre bestimmt. Ist die kalt, so sagen wir, wir hätten niedrige, ist sie warm, so hohe Temperatur. Die Atmosphäre erhält ihre Temperatur wieder durch die Erdoberfläche. Auf diese strahlt die Sonne ihre Wärme ein, und die umgebende Lufthülle erwärmt sich an ihr durch Konvektion, d. h. die Luft wärmt sich an der Erdoberfläche, steigt, weil sie sich durch die Erwärmung ausdehnt, hoch und erwärmt andere Luftschichten, bis die ganze Atmosphäre weitgehend durchwärmt ist, die am Boden liegende Luft mehr als die in höheren Schichten. Wir messen die Außentemperatur mittels eines Thermometers, das selbst im Schatten bleiben muß, wenn es richtig zeigen soll. So erfahren wir die Höhe der sogenannten Außentemperatur.

TAUCHERANZÜGE AUS GUMMI?

Im freien Weltraum gibt es keine Luft; der Weltraum wird von den Sonnenstrahlen frei durchströmt. Sie können nur wärmen, wenn sie auf einen Körper fallen, also z. B. auf den künstlichen Mond oder auch auf den im Weltraum Schwebenden. Dieser empfängt die Wärme aber nur dort, wo er von der Sonne beschienen wird, während die der Sonne abgekehrte Seite, die im Schatten liegt, gar keine Wärme aufnimmt. Der sonnenbeschienene Teil nimmt viel Wärme auf, der im Schatten liegende gibt durch Ausstrahlung viel Wärme ab. In erster Linie wird aber der „Taucheranzug“ von der Sonne bestrahlt. Er wird also, da diese Bestrahlung unausgesetzt stattfindet, viel Wärme aufnehmen und sehr heiß werden, während auf seiner Schattenseite viel Wärme in den Raum ausstrahlt. Hielte sich ein Mensch tagelang im freien Weltraum auf, so erreichte die sonnenbeschienene Seite seines Körperanzuges sehr hohe Temperaturen, die bis auf 100 Grad ansteigen könnten, während er auf seiner sonnenabgewandten Seite stark fröre, denn dort strahlt er unablässig von seiner eigenen Wärme aus.

Raumfahrer-Anzug aus Gummi

Nun ließe sich das ja leicht dadurch beheben, daß man sich ab und zu mal umdreht. Dennoch dürfte gerade Gummi als Werkstoff für solche Anzüge nicht sonderlich geeignet sein, denn in der Hitze wie in der Kälte erleidet Gummi Veränderungen, die seine Elastizität stark beeinträchtigen. In der Hitze könnte die Hülle schmelzen oder verbrennen. In der Kälte hingegen wird Gummi hart und brüchig, wie wir das von Experimenten mit flüssiger Luft kennen. Taucht man Gummi in flüssige Luft (-191°) und läßt ihn sich dort tief abkühlen, so kann man ihn leicht zerbrechen. Es wäre also schon besser, einen anderen Werkstoff zu wählen, etwa Blech, wie Oberth vorschlug. Das ergäbe allerdings eine starre Hülle, in der man nicht arbeiten kann. Vielleicht aber könnte man eine Kombination schaffen, die innen Gummi, außen Blech ist, mit Zwischenlagen aus wärmeisolierenden Stoffen, etwa Wolle oder Glaswolle. Dann könnte der Blechmantel aus Teilen bestehen, die gegeneinander verschiebbar sind, so daß der Eingehüllte dennoch darin bequem arbeiten kann.

Wie bequem, hängt von der Geschicklichkeit der Anzugkonstruktion ab. Es bietet keine großen Schwierigkeiten, zweckmäßige Anzüge solcher Art zu konstruieren. Sie behindern den Weltraumfahrer natürlich, aber längst nicht so, wie der Taucheranzug den unter Wasser arbeitenden Taucher. Denn dieser hat den erhöhten Druck des Wassers auszuhalten, der um so größer ist, je tiefer unter dem Wasser er arbeitet.

ARBEITEN LEICHT GEMACHT!

Arbeiten im tiefen Wasser beeinträchtigt die Arbeitsfähigkeit ganz außerordentlich. Der starke Druck des Wassers wirkt auf den Blutkreislauf ungünstig. Der Taucher ermüdet schnell und kann immer nur wenige Stunden am Tage werken. Der in den freien Weltraum Hinaustauchende hingegen arbeitet unter Atmosphärendruck wie auf der Erde und erleidet keinerlei Einbuße an Arbeitskraft oder irgendwelche Schädigungen im Blutkreislauf. Allerdings muß er sich *anseilen*, was schon durch den Atmungsschlauch für die zu- und abgeführte Luft geschieht. Sonst könnte es leicht kommen, daß er von der Rakete abkommt, indem er sich durch Unachtsamkeit abstößt und dann frei in den Weltraum hinausschwebte. Seine Arbeitskraft wird durch keinerlei Schwere beeinträchtigt. Er könnte daher auch große Konstruktionsteile, die auf der Erde Tonnen wiegen und von ihm gar nicht hantiert werden könnten, mit der eigenen Hand leicht bewegen, heben, drehen, senken, festhalten usw. Er braucht dazu keine Kräne, Brechstangen oder Flaschenzüge, weil ja alles schwerelos frei schwebt. Der *Bau des Astropol*, wovon Gail in seinem Roman „Der Stein vom Mond“ erzählt, kann also wirklich leicht von der Hand frei

im Raum schwebend ausgeführt werden. Die Arbeiter sind in dieser schwerelosen Welt wirklich ganz außerordentlich leistungsfähig und können sicherlich das Vielfache von dem leisten, was sie unter den Schwerkraftverhältnissen auf der Erde vermöchten. Alle Transportschwierigkeiten entfallen, und aller Arbeitsaufwand kommt dem Werk selbst zugute. Die Betrachtungen lassen erkennen, daß man selbst bei den Aufbauten des künstlichen Mondes, die alle luftdicht sein müssen, darauf Rücksicht nehmen muß, daß die sonnenbeschienenen Seiten sich ausdehnen, die im Schatten liegenden wegen der ständigen Wärmeausstrahlung sehr kalt werden und sich daher verschieden stark ausdehnen. Der Baukörper könnte dadurch Spannungen erleiden, die zu Rissen führen und die ihn undicht machen. Die Luft entweiche, und die Besatzung wäre gefährdet. Ihr könnte plötzlich die Luft ausgehen und der Luftdruck dazu.

Wie man sieht, stellt die Weltraumschiffahrt mannigfache Anforderungen an die Konstrukteure von Raketen und künstlichen Monden und auch an die Betriebsingenieure. In der sportlichen Begeisterung an der Weltraumfahrt denken sicher nur allzu viele nicht an solche Probleme. Wir aber, die wir unserer Phantasie hier keineswegs die Zügel schießen lassen dürfen, müssen darauf hinweisen, wenn wir auf dem festen Boden der physikalischen Tatsachen und der technischen Möglichkeiten bleiben wollen. Und das wollen wir!

NACHTEILE UND BEDENKEN GEGEN DIE SCHWERELOSIGKEIT?

Wie das Licht nicht nur Helligkeit verbreitet, sondern auch Schatten erzeugt, so gibt es unter dem Einfluß der Schwerelosigkeit auch Nachteile. Denn der Mensch kommt von der Erde und ist die Schwere gewohnt, sein ganzer Organismus ist darauf eingestellt. Man denke nur daran, daß es schon großes Unbehagen macht, im Liegen zu essen. Das Schlucken ist bereits erschwert. Es ist fraglich, ob man in einem schwerelosen Raumfelde überhaupt essen und trinken kann.

Nachdem sich weite wissenschaftliche Kreise mit den Problemen der Weltraumfahrt beschäftigen, wandten sich auch *Mediziner* den Fragen zu, die mit der Fahrt im Weltraumschiff zusammenhängen. Was haben diese zu der Tatsache der Schwerelosigkeit während der Raketenfahrt zu sagen? Die Zeitschrift „Weltraumfahrt“, das Organ der Gesellschaft für Weltraumforschung e. V., Stuttgart, und anderer ähnlicher Gesellschaften, hat 1951 eine Zusammenstellung der Äußerungen bekannter Mediziner gebracht, deren hauptsächliche Gesichtspunkte hier wiedergegeben seien. Daß diese Äußerungen nur theoretisch (nicht durch den Versuch bestätigt) aufzufassen sind, geht daraus hervor, daß man auf

der Erde kaum Gelegenheit hat, schwerelos zu sein. Man kann es eigentlich nur im Sturzflug verwirklichen, wenn man durch Motorenkraft nachhilft, auch den Luftwiderstand auszugleichen, der dem Insassen des Sturzflugzeuges immerhin noch ein gewisses Maß von Schwere verleiht. Welcher Mediziner hat aber dazu selbst schon Gelegenheit gehabt? Leider hat man nur eine halbe Minute Zeit, sich auf diese Weise unter den Einfluß von Schwerelosigkeit zu bringen. Aus solchen Beobachtungen kann Prof. Dr. H. v. *Diringshofen* dazu etwas mitteilen. Er empfand den Zustand der Schwerelosigkeit als „eine angenehme Gefühlssensation“. Dennoch dürfte sich nach mehrstündigem, vielleicht aber auch erst nach mehrtägigem Aufenthalt im schwerelosen Raum eine allmählich zunehmende allgemeine Erschlaffung der Skelettmuskulatur und eine damit einhergehende Regulationsschwäche des Blutkreislaufs gegenüber den schwerkraft- und hydrostatisch bedingten Blutdruckunterschieden einstellen, die sich aus dem verschiedenen Niveau (Druckhöhe) der Blutgefäße gegenüber dem Herzen ergeben. Allerdings hält sie v. *Diringshofen* für unbedeutend, verweist jedoch auf die Muskeler schlaffung und die Blutkreislauf-Regelschwäche bei langdauernder Bettruhe. Diese bringt beim Aufstehen ein Versacken des Blutes in die unterhalb des Herzens gelegenen Bezirke hervor und erzeugt eine Neigung zum „orthostatischen Kollaps“ (Ohnmacht infolge der Ungewohnheit, sich im Gleichgewicht zu erhalten). Nach langen Weltraumfahrten müsse das beim Wiedereinsetzen der Schwerkraft, also beim Landen auf einem Himmelskörper oder bei Geschwindigkeitsänderungen der Rakete, in erhöhtem Maße auftreten. Allerdings könne man diese Wirkungen durch eine Gymnastik, ähnlich der von Ärzten empfohlenen Bettgymnastik, wesentlich abschwächen. Prof. v. *Diringshofen* erscheinen die Gefahren der Schwerelosigkeit angesichts des Gesamtrisikos von Weltraumfahrten jedenfalls gering. Die USA haben eine School of Aviation Medicine, eine Schule für Luftfahrt-Hygiene, an der Prof. Dr. H. *Strughold* lehrt. Er meint, daß die Schwererstörungen im schwerelosen Raum auf mehrerlei Kontrollen stoßen, nämlich den Muskel-, den Hautdrucksinn und die *Vaterschen* Körperchen, die auf die Gewebespannung und nicht auf die Schwerkraft ansprechen. Diese letztgenannten Hautelemente könnten die fehlenden Eindrücke auf die anderen beiden Sinne bis zu gewissem Grade ausgleichen. Daß der Atmungsapparat durch das Fehlen der Schwere beeinträchtigt wird, hält *Strughold* für ausgeschlossen. — Nach Prof. Dr. O. *Ranke* ist der Wegfall der Schwere dem eines Dauerreizes gleichzusetzen, den wir kaum bemerken. Wie wir uns des Reizes der Kleidung auf den Körper gar nicht mehr bewußt sind, so des der Schwere, die wir doch nur merken, wenn wir z. B. Extremitäten (äußere Körperteile) lange heben, strecken oder ähnliche Körperanstrengungen hervorrufen.

Vielleicht fühlten wir es einige Tage lang, dann aber dürfte das aufhören, weil wir uns angepaßt hätten.

Nach Prof. Dr. Hans *Schaefer* wird der Blutkreislauf verändert, wenn die Schwere wegfällt. Das Gefäßsystem der Venen werde sich stärker ins Herz entleeren. Da das jedoch schon beim Hinlegen der Fall ist und dieses kaum Störungen erzeugt, so könne selbst der völlige Wegfall keine bedeutende Wirkung haben. Da die Bogengänge der Ohren (das sind die Gleichgewichtsapparate des ganzen Körpers) nicht mehr erregt werden, würden die Bewegungen schwierig. Der Mensch hat dann nur noch seine Körperachse als Richtungsorientierung, während alle anderen Richtungen für ihn keinen Sinn mehr haben. Er muß sich erst neu wieder bewegen lernen, wie ehemals als Kind. Dabei spielt übrigens der Schmerz als Lernanreiz oder Erziehungsmittel eine bedeutsame Rolle. Hat man oft genug erfahren, daß jede Bewegung leicht dazu führt, sich an Decke und Wänden der Kabine zu stoßen (s. S. 37), so wird man vorsichtiger sein und lernt die Folgen einer Bewegung abzuschätzen und seine Gliedmaßen in der Rakete richtig zu gebrauchen. Denn vorher hatte man ja nur Vorsicht zu üben in bezug auf Hinfallen und Anlaufen an andere Körper.

Nach Dr. J. *Schneider* lernen die Flieger als sechsten Sinn den Druck auf die anliegende Haut kennen. Wir haben aber einen Lagesinn, der uns selbst im Dunkeln die Stellung der Gliedmaßen gegeneinander bewußt werden läßt. Einen dritten Wahrnehmungsapparat besitzen wir im Ohrlabyrinth, wo die Ohrensteine (Otolithen) — das sind Kalziumkarbonat-Körperchen von 3 Millionstel bis 1 Milliardstel Gramm Gewicht — durch die Ohrennerven unsere Lage melden. Schließlich werden Drehbeschleunigungen im Bogenapparat wahrgenommen. Das Labyrinth beherrscht die gesamte Körpermuskulatur. Hört dessen Wirkung auf, so wird sie auffallend schwach. Man kann erst durch Übung die Orientierung (Zurechtfinden) wieder lernen, wozu übrigens der Gesichtssinn mithilft. Essen und Trinken ist aber auch bei Hängen, z. B. in den Knien, möglich, denn es wird durch die Peristaltik (die rhythmische Bewegung der Magen- und Darmwand) ermöglicht. Schneider meint, daß der schwerere Zustand mit dem Leben für kurze Fristen vereinbar ist, wahrscheinlich aber auch für lange. Jedenfalls haben Tierversuche die kurzfristige Überdauerung erwiesen. Die Anpassungsfähigkeit des Körpers dürfte selbst für diesen Fall sehr groß und weitgehend sein, so merkwürdige und unerwartete Erscheinungen dabei auch auftreten mögen.

Dr. E. *Langer* befürchtet, daß die Schwerelosigkeit die Automatik des Herzens störe. Denn das Herz sei zu seiner Pumparbeit nur in der Lage, wenn das Blut sich unter gewissem Druck in das Herz ergießt. Dazu sei jedoch der nervöse Reiz zur Gefäßzusammenziehung und -ausdehnung erforderlich. Hat sich aber das Herz etwa doch an die Leichtearbeit

mit gewichtslosem Blut gewöhnt, so fragt sich, ob es die plötzliche Umstellung auf Schwerarbeit bei der Rückkehr in den Schwerezustand zu leisten vermag. Diese Frage läßt sich nur durch den Versuch klären, z. B. durch Mitnahme von Tieren in Versuchsraketen. — Dieser abweichenden Auffassung tritt Dr. Norbert *Scholz* entgegen, indem er physikalische Gründe anführt, die Langer nicht berücksichtigt habe.

MAN ERZEUGT KÜNSTLICH SCHWERKRAFT! — DIE SCHWERKRAFT-KABINE

Vielleicht zeigen sich auch noch andere Nachteile im Organismus, die es erwünscht erscheinen lassen, die Weltraumfahrer doch wieder gewisse Zeitdauer unter Schwere zu setzen.

Wie aber soll das geschehen? Es ist doch eben keine Schwerkraft vorhanden, da alle Kräfte im freien Fluge in der Keplerschen Ellipse ausgeglichen sind, wie wir das schon erfuhren.

Auch da kann jedoch Rat geschaffen werden. Schwere ist Beschleunigung eines Körpers zum Erdmittelpunkt. Es gibt aber auch noch andere Beschleunigungen, und die kann man selbst im freien Weltraum künstlich erzeugen. Denken wir an den mit der Hand am Faden umschwingenden Stein. Auch dieser erhält von der Hand eine Beschleunigung und setzt ihr einen Beschleunigungswiderstand entgegen. Brächte man also eine ähnliche Anordnung um den künstlichen Mond an, so erführe der ihn umschwingende Körper eine Art Schwereeinwirkung. Das läßt sich praktisch ausführen, indem man an dem künstlichen Mond ein Seil anbringt und an dessen Ende eine Kabine befestigt, in der Menschen untergebracht werden können. Der Kabine muß eine Umlaufbewegung um den zentralen künstlichen Mond erteilt werden. Man könnte zu diesem Zweck an der Kabine eine Rakete anbringen, die ihr die nötige Beschleunigung erteilt, bis das Seil straff wird. Wie das vonstatten geht, werden wir später noch erörtern.

Hört die Rakete auf zu arbeiten, so bewegt sich die Kabine mit der erreichten Geschwindigkeit um den künstlichen Mond dauernd weiter, gehalten durch das Verbindungsseil. Die Rakete kann wieder weggeleitet werden. Innerhalb der Kabine herrscht eine Art Schwere. Wir wollen sie daher

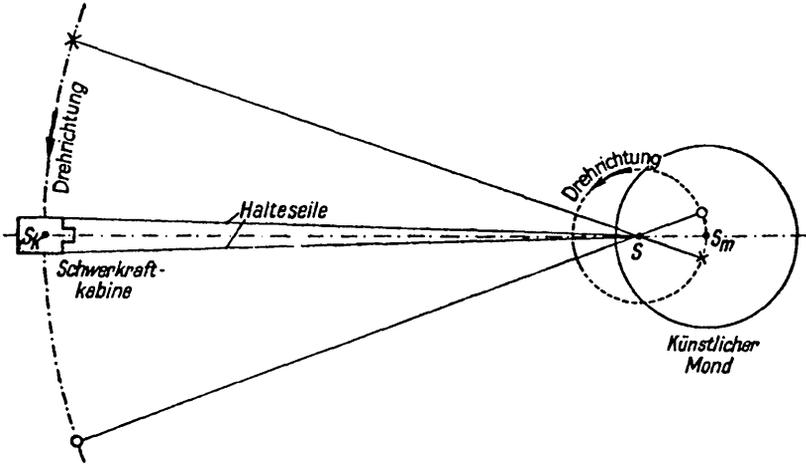
die Schwerkraftkabine

nennen. Bildet man das Seil als Gang, und stattet die Kabine mit Sitz- und Liegegelegenheiten aus, so hat man einen Raum geschaffen, wo sich Menschen in einem Schwerfeld befinden, wie sie das von der Erde her gewohnt sind. Sie könnten dort also sich ergehen, essen, trinken, schlafen

System künstlicher Mond — Schwerkraftkabine

wie gewöhnlich und brauchten nicht alle ihre irdischen Gewohnheiten abzulegen.

Wie der Umschwung um den künstlichen Mond erfolgt, ist für diesen Zweck ganz gleichgültig, ob also in der Ebene, in der sich der künstliche Mond bewegt, oder senkrecht dazu oder auch irgendwie in einer Schräge. Praktische Gesichtspunkte gäben da den Ausschlag. Das Ganze, also das



System künstlicher Mond — Schwerkraftkabine. S_m = Schwerpunkt des künstlichen Mondes (Astropol), S_k = Schwerpunkt der Schwerkraftkabine, S = gemeinsamer Schwerpunkt von S_m und S_k , um den sich beide Körper drehen.

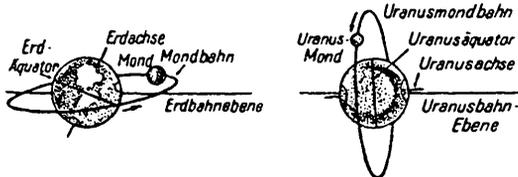
Um S laufen künstlicher Mond wie Schwerkraftkabine und zwar, da sie durch Halteseile praktisch starr miteinander verbunden sind, laufen beide, einander gegenüberstehend, im Kreise herum, der Schwerpunkt des künstlichen Mondes in dem kleinen Kreise — — — —, der der Schwerkraftkabine in dem großen Kreise — — — —. Steht S_m in \times , so steht auch S_k gegenüberliegend in \times , steht S_m in \circ , so auch gegenüberliegend S_k . Bringt man mehrere Schwerkraftkabinen symmetrisch um den künstlichen Mond an, dann bleibt dieser in seiner eigenen Schwerpunktlage S_m .

System künstlicher Mond-Schwerkraftkabine, stellt sich dann so ein, daß diese beiden Körper um ihren gemeinsamen Schwerpunkt rotieren (umlaufen) wie ein Doppelsternpaar. Auch der künstliche Mond selbst führt dann eine Drehbewegung aus, nur viel weniger merkbar und langsamer, denn man würde das System so einrichten, daß die Schwerkraftkabine nur einen kleinen Bruchteil der Masse des Gewichts des künstlichen Mondes erhält. Dann wäre seine Umdrehung um den gemeinsamen Schwerpunkt so gering, daß sie einer langsamen Umdrehung um sich selbst fast gleichkäme.

Im Sonnensystem laufen fast alle Planeten in derselben Bahnebene um die Sonne wie die Erde. Und die meisten Monde laufen nahezu in derselben Ebene um ihre Planeten, in der sich diese um die Sonne bewegen.

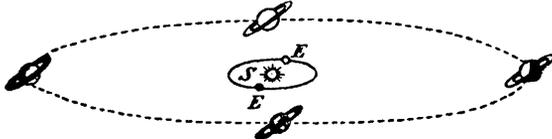
Mondlagen im Sonnensystem

Die Mondbahn weicht von der Erdbahnebene nur 5° ab. Alle diese Systeme umkreisen die Sonne und sind stabil, d. h. die verschiedenen Neigungen der Bahnebenen machen auf den Umdrehungslauf dieser Körper gar nichts aus. Man kann auch die Schwerkraftkabine, die ja nichts anderes ist, als ein allerdings nicht durch Anziehung vom künst-



Mondbahnen im Sonnensystem. Die vier Uranustrabanten laufen alle in Bahnen um ihren Planeten, die fast senkrecht zur Bahnebene des Uranus um die Sonne stehen. Zudem sind sie gegenläufig, d. h. laufen rechtsum, während alle Planeten um die Sonne links herumlaufen, also entgegengesetzt dem Uhrzeiger

lichen Mond gehaltener Trabant (Begleiter) des künstlichen Mondes, in jeder beliebigen Ebene umlaufen lassen, kann also ihre Lage so wählen, wie man sie am günstigsten benutzen kann. Beim Uranus aber stehen die Mondbahnebenen fast genau senkrecht auf der Bahnebene des Planeten, beim Saturn liegen die aus lauter winzigen Mondkörpern bestehenden Ringe um die großen Monde schon recht schräg zur Bahnebene des Saturn um die Sonne (27° bis 29°).



Saturnsystem. Saturn behält mit seinen Ringen und seiner Rotationsachse beim Umlauf um die Sonne seine Lage bei. In der Mitte Sonne und Erdbahn

Eine Schwierigkeit besteht in der Benutzung der Schwerkraftkabine allerdings. Die Personen, die sich von dem künstlichen Monde aus zur Kabine begeben, werden, wenn sie sich nicht dagegen wehren, zu dieser hingeschleudert, denn die Zentrifugalkraft nimmt in diesem sich drehenden System nach außen hin immer mehr zu und erreicht in der Kabine ihre größte Stärke. Um von der Kabine zum künstlichen Mond zurückzugelangen, müßte man sich gegen die Schleuderung nach außen arbeiten. Das ist ein Stück Arbeit, wenn man bedenkt, daß der Gang bei Gail 1600 m lang ist; bei Oberth wäre er sogar 10 km lang. Das bedeutete

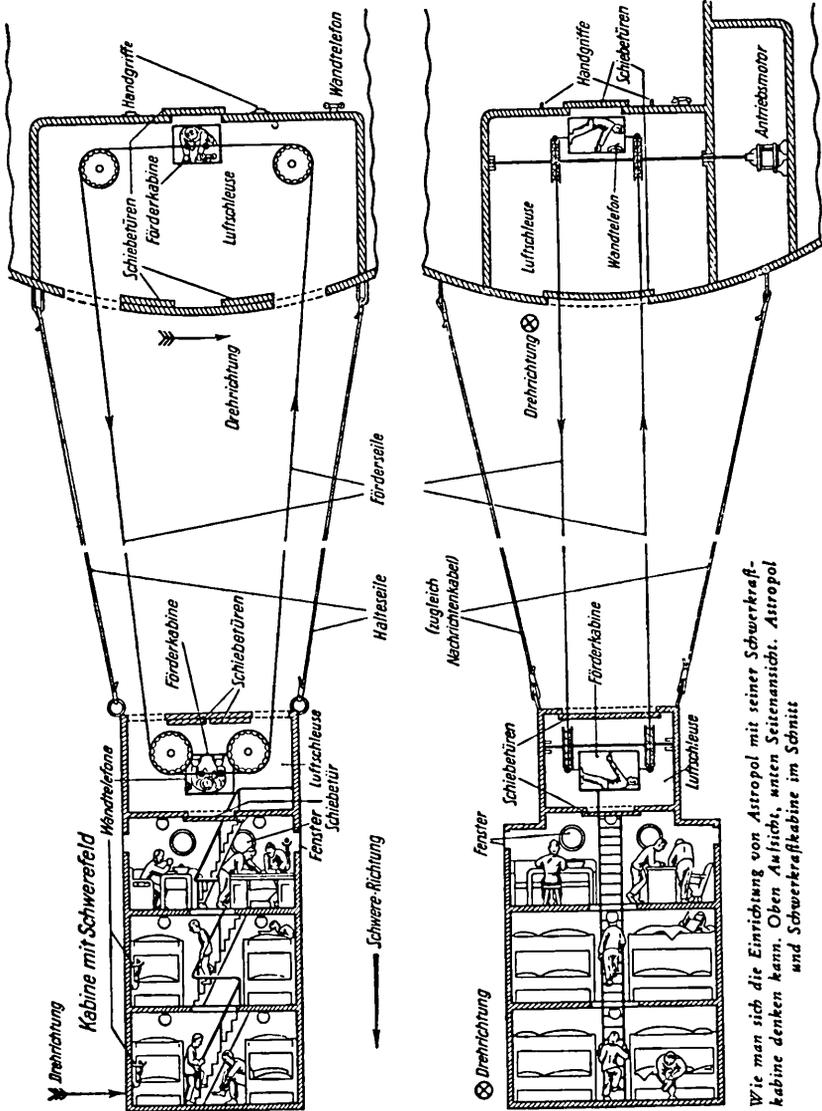
ebensolche Leistung, wie wenn man mehrere Male hintereinander den Eiffelturm besteigen müßte.

Es ist also nötig, eine Art Aufzug für den Transport von Menschen von und zur Schwerkraftkabine vorzusehen. Man könnte etwa zwei Förderkästen anbringen, die mit endlosen Seilen verbunden sind, die über Seilscheiben im künstlichen Mond und in der Schwerkraftkabine laufen. Beide Förderkabinen werden durch die Zentrifugalkraft nach außen getrieben, aber ihre Zentrifugalgewichte heben sich zum Teil auf. Die Förderung oder der Transport erfordern immerhin motorische Energie. Da die transportierenden Personen Luft brauchen, könnten die Förderkabinen solche enthalten. Sonst müßten die Personen die vorhin schon erwähnten Taucheranzüge anlegen und sich an die Luft im künstlichen Mond anschließen, was namentlich wegen der kilometerlangen Luftschläuche recht umständlich wäre. Enthalten aber die Förderkabinen Luft, so brauchen wir für die Verbindung des künstlichen Mondes mit der umlaufenden Schwerkraftkabine keinen Gang. Ein Halteseil und zwei endlose Förderseile genügen schon, da sie ja die umschwingende Schwerkraftkabine straff erhält. Natürlich gibt es bei der Schaffung solcher Einrichtungen vielerlei Probleme zu lösen. Jede Förderkabine muß man zwischen zwei Förderseilen anbringen, damit sie oben und unten mitgenommen wird. Die Förderkabinen müssen durch Luftschleusen ein- und ausfahren, wobei das Dichten gegen die hinausstürzende Luft Schwierigkeiten machen wird. Die Ingenieurkunst wird auch diese Aufgaben bewältigen. Immerhin geht bei jedesmaligem Ein- und Ausschiffen, z. B. der Rakete in oder aus dem künstlichen Mond, oder beim Hinaus- und Hineinschweben von Weltraumfahrern die Luft in der Schleuse verloren. Da man mit diesem kostbaren Gut aber sparsam verfahren muß, muß jede unnütze Beanspruchung vermieden werden.

Wie man sich die Einrichtung vorstellen könnte, zeigen unsere Bilder. Das System künstlicher Mond — Schwerkraftkabine rotiert um den gemeinsamen Schwerpunkt, wobei der künstliche Mond nur einen kleinen Kreis beschreibt, während die Schwerkraftkabine auf einem großen umläuft (s. S. 50).

Probleme dieser Art werden mit der Zeit immer weiter durchgearbeitet. Es ist kein Wunder, wenn sich dabei dann mancherlei Schwierigkeiten einstellen, die man nicht vermutet hatte. So macht neuerdings Professor *Schaub* auf mechanische Umstände aufmerksam, die beim Bau einer solchen Außenstation überhaupt beachtet werden müssen. Die Außenstation ist ein Mond. Der Mond und selbst die Sonne aber übt auf die Erde Flutkräfte aus, die sich als die außerordentlich merkbaren und wichtigen Gezeitenerscheinungen auswirken. Man darf nämlich nicht übersehen, daß die Vereinigung der Anziehungskräfte eines Körpers auf sei-

Astropol und seine Schwerkraftkabine



Wie man sich die Einrichtung von Astropol mit seiner Schwerkraftkabine denken kann. Oben Aufsicht, unten Seitenansicht. Astropol und Schwerkraftkabine im Schnitt

nen Schwerpunkt nur eine Vereinfachung ist, die um so besser zutrifft, je weiter die Körper voneinander entfernt sind. Das sind sie aber bei dem System Erde — Mond nicht, auch nicht einmal bei dem von Sonne und Erde. Da zeigt sich, daß die Anziehungskräfte von jedem Teil des Körpers auf jeden des anderen wirksam sind. Und dadurch entstehen ja auf der Erde Ebbe und Flut.

Sodann aber gibt es Zonen, innerhalb deren es überhaupt unmöglich ist, daß sich Körper dauernd dort in stabilen Bahnen halten. Die Trennungen im Saturn-Ring sowie die Zonenanordnung der Planetoiden sind kosmische Zeugnisse dafür. Man kann auch um die Erde nicht in jeder Entfernung einen künstlichen Mond laufen lassen, ohne daß seine Bahnlage gefährdet ist. Nun ist eine Außenstation mit Schwerkraftkabinen zuerst einmal ein schwerer Kreisel mit den bekannten Kreiseigenschaften. Man muß diesen Kreisel symmetrisch machen, um ihn auswuchten zu können. Sodann ist die Station nicht ein starres und festes Gebilde, sondern eine Art verformbare Masse. Und eine solche kann durch die auftretenden Flutkräfte zerrissen werden. In einem bestimmten Umkreis um den Zentralkörper werden die Flutkräfte größer als die Eigengravitation (Anziehungskraft) des Satelliten (Begleiters oder Mondes). Und wenn nun geplant ist, eine Außenstation an Ort und Stelle zusammenzubauen, so stellen sich gerade dabei die größten Schwierigkeiten ein. Es erscheint nach Schaub fraglich, ob sich eine Außenstation mit beweglichen Stoffen an Bord überhaupt dauernd in ihrer Bahn erhalten läßt, denn die Flutkräfte vergrößern die Bahnexzentrizität, so daß aus einem Umlaufkreise eine Ellipse wird, und dabei kann die Station abstürzen. Man kann nicht in jeder Entfernung von der Erde eine solche Station zusammenbauen. Man muß vorher alle Umstände bedenken, die gefährlich erscheinen, und muß ihnen durch entsprechende Maßnahmen begegnen. Den Bau einer Außenstation sieht Schaub als die schwierigste Aufgabe an, die sich Menschen jemals gestellt haben. (Weltraumfahrt, 1951, S. 103 und 121, und 1952, S. 1).

SOLLEN AUTOMOBILE MIT RAKETENANTRIEB FAHREN?

Die neuere Raketentechnik begann eigentlich mit dem Opelschen Raketenautomobil. Was man vorher gemacht hat, waren mehr oder weniger nur physikalische Versuche oder Feuerwerkereien. Nur für wenige praktische Fälle fand die Rakete Verwendung. So z. B. bei den holländischen Schiffsrettungsstationen, die ein Verbindungsseil von Land oder von einem Hilfsschiff auf gestrandete Schiffe warfen, um die dortige Mannschaft zu retten. In der Schifffahrt hat man bei Rettungsaktionen oder auch zur

Die Rolle der Reibung in der Welt

Beleuchtung einer Gegend davon häufig Gebrauch gemacht, ebenso im Kriege. Opel griff das Raketenprinzip für sein auf der Erde fahrendes Automobil auf. Ist das für solches Fahrzeug aber wirklich der richtige Antrieb? Will man das entscheiden, so muß man der Sache physikalisch auf den Grund gehen. Und das ist an sich einfach und andererseits auch wieder gar nicht so einfach. Man muß sich darüber klar werden, wie eigentlich eine Fortbewegung zustande kommt.

OHNE REIBUNG KEINE WELT UND KEINE WELT OHNE REIBUNG!

Wenn ein Mensch oder ein Tier geht, geschieht die Fortbewegung, indem sich die Beine von der Erde abstoßen. Sie müssen an der Gehbahn einen festen Widerhalt finden. Können sie das nicht, dann kann man sich auch nicht fortbewegen. Wohl jeder Junge hat in seiner Jugend den Unfug



*Zur Wirkung der
gleitenden Reibung*

mitgemacht, sich auf einen „Hund“ zu stellen. Das ist eine gefährliche Sache. Ich meine hier nicht einen lebenden Hund, sondern einen Transporthund, jenes kleine Wägelchen mit drei um senkrechte Achsen drehbaren Rädern, deren Haltegabeln an den Ecken durch Bretter verbunden sind. Diese Hunde sind sehr brauchbar. Man stellt Kisten, Fässer, Säcke oder andere Gegenstände hinauf und zieht diese Lasten auf glatter Fahrbahn dann leicht von Ort zu Ort.

Ein solches Gerät ist aber nicht geeignet, sich selber daraufzustellen. Schon das Aufsteigen ist schwierig, und man rutscht leicht mit ihm aus. Das Abspringen ist beinahe noch schwieriger, weil es einem unter den

Füßen davonrollt, so daß man keinen Halt findet, fällt und bei diesem leider weit verbreiteten kindlichen Spiel zu Schaden kommt. Unfälle dieser Art kommen denn auch sehr häufig vor. Die bekannten Unfallverhütungsbilder, die in den industriellen Betrieben aushängen, warnen in Wort und Bild immer wieder vor solchem und ähnlichem Unfug, dem auch Erwachsene leicht verfallen. Dasselbe findet man bei den kleinen Drehscheiben, die in vorübergehend aufgestellte Transportgleise für größere Transporthunde eingebaut sind und diese von einem Gleis auf ein im Winkel dazustehendes anderes zu schieben ermöglichen. Dort ist das Spiel noch gefährlicher, weil man beim Absteigen oder Abspringen zwischen die harten Gleise fällt und sich Füße und Beine brechen oder schwer beschädigen kann.

Warum rutschen denn diese Dinger alle so leicht? — Weil sie außerordentlich beweglich sind, verhältnismäßig wenig Reibung haben. Der schwere daraufgestellte Körper stößt sich beim Absteigen von ihm ab, sie entgleiten unter den Füßen, der Körper findet keinen Halt mehr: er fällt. Nicht dabei zu Schaden zu kommen, ist beinahe schon ein Akrobatenkunststück oder Glück. An diesem Beispiel erkennt man so recht, eine wie wichtige Rolle die Reibung spielt, selbst da, wo sie so gering ist wie zwischen Rad und Schiene. Dennoch ist sie dabei so groß, daß man die riesigen Eisenbahnzüge in große Geschwindigkeit versetzen und über sie hinwegführen kann. Den Antrieb erhalten sie allein durch die Reibung der Lokomotivräder an den Schienen. Ein Zug mit einhundert gewöhnlichen Güterwagen von je 10 Tonnen Ladegewicht wiegt doch immerhin schon bis 2000 Tonnen, also 2 000 000 kg. Dazu die Lokomotive mit 80 bis 100 Tonnen Eigengewicht oder noch mehr. Und diese ganze ungeheure Masse, die Hälfte des Gewichts des ganzen 300 m hohen Eiffelturms, rast mit 1 km Geschwindigkeit in der Minute oder $1000:60 =$ etwa 16 m in der Sekunde über die Schienen. Ehe ein solcher Zug selbst durch starke Bremsen zum Stehen kommt, muß er noch einen halben Kilometer laufen und rutschen, denn seine Wucht kann nur langsam vernichtet werden. Plötzlich kann man solche bewegten Massen nicht aufhalten, oder es entstehen die furchtbaren Katastrophen, von denen wir ab und zu in den Zeitungen lesen. Dabei werden schwere Eisenkonstruktionen wie Streichhölzer geknickt. Diese ganze Wucht ist, von dem Dampfmotor auf der Lokomotive ausgehend, durch die Reibung der Räder an den Schienen allmählich auf den ganzen Zug übertragen worden.

Die uns also oft so unbequeme Reibung ist eine der wichtigsten physikalischen Erscheinungen; sie kann im praktischen Leben gar nicht entbehrt werden. Gäbe es keine Reibung, so könnten wir uns nicht auf der Erde halten. Wir rutschten dauernd herum, wir könnten uns nicht so bewegen, wie wir wollen, kein Nagel hielte in der Wand, jede Schraube

Oberfläche glatter Körper

entfele ihrer Mutter, kein Stein bliebe auf dem andern, ja die ganze Welt könnte nicht bestehen. Es ist daher wohl wichtig genug, sich etwas mit dieser merkwürdigen Tatsache zu befassen.

DIE OBERFLÄCHE GLATTER KÖRPER

Daß die Reibung, d. h. der Widerstand beim Reiben zweier Körper gegeneinander, um so größer ist, je rauher die Oberfläche ist, leuchtet ein. Man kann es leicht ausprobieren. Rauhe Oberfläche bedeutet ja nichts anderes als Erhebungen, Höcker, Vertiefungen, Rillen, Kratzer und ähnliche Unebenheiten. Je mehr diese von der Oberfläche beseitigt werden, desto glätter wird diese. Poliert man sie sogar — das ist ja nichts anderes als ein Feinschleifen —, so kann man die Reibung noch weiter verringern. Aber auch damit kommt man nicht an das Ende der absoluten Glätte, bei der gar keine Rauigkeit mehr vorhanden ist. Wie grob die Oberflächen selbst bei feinsten Politur sind, geht aus den Untersuchungen hervor, die Kluge und Bochmann in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt*) angestellt und am 1. April 1944 in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure veröffentlicht haben.

In der Technik werden namentlich als Gleitflächen Metalloberflächen nach bestimmten Verfahren bearbeitet. Diese verschiedenen Bearbeitungsverfahren ergeben unterschiedliche Grade der Rauigkeit oder der Glätte. Wichtig ist das z. B., wenn solche Flächen als geschmierte Gleitflächen in Maschinen und Apparaten verwendet werden. Bei der Bearbeitung wird mit Feilen oder mit Schmirgelpulver oder auch mittels Schmirgelscheiben gearbeitet. Je feiner der benutzte Schmirgel ist, desto glätter werden die bearbeiteten Metalloberflächen. Die verwendeten Schleifmittel selbst sind natürlich immer körnig; sie könnten ja sonst gar nicht auf die zu bearbeitenden Körper einwirken. Sie haben geradezu die Aufgabe, aus den Metallflächen Teilchen herauszureißen, müssen also Kratzer erzeugen. Nur sollen diese kleiner sein, als die Rauigkeiten der Oberfläche der zu bearbeitenden Metalle selbst schon sind. Die im Bilde gezeigten Oberflächen sind verschieden fein bearbeitet (Tafel V). Die auf ihnen übrigbleibenden Rauigkeiten sind verschieden hoch. Sie bestehen aus kleinen, stehengebliebenen Höckern und Spitzen, die man nach tausendstel Millimetern mißt $\frac{1}{1000}$ Millimeter bezeichnet man mit dem griechischen Buchstaben μ (gesprochen mü). Die auf der rauhesten abgebildeten Fläche stehengeblie-

*) Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt war eine große deutsche Reichsbehörde, die auf Anregung von Werner Siemens und Hermann Helmholtz in den achtziger Jahren des verflorenen Jahrhunderts in Berlin vom Reiche begründet worden ist. Sie hatte zum Ziele, physikalische Untersuchungen namentlich in Hinsicht auf technische Anwendungen vorzunehmen, genaue Eich- und Meßmethoden auszuarbeiten (eine Anregung von Prof. Dr. Wilhelm Förster, damals Direktor der Berliner Staatssternwarte) und physikalische und technische Apparate zu prüfen und zu eichen.

Alle Körper sind rauh

benen Höcker sind $8,7 \mu$ hoch, also noch nicht einmal 1 Hunderstel mm. Sie geben der Fläche schon ein feinsamtenes Aussehen. Bei der 35fachen Vergrößerung in unseren Bildern sieht sie jedoch noch recht rauh und uneben aus. Feiner erscheint die Oberfläche bei einer Höhe der Höcker von $5,1 \mu$, wenn auch in der Vergrößerung noch immer recht rauh. Bearbeitet man noch feiner, bis unter die Hälfte der vorherigen Höckerhöhe, so erhält man sogar in der Vergrößerung schon ziemlich feingriesiges Aussehen, und bei etwa 1μ erscheint uns die Oberfläche recht glatt. Wenig feinere Bearbeitung bis zur sogenannten „Strichpolitur“ ($0,7 \mu$) ergibt bereits eine spiegelnde Oberfläche, obwohl doch immerhin noch meßbare Höcker und Spitzen auf ihr vorhanden sind.

Auf einer solchen polierten Fläche rutschen andere ebenso polierte Flächen sehr leicht. Reibung ist jedoch noch immer vorhanden. Und wenn wir daran denken, daß eben noch Höcker und Unebenheiten vorhanden sind, kann das auch gar nicht anders sein. Vielbefahrene Eisenbahnschienen dürften schon ziemlich diese Politur besitzen. Und wenn es trotzdem möglich ist, die großen Energien auf die Schiene und von da wieder auf die Räder der Eisenbahnwagen zu übertragen, um die Zugförderung zu ermöglichen, so erkennt man daraus, daß die Reibung sehr groß sein muß.

Nun ist es wohl möglich, die Politur noch immer feiner zu machen. Aber stets bleibt ein Rest von Höckern und Spitzen stehen, der Reibung verursacht, wenn man so fein polierte Körper gegeneinander bewegt. Je feiner man polieren lernt, desto glätter oder richtiger gesagt, desto weniger rauh werden die Oberflächen. Man käme schließlich damit aber an eine Grenze, und das ist die, wo die Rauhigkeit den Betrag der Molekül-grenze erreicht.

DIE OBERFLÄCHE ALLER KÖRPER, AUCH DER FLÜSSIGKEITEN, IST RAUH!

Unter Molekül versteht man das kleinste mögliche Teilchen eines Stoffes, das chemische Elementarteilchen, das in ungeheurer Zahl den betreffenden Stoff aufbaut. Element ist das einfache, das urstoffliche. Und Elementarteilchen ist eben das kleinste mögliche Stoffteilchen, das Molekül. An diese Grenze kommt man mit mechanischen Hilfsmitteln nicht heran, denn das Element ist so winzig, daß es, als Kügelchen gedacht, einen Durchmesser von noch nicht einem Millionstel Millimeter besitzt. Deshalb sind die Zahlen der Moleküle selbst in winzigen Stoffmengen ungeheuerlich groß. In einem Kubikzentimeter der uns umgebenden Luft sind rund 27 Trillionen (27 000 000 000 000 000 000) Moleküle enthalten. Und ein Kubikzentimeter ist noch längst nicht ein Fingerhut voll.

Was man glatt nennt

Die Moleküle müssen wir uns körnig vorstellen. Wie grob das in Wirklichkeit alles ist, erkennen wir am besten aus den Bildern, die uns das Elektronenmikroskop liefert. Jede Lupe oder jedes optische Mikroskop arbeitet mit den Lichtstrahlen, die sie durch Brechung in den geschliffenen Gläsern, den Linsen, so in unser Auge treten läßt, daß der Gegenstand, von dem die Lichtstrahlen ausgehen, vergrößert erscheint. Nun sind die Moleküle viel zu klein, als daß man sie in von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen sehen könnte. Die Wellen, in denen die Lichtstrahlen verlaufen, sind zwar winzig, 0,0004 bis 0,0008 mm lang, also noch nicht ein halbes Tausendstel bis ein Tausendstel Millimeter. Damit können sie jedoch nicht mehr die nur ein Tausendstel so großen Moleküle „ergreifen“ und darstellen. Wir haben jedoch in dem Elektronenmikroskop einen Apparat, der mit Strahlen solcher Größenordnung arbeitet und uns vielleicht sogar große Moleküle zeigen wird. Jedenfalls können wir mit dem Elektronenmikroskop unmittelbar schon 100 000fache Vergrößerungen machen. Um nun zu zeigen, wie grob die Oberflächen in Wirklichkeit sind, zeigen wir hier einige mit dem Elektronenmikroskop hergestellte Bilder von Metalloberflächen (Tafel IV). Aluminium überzieht man wegen seiner Anfälligkeit gegen Angriffe durch die atmosphärischen Gase, namentlich durch den Luftsauerstoff, gern mit schützenden und ansehnlicheren Hüllen, mit Oxydhäuten verschiedener Art, die man „galvanisch“ aufbringt. Diese aufgetragenen Metallhäute putzt man mittels Schwabbel-scheiben, d. h. Scheiben aus Woll-Lappen. Wie nun eine so hergestellte, als glatt bezeichnete Oberfläche auf reinstem Aluminium in Wirklichkeit aussieht, zeigt eines unserer Bilder in 30 000facher Vergrößerung. In dieser Darstellung erkennt man, daß die „glatte Fläche“ in Wirklichkeit ganz grobe Blöcke besitzt.

Stellt man sich vor, daß zwei solcher glatten Flächen zusammenliegen und aufeinander geschoben werden, dann versteht man, daß auch diese glatten Flächen erhebliche Reibung aufweisen. Bewegt man die Flächen gegeneinander, so reißen sie sich gegeneinander solche Blockteilchen heraus. Die dazu nötige Arbeit oder Energie erscheint als Reibungsarbeit, und zwar als Reibungswärme, ebenso wie beim Feilen Wärme entsteht. Man versucht, diese Reibung durch eine Zwischenlage von Öl, das die Lücken ausfüllen soll und zum Teil auch ausfüllt, zu vermindern. Besonderen Wert legt man darauf bei allen sich um die eigene Achse drehenden Maschinenteilen, also bei Wellen und bei Lagern. Man schleift sie so vollkommen wie möglich, um die Reibung zu verringern. Die elektronenoptische Vergrößerung solcher geschliffenen Werkstücke ergibt geradezu groteske (seltsam verzerrte) Bilder, wie sie durch die Schleifscheiben auf den Wellen erzeugt werden. Die Körner der Schleifscheiben reißen aus dem Stahl Stücke heraus, die tiefe Riefen erzeugen. Bei den harten Proben

Auch die Flüssigkeiten sind rau

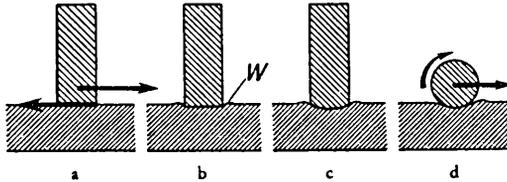
platzt der Werkstoff beim Schleifen ohne wesentliche Versehrung des stehenbleibenden Stoffes aus, während bei den ungehärteten Prüfmustern Verformungen am stehenbleibenden Werkstoff auftreten, die sich im Verschmieren oder Ausfransen von Spänen äußern. Und mit diesen Gebirgen auf ihren Oberflächen drehen sich die Wellen in den Lägern. Man wundert sich, daß sie sich überhaupt drehen können, aber es kommt eben nur auf die Gewalt an, die man zum Rotieren aufwendet. Die Läger sind gewöhnlich nicht gehärtet, so daß sie sicherlich noch viel gröbere Oberflächen besitzen. Die beim Rotieren auftretende Reibung ist angesichts der millionen-, ja milliardenfachen Rotationen (Umdrehungen) schnellrotierender Wellen enorm, und man braucht eine gut wirkende Schmieroberfläche können nicht vollkommen glatt sein, wie man sich das gewöhnlich vorstellt; es besteht ja auch aus Molekülen, und die sind gleichfalls körnig. Die Körner sind allerdings so fein, daß sie unter hohem Druck, z. B. durch nicht ganz dichtes Gußeisen, hindurchtreten können. Andere Flüssigkeiten sind noch viel grobkörniger. Auch die Oberflächen von Flüssigkeiten sind also rau und ergeben Reibung, wenn man andere Körper auf ihnen bewegt, ja die Reibung zweier aufeinander geschichteter Flüssigkeiten wie Öl auf Wasser oder Benzin auf Wasser ist keineswegs unbedeutend. Man ersetzt feste Lagerschalen gern durch Kugellager, in denen aufs Feinste geschliffene Stahlkugeln verwendet werden. Wie grob aber deren die Reibung vermindernde Oberfläche noch immer ist, beweist das untere Bild auf Tafel VI.

REIBUNGSWIDERSTAND UND REIBUNGSARBEIT

Wie man sieht, ist der Begriff der Reibung keineswegs sehr einfach. Hinter ihr verbergen sich die mannigfachsten Erscheinungen, denen man nachspüren muß, um eine richtige Anschauung von diesem Erscheinungsgebiet zu gewinnen. Der Umstand, daß man durch Versuche die Abhängigkeit der Reibung vom Gewicht des auf einer Unterlage gleitenden Körpers ermittelt hat, führt auf einen anderen Faktor (d. h. auf einen anderen ausschlaggebenden Umstand), der sich in der Reibung versteckt. Wir wissen, daß jeder Körper bis zu gewissem Grade elastisch ist, daß man ihn spannen und drücken kann, und er doch wieder seine ursprüngliche Gestalt annimmt. Legt man einen Körper auf einen anderen, eine Unterlage, so drückt er sich vermöge seiner Elastizität ein wenig ein. Verschiebt man den oberen Körper, so muß er den kleinen vor ihm liegenden Berg des Stoffes, aus dem die Unterlage besteht, vor sich herschieben. Um den aufliegenden Körper verschieben zu können, müssen wir Energie aufwenden. Das ist die Reibungsarbeit. Es hängt weiter von der Form der

Reibungswiderstand und Reibungsarbeit

sich reibenden Körper ab, wie stark namentlich zu Anfang der Reibungswiderstand ist. Ist der obere Körper scharfkantig, so läßt er sich schwerer von der Stelle rücken, als wenn er abgestumpft oder ballig ist, denn dann wird der ihm das Weggleiten verwehrende kleine Stoffberg leichter überwunden. Die scharfe Kante schert leicht Stoff von der Unterlage ab, die



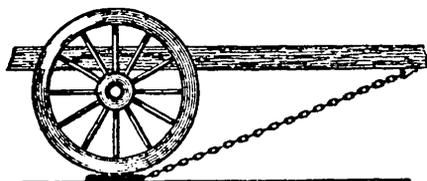
- a) Reibung zweier Körper gegeneinander. Der nach links gerichtete Pfeil gibt die Richtung und Größe der Reibung an, der nach rechts gerichtete Pfeil Richtung und Größe des zur Bewegung nötigen Zuges.
- b) Die Reibung besteht zum Teil aus dem Widerstand des durch den aufliegenden Körper eingedrückt Stoffes der Unterlage. Der in der Zugrichtung liegende kleine Stoffwall W muß jedenfalls überwunden werden, wenn man den aufliegenden Körper in der Zugrichtung fortbewegen will.
- c) Reibung eines balligen Körpers auf seiner Unterlage.
- d) Vorgänge bei der rollenden Reibung.

ballige gleitet leichter darüber hinweg. Ein balliger Körper rutscht also leichter. Hat er gar die Form einer Walze oder eines Rades, und kann er rollen, so ist die Reibung noch geringer. Daher ist der Schienenwagen so sehr im Vorteil gegenüber dem Wagen auf der Landstraße. Die Eisenbahn hat schon aus diesem Grunde ihre Vorzüge. Selbst der auf Luftgummireifen fahrende Wagen kann mit der Eisenbahn nicht konkurrieren — ganz abgesehen davon, daß das auf der glatten Stahlschiene rollende Eisenbahnwagenrad sehr große Lasten zu tragen vermag und diese mit großer Geschwindigkeit weiterbringen kann.

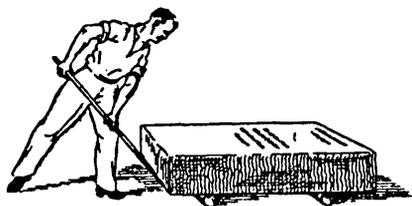
Daß der aufliegende Körper die Unterlage eindrückt, weiß man vom Schlittschuhsport her. Die stählerne Kufe, die Gleitbahn des Schlittschuhs, macht nicht unbedeutende Rillen im Eise. Das Eis schmilzt sogar unter der Kufe, gefriert aber sehr schnell wieder (Regelation). Dennoch kann man auf Grund dieses Vorganges die Spuren verfolgen, auf denen ein Schlittschuhläufer seine Kurven gezogen hat. Auch der Skiläufer braucht die Reibung, um sich vom Schnee abzustößen, in dem er seine Rillen zieht.

FORTBEWEGUNG IST NUR MIT HILFE
DER REIBUNG MÖGLICH

Lastentransporte sind möglich, indem man sie über den Erdboden hinschleift. Dabei ist aber die Reibung sehr groß. Viel leichter gehen sie durch Unterlegen von Walzen oder durch Aufladen auf einen Wagen. Der bei großer Glätte unter das Rad gelegte Hemmschuh verwandelt die rollende Reibung in gleitende, die nunmehr schleifende Last rutscht nicht so leicht auf abschüssiger Straße. Gibt man den Rädern eine Gummibereifung, so



Hemmschuh

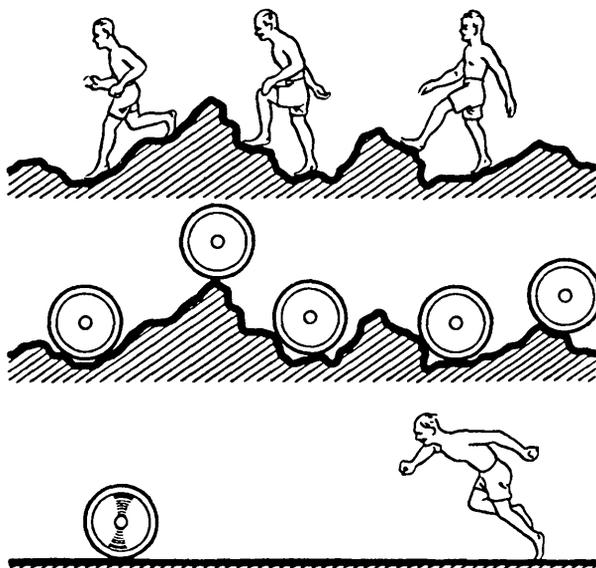


Lastentransport auf Walzen

wird das Fortbewegen noch leichter. Pneumatikbereifung, also gefüllte Luftschläuche um das Rad, schaffen weitere Erleichterung. Benutzt man aber Stahlschienen, auf denen in den Achslagern reichlich geschmierte Stahlräder rollen, so ist man an der Grenze des Möglichen angelangt. Wie groß trotz alledem die Reibung ist, geht aus unserem vorhin erwähnten praktischen Fall mit der Eisenbahn hervor.

Auch der Schwimmer braucht die Reibung seiner Arme und Beine, um im Wasser vorwärts zu kommen. Das Schiff ebenfalls, sei es durch Ruder, Segel, seitliche Schaufelräder oder durch die Schiffsschraube angetrieben. Kann aber das Flugzeug fliegen, ohne sich mit Hilfe der Reibung durch die Luft zu bohren? Denn der Propeller stößt sich an der Luft ab. Wäre keine Reibung zwischen den Propellerflügeln und Luft, so könnte er nur auf der Stelle treten und nie schweben, geschweige denn vorwärtskommen, fliegen. Die Reibung muß der Ingenieur an der richtigen Stelle anbringen und so anwenden, daß der Wirkungsgrad ein Bestwert wird. Deshalb muß der Konstrukteur gleich auch den richtigen Antrieb auswählen, also nicht etwa eine Eisenbahn mit Segeln oder einen Lastwagen mit Propellern ausstatten wollen. Diese Beispiele scheinen reichlich komisch zu sein. Und dennoch sind sie es nicht. Es kann heute bereits festgestellt werden, daß der Raketenantrieb für Landfahrzeuge wegen seines schlechten Wirkungsgrades bei geringen Geschwindigkeiten nicht brauchbar ist.

Das Rad im Nachteil und im Vorteil



Fortbewegung auf festem Boden läßt sich technisch auf verschiedene Weise ausführen und konstruktiv gestalten. Die Natur hat sie in den Organismen mit Hilfe von hin und her pendelnden Gliedmaßen organisiert. Das Bein ist ihr technisches Hilfsmittel dafür, aber nicht als Einzelbein, sondern mindestens als Beinpaar. Ein Bein stößt den Gesamtkörper vom Erdboden ab, während sich das andere Bein in entgegengesetzter Richtung bewegt, um im Wechsel mit dem Partnerbein die darauffolgende Abstoßung zu übernehmen und damit den Körper ziemlich gleichmäßig fortzubewegen. Dabei sind die Beine nicht an die Ebene und Glätte der Gehbahn gebunden, sondern können gleichzeitig steigen oder niedergehen.

Die technische Ausgestaltung von Fortbewegungsmitteln hingegen hat mit dieser stelzenartigen Konstruktion keine günstigen Erfahrungen gemacht, sondern bedient sich im Gegensatz zur organischen Kinematik (die keine rotierenden Organe kennt) des Rades, eines rotierenden Elements. Dieses wird sowohl als rollendes Fortbewegungsmittel benutzt wie zum motorischen Antriebe. In beiden Fällen erfordert es eine verhältnismäßig ebene Unterlage als Bahn. Je ebener diese ist, desto mehr treten die Vorzüge des Rades gegen die Beine hervor. Die Vorzüge des Rades kommen am günstigsten zur Geltung auf der Eisenbahnschiene. Auf sehr unebenem Gelände dagegen ist, wie das Bild zeigt, das Bein in großem Vorteil. Es kann, oft sogar ohne Schwierigkeit, selbst da noch immer seine Aufgabe erfüllen, wo das für das Rad eine Unmöglichkeit ist.

ES GIBT ABER DOCH EINE WELT OHNE REIBUNG!

Wie ist es nun aber mit der Fortbewegung dort, wo es keine Reibung gibt?

Dieser Fall ist im freien Weltraum verwirklicht, denn dort gibt es ja nicht einmal eine Atmosphäre, an der sich der Propeller eines Flugzeugs abstoßen kann. Aber noch etwas: Wir fanden die Reibung abhängig von der Schwere des aufliegenden Körpers. Gibt es nun keine Schwere, wie auf dem künstlichen Monde, so kann es schon aus diesem Grunde keine Reibung geben. Auf Astropol wäre also auch keine Reibung vorhanden. Nun erkennen wir auch, warum man in der Raketenkabine auf dem künstlichen Monde nicht gehen kann. Setzt man den Fuß auf eine Fläche, so muß er rutschen, weil keine Reibung da ist, die ihn hält. Der Fuß drückt sich nicht in die Unterlage, weil er keine Schwere besitzt. Beim Aufsetzen würde man sich vielmehr abstoßen und müßte entgegengesetzt aufschweben. Deshalb auch die Notwendigkeit, überall Halteseile und Schlaufen anzubringen, an denen man sich entlangbewegt, zu denen man sich heranzieht oder mit deren Hilfe man sich abstößt, denn wegen der Schwerelosigkeit schwebt man ja durch den Raum. Darüber werden wir noch mancherlei zu erörtern haben.

Es gibt also eine Welt ohne Reibung! Und die hat merkwürdige Eigenschaften, die kennenzulernen äußerst interessant und lehrreich ist. Sie decken sich mit allen unseren physikalischen und chemischen, überhaupt mit allen unseren naturwissenschaftlichen Grundsätzen, die — wir sagten es schon (S. 33) — im ganzen Universum überall dieselben sind. Womit zugleich gesagt ist, daß die Welt ein einheitliches Ganzes ist, verwandt mit der Erde und dem Irdischen.

Der Voreilige würde sagen, daß es eben deshalb nicht möglich sei, sich im freien Weltraum zu bewegen. Dieser Schluß ist jedoch übereilt. Wie man vor der Entdeckung der Spektralanalyse immer sagte, man könne niemals erfahren, woraus die Sterne am Firmament bestehen, weil man nie dorthin gelangen und sie chemisch untersuchen könne — und dennoch seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts durch die spektralanalytische Methode Lügen gestraft wurde. So ist es auch mit dem Problem der Fortbewegung im freien Weltraum*). Denkt man sich ein Geschloß aus einer Riesenkanone mit so großer Wucht abgeschossen, daß es dem Schwerebereich der Erde enteilt und in den freien Weltraum hinausstürzt, so haben wir schon eine Möglichkeit erfunden, sich im freien Weltraum fortzubewegen. Was die Wissenschaft zu dieser Frage zu sagen hat, werden wir noch erfahren.

*) S. Linke „Streifzüge im Reiche der Sterne“, Stuttgart 1926, S. 187

WARUM KEINE KANONE UND KEINE REISE
IN DER ABGESCHOSSENEN GRANATE?

Aber eins ist sicher, nämlich, daß einem solchen Geschöß eine bestimmte Bahn vorgeschrieben wäre, die es selbst oder seine Insassen niemals mehr abändern können. Die Aufgabe wäre mit dieser „Erfindung“ nur zum kleinen Teil gelöst. Diese Erfindung ist auch nicht mehr neu und wäre nicht mehr patentfähig, hat doch bereits Jules Verne, ein berühmter französischer Schriftsteller, in zweien seiner vielgelesenen spannenden phantastischen Romane, betitelt „Von der Erde zum Monde“ und „Reise um den Mond“, Reisende zum Monde geschickt. Wenn sie auch nicht ihr Ziel erreicht, so sollen sie doch den Mond umfahren haben und zur Erde wieder zurückgekehrt sein. Wenigstens steht es so bei jenem vielgenannten Autor. Wenn aber die Weltraumfahrt in einer Granate möglich ist, die eine Kanone herauschießt: wozu brauchen wir dann eine Rakete, wie sie Gail und andere für ihre Reisenden benutzen?

Die Antwort darauf gibt sich jeder selbst, den man fragt, ob er sich in ein solches Geschöß, wie es Vernes „Kolumbiade“ in den Weltraum hinauschoß, hineinsetzen würde. Die meisten werden mit einem entschiedenen „Nein“ antworten. Und sie werden aus dem Gefühl heraus auch ganz richtig den Grund dafür angeben. Sie werden zum Beispiel sagen: Ich laß mich doch nicht zerquetschen! — Und damit haben sie vollkommen recht. Beim Entzünden des Pulversatzes in der Kanone erfährt ja das Geschöß ganz plötzlich eine geradezu ungeheuerliche Beschleunigung, die nur ganz kurze Zeit anhält und während dieser den gesamten Schwung auf das Geschöß übertragen muß, den dieses überhaupt erhält. Befänden sich also lebende Wesen in einem solchen Hohlgeschöß, so würden sie im Moment des Schusses gegen den Boden gepreßt werden, mit derselben Wirkung, also ob ihnen das Geschöß gegen den Leib flöge. Sie verließen also als Lebende nicht einmal die Kanone. Sie wären im Augenblick des Abschusses nur noch ebene Gebilde auf dem Boden der Granate, sie wären „einfach platt“!

VERNES REISENDE
FUHREN NICHT IN KANONENKUGELN,
SONDERN IN LANGGESCHOSSEN

Als man mit Kanonen zu schießen begann, wurden als Geschosse Kugeln benutzt. Steinkugeln oder Stücke davon stecken noch in manchen alten Toren unserer Heimat, vom 30jährigen Kriege her. Später nahm man eiserne Kugeln, die schon wegen ihres größeren spezifischen Gewichts viel schwerer waren und daher größere Zerstörungskraft besaßen.

Langgeschoß statt Kanonenkugel

Das *spezifische Gewicht* ist eine Eigenschaft des Stoffes. Es gibt an, wieviel mal schwerer der betreffende Stoff ist als Wasser. 1 Liter Wasser (d. s. 1000 Kubikzentimeter) oder 1 Kubikdezimeter wiegt 1000 Gramm oder 1 kg. 1 Kubikdezimeter Feldstein wiegt etwa 3,5 kg, 1 Kubikdezimeter Gußeisen hingegen 7,2 kg. 1 Liter Alkohol wiegt 790 g, 1 Liter Luft 1,3 g. — Das spezifische Gewicht ist eine unbenannte Zahl.

Eine Gußeisenkugel von 10 cm Durchmesser ist also mehr als doppelt so schwer wie eine Steinkugel derselben Größe. Deshalb ist sie als Geschoß auch sehr viel wirksamer.

Mit dem Fortschreiten der Kriegstechnik genügten auch die Kugeln nicht mehr. Man brauchte, um recht schwere und wirksame Geschosse schleudern zu können, zu große Durchmesser, die dicke Kanonenrohre (große Kaliber) erforderten, und kam daher auf den Gedanken, keine Kugeln, sondern längliche Geschosse zu verwenden. Je länger sie waren, desto größer war ihr Inhalt, ihre Masse, um so mehr Explosionsstoffe konnte man auch in ihnen unterbringen, um sie als Explosivgeschosse überhaupt wirksam anwenden zu können.

Jules Verne sah ein, daß er seine im Weltraum Reisenden nicht in eine Kugel setzen könne, weil die sich sicherlich fortwährend und unwillkürlich drehen müßte. Er sah daher für die „Kolumbiade“, wie das Geschütz hieß, aus dem seine Weltraumgranate hervorschoß, ebenfalls ein Langgeschoß vor. Das ist nun aber gleichfalls eine völlige Unmöglichkeit, denn ein solches Langgeschoß muß sich auf seinem Fluge durch die Luft andauernd überschlagen und wäre somit aus dem gleichen Grunde ein noch unbrauchbareres Gefährt als eine Kugel.

Warum überschlägt sich denn ein Langgeschoß? Das müßte doch auch bei allen unseren Geschossen, die wir jetzt gebrauchen, der Fall sein? Die überschlagen sich aber nicht, denn sonst wären sie überhaupt nicht verwendbar. Sie würden einmal mit dem Boden, ein andermal mit der Flachseite, oder schief, vielleicht sogar auch zufällig einmal mit der Spitze aufschlagen. Sie müssen aber immer mit der Spitze vorn bleiben. Und tun es auch. Aber wie macht man das und wie hängt das alles zusammen? (Siehe hierzu Bilder Seite 70 und 71).

An einem Langgeschoß greifen mannigfache Kräfte an. Die müssen wir kennenlernen und zusammensetzen, um die Vorgänge richtig zu begreifen. Wird ein Geschoß zum Kanonenrohr hinausgeschossen, so treiben es die beim Entzünden der Pulverladung entstehenden Gase zur einzig vorhandenen Rohöffnung, dem Kanonenmund, hinaus. Die Rohrwände müssen so stark sein, daß sie ohne zu zerspringen den Druck dieser Gase aushalten. Tritt das Geschoß seine Bewegung an, so schiebt es die im Rohr vorhandene Luft vor sich her. Es sind also bereits zwei Kräfte am Werk. Aber auch wenn das Geschoß in der freien Luft fliegt, bleibt der Luft-

widerstand bestehen, denn das Geschoß muß sich ja durch die Luft seinen Weg bohren. Sowie es aus dem Rohr heraus ist, wirkt aber auch noch die Schwere: es muß fallen! Das ist die dritte auftretende Kraft. Damit das Geschoß nicht zu Boden fällt, bevor es sein Ziel erreicht hat, zielt man nicht unmittelbar auf dieses los, sondern schräg nach oben, so daß es trotz des Falles, der sich in einer krummen Linie zu erkennen gibt, das Ziel erreicht. Auch wenn wir mit einem Stein nach einem Ziel werfen, müssen wir ja über das Ziel hinaushalten. Nach einiger Übung haben wir die Empfindung dafür, wie viel wir für einen Wurf vorhalten müssen, um zu treffen.

Die Bahn eines Geschosses ist gleichfalls gekrümmt, wenn auch nicht so stark, weil die Wucht und die Schnelligkeit das Geschoß viel weiter stoßen, ehe es zu Boden kommt, als wir mit unseren schwachen Muskelkräften beim Werfen. Die Krümmung der Geschoßbahn läßt sich aus der Richtung, der Treibkraft und der Schwere nach dem Parallelogrammsatz bestimmen, wie wir das schon kennenlernten (Seite 27). Schießt man im luftleeren Raum, so brauchen wir nur zwei Kräfte zusammensetzen, die Triebkraft vom Abschluß her und die Schwere. Beide greifen am Schwerpunkt des Geschosses an. Schießen wir jedoch in die Luft, wie es gewöhnlich geschieht, so müssen wir noch die dritte Kraft, den Luftwiderstand, berücksichtigen. Der aber greift nicht im Schwerpunkt an, sondern auf der ganzen sich der Luft darbietenden Oberfläche des Geschosses. Und daraus ergeben sich Schwierigkeiten, auf die wir hier näher eingehen müssen.

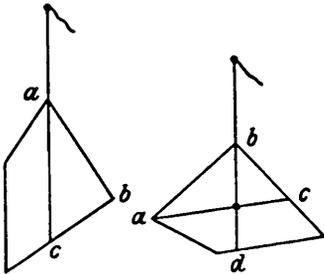
Vorher aber noch eins, was die Leser sicherlich interessiert, eine orthographische Angelegenheit, nämlich die Feststellung, ob sich Kanone mit K oder mit C schreibe (also ob Kanone oder Canone?) — Natürlich mit K! — und warum? — Weil die Kanone ein K lieber (Kaliber) hat!

UND NUN NOCHMALS: DER SCHWERPUNKT

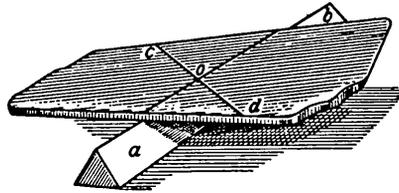
Jeder Körper hat einen Schwerpunkt. Und beim Geschoß spielt er eine besondere Rolle. Bei einem flachen Gebilde wie einem Karton oder einem dünnen Brett läßt er sich leicht feststellen. Jeder Punkt des Brettes wird von der Schwerkraft erfaßt. Hängt man es z. B. an einer Ecke auf, so nimmt es eine bestimmte Stellung ein. Das ist diejenige, die sich ergibt, wenn man die an allen Punkten angreifenden Schwerkkräfte zusammensetzt, wie wir das gelernt haben und wie wir es beim gezogenen Wagen fanden (Bild auf S. 27). Die Verlängerung der Aufhängeschnur geht dann sicher durch den Schwerpunkt. Denn nur wenn das der Fall ist, kann das Brett in Ruhe hängen bleiben. Damit haben wir aber den Schwerpunkt selbst noch nicht gefunden. Man zeichnet diese Verlänge-

Vom Schwerpunkt

rungslinie auf das Brett; sie heißt eine Schwerelinie. Hängt man das Brett nun an einer der anderen Ecken auf, so nimmt es wieder eine ganz bestimmte Stellung ein, bei der die Verlängerung der Aufhängeschnur über das Brett wiederum durch den Schwerpunkt des Brettes geht.

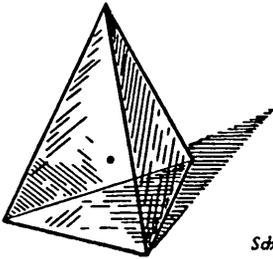


Ermittlung von Schwerpunkt und Schwerlinien an flächenförmigen Körpern

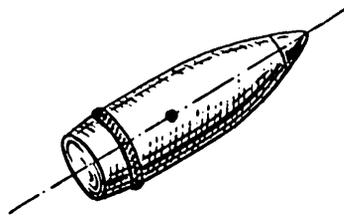


Ermittlung des Schwerpunkts eines plattenförmigen Körpers durch den Versuch

Zeichnet man auch diese Linie auf, die gleichfalls eine Schwerelinie ist, so ergibt sich von den beiden gefundenen Schwerelinien ein Schnittpunkt. Dieser ist der Schwerpunkt. Hängt man das Brett an diesem auf, so bleibt es in jeder Stellung im Gleichgewicht.



Schwerpunkt einer dreiseitigen (viereckigen) Pyramide



Schwerpunkt einer Granate

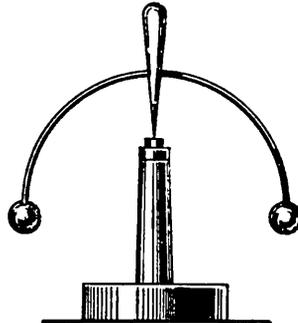
Bei Körpern fester und einfacher geometrischer Gestalt und durch und durch gleichartigem Stoff läßt sich der Schwerpunkt in vielen Fällen durch bloße Überlegung finden. Der Mittelpunkt einer Kugel oder eines Ellipsoids ist ganz offenbar zugleich der Schwerpunkt. Bei einer Walze mit gleichlaufenden Endflächen liegt der Schwerpunkt in der Mitte der Achse, bei einem Quader oder einem schiefen Quader in der Mitte einer Eckenlinie. Der Schwerpunkt einer Pyramide oder eines Kegels liegt auf der von der Spitze nach dem Schwerpunkt der Grundfläche gezogenen

Schwerpunkt von Hohlkörpern

Graden um $\frac{1}{4}$ derselben von der Grundfläche entfernt. In einer Granate liegt der Schwerpunkt sicher in ihrer Achse, d. h. der von der Spitze nach dem Mittelpunkt der Grundfläche gezogenen Geraden. Wie weit von dieser ab, hängt von der Form der Granate, ihrer inneren Einrichtung und ihrer Füllung ab.



*Schwerpunkt eines
Hohlkörpers*



*Schwerpunkt eines
Kugelsystems*



Gewichte am Waagebalken



*Schwerpunkt zweier
Kugeln gleichen Ge-
wichts*



*Schwerpunkt zweier Ku-
geln ungleichen Gewichts*

Der Schwerpunkt vieler Körper liegt durchaus nicht immer im Körper selbst, wenigstens nicht immer in seiner Masse. Der Schwerpunkt einer Hohlkugel, einer Flasche, einer Vase oder Schale oder einer Glocke liegt gewöhnlich in dem Hohlraum. Bei einem System von Körpern liegt er fast nie in einem dieser Körper. Der Schwerpunkt zweier gleich schwerer Gewichte oder Kugeln liegt — wie sich durch Auswiegen ergibt — in der Mitte ihrer Achsenverbindungsline, zweier ungleich

Flugeigenschaften der Langgeschosse

schwerer jedoch näher zur schwereren, um so näher, je schwerer diese ist. Wir erfuhren bereits, daß der Schwerpunkt des Systems Erde—Mond noch in der Erde selbst liegt (S. 33). Nun können wir zu den

FLUGEIGENSCHAFTEN DER LANGGESCHOSSE

zurückkehren. Schießt man ein solches im luftleeren Raum aus einer Kanone ab, so wirken darauf nach dem Verlassen des Rohres nur die vom Treibsatz herrührende Beschleunigung nach schräg oben und die Schwerkraft. Unter deren Wirkung beschreibt das Geschöß bis zum



Flug eines Langgeschosses im luftleeren Raume. Das Langgeschöß behält seine Achsenrichtung bei, auch wenn es aus einer Kanone ohne Drall abgeschossen wird

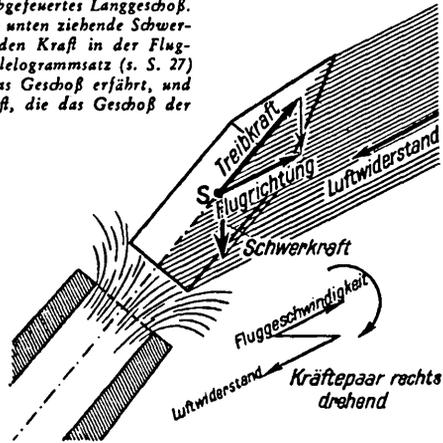
Niederfall auf das Ziel eine krumme Linie, die ein Stück einer Ellipse ist, in deren einen Brennpunkt der Erdmittelpunkt steht. Das Langgeschöß behält natürlich seine Achsenrichtung bei, wird also nicht gerade mit der Spitze das Ziel treffen. — Beiläufig sei bemerkt, daß das explodierende Pulver nicht bloß das Geschöß zur Rohrmündung hinaustreibt, sondern auch auf den Rohrboden der Kanone drückt und diese nach hinten stößt. Das ist der sogenannte Rückstoß, den man gern in Bremsen (Flüssigkeits- oder Federbremsen) ganz oder teilweise auffängt. Wir werden auf diesen Rückstoß später noch ausführlicher zurückkommen, bildet er doch die Grundlage für die ganze Raketentechnik.

Nun können wir jedoch niemals im luftleeren Raum schießen, falls wir nicht etwa aus einem im freien Weltraum schwebenden Geschütz feuern. Auf der Erde müssen unsere Geschosse immer durch die Luft sausen, und diese bietet ihnen erheblichen Widerstand. Auf den Schwerpunkt des Langgeschosses wirken also nun nicht mehr bloß zwei Kräfte, sondern drei. Hinzu tritt eben eine auf die ganze der gegenstehenden Luft zugewendete Oberfläche des Geschosses wirkende Kraft. Diese, der Luftwiderstand, greift auf der Geschößfläche an. Wir können ihn zu einer im Schwerpunkt dieser Fläche zusammengefaßten Kraft zusammensetzen. Da die vom Luftwiderstand betroffene Seite des Geschosses eine nach außen gekrümmte (konvexe) Fläche ist, liegt deren Schwerpunkt irgendwo in ihrem Innern. In jedem Augenblick ist der Luftwiderstand der Flug-

Überschlagen von Langgeschossen

richtung der Granate genau entgegengerichtet. Die Treibkraft allein gibt jedoch nicht die Flugrichtung an, denn es wirkt ja gleichzeitig dauernd die Schwere. Schwerkraft und Treibkraft kann man zu einer Mittelkraft

Wirkung des Luftwiderstandes auf ein abgefeuertes Langgeschöß. Die Treibkraft des Pulvers und die nach unten ziehende Schwerkraft setzen sich zur vorwärts treibenden Kraft in der Flugrichtung des Geschosses nach dem Parallelogrammsatz (s. S. 27) zusammen. Der Luftwiderstand, den das Geschöß erfährt, und der im Schwerpunkt der Fläche angreift, die das Geschöß der Luft entgegenstellt, bildet mit einem Teil der in der Flugrichtung wirkenden Geschößkraft ein Kräftepaar mit einem Drehmoment, z. B. in der gezeichneten Drehrichtung. Das Geschöß kippt also, je nach der Drehrichtung des Moments, nach unten oder oben über, es überschlägt sich.



zusammensetzen, und in deren Richtung fliegt die Granate. Der Luftwiderstand ist ihr genau entgegengesetzt. Er greift gegen die ihm zugewendete Oberfläche der Granate an und läßt sich zu einer Mittelkraft



Die Geschößlagen beim Abschuß eines Langgeschößes im Luftraum aus einer ungezogenen Kanone (ohne Drall). Dieses Geschöß überschlägt sich (s. vorangehendes Bild), es kann mit fast jedem Teil seiner Oberfläche auf das Ziel schlagen. Das ist unerwünscht, denn es soll ja mit dem Zünder aufschlagen, der an der Spitze sitzt; sonst kann es nicht explodieren.



Das ideal fliegende Langgeschöß in seinen aufeinanderfolgenden Lagen

zusammensetzen. Diese ist parallel der Flugrichtung. Beide schießen aber gewöhnlich aneinander vorbei und lassen sich nicht zusammensetzen, sondern bilden ein Kräftepaar, das ein Drehmoment ergibt. Man erkennt ohne weiteres, daß dieses Kräftepaar in dem dargestellten Falle rechts herum dreht, d. h. es zieht die Granate mit der Spitze nach unten, die Granate überschlägt sich also. In dem Bilde Seite 71 ist der Flug einer mit der Spitze sich nach oben überschlagenden Granate dargestellt.

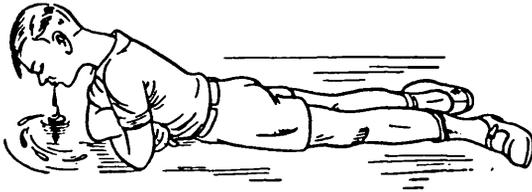
Eine solche Granate aber läßt sich schlecht verwenden. Man wünscht den Aufschlag mit der Spitze und ein ideal fliegendes Geschoß, dessen Achse jeweils die Tangente (Berührende) der Flugbahn ist. Könnte man dem Geschoß Steuerflächen geben, so wäre die Aufgabe gelöst. Das läßt sich aber nicht machen. Denn wie sollte man ein Geschoß mit solchen aus einer Kanone abschießen? Und wollte man sie dem Geschoß erst beim Verlassen des Kanonenrohres aufsetzen, so würden sich dabei große Schwierigkeiten und Komplikationen ergeben, denn in diesem Augenblick besitzt das Geschoß ja seine größte Geschwindigkeit; es würde die Aufsetzflächen sofort abreißen.

Und dennoch hat man das Problem gelöst. Allerdings auf ganz andere Art, nämlich indem man dem Rohrlauf des Geschützes lange, schraubenlinige „Züge“ eindreht, den sogenannten *Drall*. Das sind ganz flache Rillen, die das mit einem weichen (Kupfer-)Führungsring versehene Geschoß zwingen, sich ihnen anzupassen und sich um seine durch den Schwerpunkt gehende Längsachse zu drehen. Bei der großen Geschwindigkeit der modernen Geschosse, die in der ersten Sekunde 1000 Meter zu überschreiten pflegt, ist die Drehung sehr schnell. Ein solcher sich schnell drehender Körper erhält damit Kreiseigenschaften, die sich in einer großen Stabilität, d. h. Stand- und Richtungsfestigkeit der Achse ausdrücken.

Es sei hier an den Kinderkreisel erinnert, den man durch eine Peitschenschnur in schnelle Drehung versetzt. Dieser Kreisel tanzt auf seiner Spitze und fällt nicht um, so lange er sich schnell dreht. Die Spitze, auf der er steht und rotiert (sich dreht), beschreibt auf der Unterlage kreisartige Bewegungen, wobei seine Achse sich langsam rundum verschieden schräg legt. Grund dafür ist die Schwerkraft, aber diese wird überwunden, so lange der Kreisel schnell rotiert. Man erkennt, daß statt umzukippen die Kreiselachse immer seitlich ausweicht. Läßt die Drehung nach und wird sie nicht durch einen neuen Peitschenschlag wieder vergrößert, so fällt der Kreisel schließlich doch um, wie er auch umfällt, wenn man ihn ohne Drehung hinstellen versuchte. Warum das so ist, das zu erläutern, wäre für die Leser zu schwierig. Wir müssen uns mit der Kenntnisaufnahme der Tatsachen begnügen. Die aber kennt jedes Kind, das einmal mit einem Kreisel gespielt und ihn dabei genau beobachtet hat.

ERLEBTE WISSENSCHAFT

Manche Kinder entwickeln bei solchem Spiel ganz erstaunliche Beobachtungsgaben. So sah ich einmal einen ganz in sich versunken spielenden Knaben mitten auf einer asphaltierten Straße lang auf dem Bauch liegend auf einen schön gerade stehend angetriebenen Kreisel sorgfältig zielend



„Erlebte“ Wissenschaft: Ein Experimentator auf dem Berliner Straßendam; Zentrifugalexperiment.

spucken und sich freuen, wie sein auf die glatte Oberseite des Kreisels fallender Speichel nach allen Seiten zentrifugal auseinanderflog — zwar kein gerade sehr ästhetisch schön anmutendes Experiment, das aber dennoch weitgehendes, ja ungewöhnliches naturwissenschaftliches Interesse bei diesem jungen Experimentator vermuten ließ. Dieser Knabe erlebte jedenfalls seine experimentelle Wissenschaft voll und ganz und aus sich selbst heraus.

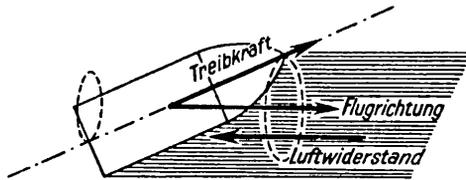
EIN SCHUSS IN DEN WELTRAUM KOSTET 100 MILLIONEN MARK

Das Langgeschöß ist ein Kreisel, den der Luftwiderstand zu kippen bestrebt ist. Dieser Kippwirkung weicht das kreiselnde Geschöß durch eine seitliche Drehung aus. Da es frei in der Luft schwebt, beschreibt seine Achse unter der Wirkung des dauernden Luftwiderstandes einen Doppelkegelmantel, dessen Spitze der Schwerpunkt des Geschosses ist. Ideal fliegt also auch solches Geschöß nicht. Immerhin bohrt es sich, ehe es explodiert, mit seiner Spitze in das getroffene Objekt ein. Es schlägt auch stets mit der Spitze auf und kann deshalb explodieren — was nicht der Fall zu sein braucht, wenn es mit einer anderen Stelle seiner Oberfläche aufschlägt.

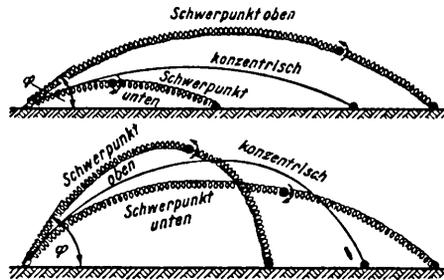
Insassen eines so auf den Weg gebrachten Geschosses behielten keinen Augenblick ihr Bewußtsein. Sie würden zunächst einmal gegen den Boden

Das kreiselnde Langgeschöß

der Granate plattgedrückt, sodann aber auch gegen die Innenwand der Granate gepreßt werden. Sollen sie aber leben und womöglich noch irgendwie beobachten können, so müssen sie in einem völlig ruhig dahingleitendem Gefährt stecken, das ihre Körperfähigkeiten in keiner Weise beeinträchtigt. Anders geht es nicht.



Langgeschöß, aus einer Kanone mit Drall abgeschossen. Das Geschöß rotiert sehr schnell um seine Längsachse. Der Luftwiderstand versucht es immerwährend zu kippen, dem aber die durch den Drall beim Geschößausstoß erlangte schnelle Rotation des Geschößes um seine Längsachse entgegenwirkt, indem das Geschöß nach Kreiselart seitlich ausweicht. Da das stets nach derselben Seite geschieht, pendelt das Geschöß nach Kreiselart (wie die gestrichelten perspektivischen Kreislinien andeuten) sehr schnell und bohrt sich in einer Schraubenlinie als Geschößbahn durch die Luft



Die schraubenlinienförmigen Geschößbahnen

Wir kommen auf Jules Vernes' Plan zurück. — Man hat verschiedentlich an diesem Plan herumgerechnet und gefunden, daß er überhaupt völlig unmöglich ist. Professor Oberth hat in Valiers Buch „Der Vorstoß in den Weltraum“ (München 1927) eingehend dargelegt, daß Vernes' ganzes Aluminiumgeschöß schon in der Kanone gänzlich plattgedrückt würde, daß es ferner den Luftkreis nicht zu durchschlagen vermocht hätte, von der Überwindung der Erdschwere gar nicht zu reden. Er macht dann neue Vorschläge, wie man die Sache anfangen sollte, um eine Granate

Die Mond-Kanone

in den Weltraum hinauszuschleudern. Jedenfalls kommt er zu ganz anderen Ergebnissen, als Jules Verne sie ehemals beschrieben hat. Immerhin glaubt er, daß ein solches Experiment, das zu alledem ziemlich nutzlos sein würde, eine ungeheure Menge Geld kosten würde, vielleicht



So fliegt ein aus einer Kanone mit Drall abgeschossenes Langgeschoß. Während der Flugzeit kreiselt es dauernd um seinen Schwerpunkt, behält aber die Spitze stets vorn, so daß sie mit dem Zünder auf- und mit der Spitze in das beschossene Objekt einschlägt. Das ist die letzte mögliche Vollendung, die die moderne Schießtechnik (übrigens schon lange) besitzt

100 Millionen Mark. Diese Ausgabe erübrige sich aber vollständig, wenn man bedenkt, daß inzwischen ganz neue Mittel gefunden worden seien, die die Aufgabe viel besser lösen als ein Geschoß. Der bloße Augenschein lehrt ja schon, daß es sowieso unmöglich ist, mit dem Geschoß lebende Wesen in den Weltraum hinauszubefördern.

Übrigens hat auch der Ingenieur *Guido v. Pirquet* die Gedanken von Jules Verne durchgerechnet und die Unmöglichkeit ihrer Verwirklichung nachgewiesen. Er fand, daß kein feiner Meßapparat, geschweige denn ein Mensch die ungeheuren Beschleunigungen aushalten kann, die ein Kanonengeschoß Jules Verne'scher Ausmaße erföhre. Er zeigt, daß ein Mensch von 75 kg Gewicht während des Abschusses mit 110 bis 220 Tonnen auf seine Unterlage drücken würde. Diesen Druck müßten also umgekehrt die auf ihrem Lager ruhenden Körperteile der Weltraumfahrer aushalten! Meint aber jemand, ein lebender Körper könnte als Unterlage für die größte und schwerste Lokomotive dienen, die es auf dem ganzen Erdenrund gibt?

EINE KANONE VON 5000 METERN LÄNGE!

Auch technisch ist übrigens die ganze Methode unmöglich. Selbst wenn man etwa in 6 km Meereshöhe, also zum Beispiel auf dem Gipfel des Kilimandscharo oder des Chimborasso (die übrigens beide fast auf dem Äquator liegen), die Kanone lotrecht einbauen würde, so daß die Mündung auf dem Gipfel läge, müßte das Rohr die phantastische Länge von 3 bis 5 km haben, um einen Schuß bis zum Monde zu ermöglichen. Die Paris-Kanone von 1918, die als Wunderwerk der Geschütztechnik von aller Welt angestaunt wurde, wäre dagegen noch nicht einmal ein Kinderpielzeug.

Die wahre Geschoß-Flugbahn

Praktisch ist die Sache überhaupt nicht ausführbar, weil man Pulvergase solcher Mengen gar nicht so schnell erzeugen kann, wie es notwendig ist, um ein Geschoß aus einem solchen Rohr hinauszubringen. Das Rohr müßte luftleer gepumpt werden, das heißt mit einem Deckel versehen sein, den das Geschoß erst im Moment des Austritts aus der Mündung wegschleudert. Wendete man diese Vorsicht nicht an, so bekäme man das Geschoß überhaupt nicht zur Kanone hinaus. Aber selbst wenn alles glatt ginge, würde ein praktisches Ergebnis gar nicht dabei herauspringen können.

So kommt also ein Geschoß überhaupt nicht in Betracht, und wir wenden uns von der ganzen Verne'schen Schießerei ab. Wir haben viel aus ihr gelernt und bringen sie in einigen Betrachtungen zum Abschluß, ehe wir uns dem neu vorgeschlagenen Mittel, der Rakete, zuwenden, die die Aufgabe ganz anders löst.

DIE WAHRE FLUGBAHN EINES GESCHOSSES

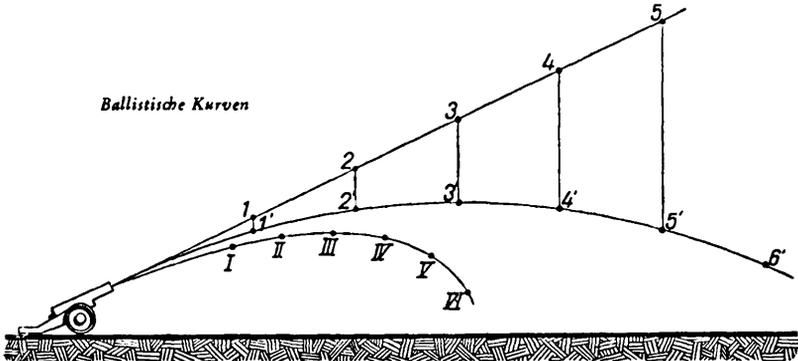
Die Lehre vom Schießen hat uns hier schon viel beschäftigt. Sie ist ja nichts weiter als die Lehre von den geworfenen Körpern (Ballistik). Und ihre Ergebnisse brauchen wir, um die Fragen der Raketenfahrt zu verstehen. Wir wollen deshalb noch etwas dabei verweilen; spielen doch manche Erscheinungen dabei eine Rolle, die man gleichfalls aus der Lehre vom Schießen entnommen hat.

Vor allem sei noch ausdrücklich bemerkt, daß die „ballistische Kurve“ nicht eine symmetrische Kurve ist, wie wir sie der Einfachheit halber hier gezeichnet haben, sondern daß sie nach hinten zu immer stumpfer wird, weil der Luftwiderstand das fliegende Geschoß dämpft und die Schwerkraft Zeit gewinnt, auf die Kurvenform wirksamer zu werden. Unsere ballistische Kurve sieht also eher so aus, wie im Bilde Seite 77 gezeichnet. Die schwersten Schiffsgeschütze schießen deshalb nicht 65 km weit, sondern nur etwa 35 km. Und auf der ballistischen Kurve spielen sich die Erscheinungen ab, die wir erörtert haben.

Doch damit nicht genug. Die Kurve eines Geschosses ist noch viel komplizierter, besonders, wenn es sich um ein weit- und schnell- oder hochfliegendes Geschoß handelt. Der Luftwiderstand ist seiner Größe nach von der Art der Eigenbewegung des Geschosses, von dessen Oberflächenbeschaffenheit und Gestalt, von Temperatur, Druck und Feuchtigkeitsgehalt sowie von der sich mit der Erhebung über den Erdboden ändernden Dichte der Atmosphäre abhängig. Die Kraft des jeweils und in den verschiedenen durchteilten Luftschichten herrschenden Windes, für Weitgeschosse (Ferngeschütze) auch die Bodenbeschaffenheit wegen ihrer Dichte (ob anziehungsändernde Meeres- oder Gebirgsmassen vorhanden sind)

Die ballistische Kurve

und zahlreiche andere störende Kräfte schaffen Abweichungen von der Flugbahn. Beim Schießen mit den ungeheuren Fluggeschwindigkeiten und bei größten Schießweiten (bei der Paris-Kanone von 1918:1700 m Geschöß-Anfangsgeschwindigkeit in der Sekunde) müssen ja auch die Tat-



sachen berücksichtigt werden, daß die Geschosse nicht in einem ruhenden Raum fliegen, sondern daß sich unter ihnen die Erde hinwegdreht. Das ergibt Zielabweichungen, deren vorherige Ermittlung eine Wissenschaft erfordert. Auf die Raketenfragen übertragen ergeben sich Rechnungen astronomischer Ausmaße. Solche in den Großraum übertragenen Verhältnisse offenbaren uns mancherlei verblüffende Erscheinungen.

In gleicher Weise wie ein vom Äquator nach Norden wehender Wind (Passat) nach Osten gedreht wird, weicht ein aus einem am Äquator stehenden Geschütz abgefeuertes Geschöß bei seinem Flug nach Norden in östlicher Richtung von seiner Bahn ab. Aber auch nach oben und unten ergeben sich Einwirkungen auf das Geschöß, deren ausführliche Erörterung hier zu weit führen würde und auch zu schwierig wäre. Sie seien nur erwähnt, um darauf aufmerksam zu machen, daß die gedankliche Beherrschung dieser Erscheinungen recht kompliziert ist, und daß sich neben dem grundsätzlichen Verständnis der Haupttatsachen noch sehr viel erforderlich macht, um etwa produktiv auf solchem Gebiet tätig zu sein.

Um nun auf die *wahre Flugbahn eines Geschößes* zurückzukommen: Ein aus einem Geschütz abgefeuertes Geschöß flöge in gerader Linie weiter, wenn keine anderen Kräfte es beeinflussen. Nach gewissen Zeiten erreichte das Geschöß die Stellen 1, 2, 3 und so fort (siehe beistehendes Bild). Da jedoch die Schwerkraft das Geschöß zur Erde herabzieht, ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Treib- und Schwerkraft die symmetrische

Günstigste Form in Luft fliegender Körper

elliptische (parabolische) Flugbahn, in der das Geschöß an den Stellen 1', 2', 3' und so fort ankommt, statt an 1, 2, 3 und so fort. Da jedoch die Luft das Geschöß hemmt, wird es in seinem Lauf verzögert. Es kommt zu den Zeiten I, II, III und so fort an bestimmten Stellen an. Die Krümmung seiner Flugbahn wird immer stärker, es ergibt sich die *ballistische Kurve*, die unsymmetrisch ist.

Wie sich das praktisch auswirkt, lassen die Zahlen für das deutsche Infanteriegewehr erkennen. Das Geschöß wiegt 10 g. Es wird mit 875 Metern in der Sekunde aus dem Lauf gestoßen und hat bei einem Abgangswinkel von $4^{\circ} 30' 20''$ eine Schußweite in der Mündungswaagerechten von 2000 m. Auf seinem Fluge steigt es bis auf 72 m Höhe und kommt am Ziel mit einer Endgeschwindigkeit von 153 m/s an. Im luftleeren Raum hingegen ginge das Geschöß 12 700 m weit, wobei es sich bis auf 250 m erhöbe und mit 895 m Endgeschwindigkeit das Ziel erreichte. Der Luftwiderstand ist also sehr erheblich, ja ausschlaggebend.

DER LUFTWIDERSTAND UND DIE GÜNSTIGSTE FORM IN LUFT FLIEGENDER KÖRPER

Da nun nichts in der Welt verloren geht, sondern scheinbare Verluste sich anderwärts wiederfinden (Prinzip von der Erhaltung der Kraft und der Energie von Robert Mayer und Hermann Helmholtz), so fragt man sich, wo die große Energiemenge bleibt, die das Geschöß auf seinem Wege durch die Luft verliert. — Es ist beinahe eine Wissenschaft für sich, diese Frage klarzustellen. Ernst Mach hat sie erstmalig in Angriff genommen. Die ballistischen Lehrbücher bringen seitdem darüber ausführliche Kapitel. Nur wenig sei davon hier mitgeteilt, weil es auch die Raketengeschosse betrifft.

Es bedurfte besonderer Vorkehrungen, um zu erkennen, wie sich das Geschöß zur durchflogenen Luft verhält, und was da alles vor sich geht. Schon die Strömungen des Wassers um ein bewegtes Schiff zeigen an, daß diese Verhältnisse nicht so ganz einfach liegen. Das bewegte Geschöß reibt sich an der Luft, es treibt vorn die Luft auseinander, hinter ihm ergeben sich komplizierte Wirbelungen, und von dem Geschöß gehen wellenartige Bewegungen der Luft aus, ähnliche wie die vom Bug und vom Heck eines das Wasser durchfurchenden Schiffes. Aus den beigefügten drei Fotos (Tafel II) erkennt man schon, wie kompliziert das alles ist. Vor dem bewegten Geschöß staut sich die Luft zu großer Dichte; eine Verdichtungswelle breitet sich nach allen Seiten hin aus. Am Ende des Geschosses hingegen entsteht eine Luftverdünnung, also ein Luftunterdruck, der auf die umgebende Luft einen „Sog“ ausübt und die umgebende Luft ebenfalls in eine Wellenbewegung versetzt (siehe Erläuterung im Anhang).

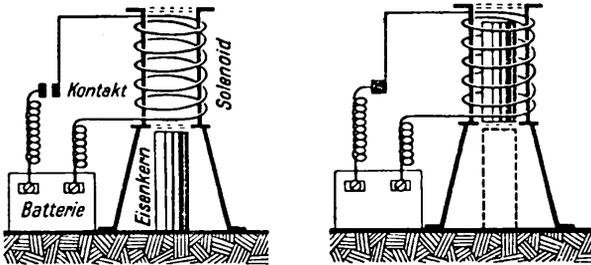
Günstigste Form in Luft fliegender Körper

Am ersten Bilde erzeugen die mit großer Geschwindigkeit aus der Mündung tretenden Pulvergase in der äußeren Luft eine starke Verdichtung, die die von oben nach unten das Bild durchschneidende Knallwelle der Waffe hervorruft. Der vordere Teil des Geschosses hat diese Knallwelle bereits überholt, und an seiner Spitze erkennt man eine zweite Verdichtung der Luft; das ist die den Geschößknall erzeugende Kopfwellen. Diese hängt in ihrer Gestaltung von der Kopfform des Geschosses ab. Außer der Kopfwellen, die von der Geschößspitze kegelförmig ausgeht, tritt am Geschößende eine zweite ähnliche Wellen auf, die Schwanzwellen. Sie sitzt wie auf einem kegelig angeordneten Wirbelzopf hinter dem Geschöß auf. Diese scharfen Luftbewegungen sowie die Knallerscheinungen verbrauchen viel Energie, die sie dem fliegenden Geschöß entziehen. Will man die Geschößwirkungen verbessern, so muß man den Gesamtwiderstand auf ein Geringstmaß herabdrücken. Das geschähe, wenn die Saugwirkung am Geschößende und die Stauchwirkung am Geschößkopf so weit wie möglich verringert würden. Das ist beim idealen Stromlinienkörper der Fall, der deshalb immer und überall eine große Rolle spielt, wo es sich um mit großer Geschwindigkeit in der Luft bewegte Körper handelt. Der Form von Geschossen (und natürlich auch der von Raketen) kommt daher große Bedeutung zu. Körper, die sich mit geringerer als der Schallgeschwindigkeit in der Luft bewegen, haben als günstigste Form mit geringstem Luftwiderstand die Stromlinien- oder Tropfenform. Dabei strömt die Luft ohne Bildung von Wirbeln glatt vorbei. Ideal ist das natürlich nie der Fall, weil jeder, auch der glätteste Körper, rauh ist (s. S. 58). Unter gewöhnlichen Verhältnissen beträgt die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft 330 m in der Sekunde (sie hängt aber sehr von der Temperatur und den atmosphärischen Bedingungen ab). Das wären $330 \times 60 \times 60 = 1\,188\,000 \text{ m} = \text{rund } 1200 \text{ km}$ in der Stunde. Flugzeuge fliegen meistens nicht so schnell. Man wird ihre Formen also stets der Stromlinienform angleichen. Geschosse aber fliegen nicht selten mit Überschallgeschwindigkeit, und das bringt ganz andere Verhältnisse mit sich. Die Luft vermag nicht, so schnell zu strömen. Sie staut sich infolgedessen an der Spitze des Geschosses, während an dessen Ende Unterdrucke mit starker Saugwirkung entstehen. Beim Geschöß kann man kaum etwas anderes tun, als die Spitze günstig zu formen, um die Luftstauung möglichst gering zu halten. Sie darf nicht der breite, abgerundete Kopf des Tropfens, sondern muß ganz schlank und lang sein. Für die Formen von Raketen kommen noch mancherlei andere Gesichtspunkte in Betracht, aber die Erfahrungen mit Geschossen sind dafür von vornherein sehr wertvoll.

KURIOSE GESCHÜTZE:
DAS SOLENOID- UND DAS ELEKTROMAGNETISCHE
GESCHÜTZ

Auf was für Gedanken die Menschen alles kommen, wenn es ans Erfinden geht, zeigt schon die Geschichte der Verniade. Denn eine „Geschichte“ hat sie bereits. Es sind Leute auf den Gedanken gekommen, die Erscheinung der Solenoidanziehung für eine Kanone zu verwenden.

Was ist ein Solenoid? — Jeder Leser weiß, was ein Magnet ist. Das ist ein Stück Stahl, das Eisen anzieht. Er weiß auch, daß ein solcher Magnet zwei Pole hat, einen Nord- und einen Südpol. Und wenn man zwischen beide ein Stück Eisen legt, so ist die Anziehung besonders stark, weil der magnetische Fluß von einem Pol zum andern durch das Eisen hingeht. Das ist allbekannt. Ein Solenoid ist nun nichts anderes als ein elektrischer Magnet ohne Eisen. Wickelt man einen besponnenen Kupferdraht zu einer Spule auf und schickt aus einer Batterie einen kräftigen elektrischen Strom hindurch — man nennt das „Erregen des Solenoids“ —, so verhält sich diese Drahtspule wie ein Magnet. Sie zeigt am einen Ende einen Nord-, am anderen Ende einen Südpol und zieht Eisen ebenso an wie ein Magnet. — Das ist übrigens ein Beweis für die Verwandtschaft der elektrischen und der magnetischen Erscheinungen.

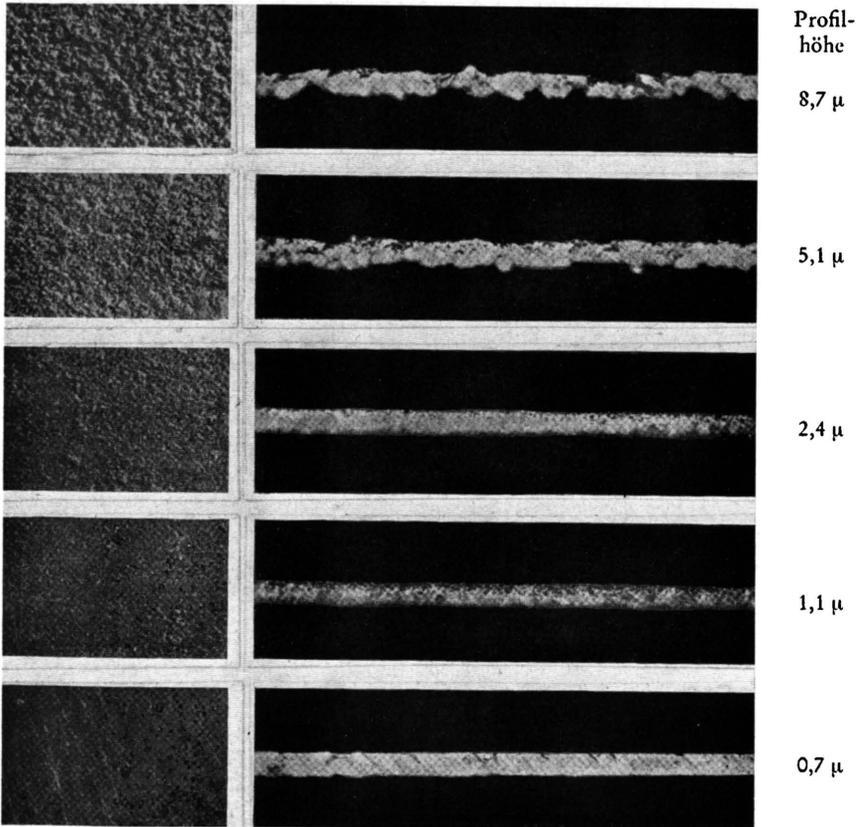


Solenoid mit Eisenkern, das physikalische Vorbild für die Solenoid-eisenbahn und das Solenoid-Geschütz

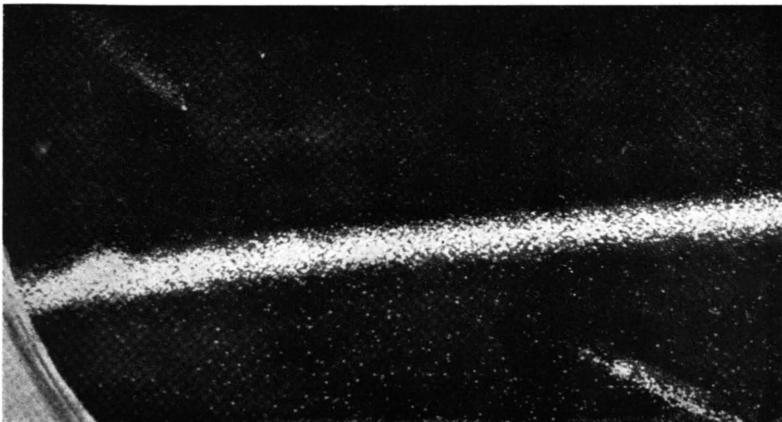
Das Solenoid nichterregt, der erregende Strom ist nicht geschlossen

Das Solenoid erregt. Kurz nach dem Stromschluß bei dem Kontakt schnell der Eisenkern in die Spule und schwebt dort frei

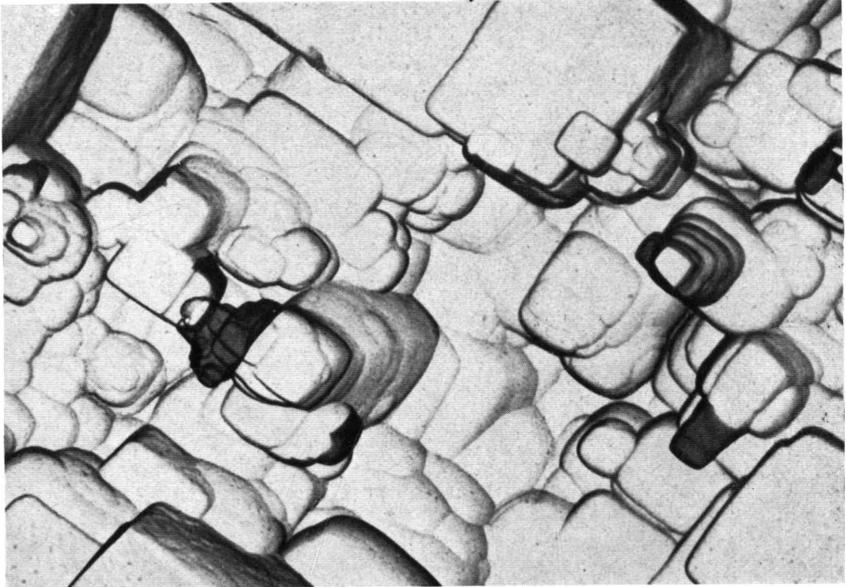
Steckt man in ein Solenoid einen Eisenkern, so wird dieser bei Stromschluß magnetisch, und das Ganze zeigt besonders starke magnetische Kraft. Stellt man eine Spule oder ein Solenoid so auf, wie unser Bild zeigt, und stellt man darunter einen Eisenkern, so schnellt dieser plötzlich in das Solenoid hinauf, sowie man den elektrischen Strom schließt



Mikroaufnahmen und Lichtschnitte einiger Proben von Metalloberflächen

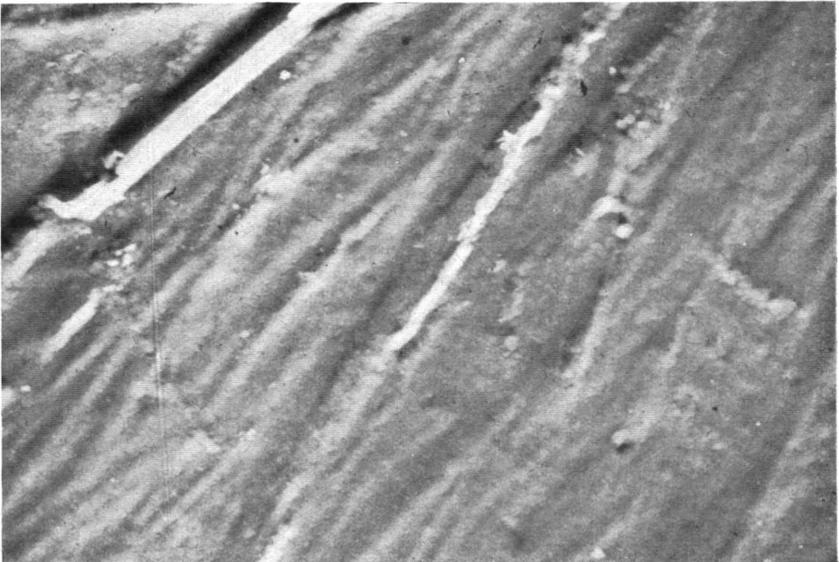


*Bahnspur eines kosmischen Primärstrahls, stark vergrößert.
Die einzelnen Ionen sind als weiße Punkte sichtbar*



Eloxalhaut einer Aluminiumoberfläche. Vergr.: 30 000fach

Unten: Oberfläche einer polierten Stahlkugel. Vergr.: 12 200fach. Diese Flächen nennen wir „absolut glatt!“



Aufnahmen mit dem Siemens-Elektronenmikroskop nach E. Ruska und E. v. Borries (Siemens & Halske AG)

und damit durch das Solenoid hindurchschickt. Es hängt nur von der Stärke des elektrischen Stromes und von der richtigen Bemessung der Spule ab, wie stark die magnetische Kraft des Solenoids ist. Und da man mittels Dynamomaschinen eigentlich beliebig starke Ströme erzeugen kann, kann man auch beliebig große magnetische Kräfte mit einem solchen Solenoid erzeugen. Man kann viele solche Solenoide hintereinanderstellen und das nächste durch den sich bewegenden Eisenkern automatisch (selbsttätig) einschalten, wenn das vorangehende den Eisenkern zu sich hineingezogen hat. Befindet sich der Eisenkern auf dem Wege zum nächsten Solenoid, so schaltet er automatisch, wieder durch seine Bewegung, das vorangehende Solenoid aus, damit es ihn nicht mehr festhält, sondern es für die Anziehung des nächsten Solenoids frei wird und, noch im Schwung, gleich weiter beschleunigt wird. So geht es weiter von Solenoid zu Solenoid. Auf diese Weise kann man den Kern von einem Solenoid zum andern ziehen und immer mehr beschleunigen. Macht man den Eisenkern hohl, so kann er als Gefährt dienen und bei genügender Größe auch Menschen mitnehmen.

Man sieht wohl ein, daß man auf diese Weise ein elektromagnetisches Geschütz bauen kann. Ein solches für die Weltraumfahrt zu benutzen, war der Gedanke einiger Erfinder. So wollten sie Menschen in einem Geschloß in den Weltraum schleudern.

Rechnet man nach, wie es v. Pirquet getan hat, so findet man, daß bei einem Kaliber von 30 bis 40 cm Durchmesser eine zu beschleunigende Masse von 50 kg höchstens eine Sekundenbeschleunigung von 200 m erhielte. Für die Beförderung eines Menschen wäre diese Beschleunigung schon zu groß, während sie andererseits an die Wirksamkeit von Pulverraketen nicht heranreicht. Um ein solches Projektil zur Erdatmosphäre hinauszubefördern, brauchte man also eine Schußzeit von 60 Sekunden; die Rohrlänge betrüge 360 km!

In noch unmöglichere Größen käme man, wollte man mit einem Geschütz Kabinen in den Weltraum schleudern, die imstande wären, Menschen aufzunehmen. Diesen Fall hat Oberth durchgerechnet und in seinem großen Raketenwerke mitgeteilt (Hermann Oberth, Wege zur Raumschiffahrt, München 1929, S. 110). Das Geschütz müßte aus einem 10 000 km langen Tunnel bestehen, der natürlich waagrecht liegen müßte. (Die polare Erdachse hat 12 712 km Länge.) Anders bestünde ja auch keine Möglichkeit. Aber dieser Tunnel müßte luftleer gepumpt werden und vollkommen verschlossen sein; das Ende müßte ein zerbrechlicher Deckel verschließen. Die geschleuderten Raumschiffe wögen dann mindestens 20 000 t (ein 100achsiger Güterzug mit Ladung und einer entsprechenden Lokomotive wiegt etwa 1100 t!). — Ein solcher Plan ist natürlich eine völlige Utopie, er ist nicht zu verwirklichen.

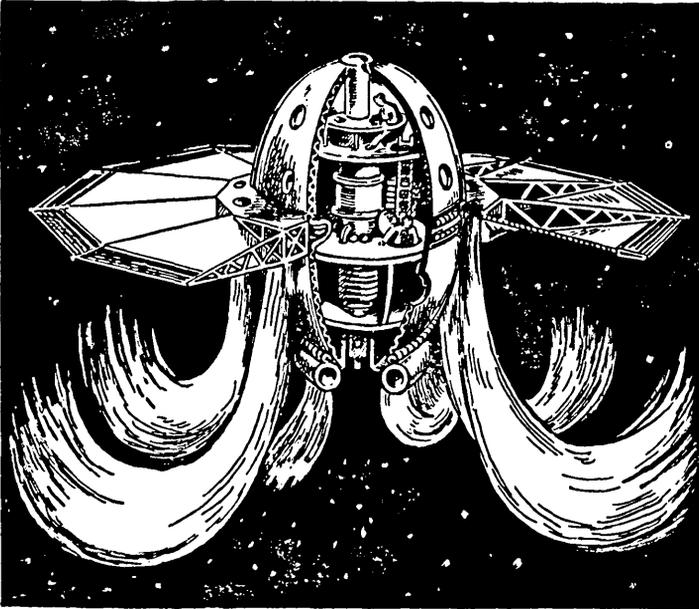
DER ROHRPOSTPLAN

Mas, Drouet, Greffigny und andere haben den Vorschlag gemacht, eine Art Tunnelbahn herzustellen, aus deren Tunnel man das emporzusendende Geschöß hinausschießen soll. Es ist dabei übrigens gleichgültig, welche Antriebsart man wählt, denn allein die mechanischen Bedingungen sind unmöglich. Man brauchte Tunnel mit etwa 2000 km Länge. Es ist unmöglich, das darin befindliche rohrpostartige Geschöß zu führen, selbst wenn man die Tunnel mit genügend großem Krümmungsradius aufwickelt. In allem und jedem Falle ergeben sich so unmögliche Bedingungen, daß diese von vornherein zur phantastischen (seltsam vorgestellten) Unglaublichkeit gestempelt sind. Man wundert sich nur, wie ernsthafte Leute derartige Gedanken überhaupt aussprechen können. Sie müßten wissen, daß dergleichen zur Lächerlichkeit verdammt ist, und das ist doch für keinen Forscher oder Ingenieur mit ernsthaften Plänen erwünscht. Zudem darf schließlich nicht vergessen werden, daß wenn solche Geschosse wirklich den Tunnel und die Erde verlassen könnten, sie ebenso wie Vernes Kolumbiadengeschöß ja doch gar keine Möglichkeit hätten, auf einem andern Weltkörper oder auch bloß auf der Erde wieder richtig zu landen. Das ist schließlich aber Vorbedingung für die Ausführbarkeit des ganzen Planes, selbst für eine Registrierrakete, aus der man ja doch die Registrierinstrumente mit den verzeichneten Angaben unversehrt entnehmen will.

ULINSKIS „DÜSENREAKTIONSGERÄT“ UND DIE „ELEKTRONENRAKETE“

Das phantastischste Projekt der Weltraumfahrerei ist ein Raketenprojekt, das Franz Abdon Ulinski geliefert hat. Wir wollen uns nicht näher darauf einlassen, weil es Vorgänge benützt, deren Erörterung hier zu schwierig wäre und uns zu weit führen würde, ohne etwas zu nützen. Wir bringen sein Bild davon. Der äußere Kranz stellt eine Sonnenkraftanlage dar, die die Sonnenstrahlen mittels Spiegel auffängt und die Sonnenwärme in einer von Edison entdeckten Art (Edison-Effekt) in elektrische Energie (Arbeit) umwandelt. Diese Energie wird im Düsenreaktionsgerät verwendet, um durch einen Luftstrom Hubwirkung hervorzubringen. Im „Elektronenejektor“ (Elektronenauswerfer) werden Spannungen von $\frac{3}{4}$ Millionen Volt benutzt und es werden Elektronen ausgeschleudert, die den ganzen Apparat auch im freien Weltraum beschleunigen sollen. Auf eine Beschreibung sei hier aus den genannten Gründen verzichtet. Es sei nur aus v. Pirquets Beispielrechnungen bemerkt, daß der ganze Plan im Gedanken (theoretisch) wie auch praktisch (in der Ausführung) eine phan-

Ulinskis Elektronenrakete



Franz Abdon Ulinskis Elektronenrakete

tastische Ungeheuerlichkeit darstellt. Man darf sich durch schöne Bilder nicht verführen lassen, eine Sache ernst zu nehmen. Unser Bild sieht so aus, als wäre das Ganze weitgehend durchgearbeitet und ausprobiert. Das ist es aber keinesfalls. Nur der Vollständigkeit halber sollte nicht unterlassen bleiben, den Plan zu erwähnen.

WARUM EINE RAKETE?

Wir haben schon mehrmals darauf hingewiesen, daß die Rakete ein Gerät ist, das geeignet erscheint, das zu leisten, was alle bisher erörterten Vorrichtungen nicht vermögen. Wir fragen deshalb, warum denn sie gerade das leistet und wie sie eigentlich eingerichtet ist.

Eine Rakete ist zwar auch ein Geschöß, aber ein solches, das seine Wucht nicht aus einer Kanone zu empfangen braucht, sondern sie in sich selbst trägt, so daß sie zu gewünschter Zeit sich immer wieder neue Bewegungs-

Warum Raketen für Weltraumreisen?

antriebe erteilen kann. Damit bestünde die Möglichkeit, langsam anzufahren und die Geschwindigkeit immer mehr zu steigern bis zu jener Größe, die notwendig ist, um bestimmte Höhen zu erreichen oder gar aus dem Schwerefeld der Erde herauszukommen.

Man darf nämlich nicht vergessen, daß es überhaupt einem Geschosß vielleicht gar nicht möglich wäre, den Luftmantel der Erde zu durchbrechen, wenn es nicht Dimensionen annähme, die sich praktisch nicht verwirklichen lassen. Bemerken wir doch, daß jedes Meteor (Sternschnuppe), das aus dem Himmelsraum in die Erdatmosphäre eindringt, in verhältnismäßig großen Höhen schon zum Stillstand kommt und dann erst langsam zur Erde herniederfällt. Nun pflegen aber die Meteore nicht etwa Geschwindigkeiten zu besitzen wie unsere modernen Geschosse, die in der ersten Sekunde nach dem Abschuß vielleicht 1 bis 1,3 km zurücklegen, sondern die Meteore haben eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km in der Sekunde, also 30- bis 40mal soviel, und dementsprechend eine enorme Bewegungsenergie. Ist diese schon nicht genügend, den elastischen Luftmantel der Erde zu durchschlagen, genügen selbst die obersten und dünnsten Luftschichten, diese Körper zum völligen Stillstand zu bringen, so muß das in viel höherem Maße bei einem Geschosß der Fall sein, das mit 13 bis 15 km Sekundengeschwindigkeit aus der dicksten und dichtesten Schicht der Luft abgeschossen wird.

Es bleibt also schon gar kein anderer Weg übrig, als verhältnismäßig langsam anzusteigen und dann die Geschwindigkeit zu steigern. Zu steigern erst in dem Augenblick, wenn das leicht ist und keine unnütze Energie zur bloßen Überwindung des großen Luftwiderstandes verzehrt wird. Ein solches Mittel aber ist die Rakete. Stellt man sich eine Rakete als pulvergetriebenen Körper vor, bei dem mehrere übereinander stehende Pulversätze nacheinander entzündet werden, so leuchtet ein, daß es zweckmäßig ist, die größte Explosionskraft der ersten entzündeten Ladung zu verbrauchen, ehe man die zweite zur Explosion bringt. Will man die Geschwindigkeit steigern, so muß man das in dem Zeitpunkte tun, wenn der zweite Pulversatz eben noch eine solche Steigerung hervorrufen kann. Und so fährt man fort, immer neue Ladungen abzufeuern, bis man die entsprechende Geschwindigkeit erreicht hat.

Man kann sich nun denken, daß dieses Abfahren und Beschleunigen durch neue Explosionen so allmählich geschieht, daß ein in solcher Rakete sitzender Mensch durch die Beschleunigung nicht gefährdet wird. Gelingt es, auf diese Weise eine bestimmte Geschwindigkeit zu überschreiten, so wird man nicht bloß in bisher unerreichte Höhen aufsteigen können, sondern sogar den Schwerebereich der Erde zu verlassen imstande sein.

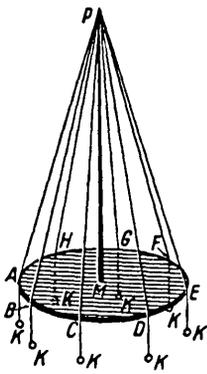
Es fragt sich nun, welche Geschwindigkeiten eigentlich notwendig sind, um dieses Kunststück fertigzubringen.

Kegel und Kegelschnitte

Schon Jules Verne hat diese Geschwindigkeiten angegeben, und es fällt überhaupt nicht schwer, sie auszurechnen. Machen wir uns die Sache einmal etappenweise klar.

KEGELSCHNITTE

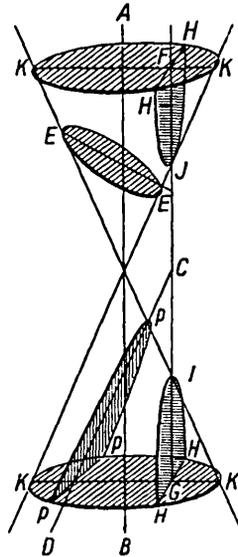
Wirft man von einem Punkte der Erdoberfläche einen Ball schräg aufwärts, so erreicht er eine bestimmte Höhe, die von der Wucht des Wurfes abhängt. Je stärker der Wurf ist, desto höher oder weiter gelangt auch der Ball. Solche geworfenen Körper beschreiben Kurven (krumme Linien), die wir *Parabeln* nennen. Genau genommen sind es keine Parabeln, sondern Ellipsen. Nur für die üblichen Würfe auf der Erde schließt man in der ersten Annäherung auf eine Parabel. Was eine Ellipse ist, und wie sie entsteht, erfuhren wir schon (S. 35).



Gerader Kreiskegel



Doppelkegel



Kegelschnitte, Ellipse, Parabel,
Hyperbeln nach ihrer Entstehungsart

Die Ellipse ist eine in sich geschlossene Kurve. Die Parabel aber ist eine offene, d. h. sie läuft nicht wie ein Kreis oder eine Ellipse in sich zurück. Und dennoch ist sie der Ellipse verwandt. Wie, das werden wir gleich kennenlernen.

Ellipsen und Parabeln wie auch die sogenannten Hyperbeln entstehen alle dadurch, daß man einen Kegel in bestimmter Art durchschneidet und

Kegel und Kegelschnitte

die Schnittlinie entnimmt. Wir wählen dazu einen geraden Kreiskegel. — Was ist ein gerader Kreiskegel? — Denken wir uns ein kreisrundes Brettchen A-B-C-D-E-F-G-H-A mit dem Mittelpunkt M und einem Stab darin senkrecht stehend, von dessen Spitze P ein feiner Faden mit einer kleinen schweren Kugel K bei A über den Rand des Brettchens gelegt ist. Führt man diesen Faden am Rande des Brettchens rundum, z. B. von A nach B-C-D-E-F-G-H-A, so beschreibt der Faden zwischen Brettrand und Stabspitze einen Kegelmantel. Da das Brettchen ein Kreis ist, so ist der Kegel ein Kreiskegel. Und weil der Stab senkrecht oder gerade auf dem Brett steht, so ist der Kegel ein gerader, also ein gerader Kreiskegel. Stünde der Stab schief, ergäbe der herumgeführte Faden einen schiefen Kreiskegel. Wäre das Brettchen eine Ellipse, so ergäbe der herumgeführte Faden einen elliptischen Kegel. Was wir von dem Kegel gezeichnet haben, ist allerdings nur die eine Hälfte. Mathematisch erstreckt er sich noch über die Spitze hinaus, ist immer ein Doppelkegel, und seine beiden Hälften erstrecken sich, jeder nach seiner Seite, bis ins Unendliche, d. h. sie hören nirgends auf. Diese Eigenschaft hat auch eine astronomische Bedeutung, wie wir gleich sehen werden.

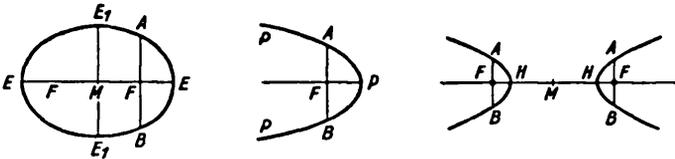
Führen wir nun durch den Kegel einen Schnitt, wie ihn das Brettchen A-B-C-D-E-F-G-H-A darstellt oder die beiden gezeichneten Endflächen des Doppelkegels, so ergibt sich ein Kreis wie K-H-K-H (oben) oder K-P-H-K-H-P-K (unten). Diese Schnitte gehen senkrecht durch die Kegelachse A-B. Führt man einen Schnitt schräg, wie in E-E (oben), so ergibt sich auf dem Kegelmantel eine Ellipse, die um so länglicher wird, je schräger man die Achse schneidet. — Man ersieht hieraus zugleich, daß der Kreis ein Sonderfall der Ellipse ist.

Erreicht die Schräge des Schnittes die Richtung einer Seite des Kegelmantels, wird er ihr also wie bei C-D (unten) parallel, so schließt sich die Schnittlinie P-P-P auf dem Kegelmantel nicht mehr, sondern die Kurve besitzt zwei Arme, deren jeder auf dem Kegelmantel unaufhörlich „bis ins Unendliche“ fortläuft. Die Kurve ist eine offene und heißt Parabel: P-P-P. Legt man den Schnitt so, daß er durch beide Hälften des Doppelkegels geht, z. B. in Richtung F-G, so wird nicht bloß die eine Hälfte des Kegels in H-I-H geschnitten, sondern auch die zweite, oben, in H-J-H. Diese Kurve hat also zwei Äste, die sich, einander abgewendet, bis ins Unendliche erstrecken. Eine solche Kurve heißt Hyperbel. In unserem Falle haben wir eine gezeichnet, deren Schnitt parallel zur Kegelachse läuft. Das ergibt eine gleichseitige Hyperbel. (Der Ton für die Aussprache liegt bei den Namen der Kegelschnitte immer auf der zweiten Silbe.)

Stellt man sich hiernach alle möglichen Kegelschnitte vor, so unterscheiden sie sich in zweierlei Hinsicht: Einmal durch ihre Form und sodann durch ihre Größe. Die Form eines Kegelschnittes bezeichnet man am besten,

Kegelschnitte

indem man seine Exzentrizität angibt, seine Größe drückt man durch den Parameter (Ton gleichfalls auf der zweiten Silbe) aus. Die Ellipse hat zwei Brennpunkte F und F . Sie ist symmetrisch, d. h. was rechts von der Achse liegt, ist gleich dem, was links von ihr liegt. Sie hat zwei Achsen, eine große $E-E$ in der Längs- und eine kleine E_1E_1 in der Querachse, senkrecht zur Längsachse. Die Exzentrizität der Ellipse e ist das Verhältnis des Abstandes eines Brennpunktes F vom Mittelpunkte M zum halben größten Durchmesser $a = ME$, also $e = \frac{FM}{a}$; der Parameter $2p$ ist die durch den Brennpunkt gehende Senkrechte $A-B$. Einer der Brennpunkte entspricht dem Durchschnittspunkte der Kegelachse.



Ellipse, Parabel, Hyperbeln und ihre Parameter

Beim Kreise fallen die beiden Brennpunkte mit dem Mittelpunkt zusammen. In der Parabel, deren Achse endlos groß ist und deren Mittelpunkt gewissermaßen auch in unendlicher Entfernung vom Brennpunkt (sie hat nur einen) liegt (praktisch heißt das, sie hat keinen Mittelpunkt), ist die Exzentrizität gleich 1. In der Hyperbel ist die Exzentrizität größer als 1. Sie hat auch zwei Brennpunkte, jeder Ast einen. Wir lernten bei der Ellipse schon die Eigenschaft kennen, daß die Summe der zu jedem Punkte ihres Umfangs gehörenden beiden Brennstrahlen (die von den Brennpunkten zum Umfangspunkte hinlaufenden Strahlen, die Radienvektoren), gleich der Länge der großen Achse ist. Daraus ergab sich unsere Regel, eine Ellipse leicht zu zeichnen (S. 35).

DIE BAHNEN DER HIMMELSKÖRPER SIND KEGELSCHNITTE

Wir haben uns hierbei etwas länger aufgehalten, weil die Kegelschnitte die Bahnen darstellen, in denen Himmelskörper um einen Zentralkörper laufen. Die Planeten laufen alle in Ellipsen um die Sonne, die Monde um ihre Planeten gleichfalls in Ellipsen. Manche Kometen und Meteorströme (d. h. Sternschnuppenbahnen, wie wir sie als Laurentiusstrom im August, dem 8. bis 12., und als Leoniden im November, dem 12. bis 14., zu beobachten Gelegenheit haben) laufen in Ellipsen, andere in Parabeln

oder Hyperbeln um die Sonne. Die in Ellipsen laufenden gehören zum Sonnensystem und kehren bei jedem Umlauf in die Nähe der Sonne zurück (z. B. der Enckesche und der Halleysche Komet), die in Parabeln oder Hyperbeln laufenden kamen nur einmal in die Nähe der Sonne, wurden durch sie in eine Kegelschnittbahn gezwungen und verschwanden nach mehr oder weniger langem Umlauf nach der anderen Seite im Welt-raum auf Nimmerwiedersehen.

Auch die Bahnen von Raketen, die von der Erde ausfahren, sind Kegelschnitte, und zwar müssen Raketen in Ellipsenbahnen laufen, wenn sie zur Erde zurückkehren wollen. In vielen Physikbüchern wird die Wurf-bahn von Körpern als Parabel bezeichnet. Die Wurfbahnen sehen auch alle sehr parabelähnlich aus, besonders die Steilbahnen (s. Bild Leucht-Raketen schießende Schiffe, Tafel III). Wir erfuhren, daß das nur angenähert der Fall ist. Wäre die Bahn eines geworfenen Körpers wirklich eine Parabel, so könnte dieser Körper nach unseren Erläuterungen keine geschlossene Bahn haben und nicht wieder zur Erde zurückkehren. Er tut das aber dennoch. Infolgedessen muß er eine geschlossene Bahn beschreiben. Und als solche kommt nur eine elliptische in Betracht.

Geworfene Körper und Geschosse beschreiben also nicht parabolische, sondern elliptische Bahnstücke. In dem einen Brennpunkt dieser Ellipsenstücke steht der Erdmittelpunkt. Allerdings werden sie am Beschreiben der Idealkurven durch den Luftwiderstand gehindert. —

Die grundlegende Entdeckung des Kegelschnittcharakters der Bahnen der Himmelskörper verdanken wir dem großen Astronomen *Johannes Kepler*, der auch die drei großen Himmelsgesetze dafür angab. Aus diesen drei Keplerschen Gesetzen, mit deren Hilfe man die Bahnen berechnen kann, ergibt sich das von Isaac Newton entdeckte *Gesetz der allgemeinen Massenanziehung*, der *Gravitation*. Darüber haben wir uns bereits ausführlicher unterhalten (s. S. 18). Die Berechnung der Bahnen der Himmelskörper ist naturgemäß keine ganz einfache Sache; es gibt dabei auch sehr viel Rechenarbeit, die sich nur mit Hilfe einer Rechenart bewältigen läßt, die sich des Logarithmus bedient. Die Leute, die sich damit abgeben, erscheinen oft als trockene Wissenschaftler. Sie sind es ebenso sehr oder ebensowenig wie andere Wissenschaftler und Forscher, die sich präziser, sorgfältiger Methoden bedienen. [Auf einer Mathematikertagung wurde eine ganze mathematische Speisekarte abgegessen. Dabei gab es unter anderem auch Kegelschnitte mit Logarith-Mus.]

VOM SCHWEREFELD DER ERDE

Mit der allgemeinen Massenanziehung, die natürlich auch von der Erde ausgeht, haben wir uns schon beschäftigt. Für das Folgende ist es jedoch zweckmäßig, diese Erscheinungen noch etwas näher zu untersuchen. Man fragt oft ganz müßig, woher die Anziehungskraft der Körper komme und wünscht eine „Erklärung“. Die Frage ist jedoch sinnlos. Denn könnten wir eine „Erklärung“ dafür geben, so müßte sich diese auf eine andere Tatsache stützen, und man früge weiter, woher denn diese komme. So käme man nie zu Ende und muß einsehen, daß solches Fragen eben keinen Sinn haben kann. Die Anziehungskraft des Stoffes ist eine Tatsache ebenso wie die, daß der Mensch und die ganze Welt existieren. Wären sie nicht vorhanden, so könnte man solche Fragen überhaupt nicht stellen.

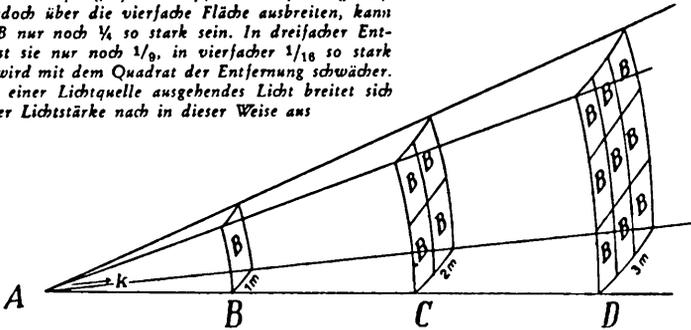
Wichtig hingegen für alle unsere Erkenntnisse ist die Ermittlung, wie die Anziehung wirkt. Sie drückt sich durch die Schwere der Körper aus, denn diese sind alle gegeneinander schwer. Wie schwer, hängt davon ab, wie massig die aufeinander einwirkenden Körper sind. Als *Masse* bezeichnen wir den Widerstand eines Körpers gegen Bewegungsänderungen (Beschleunigungen oder Verzögerungen). Praktisch ist die Masse ausdrückbar durch ihr Gewicht, denn die Beschleunigung, und nur sie, bedingt die Masse eines Körpers. Ein Liter Wasser bei 4° Temperatur wiegt an der irdischen Meeresoberfläche 1000 Gramm oder 1 Kilogramm. Nun beobachten wir, daß diese Masse, wenn wir sie mittels einer Federwaage (die von der Erdanziehung ja unabhängig ist) auf einem hohen Berge wiegen, dort etwas weniger wiegt. Grund dafür ist die Abnahme der Schwere mit der Entfernung vom Erdmittelpunkt, denn in diesem scheint die Erdanziehung zusammengefaßt (konzentriert) zu sein. Wiegt man einen Liter Wasser auf dem Mount Everest, dem höchsten Berg der Erde, so findet man, daß 1 kg Masse dort 3 Gramm zu wenig Gewicht hat. In größerer Höhe wöge sie noch weniger. In der Mondentfernung (also nicht auf dem Monde selbst) wöge ein Mensch von 75 kg Masse nur $75\,000 : 3600 = 21$ Gramm, da diese Entfernung rund 60 Erdhalbmesser beträgt ($60 \times 60 = 3600$). Das folgt aus dem Newtonschen Gravitationsgesetz, wonach die Anziehungskraft, d. h. also praktisch die Schwere, mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt.

Warum das so ist, erklärt sich einfach aus dem umstehenden Bilde. Geht von einem Punkte (z. B. dem Erdmittelpunkte) eine Kraftwirkung aus, so hat sie in der Entfernung 1 die Stärke k . In doppelter Entfernung verteilt sich ihre Wirkung auf eine vierfache Fläche, in dreifacher auf eine neunfache usw. D. h. ihre Ausbreitung verdünnt ihre Wirkung so wie die Quadrate der Entfernungszahlen angeben.

Quadratische Ausbreitung der Kraft

Es sei nicht verschwiegen, daß die Konzentration (Vereinigung) der Anziehung auf den Massenmittelpunkt, also z. B. den Erdmittelpunkt, nur ein Anschauungsbehelf ist, der namentlich dann die Betrachtungen sehr vereinfacht und gut darstellt, wenn man in größere Entfernungen geht. Unser Liter Wasser mit der Masse 1 kg, die überall in der ganzen Welt natürlich dieselbe bleibt, hat also überall ein anderes Gewicht. In der Entfernung eines halben Erddurchmessers (also des Erdhalbmessers oder Erdradius) von der Erdoberfläche wiegt der Liter Wasser nur noch $\frac{1}{4}$ kg, in Entfernung 3 Erdradien ist die Kraft nur noch $\frac{1}{9}$, das Gewicht also auch, d. h. der Liter Wasser wiegt dort nur noch 110 Gramm. Man hüte sich nun, die Masse von 1 kg mit dem Gewicht 1 kg zu verwechseln. Nach

Die quadratische Ausbreitung einer von A ausgehenden Kraft. In gewisser Entfernung trifft sie auf ein Flächenstück B, etwa 1 qm groß. In doppelter Entfernung muß sie sich jedoch über die vierfache Fläche ausbreiten, kann also auf B nur noch $\frac{1}{4}$ so stark sein. In dreifacher Entfernung ist sie nur noch $\frac{1}{9}$, in vierfacher $\frac{1}{16}$ so stark usw. Sie wird mit dem Quadrat der Entfernung schwächer. Auch von einer Lichtquelle ausgehendes Licht breitet sich der Lichtstärke nach in dieser Weise aus

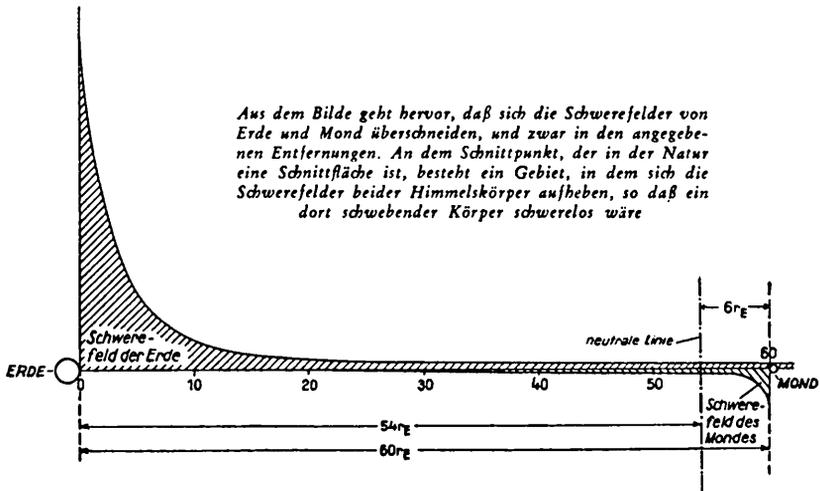


außen nimmt also das Gewicht ebenso wie die Schwere immer mehr ab, wird aber niemals ganz zu Null. Die Schwere wirkt bis in die Unendlichkeit, wenn auch nur noch ganz schwach.

Da die Schwere von der Masse jedes Himmelskörpers abhängt, ist sie beim Monde anders. Der Mond besitzt nur etwas mehr als eine $\frac{1}{81}$ (0,0123) so große Masse wie die Erde. Dementsprechend ist seine Anziehungskraft geringer. Auf seiner Oberfläche ist sie nur $9,81 : 0,165 = \sim \frac{1}{6}$, so daß 1 Liter Wasser dort nur $\frac{1000}{6} = 167$ Gramm wöge. Die Sonne hingegen, deren Masse 331 940 mal so groß ist wie die der Erde, hat an ihrer Oberfläche eine 27,5 mal so große Schwere. Infolgedessen wöge 1 kg dort 27,5 kg. Ein Mensch, der auf der Erde 75 kg wiegt, hätte an der Mondoberfläche nur 17,5 kg Gewicht, auf der Sonne hingegen 2 t! Während er auf dem Monde sehr hoch springen könnte und so leicht niederschwebte, wie wenn wir ihm mit der Zeitlupe zusähen, käme er von der Sonnenoberfläche mit seiner Muskelkraft überhaupt nicht los, ja er könnte sein eigenes Gewicht nicht tragen, sein Körper bräche unter der eigenen Last.

Schwerefelder von Erde und Mond

Raketenfahrer, die von der Erde zum Monde fahren, kämen in etwa 38 000 km vom Monde in ein Gebiet, in dem sich Erd- und Mondanziehung gerade aufheben. Dort wäre also ein schwerefreier Punkt, und die



Rakete wäre mit ihrem ganzen Inhalt völlig schwerelos, wenn nicht die Sonnenanziehung ihre Wirkung übte. Der schwerefreie Punkt zwischen Erde und Sonne läge nur etwa 250 000 km vom Erdmittelpunkt ab.

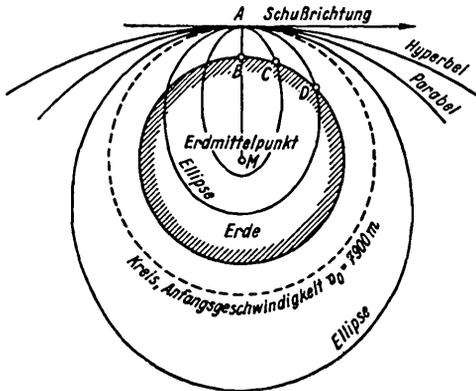
WELCHE EILE IST NÖTIG, UM DER ERDSCHWERE ZU ENTRINNEN?

Diese Frage stellten wir schon. Wir mußten uns auf sie vorbereiten und wollen nun einmal zusehen, wie es sich mit den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen vom Ballwurf bis zur Hyperbelbahn eines Himmelskörpers verhält.

Wir wollen uns das einmal an einem Bilde klarmachen. Der Einfachheit halber werfen wir von einem hohen Turm A, der auf dem Erdort B steht, einen Ball in waagerechter Richtung ab. Er fällt dann zur Erde, etwa in C, und zwar in einer gebogenen Bahn. Werfen wir kräftiger, so entfernt er sich während seines Falles weiter vom Orte B, vielleicht bis D; die Wurfbahn wird länger, sie gehört einer Ellipse an, die runder, kreisartiger wird.

Bahnen geworfener Körper

Werfen wir nicht mit der Hand, sondern etwa mit einer Kanone, so wird die erreichte Entfernung noch größer, die Ellipse immer runder. Gelingt es uns, dem Geschöß eine Anfangsgeschwindigkeit von 7900 m in der Sekunde zu erteilen, so wird seine Schwingkraft so groß, daß sie



Bahnen geworfener Körper, von einem Turm A aus abgeworfen. Ihre Form hängt von ihrer Anfangsgeschwindigkeit ab. Theoretischer Fall für den luftleeren Raum

der Erdschwere das Gleichgewicht hält. Die immer dicker gewordene Ellipse geht in einen Kreis über, der die Erde konzentrisch (von demselben Mittelpunkt aus) umschließt; das heißt aber nichts anderes, als daß dieses Geschöß die Erde ständig umkreist (falls es nicht durch den Luftwiderstand daran gehindert wird. (S. u.). Es kreist ebenso wie der Mond das tut. Zu einem Umlauf brauchte es nur 84 Minuten. Es wäre ein 2. Erdmond.

Damit sind wir aber noch nicht am Ende unseres Experiments. Wir können den Körper noch stärker schleudern, so daß das Geschöß wieder eine Ellipse beschreibt, deren Scheitel sich aber auf der anderen Seite der Erde weit höher über sie erhebt, als der Abschußort A über B steht. Aber noch immer kehrt das Geschöß beim Umlaufen der Erde nach A zurück, um schließlich seine Umkreisung ständig weiter fortzusetzen. Vermögen wir nun die Wucht immer mehr zu steigern, so werden die Bahnellipsen größer und größer, und wir kommen an eine kritische Grenze, bei der die Kraft der Erdanziehung nicht mehr ausreicht, den Körper noch zu fesseln und ihn in einer elliptischen Bahn um sich herumzuführen. Diese Grenze liegt bei einer Geschwindigkeit von 11 170 m. Vermögen wir dem Geschöß eine solche Geschwindigkeit zu erteilen, so beschreibt es keine elliptische Bahn mehr, sondern eine parabolische, und es kehrt nie wieder in die Nähe der Erde zurück, sondern entfernt sich unweigerlich und unaufhörlich von ihr. Dasselbe tritt noch sicherer ein, wenn wir das Geschöß noch mehr beschleunigen.

Fluchtgeschwindigkeit

Die Anfangsgeschwindigkeit von etwas über 11 km in der Sekunde ist also die kritische Geschwindigkeit, die notwendig ist, einen Körper aus dem Bereich der Erdschwere in den Weltraum hinauszuschleudern. Man nennt sie die Fluchtgeschwindigkeit.

Die Schwere auf der Oberfläche eines Himmelskörpers bestimmt selbstverständlich die ihm eigene Fluchtgeschwindigkeit. Was für die Erde 11 170 m sind, wären für den Mond 2400, für die Sonne 617 000. Die kleinsten Himmelskörper, etwa die Marsmonde oder die kleinen Planetoiden, haben eine so geringe Fluchtgeschwindigkeit, daß ein auch nur einigermaßen temperamentvoller Mensch, der dort gelandet wäre, sich kaum bewegen dürfte, ohne in Gefahr zu geraten, sich ungewollt in den Weltraum hinauszuschwingen. Auf einem künstlichen Mond und der noch zu besprechenden Außenstation wäre es selbstverständlich ebenso. Ballspielen könnte man dort gar nicht.

Es soll nicht vergessen werden, eines Umstandes dabei zu erwähnen, der außerordentlich wichtig ist. Unsere letzten Betrachtungen bezogen sich auf eine Erde, die keinen atmosphärischen Mantel enthält. Wie wir aber schon vorhin ausführten, ist dieser von allergrößtem Einfluß auf die Bahn eines geworfenen Körpers. Der große Widerstand, den die Luft einem schnell bewegten Körper entgegensetzt, verhindert, daß ein mit etwa 11½ km Sekundengeschwindigkeit geschleudertes Ball die Erde für immer verläßt. Da uns die Versuche fehlen, die zur Beurteilung der Frage notwendig sind, ob wir überhaupt einen Körper abschießen und den Luftmantel der Erde durchschlagen lassen können, läßt sich Genaueres darüber nicht sagen.

Jedenfalls geht aus dieser Betrachtung hervor, daß eine Kanone auch aus diesem Grunde nicht geeignet ist, ein Fahrzeug mit Insassen in den Weltraum zu schleudern — ganz abgesehen davon, daß wir Explosivkörper von so großer Kraft nicht besitzen. Vielleicht wäre das nur eine Frage der Zeit, denn technische Probleme scheinen heutzutage überhaupt kaum noch unlösbar, wenn nicht etwa wirtschaftliche Gründe ihre Ausführung unmöglich machen.

DIE BAHNLINIE EINER RAKETE BEI EINEM MONDBESUCH

Ein Himmelskörper, der von der Erde aus in den Weltraum hinausfliegt, wird selbstverständlich nie eine gerade Bahn von dort aus beschreiben. Gerade Bahnen kommen im ganzen Weltraum kaum vor, denn immer werden irgendwelche Körper auf andere Einfluß nehmen, so schwach dieser bei selbst ungeheuren Entfernungen auch sein mag. Eine Rakete,

die von der Erde aufsteigt, wird gleichfalls in eine krumme Bahn gezwungen, denn außer ihrer durch sich selbst erteilten Beschleunigung wirkt sogleich die Anziehungskraft der Erde auf sie, ebenso wie sie bei der Abfahrt noch die kosmischen Geschwindigkeiten und Bewegungen mitbekommt, denen sowohl die Erde wie die Sonne und sogar das ganze Milchstraßensystem unterliegt. Uns interessieren, wenn die Rakete etwa den Mond besuchen oder umfahren will, natürlich nur die Bahnbewegungen, die die Rakete von der Erde aus nimmt. Die Bahn der Rakete kann keine gerade, direkt auf den Mond hinggerichtete sein, sondern muß dicht neben ihn hinzielen. Praktisch sieht man eine verschränkte Bahn vor. Die Abfahrtrichtung wird beim Start so gelegt, daß die Rakete die Mondbahn kreuzt, kurz bevor der Mond selbst bei seinem Umschwung um die Erde an die Stelle der Begegnung gelangt ist. Er zwingt die Rakete dann zur Umrundung, während die Rückfahrt zur Erde mit Hilfe der Düsenkraft so eingerichtet werden muß, daß die Rakete die Erde an ihrem westlichen Rande trifft. Dann startet und landet die Rakete mit der Erdumdrehung, umläuft aber den Mond entgegen seiner Eigenbewegung.

Wenn man den Mond besucht, will man in erster Linie seine uns stets abgewendete Seite kennenlernen und kartografieren, die wir von der Erde aus ja niemals zu Gesicht bekommen. Um auf dieser bei der Mondumfahrung überhaupt etwas sehen, beobachten und messen zu können, müssen wir sie so einrichten, daß die uns abgewendete Mondseite ganz von der Sonne beleuchtet wird. Das ist am günstigsten der Fall, wenn der Mond gerade zwischen Erde und Sonne steht, also bei Neumond. Man muß dann dort eintreffen und sich zwischen Sonne und Mond stellen. Das geschieht, indem man etwa 3 Tage vorher abfährt.

DER KANONENSCHUSS — EIN STURZ INS GRAB

Aber was würde es nutzen, wenn wir selbst mit einem solchen von einer Kanone geschleuderten Geschöß lebendig und wohlbehalten aus dem Bereich der Erdanziehung hinaus und in den freien Weltraum gelangen? Wir hätten ja keine Möglichkeit, dann noch auf unseren weiteren Flug irgendeinen Einfluß zu nehmen, sondern wären darauf angewiesen, wohin uns das gute Glück führt. Damit ist uns aber nicht gedient. Denn wenn wir alle die schönen Beobachtungen, zu deren Zweck wir uns in den Weltraum hinausschießen ließen, der Menschheit nicht bekanntgeben könnten, nutzt die ganze Geschichte doch gar nichts. Und schließlich wollen wir Insassen eines solchen Geschosses doch auch einmal wieder zu unseren Angehörigen zurückkehren. Es gingen endlich auch die Lebensmittel aus und wir wären zu einem elenden Hungertode verdammt, denn

Das Raketenprinzip

wir können uns nicht gut bis an unser seeliges natürliches Lebensende mit allem Notwendigen versorgen.

So sind wir denn unbedingt auf ein Mittel angewiesen, das ermöglicht, uns im Weltraum nach Belieben zu bewegen, unser Gefährt dahin zu führen, wohin wir es haben wollen, und schließlich auch zur Erde zurückzulenken. Das vermag aber keine Kanone und:

Darum keine Kanone!

EIN FUNKELNAGELNEUES (?) PRINZIP DER FORTBEWEGUNG

Wenn ich einen der Leser frage, welches Fahrzeug dazu wohl geeignet sein dürfte, wird er ratlos vor einer Aufgabe stehen, deren Bedeutung ihm wahrscheinlich noch gar nicht zum Bewußtsein gekommen ist, wenn er nicht technisch vorgebildet ist und sich bereits Gedanken über diese Sache gemacht hat.

Wir haben bereits besprochen, auf welche Weise sich ein Gefährt bewegen kann, und kamen zu der Einsicht, daß Fortbewegung nur mit Hilfe der Reibung möglich sei (S. 27 und 56).

Jahrhundertlang gab es kein Fahrzeug, das seine Bewegung anders vollzog. Erst vor kurzem haben wir in der Rakete ein ganz neues Hilfsmittel wieder gefunden, auf andere Weise vorwärtszukommen. Das am 22. Mai 1928 in Berlin der Öffentlichkeit vorgeführte Raketenauto, das aus den Opelschen Fabriken hervorgegangen ist, war das erste ein neues Prinzip der Bewegung benutzende Fahrzeug. Bei ihm werden die Räder nicht etwa durch einen Motor angetrieben, sondern sie dienen nur dazu, dem Gefährt eine sichere Unterlage auf der Fahrbahn zu geben. Die Bewegung selbst wird von explodierenden Pulversätzen hervorgerufen, die die Explosionsgase nach hinten ausstoßen. Diese Pulvergase stoßen nun zwar gegen die Luft und könnten auf diese Weise den Wagen nach der entgegengesetzten Richtung, also nach vorn, treiben. Aber nicht dieses Abstoßen an der Luft ist das Wesentliche bei dieser Bewegung, sondern ein ganz anderes Prinzip, mit dem wir uns etwas genauer beschäftigen müssen.

Da ich jedoch fürchte, daß meine Leser von den rein physikalischen, mathematischen und technischen Ausführungen schon etwas reichlich ermüdet sind, möchte ich zuvor eine andere Frage erledigen, die wieder den Menschen bei dieser Angelegenheit etwas näher interessiert, nämlich die Frage, welche Geschwindigkeit ein Mensch ertragen kann, ohne Schaden zu nehmen, aber auch ohne bewußtlos zu werden.

Insassen von Raketen, die in den Weltraum mit verhältnismäßig großen Geschwindigkeiten aufsteigen und ihre Geschwindigkeit durch immerwährende Beschleunigungen weiter steigern, müssen sowieso schon auf große mechanische und andere Beanspruchung gefaßt sein. Sie dürfen dabei aber niemals die Beherrschung über ihre Sinne verlieren, weil sie sonst auch der Herrschaft über die Rakete verlustig gingen. Es gilt also, ein Kompromiß zu finden, und die Geschwindigkeit zu ermitteln, die gerade noch angängig ist. — Wie groß ist diese?

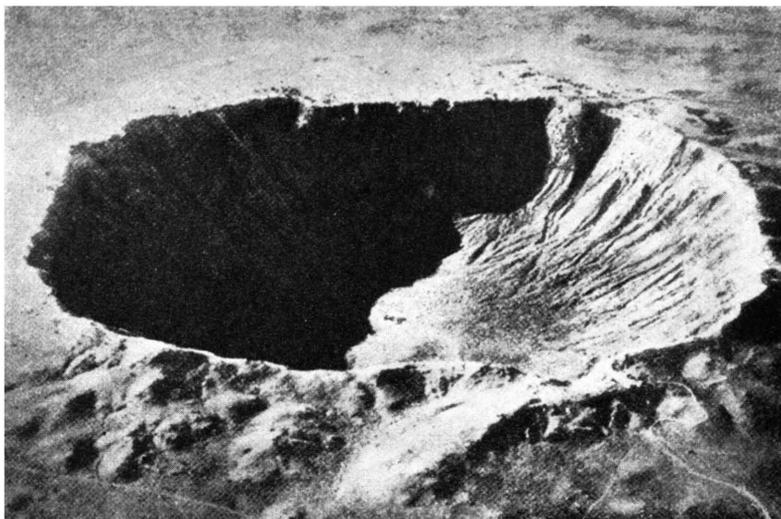
VON FALLENDEN MENSCHEN, FLIEGERN, SCHWIMMERN, VOM „ANDRUCK“ UND VOM WELTRAUM-REISETRAINING

Die Leser sind wohl alle schon einmal mit einem schnellen Fahrstuhl gefahren? Die Gefühle, die sie dabei hatten, dürften zumeist wenig angenehmer Art gewesen sein, vielleicht noch weniger beim Hinauffahren, wobei man sich merklich gewichtiger fühlt, also schwerer wird, als beim Abwärtsfahren; denn dabei hat man das Gefühl, den Boden unter den Füßen zu verlieren. Personen, deren Magennerven empfindlich sind, werden davon leicht gereizt und neigen dazu, ihr Inneres unerfreulich weit nach außen zu kehren.

Aber gewöhnlich passiert einem dergleichen doch nur, wenn man selten solche Fahrten macht. Ist man sie gewohnt oder überhaupt darauf vorbereitet, so pflegt die Sache wesentlich glimpflicher abzulaufen.

Es ist wohl überhaupt das Unvorbereitete, was einem dabei so unangenehm ist. Man weiß nicht, wann es losgeht, und wird plötzlich überrascht. Das gibt ein Unsicherheitsgefühl, gegen das man sich machtlos fühlt. Dieser Umstand ist es im wesentlichen, der die unangenehmen Gefühle erzeugt. Wer gewohnt ist, vor unerwartete Situationen gestellt zu werden, erträgt all dergleichen viel leichter.

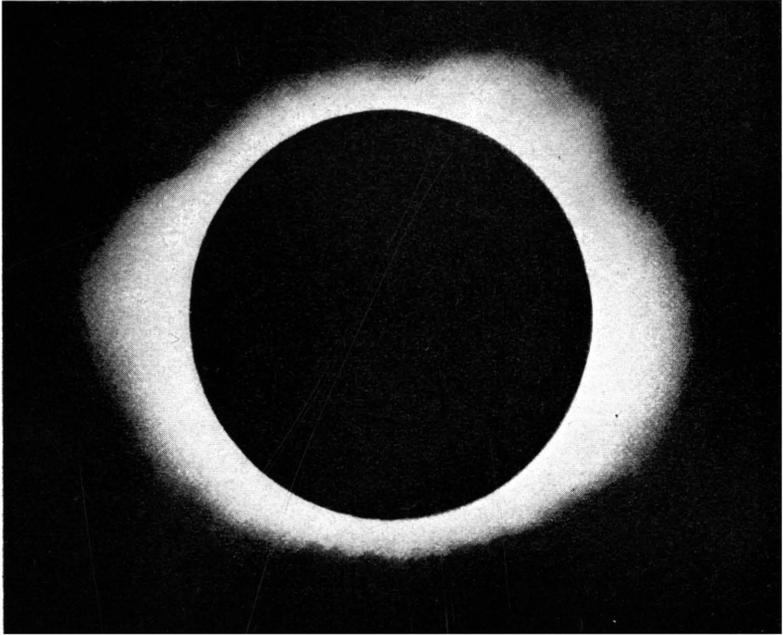
Wenn man mit einer Rakete aufsteigen will, so dürfte man sich auf größere Anfahrsgeschwindigkeiten gefaßt machen, als man sie sonst, etwa beim Anfahren einer Schnellbahn (Anpressen an die Rückenlehne oder Vornüberfallen) gewohnt ist. Wenn nun aber wirklich die Gewöhnung eine große Rolle spielt, so wäre es ja nicht schwer, sich diese Gewöhnung anzueignen. Zwar nicht dadurch, daß man andauernd mit einer Rakete emporsteigt und sich fallen läßt, sondern durch einfache Vorrichtungen, die dasselbe Gefühl erzeugen, also etwa ein sehr großes Karussell, das sehr schnell läuft. Das wäre also das, was wir technisch eine Zentrifuge nennen. Solche Apparate hat man denn auch wirklich für die entsprechenden Versuche herangezogen. Damit kann man auch Weltraumfahren trainieren.



Meteorkrater in Arizona (USA). Nach einer Fliegeraufnahme des Armeeflugkorps



Amerika-Nebel im Schwan



Sonnenkorona, aufgenommen gelegentlich der Sonnenfinsternis vom 31. 8. 1932 auf der Harvard-Sternwarte USA



Raumtaucher-Anzüge zur Landung auf Himmelskörpern. Verständigung der Teilnehmer durch Radio, z. B. auf dem Mond, wo keine Atmosphäre den Schall leitet. (Ullstein-Bildarchiv)

„ANDRUCK“

Dieser Umstand aber würde dennoch nicht die Frage aus der Welt schaffen, was ein Mensch durchschnittlich in dieser Hinsicht bestenfalls ertragen kann. Versuche lagen früher darüber so gut wie gar nicht vor; man war auf zufällige Erfahrungen angewiesen, die sich gewöhnlich bei Unglücksfällen, und zwar zumeist glücklich verlaufenen, ergeben haben. Fällt man zum Beispiel von sehr großer Höhe herunter oder springt gelegentlich eines Feuers ab, oder springt man aus großer Höhe ins Wasser, so kann man dergleichen Erfahrungen sammeln. Professor Oberth, der wissenschaftliche Pionier auf dem Raketengebiet, hat solche Mitteilungen veröffentlicht. So berichtet er von einem Feuerwehrmann, der aus 25 m Höhe absprang, liegend auf das Sprungtuch fiel und dieses 1 m weit eindrückte, ohne dabei Schaden zu nehmen. Man kann leicht ausrechnen, welchem Druck er dabei ausgesetzt war. Dieser Druck betrug sicher mehr als 250 m/sec^2 . Ich selber habe in Köln am Rhein gesehen, wie ein Mann, ein Arbeitsloser, der sich etwas Geld verdienen wollte, des öfteren von der Hohenzollernbrücke, der großen Eisenbahnbrücke am Dom, in den Rhein gesprungen ist. Die Höhe ist 17 m, der Andruck also geringer. In München sprangen zwei Arbeitslose aus gleichem Anlaß im Sommer von der 35 m hohen Großhesseloher Brücke in die Isar, und die Film-Wochenschauen waren dabei, um den Sprung im Bild und Ton festzuhalten. Springt man aus 8 m Höhe ins Wasser, so beträgt der „Andruck“ mehr als 40 m/sec^2 . Wer solche Sprünge des öfteren ausgeführt hat, wird dabei nichts sonderlich Unangenehmes erfahren haben; auch Schmerzen dürfte der Andruck kaum bereiten haben. Im Gegenteil — ein solcher Sprung macht ein gewisses Vergnügen. Aber selbst dem gewohnten Springer ist es unangenehm, wenn er unerwartet davon betroffen wird, zum Beispiel vom Sprungbrett abgleitet und fällt. Er hat dann das Gefühl, daß er die Situation nicht beherrscht, und das ist sehr peinlich.

Es hat sich nun ergeben, daß in vielen Fällen die Wirkung sehr erheblichen Andrucks unwesentlich ist. Oberth berichtet von einem Flieger, der eine halbe Minute lang einem Andruck von über 50 m/sec^2 ausgesetzt war, ohne Schaden zu nehmen. Man wird also auch in der Lage sein, doppelt oder viermal so lange solche Dinge zu ertragen. Der moderne Mensch, der sich des Automobils und des Flugzeugs bedient, ist an solche Beanspruchungen schon einigermaßen gewöhnt, und die Gewöhnung dürfte mit der Ausbreitung dieser Hilfsmittel noch allgemeiner werden. Wer sich aber speziell zum Weltraumflieger ausbilden will, muß eben vorher ein wenig „Andruck trainieren“. Schwindel, Seekrankheitsgefühle und andere unangenehme Erscheinungen wird er dann bis zu einem gewissen Grade vermeiden lernen.

Welche Geschwindigkeit erträgt der Mensch?

Professor Oberth ist der Meinung, daß ein Training und geeignete Lebensweise den meisten Menschen ermöglichen, einen Andruck von 70 m/sec^2 zu ertragen. Für ganz kurze Zeit dürfte die Andruckfestigkeit noch viel höher hinaufgehen und sicher 200 m betragen können. Am besten würde man den Andruck liegend aushalten, weil dann ja am wenigsten Gelegenheit wäre, daß Organe aus ihrer normalen Lage sonderlich weit ausweichen und zerrissen oder gequetscht werden könnten. Liegt man auf dem Rücken, der Bewegungsrichtung mit diesem entgegen, so werden im wesentlichen die festeren Rückenpartien den größten Andruck erleiden, während die oberen Brustpartien und die dicht darunter liegenden Weichteile durch das eigene Körpergewicht nicht so sehr gedrückt würden. Im übrigen kann man wohl hoffen, daß der Wunsch, Weltraumreisen zu unternehmen, selbst bei sportfreudigen Frauen ein „Training auf Andruckfestigkeit“ in Kauf nehmen läßt.

ES IST ALLES RELATIV

Vorerst müssen wir noch eine grundsätzliche Frage klarstellen, über die man sich in breitesten Kreisen sicherlich ganz unklar ist. — Man erinnert sich noch der Geschichten, Erzählungen und Streitereien, die bei der Einführung der Eisenbahnen mit großer Leidenschaft in der Presse und im Publikum ausgefochten wurden; hatte doch sogar eine gelehrte Kommission behauptet, der Mensch könne die große Geschwindigkeit der Eisenbahn gar nicht ertragen und würde krank und geistesverwirrt. Dabei handelte es sich um Geschwindigkeiten von 60 km in der Stunde, wie sie heutigentags jede Stadtschnellbahn und alle Personenzüge fahren. Man hat damals bald erkannt, daß solche Geschwindigkeiten überhaupt keinen Einfluß auf die Fahrgäste ausüben. Selbst eine Geschwindigkeit von 100, 200 oder 300 km in der Stunde ist ganz unerheblich; fliegen doch heute schon Verkehrs-Flugzeuge mit 700 bis 800 km in der Stunde. Und keinem der Insassen tut das etwas. Diese Schnelligkeiten sind jetzt schon um mehr als die Hälfte überholt.

Für den Weltraumflieger ist es ganz gleichgültig, welche Geschwindigkeit er besitzt. Ob er mit 5 m in der Stunde durch den Raum steuert oder mit 50 km, hat für sein Befinden gar nichts zu besagen. Das geht schon daraus hervor, daß wir Erdenbewohner recht komplizierte Bewegungen mit ähnlichen Geschwindigkeiten ausführen. In unseren Gegenden dreht sich ein Punkt der Erdoberfläche mit 300 m Sekundengeschwindigkeit um die Erdachse; wir merken nichts davon. Wir merken aber auch weiter nicht, daß wir noch mit rund 30 km Geschwindigkeit um die Sonne sausen. Wir merken ferner nicht, daß wir uns mitsamt der Sonne außerdem noch mit 20 km Geschwindigkeit durch den Raum bewegen. Und die immer-

Training und Gewöhnung

währenden Veränderungen, die durch diese kombinierten Bewegungen hervorgerufen werden, merken wir auch nicht (allerdings gehen diese Veränderungen ganz allmählich und langsam vor sich).

Auf die Geschwindigkeit, mit der wir durch den Raum sausen, kommt es überhaupt nicht an. Unser Beispiel mit dem Fahrstuhl klärte das auch schon. Was unangenehm ist, sind das Anfahren und das Abbremsen. Dabei handelt es sich aber nicht um die Geschwindigkeit, sondern um die *Veränderung*, die die Geschwindigkeit erfährt, also um die *Beschleunigung* oder die Hemmung. Um eine gewisse Geschwindigkeit zu erlangen, dazu muß man eben auf diese Geschwindigkeit beschleunigt werden. Und diese Beschleunigung ist das, was uns allen so unangenehm ist, also die Anfahrt und das Abbremsen am Ziel. Beim Weltraumfliegen, für das man sehr große Geschwindigkeiten braucht, mehrfach höhere als die aller Geschosse, spielt das die größte Rolle. Bei der Anfahrt muß der Weltraumfahrer möglichst starke Beschleunigungen erleiden, beim Landen starke Verzögerungen. Aber diese erstrecken sich doch nur auf verhältnismäßig wenige Minuten. Während dieser Zeit hat die Rakete schon fast die großen Geschwindigkeiten erreicht, mit denen sie im Weltraum reist. Etwa notwendig werdende Geschwindigkeits- oder Richtungsänderungen würden auch nur so kurze, meist wohl noch viel kürzere Zeit dauern.

TRAINING UND GEWÖHNUNG

Selbstverständlich müssen Versuche solcher Art vorher angestellt werden; sie sind auch ganz unabhängig davon, ob wir schon eine Rakete bauen oder nicht, denn schaden können sie uns nicht. Auch andere praktische Fragen klärten sich. In tiefen Schächten ist die Fahrgeschwindigkeit der Aufzüge auch schon sehr erheblich. Und die Frage wird immer brennender, je tiefere Schächte wir in den Erdleib bohren und je höhere Wolkenkratzer wir bauen. Selbst bei den Schnellbahnen und den Automobilen wird die Frage akut werden, denn es besteht namentlich bei den Stadtschnellbahnen das Bestreben, immer schneller anzufahren, damit die kurzen zurückzulegenden Strecken zwischen den verhältnismäßig nahe beieinanderliegenden Stationen nicht durch lange dauernde Anfahrt und Bremsung zeitlich unnütz verlängert werden.

DIE BIOLOGISCHEN FRAGEN
DES HOCHGESCHWINDIGKEITSFLUGES

Versuche solcher Art kosten Geld. In Friedenszeiten, da man darauf bedacht ist, wirtschaftlich zu arbeiten und die Ausgaben selbst für Forschungszwecke in geringen Grenzen zu halten, werden nicht leicht große Summen locker gemacht, wenn sich nicht unmittelbar erhebliche wirtschaftliche Vorteile daraus ergeben. Im Kriege hingegen, wann der Rechenstift aller Beteiligten immer ausrutscht, wenn es für ihn nie ein Halten gibt, fragt man nicht nach den Kosten. So bringen es die Kriege mit sich, daß gewisse Techniken und Gewerbszweige in einem Maße schnell entwickelt werden, das sonst ganz undenkbar ist. Man denke an die Nachrichtentechnik, namentlich die Funkerei und die Fliegerei im ersten Weltkrieg.

Maßlos gesteigert wurde das alles im zweiten Weltkrieg. Für unsere Fragen nach der Andruksfestigkeit der Menschen sind dabei weitgehende Erkenntnisse erworben worden. Besonderer Anlaß dazu war namentlich die von deutscher Seite entwickelte Sturzkampffliegerei, bei der Flugzeuge mit Bombenlasten infolge der Dauerbeschleunigung durch die Schwere mit wachsender Schnelligkeit kilometertief in bestimmter Richtung niederstoßen, um die beschleunigten Bomben mit um so größerer Wucht auf das angeflogene Ziel abzuwerfen, während die Flugzeuge kurz nach dem Bombenabwerfen sich abfangen und in horizontale Lage übergehen. Beim Abfangen sind die Flugzeuginsassen ungeheuren Beschleunigungshemmungen ausgesetzt, die das vielfache von g , der einfachen Erdbeschleunigung, ausmachen und für die Besatzungen der Flugzeuge oft so schwere und gefährliche Schäden herbeigeführt haben, daß sich die Verwaltung der Flugwaffen genötigt sah, Untersuchungen über das ganze Erscheinungsgebiet anzustellen. Immer lief es darauf hinaus, die Wirkungen der Beschleunigungen auf den menschlichen Organismus zu studieren, um die sich einstellenden Schädigungen und die dadurch bedingten häufigen Flugzeugkatastrophen auszuschalten oder wenigstens weitgehend zu mildern. Die Schädigungen traten ja nicht bloß in der Sturzkampffliegerei auf, sondern auch beim Katapultabschuß von Flugzeugen und beim Kurven- und Kunstflug, namentlich in Flugzeugen hoher Geschwindigkeit. In allen diesen Fällen sind die Schleuderkräfte enorm. Aus diesen Untersuchungen hat sich eine vollkommene Flugmedizin entwickelt. Und deren Ergebnisse sind es, die nun auch den Raketensieger interessieren. Man pflegt die auftretenden Beschleunigungen nicht in Metern je Sekundenquadrat auszudrücken, sondern unmittelbar in den irdischen Schwereinheiten g (gravitas = Schwere), wie sie der freie Fall auf der Erde dartut. Aus Versuchen an der Erdoberfläche ergibt sich, daß $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Anfahrbeschleunigung und -geschwindigkeit

(Meter je Sekunden-Quadrat) und der in der ersten Sekunde von einem Körper durchfallende Raum $\frac{1}{2} g = 4,9$ m beträgt. Eine Beschleunigung von g bedeutet also, daß der betreffende Körper in der Sekunde um 4,9 m an Geschwindigkeit zunimmt. Bei $5 g$ würde das 24 m in der Sekunde mehr bedeuten. Man stelle sich das richtig vor:

Beim Fliegen sollen alle Teile des Organismus, ob zart oder grob, in einer einzigen Sekunde um fast 25 m beschleunigt werden. Der Organismus ist nun aber nicht bloß ein dicht ineinandergepacktes System von Knochen, Sehnen, Muskeln, gallertartigen Massen, Fleischteilen u. ä., sondern auch ein organisiertes Ganzes mit sich bewegenden Flüssigkeiten in verschiedenen Röhrensystemen (Blutkreislaufsystem, Verdauungssystem, Nervensystem). Und das alles muß in Ordnung bleiben und richtig funktionieren, selbst wenn es von außen plötzlich so stark beschleunigt wird.

Wir haben schon oft davon gesprochen, daß man ein solches menschliches System nicht in eine Granate setzen und es aus einer Kanone abschießen kann. Dabei geht das alles unweigerlich entzwei, weil die eintretenden Beschleunigungen das mehrtausendfache der Erdbeschleunigung g betragen. Um so viel mal wird der Mensch plötzlich schwerer, und diese ungeheure Schwere drückt seinen Körper zusammen, unter der eigenen Last also. Nun erfahren wir, daß die Raketenweltraumflieger mit mehrfachen Geschwindigkeiten durch den Raum sausen sollen, also auf diese Geschwindigkeit hinaufbeschleunigt werden müssen. Das erscheint uns doch wohl von vornherein ganz unmöglich.

Und dennoch ist es möglich, wenn man es nur richtig anfängt und die dazu erforderlichen maschinellen Vorrichtungen schafft. Eine lange dauernde gar nicht einmal allzu große Beschleunigung vermag mit der Zeit fast beliebig große Geschwindigkeiten zu erzeugen.

Bei dauernder Beschleunigung nimmt die Geschwindigkeit in jeder Sekunde nicht unerheblich zu. Das ersieht man am besten aus dieser kleinen Übersicht:

	beträgt die Geschwindigkeit bei Beschleunigung um	
	25 m je Sekunde	50 m je Sekunde
Am Ende der	(5 g)	(10 g)
1. Sekunde	25 m	50 m
2. Sekunde	50 m	100 m
3. Sekunde	75 m	150 m
4. Sekunde	100 m	200 m
5. Sekunde	125 m	250 m
6. Sekunde	150 m	300 m

Beschleunigungsschäden beim Menschen

beträgt die Geschwindigkeit bei gleicher Beschleunigung

Am Ende der	1500 m oder	3000 m oder
60. Sekunde oder		
1. Minute	1,5 km	3 km
2. Minute	3 km	6 km
3. Minute	4,5 km	9 km
4. Minute	6 km	12 km
5. Minute	7,5 km	15 km
6. Minute	9 km	18 km
7. Minute	10,5 km	21 km
8. Minute	12 km	24 km

Man ersieht daraus, daß bei einem Beschleunigungszuwachs von 25 m je Sekunde schon in der 8. Minute die Geschwindigkeit überschritten ist, die notwendig ist, um dem Banne der Erdschwere zu entfliehen (s. S. 93). Eine Beschleunigung um das Doppelte aber ergäbe am Ende der 10. Minute bereits die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn um die Sonne.

Es dauert also bei solchen Beschleunigungen gar nicht lange, um einen Körper auf so hohe Geschwindigkeit zu bringen, daß er mit kosmischen Schnelligkeiten durch den Raum saust. Könnte man die Beschleunigung für etwa 10 Minuten ertragen, so wäre es demnach durchaus möglich, mit einem entsprechenden Fahrzeug die Erde zu verlassen und in den Welt- raum hinauszufahren. Für den Menschen kommt es dabei also nur darauf an, die Geschwindigkeitszunahme, die Beschleunigung, richtig zu dosieren, nämlich so, daß sie für den Organismus ungefährlich bleibt. Diese Beschleunigungen zu finden, dazu hat uns die Luftfahrtmedizin verholffen. Nach ihren Feststellungen hängt die Wirkung der Beschleunigung auf den Menschen von viererlei ab:

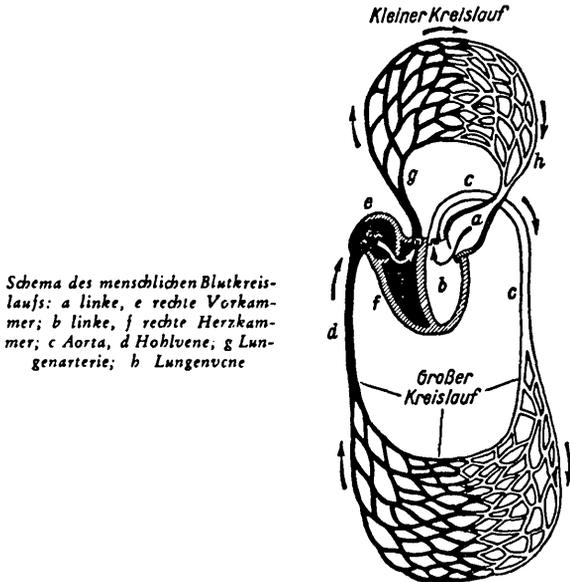
1. von der Größe der Beschleunigung,
2. von ihrer Dauer (der Wirkzeit),
3. von der Richtung der Einwirkung auf den Körper,
4. von der körperlichen Verfassung während der Einwirkungszeit.

DIE ART DER BESCHLEUNIGUNGSSCHADEN IM ORGANISMUS

sind in erster Linie solche durch die Störung des Blutkreislaufs. In der linken Herzkammer sammelt sich während des Ausatmens das aus den Lungen gelangende (arterielle) Blut, um von hier während der Zusammenziehung durch die Aorta in sämtliche Körperteile gepumpt zu werden (großer Kreislauf). Die rechte Herzkammer treibt das aus dem Körper

Blutkreislauf

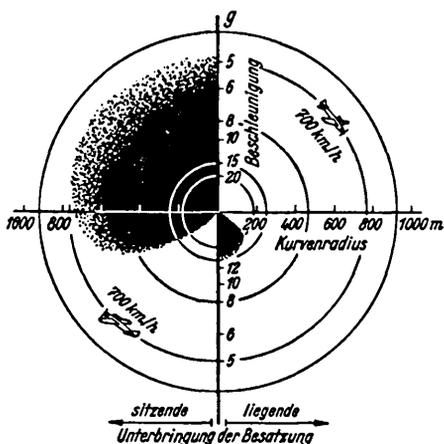
kommende (venöse) Blut zur Auffrischung mit Sauerstoff durch die Lungen (kleiner Kreislauf). Die Aorta ist der Hauptstamm aller Blutgefäße (Arterien) des großen Kreislaufs. Sie entspringt aus der linken Herzkammer, liegt vor der Wirbelsäule und gibt zum Kopf die beiden großen Halsschlagadern, die Arm- und Brustkorbarterien ab, tritt durch das Zwerchfell in die Bauchhöhle, versorgt deren Organe und spaltet sich dann in zwei große Stämme für die Beine.



Dieses System liegt also in der Längsrichtung des Körpers, in der Richtung vom Kopf zu den Beinen. Jeder im Flugzeug Sitzende wird deshalb die Beschleunigung bei Kurvenflügen in der Richtung vom Kopf zum Gesäß erfahren, in derselben Richtung, in der die Hauptstämme des großen Blutkreislaufs liegen. Das Blut wird in solchem Falle also mit Gewalt vom Kopf weggezogen und in den Bauch und die Beine gedrückt, weil es ja flüssig ist und dem Beschleunigungsdruck nachgeben kann. Beim Abfangen des Flugzeugs aus einem Sturzfluge geschieht das gleiche. Da nun die Arterien keine starren Röhren sind, sondern elastische Gefäße, dehnen und weiten sie sich je nach dem auf sie wirkenden Blutdruck, die untersten am meisten, da dort der Druck des überlastenden Blutes am größten ist. Sie nehmen viel Blut auf, das sich in ihnen sozusagen versackt. Ist der

Beschleunigungs-Kollaps

Druck sehr groß, so schmerzen die Waden bis zur Unerträglichkeit, und die kleinen Blutgefäße lassen Blut in die Haut austreten — was an den Beinen häufig beobachtet wird. Das versackende Blut aber wird dem Herzen und dem Kopf entzogen, und zwar um so mehr, je länger der über-



Durch Zentripetalbeschleunigung hervorgerufene Störungen des menschlichen Bewußtseins bei sitzender und liegender Unterbringung im Flugzeug für eine Fluggeschwindigkeit von 700 km je Stunde. Der geschwärtzte Bereich bedeutet den individuellen Streubereich, das schwarze Feld das Gebiet schwerer Störungen

mäßige Beschleunigungszustand anhält. Zum Herzen strömt zu wenig Blut zurück; es wird zu wenig von dem Blut des Körpers aufgefrischt, und schließlich bricht der Blutkreislauf zusammen, er funktioniert nicht mehr. Das Gehirn wird so wenig mit Blut versorgt, daß es gleichfalls nicht mehr zuverlässig arbeiten kann; die Augen versagen den Dienst, und es setzt schnell eine Gesichtsfeldverdunkelung ein, die bis zum völligen Schwarzsehen führt; bald folgt der Kollaps (Zusammenbruch der Kräfte) mit dem Verlust des Bewußtseins. In solchen Fällen pflegen die Flugzeugkatastrophen unausweichlich zu sein. Fällt die Beschleunigung weg, so dauert es gewöhnlich 3 bis 5 Sekunden, ehe sich das Bewußtsein wieder einstellt, während die Sehstörungen fast augenblicklich verschwinden. — Neben dem Kreislauf wird auch die Atmung erheblich beeinflusst; sie verschnellert sich ganz beträchtlich.

Der Kollaps tritt nur ein, nachdem die Beschleunigung ihre Größe eine bestimmte Zeit behalten hat. Zu jeder Beschleunigung gehört eine bestimmte Wirkzeit. Die Untersuchungen haben ergeben, daß 5 bis 6 g bei einer Wirkzeit von 3 bis 4 Sekunden ohne Störungen ertragen werden können. Da g in der Nähe der Erdoberfläche, d. h. in allen Sphären, die für die Fliegerei in Betracht kommen, je Sekunde einen Geschwindigkeitszuwachs von 4,9 m ausmacht, so sind 5 bis 6 g etwa 25 bis 30 m je Se-

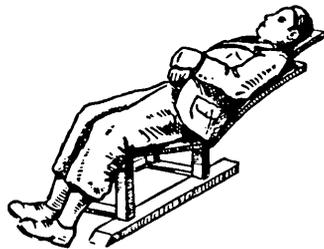
Andruckfestigkeit

kunde. Aber das wird praktisch leicht überschritten. Hat ein Flugzeug eine Geschwindigkeit von etwa 600 km/Stunde, so darf der Kurvenradius nicht enger sein als 500 m, falls die Störgrenze nicht überschritten werden soll. Das dürfte bei der Militärfliegerei oft schon ein viel zu weiter Radius sein. So kommen diese Flieger häufig in gefahrdrohende Lagen, gerade dann, wenn sie alle ihre Sinne aufs äußerste beisammen haben müssen. Dann legt sich plötzlich der „schwarze Vorhang“ über die Augen, und der Flieger fällt im Kampf oder dadurch, daß er die Gewalt über das Flugzeug verliert. Es besteht die Tatsache, daß man die Wendigkeit der ganz schnellen Flugzeuge schon gar nicht mehr ausnutzen kann, weil der menschliche Organismus nicht mehr zu folgen vermag.

DIE MITTEL ZUR ERHÖHUNG DER ANDRUCK- (BESCHLEUNIGUNGS-) FESTIGKEIT

Man hat daher auf Mittel gesonnen, die die Beschleunigungserträglichkeit steigern. Man wickelt die Unterschenkel mit Gamaschen oder Bandagen, um das Abströmen des Blutes dorthin zu verhindern. Ähnliches hat man mit einem aufpumpbaren Bauchgurt versucht. Es hat sich ferner ergeben, daß die Beschleunigungserträglichkeit nach dem Essen größer ist. Das hat zu einer gewissen Mahlzeitendisziplin für die Flieger geführt. Noch andere Mittel hat man kennengelernt. Von diesen ist eins besonders wichtig, nämlich die Art der Unterbringung der Flieger. Beim Sitzen haben sie gerade die ungünstigste Lage für die Beschleunigungserträglichkeit. Denn die Beschleunigungen wirken in Richtung der Hauptgefäße des Blutkreislaufs. Lügen die Flieger, so wirkten die Beschleunigungen senkrecht zu den Blutgefäßen und könnten kaum Störungen hervorrufen.

Der liegend untergebrachte Flieger, günstigste Stellung bei Einwirkung einer starken Beschleunigung. Dabei muß die Beschleunigung in Richtung Brust - Rücken wirken



Tatsächlich hat sich erwiesen, daß bei einer Wirkzeit von 150 bis 180 Sekunden (3 Minuten) alle Versuchspersonen 10 bis 12 g ohne wesentliche Beschwerden ertragen, manche sogar 14 bis 16 g, wenn auch mit gewisser Atemnot am Ende. Man sieht also, daß der liegende Flieger wesentlich

Gefährliche Andrucke

andruckfester ist als der sitzende. Für die Flugpraxis hat man daraufhin einen Kippsitz entwickelt, der in den Fällen, wenn eine Beschleunigung von 18 g überschritten wird, den Sitzenden automatisch in liegende Stellung kippt, aus der er gleichfalls automatisch wieder zurückklappt, wenn die Gefahr aufhört.

Sehr hohe Beschleunigungen lassen sich selbst in der Richtung der Hauptblutgefäße ertragen, wenn die Wirkzeit so kurz ist, daß nicht erst Sehstörungen eintreten können. Dazu ist mindestens 1 Sekunde nötig. Als höchste ausgehaltene Beschleunigungen wurden bis 1939: 26 g und etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde Wirkzeit gemessen.

Aus den Mitteilungen von Siegfried Ruff*) ging schon hervor, daß der Andruck beim Raketenanstieg für den mitfahrenden Menschen durchaus erträglich sein kann. Unsere kleine Tabelle auf S. 102 ergab, daß wir bei 5 g schon innerhalb 10 Minuten auf eine Geschwindigkeit kommen, mit der es möglich ist, den Schwereband der Erde zu brechen. Und darauf kommt es an. 5 g aber sind schon jetzt als ganz ungefährlich bezeichnet worden.

Aus dem Kriege liegen zahlreiche Erfahrungen sowohl aus den Forschungslaboratorien wie namentlich von Kriegsfliegern vor. Die im Fliegerkampf häufig notwendigen Kurvenflüge, andererseits der Start, namentlich beim Katapultgebrauch, haben dazu mancherlei Stoff geliefert. Immer kommt es darauf an, das Maß der Beschleunigung zu bestimmen, der der menschliche Körper ausgesetzt ist, und die Folgen auf Befinden, Gesundheit oder Schwere der Verletzung. Für geradlinige Beschleunigung wie beim Start mit Hilfe des Katapults liegen die erträglichen Beschleunigungen bei 2,5 bis 4 g (22...35 m je Sekunde-Quadrat). Ohne besondere Maßnahmen sind 4,5 g (40 m) schwer erträglich, obwohl sie selbst während mehrminütlicher Dauer noch keine ernstlichen Schäden erzeugen. Bei 6 g treten im Stehen und bei geringfügig schiefer Belastung mitunter schon Knöchelbrüche auf.

Nicht ungefährlich sind die Andrucke beim Öffnen von Fallschirmen, wobei 12 g vorkommen. Bei 20 g treten Brüche der Wirbelsäule im Sitzen bei Beschleunigungsrichtung Kopf-Gesäß ein. Beim Hinfallen bricht mitunter der Oberschenkel. Dazu sind etwa 25 g nötig, für Oberarmbrüche etwa 40 g (die Beschleunigung auf der Sonnenoberfläche beträgt 27 g). 57 g bewirken die sog. Contrecoup-Verletzungen im Hirn. Die menschliche Schädeldecke kann man statisch (ruhend und dauernd) mit fast 200 g belasten, ehe sie bricht. Bei schweren Gehirnerschütterungen ohne Schädelbruch kommen 350 g ganz kurzfristig vor und werden noch überlebt. Die gefüllte Schädelkapsel dürfte bei Stößen 500 g kaum noch aushalten. 700 g

*) Biologische Probleme des Hochgeschwindigkeitsfluges. Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung, Heft 13, München 1939

Anti-g-Anzug

bedeuten absolut tödliche Zertrümmerungen. Diese Angaben stammen von Dr. Justus Schneider (Weltraumfahrt 1950, S. 82). — Technisch, um eine solche Angabe zu machen, benutzen Ultrazentrifugen bis zu 11 000 g. Noch höhere Schwerebeschleunigungen kommen astronomisch bei den „heißen Zwergen“ (Sterne mit äußerster Konzentration der Materie) vor. Die dichtesten bekannten haben eine Schwere von vielen Millionen g. Auf dem Stern „van Maanen 2“ wiegt 1 ccm Materie 2500 kg.

Es zeigte sich, daß kurzfristige Beschleunigungen weniger unangenehm empfunden werden als langfristige. So kann man einen Stoß noch bei 18 g (160 m/s^2) in Richtung Kopf-Gesäß ertragen, während höhere Beschleunigungen bereits Wirbelsäulenbruch erzeugen können. 300 m/s^2 wie bei den bekannten Hawaii-Insulanern müßten also anders beurteilt werden. Die Springer treffen da mit den Fußspitzen auf das Wasser und teilen es mit den Beinen, so daß der Andruck beim Aufhalten der erlangten Geschwindigkeit nicht plötzlich, sondern bis zu gewissem Grade allmählich, wenn auch sehr schnell, erfolgt. Bei Untersuchungen mit großen Schleuderapparaten hat man mit Hilfe der Röntgenstrahlen die Einwirkungen der Beschleunigungen auf den untersuchten Körper und seine Organe, mit Blutdruckmessern den Blutdruck u. a. ermittelt. Es zeigt sich, daß die Richtung der Beschleunigung, also z. B. Kopf-Fuß, Fuß-Kopf, Brust-Rücken usw. ganz unterschiedliche Wirkungen zeitigt. Die Richtung Brust-Rücken sichert die Versorgung des Gehirns mit Blut länger. Dann liegen nämlich Gehirn und Herz etwa auf gleicher Höhe, so daß das Herz nur eine geringe Erhöhung seiner Hubleistung zu geben braucht. Kauer-sitz und Spannen der Bauchmuskulatur werden bis zu 7 g, von manchen auch höher, ertragen. Später tritt, wenn auch nicht augenblicklich, der sog. Beschleunigungskollaps ein.

In dem Bestreben, beim Arbeiten des Raketenofens die Andrücke auf die Raketeninsassen zu vermindern, hat die Konstruktions- und Entwicklungsabteilung der Hymatic Engineering Co in Zusammenarbeit mit der Royal Aircraft in Farnborough (südwestlich von London) ein „Anti-g“-Ventil hergestellt, das die Wirkungen der hohen Beschleunigungen auf den menschlichen Körper, wie sie beim Start, beim Bremsen und im Kurvenflug auftreten, mildern soll. Das Ventil ist einem „Anti-g“-Anzug eingebaut und stellt ein ganzes System von Preßluft-Aderpressen dar. Sie wirken in bestimmter Reihenfolge auf die einzelnen Körperteile und verhindern so das Wegziehen des Blutes vom Kopf sowie vom Unterleib. Diese Einrichtung könnte dazu beitragen, die Startgeschwindigkeit schnell zu erhöhen, so daß man mit der Rakete schneller aus dem Schwerefeld von Himmelskörpern herauskommt. Damit sparte man beträchtlich an Energie. — Übrigens wird der Anzug auch für die Fliegerei benutzt und dort bereits erprobt (Discovery 1950, 11, S. 272).

Erhaltung des Schwerpunktes

NUR JA KEINE SORGE UM DIE ERHALTUNG DES SCHWERPUNKTES! ER TUT'S VON SELBST!

Haben Sie schon einmal im freien Weltraum geschwebt?

Glücklicherweise nicht einmal in der freien Luft! werden die meisten, in angstvollen Vorstellungen befangen, erwidern. Denn ein Schweben in freier Luft setzt gewöhnlich voraus, daß man von irgendwo herunterfällt, und das ist ja wohl im Durchschnitt keine angenehme Sache, besonders weil sie zumeist auch nicht so glimpflich abläuft.

Ist man ein voreilig schließender Mensch, so denkt man vielleicht anders, wie jener Mann, der aus dem 100. Stock eines New Yorker Wolkenkratzers fiel. Er beobachtete, wie er am 70. Stock vorbeikam, daß es ihm eigentlich noch ganz gut ginge. Auch am 50. Stock war ihm noch nichts Schlimmes passiert, und das freie Schweben war keineswegs unangenehm. Er schloß daraus, daß das immer weiter so gut ablaufe. Da der Mann jedoch im Schwerebereich der Erde fiel, hatte er sich verrechnet — was ihm allerdings nicht mehr zum Bewußtsein gekommen ist. Hätte er im freien Weltraum geschwebt, so wäre das etwas anderes gewesen, denn dort kann man gar nicht „fallen“ und ist somit auch dieser Gefahr nicht ausgesetzt. Man befände sich zwar nach jeder Richtung in einer endlosen Leere, so daß man gar kein Gefühl der Fallgefahr haben könnte, aber es träte auch noch ein anderes ein, woran wir gewöhnlich gar nicht zu denken pflegen, nämlich, daß wir uns überhaupt nicht selbständig fortbewegen können. Das „Sichbewegen“ allein aber nutzt einem nicht viel, und zwar gerade deshalb, weil der Schwerpunkt immer an derselben Stelle bleibt, eben: Erhaltung des Schwerpunkts!

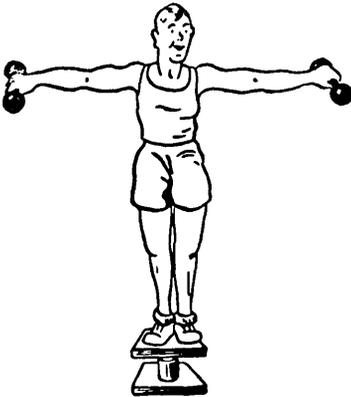
Wofür den Menschen die Erfahrung fehlt, das pflegen sie schlecht zu verstehen. Es ist deshalb notwendig, bei dieser Angelegenheit etwas zu verweilen, und zwar auch deshalb, weil sie den Kernpunkt der ganzen Frage bildet. Es dürfte wohl angebracht sein, sich dabei auf leichte Vorstellungen oder noch besser auf Versuche zurückzuziehen, die das Verständnis für diese Frage erwecken.

AUF DEM DREHSCHEMEL

Einen solchen Versuch pflege ich in manchen meiner Vorträge zu zeigen, und ich habe gefunden, daß er jedesmal das größte Interesse erweckt. Ich führe ihn mit dem Drehschemel aus. Dieser besteht aus einem Grundbrett mit einer hohlen Säule, in die ein starker Dorn hineinragt, der eine kräftige Holzplatte trägt. Der Dorn ist in der Säule in Kugellagern leicht drehbar, so daß die Lagerreibung auf ein geringes Maß zurückgeführt ist.

Drehschemel-Versuche

Stellt man sich auf diesen Drehschemel und versucht, sich eine Drehung zu erteilen, so rutscht einem das Grundbrett mit den daraufstehenden Füßen nach der entgegengesetzten Richtung weg. Nur wenn man diese



Der Schwerpunkt des Systems liegt weit außerhalb der Drehachse. Langsame Drehung bei Anstoß mit bestimmter Wucht



Der Schwerpunkt des Systems liegt nahe an der Drehachse. Schnelle Drehung bei Anstoß mit derselben Wucht wie vorher

Durch Heben und Senken der (nicht ganz leichten) Hanteln kann man sich nach einem Anstoß schnell oder langsam drehen, da die Kugellagerreibung des Schemels sehr gering ist

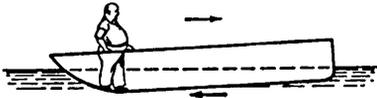
Drehung ganz langsam ausführt, so daß die geringe, zwischen Lager und Stehbrett immerhin vorhandene Reibung ausreicht, Widerstand zu leisten, kann man sich eine schwache Drehung erteilen. Könnte die Lagerverbindung völlig reibungslos sein, so wäre es unmöglich, sich auf dem Drehschemel aus sich selbst heraus zu drehen. Man käme nicht vom Fleck, weil man sich ja nirgends abstoßen kann. Dreht man den Oberkörper nach rechts, so dreht sich der Schemel nach links. Dreht man den Oberkörper zurück, so dreht sich der Schemel nach rechts und alles ist, wie es vorher war.

Eine rotierende Drehung kann einem nur von außen erteilt werden, in der üblichen Weise wie bei allen Fahrzeugen, die sich eben an der Umgebung abstoßen.

Eine ganz ähnliche Beobachtung macht man, wenn man sich auf ruhigem Wasser, z. B. auf einem unbewegten abflußlosen See, in einem ruhig auf

„Sich“ Bewegen

dem Wasser liegenden Kahn befindet. Geht man darin vom Bug zum Heck, so bewegt sich umgekehrt der Kahn ein wenig vom Heck zum Bug, und zwar so, daß der Gesamtschwerpunkt des Systems Mensch-Kahn immer an derselben Stelle bleibt. Geht man vom Heck zum Bug, so be-



Zum Satz von der Erhaltung der Schwerpunktslage. Geht der Kahninsasse vom Bug zum Heck, so bewegt sich der Kahn ein Stückchen nach vorn, und umgekehrt, weil nur so der Schwerpunkt an seinem Orte erhalten bleibt

wegt sich der Kahn umgekehrt vom Bug zum Heck. Das Gesamtsystem bleibt immer an derselben Stelle. — Es sei ausdrücklich vermerkt, daß infolge der Reibung des Bootes am Wasser dieses etwas in Bewegung gerät, so daß nach Aufhören des Laufens der Kahn sich noch ein wenig weiter bewegt. Diese Komplikation (Verwicklung) ist gleichfalls auf die Reibung zwischen Wasser und Boot zurückzuführen.

Ideal wäre der Drehschemelversuch im freien Weltraum erfüllt, wo ja tatsächlich keine Reibung existiert. Dort könnte sich ein Mensch keine Drehung erteilen. Nur einzelne Körperteile könnten sich gegeneinander verdrehen, während der Gesamtkörper keine Drehung annehmen kann. Aber noch viel weniger wäre er imstande, sich von dem Fleck fortzubewegen, an dem er sich befindet. Besäße er eine bestimmte Bewegung in irgendeiner Richtung, so würde er diese unweigerlich beibehalten und hätte keine Macht, daran irgend etwas zu ändern.

Was wir soeben besprochen haben, nennt man den „Satz von der Erhaltung des Schwerpunktes“ oder „den Satz von der Erhaltung der Schwerpunktslage“. Seine Bedeutung für unser Thema (Gedankengang) wird bald noch schärfer hervortreten.

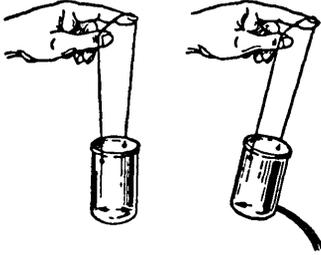
„SICH“ BEWEGEN

So hat es also den Anschein, als ob auch irgendein Weltraumschiff, mit dem man durch die Räume reist, sich selbsttätig nicht irgendeine Bewegung erteilen kann. Doch das ist nicht der Fall. Auch ein Mensch wäre in der Lage, sich eine Bewegung zu geben, wenn er einen Gegenstand bei sich führte, den er von sich nach irgendeiner Richtung wegwirft.

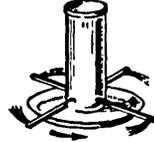
Es geschieht dann dasselbe, was uns das beistehende Bild zeigt, das einmal die seitliche Abdrängung eines Gefäßes darstellt, wenn Wasser ausfließt, ein andermal die Drehung der Turbine, wenn den Düsen seitlich Wasser

Aktion und Reaktion

entströmt. Würde ein im freien Weltraum Schwebender einen Gegenstand von sich, so würde er selber in der entgegengesetzten Richtung fliegen müssen, da bekannte physikalische Gesetze die Beibehaltung, die „Erhaltung der Schwerpunktslage“ eines Körpers fordern, auf den ein äußerer Anstoß nicht ausgeübt wird.

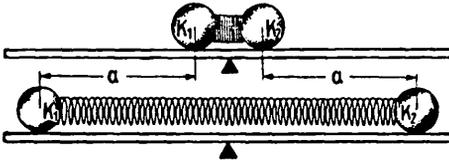


Sobald seitlich Wasser ausströmt, wird das hängende Gefäß nach der entgegengesetzten Seite abgedrängt



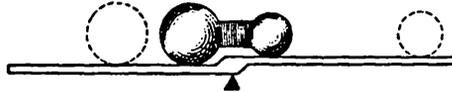
Auch bei der Reaktionsturbine ist die seitliche der Ausströmrichtung entgegengesetzte Ausströmung der Anlaß zur Drehung. Sie ist das Prinzip, auf Grund dessen der Druck der ausströmenden Massen, seien sie Wasser oder Dampf, in drehende Bewegung zur Arbeitsleistung umgesetzt werden kann

Man kann sich das mit Hilfe eines sehr einfachen Experiments klar machen, das jeder geschickte Bastler ausführen kann. Man nimmt zum Beispiel ein langes schmales kräftiges Brett, das man in der Mitte durch eine Schneide unterstützt, und legt auf dieses zwei Kugeln, die etwa in einer Längsrille des Brettes liegen und durch eine zusammengedrückte



Gleiche Kugeln auf der Waage

Ungleiche Kugeln auf der Waage



Spiralfeder miteinander fest verbunden sind, so auf, daß das Brett wie eine Waage im Gleichgewicht schwebt. Die Zusammenpressung der beiden Kugeln könnte man etwa durch einen Faden erzielen, den man um die beiden Kugeln legt. Nimmt man nun eine kleine Flamme und brennt den Faden durch, so schnellen die beiden Kugeln auseinander. Die Waage

bleibt dabei aber im Gleichgewicht, weil jede Kugel der anderen entgegengesetzt und von der Ruhelage gleich weit fortgetrieben wird. K_1 wird um die Strecke a nach links geschoben, K_2 um die gleiche Strecke nach rechts. Ist die sprengende Kraft der Feder erschöpft, so werden die Kugeln noch ein Stückchen weiter auseinandergehen, dann aber wieder zusammengezogen werden, und es kann sogar auch ein Schwingen beider gegen- oder voneinander stattfinden, ohne daß sich die Waage auch nur rührt. Der Grund dafür ist, daß der Schwerpunkt des Systems der beiden Kugeln K_1K_2 an derselben Stelle bleibt. Beweis dafür ist das Stehenbleiben der Waage.

Die Waage bleibt aber auch stehen, wenn zwei ungleich schwere Kugeln oder vielleicht auch Walzen auf diese Weise durch eine Feder auseinander gepreßt werden, wenn in ihrer Ruhelage Gleichgewicht bestanden hat. Es ist sehr lehrreich, gerade einen solchen Versuch auszuführen, denn man findet, daß die größere Kugel nicht ebenso weit ausweicht wie die kleinere entgegengesetzt, sondern viel weniger. Aber es bleibt dennoch das Gleichgewicht des ganzen Systems erhalten, weil die verschiedene Weite des Ausweichens die verschiedene Schwere ausgleicht.

ERHALTUNG DER SCHWERPUNKTSLAGE

Es wäre nun ganz gleichgültig, wie lang die Waage wäre und ob die Bewegung der auseinanderstrebenden Kugeln jemals ein Ende nähme. Bleibt nur der Schwerpunkt des Systems an derselben Stelle, so können sich doch die Teile beliebig weit bewegen, wenn diese Bewegungen nur nach dem auseinandergesetzten Prinzip gegeneinander abgestimmt sind.

Selbst der sorglichste Durchschnittseuropäer hat bisher noch keine Bedenken wegen der „Erhaltung des Schwerpunktes“ gehabt. Erst jetzt, nachdem wir diese Sorge beseitigt haben, erkennt er eigentlich die große Gefahr seiner früheren Unwissenheit. Glücklicherweise hat ihm in diesem Fall wenigstens „das Unbewußte“ nicht geschadet!

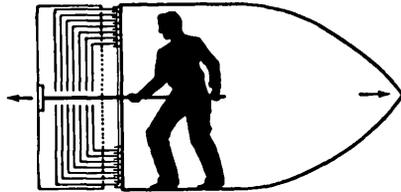
Aber wir kommen bei dieser Gelegenheit auf das Gehen in der Raketenkabine zurück (S. 36). Das kann man gar nicht, da man sich am Fußboden nicht abstoßen kann. Der Satz von der Erhaltung der Schwerpunktslage ermöglicht das einfach nicht. — So ist man da also bei jedem „Schritt“ unsicher!

Das Raketenprinzip

DIE MASSE MUSS ES BRINGEN! — ODER EIGENTLICH DAS GEGENTEIL!

Wenden wir das nun auf den im freien Weltraum schwebenden Körper an. Stellen wir uns etwa vor, ein Mensch befände sich in einem zylindrischen Gefäß, das in der bezeichneten Weise auf der einen Seite eine große Anzahl deckelförmiger Verschlüsse enthält, wie unser Bild anzeigt. Das Ganze schwebt frei ohne irgendeine Bewegung im Weltraum. Stößt jetzt der im rechten Teil befindliche Mensch mit seiner Muskelkraft den äußersten Deckel ab, so wird dieser nach links geschleudert. Im Verhältnis der Schwere des Deckels zu dem übrigbleibenden Teil bewegt sich dieser Deckel mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit nach links, der andere Teil des Gefäßes weicht langsamer nach rechts (Erhaltung der Schwerpunktlage).

*Beispiel für das Raketenprinzip.
Der Rückstoß für das Raketen-
fahrzeug (rechter Teil) wird durch
Abstoßen eines Deckels (linker
Teil) erzeugt*

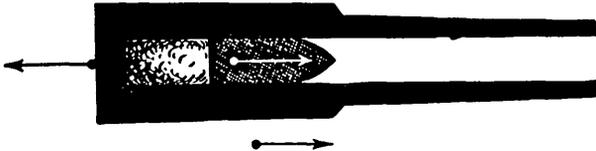


Unsere Auseinandersetzungen lassen auch die Größe der Geschwindigkeiten feststellen, die jeder einzelne Körper nunmehr bekommt. Stößt jetzt der Insasse den zweiten Deckel ab, so vergrößert er dadurch die Geschwindigkeit seines eigenen Gefäßes wieder um ein bestimmtes Maß. So kann er fortfahren und sich eine beliebig hohe Geschwindigkeit nach rechts erteilen, wenn er nur recht kräftig genug den Deckel nach links abstoßen kann. Im ganzen aber wird das System, dessen Einzelteile nach Abstoßung aller acht Deckel sich in neun verschiedenen Geschwindigkeiten befinden, seinen Gesamtschwerpunkt an derselben Stelle des Raumes belassen haben, wo es ursprünglich gestanden hat. Trotzdem ist es dem Insassen möglich gewesen, seinem Fahrzeug eine Bewegung mit bis zu gewissem Grade willkürlicher Geschwindigkeit zu erteilen. Die Deckel spielen die Rolle von Bewegungsstützen für das Fahrzeug, sie sind seine „Stützmasse“ (s. S. 146).

Man kann sich nun denken, daß dieser Vorgang viel zweckmäßiger mit Hilfe motorischer Mittel erfolgt, etwa mit Hilfe von Explosionen, die zwischen Gefährt und jeweilig letztem Deckel stattfinden. Schließlich können wir uns auch denken, daß nicht gerade immer Deckel des Fahrzeuges abgeschleudert werden, sondern eigens dazu mitgenommene Masse-

Das Raketenprinzip

stücke. Diese Massestücke brauchen nicht fest oder flüssig zu sein, sie können auch gasförmig sein. Diese Massestücke können sogar die Explosionsgase selber sein, die aus einem offenen Rohr hinten auspuffen. Es

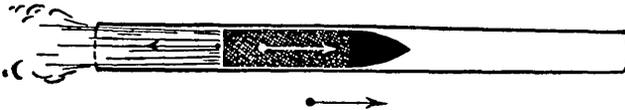


Stößt ein Mann ein Boot vom Ufer ab, so übt er einen Druck nach zwei Seiten aus. Der Schub treibt das Boot nach vorn, der Druck nach hinten stemmt die Füße gegen den Boden. Genau das Gleiche geschieht beim Entzünden des Pulvers einer Granate. Der Druck nach vorn jagt das Geschloß aus dem Rohr; der Druck nach hinten wirkt als Rückstoß auf die Kanone

kommt nur darauf an, daß wir Explosivstoffe mit recht hoher Explosions- oder Auspuffgeschwindigkeit haben und diese damit ausstoßen, um auch dem Fahrzeug selbst eine genügend große Geschwindigkeit zu erteilen, wie bei Opels Raketenautomobil (S. 16). Die Geschwindigkeiten verhalten sich dabei umgekehrt wie die Massen, so daß also die kleinere Masse die größere Geschwindigkeit, die größere Masse hingegen die kleinere Geschwindigkeit annimmt.

Das ist aber nichts anderes als das Prinzip der Rakete. Mit dieser ist es also möglich, sich auch im freien Weltraum zu bewegen. Und da der Auspuff nach jeder gewünschten Richtung erfolgen kann, wenn man die technischen Hilfsmittel nur entsprechend einrichtet, so ist man in der Lage, nicht bloß sich selber eine Geschwindigkeit nach einer Richtung zu erteilen, sondern auch noch die Richtung zu wechseln, wie man es gerade braucht. Es wäre übrigens sehr unzweckmäßig, wenn man etwa durch Abstoßung von Teilen des Fahrzeugs seine Geschwindigkeit steigern wollte, wie das vorhin beschrieben wurde. Ein sehr hübsches Beispiel dafür gibt Oberth in

seinen Ausführungen über die Grundprobleme der Raumschiffahrt in dem Sammelwerk „Die Möglichkeit der Weltraumfahrt“. Um zum Beispiel sehr große Geschwindigkeiten zu erzielen, müßte man sehr große Massen



Mehrere Männer springen nacheinander von einem Boot aus ins Wasser. Jedesmal wird ein Druck nach zwei Seiten ausgeübt, der das Boot vorwärtstreibt. Wird der Treibsatz einer Rakete entzündet, so entsteht ein Gasdruck nach vorwärts und rückwärts. Beim Austritt des Gases durch eine Düse nach hinten entsteht der Schub, der die Rakete vorwärtstreibt

abschleudern. Hätte man zu Anfang die Masse von der Größe unserer Erde und gewänne man eine bestimmte Geschwindigkeit durch Halbierung, so würde man nach der hundersten Teilung, also bei hundertfacher Geschwindigkeit, nur noch ein zweitausendstel Gramm Masse übrig behalten.

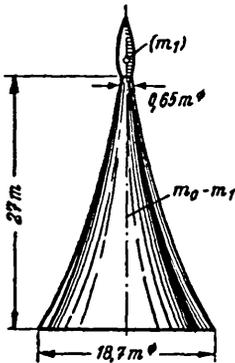
Wie wir nun sahen, läßt sich die ausgestoßene Masse dadurch verringern, daß man kleinere Massen mit viel größeren Geschwindigkeiten ausstößt. Aber wie soll man sich das vorstellen?

DIE RAKETE

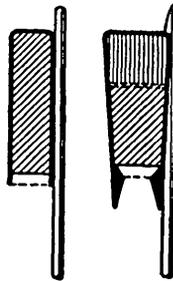
GODDARDS PULVERRAKETE

Wie sieht eigentlich eine solche Rakete aus?

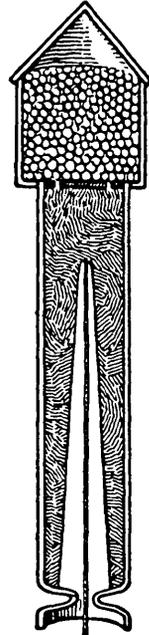
Sehr einfach! Wenigstens nach Hohmann. Der baut nämlich einfach einen großen Turm aus hartem Pulver, auf dessen Spitze er das eigentliche Raumschiff setzt, wie unser Bild zeigt, das wir seinem Buche „Die Erreichbarkeit der Himmelskörper“ (München 1925) entnehmen. Die Rakete sitzt also hier geradenwegs auf einem ungeheuren Pulverfaß. Ob viele Leute den Wunsch haben, sich diesem Gefährt anzuvertrauen, möchte ich beinahe bezweifeln. Es hat aber auch technische Schwierigkeiten, damit im Weltraum zu fahren. Und deshalb dürfte es doch wohl zweckmäßig sein, für den Antrieb eine solidere technische Konstruktion zu wählen.



Hohmanns Pulverrakete



Einfache und bessere Feuerwerksraketen
(im Querschnitt)



An dem Opelschen Raketenwagen sieht man hinten eine große Zahl von Öffnungen, die Mündungen düsenartiger Rohre, denen die Pulvergase entströmen (s. Tafel II unten). Der amerikanische Physiker Goddard, der schon 1919 eine große und gutbelegte Arbeit „über eine Methode, große Höhen zu erreichen“, veröffentlicht hat, benutzt ebenso wie die Opelwagen für zum Aufstieg in große Höhen bestimmte Raketen Pulver, und zwar rauchloses, dessen Gase er aus metallischen Düsen ausströmen läßt. Er wählte die Methode, einzelne übereinander angebrachte Pulversätze nacheinander zu entzünden und auf diese Weise die Rakete nach und nach immer stärker anzutreiben. Die Patronen stecken in dünnen Papierhüllen,

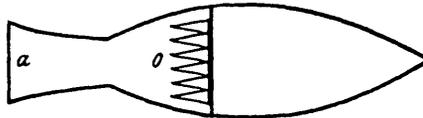
Oberths Flüssigkeitsrakete

die nach dem Schuß aus dem Treibapparat abgeworfen werden. Goddard hatte auch schon den guten Gedanken, mehrere Raketen übereinander zu setzen und die verbrauchten Brennkammern abzustoßen. Der Antrieb wendet also ein ähnliches Stufenprinzip an, wie man es bei Dampfmaschinen und Turbinen mit Erfolg benutzt. Die Antriebe der einzelnen Schüsse und Raketen addieren sich, und man kann auf diese Weise so hohe Geschwindigkeiten erreichen, wie die technischen Mittel nur erlauben.

OBERTHS FLÜSSIGKEITSRAKETE

Höhere Auspuffgeschwindigkeiten der Gase als mit Pulver erzielt man mit brennbaren Flüssigkeitsgemischen, z. B. mit einem Gemisch aus flüssigem Sauerstoff und Alkohol-Wasser, und besonders hohe Geschwindigkeiten mit flüssigem Sauerstoff und flüssigem Wasserstoff. Die Verwendung dieser Brennstoffe setzt natürlich eine kompliziertere Konstruktion der Rakete voraus als bei den einfachen Pulverraketen.

*Oberths Flüssigkeitsrakete
(Prinzipbild)*

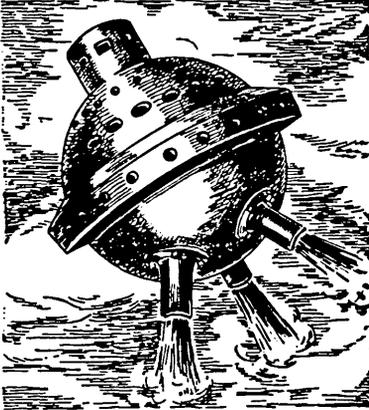


Grundsätzlich soll die Konstruktion folgende Form haben: Aus einem Behälter strömt der Brennstoff in den Raketenofen *o*. In diesen ragen kegelförmige Röhren, die den Sauerstoff enthalten. Die Röhren haben rundum porenförmige Öffnungen, durch die unter höherem Druck der Sauerstoff ausgespritzt wird. Kurz vor der Verbrennung vergast der Sauerstoff und wird auf 700 bis 900 Grad erhitzt. Der eigentliche Brennstoff wird in fein verteiltem Zustande in den heißen Sauerstoffstrom gespritzt. Das Ganze verbrennt und sucht nach der Öffnung *a* des Ofens einen Ausweg ins Freie. Die unter ungeheurem Druck hinausgepreßten Gase besitzen außerordentlich hohe Geschwindigkeiten. Diese und ihre Masse bestimmen, in welchem Maße sie nach hinten und die Rakete nach vorn geschleudert werden (in ähnlicher Weise, wie das bei unserem Kugelexperiment auf der Waage gezeigt wurde; S. 111). Der Schwerpunkt des ganzen Systems behält dabei denselben Bewegungszustand wie vor dem Auspuff. Die Gase verstreuen sich im Weltraum.

Eine solche Rakete kann sich also auch im leeren Raume Bewegungsantriebe erteilen. Je nach der Richtung des Auspuffs kann man die Rakete auch steuern. Natürlich ist es dazu notwendig, daß seitliche Steuerungs-

Die Vorteile der Flüssigkeitsraketen

düsen vorhanden sind oder die ausgepufften Gase durch irgendwelche Organe gesteuert werden können. Aber das ist ja alles eine Frage der Konstruktion, die man getrost den Ingenieuren überlassen kann. Hier kommt es zuerst darauf an, das Prinzip darzulegen.



Kugelförmige Rakete mit seitlichen Steuereinrichtungen, aber ohne Steuerungsorgane für die Fahrt in einer Atmosphäre

Der Übergang Oberths von der Pulver- zur Flüssigkeitsrakete hat mehrere gute Gründe. Einmal kann ein neuer Pulversatz immer erst entzündet werden, wenn der alte abgebrannt ist. Die Antriebe geschehen infolgedessen stoß- und ruckweise, so daß etwa in dem Fahrzeug befindliche Personen stark geschüttelt werden und ruckweise Andrücke erfahren, die dann auch leicht die physiologische (dem menschlichen Körper entsprechende) Grenze überschreiten können. Das müßte seekrankheitsähnliche Erscheinungen begünstigen oder noch schlimmeres erzeugen. Für Instrumente und technische Einrichtungen ist solches Schütteln und Stoßen gleichfalls keineswegs förderlich, für viele sogar unmöglich. Das Schütteln wäre bei Pulverraketen so erheblich, daß es eine Personenbeförderung damit überhaupt ausschloße. Flüssigkeitsraketen dagegen lassen die Verbrennung völlig sicher regeln. Man hätte es also in der Hand, stärkere oder schwächere Beschleunigungen einzustellen, wie man es gerade braucht, und erzielte einen gleichmäßigen Antrieb. Zugleich könnte man mit der Auspuffgeschwindigkeit sehr viel höher gehen als bei den stärksten jetzt anwendbaren Pulversätzen.

Schließlich ist es noch ein anderer Gesichtspunkt, der auch nicht ohne Bedeutung ist, nämlich die Gefährlichkeit des Pulvers. Es kann leicht vorkommen, daß die Pulversätze nicht nacheinander explodieren, sondern

Der Weltraum-Steuerautomat

durch irgendwelche Umstände gleichzeitig. Damit wäre natürlich das Schicksal der Rakete und ihrer Insassen besiegelt. Die flüssigen Brennstoffe sind dagegen gefahrlos. Bekanntlich kommt es darauf an, wie man explosive Gemische zur Explosion bringt. Selbst wenn die Metallwände von Behältern mit flüssigen Brennstoffen reißen, kann doch nichts Wesentliches geschehen; es könnten schlimmstenfalls Gemische an nicht erwünschten Stellen in Brand geraten.

STEUERPROBLEME UND WELTRAUM- STEUERAUTOMAT

Wir wissen von den Flugzeugen her, daß die Steuerung nicht ganz einfach ist. Und da selbst die Weltraum-Raketen sich einige Zeit in der Luft bewegen, müssen wir daran denken, für richtige Steuerung Sorge zu tragen. Bei ihrer Abfahrt kann die Rakete nicht sogleich die gewünschte Richtung erhalten. Wir müssen ihr Steuerorgane geben, die die während des Aufstiegs einzuschlagende Richtung erwirken. Das wird noch nicht immer genügen, aber automatische Steuerungsorgane sind gerade neuerdings in so vollkommener Weise gebaut worden, daß wir auch für die Raketen über solche verfügen. Man ist ja in der Lage, ganze Ozeandampfer nach einmaliger Einstellung ohne menschliches Zutun bis zum Ziel zu steuern, wenn dies in gerader Richtung liegt. Auch für die Weltraumfahrten dürfte der dazu in Anspruch genommene Kreiselapparat hervorragend geeignet sein, als *Weltraum-Steuerautomat* — —

Bitte: Weltraum-Steuerautomat! Nicht: Weltraumsteuer-Automat! So weit sind wir noch nicht. Aber vielleicht kommt auch das noch — —

Wir zweifeln nicht daran, daß wir überhaupt Registrierapparate erfinden können, die uns das alles ganz automatisch angeben, und drüber hinaus ebenfalls automatische Steuereinrichtungen, die uns ohne weiteres Zutun in die Nähe des gewünschten Himmelskörpers führen, ohne daß die Insassen ständig genötigt sind, Instrumente zu beobachten, zu registrieren, zu messen und zu rechnen und den Lauf ihres Weltraumschiffes durch Steuerschüsse zu regeln. Von solchen Arbeiten muß man die Insassen möglichst entlasten, da sie ja in erster Linie die Aufgabe haben werden, unterwegs Beobachtungen anzustellen und unsere Kenntnisse vom Weltall zu bereichern.

Daß die automatischen Steuerungsmechanismen ganz besondere Bedeutung haben, wenn man mit dem Raumschiff fremde Weltkörper besuchen will, geht schon daraus hervor, daß sich die Rakete beim Abschluß gar nicht so genau richten läßt, wie das notwendig ist, um einen fremden

Richtschüsse

Planeten zu erreichen. Beweis dafür ist schon die mangelnde Treffsicherheit der deutschen V-1- und V-2-Geschosse, die gegen englische Ziele gerichtet waren. — Fährt man zum Beispiel mit einer Weltraumrakete in einem bestimmten Augenblick ab, so darf man, unter Berücksichtigung der Tatsache, daß das Ziel sich ständig bewegt, nicht zu spät oder nicht zu früh dort ankommen. Kommt man zu früh an, so läßt sich der Fehler durch Richtschüsse noch leichter korrigieren, als wenn der Planet schon vorbei ist. Im übrigen werden Steuerschüsse nie so genau auf die Rakete wirken können, daß sich damit die Richtung von vornherein ganz genau annehmen läßt.

RICHTSCHÜSSE

Man denke nur, welcher Fehler in großer Ferne entsteht, wenn man auch nur den Bruchteil eines Grades von der gewollten Richtung abweicht. Das macht angesichts der Länge der Zeit, die das Raumschiff unterwegs ist, und der großen zurückzulegenden Strecke am Ziel ungeheure Strecken aus.

Unser beistehendes Bild zeigt, welche Abweichungen selbst bei einem ganz kleinen Winkel (der unserer beträgt immerhin noch etwa andert-halb Grad und wurde so eng gezeichnet, wie es sich zeichnerisch nur machen läßt und wie es der Druck noch verträgt, ohne zu verklecksen) schon in naher Entfernung vom Scheitel entstehen. Bei dem geringsten Fehler — und ein Fehler wird immer vorhanden sein — gibt es Abweichungen, die in Tausenden, in Hunderttausenden, und noch viel mehr in Millionen Kilometern Entfernung riesengroß werden. Und solche Entfernungen kommen beim Anfahren selbst der nächsten Planeten für die Weltraumschiffahrt schon vor (S. 22). Wir müssen die Himmelskörper jedoch haargenau anfahren.

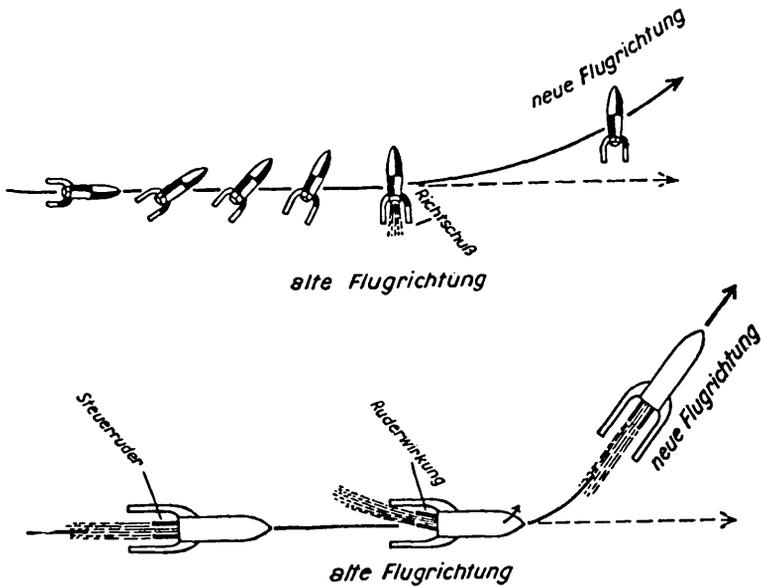
Will man das Ziel nicht verfehlen, so wird man nicht darauf verzichten können, ab und zu Berichtigungen des Kurses vorzunehmen.

AUCH „KOPFLASTIG“ MUSS SIE SEIN!

Die Rakete nämlich. Was ist das? — Greifen wir zurück auf unsere ballistischen Betrachtungen über den Flug von Langgeschossen (S. 70). Langgeschosse müssen sich wegen des Luftwiderstandes überschlagen, wenn man nicht besondere Vorkehrungen dagegen trifft. Es war der Geschütz-Drall,

Steuerungsmöglichkeit der Rakete

der ihnen eine gewisse Richtsteifigkeit verleiht. Einer Rakete kann man einen solchen nicht geben, wenn sie Insassen oder Registrierinstrumente befördert. Nun sahen wir ja sowieso Steuerorgane vor. Aber diese allein können das Überschlagen nicht verhindern, denn die Schubkräfte greifen hinten an und haben immer die Neigung, die Rakete zu überschlagen. Das zu verhindern war schon eine Aufgabe bei den Feuerwerksraketen, bei denen man sie auf einfachste Weise dadurch gelöst hat, daß die Rakete seitlich einen langen Stab bekommt, der den Widerstandsmittelpunkt unter den Schwerpunkt verlegt. Dieser liegt also vorn, während die am



Die Steuerungsmöglichkeit einer Rakete im freien Weltraum

Im oberen Bilde wird die Rakete entgegengesetzt dem Uhrzeiger „von innen“ (durch Richträder oder durch Herumkriechen der Insassen an den Kabinenwänden, hier im Sinne des Uhrzeigers) gedreht, sodann in der vordersten Stellung ein Richtimpuls entsprechender Stärke gegeben, damit sich dieser mit der Raketenbewegung zusammensetzt und die Rakete in die neue, nach links abbiegende Richtung führt.— Der untere Teil des Bildes zeigt, wie der Richtschuß nach hinten abgegeben wird, wobei die Treibgase gegen die schräg gestellten Steuerruder treffen und auf diese Weise die neue Richtung erzeugen. Beide Bilder lehnen sich an die Abb. 22 und 23 in Gails lehrreichem Buch „Physik der Weltraumfahrt“ an.

Widerstandsmittelpunkt angreifenden Kräfte wie Luftwiderstand und Seitenwind dahinterliegen. Der Schwerpunkt überwiegt und hält die Rakete in Richtung, so daß sie nicht kippen und sich überschlagen kann. Sie bleibt eben „kopflastig“.

Grundsätzlich könnte man das auch bei Weltraumraketen so machen. Aber dadurch würde das Massenverhältnis sehr ungünstig, und die Geschwindigkeit würde stark vermindert. Man gibt ihr dennoch starre Schwanzflossen, die sie während des Fluges in der Atmosphäre nicht kippen lassen. Brennt die Rakete im freien Weltraum, so nutzen die Flossen nichts mehr, falls nicht die Raketengase, und damit die Rakete selbst, durch sie gerichtet werden. Zu dem Zweck aber und zur Berichtigung von Richtungsfehlern müssen die Schwanzflossen steuerbare Ansätze haben. Und diese müssen durch eine selbsttätige Steuerung mit Hilfe eines Kreiselapparates Bahnfehler ausgleichen.

Es führte zu weit, die Wirkungsweise solcher Kreisel- und ihrer Hilfsapparate hier zu erörtern. Jedenfalls ermöglichen sie die Einhaltung der Fahrtrichtung entgegen Wasser- und Windströmungen z. B. in der Seeschifffahrt bei großen Schiffen. — Man braucht übrigens mehrere solche Kreiselsysteme, um Bahnänderungen der Rakete herbeizuführen, wie das nötig wird, wenn man in die Nähe eines Himmelskörpers kommt. Will man näher an ihn heran oder ihn umkreisen oder von ihm wieder weg, so muß man das durch Richtungsschüsse bewirken. Die neue Bahnrichtung wird dann mit Hilfe selbsttätiger Kreisel-Steuerungsorgane beibehalten.

Es wird oft nötig, die Rakete zu drehen, etwa um die Sonneneinstrahlung zu regeln oder den bequemsten oder einen für Beobachtungen und Messungen nötigen Ausblick zu gewinnen. Wie man das machen kann, lehrt uns das Experiment (Versuch) auf dem Drehschemel, wo eine Drehung des Oberkörpers rechtsherum mit einer Drehung der Schemelplatte und der Beine nach links antwortet. Will man die Rakete drehen, so kann das in der Weise geschehen, daß die Insassen nach der entgegengesetzten Richtung an der Raketenwand herumkrabbeln (dazu überall die Griffe und Halteseile). Da das Gewicht der Rakete gegen das der Insassen aber groß ist, dauert eine solche Drehung lange. Schneller ginge es, wenn man im Innern der Rakete Richträder benutzt. Dreht man in der Rakete ein schweres Schwungrad in einer Richtung, so muß sich die Rakete entgegengesetzt drehen. Man kann sie also so einstellen, wie man es jeweils braucht, denn im freien Weltraum ist es gleichgültig, ob die Rakete mit der Spitze in der Bewegungsrichtung steht oder sonstwie. Bei einer Landung aber muß die Rakete mit der Düsenöffnung gegen das Landungsziel gerichtet sein, um langsam und sanft aufzusetzen. Sonst würde sie beschädigt.

Kontrolle der Ortsbestimmung

Man muß also unterscheiden zwischen Drehung der Rakete und Richtungsänderung. Eine solche kann nur mit Hilfe von Richtschüssen und mit Hilfe der Steuerorgane vorgenommen werden.

Wie man bei den Richtschüssen verfährt, ob man zu dem Zweck die Rakete quer zur Fahrtrichtung dreht und dann einen kurzen Stoß gibt, der sie in die gewünschte Richtung einlenkt, oder ob man mit der Spitze weiter voranfährt und die Raketengase gegen eine Steuerfläche strömen läßt, so daß eine Drehung entsteht, die in eine neue Bahn einlenkt, ist eine Frage der Praxis, die man noch klären wird. So viel ist sicher, daß man sich mit Hilfe der Bewegungsantriebe des Raketenofens auch im freien Weltraum selbständig zu bewegen, drehen, beschleunigen oder zu verzögern vermag.

Diese Richtschüsse müssen selbstverständlich so genau wie möglich gemacht werden. Dazu gehört Berechnung und Erfahrung, wie sie nur ein Raketen-Fachmann ausführen und erwerben kann. Wenn auch Personen in der Nähe von künstlichen Monden und Raketen sich mit Pistolen-Rückstoß-Schüssen (S. 113 f.) leicht rangieren (richten) können, so ist das bei einer fahrenden Rakete, die eine ungeheure lebendige Kraft (Wucht) besitzt, eine viel größere als die unserer größten Geschosse, doch etwas ganz anderes (S. 133). Dabei werden erhebliche Mengen Treibstoff gebraucht. Mit diesem aber heißt es, aus mehreren Gründen, in der Rakete so sparsam umgehen wie möglich, denn der Treibstoff muß mitgeführt, mitbeschleunigt, mitgebremst werden, und alles das zehrt an ihm selbst. Um an den Kosten der Fahrt zu sparen und ihre Bewegungsmöglichkeiten nicht zu beeinträchtigen, muß dieser Punkt ganz besonders sorgfältig beachtet werden. Das günstigste ist natürlich, daß bei Beendigung der Fahrt, d. h. beim Aufsetzen der Rakete am Ausgangspunkt, aller Treibstoff gerade verbraucht ist, so daß nichts unnütz mitgenommen zu werden brauchte.

Zur Kontrolle der Ortsbestimmung und der Geschwindigkeit kann man übrigens die während langer Zeit verhältnismäßig groß erscheinende Erdscheibe benutzen. In abgemessener Zeit muß man sich in bestimmter Entfernung befinden und man weiß dann, daß die Erdscheibe eine ganz bestimmte Größe haben muß. Ist sie größer, so fährt man zu langsam, ist sie kleiner, zu schnell. Die Verschiebung gegen die hinter ihr liegenden Fixsterne kann man zur Richtungskontrolle benutzen, denn die Bewegung der Rakete und selbst der Planeten ist innerhalb so kurzer Zeit gegenüber den ungeheuren Entfernungen, in denen die Fixsterne von uns abstehen, geringfügig und unmerklich. Diese bilden auch für den Weltraumschiffer das starre Punktsystem, in dem die einzelnen Sterne unverrückbare Marksteine sind. Siehe Tafel IV oben sowie Seite 205 und 227.

Ungeheuerliche Raumschiffe

Der Raketenführer darf Richtschüsse nur mit großer Vorsicht abgeben, denn selbst eine kleine Drehung der Rakete, wie sie im Augenblick des Anlaufs beginnt, erzeugt naturgemäß eine sehr erhebliche seitliche Komponente, die die Insassen mit großer Wucht an die Wand schleudert. Manöver solcher Art müssen den Insassen rechtzeitig angekündigt werden. Sie müssen vorher genaue Anweisung erhalten, wie sie sich verhalten sollen. Meistens werden sie sich in die Riemen, oder fest angeschnallt, auf weiche, dicke Polster legen müssen, um nicht Schaden zu nehmen, ähnlich wie sich die Insassen von Flugzeugen in gewissen Situationen anschnallen. Richtschüsse dürfen nur in winzigen und vorher genau berechneten Dosen gegeben werden, und zwar so, daß die seitlichen Kursabweichungen die ertragbaren Andrücke nicht überschreiten (s. S. 104).

WIE SOLL SIE FAHREN?

*Den lebendigen Kolossen
führ ich, seht ihr, turmbeladen,
und er wandelt unverdrossen
Schritt vor Schritt auf steilen Pfaden.*
(Faust II)

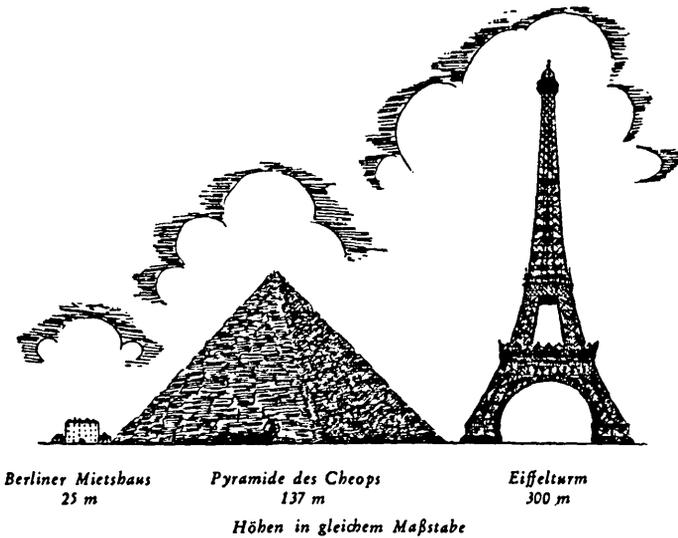
Wenn unsere Leser von den Gewichten hören, die ein solches Raumschiff in der Praxis etwa bekommen wird, und sich an einem irdischen Vergleiche klarmachen, wie groß und wie schwer dieser Apparat eigentlich sein wird, wird ihnen ein heilloser Schreck in die Glieder fahren. Sie werden nicht bloß von 100 und 200 Tonnen hören, sondern von Tausenden Tonnen. Und wenn sie sich vergegenwärtigen, daß ein ganzer Güterzug längst nicht solches Gewicht aufweist, werden sie schnell vor den Plänen zurückschrecken, mit Raketen in den Weltraum aufzusteigen. Eine solche Rakete wird doch mindestens wie eine kleiner Kirchturm aussehen; und nun stelle man sich einmal vor, man wolle ein solches Ding mit Insassen für diese gefahrlos in die Luft befördern! Allein schon für die Draußenbleibenden wird man fürchten.

Aber wir haben uns schon an mancherlei Ungeheuerliches gewöhnt. Würde man etwa im Altertum einen Koloß von der Größe und Schwere einer modernen Schnellzugslokomotive mit den heute ganz üblichen Geschwindigkeiten von 100 km in der Stunde abgelassen haben, so hätte jeder Mensch damals mit Sicherheit prophezeit, daß dieses Ungetüm in tausend und aber tausend Stücke gehen würde. Man hätte vielleicht um den ganzen Olymp gebangt.

Auch wir müssen uns erst wieder an die neuen Maße gewöhnen, die hier auftreten. Denken wir daran, daß wir in der Technik vor nichts zurück-

Raketen-Giganten

schrecken, was geldlich erschwingbar ist; denken wir daran, daß wir 300 m hohe Türme aus Eisen bauen, daß wir ebenso hohe massive Wolkenkratzer auf den Erdboden stellen, die sogar Erdbeben widerstehen, während alles andere ringsum wankt und stürzt; denken wir daran, daß



wir mit ungeheueren Kolossen die Meereswellen durchfurchen, ohne daß diese bis zu einem Drittel Kilometer langen Kähne auseinanderbrechen; denken wir daran, daß wir die Riesenkräfte der gewaltigen Wasserfälle brechen und ihre Wucht in dünnen Drähten hunderte Kilometer weit in die Städte leiten und, statt zerstörend, dort für ganze Länder Aufbauarbeit leisten lassen; denken wir daran, daß wir mit auch nicht gerade kleinen Flugzeugen schon das Luftmeer der Erde durchschiffen (jede neue Konstruktion — und diese jagen sich beinahe — ist größer und leistungsfähiger), und daß unsere Technik Kontinente durchschneidet, um Weltmeere zu verbinden; denken wir an all das, so werden wir schließlich zu der Überzeugung kommen, daß auch solche Raketen technisch beherrschbar sein werden, selbst wenn sie gigantische Ausmaße annehmen. Theoretisch bietet ein solches Vorhaben überhaupt keine Schwierigkeiten; es handelt sich nur darum, wie alles am günstigsten und zweckmäßigsten sowie am wirtschaftlichsten eingerichtet wird.

Um nun endlich zu genaueren Zahlen und Vorstellungen zu gelangen, vergegenwärtigen wir uns das an einem Beispiel, wie es *Schaub* angibt.

Der Treibstoff-Ausstoß

Sekunde nach dem Anfahren	Masse der Rakete kg	erreichte Geschwindigkeit m je s	erreichte Höhe m
1.	1500	0	71
2.	1400	71	148
3.	1300	77	231
4.	1200	83	321
5.	1100	90	421
6.	1000	100	531
7.	900	110	656
8.	800	125	799
9.	700	143	965
10.	600	166	1165
11.	500	200	1415
12.	400	250	1745
13.	300	330	2245
14.	200	500	
		2245	

Eine Rakete mit dem Anfangsgewicht von 1500 kg stoße je Sekunde 100 kg Treibstoff mit 1000 m Geschwindigkeit in der Sekunde aus. Masse mal Geschwindigkeit ist dann = 100 000. Dann wiegt die Rakete nach der 1. Sekunde nur noch 1400 kg. Da der Treibstoff 1000 m Geschwindigkeit hatte, erlangt die Rakete in der Sekunde nur 71 m Geschwindigkeit, denn 71×1400 sind 100 000. Während der 2. Sekunde stößt sie wieder 100 kg Treibstoff mit 1000 m Geschwindigkeit ab, so daß sie nur noch 1300 kg wiegt. Ihre Geschwindigkeit hat nun um 77 m zugenommen (und beträgt $71 + 77 = 148$ m), denn 77×1300 sind wieder 100 000. In der 3. Sekunde erhält sie durch Ausstoß von weiteren 100 kg Treibstoff wiederum einen neuen Geschwindigkeitszuwachs von 83 m ($1200 \times 83 = 100\,000$). So geht es dann weiter, und während der 10. Sekunde überschreitet ihre Geschwindigkeit schon 1000 m in der Sekunde, überholt also die Ausstoßgeschwindigkeit des Treibstoffs. Am Ende der 14. Sekunde wiegt die Rakete nur noch 200 kg und hat damit allen mitgenommenen Treibstoff von 1300 kg verbraucht. Ihre Geschwindigkeit ist dann, wie aus der obenstehenden Aufrechnung folgt, 2245 m in der Sekunde geworden, womit sie weiter fliegt. Diese Geschwindigkeit nimmt jedoch wegen des Zerrens der Schwerkraft an der Rakete wieder ab, bis sie in der Höhe von etwa 200 km zum Stillstand kommt und nun wieder zurückfällt. — Dabei ist der Luftwiderstand nicht berücksichtigt, der die Verhältnisse natürlich noch ungünstiger macht.

Jedenfalls geht daraus hervor, daß man mit einem Treibstoff größere Raketengeschwindigkeiten erzielen kann als seine eigene Auspuffgeschwindigkeit ist, denn diese fügt sich der bereits erlangten Raketengeschwindigkeit immer hinzu. Man findet für unseren Fall, daß das Abfahrtgewicht der Rakete nebst Treibstofffüllung $7\frac{1}{2}$ mal so groß ist wie das End- oder Leergewicht. Man nennt dieses Verhältnis das *Massenverhältnis*. Von diesem hängt die Endgeschwindigkeit ab, die man der Rakete überhaupt erteilen kann. Die erreichte Höchstgeschwindigkeit wird ausschließlich durch die Auspuffgeschwindigkeit und das Massenverhältnis bestimmt, und zwar wächst dieses sehr viel schneller als die Raketengeschwindigkeit.

Daraus geht weiter hervor, daß feste Treibstoffe wie Pulver viel zu schwer sind, um als Treibmittel in Betracht zu kommen, daß dagegen gasförmige komprimierte oder verflüssigte wesentlich günstiger arbeiten. Die deutschen V 2-Geschosse benutzten Alkohol, der mit reinem Sauerstoff verbrannt wurde. Sie hatten 13 Tonnen Abfahrtgewicht und führten 3 Tonnen Alkohol und 6 Tonnen hochkomprimierten Sauerstoff mit. Sie schlugen mit 4 Tonnen Gewicht am Ziel auf.

Dieses Beispiel zeigt weiter, daß man bei Weltraumfahrten für die Rakete auf ganz ungeheure Startgewichte kommt, und daß die notwendigen Energiemengen enorm groß sind. Das ist kein Wunder, wenn man erfährt, daß die Energie, die notwendig ist, um 1 kg aus dem Anziehungsbereich der Erde herauszuheben, 6 370 000 mkg oder umgerechnet 15 000 Kalorien erfordert. — Unter Kalorie oder Wärmeeinheit versteht man diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um 1 Liter Wasser um 1° zu erwärmen. — Unsere wirksamsten Sprengstoffe und die energiereichsten Treibstoffe enthalten jedoch kaum 1 Million mkg. Daß man damit trotzdem aus dem Schwerebereich der Erde herauskommt, liegt eben daran, daß man den Treibstoff schnell verbraucht, den größten Teil desselben also nur ganz kurze Zeit mitnimmt, denn durch das Brennen wird die Rakete sehr schnell leichter. Soll der Antrieb (Geschwindigkeitszuwachs) so groß sein wie die Auspuffgeschwindigkeit der Raketengase, dann muß die Masse m_0 beim Anfahren, also Rakete samt Treibstoffen, $e = 2,71828$ mal so groß sein wie nach dem Brennen (m_1), also $m_0 = m_1 \cdot e$,

oder $\frac{m_0}{m_1} = e$. Das ist das Massenverhältnis.

Soll der Antrieb doppelt so groß werden wie die Auspuffgeschwindigkeit, so muß $m_0 = m_1 \cdot e^2$ sein, bei dreifacher $m_1 \cdot e^3$.

Um einen Begriff davon zu geben, welche Rolle die Auspuffgeschwindigkeit für den Antrieb und die verlangte Endgeschwindigkeit sowie für das Massenverhältnis und damit die Kosten bedeutet, sei die beistehende kleine Übersicht mitgeteilt.

Die Auspuffgeschwindigkeiten

Um Beschleunigung auf . . . m je Sekunde zu erzielen	1000	2000	5000	10000	15000	
	ein Massenverhältnis von					
braucht man bei Aus- puffgeschwindigkeit von . . . m	1000	2,72	20,00	148	22070	3290000
	2000	1,64	4,48	12,2	148,7	1805
	3000	1,39	2,72	5,29	27,95	148,7
	4000	1,29	2,11	3,49	12,20	42,7
	5000	1,22	1,82	2,72	7,39	20

In der ersten Spalte stehen die Auspuffgeschwindigkeiten, dahinter die Zahlen für die Anfangsmasse der Rakete bei den in der oberen Zeile angegebenen Endgeschwindigkeiten. Wünscht man also 15 km Endgeschwindigkeit, so braucht man bei 1000 m Auspuffgeschwindigkeit fast 3,3 Millionen so viel Anfangsgewicht wie Endgewicht. Wird jedoch die Auspuffgeschwindigkeit auf das 5fache vergrößert, so braucht man nur das 20fache Anfangsgewicht.

Oberth bemerkt dazu, daß die Zahlen genau genommen nur für den luft- und schwerefreien Raum gälten, und daß Luft und Schwere den Aufstieg hemmten. Die Endgeschwindigkeit würde bei gleichem Brennstoffverbrauch kleiner, als sie nach dieser Übersicht sein sollte.

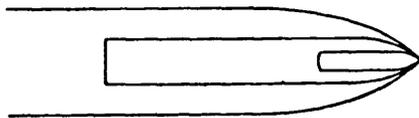
Wenn man eine Weltraumfahrt unternimmt, braucht man aber auch für die Richtschüsse unterwegs Treibstoff und ebenso für das Landen. Man darf also nicht vergessen, daß diese Notwendigkeiten in das Endgewicht mit eingerechnet werden müssen. Man braucht somit viel mehr Treibstoff und kommt zu noch viel höheren Raketengewichten. Das geht sozusagen „in die Puppen“!

Aber auch da bieten sich dem geschickten Konstrukteur Möglichkeiten, sich zu helfen. Goddard (S. 117) hat dafür bereits einen Fingerzeig gegeben. Man kann nämlich die Riesenbehälter, die die Treibstoffe enthalten, ablösen, wenn man den Inhalt verbraucht hat, und wenn man die Ablösung geschickt vorbereitet, aus ihr einen Abwurf macht, kann man selbst damit noch erheblichen Geschwindigkeitszuwachs erzielen. Man wird also die ganze Rakete teilen oder noch besser zwei Raketen ineinanderschachteln, denn nachdem der Hauptantrieb geleistet ist, braucht man ja für das Weitere auch noch Antrieb. Man wird deshalb auf eine schwerere Rakete eine kleinere setzen, die nun erst die Nutzrakete sein wird und die Insassen und alles das enthält, was sie für ihre Fahrt und zur Landung brauchen. Und wenn es zweckmäßig sein sollte, wird man die ganze Maschine in drei Raketen teilen, mit denen man stufenweise dasjenige erreicht, was in den notwendigen Etappen gebraucht wird.

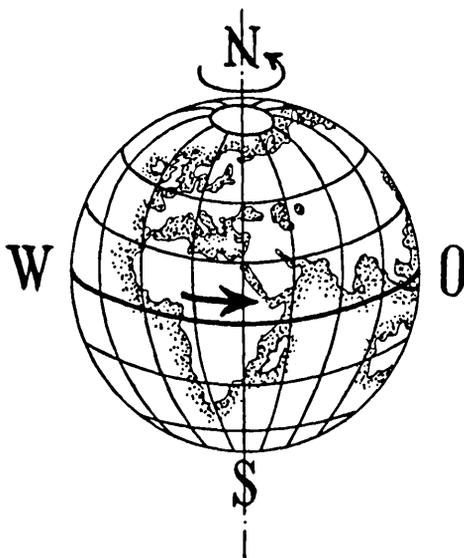
Mehrere Stufen

Es ist selbstverständlich, daß solche Raketen nun eine erhebliche Kompliziertheit erreichen. Die unterste Rakete wird die größte sein und jede folgende kleiner. In den Teilraketen dürfte man vielleicht mit verschiedenen Treibstoffen fahren.

Mehrstufige Rakete; die einzelnen Raketen sind ineinandergeschachtelt



Es ergab sich, daß es außerordentlich vorteilhaft ist, Auspuffgase recht hoher Geschwindigkeit zu benutzen, weil dadurch an Masse außerordentlich gespart wird und eine Rakete leichter und kleiner ausfallen kann. Aber damit ist noch nicht alles geschehen, was erwünscht ist. Unsere Rechnung lehrt uns, daß die Fahrt um so weniger Energie und damit



*Aufstiegsrichtung der Rakete
gegen Osten
(In Wirklichkeit steht die
Erdachse schräg)*

Treibstoff verzehrt, je schneller die Rakete an sich schon fährt. So lange sie also brennt, das heißt arbeitet, soll sie möglichst schnell fahren. Das steht allerdings im Widerspruch mit der Forderung, daß die Insassen keinen zu starken Andruck erleiden dürfen, daß diesen also überhaupt nur eine bestimmte Beschleunigung zugemutet werden darf. Um beide

Die Landung der Rakete

Forderungen miteinander zu vereinigen, die schnelle Fahrt und den geringen Andruck, läßt man die Rakete nach senkrechtem Anstieg bald schräg aufwärts fahren. Sie kann dann schneller große Geschwindigkeiten annehmen, als wenn sie senkrecht in die Höhe steigt, ohne den Andruck allzusehr zu steigern. Man benutzt dabei, wie vermerkt, die Erdrotation in der Weise, daß man gegen Osten aufsteigt. Da sich die Erde von Westen nach Osten dreht, von Norden gesehen entgegen dem Uhrzeiger, wie fast alle Dreh- und Umlaufbewegungen im Sonnensystem, erteilt man dabei dem Schiff noch einen Teil der zusätzlichen Geschwindigkeit der Erdrotation und verbessert dadurch den Wirkungsgrad der ausgestoßenen Brennstoffe. Die Erdrotation macht am Äquator 460 m/sec aus, in höheren Breiten ist sie geringer. Beim Schräganfahren kommt der Rakete gemäß dem Parallelogrammsatz natürlich nur ein Teil dieser Geschwindigkeit zugute.

In jedem Falle muß man versuchen, möglichst schnell auf die hohe Fahrtgeschwindigkeit von 12 bis 15 km in der Sekunde zu kommen, die notwendig ist, die Rakete dem Anziehungsbereich der Erde zu entrücken, indem man am besten die Rakete nur ein einziges Mal brennen läßt. Fragen dieser Art kann man aber getrost den Weltraumschiffführern überlassen. Da die Sache Geld kostet, sogar sehr viel Geld kostet, und sie sparen müssen, werden sie schon den richtigen Modus zu finden wissen.

WIE LANDET DIE RAKETE?

Ein sehr schwerwiegender Einwand gegen die Weltraumschiffahrt wird von vielen in bezug auf die *Landung* gemacht. Wie soll eine Rakete, die mit 5,10 oder gar 15 km Geschwindigkeit fährt, auf einem anderen Himmelskörper landen? Sie würde dort doch herniederfallen und zerschellen! Denn zu der Eigengeschwindigkeit träte ja noch die Anziehung des betreffenden Himmelskörpers, der die Fallgeschwindigkeit außerordentlich vergrößern müßte.

Das scheint allerdings sehr schlimm zu sein. Und wie verhalten wir uns in diesem Fall?

Erinnert man sich astronomischer Vorgänge ähnlicher Art, also zum Beispiel an den Meteorfall, so muß man sich allerdings sagen, daß die Angelegenheit sehr bedenklich ist, denn die Meteore stoßen mit ungeheurer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre ein. Allerdings fallen sie nicht mit der großen Durchschnittsgeschwindigkeit von etwa 40 km hernieder, sondern sie geraten beim Einschlag in die Erdatmosphäre ins Glühen, zerstieben, vielfach in tausende Stücke, lösen sich zum Teil in

Die Landung auf der Erde

Dampf und Staub auf, und nur selten fallen größere Stücke davon auf die Erde. Wir beobachten dabei immer, daß diese Meteore in gewisser Höhe über der Erde zum Stillstand kommen und von dort nur mit der Geschwindigkeit fallen, die ihnen als fallenden Körpern zukommt. Allzu große Geschwindigkeiten werden dabei durch den Luftwiderstand gehemmt.

kehrt zum Beispiel ein Raumschiff zur Erde zurück, so hätte es beim Eintreffen in die Erdatmosphäre die angenehme Aussicht, ins Glühen zu geraten und zu verbrennen.

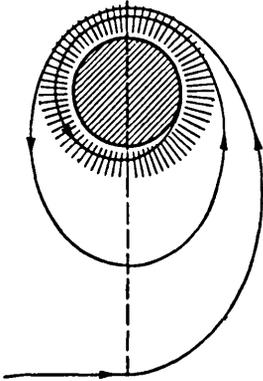
Das wäre nach glücklich vollzogener Weltraumfahrt ein peinliches Schicksal für die Insassen, dem sie gern entgehen würden, um so lieber, als sie doch ihre Wissenschaft den Menschen gern mitteilen möchten, bevor sie ins Gras beißen. Wie ist das aber zu machen?

Ob eine mit 10-km-Stundengeschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindringende Rakete durch den Luftwiderstand zum Stillstand kommt oder mit großer Gewalt auf die Erde fällt, wissen wir nicht, weil Erfahrungen dafür fehlen. Wir kennen nur einen Fall, in dem das Niederkommen eines sehr großen Körpers auf die Erde wahrscheinlich ist, das ist der Fall des Kraters im Cañon Diablo in Arizona. Dieses Meteor wog Millionen Tonnen und schlug einen Krater von 1220 m Durchmesser und 183 m Tiefe in die kalifornische Erde. Denn der größte Meteorit, den man jemals fallen sah, wog nur 325 kg, $\frac{1}{3}$ Tonne; er fiel am 12. März 1899 bei Borgo in Finnland. Unsere Raketen werden aber bei der Rückkehr zur Erde sicher immer noch wesentlich schwerer sein, als dieser Meteorit. Es ist also anzunehmen, daß die Rakete beim Niederfall wohl zur Erde kommen könnte, wenn sie nicht zuvor etwa glühend würde und dadurch Schaden nähme. Man muß deshalb versuchen, sie vor dem Verbrennen zu schützen.

Durchschlägt die Rakete die obersten Luftschichten, so wird sie zweifellos infolge der großen Geschwindigkeit durch die Reibung äußerlich sehr heiß werden. Schon in diesem Stadium muß also die Geschwindigkeit herabgesetzt werden. Das kann mit Hilfe einer Art Fallschirm geschehen. Man darf dabei aber nicht etwa senkrecht in die Erdatmosphäre einfallen, weil das aus anderen Gründen auch nicht zweckmäßig ist. Man wird vielmehr die Rakete so steuern, daß sie die obersten Luftschichten gerade streift, vielleicht in der Weise, daß man sogar noch einmal aus dem Luftmantel hinausgeht, nachdem einige Geschwindigkeit abgebremst worden ist. Schon um die erlangte Hitze nicht zu steigern, sondern sie erst einmal wieder gefahrlos auszustrahlen. Man wird den Erdball umkreisen und dann wieder in die Erdatmosphäre hineingehen. Dabei dürfte die Rakete einen großen Teil ihrer Geschwindigkeit einbüßen. Man richtet es zweckmäßig so ein, daß die Geschwindigkeit bis auf 8 Sekundenkilometer ab-

Die Landung auf der Erde

gebremst wird. Man würde dann auszuklappende Tragflächen zum weiteren Niedergange benutzen und in einem weitgezogenen spiraligen Gleitflug auf die Erde niedergehen. Um auch den letzten Rest der Geschwindigkeit gegen die Erdoberfläche zu beseitigen, läßt man die Rakete noch einmal anlaufen, während der Auspuff gegen die Erde gerichtet ist.



Bremsspirale für eine Rakete, die auf einem von Atmosphäre umgebenen Himmelskörper landet

Walter Hohmann hat in seinem Buche „Die Erreichbarkeit der Himmelskörper“ auch diesen Fall durchgerechnet und nach den jetzigen Kenntnissen ermittelt, daß eine wesentliche Bremsung der Rakete nur in einer Höhe von höchstens 100 km über der Erdoberfläche durch die Luft stattfinden kann. Er läßt also eine zur Erde zurückkehrende Rakete in einem Parabelbogen so herankommen, daß die Parabel etwa in 75 km Höhe ihren Scheitelpunkt hat. Sie durchläufe dann, um die Bremswirkung der Atmosphäre auszunutzen, einen Bremsweg von etwa 1600 km und minderte dabei die Geschwindigkeit von 11,1 km in der Sekunde auf 10,4 km herab. Dadurch verändert sich die Parabel in eine elliptische Bahn, die die Rakete nunmehr durchläuft und in die Nähe der ehemaligen Bremsluftstätte mit der Geschwindigkeit von 10,4 km zurückkehrt. Sie durchläuft dann ungefähr denselben Bogen von 1600 km noch einmal und vermindert die Geschwindigkeit auf 9,8 km in der Sekunde. Dadurch wird die elliptische Bahn wesentlich verändert, die Rakete tritt in aber kaum niedrigere Luftschichten ein und verringert ihre Geschwindigkeit nach dem dritten Umlauf auf 9,2 km, nach dem vierten auf 8,6 km, nach dem fünften auf 8,1 km und nach dem sechsten auf 7,85 km in der Sekunde. Jetzt hätte sie eine Geschwindigkeit erlangt, bei der sie ohne Vorhandensein einer Atmosphäre eine Kreisbahn um die Erde beschrieb. Da aber die Atmosphäre hemmt, kann die Rakete nunmehr im Gleit-

Der Zeitbedarf der Landung

fluge niedergehen (s. auch Bild S. 143). Das ist nicht schwieriger als bei einem gewöhnlichen Flugzeug, denn die Tragflächen brauchen keinen wesentlich größeren Widerständen gewachsen zu sein. Gerade dieser Gleitflug erfordert jedoch von dem Führer des Schiffes größte Geistesgegenwart und Fähigkeiten.

Eine solche Landung dauert eine geraume Zeit, denn die Dauer des Durchlaufens der ersten Bremsellipse beträgt fast 11 Stunden, die der zweiten fast 5, die der dritten fast 3, die der vierten 2 und die der fünften 1,5 Stunden, im ganzen aber doch nur etwas über 22 Stunden. Der Gleitflug, der sich über eine Gesamtlänge von 3646 km erstreckt, dauerte noch fast 40 Minuten, so daß mit einer Gesamtlandungsdauer von etwas über 22½ Stunden gerechnet werden müßte. Während dieser Zeit muß die Führung des Schiffes in jeder Hinsicht auf dem Posten sein.

Hohmann hat versucht, auch ohne das Durchlaufen von Bremsellipsen eine Landung rechnerisch zu verfolgen. Er hält auch das für möglich und rechnet 40 Minuten dafür aus. Er macht allerdings darauf aufmerksam, daß die Landung hierbei für die Fahrer noch unangenehmer und aufregender ist. Doch was spielt, um den weniger gefahrvollen Weg mit den Bremsspiralen zu wählen, ein Tag für eine Rolle bei einer Gesamtfahrtdauer von Wochen, Monaten oder gar Jahren?

Auch die Frage der Erhitzung berücksichtigt Hohmann. In seinem Beispiel müßten bei der Abbremsung des Fahrzeuges 12,3 Millionen Meter-tonnen Energie, über 1000mal so viel wie die Mündungsenergie der Paris-Kanone betrug, oder populärer ausgedrückt, die Wucht des Laufes von 160 Millionen Pferden, vernichtet werden. Das entspricht einem Wärmeäquivalent von 28,8 Millionen Wärmeeinheiten. Wollte man diese gewaltige Energie durch Riesenfallschirme abbremsen, so würde eine ganze Reihe davon verbrennen. Man müßte also viele solche mitführen. Rechnet man aber nach, welche Verzögerungen möglich sind, um die dabei entstehende Wärme auszustrahlen, so findet man, daß man dazu gar keine Fallschirme braucht, sondern daß die Tragflächen allein diese Bremsung aufnehmen könnten.

Alle diese Fragen müssen in erster Linie durch Raketenprobefahrten, namentlich auch von Registrierraketen, geklärt werden. Wir hatten ja bisher noch keine Möglichkeit, das Verhalten der Luft und der Körper darin bei solchen Geschwindigkeiten zu beobachten und kennenzulernen. Mit Hilfe dieser Maßnahmen, für die besonders die ersten Fahrten noch die wesentlichen Erfahrungen beibringen müßten, glaubt man auch der Landungsschwierigkeiten Herr werden zu können. Geht man auf einen Himmelskörper nieder, der wie zum Beispiel der Mond, keine Atmosphäre besitzt, so wird man im wesentlichen auf die Bremsung durch die Rakete selbst angewiesen sein. Das reine Abbremsen mit Hilfe der Rakete

Fahrpläne und Fahrtrouten

selbst vermeidet man sonst deshalb gern, weil das die Mitnahme sehr großer Brennstoffvorräte bedingt und dadurch das ausreisende Schiff sehr viel schwerer und teurer machte. Die Benutzung der Rakete nur zur Verrichtung der letzten restlichen Wucht erforderte dagegen keine allzu großen Brennstoffmengen.

FAHRPLÄNE UND FAHRTROUTEN FÜR DEN INTERPLANETARISCHEN REISEVERKEHR

Wer heute eine größere Reise unternimmt, pflegt seine Reisedispositionen vorher leidlich festzulegen und sich mit allem zu versehen, was zur Ausführung der Reise notwendig ist. So lange man die internationalen Reiserouten benutzt, ist das nicht so unbedingt erforderlich, wenn man nur über Zeit und ein wohlakkreditiertes Scheckbuch verfügt, denn man kann in fast jedem beliebigen Punkte solche Reise unterbrechen, sie ändern und sich neu ausstatten.

Nicht so einfach ist das bei Reisen im Weltraum. Da gibt es keine Stationen oder wenigstens vorerst noch nicht. Es ist sicher, daß man solche anlegt. Es ist sogar sicher, daß das die ersten Aufgaben der Weltraum-Raketen-Fahrerei sein werden. Auf jeden Fall muß man Reiseweg und Reiseziel vorher genau bestimmen, muß sich mit allem Notwendigen, namentlich auch Proviant, versorgen und darf bei diesen Dispositionen keine Fehler machen, weil man sonst verloren ist. Wenn auf der Reise von der Venus zur Erde der Proviant drei Wochen zu früh ausgeht, so sind die Reisenden zum Hungertode verdammt. Man darf andererseits kein Kilogramm Unnützes mitnehmen, da das die Reise erschwert und mehr Transportkosten verursacht als viele Tonnen bei irdischen Reisen. Genauer als anderwärts muß man also hier vorausbestimmen und darf nur innerhalb der vorgesehenen Grenzen Veränderungen eintreten lassen.

„Veränderungen eintreten lassen?“ — Ist denn so etwas überhaupt möglich? Man kann doch eigentlich bloß von der Erde aus einen Planeten anlaufen, später wieder aufsteigen und zur Erde zurückkehren? Immer muß man mit einer Höchstdauer für die mitzunehmenden Lebensmittel rechnen. Höchstens danach kann man das Verweilen auf einem anderen Planeten einrichten.

Das trifft aber nicht zu! Denn man kann auch im freien Weltraum verweilen, je nachdem man Umwege macht, je nachdem man etwa auch einen oder mehrere Himmelskörper einmal oder mehrmals umkreist und dergleichen mehr.

Der Hauptsache nach wird es allerdings darauf ankommen, festzulegen, welche Zeiten man zur Erreichung eines bestimmten Körpers braucht.

Diese muß uns das „*Interplanetarische Reisebüro*“ genau angeben, damit wir danach unsere Vorkehrungen treffen können. Denn schließlich ist es schon wichtig zu wissen, ob eine Reise ein Vierteljahr dauert oder mehrere Jahre. Auf Dauern von mehreren Monaten oder Jahren werden wir in jedem Falle rechnen müssen, wenn wir nicht etwa bloß den astronomischen Katzensprung zum Monde machen wollen, den wir ja innerhalb sehr kurzer Zeit, innerhalb einiger Tage, erreichen können. Unser Eisenbahnzug (s. S. 11) brauchte 160 Tage, zur Hin- und Rückfahrt also ein Jahr, und könnte sich dann nur einen guten Monat dort aufhalten. Unsere Rakete bewältigt diese Strecke in viel kürzerer Zeit, denn wir fahren mit ihr ja nicht wie ein Eisenbahnzug mit 30-m-Sekundengeschwindigkeit, sondern wenigstens mit vielhundertfacher Schnelligkeit. Da schrumpfen dann die Entfernungen ganz wesentlich zusammen, und aus den mehreren hundert Tagen werden wenige Tage.

Man darf nun allerdings nicht vergessen, daß man in Planetenräumen nicht so bedenkenlos reisen kann, wie eine solche primitive Rechnung annimmt. Von der Erde zum Mond ist es verhältnismäßig einfach. Aber von der Erde zu einem anderen Planeten wird ein solches Unternehmen schon etwas komplizierter insofern, weil jeder Planet andere Geschwindigkeiten in seiner Bahn um die Sonne besitzt als die Erde. Diese schwingt sich mit rund 30 km in der Sekunde um das zentrale Muttergestirn, die Venus jedoch mit fast 35 km und Merkur gar mit 47 km! Andererseits bewegt sich Mars nur 24 km pro Sekunde in seiner Bahn und Jupiter gar „bloß“ 13 km. Fahren wir nun mit einer Rakete von der Erde ab, so schreiten wir in jedem Falle einmal mit der Bewegung von 28 km in der Richtung des Erdumlaufs um die Sonne fort. Unsere Rakete erteilt uns in bezug auf die Erde eine zusätzliche Geschwindigkeit, die die Schnelligkeit unseres Weltraumschiffes vergrößert, wenn wir in der Richtung der jeweiligen Erdbewegung im Abfahrtsaugenblicke aufsteigen, sie aber verringert, wenn wir nach entgegengesetzter Richtung fahren. Immerhin haben wir als Grundgeschwindigkeit die 30 km von der Erde her.

Diese Bewegungen können wir für unsere Reise ausnutzen. Verhältnismäßig geringe Geschwindigkeitsänderungen nach Richtung und Größe genügen, das Weltraumschiff aus der Bahn der Erde in eine selbständige Bahn überzuführen, die aber nach mechanischen Grundsätzen eine von der Sonne beherrschte elliptische Kometenbahn wäre. Da die Treibkräfte für der Rakete zu erteilende selbständige Bewegungen sehr groß sein müssen, haben wir die Aufgabe, alle Umstände geschickt auszunutzen und es so einzurichten, daß wir möglichst nur mit der Anziehung der Sonne und der nächstliegenden Planeten reisen.

Planeten drehen links herum

Um noch einmal klarzulegen, in welchen Größenordnungen der Geschwindigkeit wir im Weltraum reisen, sei eine Zusammenstellung der Geschwindigkeiten bei einigen gleichförmigen Bewegungen eingeschaltet:

	cm/s
Schnecke	0,15
Mensch im Schritt	125
Pferd im Galopp	500
Fliege	760
Passagierdampfer	$10 \cdot 10^3$
Fahrrad	$15 \cdot 10^3$
Brieftaube	$27 \cdot 10^3$
Eisenbahnzug (bisherige Maximalgeschw.)	$31 \cdot 10^3$
Orkan	$45 \cdot 10^3$
Schwalbe im Fluge	$67 \cdot 10^3$
Schall in Luft	$333 \cdot 10^3$
Luftmoleküle bei Zimmertemperatur	$450 \cdot 10^3$
Aequatorpunkt der Erde	$463 \cdot 10^3$
Geschoss des Infanteriegewehrs	$860 \cdot 10^3$
Mond um die Erde	10^6
Größte Geschossgeschwindigkeiten	$1,2 \cdot 10^6$
Erde in ihrer Bahn	$2,95 \cdot 10^6$
Sternschnuppen, durchschnittlich	$4 \cdot 10^6$
Stern AG Berlin 1366	$49,4 \cdot 10^6$
Der raschest bewegte Stern	$1000 \cdot 10^6$
Lichtimpuls	$3 \cdot 10^{10}$

Die Weltraumfahrer bewegen sich in den Dimensionen der fünft- und viertletzten Zeile, mit 20 bis über 30 km Geschwindigkeit in der Sekunde!

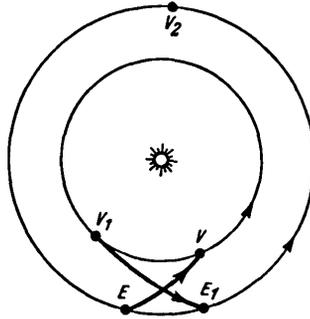
EIN GLÜCK, DASS ALLE PLANETENGÜTTER LINKS HERUM TANZEN

Dem Reisen im interplanetarischen Raume kommt der Umstand sehr zugute, daß die Planeten die Sonne alle in gleichem Drehsinne umlaufen. Wäre das nicht der Fall, so müßten wir, um einen anderen Planeten von der Erde aus zu erreichen, erst die gesamte Geschwindigkeit von 30 km in der Sekunde vernichten und unser Gefährt dann neu zu derjenigen Geschwindigkeit beschleunigen, die der Zielplanet selbst besitzt. Dazu wären so ungeheure Treibmittel notwendig, daß sich der Plan mit den jetzigen technischen Mitteln gar nicht ausführen ließe. Er ist nur möglich, weil alle Planeten den gleichen Drehsinn haben.

Reisewege

Man macht sich am besten an einer kleinen Zeichnung klar, wie eine solche Reise vonstatten gehen kann. Stellen die beiden Kreise des nebenstehenden Bildes die Venus- und die Erdbahn dar, in deren Mittelpunkt die Sonne steht, so könnte man eine Reise von der Erde nach der Venus

Reisen zwischen Erde und Venus



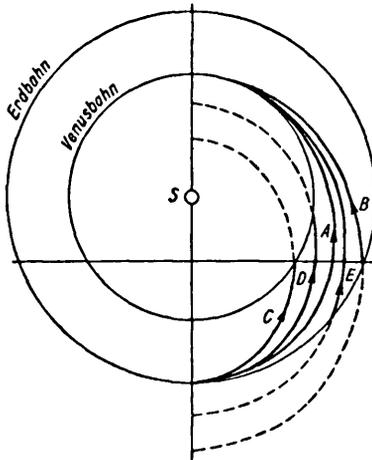
in der Weise ausführen, daß man von E auf dem Wege E - V zur Venus fährt. Eine Rückkehr von der Venus würde vielleicht zweckmäßig so erfolgen, daß man bei V_1 abfährt und auf dem Bogen V_1E_1 die Erde erreicht. Der Drehsinn der Planeten ist ja bekanntlich entgegengesetzt dem Uhrzeiger, wenn man von oben, das heißt von Norden, auf das Planetensystem blickt (s. Bild S. 129). Diese Fahrten erscheinen uns als die günstigsten, weil Erde und Venus sich auf der gleichen Seite der Sonne befinden. Stünde die Erde in E , die Venus aber in V_2 , so wäre der Weg von der Erde zur Venus sehr viel größer. Man braucht unter sonst gleichen Umständen für den Weg $E...V$ dennoch mehr Brennstoff als etwa von E nach V_2 , wenn also die Venus jenseits der Sonne steht, weil man in einem freien Bogen von E nach V_2 fährt, während die Rakete auf dem erheblich kürzeren Wege $E...V$ mehr Brennstoff für Richtungsveränderungen verbraucht. Die Kosten würden also geringer werden, aber auch die ganze technische Möglichkeit günstiger, weil man weniger Betriebsstoff leichter unterbringen kann. Andererseits würde die mitzuführende Nutzlast (also Proviant, Mittel für die Atmung) viel geringer, da die Fahrt viel kürzer dauert. Denn wie schon bei Reisen auf der Erde, muß man bei solchen im freien Weltraum erst recht daran denken, daß man das Gefährt heizen kann, jedenfalls muß man das dann können, wenn man etwa von der Erde nach auswärts fährt, also von der Sonne weg. Befindet sich das Schiff im freien Weltraum, so wird es auf der der Sonne zugekehrten Seite ständig von ihr bestrahlt. Man könnte wohl Mittel ersinnen, das für die Heizung des Innenraumes nutzbar zu machen. Das dürfte bei größerer Annäherung an die Sonne, also zum Beispiel bei einem Besuch der Venus

Fahrtdauer

keine Schwierigkeiten machen, ja es steht zu erwarten, daß die Aufgabe vielmehr wäre, die Wärme infolge der unausgesetzten Sonnenstrahlung zu beseitigen. Anders wäre es, wenn man zum Mars hinauffährt, weil in jenen Fernen die Sonnenstrahlung erheblich abnimmt. Da wäre vielleicht künstliche Heizung irgendwelcher Art erforderlich. Das Gewicht der dazu notwendigen Einrichtungen würde die Rakete und ihre Treibstoffe belasten. Darüber hinaus muß, abgesehen vom Reisemundvorrat, auch für Atemluft gesorgt werden; denn der Aufenthaltsraum selbst in einer großen Rakete wird verhältnismäßig klein sein, so daß die Luft immerwährender Erneuerung bedarf. Wir zweifeln nicht daran, daß diese Aufgaben lösbar sind und in ihrer technischen Bewältigung weit hinter dem reinen Bewegungsproblem zurücktreten.

FAHRTDAUER GLEICH GEDULD MAL HOFFNUNG

Wir sind natürlich überaus neugierig, wie lange wir nun eigentlich fahren, um einen benachbarten Planeten zu erreichen. Wollen wir das ermitteln, so müssen wir alle Umstände reiflich überlegen, die dabei beachtet werden müssen. Die in eine freie Bahn gelenkte Rakete fährt als Planet um die Sonne. Diese Fahrt kostet nichts als die erforderliche Zeit. Gibt man der



Die möglichen und zweckmäßigen Reisewege zwischen Erde und Venus

Rakete beim Anfahren zusätzliche Beschleunigung, die ihr eine größere Geschwindigkeit verleiht, als sie die Erde hat, so muß sie nach außen fahren, also zur Marsbahn hin. Verzögert man jedoch ihren Lauf, so drängt sie zur Venusbahn. Richtet man die Abfahrtszeiten der Rakete von der Erde richtig ein, so kann man die betreffenden Planeten erreichen,

Fahrtdauer

sie umkreisen oder auf ihnen landen — sofern das sonst möglich ist —, sich aber auch wieder von ihnen absetzen, um zur Erde zurückzukehren. Rechnet man aus, welche Fahrzeiten in Tagen man braucht, um auf den grundsätzlich verschiedenen Wegen von der Erde zur Venus zu gelangen, so ergibt sich, daß die Fahrt von E nach V allerdings die kürzeste Fahrzeit erfordert. Am längsten fährt man von E nach V_2 . Aber es gibt auch noch andere Wege, die das nebenstehende Bild alle anzeigt. Dem Wege E...V entspricht darauf C, dem von E nach V_2 hingegen A. Die anderen möglichen Wege liegen in ihrer Länge und Fahrtdauer alle dazwischen. Um auf dem Wege A zum Ziele zu gelangen, braucht man nach Hohmanns Rechnungen 146 Tage, auf dem Wege C nur 69 Tage. Etwas mehr Zeit braucht man für B, nämlich 75 Tage, während man auf den Strecken E beziehungsweise D 102 beziehungsweise 109 Tage zu fahren hat. Die Rückkehr beansprucht ähnliche Fahrt dauern, so daß also eine kürzeste Reise von der Erde zur Venus und zurück unter gegenwärtigen Umständen rund 5 Monate dauern würde, unter Benutzung der länger dauernden Fahrwege jedoch 10 Monate. Das erscheint uns außerordentlich lange. Bedenken wir jedoch, daß wir selbst auf der Erde Fahrt dauern bis zu 6 Wochen haben, wenn wir zum Beispiel von Europa nach Australien oder Neuseeland wollen, so müssen wir zugeben, daß eine Fahrtdauer von 5 und gar von 10 Monaten für die Hin- und Rückreise recht gering ist. Wie lange ist denn Kolumbus nach Amerika gefahren? (2 Monate). Und wie lange haben die Seereisen überhaupt gedauert, als es noch keine Dampfschiffe gab? Hoffen wir auf eine baldige Beschleunigung der Fahrten, so können wir die Reisedauer noch wesentlich verkürzen und beinahe in die Zeiten hineingelangen, die wir auch für längste Schiffsreisen jetzt auf der Erde nötig haben.

Allerdings darf man dann nicht vergessen, daß man zweckmäßig nicht ohne weiteres die Rückreise antritt, wenn man den Planeten erreicht oder umkreist hat, sondern daß man besser in der Nähe der Venus verweilt, bis man wieder den günstigsten Augenblick zur Rückkehr abgepaßt hat, der von der Stellung der Erde und der Venus zueinander abhängt. Das Verweilen in der Nähe eines Planeten ist verhältnismäßig einfach, denn man kann als Trabant ihn ja einmal oder beliebig oft ohne Aufwand an Treibmitteln umkreisen, bis man wieder in die günstigste Rückkehrlinie einzuschwenken Gelegenheit hat. Unter solchen Gesichtspunkten verlängert sich allerdings die Reisedauer einer Hin- und Rückfahrt erheblich, und sie würde immerhin etwas mehr als 2 Jahre betragen. Für einen Besuch Merkurs müßte man mit etwa $\frac{3}{4}$ Jahren rechnen, für einen solchen bis zum Mars mit etwa $2\frac{2}{3}$ Jahren und für einen Besuch Jupiters etwas über 6 Jahre in Ansatz bringen. Der Enthusiasmus, der jemand beseelen muß, um ihn zu solchen Reisen zu veranlassen, muß also schon sehr erheb-

Wie groß ist die Rakete?

lich sein, und man wird gemeinhin glauben, daß er nur von wenigen aufgebracht werden könne.

LIEBHABER DER VENUS

Man unterschätzt da aber den Menschen. Hat nicht der bekannte französische Astronom Legentil einmal 12 Jahre darangesetzt, um nichts weiter als einen sogenannten Venusvorübergang vor der Sonne in Indien beobachten zu können! Bloß wegen einiger Beobachtungen also, die sich bei der Gelegenheit machen ließen und für die nicht mehr als wenige Minuten zur Verfügung stehen, verschwendete er einen sehr erheblichen Teil seines Lebens auf diese Reise und hatte dennoch das Unglück, völlig unverrichteter Dinge wieder nach Hause zurückzukehren. Wieviel größer aber sind doch die winkenden Erkenntnisse bei einem Besuch eines Nachbarplaneten! Es ist deshalb wohl sicher, daß sich nicht wenige finden werden, die eine solche Reise gern unternehmen und sogar ihr Leben wagemutig daransetzen. Erleben wir nicht, daß bloß die Überfliegung eines Pols eine Schar von Männern fand, obwohl der Versuch zuvor bereits geglückt war, und obwohl sie auch mit einem Untergang rechnen mußten! Das Unbekannte, das Geheimnisvolle zu entschleiern, hat die Menschen von jeher ganz besonders gereizt. Und da die Hemmnisse, das Leben einzusetzen, für verschiedene Personen außerordentlich unterschiedlich sind, werden wir das Schauspiel erleben, daß sich wissenschaftliche Abenteurer danach drängen, solche ersten Fahrten mitzumachen. Haben sich doch jetzt schon Leute gemeldet, die ohne Bedenken bereit sind, an der ersten bemannten Raketenfahrt teilzunehmen, unter ihnen einer mit der für die Jetztzeit charakteristischen Begründung: Entweder ein trübes Leben in Armut unter steten Entbehrungen, oder eins mit unsterblichem Ruhm, selbst wenn das Experiment mißglücken und ich den Tod dabei finden sollte. —

UNSERE RAKETE — EIN KLEINER EIFFELTURM

Berücksichtigt man nun auch die anderen technischen Umstände, so kommt man zu der Überzeugung, daß die Reiseroute C durchaus nicht die günstigste ist. Denn schließlich kommt es ja auch auf die Kosten an, die eine solche Reise verursacht, und die werden allemal nicht sonderlich gering sein. Sie sind aber noch außerordentlich verschieden, je nachdem man den Weg wählt. Es kommt dafür im wesentlichen die Menge der mitzuführenden Treibstoffe in Betracht. Manche dieser Wege, und gerade die kürzesten, erfordern den größten Aufwand an Treibstoffen, weil bei ihnen starke Geschwindigkeiten benutzt und viele Richtungsänderungen des

Der Weg zur Venus

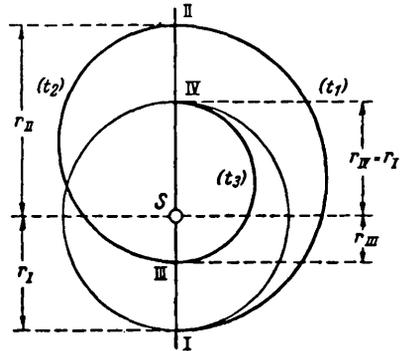
Raumschiffes erfolgen müssen. Unterschiede um das Viehhundertfache im Gewicht kommen dabei vor.

In allen Fällen ergibt sich gerade immer die Fahrbahn A als die günstigste. Selbst die Benutzung von Brennstoffen, deren Auspuffgeschwindigkeit 10 km in der Sekunde erreicht, verändert die Gunst dieser Fahrten nur verhältnismäßig wenig (S. 128 f.). Rechnet man damit, daß das Raumschiff bei seiner Rückkehr 6 Tonnen Gewicht hat, rechnet man mit einer Auspuffgeschwindigkeit der Treibstoffe von 5 km in der Sekunde, so würde das Schiff beim Aufstieg von der Erde immerhin bereits 143 Tonnen wiegen, also noch mehr als die schwersten und größten deutschen Dampflokomotiven. Für die Fahrbahn C aber wöge das Schiff bei der Ausfahrt über 30 400 Tonnen, also mehr als fünfmal so viel wie der Eiffelturm! So viel wie unsere größten Ozeandampfer.

DER MODERNE TANNHÄUSER ODER DER WAHRE WEG ZUR VENUS

Alles, was wir hier betrachten, ist recht ungewohnt. Die Riesengewichte der Raumschiffe, die lange Fahrtdauer, die ganz neuartigen Verhältnisse bei den alltäglichsten Dingen und Verrichtungen bringen außerordentlich viele Schwierigkeiten mit sich. Vor allen Dingen ist es immer noch die

Reiseweg zu einem erdnahen Planeten (nach Hohmann)



lange Fahrtdauer, die schreckt. Es muß deshalb versucht werden, diese soweit wie möglich abzukürzen. Man kann das in der Weise tun, daß man gewisse Kunstgriffe anwendet, die wenigstens für erdnahen Planeten möglich sind. Hohmann gibt dafür ein Beispiel, das unser Bild nebenan veranschaulicht. Geht man in I von der Erdbahn aus und erreicht auf dem als zweckmäßig erkannten Wege in II einen Planeten, so kann man, auch ohne die nötige Wartezeit, auf dem Wege von II über III nach IV zur

Die Luftbremse

Erde zurückkehren. Rechnet man nach, so braucht man für diese Reise bei einer Gasauspuffgeschwindigkeit von 5 km in der Sekunde ein Anfangsgewicht von 144 Tonnen für den Besuch des Mars, während man bei der 97tägigen Marsrundfahrt mit Wartezeit 207 Tonnen brauchte. Man braucht also weniger Betriebsstoff und weniger Zeit.

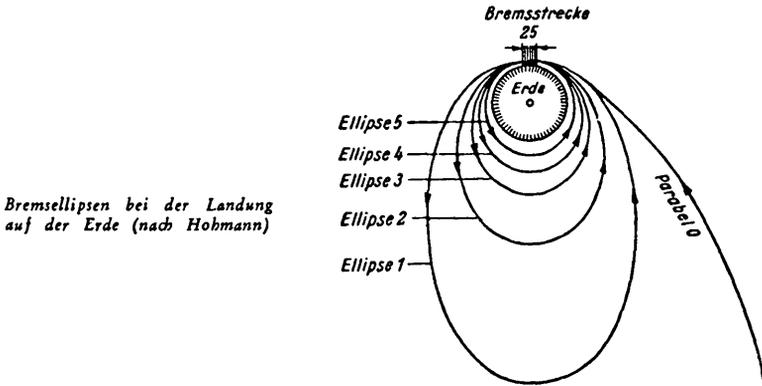
Eine gewisse Schwierigkeit bietet dabei allerdings, daß man der Sonne noch näher kommt (103 000 000 km) als die Venus (108 000 000 km). Die Hitze, die dann unaufhörlich das Schiff bestrahlt, müßte künstlich vermindert werden, wenn ein Aufenthalt darin möglich sein soll. Man kann es bei solcher Fahrt einrichten, daß man in 1½ Jahren Mars sowohl wie Venus aus großer Nähe zu beobachten Gelegenheit gewinnt. Würden die Schwierigkeiten der Hitze nicht hindern, könnte man bei Gelegenheit auch noch den Merkur besuchen und in 1½ Jahren die drei erdnahen Planeten aus großer Nähe beobachten. Allerdings sind dabei erhebliche Geschwindigkeitsänderungen des Schiffes notwendig, die große Aufwendungen in bezug auf mitzuführende Treibstoffe bedingen. Unter günstigen Verhältnissen müßte man immerhin ein Anfangsgewicht von 538 Tonnen für das Schiff in Ansatz bringen, wenn man mit 5 km Auspuffgeschwindigkeit rechnet.

DIE LUFTBREMSE — VERBESSERTES SYSTEM STERNSCHNUPPE

Bei einer Landung ist stets wichtig, ob der betreffende Planet eine Atmosphäre besitzt oder nicht. Hat er eine solche, so kann man — wie bereits erläutert (Wie landet die Rakete? S. 130) — diese zur Abbremsung der Geschwindigkeit des Raumschiffes benutzen; hat er keine, so muß man die Geschwindigkeit durch Auspuff vernichten und dann zu alledem noch durch Auspuff dem Absturz vorbeugen. Man braucht dazu ungefähr ebensoviel Masse wie zum Aufstieg von dem betreffenden Planeten. Das Vorhandensein einer Lufthülle ist also für unsere Zwecke von Wert und Bedeutung. Wie man unter solchen Verhältnissen auf einem Planeten landet, zeigt das nebenstehende für eine Landung auf der Erde gezeichnete Bild. Das Raumschiff kommt an den Planeten heran, nähert sich ihm bis zur Grenze der Lufthülle, fährt in einer Ellipse in den allerobersten Luftschichten, zuerst nur teilweise, durch die Atmosphäre, um schließlich nach mehreren Umkreisungen in der Luft die Geschwindigkeit langsam abbremsen zu lassen und schließlich zu landen. Die Lufthülle erweist sich so gerade als ein Hilfsmittel für eine gefahrlose Landung. Man macht es wie die Sternschnuppen, nur nicht ganz so stürmisch, damit unsere Schutzhülle, das Raumschiff, nicht auch in der Reibungsglut verdampft und die Welt-raumfahrer spurlos verduften. — Zweifellos verlängert diese Operation

Der erste interplanetarische Fahrplan

die Landungsdauer, denn man muß den Planeten erst mehrmals umfahren, bis man auf ganz gewöhnliche irdische Geschwindigkeiten gekommen ist. Aber man spart dadurch außerordentlich an Treibmitteln. Was aber bedeuten angesichts der Fahrtdauern, mit denen bei Weltraumreisen gerechnet werden muß, selbst einige Tage! Und mehr braucht man für diese Art, die Rakete abzubremsen, nicht. —



Bremsellipsen bei der Landung auf der Erde (nach Hohmann)

Sehr viel günstiger wird das alles, wenn man die Weltraumfahrt nicht jedesmal von der Erde selbst aus unternimmt, sondern vom Monde oder einem künstlichen Monde, einer der Erde sehr nahen Außenstation aus, die die Rolle des kosmischen Erdhafens übernehme (s. S. 144).

DER ERSTE INTERPLANETARISCHE REISEFAHRPLAN

Außerordentlich interessant ist nun der Fahrplan, den Dr. Walter Hohmann berechnet und zu einer übersichtlichen Tabelle zusammengestellt hat, die auf Seite 144 wiedergegeben ist. In dieser Übersicht wird man vorerst wohl nur mit der Auspuffgeschwindigkeit (c) gleich 5 km in der Sekunde rechnen können (S. 148 f.). Betrachtet man die dabei aufzuwendenden Betriebsstoffe und Proviantmengen, so kommt man zu der Überzeugung, daß die Weltraumschiffahrt sich zuerst auf den Verkehr mit Venus und Mars beschränken dürfte, wenn man den Mond als Stützpunkt benutzt. Allerdings ist dabei vorausgesetzt, daß man auf dem betreffenden Planeten die Fahrzeuge verproviantieren kann. Damit muß man überhaupt rechnen, weil sonst ein Verkehr mit diesen Planeten gar nicht möglich wäre. Zwar ist es nicht ausgeschlossen, auch für die Rückreise alles mitzuschleppen, aber für regulären Verkehr wird man so nicht verfahren

Der erste interplanetarische Fahrplan

Fahrtroute	Ungefähre Fahrzeit in Tagen	Erforderliches Anfangsgewicht in Tonnen bei 6 Tonnen Endgewicht für			
		c=3	c=4	c=5	c=10 km/s
Zubringeverkehr					
Erde - Mond	4	1420	360	153	31 t
Mond - Erde	3	15	12	10	8 t
Ausreisen					
Mond - Merkur	105	24000	3270	940	90 t
Mond - Venus	146	123	68	46,5	24 t
Mond - Mars	258	780	278	142	44 t
Mond - Jupitertrabant	997	12900	2450	910	167 t
Rückreisen					
Merkur - Erde	105	9900	1730	600	75 t
Venus - Erde	146	2510	690	276	64 t
Mars - Erde	258	382	182	110	41 t
Jupitertrabant - Erde	997	5720	1400	342	144 t
Rundreisen					
Mond - Marsberührung - Venuskreuzung - Erde	547	1220	446	245	80 t
Mond - Marskreuzung - Venuskreuzung - Merkur- berührung - Erde	547	16100	2740	910	136 t
Mond - Venusumkreisung - Erde	762	1060	423	244	92 t
Mond - Marsumkreisung - Erde	971	1720	630	352	116 t
Mond - Jupiterumkreisung - Erde	2207	456000	37000	8720	1360 t

können, weil das zu teuer würde. Deshalb werden natürlich die ersten Orientierungsfahrten, auf denen man die notwendige Reisewissenschaft erforschen will, viel schwieriger sein als ein regulärer Reiseverkehr.

Man kann allerdings auch mancherlei sparen, wenn man bei diesen ersten Ausfahrten nicht mit allen Insassen und dem ganzen Raumschiff zu dem betreffenden Planeten heruntersteigt, sondern eine Art Beiboot aussetzt, das landet, wieder aufsteigt und zum Mutterschiff zurückkehrt. Es dürfte sich dann empfehlen, auf das weitere Mitschleppen dieses Beibootes zu verzichten und es einfach abzustoßen. Rechnet man, daß ein solches Beiboot nach der Fahrt noch eine Tonne wiegt, so würde seine Abstoßung immerhin schon wertvoll sein. Rechnet man für die ersten Orientierungsfahrten mit einer Auspuffgeschwindigkeit von 5 km, so erforderte (nach

Hohmann) eine Fahrt vom Monde zur Venus, mit einer Zwischenlandung dort und der Rückkehr zur Erde ein Anfangsgewicht des Schiffes von fast 300 Tonnen, eine gleiche Fahrt zum Mars 410 Tonnen. Dabei wären allerdings schon erhebliche Reserven vorgesehen, die zur Sicherung der Rückkehr dienen.

AUSPUFF! AUSPUFF!

Aus den Betrachtungen erkennen wir aber, daß es notwendig ist, auf der Erde weitere intensive Entwicklungsarbeit zu leisten, damit man möglichst bald Gasauspuffgeschwindigkeiten von 10 km und vielleicht noch mehr erreicht, die allerdings viel günstigere Bedingungen für den interplanetarischen Reiseverkehr böten.

Daß es schon bei der Fliegerei im Luftraum der Hauptsache nach auf den Auspuff ankommt, hat uns Carl Zuckmayer*) onomatopoetisch**) so trefflich vorgesungen:

Darum Puff, darum Puff, darum Aus-Puff-Puff.
Immer schneller der Propeller,
Immer besser, Herr Professor.
Darum Puff, darum Puff, darum Aus-Puff-Puff.
Fliegste runter, fliegste ruff,
Immer Puff, immer Puff.

Für die Weltraumfahrt hat der Auspuff noch viel größere Bedeutung, ja, er bedeutet dafür fast alles. —

Unsere Ausführungen werden von den Weltraumfachleuten rechnerisch belegt. Sie sind nur auf Grund sorgfältiger Untersuchungen gewonnen und haben nichts mehr gemein mit den bloßen Fantasien, die Betrachtungen solcher Art früher zugrunde lagen. Zwar wird noch mancher Tropfen Wasser in die Weltmeere fließen, ehe der erste Mensch in einer bemannten Rakete zum Monde aufsteigt, aber der Versuch liegt im Bereich absehbarer Zeit. Vielleicht erleben sogar die mittleren Alter unter uns noch seine Verwirklichung, haben wir doch in den letzten Jahrzehnten schon so viel Unerwartetes und Ungehofftes zur Wirklichkeit werden sehen, daß vom „nichts zu hoffen“ kaum noch etwas übrig bleibt! — —

*) In „Des Teufels General“
**) wortmalerisch klangerfüllend

PULVER UND DYNAMIT
ODER WAS SONST FÜR TREIBSTOFFE?

Die Energiequellen für den Antrieb der Rakete müssen so beschaffen sein, daß sie plötzlich große Mengen Energie herzugeben in der Lage sind.

Vorgänge, die plötzlich große Energien entladen, nennen wir physikalisch Explosionen. Es werden also in erster Linie die Betriebsstoffe in Betracht kommen, deren wir uns auch bei den Explosionsmotoren bedienen, also Benzin, Benzol und ähnliche Flüssigkeiten. Nun haben wir aber alle gehört, daß bei den Raketenautomobilen das Pulver verwendet wird. Also auch Pulver scheint für unsere Zwecke wichtig zu sein. Wie dem auch sei, die Betriebsstoffe müssen für unseren Zweck auch anderen bestimmten Anforderungen genügen. Sie müssen eine gewisse Schwere besitzen und eine nicht zu geringe Auspuffgeschwindigkeit erzielen.

Die bei jedem Bewegungsvorgang in Erscheinung tretende „kinetische Energie“ E wird bemessen nach der Formel

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

worin m die Größe der beteiligten Masse, der Stützmasse (s. S. 113 und 148) bedeutet, und v ihre Geschwindigkeit. Der Antrieb hängt also ab von der ausgestoßenen Masse und von der Geschwindigkeit. Je größer die ausgestoßene Masse ist, desto größere Bewegungsantriebe können wir erzielen. Es ist aber sehr unzweckmäßig, allzuviel Masse abzustoßen, weil dann das Weltraumschiff sehr viel Masse mit sich führen muß. Das erschwert die ganze Fahrt. Wir haben bei unserem Beispiel von der Halbierung beim Abstoß gesehen, wohin das führt.

Es bleibt uns aber noch eine andere Möglichkeit, große Bewegungsenergien zu erzielen, und zwar dadurch, daß wir recht große Auspuffgeschwindigkeiten verwenden. Dieser Weg ist sogar noch mehr versprechend als der andere mit dem Ausstoß großer Stütz-Massen, und zwar einfach deshalb, weil die Energie viel schneller wächst als die Auspuffgeschwindigkeit der Verbrennungsgase.

Das weist uns einen ganz klaren Weg, nämlich Explosivstoffe (Stützmassen) zu wählen, deren Auspuffgase recht hohe Geschwindigkeiten besitzen.

Halten wir Umschau unter den Explosivstoffen, so verfallen wir natürlich in erster Linie auf die Pulverarten. Sie erscheinen uns ja als der Inbegriff des Explosiblen und wir meinen schlechthin, mit ihnen am besten zu fahren. Man gibt sich da allerdings wesentlichen Täuschungen hin.

Denn rechnet man nach, welche Energien die verschiedenen Stoffe bei der Explosion, das heißt also dem plötzlichen Übergang in den gasförmigen Zustand, frei werden, so ergeben sich für

Die Treibstoffe

kg		Kalorien
1	Nitrozellulose (rauchloses Pulver)	1600
1	Alkohol (Sauerstoffzuführung durch Oberchlorsäure)	1650
1	Benzol mit Sauerstoff	2250
1	Aethylalkohol mit Sauerstoff	2340
1	Benzin mit Sauerstoff	2500
1	Methan mit Sauerstoff	2650
1	Wasserstoff mit Sauerstoff	3777

Wir sehen zu unserem großen Erstaunen, daß die uns als ganz besonders explosibel erscheinenden Pulver gar nicht so sonderlich viel Energie freimachen. Viel mehr als die modernen Pulver geben Benzin, Alkohol, Methan in geeigneten Mischungen Energie ab und bei weitem am höchsten liegt das Knallgas, das heißt eine Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff. Von Hoefft hielt deshalb eine Mischung von sechs Raumteilen Wasserstoffgas und einem Raumteil Sauerstoffgas innerhalb der Atmosphäre für das günstigste Gemisch, bei dem Auspuffgeschwindigkeiten von 4 km in der Sekunde überschritten werden.

Außerhalb der Erdatmosphäre hielt Oberth $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$ für die günstigste Treibmittelmischung.

Nun spielt bei solchen Dingen ja schließlich die Energielieferung aber nicht die allein ausschlaggebende Rolle, sondern auch andere Eigenschaften dieser Stoffe müssen berücksichtigt werden. Es ist zum Beispiel durchaus notwendig, daß die Treibstoffe ohne allzuviel tote Last mitgeführt werden können. Müßte man Wasserstoff und Sauerstoff etwa in komprimiertem Zustande mitführen, so brauchte man dazu schwere Stahlflaschen, die das Gewicht der Rakete außerordentlich vergrößerten und selber sehr viel schwerer wären als die darin aufbewahrten Brennstoffe selbst. Glücklicherweise ist das aber auch nicht notwendig, da wir die Gase verflüssigen und in diesem Zustande mitführen können. — Weitere Gesichtspunkte für die Auswahl der Treibstoffe sind wirtschaftliche Beschaffbarkeit, Giftigkeit, Explosions- und Brandgefahr, Verhalten bei der Förderung zur Brennkammer, Lagerfähigkeit, Aufbereitungs- und Zündeigenschaften, Feuergasstrahlung u. a. Von der nicht geringen Zahl der zur Verbrennung geeigneten Stoffe kommen nur wenige als praktisch brauchbar in Betracht. „Sauerstoff in verflüssigter Form unter Normaldruck von -182° ist trotz seiner schlechten Lagereigenschaften wegen des hohen Gemischheizwertes und der einfachen Beschaffung durch Luftverflüssigung fast zum Standard-Treibstoff der großen Gasdruck-Raketenmotoren (z. B. der Oberth-Raketen) geworden“ (Sänger in „Weltraumfahrt“ 1950 S. 4). Bisher sind wir darauf angewiesen, chemische Reaktionen von Stoffen für den Antrieb von Raketen zu verwenden. Und zwar liefern die be-

Die Treibstoffe

nutzten energiereichen Stoffe zugleich sowohl freiwerdende mechanische Energie wie auch die notwendigen Stützmassen für die Rakete (s. S. 113 und 146). Da das über Wärmeerzeugung geschieht, spielt die spezifische Wärmekapazität des Gases dabei eine wesentliche Rolle. Man versteht darunter diejenige Wärmemenge in Kalorien, die notwendig ist, um die Temperatur von 1 Gramm dieses Stoffes um 1° C zu erhöhen. Bei der Verbrennung des Gases entsteht eine bestimmte absolute Temperatur und eine bestimmte Ausstoßgeschwindigkeit. Nach Angaben von Scholz („Weltraumfahrt“ 1951, S. 41) sehen diese Reaktionen so aus:

Brennstoff	chem. Formel	Temperatur absolut in Grad	Auspuff- geschwindigkeit m/sec
Wasserstoff (einatomig)	H + H	10 000	21 170
Wasserstoff (zweiatomig)	H ₂ + 1/2 O ₂	4 000	5 080
Methan	CH ₄ + 2O ₂	3 800	4 440
Alkohol	C ₂ H ₅ OH + 3O ₂	3 500	4 170
Nitroglyzerin	C ₃ H ₅ N ₃ O ₉	3 200	3 530
Aluminium	2H 2/3 Al + O ₂	12 000	5 590

Wie man sieht, kommen dabei Temperaturen vor, die wir im Raketenofen gar nicht anwenden können, weil er ihnen nicht zu widerstehen vermag. Man muß sich also eines Treibstoffes versichern, der eine werkstofftechnisch beherrschbare Temperatur nicht überschreitet und dabei die höchste Ausstoßgeschwindigkeit erzielt. Dieser Brennstoff muß nach der Theorie einen besonders hohen Wert der spezifischen Wärmekapazität besitzen. Das ist der einatomige Wasserstoff leider nicht, so ideal seine Verwendung auch sonst wäre. Er ergäbe eine Auspuffgeschwindigkeit von über 21 km/sec. Aber die Temperatur von 10 000° absolut ist technisch unbrauchbar. Man denkt allerdings an eine Beimischung dieses sog. atomaren Wasserstoffs zur flüssigen molekularen Form, wobei man über 5 km/sec erzielt. Das erreicht man bei Benutzung zweiatomigen Wasserstoffs mit Sauerstoffzusatz aber auch und kommt nur auf Temperaturen von etwa 4000° abs.

Wie dem auch sei, macht das Problem des Raketenantriebes mit den bis jetzt zur Verfügung stehenden Treibstoffen noch recht große Schwierigkeiten, so daß es bei der Konstruktion außerordentlicher Mittel und Mühen bedarf, um brauchbare und genügend leistungsfähige Fahrzeuge fertigzubringen, die auf ihrer Grundlage arbeiten. Diese Tatsache hat bei vielen von denjenigen schwere Bedenken erregt, die sich ernsthaft mit dem Raketenproblem für die Weltraumschiffahrt beschäftigt haben.

HALTEN DAS ALLES UNSERE WERKSTOFFE AUS?

Man hat geglaubt, die Techniker würden mit den von uns sonst in der Technik der gewöhnlichen Temperaturen benutzten Werkstoffen viele Schwierigkeiten haben, wenn sie sie für den Gebrauch bei tiefen Temperaturen anwenden wollen. Man schloß das aus Beobachtungen, die man bei Experimenten mit flüssiger Luft, deren Temperatur -180° C beträgt, an mancherlei Stoffen gemacht hatte. Gummi und viele andere Stoffe sind bei so tiefer Temperatur hart, spröde und zerbrechlich; sie springen und platzen bei Stoß und Schlag. Daß stark wasserhaltige Stoffe bei Tieftemperaturen spröde sind, ist verständlich; auch Eis ist spröde und zerbrechlich. Da allerdings die Kerbschlagzähigkeit von Stahl unter 0° beträchtlich abfällt, glaubte man daraus für alle Metalle ähnliche Schlüsse ziehen zu müssen. Bei näherer Untersuchung hat sich jedoch herausgestellt, daß nur die Kerbschlagzähigkeit solchen Einflüssen unterliegt, und zwar nicht einmal bei allen Metallen. Die Leichtmetalle zeigen bei sinkender Temperatur sogar erhöhte Kerbschlagzähigkeit, und von einer Versprödung von Messing bei fallender Temperatur hat man bisher nichts bemerken können. Zug-, Druck-, Biegefestigkeit hingegen leiden durch Abkühlung bei keinem Metall, ja es treten sogar erhebliche Verbesserungen auf, deren systematische Erforschung noch aussteht.

Zweifellos wird man, sowie die Notwendigkeit besteht, noch vielerlei Untersuchungen über diese Frage für die verschiedensten Werkstoffe und Temperaturen anstellen, und dabei ermitteln, welche für tiefe Temperaturen am geeignetsten sind. — Dabei muß man immer im Auge behalten, daß wir noch gar nicht wissen, wie sich das mit der „Temperatur“ im freien Weltraum bei einem Körper wie einer Rakete eigentlich verhält. Bestehen so also kaum Konstruktionsschwierigkeiten, so werden solche andererseits insofern auftreten, als die Teile des Verbrennungssofens sehr hohen Temperaturen ausgesetzt sind, und zwar bis weit über 1000 Grad (s. S. 148). Diese müssen also sowohl den Untertemperaturen von -200 Grad C wie auch den genannten hohen standhalten. Es ist selbstverständlich, daß trotz der großen technischen Erfahrungen, die man mit Feuerungen und Explosionsmotoren hat, hier noch neue technische Entwicklungsarbeit zu leisten sein wird. Schwierigkeiten sind ja dazu da, um überwunden zu werden. Und da es dem technischen Geiste des Menschen sogar gelungen ist, praktisch leidlich brauchbare Kragenknöpfe zu erfinden, wird man auch das Problem der Verbrennungsdüsen beim Raketentrieb bewältigen; die Stoffkunde wird dabei wesentliche Dienste leisten.

Fins darf man aber bei der ganzen Sachlage nicht übersehen, daß diese Beanspruchungen mit hohen Temperaturen nämlich keine Dauerbean-

spruchungen sind, sondern während des ganzen Fluges gewöhnlich nur kurze Zeit, etwa 5 oder 10 Minuten, in Wirksamkeit treten. Man kann die Baustoffe deshalb viel stärker beanspruchen als bei Dauerbelastung, ohne die erforderliche Sicherheit außer acht zu lassen. Während dieser 5 und 10 Minuten darf man dem Material Beanspruchungen zumuten, die man natürlich sonst niemals in Betracht ziehen dürfte.

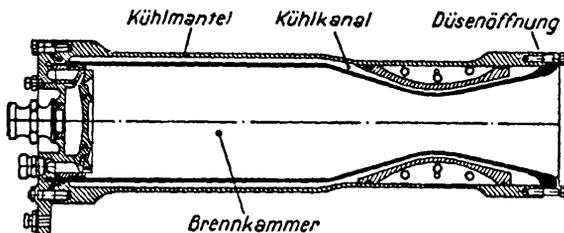
VOM RAKETENMOTOR

Wenn im Raketenmotor Temperaturen von 4000°C auftreten, so müssen wir uns nach *Baustoffen* umsehen, die diese Hitze aushalten können. Man könnte denken, daß es Stoffe gibt, die bei diesen Temperaturen noch fest und widerstandsfähig genug bleiben, oder andererseits die Wärme durch gute Leitfähigkeit so schnell abführen, daß sie dem Werkstoff nicht gefährlich wird. Die höchsten Schmelztemperaturen von Metallen besitzen Tantal (3300°C), Rhenium (3443°C), Wolfram (3650°C), und schließlich ragt Graphit noch darüber hinaus mit 3810°C . Das reicht also nicht aus. Und die besten Wärmeleiter sind Silber mit 1,096 Kalorien je cm und Sekunde, und Kupfer mit 0,94 (sog. Wärmeleitzahl). Aber deren Schmelzpunkte liegen so niedrig (1234° bzw. 1356°C), daß auch sie nicht in Betracht kommen. Über 4000°C liegen Tantalkarbid (TaC) mit 4140°C , Hafniumkarbid (HfC) mit 4150°C und eine Mischung der beiden letzten von 80% TaC und 20% HfC, das 4210°C aushält, ohne flüssig zu werden. Mehrere Hundert Grade vorher aber werden die Stoffe weich, durchlässig und halten nicht mehr zusammen, so daß diese Umschau nicht gerade ermutigend ist, sich damit an Brennkammer-Konstruktionen heranzuwagen, die so hohe Gastemperaturen und Feuergasdrücke aushalten müssen.

Die Oxyde der Karbide sind alle sehr schlechte Wärmeleiter, während die Metalle gut leiten. Man dürfte also Metalle wählen und diese in den gefährdeten Zonen mit dünnen Karbidschichten versehen, die auf die schnelle Ableitung der Wärme wenig Einfluß nehmen. Bisher kommen so hohe Temperaturen noch nicht vor, und in den bisherigen Raketen wählt man Eisen oder Kupfer oder Aluminiumlegierungen, die man von außen kühlt.

Es zeigt sich nämlich, daß sich zwischen der Feuerkante, wie die innere Ofenwand genannt wird, und dem Hauptfeuerstrom eine Grenzschicht ausbildet, die auf den starken Temperaturabfall zur gekühlten Ofenwand zurückzuführen ist, daß ferner die Wand gegen den Kühlkanal einen starken Temperaturfall erleidet, so daß das Kühlmittel in praktischen Fällen nur etwa 150° heiß wird (Bild S. 151). Es ist wichtig, daß man den Kühlkanal der Brennkammer nicht mit Stegen versieht oder ihn

Der Raketenmotor



Ein Raketenofen. An ihm ist das Wichtigste die innere Form, die die Feuerwand, das Herz des ganzen Raketenmotors, besitzt. Links befindet sich der Kopfteil, aus dessen Stirn der Brennstoff und der die Verbrennung unterhaltende Stoff, z. B. Sauerstoff, eingespritzt werden. Dieser dient zugleich als Kühlmittel. Er wird vor dem Einspritzen durch den Kühlmantel geleitet, erwärmt sich dabei und wird als heißes Gas in die Brennkammer gespritzt. Früher versah man den Kühlmantel mit Stegen, um die Hitze der Feuerwand nach außen abzuleiten und zugleich den Mantel zu versteifen. Sodann ging man dazu über, das Kühlmittel in Schneckenengängen um den Mantel zu leiten. Beides hat sich nicht bewährt, es erzeugte Verluste. Man leitet nunmehr das Kühlmittel nur durch einen steglosen Spalt. Die Feuergase müssen durch den Hals des Ofens und strömen aus der Düse ins Freie, dabei den Rückstoß auf die ganze Rakete ausübend und diese vorwärtstreibend.

wendelartig führt, sondern axial und gerade, denn so ergibt sich die bei weitem günstigste Kühlwirkung. Obwohl bei Verwendung von Salpetersäure-Anilin im Zentrum des Brennraums 2500 bis 2800 °C gemessen wurden, lag die Feuerkantentemperatur nie höher als 800 °C. Man konnte also sogar Leichtmetalllegierungen für den Ofen verwenden.

Für die Kühlung gibt es auch noch andere Mittel, z. B. die von Oberth vorgeschlagene „Schleierkühlung“ oder „innere Kühlung“, die darin besteht, an der Feuerwand einen dünnen Schleier kühler Flüssigkeiten oder Gase hervorzurufen, der schließlich mitverbrennt. So braucht nicht alle Hitze durch die Brennkammerwand zu treten, was ihrer Festigkeit zugutekommt (Gartmann in „Weltraumfahrt“ 1950, S. 112). Andere Vorschläge gehen auf die Herstellung elektrischer Felder aus, die die Gasparkeln von der Feuerwand fernhalten (Sänger).

Das Kühlmittel muß selbst die Wärme gut zu leiten vermögen. Zündstoff ist bei vielen Treibstoffen nicht nötig, weil sie sich selbst entzünden, wie z. B. Anilin-Salpetersäure und Hydrazinhydrat-Wasserstoffsuperoxyd. Andererseits braucht man als Zündmittel nur geringe Mengen einer dritten Substanz einzuspritzen, kann aber auch Zündkerzen, Glühkerzen oder andere Mittel zur Zündung benutzen.

Die Brennstoffe müssen in die Brennkammer so eingespritzt werden, daß sie sich ganz plötzlich und innig miteinander mischen. Zu dem Zwecke müssen die Einspritzstrahlen so fein sein wie nur möglich. Je höher die

Düsenzahl, desto kleiner kann die Brennkammer werden. Man rechnet je Kilogramm Schub für die Rakete einen Einspritzstrahl. Die Düsen sind einfache Bohrungen von 1 mm Durchmesser oder noch feinere. Für Großraketen kommt man auf Hunderttausende Düsen. Durch sie wird direkt eingespritzt, nicht erst aus Mischkammern. Der Sauerstoff wird um die Brennkammer geführt, wirkt als Kühlmittel und kommt stark vorgewärmt zur Ausspritzung. In der Brennkammer wird das Gemisch zuerst *aufbereitet*. Das ist ein komplizierter Vorgang, der der eigentlichen Verbrennung vorangeht. Zu dem Zweck muß die Brennkammer gewisse Dimensionsverhältnisse innehalten, sonst wird die Aufbereitung unvollkommen. Der Brennkammerquerschnitt soll nicht kleiner sein als der vierfache Halsquerschnitt der Feuerdüse, so daß also der Ofendurchmesser mindestens doppelt so groß sein soll wie der Durchmesser des Düsenhalses. Um die Auströmung gleichmäßig zu erhalten, nicht schief, muß man eine gewisse Formgebung des Ofens innehalten. Der Feuerdruck im Ofen liegt bestens zwischen 30 und 40 Atmosphären. Für die Formgebung der Düse gibt es gleichfalls Erfahrungsgrundsätze (der Austrittsfeuerstrahl muß möglichst gleichgerichtet sein), gleichwie für die Führung der Kühlmittel im Brennkammermantel. So einfach an sich der ganze Raketenmotor sein mag, sind alle diese Konstruktionen doch recht schwierig.

Die *Förderung der Treibstoffe* aus den Tanks zu den Einspritzdüsen geschieht mittels schnellaufender Kreiselpumpen. Sie müssen in kürzester Zeit ungeheure Mengen gegen den gleichbleibenden hohen Feuergasdruck im Ofen fördern. Zum Antrieb der Pumpen benutzt man eine Heißdampfturbine, deren Dampf man etwa durch Zersetzung von Wasserstoffsperoxyd erzeugt. Ideal ist diese Lösung nicht; man sucht nach besseren. Neuerdings führt man zu diesem Zwecke die hochoverhitzten Kühlmittel in eine Hilfsturbine, verflüssigt den Abdampf mit Hilfe des kalten Flüssigsauerstoffs und führt ihn dann dem Ofen zu. Man sieht, daß auf diese Weise schon recht komplizierte Konstruktionen entstehen. Und diese Dinge müssen alle totsicher funktionieren, so kurze Zeit sie auch nur gebraucht werden.

DIE ATOMENERGIE UND DAS WELTRAUMRAKETEN- PROBLEM

In ein ganz neues Stadium kann das alles treten durch die Erforschung der Ausnutzung der Energien im Atom, obwohl die Verwendung von Kernprozessen zum Raketenantrieb grundsätzlich bisher auch nur auf dem Wege über Wärmeenergien möglich erscheint. Die Energie ist es ja nicht allein, die zum Antrieb erforderlich ist, sondern wir müssen auch

Masse auspuffen, eben die Stützmasse. Auf sie muß die Raketenergie übertragen werden, die nun keine chemische Reaktion (Wirkung) mehr ist, sondern eine physikalische. Die Kernenergie entspringt einer „aktiven“ Masse. Als Stützmasse brauchen wir aber noch eine „passive“ Masse (die bei Treibstoffen aus der Verbrennungsmasse des chemischen Vorganges gewonnen wird). Bei der Verwendung von Atomenergie brauchen wir gleichfalls Treibstoffe mit hoher spezifischer Wärmekapazität. Lassen wir in der Brennkammer 4000° absolute Temperatur zu, so ergeben sich für die Auspuffgeschwindigkeit von einatomigem Wasserstoff 12900 m/sec, für zweiatomigen 11600, für Helium 6500 und für Luft 3200. Auch hier müssen wir uns wohl wieder für den zweiatomigen Wasserstoff als passive Stützmasse entscheiden.

Immerhin bietet die Verwendung von Kernprozessen große Vorteile, denn man bringt damit das Massenverhältnis von ungefähr 15 bei Benutzung chemischer Reaktionen auf 3 bis 4 bei Kernreaktionen herunter. Und selbst wenn man den Luftwiderstand und die Erdschwere berücksichtigt, ergäben sich unleugbar enorme Vorteile. Man kann die „parabolische“ Raketengeschwindigkeit in Erdnähe (bei der die Rakete sich vom Schwerefeld der Erde freimachen kann) schneller und bequemer erreichen, ja der Rakete ungeahnte Auspuff- und damit eigene Geschwindigkeiten erteilen, wie sie für weitere Fahrten im Planetensystem notwendig wären. Scholz hat („Weltraumfahrt“ 1951 S. 43) den Anteil der aktiven Masse an der Endmasse der Rakete für verschiedene Massenverhältnisse berechnet. Bei einem solchen von 5 hat, wenn man als Kernreaktion die Uranspaltung nimmt und 11,2 km als Fluchtgeschwindigkeit ansetzt, der äußere Gesamtwirkungsgrad einen Höchstwert. Die notwendige aktive Masse ist äußerst gering. Sie beträgt für 1000 kg Endmasse nur 2 Gramm! Allerdings für verlustlose Energieumsetzung berechnet.

Es erscheint also an sich sehr vorteilhaft, Atomenergie zu verwenden, und zwar besonders dann, wenn man einen wärmemechanisch günstigen Stoff als Stützmasse benutzen kann. Und je höhere Temperaturen man dabei der Brennkammer zumuten kann, desto vorteilhafter gestalten sich die Verhältnisse. Es kommt also wesentlich darauf an, recht hohe Temperaturen sicher anwenden und damit arbeiten zu können.

Rein entwicklungstheoretisch betrachtet müßte man durch Atomenergie beim Ausstoßen von Stützmassen derart riesige Beschleunigungen erteilen können, daß ihr Rückstoß selbst dann noch praktisch wirksam ist, wenn ihre Menge nur verhältnismäßig gering ist. Die bei der Atomspaltung freiwerdenden Energien übertreffen diejenigen unserer bisher bekannten intensivsten Energieentwickler um das Millionenfache, so daß wir mit solchen neuen Hilfsmitteln für die Raketenkonstruktion in ganz andere Größenordnungen gelangen, als man bislang überhaupt hoffen oder auch

Atomtrieb?

nur ahnen konnte. Daß das konstruktiv für die Weltfahrtrakete ganz andere Bedingungen schüfe, ist selbstverständlich. Und obwohl damit auch neue unvorhergesehene Schwierigkeiten auftauchen, kann man dennoch annehmen, daß sich im Ganzen die technische und wirtschaftliche Lösung der Aufgabe wesentlich erleichterte.

Sich näher darüber auszulassen, ist allerdings noch ganz verfrüht. Bisher wissen wir in der Öffentlichkeit nur von der Tatsache der Ausnutzbarkeit der Atomenergien in der Atombombe. Wie das geschieht, wissen wir noch nicht. Vor allem hat die Öffentlichkeit noch nichts darüber erfahren, wie man diese Energien praktisch für nicht zerstörerische, für produktive Zwecke nutzbar machen kann. Das ist vorerst alles sogar noch Geheimnis derjenigen, die an der Entwicklung der Atombombe unmittelbar beteiligt waren. Der Leser kann deshalb hier näheres darüber noch nicht erwarten. Wie umstritten die Anwendung der Atomenergie für den Raketenantrieb noch ist und wie notwendig, weitere Fortschritte erst abzuwarten, geht aus einer Arbeit von Reichel hervor, der („Weltraumfahrt“ 1950 S. 141 f) zu dem Schluß kommt: „... daß die Verwendung reiner Atomenergie — um durch den kontinuierlichen (beständigen) Kernzerfall einen Raketenstrahl zu erzeugen — nicht möglich ist. Schon der Einsatz atomarer chemischer Treibstoffe stellt uns vor erhebliche wärmetechnische Probleme. Der bestenfalls mögliche Gebrauch der Atomenergie in Verbindung mit einem Massenträger bringt keine grundsätzliche Verbesserung der Raketeneleistungen“.

Weiter ist zu bedenken, daß bei der jetzigen Lage der Forschung die Ausnutzbarkeit der Atomenergie noch in den ersten Anfängen steckt. Bei der Kernspaltung in der heutigen Atombombe (1946) erhalten wir nur etwa 1% der Energie, die wirklich darin steckt, erzielen also einen ganz schlechten Wirkungsgrad, mit dem wir uns kaum zufrieden geben werden. Man darf sogar hoffen, daß eine wesentliche Verbesserung dieser Leistung schneller voranschreiten wird, als es den Technikern trotz größter Anstrengung bei der Ausnutzung der Wärmeenergie verbrannter Kohle in unseren Dampfmaschinen und Heizöfen und anderer Brennstoffe bis auf den heutigen Tag gelungen ist.

Wäre die Raketenenergie mit Hilfe der Atomenergie jedoch viel rationeller und leichter erlangbar als die der bisher zur Verfügung stehenden Treibstoffe, so wäre auch die Abbremsung der Raketengeschwindigkeit bei der Landung (s. S. 130 f.) wesentlich leichter und schneller, als es bis jetzt ausführbar erschien. Wir hatten dafür nur in geschickten Händen ungefährliche Methoden kennengelernt (Luftbremsung). Mittels Atomenergie könnte man die Rakete mit dem Auspuff einfach gegen die Fahrtrichtung drehen und binnen weniger Minuten, sagen wir binnen einer Viertel- bis halben Stunde, und in einer für die Insassen ganz ungefähr-

Elektroraketen

lichen, sozusagen gemütlichen Weise, die Raketengeschwindigkeit abbremsen. Geschickte Fahrer könnten dann sogar mit dem Weltraumfahrzeug ganz sanft aufsetzen. Ebenso dürfte man mit Hilfe der Atomenergie viel ungefährlicher und mit geringerer Beschleunigung, also langsamer, anfahren können, weil man nicht so sparsam mit dem mitzunehmenden, gewichtigen Treibstoff zu verfahren brauchte. Um es kraß auszudrücken: Selbst gefährlich Kranke könnten dann mittels einer Weltraumrakete auf die Reise geschickt werden.



Um einige Gedanken aus der Fernperspektive einzuflechten: Die Auspuffgeschwindigkeit ist das erste Gütemaß für den Raketenmotor. Und da wir wissen, daß sich Materie vollständig in Energie umwandeln kann, wären wir erst am Ende der Entwicklung angelangt, wenn es uns gelänge, diesen physikalischen Vorgang technisch vollständig auszuführen. Dann müßten wir die in einem Raumschiff mitgeführten Treibstoffe in kinetische Energie auflösen und damit als höchstmögliche Geschwindigkeit die des Lichts von 300 000 km/sec als Auspuffgeschwindigkeit erzielen. Wie rückständig wir aber noch sind, geht daraus hervor, daß wir technisch erst beim Hunderttausendstel davon angelangt sind. Mit der völligen Materieumwandlung brauchten wir nur $3,3 \cdot 10^5$ kg oder 3,3 Hundertstel Gramm Treibstoff je Sekunde pro Tonne. Der Uran-Kernzerfall ergäbe auch nur einen raketentechnischen Gütegrad von 4 %. Die Auspuffgeschwindigkeit dabei wäre erst 12 000 km/sec (s. S. 148).

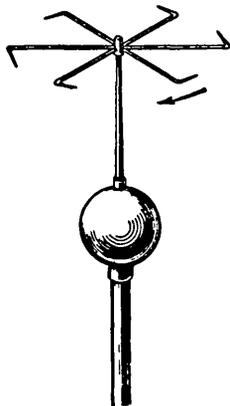
ELEKTORAKETEN — MIT ELEKTRISCHEM WINDE!

Einen genial hochfliegenden Zukunftsvorschlag machte kürzlich Oberth in der amerikanischen Zeitschrift „Radio Electronic“, indem er für die Raumfahrt von der Außenstation Elektroraketen vorschlägt, wofür er die Sonne als Energiequelle benutzen will. Er geht auf eine allbekannte Erscheinung zurück, die des elektrischen Windes, der darauf beruht, daß aus Spitzen ausströmende hochgespannte Elektrizität einen Rückstoß erzeugt, ganz ähnlich wie beim Segnerschen Wasserrade oder bei der Reaktionsturbine (s. S. 111). Ein physikalischer Apparat, der durch elektrischen Wind getrieben wird, ist im Bild auf Seite 156 dargestellt. Die Energie zur Erzeugung der für Weltraumfahrzeuge notwendigen Spannungen soll der Sonnenstrahlung entnommen werden. Hohlspiegel sollen sie sammeln und auf einen Kessel übertragen, der eine Turbine speist, mit deren Hilfe man über einen elektrostatischen Generator hohe Spannungen erzeugt. Für die zahlreich zu überwindenden Schwierigkeiten gibt Oberth überall einleuchtende Mittel und Wege an. Die Idee zu diesem Plane fin-

Amerikanische Raketen-Versuchsaufstiege

det sich übrigens bei Oberth schon in seinem Hauptwerke: Wege zur Raumschiffahrt (3. Aufl. München 1929) S. 409 f.

Sinn dieser Einrichtungen sei, dem Weltraumfahrzeug ständig neue Beschleunigungen erteilen zu können und damit die Reisedauer wesentlich



Physikalischer Apparat zur Darstellung des elektrischen Windes, der Grundlage eines Oberth'schen Vorschlages für den ständigen Beschleunigungsantrieb von Raumschiffen sein soll

herabzusetzen. Nach allen bisherigen Projekten reist man im interplanetarischen Raume antriebslos mit den Geschwindigkeiten, die dem Fahrzeug in den von ihm befahrenen Gegenden als Sonnentrabanten zustehen. Zusätzliche und womöglich dauernde Beschleunigungsantriebe aber — die übrigens nach diesem Projekt keine Energiekosten verursachen — brächten bei den langen Reisen zu anderen Planeten erheblichen Zeitgewinn. Oberth gibt einige Überschlagsberechnungen, die seinen Vorschlag gar nicht ungünstig erscheinen lassen, so theoretisch er an sich aussieht. Seine Durchführung müßte allerdings erst vollständig entwickelt werden.

WIE ES IN DER PRAXIS AUSSIEHT — AMERIKANISCHE RAKETEN-VERSUCHSAUFSTIEGE DER LETZTEN JAHRE

Leider sind wir mit alledem noch nicht so weit. Denn was noch immer geschieht, geht aus einem Bericht hervor, den die amerikanische Zeitschrift „Time“ veröffentlichte. Sie beschreibt darin einen Versuch, den die Amerikaner mit der deutschen V 2-Rakete gemacht haben. Diese ist ein Kriegswerkzeug, das man wie die „Panzerfaust“, den „Panzerschreck“ und V 1, die ja alle Raketengeräte darstellten, für die deutsche Kriegsführung im zweiten Weltkrieg entwickelt hatte. Der Bericht (1946) lautet: „Für den Druckknopfkrieg der Zukunft fand letzte Woche auf einem Versuchsfeld in New Mexico eine erste Probe statt. In einer staubigen

V 2- und Viking-Raketen

Wüstenpfanne bückten sich ein paar Hundert Berichterstatter, Photographen, Wissenschaftler, amerikanische und britische Generäle hinter Unterständen in sicherer Entfernung. Sie beobachteten eine Szene, die jeden Menschen mit Vorstellungskraft entsetzen muß. Neben einem pyramidenförmigen Betonbunker mit 3 m starken Wänden stand eine deutsche V 2-Rakete: ein schlanker, 15 m langer Körper. Ihre vier Schwanzflossen ruhten auf einer justierbaren Plattform, und ein großer Kran hielt sie in der Lage.

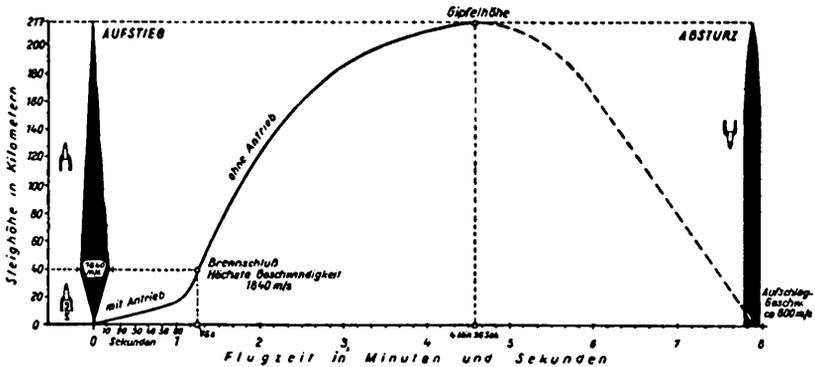
Der Kran wurde weggerollt und ließ V 2 allein zurück. Man sah dann zwei rote Lichtstreifen aus dem Blockhaus herauskommen, und die Techniker in ihre Löcher zurückschlüpfen. Zwei Minuten später schlug eine kleine orangefarbene Flamme aus der Basis der Rakete heraus. Die gewaltige Hauptladung entzündete sich mit pochendem Dröhnen, und eine Flut von Flammen ergoß sich über die Plattform. Die Rakete erhob sich langsam, zuerst so träge und zögernd, daß es schien, als ob sie an einer unsichtbaren Kette aufgehängt wäre. Dann nahm sie Geschwindigkeit an, dröhnte höher und höher und zog einen 20 m langen Strahl einer glänzenden Flamme hinter sich her. Sie stieg immer schneller, mit der Entfernung verminderte sich das Dröhnen, und der Feuerschweif zog sich zusammen, bis er wie ein glänzender, gelbroter Stern aussah. Dann verschwand er und hinterließ nur eine schwache, kräuselnde Spur von Rauch.

Eine Stunde später kamen die Berichte herein. Durch Radiomeßgeräte und erbeutete deutsche Instrumente verfolgt, war die Rakete 120 km in die Ionosphäre hinaufgeklettert; drei Minuten nach dem Start hatte sie ihren Gipfelpunkt erreicht und sich wieder nach unten gewendet und den Boden in 60 km Entfernung mit einer Geschwindigkeit von 3800 km je Stunde (1060 m je Sekunde, schneller als die schnellsten Artilleriegeschosse und dreimal so schnell wie die Schallgeschwindigkeit) getroffen. Die spezielle Versuchsrakete durfte nicht so hoch aufsteigen wie es möglich gewesen wäre (etwa 200 km), oder ihre volle Reichweite in der Waagerechten erreichen (360 km). Ihre einzige Zuladung war eine Funkmeß-Bake, um die Peilung zu erleichtern, und eine Gruppe von Versuchsinstrumenten zur Prüfung ihres Verhaltens beim Aufprall. Aber die Armee hat noch V 2-Raketen, von denen die meisten jetzt aus erbeuteten deutschen Teilen von der General Electric Comp. zusammengestellt werden. Sie hat die Absicht, wöchentlich eine Rakete abzuschießen. Man wird höher und weiter schießen und Instrumente mitschicken, die durch Radio jede Einzelheit ihres Verhaltens berichten werden.

Die deutschen Wissenschaftler brauchten zwölf Jahre, um V 2 zu entwickeln, die amerikanischen Fachleute mit Hilfe deutscher Techniker, die in ‚freiwilliger Schutzhaft‘ arbeiten, fast ein Jahr, um zu lernen, wie

Raketen-Versuchsaufstiege

man sie handhabt. Aber die amerikanische Armee hat nicht die Absicht, sich mit diesen Erfolgen aus zweiter Hand zufrieden zu geben. Sie wird bald mit der Arbeit an größeren Raketen mit größerer Reichweite beginnen, die zum Transport einer erheblichen atomaren Nutzladung konstruiert sind.



Darstellung von Weg und Zeit der Viking-Rakete Nr. 7. Man ersieht zugleich daraus, daß der Aufstieg mit ganz anderen Geschwindigkeiten und in ganz anderer Art vorstatten geht als der Absturz.

Die Rakete, die in der letzten Woche abgefeuert wurde, hatte ein Leergewicht von 5 Tonnen und führt 8 Tonnen Brennstoff. Der Tank für den Alkohol und den flüssigen Sauerstoff, den sie verbraucht, hat einen Inhalt von mehr als 9000 Litern und beansprucht mehr als die halbe Gesamtlänge. Wenn die Rakete abgeschossen wird, wird zunächst eine Turbine, die 580 PS entwickelt, in Betrieb gesetzt, und zwar durch den Dampf der chemischen Reaktion von Kaliumpermanganat und Wasserstoffsperoxyd. Die Turbine treibt Pumpen an, die Sauerstoff und Alkohol in die birnenförmige Verbrennungskammer pressen. Infolge der lebhaften Verbrennung schießt durch den Venturi-Ring ein Gasstrahl von 2000 m/sec Geschwindigkeit. So lange sich die Rakete noch langsam bewegt, wird ihre Senkrechtbewegung durch Flügel aus Graphit gesteuert, die den Gasstrom ablenken. Wenn sie dann große Geschwindigkeit angenommen hat, treten vier Ansätze an den Flossen an deren Stelle. Die Steuerung erfolgt durch Kreiselvorrichtungen, die vor dem Start eingestellt werden. Wenn die Rakete einmal in der Luft ist, kann sie nicht mehr auf einen neuen Kurs eingerichtet werden. Alles, was man dann noch tun kann, ist das Abschalten der Energie durch Radio. Letzte Woche ließ man den Strahl 59,4 Sekunden lang frei. Wie die Fachleute des Heeres hoffen, werden die Supervergeltungswaffen der Zukunft gelehriger sein.“

Raketen-Versuchsaufstiege

Obwohl diese Schilderung längst überholt ist, bringe ich sie hier dennoch, weil sie in mancherlei Hinsicht die ganze Situation um die Raketen- und Weltraumforschung charakterisiert. Die ganze Angelegenheit ist in die Hände der bald gewaltigsten und leistungsfähigsten Militärmacht der Erde übergegangen. Dennoch oder vielleicht sogar gerade deshalb dürfen wir hoffen, daß die Probleme viel schneller der Lösung nähergebracht werden, als es sonst geschehen wäre.

Ein neuerer Bericht über den Aufstieg einer Einstufenrakete ist in der „Weltraumfahrt“ enthalten. Er betrifft die „Viking“-Rakete Nr. 7, die am 7. 8. 1951 von ihrem Start von White Sands Proving Ground (New Mexico) einen Höhenrekord mit 217 km erreichte. Die Höchstgeschwindigkeit betrug nach 75 Sekunden Brennzeitdauer 6560 km je Stunde oder 1835 m/sec. Der Einschlagpunkt der rückkehrenden Rakete lag 65,5 km nördlich vom Startpunkt. Der Brennstoff bestand aus flüssigem Sauerstoff und Äthylalkohol. Bei Brennschluß hatte die Rakete 40 km Höhe erreicht, die anderen 177 km erzwang sie mit ihrer auslaufenden Geschwindigkeit. Zur Erreichung ihrer Gipfelhöhe brauchte sie 4 Minuten und 35 Sekunden. Sie trug bis dahin eine 410 kg schwere Meßausrüstung.

<i>Daten der Viking-Rakete Nr. 7:</i>		Treibstoffgewicht	3350 kg
		davon:	
Gesamtlänge	13,7 m	Flüssigkeitssauerstoff	1700 kg
Durchmesser	0,81 m	Äthylalkohol	1530 kg
Durchmesser am Leitwerk	2,5 m	Wasserstoffsperoxyd	120 kg
Startgewicht	5150 kg	Startgewicht ohne Nutz-	
Leergewicht	1800 kg	last	4250 kg
Treibstoffgewicht	3350 kg	Nutzlast (veränderlich)	50...900 kg

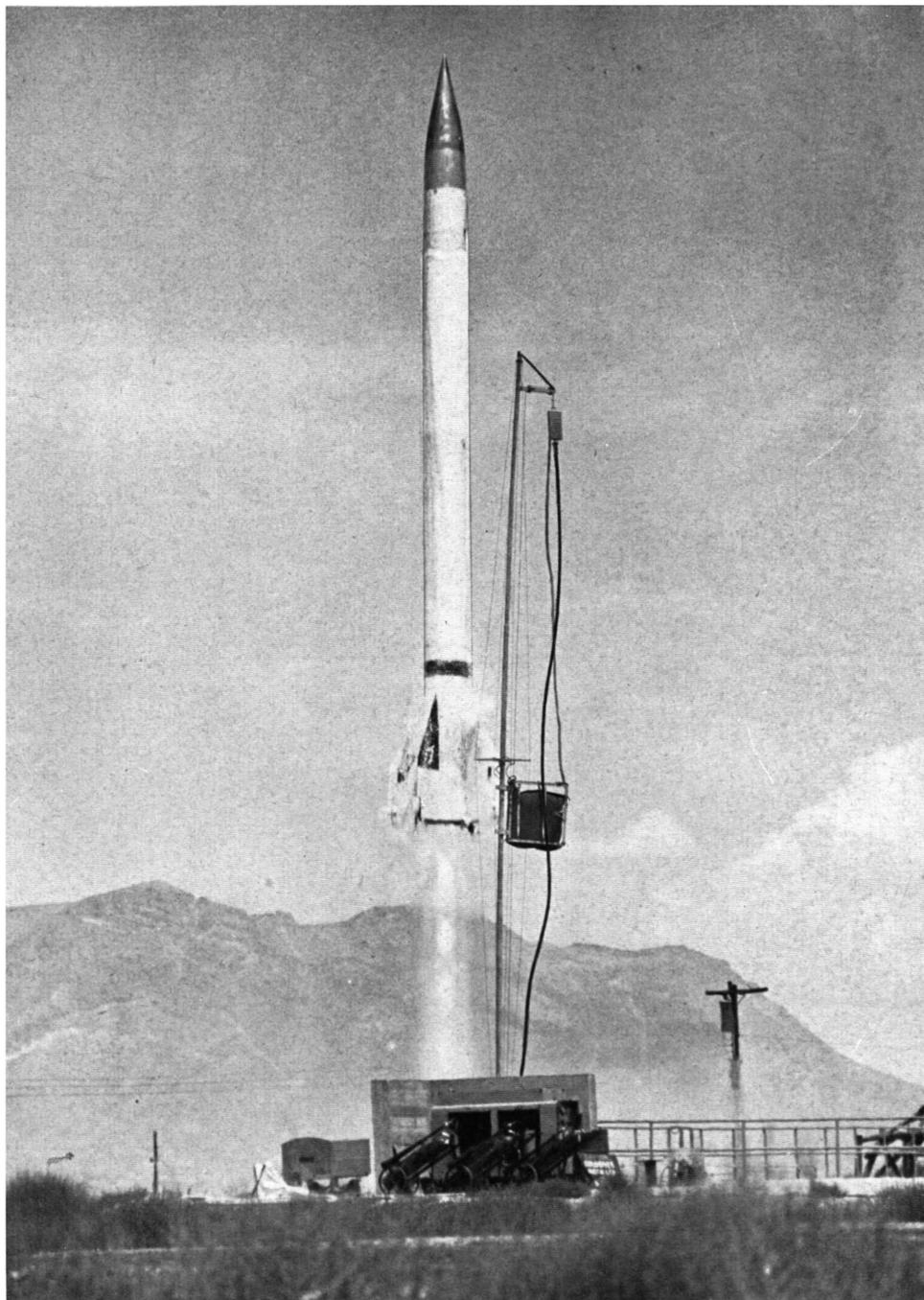
Vor diesem Rekord hielt eine V 2 mit 182 km Gipfelhöhe den Rekord für einstufige Raketen. Absolut am höchsten stieg am 24. 2. 1949 eine zweistufige Rakete, die aus einer V 2 und einer Wac-Corporal zusammengebaut war, die 412 km Höhe erzielte. Die V 2 hatte ein Bruttogewicht von 11,5 Tonnen, ein Nettogewicht von 2,6 Tonnen, also 8,9 Tonnen Brennstoff. Die aufgesetzte Wac-Corporal hatte 0,3 Tonnen Start- und 0,138 Tonnen Leergewicht. Das Massenverhältnis war also 8,8. Kurz vor Brennschluß hatte die obere Stufe dieser Rakete 2220 m Höchstgeschwindigkeit in der Sekunde. Während die untere Stufe nach vorheriger Berechnung und effektiv 30 km vom Startpunkt in die mexikanische Wüste fiel, kamen die Reste der oberen Stufe 130 bis 150 km nördlich nieder. Die Wac-Corporal ist ein kleiner, 5 m langer zylindrischer Körper von nur 30,5 cm Durchmesser. Ihr Brennstoff ist Anilin, während als Sauerstoffträger rauchende Salpetersäure dient. Sie entzündet sich unverzüglich von selbst einfach durch Zusammenfließen der beiden Flüssigkeiten. Sie brennt

nur 38 Sekunden und entwickelt einen durchschnittlichen Rückstoß von 680 kg bei einer Auspuffgeschwindigkeit von etwa 2000 m/sec.

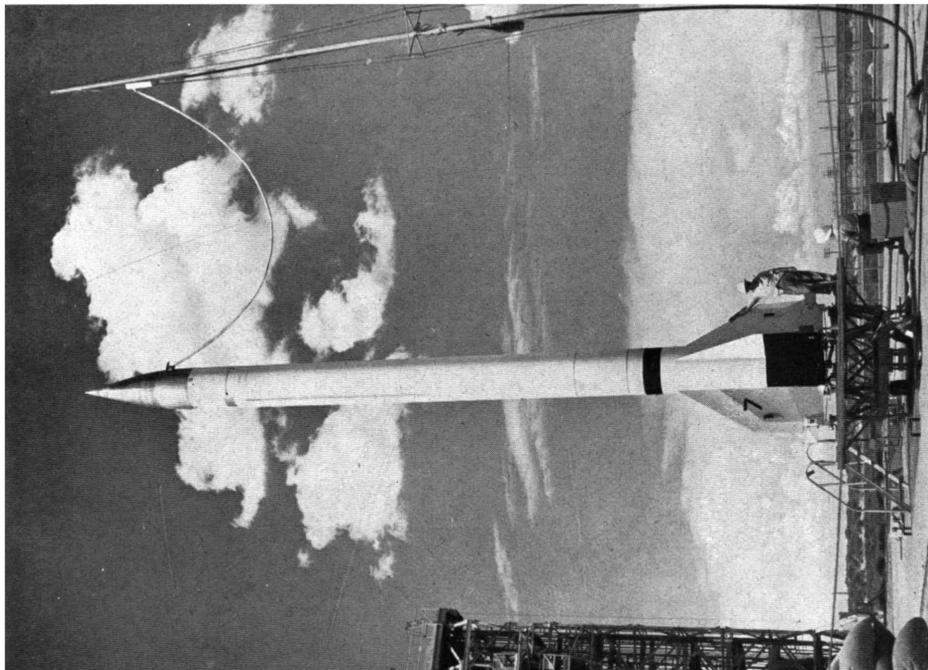
Es mag interessieren, wie manche Dinge zu ihrem Namen kommen, die zwar Schall und Rauch sein sollen, aber doch immerhin ihre Bedeutung nicht übersehen lassen. Die WAC-Corporal z. B. stand zur Debatte. Wie Ley berichtet, schlug jemand, der Sinn für Humor hatte, für diese kleinen schlanken Dinger vor, sie den Damen der Armee zu widmen, die im Women's Army Corps Dienst taten. So wurde diese Raketenserie als WAC getauft. Man baute zuerst eine Serie WAC-Private. Aber eine für die Armee wirklich brauchbare kam erst später zustande. Sie hieß dann WAC-Corporal. Anscheinend hielt man also von der WAC allein nicht so sehr viel. — Man wundert sich, daß das die in USA fast allmächtigen Damen nicht erheblich in Harnisch gebracht hat — —

Die Geschwindigkeiten der einzelnen Stufen addieren sich. Das ist von großem Vorteil. Für eine einstufige Rakete läßt sich die Höchstgeschwindigkeit aus den beiden Angaben Auspuffgeschwindigkeit und Massenverhältnis errechnen. Wer es versteht, findet es aus der Formel Raketen-
geschwindigkeit = Auspuffgeschwindigkeit mal Logarithmus naturalis
des Massenverhältnisses ($v = c \cdot \ln M_0/M_1$). Dann bekommt man allerdings nur den Wert für den Fall, daß weder Luftwiderstand wirkt noch Schwere. In der Praxis ist also die Raketen-Höchstgeschwindigkeit wesentlich geringer. Je kleiner die Rakete und je kürzer ihre Brenndauer ist, desto geringer wird die Höchstgeschwindigkeit und damit auch die erreichte Höhe. Bei der V 2 erzielte man 70 % der errechneten Höchstgeschwindigkeit. Bei ihr war das Massenverhältnis 3. Errechnet man aus der erreichten Höchstgeschwindigkeit der obersten Stufe das Gesamtmassenverhältnis, so ergibt es sich ebenso, wie wenn man die Massenverhältnisse der Einzelstufen miteinander multipliziert. Man kann danach ausrechnen, daß man mit einer Dreistufenrakete einen künstlichen Mond um die Erde schaffen kann.

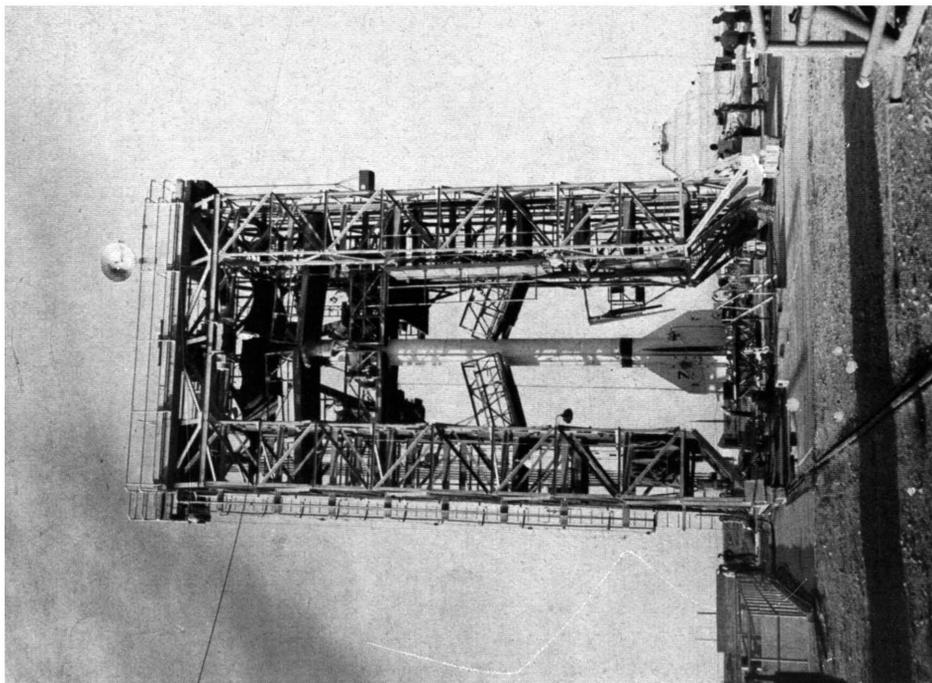
Tatsächlich hat die amerikanische Regierung Auftrag gegeben, Studien über die Errichtung und den voraussichtlichen Wert einer solchen Station anzustellen. Wir erfuhren (s. S. 92), daß eine Beschleunigung auf eine Raketengeschwindigkeit von etwa 8 km/sec nötig ist, um eine Kreisbahn um die Erde zu erzielen. Natürlich muß dieser Körper außerhalb der Erdatmosphäre laufen, um von dieser nicht behindert zu werden. Man wird ihn also in mindestens 1000 km Entfernung von der Erdoberfläche laufen lassen. Aus anderen Gründen (s. S. 54) wird man zweckmäßig noch weiter gehen, wobei dann die Geschwindigkeit in der Kreisbahn geringer ist. Wählt man eine Dreistufenrakete und nimmt für jede Stufe ein Massenverhältnis von 3,5 an, so käme man für die dritte Stufe auf eine Endgeschwindigkeit von etwas über 8,6 km/sec. Wie sich das zusammensetzt,



„Viking“ während des Abschusses. Brenndauer 75 Sekunden, Brennschlußhöhe 40 km.
In 4 Min. 23 Sek. erreichte Höhe: 216 km. Erbauer: Glenn L. Martin Co., Baltimore, Mad.



„Viking“ kurz vor dem Start



„Viking“, Höhenforschungsrakete der US-Marine

Pläne für Raumfahrt-Raketen

geht aus der untenstehenden Rechnung hervor. Nun ist in der ersten Stufe der Geschwindigkeitsverlust durch Luftwiderstand und Schwere bei einer großen Rakete etwa 20 %, in der zweiten vielleicht 10 % und in der dritten nur noch 5 %. Man käme dann wahrscheinlich auf die in der letzten Spalte verzeichneten Geschwindigkeiten, und insgesamt statt der theoretischen von 8,625 km auf 7,618 km/sec.

Stufe	errechnete Höchstgeschwindigkeit	vermutlicher Verlust	vermutliche Raketen- geschwindigkeit
I	2875 m/sec	20 %	2300 m/sec
II	2875 "	10 %	2587 "
III	2875 "	5 %	2731 "
	8625 m/sec		7618 m/sec

In 1000 km Höhe über dem Erdboden ist jedoch die Kreisbahngeschwindigkeit noch geringer als 7,6 km/sec.

Man hat zuerst an eine unbemannte Rakete gedacht, die man in jene Höhen schicken will. Diese muß nicht bloß hinaufgebracht, sondern auch in die Kreisbahn gezwungen werden. Sie wird zwar keine solche bleiben, sondern eine elliptische Bahn werden, aber das machte für ihren Wert wenig aus, wenn die Ellipse so kreisähnlich bliebe, wie es theoretisch aussieht. Leider ist das nicht ohne weiteres der Fall, und dabei könnte die Station evtl. einmal abstürzen. Deshalb wäre an sich eine bemannte Station sehr viel besser.

Ley kommt bei einer Berechnung des Startgewichts der dreistufigen Rakete auf 105 Tonnen, wobei ein Instrumentenkopf von 100 kg um die Erde liefe. Man müßte diesen so ausstatten, daß man die Instrumente von der Erde aus ablesen könnte, da er ja keine Bemannung trägt. Das könnte natürlich nur durch Wellensignale geschehen, wozu der Instrumentenkopf Akkulatoren als Speisungsquelle brauchte. Man könnte Ablesungen natürlich nur so lange machen, wie diese Quelle ausreicht. Lange dauerte diese Herrlichkeit also nicht. Aber auch während dieser kurzen Zeit könnte man mancherlei wichtige Messungen machen, z. B. die Temperatur der Eigenstation, die sich aus Zustrahlung von der Sonne her und durch Abstrahlung in den Raum ergäbe, ferner die Temperaturveränderung infolge des Eintauchens der Station in den Erdschatten. Das geschähe alle 100 Minuten, denn so lange brauchte die Station zu einem Erdumlauf. Wichtig wäre ferner die Aufnahme des vollständigen Sonnenspektrums, das wir von der Erde aus nicht bekommen, weil Teile davon durch die Atmosphäre verschluckt werden. Man könnte schließlich auch ein Signal bekommen für den Fall, daß die Station von einem Meteoriten getroffen

würde. Wären diese nur Bruchteile eines Kilogramm schwer, so änderte sich dadurch schon die Bahn der Station, und das ließe sich durch Nachprüfung von der Erde aus feststellen. Allerdings wären solche Feststellungen dadurch erschwert, daß ein solches Meteor die Station völlig durchschlagen und wieder austreten könnte oder auch vielleicht in ihr stecken bliebe. Liefe eine solche Station dauernd um die Erde, so könnte sie in den Äquatorbreiten der Navigation dienen, denn sie durchstriche während einer Minute immerhin fast vier Bogensekunden. In höheren Breiten verdeckte die Erdwölbung ihre Sichtbarkeit schon.

Ein Experiment dieser Art wäre immerhin wertvoll, ehe man sich zu entschließen brauchte, eine bemannte Station errichten zu wollen. Eine solche könnte selbstverständlich noch viel wertvollere Ergebnisse erbringen, in erster Linie für die geophysikalische Forschung. Wir wollen vor allem Bescheid wissen über die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre in allen ihren Schichten, über die Schichtung selbst und ihre periodischen und unperiodischen Veränderungen. Die periodischen haben wahrscheinlich jährliche und tägliche, vielleicht auch eine Schwankung, die mit der Sonnenfleckenperiode zusammenhängt. Weiter interessieren die elektrischen Zustände der Erdatmosphäre (Ionisation) und damit im Zusammenhang die erdelektromagnetischen Erscheinungen und ihre Veränderungen. Das ist wichtig für die Nachrichtenverbindung unter verschiedenen Wellenlängen mit Raumschiffen, die wahrscheinlich dadurch beeinflusst wird. Wir wollen die Höhe der Atmosphäre und die Zustände an ihrer Grenze kennenlernen, ferner die Vorgänge bei der Abschirmung der durchdringenden Strahlung (s. S. 224), die Filterung der Wärmeeinstrahlung und die Meteoritengefahr in allen ihren Zusammenhängen. Diese Kenntnisse sind notwendig, bevor man ernsthaft an die Weltraumschiffahrt selbst herangehen kann.

Was man jetzt an Messungen aus großen Höhen mit unbemannten Raketen herunterbringt, ist mit mancherlei Mängeln behaftet. Aus der fallenden Rakete werden Teile mit Fallschirmen ausgeworfen. Sie enthalten Kammern, die sich in bestimmten Höhen öffnen, um Luft einzunehmen, deren Zusammensetzung und Druck man bestimmt, Temperaturen werden in bestimmten Höhen gemessen u. ä.

TECHNISCHE ZUKUNFTSMUSIK

Ob es richtig ist, solchen Apparaten überhaupt die gewöhnlichen Konstruktionen zugrunde zu legen, erscheint sowieso fraglich. Wir suchen natürlich nach technischen Möglichkeiten, mit den jetzigen Hilfsmitteln Aufgaben zu bewältigen, die auf jeden Fall nur Spitzenleistungen sein können. Wir müßten daran denken, daß solche Leistungen, bei denen wir

mit kosmischen und für uns bisher ganz ungewohnten Geschwindigkeiten rechnen, auch andere Hilfsmittel erfordern. Der Physiker denkt in erster Linie immer wieder an die Möglichkeit, die ungeheuren Energien durch Atomzertrümmerungen zu gewinnen. Da uns das bisher noch nicht gelungen ist, wäre es falsch, dergleichen Dinge in eine reale Kalkulation einzusetzen. Blickt man aber in die Zukunft hinaus, so wird man dergleichen doch immerhin für möglich und erwägenswert halten müssen. Erst solche Energiequellen bieten die Möglichkeit, die riesigen Aufgaben zu bewältigen, mit denen wir uns jetzt mit anscheinend immerhin noch unzulänglichen Mitteln abmühen, denn es besteht keine Frage, daß wir mit Hilfe der jetzigen Treibmittel nicht in der Lage sind, Weltraumreisen auszuführen, bei denen wir uns *ständig* eine zulässige Beschleunigung erteilen und von bestimmter Zeit ab diese auch wieder abbremsen. Mit den Raketenschiffen können wir uns wohl Geschwindigkeitsänderungen bis zu 5, vielleicht auch 10 und 15 km in der Sekunde erteilen, wir können auch Richtschüsse geben, um damit im Weltraum Raketen zu steuern, wir können auch unsere Geschwindigkeit abbremsen, aber wir fahren doch immerhin mit unseren Schiffen selbst zu den nächsten Planeten viele Monate, ja viele Jahre und dürfen nicht hoffen, mit diesen Hilfsmitteln sehr weite Reisen selbst bloß im Sonnensystem zu unternehmen — von Reisen in den Stellarraum ganz abgesehen.

Bei den bisherigen Möglichkeiten sind wir im wesentlichen darauf angewiesen, die Sonnenstrahlung für die Beheizung und für andere Dienstleistungen während der Raketenfahrt als Energiequellen zu benutzen. Wollen wir weitere Fahrten hinaus machen, weit weg von der Sonne, so reicht ihre Strahlung dazu nicht mehr aus, und wir müßten auch aus diesem Grunde andere Energiequellen besitzen, die uns dienen.

Dr. Franz v. Hoefft hat Überschlagsrechnungen angestellt, zu welchen Möglichkeiten wir gelangen, wenn wir bisher unbekannte Energiequellen benutzen, wie wir sie uns vorstellen. Wir könnten dann oberhalb der Erdatmosphäre Strecken wie von Berlin bis New York in einer knappen halben Stunde, nach Neu-Seeland in dreiviertel Stunden, bis zum Monde in $3\frac{1}{2}$ Stunden zurücklegen. Wir wären in der Lage, Fahrten zur Venus je nach der gegenseitigen Stellung der Planeten Erde und Venus in 35 bis 90 Stunden, zum Mars in 46 bis 110 Stunden, zum Jupiter in 5 Tagen, zum Saturn in 8, zum Uranus in 11 und zum Neptun in 16 Tagen zurückzulegen. Den nächsten Stern, Alpha Kentauri, könnten wir mit etwa Lichtgeschwindigkeit, also in 4 bis 5 Jahren erreichen. Es träten dann die Merkwürdigkeiten ein, die bei Reisen mit Lichtgeschwindigkeit von den Relativitätstheoretikern vorausgesagt werden, nämlich daß die mit Lichtgeschwindigkeit Reisenden nicht älter werden. Wir könnten das unmittelbar durch den Versuch prüfen.

Die Form der Rakete

Ich bitte aber die Leser, nun nicht etwa hinzugehen und zu erzählen, ich hätte dergleichen als möglich unterstellt. Vielleicht ist einiges davon wirklich nicht unmöglich, aber ehe wir diese „Möglichkeit“ erreichen, dürfte noch einige Zeit vergehen.

DIE RAKETE EIN VERBESSERTES FLUGZEUG?

Man trifft weitverbreitet die Meinung an, daß die Raketenschiffahrt etwas ganz Ähnliches sei wie das Fliegen in Flugzeugen. In keinem Falle trifft das zu, und es sind auch nur verhältnismäßig wenig Berührungspunkte beider Gebiete vorhanden. Das Luftschiff schwimmt in der Luft und stößt sich an ihr ab. Das Flugzeug bedient sich nur des dynamischen Auftriebes, der indirekt aus dem Motor stammt. In jedem Falle braucht es dazu eine Atmosphäre. Die Rakete hingegen bedient sich keines der beiden Mittel. So lange sie sich in der Luft befindet, bedient sie sich lediglich der Steuerfläche, vielleicht auch noch einer Art Fallschirm zur Abbremsung ihrer Bewegungswucht. Eine Atmosphäre braucht sie nicht, wenn sie auch in einer dünnen schnell und billig fahren kann. Die Probleme für die Weltraumschiffahrt sind deshalb ganz anderer Art als für das Fliegen nach der bisherigen Weise.

RAKETE UND KANONE

Aber auch mit dem Kanonengeschoß hat die Rakete herzlich wenig zu tun. Sie wird ja nicht abgeschossen und landet auch nicht blindlings wie ein Geschoß, dem man sein Landungsziel schon beim Abschuß vorschreibt, sondern sie steigt selbsttätig durch innere Kraft auf und vermag sich unterwegs selbsttätig Bewegungs- oder Richtungsantriebe zu erteilen. Es liegt auch in der Natur der Sache, daß die Rakete mit ganz anderen Geschwindigkeiten fährt als Fahr-, Flugzeuge oder Luftschiffe und selbst als Geschosse.

DIE FORM DER FLUGZEUGE UND DER RAKETEN

Auch die physikalischen Probleme sind bei der Rakete ganz andere als etwa beim Flugzeug oder Luftschiff. Wenn dieses die Luft durchschneidet, so geschieht das immer mit Geschwindigkeiten, die unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegen. Diese macht etwa 330 m aus. Die Formgebung in der Luft schwimmender oder fliegender Körper ist von der Geschwindigkeit abhängig. Fliegt der Körper mit geringerer als Schallgeschwindigkeit, so strömt die Luft hinter ihm wieder zusammen. Dieses Zusammenströmen muß man durch die Form des Hinterteils möglichst erleichtern.

Flugzeug oder Rakete?

Die Spitze ist deshalb die richtige Hinterteilsform. Schneidet man dagegen einen solchen fliegenden Körper hinten glatt ab, wie zum Beispiel manche Infanteriegeschosse sind oder waren, so wirkt die Luft hinten saugend und hält den fliegenden Körper zurück. Man könnte deshalb meinen, die Geschosse hätten eine falsche Form. Das trifft aber nicht zu, weil sie mit größerer als der Schallgeschwindigkeit durch die Luft schießen. In diesem Falle kann nämlich die Luft hinter dem Geschoss nicht sofort zusammenströmen, so daß unbedingt ein Vakuum entsteht, dessen Rückzugkraft auf den fliegenden Körper von seiner Geschwindigkeit unabhängig ist, sofern sie überhaupt erst einmal die Schallgeschwindigkeit überschritten hat. Die Rakete, die nur in den ersten zehn Sekunden etwa eine geringere als die Schallgeschwindigkeit besitzt, braucht also darauf gar keine Rücksicht zu nehmen; sie kann ebenso wie die Geschosse hinten eine beliebige Form haben; der „Sog“ ist nicht mehr wirksam, auch deshalb nicht, weil die Auspuffgase das Vakuum füllen. Die Rakete arbeitet nach eigenen Gesetzen, und bei ihr treten neue Gesichtspunkte auf, an deren Berücksichtigung man sich erst gewöhnen muß.

FLUGZEUG ODER RAKETE?

Es fragt sich nun, ob es denn notwendig ist, solche neuen Fahrzeuge zu entwickeln, wenn man nicht gerade in den Weltraum hinaus will. Es ist doch vielfach davon gesprochen worden, daß man solche Raketenschiffe in erster Linie auch für große irdische Reisen verwenden will. Ist das aber noch notwendig, nachdem die großen Zeppelinluftschiffe die ungeheuren Wege über die Weltmeere zurückgelegt haben? Nachdem Flieger in kühnen Überquerungen bewiesen haben, daß man auch mit einem Flugzeug die ungeheuren Strecken über Weltmeere zurücklegen kann?

Noch Ende der zwanziger Jahre waren wohl die großen Zeppelinluftschiffe so weit, daß sie Fahrten über den Atlantik mit Nutzlasten ausführen konnten, aber die Flugzeuge waren damals nichts als riesige fliegende Benzintanks, die mit Ach und Krach gerade den Atlantik zu überqueren vermochten. Die fabelhafte Entwicklung der Technik der Explosionsmotoren aber hat eine völlige Wandlung zuwege gebracht. Es war ein Idealziel der Flugmotorentechnik, 1 kg je Pferdestärke zu wiegen. Darüber sind wir weit hinaus. Und sollten gar die erträumten und erhofften neuen Energiequellen, wie sie die Atomzertrümmerung liefern könnte, für uns technisch greifbar werden, so ist nicht abzusehen, wohin das für die Flugtechnik noch führen kann, denn beim Fliegen in Luft könnte man Atomenergie anwenden. Hätte man die Möglichkeit, sie auch in der Raketentechnik spielen zu lassen, so könnte man alles tun, was der Rakete bei den jetzigen Treibmitteln verwehrt ist. Es wäre dann beinahe

Die Erd-Atmosphäre

an Raketenfahrten im interstellaren Weltraum zu denken, wenn man allerdings die Hoffnungen auf diese Ausweitung auch nicht überspannen dürfte, denn das Reisen mit Lichtgeschwindigkeit ist auf jeden Fall unmöglich. Aber mit Geschwindigkeiten, die in die Nähe dieser kämen, könnte man rechnen. Wohin man dann allerdings fahren wollte, wäre nicht recht ersichtlich. Denn selbst der nächste Fixstern ist von uns derart weit entfernt, daß Fahrten bis in seine Nähe für ein Menschenleben viel zu lange dauerten. Der Nutzen so weiter Fahrten wäre auch nicht recht einzusehen. Durch die unabänderlichen Tatsachen von Zeit und Raum und ihre Beziehung zueinander sind wir auf jeden Fall an unser Planetensystem gebunden.

DIE ABHÄNGIGKEIT DES FLUGZEUGS VOM WETTER

Geben wir selbst eine solche Entwicklung zu, so sind wir doch nicht sicher, daß wir einen gefahrlosen Verkehr, namentlich mit Flugzeugen entwickeln können. Sie hängen nur allzusehr von der Witterung ab. Diese darf aber schließlich den Verkehr nicht so stark beeinflussen. Sie tut es zwar selbst unter Umständen bei den Eisenbahnen noch, wenn auch in sehr geringem Maße, denn daß Unwetter den Weg eines großen Zuges aufgehalten hätte, ist ein seltener Fall; er beschränkt sich zumeist auf besonders starken Schneefall, auf Schneeverwehungen oder auf Zerstörungen des Unterbaues (durch Unterspülungen z. B.). Die Fahrzeuge aber sind von der Witterung ziemlich unabhängig. Ähnliches müßte natürlich auch für den Flugverkehr über den Ozean der Fall sein, wenn man von einem gesicherten Verkehr sprechen will. Es müßten aber ganz neue Fahrmethoden und Fahrzeuge erfunden werden, wenn man von der Witterung unabhängig sein will. Es ist eben schwer möglich, innerhalb eines wildbewegten Mediums mit verhältnismäßig geringer Energie gefahrlos zu reisen.

DIE ZWIEBELSCHALEN DER ATMOSPHERENSCHICHTEN

Nun ist aber bekannt, daß die Witterungsvorgänge im wesentlichen auf die unteren 10 km beschränkt sind. Darüber liegt eine Luftschicht, in der Wolken nicht mehr schwimmen. Diese Tatsachen sind erst durch die Wegenerschen Forschungen richtig bekannt geworden, der dartat, daß die Atmosphäre den Erdball in Schichten umgibt. Wir müssen darauf etwas näher eingehen.

Wohl jeder hat von der Zusammensetzung der irdischen Atmosphäre gehört und weiß, daß sie der Hauptsache nach aus Stickstoff und Sauerstoff besteht. Daneben findet sich ein mehrprozentiger Anteil von Kohlen-

Die Erd-Atmosphäre

säure, Wasserdampf sowie Spuren der Edelgase Argon, Neon, Xenon, Krypton. Diese Bestandteile und Gase haben alle zwar verschiedene spezifische Gewichte, aber die Mischung bleibt im großen und ganzen doch unverändert. Man nahm bis vor einem halben Jahrhundert an, daß sie auch für die verschiedenen Höhen so sei wie hier am Grunde des Luftmeeres, waren doch selbst die höchstgestiegenen Luftballone nicht über 5 km Höhe hinaufgelangt. Man vermied es, wesentlich höher zu steigen, weil man erfahren hatte, daß die Atmung in größeren Höhen erhebliche Beschwerden mit sich bringt. Die Luft ist dort sehr viel dünner und wird es mit zunehmender Höhe immer mehr. Wie alle Gase, ist sie stark kompressibel (zusammendrückbar), so daß die alleruntersten Schichten den größten Teil des gesamten, doch immerhin 800 bis 1200 km dicken Luftmantels der Erde enthalten. Oberhalb der sogenannten C-Region der Atmosphäre, die bei etwa 50 km Höhe angetroffen wird, liegt nur noch $\frac{1}{64}$ der Luftmasse. Im Ganzen ist diese sehr groß, denn die überlastende Luft ist so schwer, daß sie auf jeden Quadratcentimeter der Erdoberfläche mit etwa mehr als 1 kg drückt. Das ist so viel wie eine darauf stehende Quecksilbersäule von 76 cm Höhe und besagt, daß die Masse des Luftmantels der Erde gleich einem die ganze Erde bedeckenden Quecksilbermeere von $\frac{3}{4}$ m Tiefe ist oder — um ein anderes Bild zu gebrauchen — die Erde ist von einer Luftmasse umgeben, die einem $1\frac{3}{4}$ m dicken Eisenpanzer entspricht. Diese Veranschaulichungen flößen uns vielleicht einen gewissen Respekt vor dem irdischen Luftmantel ein und machen uns seinen Widerstand gegen schnelle in ihm bewegte Körper wie Automobile, Flugzeuge oder gar Geschosse und Raketen begreiflich und verständlich. Mit kosmischen Schnelligkeiten bewegte Körper wie in die Atmosphäre eindringende Meteore finden selbst in den höchsten dünnsten Luftschichten einen derartig hohen Widerstand, daß sie, deren durchschnittliche Geschwindigkeit 42 km in jeder Sekunde beträgt, zum Stillstand gebracht und durch die große Reibung an der Luft äußerlich glühend werden, ja sogar manchmal verbrennen und zerstieben. Und das geschieht in Höhen von 240 bis 90 km, wo wir durch Armbewegungen keine Spur von Luft mehr feststellen könnten.

In solchen Höhen ist aber auch die Zusammensetzung der Luft anders als in denjenigen Sphären, in denen wir leben. Man erkennt das an den Erscheinungen, die in verschiedenen Höhen beobachtet werden können. Und da wir in der Spektralanalyse ein Mittel besitzen, die chemische Natur der Stoffe zu erkennen, wenn sie gasförmig sind und glühen, so vermögen wir auch festzustellen, in welchen Gasen das Aufglühen von Meteoriten vor sich geht. Deren Höhe aber läßt sich durch feldmesserische Methoden ermitteln. So erfahren wir, daß die Atmosphäre in jenen Höhen der Hauptsache nach aus Wasserstoff besteht.

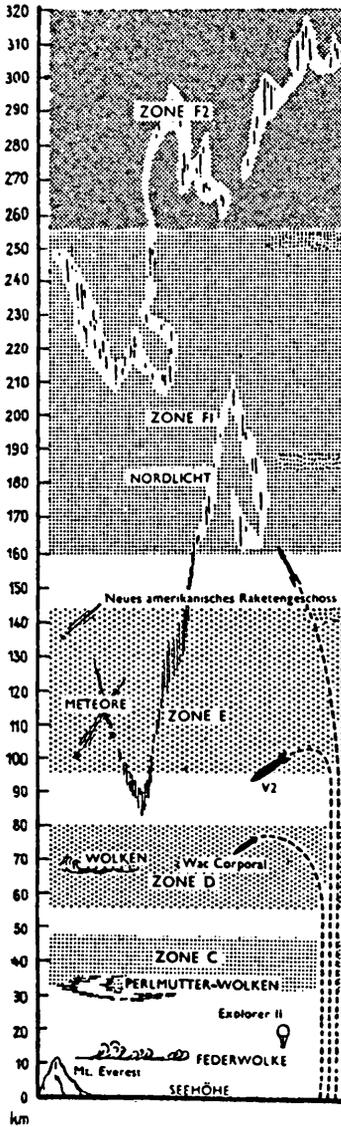
Tropo- und Stratosphäre

Aber das ist nicht die einzige Feststellung. Viel wichtiger noch ist die, daß nach oben hin nicht bloß die Luftdichte abnimmt und die Luftzusammensetzung sich ändert, sondern daß die Atmosphäre geschichtet ist, und daß diese Schichten in ziemlich scharfen Grenzzonen aufeinander liegen. Alfred Wegener, der rühmlichst bekannte Grönlandforscher, machte schon kurz nach der Jahrhundertwende darauf aufmerksam. Danach liegt die erste Schichtgrenze in einer Höhe von 9 bis 12 km; an den Polen ist sie niedriger, am Äquator höher. Unterhalb dieser Schicht liegt die sogenannte *Troposphäre*. Sie enthält die dicksten Luftschichten. Darüber lagert eine zweite Schicht, die sogenannte *Stratosphäre*. Eine Durchmischung beider findet an der Schichtgrenze kaum statt. Diese Schicht reicht etwa 70 bis 75 km hoch. Sie besteht im wesentlichen aus Stickstoff, vielmehr jedenfalls als die Troposphäre. Über der Stratosphäre liegt eine neue Schicht, in der Stickstoff fast gar nicht mehr vorhanden ist, die im wesentlichen aus Wasserstoff besteht, und deshalb *Wasserstoffosphäre* heißt. Sie reicht etwa 260 km hoch. In ihr hauptsächlich finden die elektrischen Vorgänge statt, die wir als Polarlichter beobachten.

Damit hat aber die Atmosphäre nach oben hin ihre Grenze noch lange nicht erreicht, sondern darüber liegt noch eine Schicht, die sicher wieder anders zusammengesetzt ist, von der man aber noch nichts Genaueres weiß. Sie mag 500 bis 800, vielleicht sogar 1200 km hoch reichen, und dort dürfte ungefähr die Grenze der Erdatmosphäre überhaupt liegen.

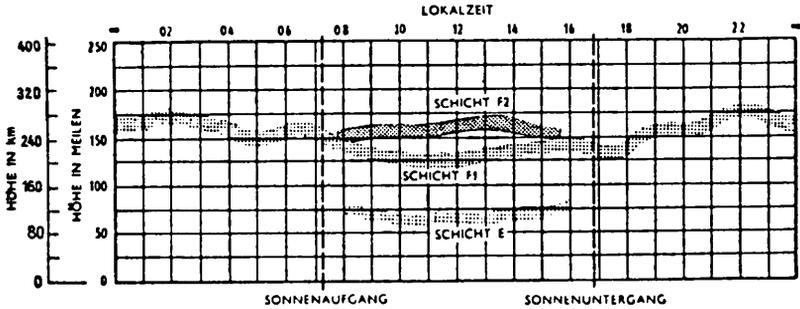
Während die Untersuchung der Luft in größeren Höhen bisher erheblichen Schwierigkeiten begegnete, da man mit Ballonen nur bis 22,5 km Höhe gelangt ist — Mitte der 30er Jahre wurden Anderson und Stevens in dem Stratosphärenballon „Explorer II“ so hoch emporgetragen — und Registrierballone mit ihren geringen Möglichkeiten auch nur etwa 10 km höher gelangt sind, bieten die Raketen jetzt bereits ganz andere Möglichkeiten. Die von den Deutschen zuletzt benutzten V-2-Geschosse drangen im Weltkriege bis zu 130 km Höhe empor, um erst danach wieder niederzuziehen. Die Amerikaner haben mit der „Wac Corporal“ allein 70 km Höhe erreicht. Dieses Geschöß wog über eine halbe Tonne und war fast 5 Meter lang. Sie rüsten jetzt Registrierraketen mit neu konstruierten selbstregistrierenden Meßinstrumenten für die verschiedenartigen Feststellungen aus, in erster Linie zur Erforschung der kosmischen Strahlung, der Sonnenstrahlung, der Temperatur, der Zusammensetzung sowie der Ionisierung der Luft in verschiedenen Höhen. Die neuen Registrierinstrumente ermöglichen, sehr genaue Messungen von diesen und anderen Zuständen in großen Höhen zu gewinnen. Es wurden verschiedene Arten von Raketen mit luftleeren Kammern versehen, die sich in bestimmten Höhen automatisch öffnen und wieder verschließen, um den Druck und die Luftzusammensetzung in bestimmten Höhen zu

Tropo- und Stratosphäre



Querschnitt der Ionosphäre

Die Ionosphäre



Zum Tageswechsel der Ionosphäre

Die Ionosphäre im Monat Juni über Canberra, der Hauptstadt des australischen Bundes. — Die Schicht E verschwindet unmittelbar vor Sonnenuntergang. Nach Einbruch der Nacht hebt sich die Schicht F 1 zu einer Höhe, die ungefähr der Höhe der Tagzeitschicht F 2 gleichkommt. Die Höhe der ionisierten Regionen ist je nach den Jahreszeiten und über den Erdteilen ziemlich verschieden

messen. Vom Boden aus kontrolliert man die Höhen und betätigt die Luftkammern evtl. durch Radiobeeinflussung. Andere Instrumente löst man auf gleiche Weise bei bestimmten Höhen von der Rakete, um sie mittels Fallschirms zu Boden fallen zu lassen, während die Rakete selbst beim Aufschlag auf den Boden zerstört oder beschädigt wird. So lassen sich auch Luftwiderstand, elektrische und andere Erscheinungen messen, so daß wir binnen kurzem von den Eigenschaften und Zuständen der höheren Atmosphärenschichten in ganz anderem Maße unterrichtet sein werden, als das bisher möglich war. Man hat sogar schon kartografische Aufnahmen mittels Raketen gemacht. Die dabei übersehbaren Gebiete können wegen der beträchtlichen Höhen, die Raketen jetzt schon zu erreichen vermögen, riesig sein. Man hat aus den hohen Schichten spektroskopische Beobachtungen photographieren, Sonnen- und Sternstrahlungsmessungen anstellen und anderes leisten können (s. Tafel XIII und XIV). Woran der Wissenschaft besonders viel liegt, ist die Erforschung der Ionisierung der Luft und die genaue Feststellung der reflektierenden (spiegelnden) Schichten in der Lufthülle, wie wir ihre Existenz schon aus den radiotelegraphischen Vorgängen erkannt haben.

Man hat die verschiedenen Schichten der „Ionosphäre“ (oder Heaviside-Schichten), wie man diese höhere Atmosphäre wegen ihrer elektrischen Zustände nennt, mit verschiedenen Buchstaben bezeichnet. Über der Stratosphäre liegt, in etwa 32 km Höhe beginnend, die C-Region, mit der die Ionosphäre anfängt. Sie ist etwa 16 km dick. Dort ist die Luft stark ozonisiert. Das geschieht unter dem Einfluß der Ionisierung infolge der ultravioletten Sonnenstrahlung, die von jedem Gasatom ein oder zwei der „äußeren“ Elektronen abreißt, so daß die Gasatome eine posi-

Die Ionosphäre

tive elektrische Ladung zeigen. Sie werden dadurch elektrisch instabil und versuchen, sich freie Elektronen, d. h. negativ geladene Teilchen, anzugliedern, um wieder vollständige Atome zu werden. Der ganze Vorgang der Abspaltung und Wiederangliederung heist *Ionisation*.

Besonders stark ist der Ionisierungsprozeß in den mit D, E, F₁ und F₂ bezeichneten Regionen der Ionosphäre. Diese Schichten wechseln ihre Höhe wie ihre Dichte mit der Tageszeit in verschiedenen Gegenden und Jahreszeiten unterschiedlich. Natürlich ist der Prozeß am stärksten am Tage, weil die Sonne als Agens (wirksames Mittel) die Luftpartikel intensiv bestrahlt und die Elektronen frei macht. In der Nacht vereinigen sich die Elektronen zum großen Teil wieder mit den Ionen. Dadurch werden die Schichten stabiler und steigen höher.

Die Ionisation hat zur Folge, daß am Tage die auch die Atmosphäre durchsetzenden Radiowellen stark gestört werden, wohingegen die Übertragungen in der Nacht sehr viel besser werden. Aber die Schichten verhalten sich den verschiedenen Wellenlängen gegenüber sehr unterschiedlich. Die D-Region, die am Tage mit ihrer unteren Grenze etwa 56 km hoch liegt, spiegelt die niederfrequenten (Lang)-Wellen, so daß auch diese bei Tage noch einigermaßen günstig übertragen werden, in der Nacht hingegen wenig gut, weil sich diese Schicht dann am weitesten auflöst. Die E-Region steigt von ihrer Tageshöhe 96 km auf 144 km in der Nacht und reflektiert dann die mittleren Wellenlängen (600 m = 500 kHz bis 200 m = 1500 kHz) wesentlich schwächer. Die höchste Schicht, F, die nach ihrem Entdecker sogenannte Appletonschicht, besteht aus zwei Schichten F₁ und F₂. Die untere ist F₁ und liegt bei Tage ungefähr 160 km hoch. Die obere F₂ hingegen hat ihre Unterseite in einer Höhe von 257 bis 354 km und reicht fast 800 km hinauf. Sie bevorzugt die kurzen Wellen über 200 m = 1500 kHz, die die Eigenschaft haben, auch die unteren Ionosphärenschichten zu durchdringen. Noch kürzere Wellen, wie die Radarwellen, können auch diese höchsten Ionosphärenschichten durchsetzen und in den Weltraum hinaustreten, wie sich bei den Versuchen mit der Anstrahlung des Mondes erwiesen hat. Sie würden also die Helfer der Raketenfahrer und des interplanetarischen Verkehrs sein, denn nach diesem Experiment scheinen im inneren Sonnensystem keine Hindernisse für ultrakurzwellige Sendungen zu bestehen. Man kann daher auch Entfernungen von Raketen kontrollieren, diese beeinflussen und fernlenken.

WARUM FLIEGEN WIR NICHT IN DER STRATOSPHERE?

Es läge nun nahe, daran zu denken, mit Flugzeugen so hoch zu steigen, daß die Troposphäre unter dem Flugzeug liegt. Leider ist das aber aus

Das Atmungsproblem

anderen Gründen nicht so einfach. Sie liegen eben in einer außerordentlichen Luftverdünnung, die oberhalb der ersten Schichtgrenze schon herrscht. Die Leistung der Explosionsmotoren geht mit wachsender Höhe überaus stark zurück. Obwohl man also in jenen Höhen gegen viel geringere Luftwiderstände, also sehr viel schneller fliegen könnte, wird das durch die mangelnde Leistungsfähigkeit der Motoren in jenen Luftschichten sehr beschränkt. Man müßte zudem auch für künstliche Atmung der Insassen Sorge tragen und innendruckfeste Kabinen schaffen. Das wäre nicht die schlimmste technische Forderung, ist sie doch auch Bedingung für die Weltraumfahrt wie überhaupt für das Fahren mit der Rakete.

DAS ATMUNGSPROBLEM BEI HOCH- UND HÜCHSTFLUG

Wir sind uns klar darüber, daß Personen in einer Rakete nur fahren können, wenn sie sich in einer Innendruckkabine befinden, die mit Luft von etwa Atmosphärendruck gefüllt ist, daß diese Luft verbraucht wird und wieder aufgefrischt werden muß. Und da Raketenfahrten sich über Monate, ev. sogar über Jahr und Tag hinziehen, ist die technische Aufgabe gar nicht so einfach und leicht zu lösen.

Das Bedürfnis zu atmen ist das dringlichste für den Menschen. Er kann tage- und wochenlang ohne Nahrung sein, auch ohne flüssige. Aber keine Minute halten die meisten Menschen aus, ohne zu atmen. An die höchste Verhaltungsdauer von etwa fünf Minuten ist der Mensch gebunden. Es nutzt also dem Weltraumfahrer nichts, wie die freien Taucher als Perlenfischer oder aus Sportlust zu trainieren, möglichst lange den Atem anzuhalten — falls er nicht etwa auf viele Monate Rekordzeit zu gelangen vermag.

Das Problem der Atmung ist aber überhaupt gar nicht so einfach, wie es auf den ersten Blick erscheint. Schon bei der modernen Fliegerei spielt es eine erhebliche Rolle. Es dürfte daher von Nutzen sein, sich diese Umstände etwas genauer zu vergegenwärtigen.

Bei der Fliegerei wird die Notwendigkeit, sich um die Atmung der fliegenden Personen zu kümmern, dadurch so gewichtig, daß man bestrebt ist, aus vielerlei Gründen *lange* Flüge in die Stratosphäre zu verlegen. Dort ist jedoch der atmosphärische Luftdruck so gering, daß er für Menschen nicht erträglich ist. Die Betriebsfachleute des amerikanischen Luftverkehrs interessierten sich vorerst für die Höhenlage von 6 bis 9 km, während man bis dahin mit Passagieren selten 5 km hoch flog, sondern meist sogar unter 2,5 km blieb, in einer Zone also, die die größten Wetterunbilden hervorbringt. Zwar können viele Menschen

Das Atmungsproblem

6 bis 9 km Höhe aushalten, aber schon für den Piloten und diejenigen, die körperlich oder sonstwie arbeiten müssen, gibt es Schwierigkeiten. Man braucht in diesen Höhen eigentlich schon die Sauerstoffmaske.

Dieses Hilfsmittel ist nicht neu. Die Meteorologen, die in Freiballons ihre Versuchs- und Forschungsflüge unternahmen, haben es schon in primitiver Form benutzt. Sie nahmen in ihren Ballonkörben Stahlflaschen mit komprimiertem Sauerstoff mit, klemmten ein Mundstück zwischen die Zähne und atmeten den Sauerstoff, durch ein Drosselventil seines hohen Druckes beraubt, ein. Das war immerhin möglich, weil die Ballonfahrer ihre Beobachtungen in aller Muße machen konnten. Der Flugzeugführer aber muß dauernd seine zahlreichen Instrumente beobachten, muß Steuerknüppel und Gasdrossel in den Händen und die Füße nach dem Seitenruder ausgestreckt halten, in jedem Augenblick bereit, einzugreifen. Dabei vergißt er schnell sein Mundstück, atmet durch die Nase, und schon macht sich der Sauerstoffmangel bemerkbar als Erschlaffung, Ermüdung, mangelnde Aufmerksamkeit und alle die anderen Nachteile, die sich deswegen einstellen. Der Pilot braucht also schon eine reguläre Sauerstoffmaske, und diese muß Mund und Nase abdecken. Das ist nicht nur unbequem, sondern auch hinderlich. Eine solche Maske besteht aus Gummi und Aluminium, aber sie soll auch arbeiten wie ein lebendiger Organismus. Sie muß die eingatmete Luft von der ausgeatmeten getrennt halten, und das muß für den Benutzer der Maske unmerkbar vor sich gehen, sonst hat dieser die Empfindung, als müsse er ersticken. Aber auch die ausgeatmete Feuchtigkeit muß weggeschafft werden. Das hört sich zwar leicht an, ist aber schwierig dort, wo die Luft so kalt ist, daß jeder Hauch sogleich gefriert. Es nutzt ferner nichts, recht viel Sauerstoff zuzuführen, sondern die Zufuhr muß nach dem Bedürfnis des Piloten (oder Fluggastes) geregelt werden. Dazu wäre ein künstliches Nervensystem vonnöten.

Man erkennt, welche Fülle schwieriger technischer Aufgaben sogleich auftreten. Dazu der Umstand, daß Sauerstoffflaschen schwer sind, so leicht auch das mitzuführende komprimierte Gas bleibt. Sie vermindern nicht unbedeutlich die mitzuführende Nutzlast. Deshalb muß man mit dem Sauerstoff sehr sparsam umgehen. Mit solchen Atemgeräten ausgerüstet, konnten schon sehr lange Strecken geflogen werden.

Damit aber fliegen wir noch immer nicht in der Stratosphäre, was doch das Ziel aller Flugtechnik ist. Das sind die Höhen zwischen 11 000 und 20 000 m. Man muß sich vergegenwärtigen, wie sich in der Troposphäre und der Stratosphäre die Luftdruckverhältnisse gestalten. In mittleren Breiten beträgt der mittlere Luftdruck in Meereshöhe (0 m) 760 mm Quecksilbersäule, d. h. die Luft ruht in solcher Schichtdicke über der Erdoberfläche, daß sie einer Quecksilberschicht von 760 mm Dicke

Der Luftdruck in großer Höhe

gleichwertig ist. Am Grunde des irdischen Luftmeeres bringt das Gewicht der überlagernden Luft einen Druck von 1 Atmosphäre hervor. — Der Luftdruck auf den Quadratcentimeter (cm^2) Erdoberfläche ist daher gleich dem Druck einer Quecksilbersäule (QS) von 1 cm^2 Querschnitt und 76 cm Höhe, d. h. gleich dem Gewicht von 76 cm^3 (Kubikcentimeter) Quecksilber. Da das spezifische Gewicht des Quecksilbers = $13,5959$ ist, so ist der Druck gleich $76 \times 13,5959 = 1,0333 \text{ kg}$. Auf den Quadratmeter (m^2) macht er $10\,333 \text{ kg}$, über 10 Tonnen aus.

Steigt man in der Atmosphäre empor, so nimmt der Luftdruck ab, weil die überlagernde Luftschicht geringer wird und an Schwere abnimmt. Da die Abnahme mit dem Aufsteigen anhält, muß es eine Grenze geben, wo die Luft unmerkliche Dünne hat. Ja, es gibt sicher sogar eine Grenze, wo die Luft ganz aufhört, denn die Erddrehung schleudert auch die Luft mit sich um ihre Achse. Die dabei auftretenden Fliehkräfte werden nach außen immer größer, und bei etwa $5,6$ Erdhalbmessern über der Erdoberfläche halten sich Anziehungskraft der Erde auf die Luft und Fliehkraft der Luft das Gleichgewicht. Darüber hinaus muß jedes Luftteilchen von der Erde weggeschleudert werden. Da wäre also sicherlich eine Grenze der Atmosphäre, wenn sie nicht aus anderen Gründen schon niedriger läge. Man nimmt an, daß die irdische Atmosphäre bei 800 bis 1200 km Höhe bereits aufhört. Diese immerhin ziemlich große Höhe verleiht der Luft trotz ihrer Leichtigkeit ein so beträchtliches Gewicht. Die Gesamtmasse der irdischen Atmosphäre beträgt — beiläufig bemerkt — $5,2$ Trillionen Kilogramm. Die Stratosphäre hat davon nur noch einen winzigen Bruchteil, weil die Dichte der Luft mit der Höhe sehr schnell abnimmt. Nach Bezolds Zusammenstellungen der wissenschaftlichen deutschen Ballonfahrten beträgt der Luftdruck in Höhen bis zu $10\,000 \text{ m}$:

Höhe in m:	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
Luftdruck in mm QS:	760	675	597	526	463	404	355	309	267	231	197

Für noch größere Höhen berechnete Arrhenius unter der Annahme, daß die Temperatur in sogenanntem geometrischem Fortschreiten nach oben hin abnimmt, folgende Temperaturen und Luftdrucke:

Der rühmlichst bekannte Meteorologe Hann gibt geringere Werte an, für 100 km Höhe $1,2 \cdot 10^{-3}$, für 300 km $35 \cdot 10^{-17}$. Und neuerdings wird behauptet, in großen Höhen stiege die Lufttemperatur sogar erheblich an. Man sieht, wie wenig wir noch über die höchsten Höhen der Atmosphäre wissen. So viel ist sicher, daß selbst die Schätzungen von Hann für die Dichte der Luft in großen Höhen noch zu niedrig sind. Denn in 200 km

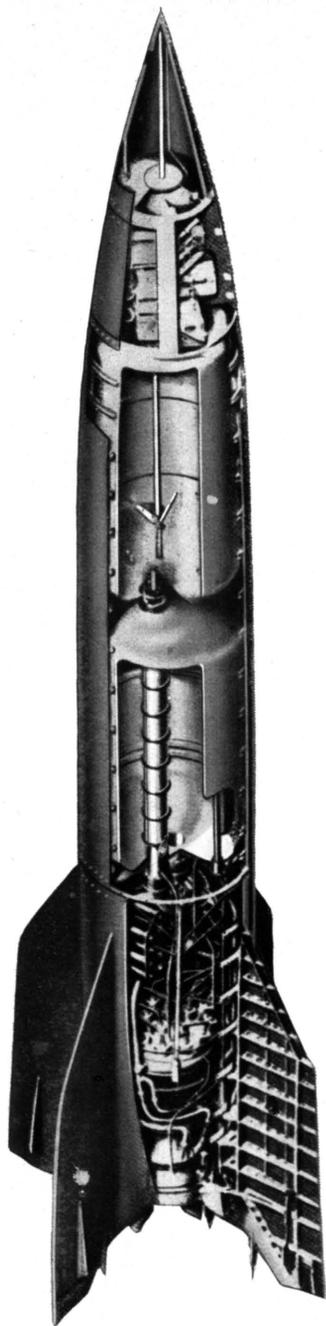
Der Luftdruck in großer Höhe

Höhe in km:	0	5	10	15	20	25	30	40
Temperatur in °C:	+10	-24	-54	-80	-104	-124	-142	-172
Luftdruck in mm QS:	760	404	197	92	39,7	16,3	6,2	0,74
Höhe in km:	50	60	70	80	100	150	200	
Temperatur in °C:	-195	-212	-226	-237	-252	-267	-271	
Luftdruck in mm QS:	0,069	$5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-8}$	$3 \cdot 10^{-18}$	$3 \cdot 10^{-31}$	

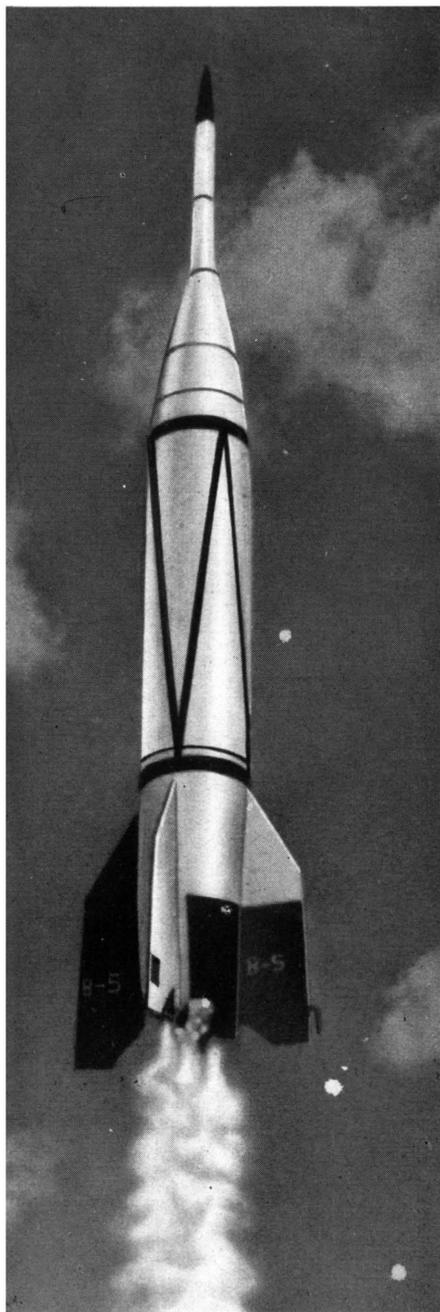
Höhe explodieren und glühen Meteoriten auf, was bei so niedriger Luftdichte nicht möglich wäre. Erhebliche Luftströmungen oder große Unruhe des elektrischen Zustandes dort ist gleichfalls sehr wahrscheinlich. In 400 km Höhe erglimmen noch Nordlichter, für die der geschätzte Luftdruck viel zu gering wäre. Für die niedrigeren Höhen allerdings kennen wir die Luftdruckwerte so genau, daß wir aus diesen sogar die Höhen ohne weiteres angeben können. Man nennt diese Art Höhenmessung die barometrische.

Ich gebe diese Daten an, um über diese Verhältnisse zahlenmäßig zu unterrichten. Das ist immer die beste Anschauung, die man zu geben vermag, und die untrüglichschte.

Ob der Druck nach oben etwas mehr oder weniger abfällt, ist für Weltraumfahrten nicht wesentlich. Für Flugzeuge oder Raketenfahrten zwischen verschiedenen Erdpunkten kommen diese Höhen sowieso nicht in Betracht. Wohl aber ist es für die elektrische Ausrüstung von Weltraumschiffen wichtig, daß die Luft nicht mehr isoliert, wenn man in die Luftdruckgebiete kommt, wo Gasentladungen stattfinden bei gleichzeitiger Anwesenheit von Ionen (das sind Atome oder Atomgruppen, die elektrische Ladung besitzen, die Luft also leitend machen). Wie man dann Radiosendungen aufnehmen will, ist unsicher. Doch über diese Gebiete kommt jede Rakete schnell hinweg, und im freien Weltraum liegen diese Verhältnisse ganz anders. Manche Techniker glauben, daß die durch die kosmische Einstrahlung hervorgerufene hohe Temperatur gefährlich wäre (man spricht von 1000°). Diese Ansicht ist angesichts der Dünne dieser Luftschichten unwesentlich, denn die Rakete ist groß und braucht sehr viel Wärme, um sich nennenswert zu erwärmen. Inzwischen hat sie infolge ihrer großen Geschwindigkeit dieses vermeintlich gefährliche Gebiet längst durchfahren. Selbst hohe Luftgeschwindigkeiten können bei ihrer nur sehr geringen Masse auf die Richtung der schweren und noch arbeitenden Rakete kaum eine nennenswerte (und leicht korrigierbare) Abtrift ausüben.



*V-2-Rakete,
zum größten Teil aufgeschnitten*

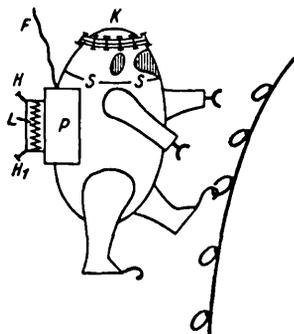


*WAC-Corporal
auf umgebaute V2, kurz nach dem Start*

Taucheranzüge für Weltraumfahrer

Mit den Langstreckenflügen bis zu 9 km Höhe sind wir, wie gesagt, noch immer nicht in der Stratosphäre. Und für diese reicht die Sauerstoffmaske nicht aus. Von 10 700 m ab, für viele schon beträchtlich darunter, beginnt der geringe Luftdruck gefährlich zu werden. Es ist dann erforderlich, sich in einen Luftdruckanzug zu stecken. Einen solchen hat z. B. Wiley Post konstruiert, eine reguläre Taucherausrüstung, vom Helm bis zu den Stiefeln; alles steht unter Druck eines Aufladegebläses.

Vakuumtaucheranzug für Raketenfahrer, zum Gebrauche im freien (luftleeren) Weltraum. Anzug aus dünnem spiegelnden Blech; Kopfstück K wird in S—S aufgesetzt und von innen verschraubt; K selbst eine von außen öffnbare Klappe. Zum Arbeiten dienen Greiferklauen. F = Anseilung mit Telefondrähten. P = Preßluftzylinder. L = Entleerungsbehälter für verbrauchte Luft. H, H₁ = Entleerungshähne

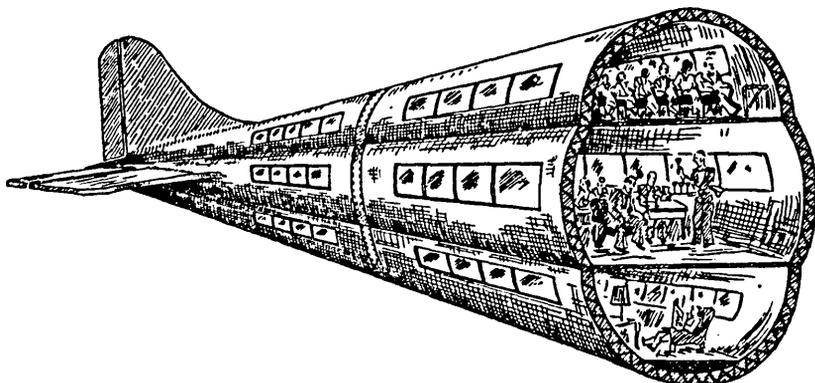


Die Konstruktion ist so eingerichtet, daß der sitzende Pilot in seiner Haltung so abgesteift ist, wie es der Betrieb erfordert. Selbstverständlich kann er sich nicht mehr so gelenkig bewegen, und selbst sein Lenken wird etwas steif. Immerhin könnte er damit die höchsten erwünschten Höhen aushalten. Abspringen aus dem Flugzeug ist unter diesen Umständen natürlich nicht mehr möglich. Aber das ginge aus so großen Höhen schon deshalb nicht mehr, weil der vom Luftdruck ungeschützte Organismus sofort zugrunde ginge. Platzte etwa ein solcher Luftdruckanzug in 20 km Höhe, so müßte der Träger sofort sterben, denn dort genügt die Körpertemperatur, das Blut zum Sieden zu bringen, weil dem äußeren Luftdruck ein so tiefer Siedepunkt entspricht. Und mit gasförmigem Blut kann kein Organismus leben, selbst wenn dann die Blutkörperchen dabei noch nicht koagulieren (gerinnen).

Einen solchen Taucheranzug brauchen ja auch die Weltraumfahrer, wenn sie sich zur Rakete hinausbegeben und im freien Weltraum schweben, beobachten und arbeiten wollen. Aber dieser Anzug wird noch viel steifer sein müssen, denn man wird solchen Weltraumfahrer bezüglich der Atmung von der Kabine des Weltraumschiffes ganz unabhängig machen, ihm eigenen Luftvorrat und eigene Regenerierungseinrichtung geben müssen. Oberth gibt ein Bild davon; es ist beistehend wiedergegeben. Dieser Anzug ist ein regulärer Taucherapparat erheblicher Festigkeit und Steifigkeit. Er macht naturgemäß keinen vertrauens-

Innendruckkabinen

erweckenden Eindruck. Aber es ist ja noch nicht aller Tage Abend. Man wird auch auf diesem Gebiete weiter kommen, so daß die Hinderlichkeit der Steife noch wesentlich behoben werden wird.



Dreiteiliger Querschnitt einer Innendruckkabine für Stratosphären-Flugzeuge

Für die Fliegerei hat man bereits andere Wege beschritten. Man baut eben doch Innendruckkabinen. Diese verleihen den Flugzeugen eine gewisse Form, nämlich diejenige, die sie unter einem Innendruck selber annehmen. Das wär natürlich eine Kugel. Da eine solche für ein Flugzeug unbrauchbar wäre, so gibt man der Kabine wenigstens die Walzenform, d. h. eines Gefäßes mit kreisförmigem Querschnitt. Auch das ergibt keine günstige und zweckmäßige Platzanordnung. Man setzt den Querschnitt des Kabinenkörpers deshalb aus mehreren Kreisabschnitten zusammen und erhält dafür eine schwach konische (kegelige) Form mit ein- oder mehrfachen Einschnürungen, die zwei oder mehr Etagen ergeben. Während man für die Passagiere den Druck nicht allzusehr zu steigern braucht, macht man ihn in denjenigen Kabinenstockwerken, wo gearbeitet werden muß (Gepäck-, Post-, Pilotenabteil) annähernd dem Atmosphärendruck gleich, weil dieser die günstigsten Arbeitsbedingungen bietet. Ihm ist ja der menschliche Organismus biologisch angepaßt.

Beim Bau solcher Kabinen treten schon genug Schwierigkeiten auf. Man hat gewöhnlich zuerst Bedenken wegen etwaiger Lecks und Undichtigkeiten, die sich nur schwer vermeiden lassen. Viel unangenehmer aber ist das Erhitzen der Luft, das bei der Kompression entsteht. Komprimiert man Luft, so preßt man nicht nur sie zusammen, sondern auch ihren gesamten Wärmehalt; sie wird also bei erheblicher Kompression auch beträchtlich heiß. Namentlich für große Höhen braucht man daher

Atmung des Motors

einen „Zwischenkühler“, der dafür sorgt, daß die Luft nicht zu warm in die Kabinen gelangt. Andererseits kühlt sie sich dort wieder verhältnismäßig schnell stark ab. Allein diese Wechsel sind schon nicht angenehm.

Es ist nicht einfach, den Innendruck zu kontrollieren. Aber man hat diese Aufgaben bereits bei der Konstruktion der Boing B-29 (sog. Stratoliner, das Stratosphären-Weitflugzeug) bewältigt und die Richtigkeit des Vorgehens mit Druckabteilen für die Besatzung erweisen können. Die Maschine fliegt seit 1939, man hat noch leistungsfähigere gebaut und das Instrumentarium wie die selbsttätigen Steuervorrichtungen seitdem noch wesentlich verbessert. Allerdings fliegt auch der Stratoliner noch gar nicht in der Stratosphäre, sondern nur bis 9 km Höhe. Aber er hat diejenigen Hilfsmittel, die das Stratosphärenflugzeug auch braucht, nämlich den stark aufgeladenen Motor und die Innendruckkabine.

Was bedeutet aber die „Aufladung“ des Motors? Auch darüber müssen wir uns klar werden, um die Grenzen des Flugzeugs zu erkennen und überzeugenden Eindruck von der Bedeutung der Rakete zu erhalten.

Der Höhenflug in der Stratosphäre ist nicht bloß ein Problem der menschlichen, sondern auch der

ATMUNG DES MOTORS

Es ist wichtig, sich zu vergegenwärtigen, wie diese Zusammenhänge sind. Bei etwa 4500 m Höhe, wo also der Luftdruck noch immer mehr als die Hälfte desjenigen im Meeresniveau beträgt, bekommt der Motor schon nicht mehr so viel Luft, daß er genügende Leistung entwickeln kann. Das Flugzeug steigt dann nicht mehr. Man behilft sich damit, durch eine Pumpe dem Motor Luft zuzupressen. Diese Pumpen heißen „Aufladegeräte“ oder „Lader“. Jedes moderne Flugzeug hat heutzutage solche, wenn es sich nicht um Schulungs- oder leichte Privatmaschinen handelt. Mit Hilfe einer solchen Einrichtung kommt man auf Steighöhen von etwa 7,5 km, mit schweren Frachtflugzeugen bis auf 4,5 km. Wiley Post hat dann 1935 einen Motor mit hoher Aufladung in ein Lockheed-Flugzeug eingebaut. Dieser Apparat entwickelte in Meereshöhe 240 km/st, während er unter Posts Führung in 9 km Höhe in einem Non-stop-Flug von Los Angeles nach Cleveland, das im mittleren Westen liegt, durchschnittlich 380 km bewältigte. Trotz höheren Aufwandes an Energie für die Aufladung gewann er also etwa 60% an Leistung. Das beruhte nur auf der Tatsache, daß eben Fliegen in dünner Luft an sich vorteilhafter ist. Zwar kann man auch in niedrigen Höhen große Geschwindigkeiten erzielen, wenn man nur den Motor entsprechend bemißt. Das spielt

Flugprobleme

bei Militärflugzeugen bekanntlich keine Rolle — wie ja das Militär auf wirtschaftliche Fragen nie Rücksicht zu nehmen pflegt. Aber selbst das Militär hat angesichts des Aufwandes in dieser Hinsicht mancherlei Bedenken gehabt — so stark wachsen die Kosten. Es ist eben auch aus anderen Gründen nicht möglich, alle vernünftigen Gesichtspunkte außer Acht zu lassen (Reichweite u. a.).

Man kam allerdings durch die Entwicklung der ultraschnellen Düsenflugzeuge auch auf andere Wege. Auf jeden Fall bleibt der Hochflug Grundlage für schnelles Fliegen. Wenn wir gelesen haben, daß die schnellen Bomber und die Jagdflugzeuge 650 km Geschwindigkeit und mehr erreichen, so geschieht dies immer erst in größeren Höhen. Sie waren meist für 400 km Stundengeschwindigkeit gebaut, bekamen jedoch starke Aufladung und so große Motoren, um noch in 6 bis 9 km Höhe zu fliegen. Selbstverständlich lohnt sich das alles nur für lange Flüge, denn bei kurzen verbraucht man zu viel Energie allein für das Hochsteigen.

Geht man jedoch wieder *sehr* hoch, so kosten Aufladen und Kühlung der Luft zu viel Leistung. Der Geschwindigkeitsfimmel verleitet heutzutage dazu, viel zu schnell und daher nicht wirtschaftlich zu fliegen. Es kommt in den meisten Fällen durchaus nicht immer auf die größte Geschwindigkeit an, wenngleich auch Lasten-Beförderung durch den Flug erwünscht und wirtschaftlich ist. Aber man könnte in vielen Fällen langsamer und viel wirtschaftlicher fliegen. Was nutzt es, eine Ladung am späten Abend abzusetzen, wenn sie am selben Tage doch nicht mehr weiterbefördert werden kann, statt bei etwas langsamerem Fliegen in der Nacht oder am frühen Morgen ausladen zu können? Mit den Möglichkeiten steigen in noch höherem Maße die Ansprüche der Fluggäste oder der Wunsch der Fluggesellschaften, immer noch mehr zu bieten. Von wirklichem Vorteil wäre, mit etwas niedrigeren Geschwindigkeiten billigere Flugpreise zu berechnen. Die meisten Menschen kommen doch noch zeitig genug ans Ziel.

Man macht sich von den neuen technischen Anforderungen kaum die rechte Vorstellung, die das sehr hohe Fliegen mit sich bringt. Die dünne Luft bietet zwar sehr viel weniger Widerstand, und die Höhe schaltet die Behinderungen und Gefahren des Wetters aus, aber die Dünne der Luft muß andererseits technisch bewältigt werden. Man kommt mit einem Gebläse nicht aus, sondern braucht zwei, von denen eins das andere aufpumpt und erst dieses dem Motor die genügend hoch komprimierte Luft zuführt. Man braucht ein Wechselgetriebe für den Schnelligang, wenn man in die dünnsten Schichten kommt. Die Gebläse müssen jedoch gegenseitig abgestimmt sein, damit das erste nicht mehr fördert, als das zweite aufzunehmen vermag, sonst geht die Luft zwischen beiden

hin und her, und der Motor bleibt stehen. Will man das vermeiden, so braucht man einen Regler mit Ausgleichvorrichtungen, der Gewicht und damit Leistung erfordert. Die tiefe Temperatur der Stratosphärenhöhen bringt weitere Erschwerungen. An der unteren Randfläche der Stratosphäre herrscht eine Temperatur von etwa -50°C . Diese Luft muß komprimiert werden, um sie dem Motor als „Atemluft“ zuführen zu können. Die Dünne dieser Luft erfordert eine so starke Kompression, daß sie doppelt so heiß wird wie siedendes Wasser.

Die Entstehung der Kompressionswärme läßt sich leicht verstehen. Ein Gefäß mit Luft, etwa ein Zylinder, in dem ein beweglicher Kolben vorhanden ist, enthält bei gewissem Außendruck eine bestimmte Menge Luft, und innerhalb dieser eine gewisse Menge Wärme, die selbstverständlich von der Höhe der Temperatur dieser Luft abhängt. Je höher die Temperatur, desto mehr Wärme enthält die Luftmenge. Drückt der Kolben diese Luft auf die Hälfte zusammen, so bleibt die Gesamtwärme natürlich dieselbe, aber die Temperatur steigt auf das Doppelte und zwar von dem Nullzählpunkt der sogenannten absoluten Temperatur ab gerechnet, von -273° . War also die Luft 20° warm, d. h. besaß die Temperatur von $T = 293^{\circ}$, also 293° absolut, so hat sie nach der Zusammendrückung auf die Hälfte die doppelte Temperatur, nämlich $2 \times 293 = 586^{\circ}$ ($= 313^{\circ}$ über dem Eispunkt, von dem aus wir gewöhnlich zählen), und auf den 4. Teil ihres Rauminhalts 1172° (899°).

Selbst bei der niedrigen Temperatur von $t = -50^{\circ}$, d. h. absolute Temperatur $T = 223^{\circ}$, wird also die Kompressionsluft so heiß, daß der Motor damit nicht arbeiten könnte. Er begänne zu klopfen und würde schließlich zerstört. Ein neues Zusatzgerät macht sich also nötig, nämlich ein Luftkühler, den die Kompressionsluft durchstreichen muß, ehe sie zum Motor gelangt. Ein Luftkühler, der selber die Wärme an die überaus dünne Außenluft abgeben muß, muß aber sehr groß sein, braucht also viel Raum und bietet einen hohen Luftwiderstand dar, um so mehr, als man den Kühler nicht innerhalb des Stromlinienkörpers unterbringen kann, denn dann wäre er ja unwirksam. Ordnet man ihn jedoch im Flugzeug an, so muß man die Luft durch das Flugzeug pressen. Zu dem Zweck muß man Außenluft schöpfen und wieder hinausdrücken. Die Außenluft muß den Kühler unbedingt mit recht großer Berührung durchstreichen. Das ist auf jeden Fall eine erhebliche Belastung des Flugzeugs.

Für die dauernde Aufladung des Motors wird eine so große Menge Luft gebraucht, daß ihre Beschaffung einen sehr erheblichen Teil der Gesamtenergie verbraucht. Ein Motor von 1000 PS muß durch eine Gebläse beliefert werden, das bei 6000 m Höhe allein 200 PS benötigt, also bereits ein Fünftel. Steigt das Flugzeug noch höher, so nimmt der

Das Flugzeug in sehr großer Höhe

Energiebedarf des Gebläses noch mehr, und zwar sehr schnell, zu. Bei 16,5 km Höhe werden zwei Gebläse kaum noch ausreichen, womit die Gesamtleistung des Motors schon fast ganz aufgezehrt ist, so daß die Maschine selbst gar nicht mehr vorwärtskäme. Immerhin hat man das Problem gelöst, indem man die Energie der ausgepufften Gase benutzt. Man verwendet den Strom der Auspuffgase zum Antrieb einer Gasturbine, die ihrerseits ein Gebläse betreibt.

Bei den amerikanischen Kriegsflugzeugen haben die „Turboaufladegeräte“ eine erhebliche Rolle gespielt. Diesem Umstande verdanken alle diese Maschinen ihre Höhenfähigkeit und damit zugleich die von ihnen erzielte Geschwindigkeit. Der Gedanke dieser Anordnung stammt von dem Franzosen Rateau, der ihn schon 1917 faßte, als er praktisch noch gar nicht notwendig war. Aber seine Erfindung war immerhin höchst wertvoll. Sie war ein Aufladegerät, das dem Motor keine Leistung entzog. Dennoch war es schwierig, die Erfindung vollwertig in die Praxis umzusetzen. Man hatte zu seiner Zeit noch keine Metalle, die die hohen Temperaturen der Auspuffgase vertrugen. Diese fand man erst später. Und auch das Problem der richtigen Aufladung, ein Regelproblem, ist erst seit wenigen Jahren gelöst. Nunmehr ist es möglich, den Motor gerade so aufzuladen, wie er es bedarf.

Man erkennt die große Schwierigkeit, die zahlreichen technischen Aufgaben alle richtig zu lösen und die Bedeutung ihrer rechten Zeitreife. Das zeitliche Vorgehen einer Erfindung nutzt nichts, wenn sonst das technische Milieu, die Umwelt in technischer Hinsicht, noch nicht so weit ist.

DAS FLUGZEUG IN SEHR GROSSER HÜHE

Mit den genannten Erwähnungen sind aber längst nicht alle Schwierigkeiten erörtert. Die große Kälte der Umgebung, die in großen Höhen besteht, hat sehr schlimme Wirkung auf Flugzeug und Maschinerie. An der unteren Grenze der Stratosphäre herrschen gewöhnlich -51° . Dabei erleiden die Baustoffe eine so starke Zusammenziehung, daß sich die Scharniere der Ruder klemmen und die Bewicklungen der Elektromotoren reißen. Die Schmieröle gefrieren, die Steuerzüge aus Stahl, die sich nicht so stark zusammenziehen wie die Baustoffe des Rumpfes, werden schlaff, so daß die Steuergeräte nicht mehr präzise wirken. Die Winkelstellung der Propellerflügel für die richtigen Geschwindigkeiten fällt aus, und der Pilot hat seine Maschine nicht mehr in der Hand. Andererseits überhitzen sich die Motoren, weil sie nicht mehr genug gekühlt werden können. Zwar ist die Kühlluft sehr kalt, aber doch so

Stratosphären-Flüge

dünn, daß ihre Masse nicht ausreicht, dem Motor genug Wärme zu entziehen. Das Flugzeug mag mit doppelter Geschwindigkeit fliegen, durch eine Atmosphäre von einem Viertel der üblichen Dichte. Die Kühlung wird dabei also praktisch auf die Hälfte herabgedrückt, während das Flugzeug mit doppelter Leistung der Motoren fliegt, die daher auch die doppelte Wärmemenge erzeugen.

Diese Umstände sind also für das Fliegen in der Stratosphäre recht ungünstig, und je höher man kommt, desto ungünstiger, weil die Luft immer dünner wird. Diese Tatsache setzt der Fliegerei bezüglich der Höhe eine wirtschaftliche, aber auch eine absolute Grenze.

Die erwähnte Tatsache ist auch längst nicht die einzige. Der Physiker kann sogleich auch noch andere anführen. Ist nämlich die Luft so dünn, dann müssen auch Einrichtungen wie die elektrische Zündung versagen, denn die Eigenschaften so dünner Luft nähern sich denen in Geislerschen Röhren. Die Luft verliert ihre isolierenden Eigenschaften mehr und mehr, die Zündung wird unwirksam, weil am Motor selbst die Funken überspringen, weil an allen Hochspannung führenden Drähten und Teilen Glimmentladungen auftreten, weil die Luft stark ozonisiert wird und dann die Isolierstoffe angreift. Man müßte also — kann man schon die Motoren selbst nicht in Innendruckhüllen stecken — zum mindesten alle Zündleitungsdrähte, die Zündmagnete, ja sogar die Batterien unter Druck setzen, und das vom Aufladegebläse her besorgen.

Der fehlende Druck bringt den Betriebsstoff in den Tanks und in den Leitungen zum Kochen, so daß der Motor Dampf bekommt statt Benzin. Die Brennstoffpumpen müssen gänzlich anders konstruiert sein, das Schmieröl wird blasig, in noch größerer Höhe schaumig und wirkt nicht mehr. Bei Höhenjagdmaschinen hat man die Schmier- und Brennstoffbehälter deshalb unter Druck gesetzt.

Der Techniker rechnet gleichfalls neue Schwierigkeiten vor. Sowie man ernstlich in die Region der Stratosphäre gerät, muß die Innendruckkabine bereits eine so starke Haut bekommen, daß damit ein neuer großer Verlust an Nutzlast in Kauf genommen werden müßte, falls man die Innenluftverhältnisse einigermaßen ähnlich denen bei gewöhnlichen Flughöhen halten will. Bekommt solche Kabine einmal ein wirklich großes Leck, so kommen die Insassen in eine ähnliche Lage wie die eines leck werdenden Unterseeschiffes. Und was bei Höhen von 20 km einträte, haben wir schon bei der Erörterung des Platzens eines Taucheranzugs des Piloten erwähnt.

Alle diese Gesichtspunkte bewirken, daß Personenflüge wirtschaftlich nur bis zu 9 km Höhe ausgeführt werden können, daß höhere unwirtschaftlich erscheinen. Frachtflüge in solchen Höhen kann man mit den jetzigen Hilfsmitteln rationell nicht mehr ausführen.

EINIGES VON DER ENTWICKLUNG DES FLUGZEUGANTRIEBS

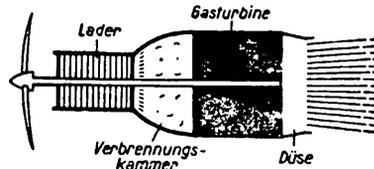
Es bedurfte wesentlich geänderter Antriebsmaschinen, um noch größere Höhen fliegen zu können. Sie entwickelten sich aus den bisher beschriebenen Antriebsaggregaten (Maschinen-Zusammenstellungen), die zu den Düsenflugzeugen führten. Auf dem Wege dazu hat der in größeren Höhen an Leistung stark einbüßende Motor immer geringere, die Abgasturbine hingegen steigende Bedeutung gewonnen, und man kam schließlich dazu, den Motor ganz wegzulassen. Es blieb nichts weiter übrig als eine Verbrennungskammer, in die der Lader Luft hineindrückte. In sie wurde Treibstoff eingespritzt und dieser entzündete sich durch die Kompressionshitze von selbst. Die Explosionsgase stoßen durch die Turbine und treiben sie und den Propeller an. Dabei ergab sich, daß der ins Freie hinausgestoßene Gasstrom noch sehr viel Energie enthält. Diese nutzte man aus, indem man ihn durch eine Düse, ein konisches (kegelförmiges) Rohr, ausströmen ließ, wobei er einen Rückstoß ausübt und damit dem Flugzeug zusätzliche Beschleunigung und größere Geschwindigkeit erteilt. Schematisch kennzeichnet das obere Bild auf Seite 185 diesen Antrieb. Doch auch dabei blieb man nicht stehen, weil sich ergab, daß der Rückstoß allein ausreicht, das Flugzeug anzutreiben. Man ließ also auch den Propeller weg und erreichte mit diesem Flugzeug Geschwindigkeiten, die diejenige der Schallfortpflanzung übertreffen, sowie die größten Flughöhen. Diese Antriebsform ist der Düsenantrieb, der technisch' das „*Strahltriebwerk*“ genannt wird. Gegenüber den früheren Antrieben hat es außerordentliche Vorzüge. Da es keine hin- und hergehenden Teile besitzt, schüttelt und stampft es nicht. Sodann fehlen die empfindlichen Elemente wie Vergaser, Ventile, Zündkerzen. Zu alledem kann man in der Brennkammer Schweröle verbrennen. Allerdings stehen diesen Vor- auch Nachteile gegenüber, in erster Linie der ungeheure Treibstoffverbrauch. Dieser ist so groß, daß man solche Flugzeuge zu kommerziellen (Nutz-Gebrauchs-)Zwecken gar nicht heranziehen kann. Die Schaufeln der Turbinenräder werden durch außerordentlich hohe Temperaturen dauernd beansprucht. Das ist um so bedeutsamer, als die Umdrehungszahlen bis zu 100 000 in der Minute (über 1600 in der Sekunde!) gehen. Die dabei auftretenden Schleuderkräfte führen im Verein mit den enormen Temperaturen zu Verbiegungen der Schaufeln, denen man erst durch allerbeste metallische Baustoffe und Konstruktionskniffe Herr zu werden vermochte.

Gehen wir nun noch einen Schritt weiter, verzichten auf den Kompressor und die Turbine, und stoßen die in der Brennkammer entzündeten Stoffe als Verbrennungsgase aus der Düse, so sind wir schon beinahe beim Rake-

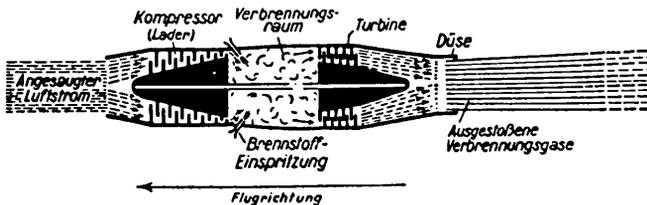
Düsenantriebe

tenantrieb gelangt. Dieser hat gar keine bewegten Teile mehr, kann aber auch nicht selber anlaufen. Man müßte das Flugzeug hochschleppen, die zur Verbrennung nötige Luft durch eine gewisse Schnelligkeit des Flugzeugs in die Brennkammer ziehen und nun erst zünden. Dann erst

Schema des Gasturbinen-Propeller-Antriebes. Bei ihm ist der Motor durch einen Verbrennungssofen ersetzt. Die Turbine treibt den Propeller sowie den Lader, und der Antrieb wird durch die ausströmenden Abgase unterstützt. Das Ganze ist ein Propeller-Strahltriebwerk



könnte das Flugzeug mit eigener Kraft weiterfliegen. Das geht allerdings nicht, weil diese Mindestschnelligkeit schon Überschallgeschwindigkeit ist und die Luft gar nicht mehr in die Düsenöffnung strömt. Sonst könnte man mit diesem „Nur-Strahlflugzeug“ Geschwindigkeiten von 3000 bis



Schema des Strahltriebwerkes. Hierbei saugt der Kompressor die Verbrennungsluft an und verdichtet sie sehr stark. Im Verbrennungssofen wird sie mit eingespritztem Treibstoff vermischt, das Gemisch entzündet sich und treibt die Turbine an, deren Abgase mit großer Gewalt aus der konischen Düse strömen und damit den Rückstoß erzeugen, der den Vortrieb des Flugzeuges liefert

4000 km in der Stunde erreichen und außerdem sehr wirtschaftlich fliegen. Mit Düsenflugzeugen ist man längst über die Überschallgeschwindigkeit hinweggekommen. Aber in bezug auf ihre Flughöhe sind auch ihnen Grenzen gesetzt, nämlich die Höhen, in denen der Sauerstoffgehalt der Luft für die Verbrennung nicht mehr ausreicht.

Das wird mit der Höhe immer ungünstiger, ändert sich ja doch nach unseren Darlegungen über die Schichtung der Atmosphäre ihre Zusammensetzung und wird derjenigen in der Troposphäre immer unähnlicher. In großen Höhen wird eben jeder Motor aus Sauerstoffmangel ersticken. Der Höhenrekord für Flugzeuge war im Jahre 1949: 18 119 m (Cunningham mit dem „Vampyre“-Düsenjäger). Verkehrsflugzeuge und Bomber sind nur in Ausnahmefällen über 12 000 m hoch geflogen, und der gewöhnliche Flugverkehr spielt sich auch heute noch unter 3000 m ab.

Noch mannigfache andere Gründe sind für diese Flughöhe maßgebend. Auch die Geschwindigkeit wird noch recht niedrig gehalten. Selbst in USA fliegt man heutzutage trotz der dortigen großen Überlandentfernungen im normalen Flugverkehr auch „nur“ mit etwa 300 km je Stunde, und Nonstoptransporte von Nutzlasten (d. s. solche ohne Unterbrechung durch Zwischenladungen) läßt man nur bis zu rund 1200 km Entfernungen fliegen.

Die neueren Flugzeuge wurden gegen die früheren immer gigantischer. Aber weder die noch verbesserte Stromlinienform oder vergrößerte Motorenleistung sind die Gründe für die Vergrößerung der Reiseschnelligkeit. Mit größeren Flugzeugen kann man eben rationeller transportieren, mit windschnittigen erspart man hauptsächlich Betriebsstoff und gewinnt Reichweite. Geschwindigkeitsgewinn auf Grund höherer Motorenleistung aber ist immer teuer. Größere Reisesgeschwindigkeit versucht man nach altem Rezept dadurch zu erzielen, daß man die Flügel kleiner macht. Das hat jedoch den Nachteil größerer Landegeschwindigkeit, die längere Flugbahnen erfordert und dabei nicht so gesichert ist wie Landen bei geringerer Schnelligkeit.

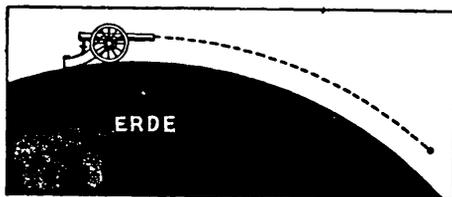
Doch auch dieses Rezept reicht nicht so weit; auf über knapp 500 km/ Stunde käme man nicht. Dabei wäre das Landen schon ziemlich gefährlich und käme für zivile Luftfahrt nicht in Betracht. Die eigentliche Erhöhung der Reisesgeschwindigkeit ist eben nur möglich durch Fliegen in großen und sehr großen Höhen. Und was dabei herauskommen kann, welche Gesichtspunkte dafür maßgebend sind, haben wir vorstehend ausführlich erörtert.

Die moderne Passagierfliegerei, wie sie die Pan American Worlds Airways betreibt, benutzt nach dem Stand Mai 1952 für die Transatlantikflüge den PAA's double decked Clipper der Boeing Aircraft Co, ein Propeller-Flugzeug mit vier Motoren zu je 28 Zylindern und 3500 PS. Jeder Motor braucht je Stunde 500 Liter Benzin, im Ganzen für den Nonstop-Flug London—New York 20 000 Liter. Die Maschine hat ein Gewicht von 67 Tonnen. Die Flügelspannweite beträgt 43 m, die Länge 33,5 m, die Höhe 11,5 m, in der zwei Etagen untergebracht sind, die als Innendruckkabine gebaut sind. Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist 511 km je Stunde, die höchstmögliche 640 km. Sie fliegt zwischen 4,5 und 7,6 km Höhe, darf jedoch bis zu 10 km steigen. In einer Minute vermag sie 335 m höher zu gehen. Ihre Reichweite beträgt 7200 km. — Die größte Maschine mit der größten Leistung der PAA ist die DC-6 B; bei ihr ist der Benzinverbrauch je Stunde und Motor auf 350 Liter herabgedrückt. — Seit dem 1. Mai 1952 fliegt für die PAA auch eine Düsenmaschine zwischen London und New York, eine De Havilland-Comet Boac mit 775 km Stunden-geschwindigkeit.

RAKETENFAHRTEN ZU FERNEN ERDORTEN

So scheint es also, als ob der Fliegerei überhaupt Grenzen gesetzt sind. Tatsächlich ist das auch der Fall. Aber gerade das führt uns zum Thema unseres Buches zurück, zur Rakete. Und das ist der Grund, warum man den Raketenantrieb — abgesehen von den deutschen Vorstößen mit ihren

Das mit rund 8 km Sekundengeschwindigkeit ausgeschleuderte Geschöß umkreiste die Erde beständig, ohne auf sie niederzufallen, falls die Erde keine Atmosphäre besäße



auf Grund des Raketenprinzips entwickelten Kriegswerkzeugen — neuerdings so viel Aufmerksamkeit zuwendet. Für die Rakete gibt es keine Atemgrenze. In ihr arbeitet kein Motor, für sie existiert keine Gipfelhöhe, ja sie fährt am günstigsten sogar im Vakuum, wie es im Weltraum besteht. Sie entwickelt ihre Eigenschaften immer günstiger, in je größere Höhen, in je dünnere Luft sie kommt. Sie erlaubt zugleich, Geschwindigkeiten ganz anderer Größenordnungen zu erreichen als sie mit Flugzeugen möglich sind. Warum, das wissen wir schon. Die Rakete erst wird alle Entfernungen auf der Erde zu örtlichen Dimensionen verkleinern. Denn wenn man mit Reisegeschwindigkeiten von 300 bis 400 km je Minute rechnen kann, brauchte man für eine Fahrt um die ganze Erde selbst da, wo sie am dicksten ist, also über dem Äquator oder auf größten Kreisen, nur Minuten. Allein Anfahrt und Landung erfordern noch nennenswerte Zeit, einmal zur Innehaltung der physiologisch zulässigen Beschleunigung bei der Anfahrt und gleicherweise zu ihrer Abbremsung. In einer halben bis zu einer Stunde aber läßt sich dann jeder Erdort erreichen. Erst wenn wir so weit sind, können wir sagen, wir beherrschen die Entfernungen auf der Erde vollkommen.

IN EINER STUNDE ZU DEN ANTIPODEN!

Es geht hieraus also hervor, daß man mit Raketen große Wege auf der Erde zurücklegen kann. Diese Fahrten gehen naturgemäß außerordentlich schnell vor sich. Dauerten selbst Aufstieg und namentlich Abstieg zusammen eine Viertelstunde oder etwas länger, so schrumpfte doch bei 8 km Sekundengeschwindigkeit jede irdische Strecke zu einer Fahrt von noch

Raketenantriebe für Flugzeuge

nicht einer Stunde zusammen. Denn eine Sekundengeschwindigkeit von 8 km bedeutet eine Minutengeschwindigkeit von 480 km. Die Strecke von Europa nach Amerika würde also in etwa einer Viertelstunde zurückgelegt sein; dazu kommt einige Zeit für die Start- und Landungsoperationen. Bis nach Neu-Seeland, unserem irdischen Gegenpol, würde man noch nicht $1\frac{1}{2}$ Stunden fahren, mit Auf- und Abstieg also knapp zwei Stunden! Angesichts solcher Reisegeschwindigkeiten verbürgte selbst ein sehr teures Fahren mit der Rakete die praktische Anwendung, denn es gibt Fälle, in denen es auf die Kosten nicht sehr ankommt, wenn man nur schnell eine sehr große Strecke bewältigt.

Ein großer nicht zu unterschätzender Vorteil der Raketenfahrt ist, daß man tatsächlich die wahre Luftlinie fliegen kann. Mit Flugzeugen muß man sich nach der Wetterlage richten, muß gefährliche Gebiete umfahren und daher oft Umwege machen oder ist auch gar zu unfreiwilligen Aufenthalt gezwungen — alles das ist mit Zeitverlust verbunden. Das fällt bei der Rakete weg, mit der man evtl. auch an beliebigen Stellen abfahren und aufsetzen kann, mit Ausnahme natürlich von Wasserflächen. Man braucht auch nicht die riesigen Flugplätze, die jede Fliegerei mit Flugzeugen voraussetzt, sondern verhältnismäßig kleine Felder zum Starten und zum Landen. Man könnte sie deshalb unter sonst gleichen Verhältnissen viel ergiebiger und günstiger über das Land verteilen, wenn man schon feste Start- und Landeplätze wünscht, und sparte dadurch an Zufahrten und Zeit.

So bietet also die Raketen-schiffahrt auch auf der Erde ganz neue Möglichkeiten. Nicht etwa in der Weise, daß sie die großen Güterbeförderungen überflüssig macht; dazu werden vermutlich Eisenbahn und Seeschiff immer die gegebenen Transportmittel bleiben. Selbst die Beförderung zahlreicher Personen mit Hilfe von Raketen dürfte so lange nicht in den Bereich der Möglichkeit gerückt sein, wie wir nicht Energiequellen zur Verfügung haben, die auf ganz anderen physikalischen Grundsätzen beruhen und sehr billig sind.

DER RAKETENMOTOR FÜR ANTRIEBE IN DER LUFT

Es mag übrigens einem durch die Raketenautoversuche verbreiteten Irrtum entgegengetreten werden, nämlich dem, daß der Raketenmotor besonders gut für schnelle Fahrzeuge auf der Erdoberfläche geeignet sei. Das ist nicht der Fall! Bei Geschwindigkeiten, die geringer sind als die Schallgeschwindigkeit (340 m/sec oder 1224 km/Std.), ist der Wirkungsgrad des Raketenmotors sehr schlecht; dieser dürfte nach Dr. Hoeffft $1\frac{1}{2}$ bis 2 % der chemischen Energie der Treibstoffe nicht ausnutzen. Für einen Dauerbetrieb ist die Rakete überhaupt nicht geeignet. Deshalb soll sie

auf der Erde auch nur für sehr weite Fahrten, von Kontinent zu Kontinent, auf weiten Strecken oder über so riesigen Landmassiven wie Eurasien und die beiden Amerika verwendet werden. Sie soll innerhalb einer kurzen Zeit dem Weltraumschiff eine große Geschwindigkeit erteilen, wobei im Falle der Erde das Ganze aus dem Reich der Erdatmosphäre längst hinausgeführt ist. Im Weltraum selbst reist nach der erreichten großen Geschwindigkeit die Rakete ohne jeden Antrieb. Um recht rationell zu verfahren, muß man also das Schiff recht schnell beschleunigen können. Zu dem Zweck muß man alle überflüssige Masse weglassen, wenn man recht wenig Treibstoffe mitnehmen will.

RAKETE, LUFTWIDERSTAND UND ANDRUCK

Der große Vorzug der Rakete gegenüber dem Geschosß besteht darin, daß das Geschosß seine größte Geschwindigkeit beim Abfeuern und in den dicksten und widerstandsfähigsten Luftschichten besitzt, die Rakete hingegen erst große Geschwindigkeit erreicht, wenn sie längst der dichtesten Atmosphäre entronnen ist. Läßt man sie gar von hohen Bergen ab, etwa in 4 oder 5 km Höhe, so ist der Luftwiderstand sowieso nur noch viel geringer, und man spart an Treibstoff.

Das legt nahe, das Raumschiff überhaupt so schnell wie möglich aus den dicken Luftschichten und aus der Atmosphäre hinauszubringen. Das geschieht am besten bei senkrechtem Aufstieg, denn da ist der Weg aus der Gesamtatmosphäre hinaus am kürzesten. Fährt man schräg durch die Atmosphäre, so muß die Rakete durch eine viel dickere Luftschicht und braucht viel mehr Treibstoff. Es dauert also länger, ehe sie die Fluchtgeschwindigkeit erreicht und aus dem Bereich der Erdschwere hinauskommt. Eine unbemannte Rakete führe also zweckmäßig senkrecht aufwärts.

Für eine bemannte Rakete spielt jedoch auch der Andruck eine Rolle. Man kann den Insassen nur eine gewisse Beschleunigung zumuten. Steigt man senkrecht in die Höhe, so summieren sich die Andrucke, die durch die Schwere und die Beschleunigung infolge des Raketenantriebs entstehen; bei waagrechtem Start hingegen käme nur der letztgenannte Andruck zur Wirkung. Es ist also, wie schon Oberth vor 15 Jahren vorschlug, richtig, die günstigste Mitte zu suchen und dabei nach Osten abzufahren. Führe man nach Westen, so arbeitete sich die Rakete der Erddrehung entgegen und käme nicht so schnell aus der dicken Atmosphäre und der Erdschwere hinaus, brauchte also wiederum mehr Treibstoff. Oberths „Synergiekurve“ ist ein steiler Anfangsaufstieg aus der dichtesten Luftschicht bis zu etwa 10 km Höhe und allmähliche Einlenkung

Die Lebensbedingungen der Weltraumfahrer

parallel zur Erdoberfläche. So sollte man sowohl bei Fahrten zwischen weit voneinander entfernten Erdorten wie auch bei Weltraumfahrten fahren. Bei Reisen in den Weltraum fährt man zweckmäßig in der Nähe des Äquators ab, weil dort die durch die Erddrehung bedingte zusätzliche Beschleunigung der Rakete, 464 m je Sekunde, am größten ist, während sie in unseren Breiten nur etwa 300 m ausmacht.

Die Form der Rakete sowohl wie ihre Oberflächenbeschaffenheit spielen für den Luftwiderstand, den sie überwinden muß, eine wesentliche Rolle. Wenn sie sich auch nur kurze Zeit in der Atmosphäre bewegt, so dürfen diese Umstände dennoch nicht vernachlässigt werden. Nach Kühmes Untersuchungen ist die Spitze der Rakete sowie ihr Schlankheitsgrad für den Luftwiderstand sehr wesentlich. Die Oberfläche muß „aerodynamisch glatt“ sein, d. h. beim Polieren müssen alle Körner bis auf $\frac{1}{100}$ mm Höhe abgeschliffen sein. Bei der V 2, die ja ausschließlich innerhalb des irdischen Luftmantels flog, waren sie fast $\frac{3}{100}$ mm groß, und dadurch war die Reibung noch ziemlich stark. Der Luftwiderstand ist in großen Höhen aber fast nur noch Reibung.

MÜSSEN WELTRAUMREISENDE NICHT ERSTICKEN UND ERFRIEREN?

Die zahlreichen Einwände, die von Kritikern der Raketenprojekte vorgebracht werden, lassen sich nicht in allen Fällen leicht beheben. Es erscheint vielen als fast unmöglich, innendruckfeste Kabinen zu bauen und darin mit Hilfe künstlicher Atemlufterzeuger brauchbare atmosphärische Verhältnisse zu schaffen. Dieser Einwand läßt sich durch einen Hinweis auf praktisch ausgeführte technische Werke zurückdrängen. In Unterseebooten hat man bereits während des ersten Weltkrieges 35 bis 40 Mann Besatzung mit Hilfe künstlicher Lufterneuerer wochenlang erhalten. Neuerdings ist diese Aufgabe noch viel weiter ausgebaut worden und dürfte es immer mehr werden. Für eine Mondfahrt ergäben sich kaum Schwierigkeiten. Für Fahrt dauern von einem Jahr und darüber bedürfte es allerdings noch erheblicher technischer Entwicklungsarbeit und Erfahrungen.

Schwieriger erscheint der Einwand, daß die Kälte des Weltraums ein so langes Verweilen in der Rakete unmöglich macht. Man rechnet immer damit, daß die Temperatur im freien Weltraum praktisch die Nullgrenze (-273°) erreicht. Man versteht darunter, daß Wärme überhaupt nicht vorhanden ist, daß also ein Körper so viel Wärme ausstrahlt, als ob er sich in einer -273° kalten Umgebung befindet. Denn der leere Weltraum, in dem nichts vorhanden ist, kann sinngemäß keine Temperatur

Die Lebensbedingungen der Weltraumfahrer

besitzen, ebensowenig wie er Farbe oder Aussehen oder irgendeine andere Eigenschaft hat, als in gewissen Kraftfeldern zu liegen. Man denkt dann gemeinhin, das Schiff müsse irgendwie — mitgenommener Brennstoff ist natürlich ausgeschlossen — geheizt werden. Das wäre auch notwendig, wenn man etwa im interstellaren (Sternen-) Raum reiste. So lange man sich aber in der Nähe der Sonne befindet, etwa in dem Raum zwischen Erde und Venus oder sogar noch ein großes Stück weiter hinaus, kann man sämtliche Wärme von der Sonne auffangen. Man wird sogar zuviel davon haben und gezwungen sein, durch künstliche Mittel, etwa spiegelnden Anstrich der Rakete, den größten Teil davon wieder wegzustrahlen. Ein Beispiel dafür bot die Anordnung, die *Piccard* bei seinem Höhenflug innerhalb seiner geschlossenen Kugelgondel benutzte. Er hatte diese zur senkrechten Hälfte schwarz, zur andern weiß angestrichen, und zwar poliert und lackiert. Da er sich in hoher Atmosphäre bewegte, wo die Temperatur sehr tief war (um $-50,6^{\circ}$), brauchte er natürlich Wärme. Die gewann er dadurch, daß er beim Aufstieg am kalten Morgen der Sonne die schwarze Kugelseite zukehrte, die die Wärme absorbierte und den Innenraum erwärmte. Mit Hilfe eines kleinen Propellers wollte er dann, wenn die Innentemperatur etwa zu hoch zu werden drohte, der Sonne seine weiße Kugelseite zuwenden. Leider versagte der Propellermotor, und er mußte die ganze Zeit in brütender Hitze von fast 40° zubringen. Wie man sieht, erhält man vom Sonnenofen eher zu viel Hitze als zu wenig.

Für die Beschaffung der notwendigen Innentemperatur reichte vielleicht ein in der Rakete angebrachter Spiegel schon aus. Da die Sonne immerwährend scheint, hat man ihre Wärme als Heizquelle dauernd zur Verfügung.

Schwierigkeiten würde das Heizungsproblem erst machen, wenn man sich in die Nähe des Mars begibt, wo die Sonnenstrahlung so stark vermindert ist, daß sie nicht mehr ausreicht, selbst wenn man sie dauernd auffängt. Hingegen bereitete es nicht unerhebliche Schwierigkeiten, etwa in Venusnähe zu reisen, weil man sich dann der unmäßig einstrahlenden Sonnenwärme kaum noch zu erwehren vermöchte. Im interstellaren Raum fehlte natürlich jede Wärmestrahlung, wie schon im Planetenraum weit draußen jenseits des Mars.

Das sind jedoch Fragen, die sich viel besser erledigen lassen, wenn man erst einmal den Versuchsflug über die Erdatmosphäre absolviert hat. Es wird sich dann leicht feststellen lassen, welche Maßregeln in jedem Fall getroffen werden müssen.

An andere wichtige Dinge denken dagegen die Kritiker zumeist nicht, z. B. daran, daß die Augen der Weltraumfahrer ständig eines weitgehenden Schutzes bedürfen, damit das Bindehautgewebe nicht so stark ent-

Die ideale Sternwarte

zündet wird, daß sie bald nichts mehr sehen können. Auch die Haut bedarf eines wesentlich größeren Schutzes als auf der Erde, da die ultravioletten Strahlen des Sonnenlichts ungehinderten Zutritt haben, während sie auf der Erde durch die Atmosphäre absorbiert werden.

DIE IDEALE STERNWARTE NUR IM FREIEN WELTRAUM MÖGLICH

Wir haben uns mit der Frage beschäftigt, warum die Erdatmosphäre der astronomischen Beobachtung hinderlich ist und erfuhren, daß ihre Unruhe in erster Linie daran schuld ist (Seite 40). Durch sie wird die Anwendung weitgehender Vergrößerungen am Fernrohr verhindert. Aber auch die Unreinigkeiten der Atmosphäre stören außerordentlich. Das ist selbstverständlich, denn an allen in ihr schwebenden Partikelchen, gleich ob Staub, Wasserbläschen oder Dampfteilchen, wird das Licht absorbiert (verschluckt), gebrochen und abgelenkt. Aber auch die Luft selbst verschluckt Licht. Wäre z. B. der Raum zwischen Sonne und Erde ganz mit Luft erfüllt, so bekämen wir auf der Erde keinen Sonnenstrahl zu sehen, wie wir gleichfalls keinen anderen Himmelskörper sehen könnten.

Man hält das angesichts der Lichtfülle der Sonne kaum für möglich. Aber auch so durchsichtige Körper wie Glas oder Wasser zeigen ganz ähnliches. Legt man zehn bis zwanzig Glasplatten aufeinander, so bemerkt man bereits starke Schwächung des hindurchtretenden Lichts. Und die U-Bootmänner berichten, daß in größeren Tiefen von 100 m oder gar 250 m nur noch trübe Reste von Licht bemerkbar sind, obwohl draußen das ganze Himmelslicht auf das freie Meer einstürzt. Bessere und genauere Angaben darüber finden wir bei Beebe, dem wir wissenschaftliche Mitteilungen darüber verdanken, die er in seiner Tiefseekugel an der Südküste von Bermuda angestellt hat*). Seine Beobachtungen reichten bis zu 923 Metern Tiefe.

Es ist jedoch keineswegs nötig, zu solchen Tiefen hinabzudringen, denn die Farben und das Licht verblassen und verschwinden bereits viel eher. „Bei 90 m war fast das gesamte Spektrum verblaßt, das Gelb so gut wie ganz verschwunden und das Blau merklich enger geworden . . . Bei 135 m Tiefe verblieb kein Blau, nur Violett, und ein so schwaches Grün, daß es kaum nennenswert war. Bei 240 m ist nichts sichtbar außer einem schmalen Streifen von blassem Grauweiß in dem grünblauen Bezirk, natürlich eine Folge der geringen Lichtmenge, die mein Auge erreichte. Dabei sah ich beim Herausschauen nur das tiefste schwärzeste Blau, das man sich denken kann.“ Am weitesten in die Tiefe reichte der Lichtschimmer auf

*) William Beebe, 923 Meter unter dem Meeresspiegel, 3. Aufl. 1936, Seite 88, 98, 249.

einer Tiefseefahrt bei ungewöhnlicher Klarheit des Tages in Verbindung mit einer spiegelglatten See. Dabei wurde der letzte Lichtschimmer in 579 m Tiefe beobachtet. „Von 600 m abwärts herrschte völlige Finsternis.“ Überall, wo eine Atmosphäre vorhanden ist, stehen der Anwendung starker Vergrößerungen am Fernrohr unüberwindliche Hindernisse entgegen. Sie entfallen also im freien Weltraum, sofern man sich dort nicht etwa in einer kosmischen Dunkelwolke befindet. Das ist in der kosmischen Nähe der Erde jedoch nicht der Fall. Von einem künstlichen Monde oder von unserem Erdmond aus hätte man also ideale Lichtverhältnisse. Man könnte beliebige Vergrößerungen anwenden und den Himmel so ungehindert beobachten und durchforschen, wie es von der Erde aus unmöglich ist. Zwar nutzten bei den Fixsternen selbst die stärksten Vergrößerungen nichts, um auf ihnen mehr zu sehen als mit bloßem Auge — sie sind viel zu weit von uns entfernt —, aber wir können um so genauer messen. Dagegen könnten wir die Bilder aller Objekte, die uns im Fernrohr vergrößert erscheinen, also Sonne, Mond, Planeten, Planetenmonde und Kometen, vieltausendfach vergrößern und ihre Oberflächen, ja auch noch mehr, erforschen. Auf der Erde braucht man, um über die Leistungen der vorhandenen Fernrohre hinauszugelangen, Instrumente, die so teuer wären, daß man sie nicht baut. Sie unterliegen hier auch zu sehr anderen Hindernissen, z. B. bewirkt ihre Größe und Schwere, daß die Beobachtungen unkontrollierbar fehlerhaft würden (verschiedene Durchbiegung der Achsen in verschiedenen Stellungen, Durchbiegung der Objektive oder der Spiegel, deren Gewicht ja nach Tonnen mißt).

Der Begriff „täglich“ hat dort übrigens seinen Sinn verloren, denn er bezieht sich ja nur auf irdische Verhältnisse, weil die Erde mit ihrer 24-stündigen Achsendrehung den Wechsel von Tag und Nacht erzeugt, der für die Menschen zwingende Bedeutung hat. Auf dem Monde herrschen daher ganz andere Verhältnisse, wie das auch auf jedem anderen Planeten, auf künstlichen Monden und in der im freien Weltraum des Planetensystems schwebenden Rakete der Fall ist. — Das fällt im freien Weltraum alles weg, weil die Instrumente dort nichts wiegen und weil sie an wenigen Zusammenhaltestangen aufgebaut und benutzt werden können. Auch in instrumenteller Beziehung und bezüglich der Beobachtungselegenheit sind die Verhältnisse ideal. Man ist dort vom Wetter unabhängig, weil es keines gibt, und kann täglich 24 Stunden lang beobachten.

Will man starke Vergrößerungen an Fernrohren benutzen, so muß man sehr große Objektive oder Auffangspiegel anwenden, denn wenn man das Bild eines selbstleuchtenden Himmelskörpers vergrößert, so breitet man damit seine Helligkeit (die man ja nicht unwillkürlich steigern kann) auf eine größere Fläche aus. Das Bild aber ist um so heller, je mehr Licht man von dem beobachteten Objekt auffängt, d. h. je größer das Objek-

tiv oder der Auffangspiegel ist. Darum braucht man für starke Vergrößerungen große Instrumente. Die großen Objektive oder Spiegel sammeln das Licht und konzentrieren es auf die Pupille des beobachtenden Auges. Daher bestehen zwischen Pupille und Objektiv bestimmte zahlenmäßige Beziehungen, von denen die Vergrößerungen auch unter den idealen Beobachtungsverhältnissen im freien Weltraum abhängen. Es würde zu weit führen, darauf näher einzugehen; es sollte aber gezeigt werden, welche Bedeutung der Sternwarte im freien Weltraum für die Forschung zukommt. Man könnte ihre Leistungen ins schier Ungemessene steigern, so daß die Kosten lohnten —, was auf der Erde nicht der Fall ist. Hier stünden die vergrößerten Aufwendungen nicht mehr in angemessenem Verhältnis zu den erzielbaren Leistungen.

Man darf allerdings nicht denken, daß es möglich ist, die Vergrößerung des Bildes ins Beliebigste zu steigern. Dem stehen drei Umstände entgegen, nämlich die Lichtmenge der zölestischen (himmlischen) Objekte, die mangelnde Achromasie der Fernrohrobjektive und die Diffraction (Beugung) des Lichtes. Die Lichtmenge, die ein Himmelskörper am Fernrohr-Okular ins Auge des Beobachters gelangen läßt, ist ein von seiner scheinbaren Helligkeit und der Weite des Fernrohrobjektivs abhängiger bestimmter Betrag, den man auf keine Weise verstärken kann. Mehr liefert eben die Lichtquelle der Sterne in dieser Entfernung nicht. Vergrößert man das Bild durch das Okular, so breitet man das Licht auf eine größere Fläche aus. Einer Vergrößerung auf das Doppelte entspricht einer Ausbreitung auf die $2 \cdot 2 = 4$ fache Fläche. Das Licht des Bildes im Okular wird auf $\frac{1}{2 \cdot 2} = \frac{1}{4}$ geschwächt. Bei 3facher Ver-

größerung auf $\frac{1}{3 \cdot 3} = \frac{1}{9}$, bei 10facher auf $\frac{1}{10 \cdot 10} = \frac{1}{100}$. Eine tausend-

fache Vergrößerung ergäbe nur $\frac{1}{1000 \cdot 1000} = 1$ Milliontel Licht-

stärke. Das wäre für die Sonne ohne weiteres erträglich. Beim Monde brauchte man dazu schon ein sehr großes Fernrohr. Planetenbilder so stark zu vergrößern, hat keinen Zweck. Man bekäme selbst unter den allergünstigsten atmosphärischen Verhältnissen nur ganz lichtschwache Bildchen, mit denen man nichts anfangen könnte, weil nichts mehr darauf erkennbar wäre. Fixsterne zu vergrößern hat überhaupt keinen Sinn. Ihre Entfernungen sind so riesig, daß man selbst unter Anwendung stärkster Vergrößerungen doch kein Scheibchen und kein Oberflächenbild bekäme. Aber bei einem Fernrohr mit einem Objektiv von 60 cm Durchmesser erreichte man schon unter Anwendung von mehr als 1500facher Vergrößerung keinen erheblichen Vorteil mehr, bei einem

Grenzen der Vergrößerung

Refraktor von 10 cm Objektivöffnung läßt sich eine stärkere Vergrößerung als 300 kaum noch erfolgreich anwenden.

Wenn das Okularbild eines Himmelskörpers durch Vergrößerung so lichtschwach wird, wäre doch das einfachste Mittel, es auf einen Schirm zu werfen, wie man das bei Lichtbildervorträgen tut, um es dann mit einer hellen Lampe zu beleuchten! So sagte mal ein Witzbold. Das Mittel ist zweifellos gut erdacht. Aber warum hat das wohl keinen Sinn? Wo liegt da der Fehler? — Der Leser mag ihn selbst suchen. — Die Hauptrolle aber spielt immer der Zustand der Erdatmosphäre. Zeigen sich bei einem Fernrohr von etwa 25 cm Objektivöffnung keine beständigen und wesentlichen Störungen, wenn man 500fache Vergrößerung anwendet, so ist die Nacht zur astronomischen Beobachtung schon sehr günstig. Mehr als 800 anzuwenden, ist in unseren Klimaten und Breiten eine sehr seltene Ausnahme.

Ein anderer Grund für die Grenze anwendbarer Vergrößerung ist die mangelnde Farblosigkeit (Achromasie) der Bilder, die das Linsen-Fernrohr liefert. Die Objektive der Fernrohre sind alle aus mehreren Teilen zusammengesetzt, die nach außen überall verschiedene Dicke haben und als Prismen wirken. Sie ergeben selbst bei den besten Fernrohrobjektiven farbige Ränder, die die Bildschärfe stören. Schließlich setzt die Beugung des Lichts (Diffraktion) der Vergrößerung eine Grenze. Vergrößert man ein Fernrohrbild um mehr als das Vierzigfache je Zentimeter Objektivöffnung, so ist der Gewinn infolge stärkerer Vergrößerung durch die größere Undeutlichkeit des Bildes aufgehoben. Hellere Sterne werden dann zu Scheibchen von nicht unbeträchtlichem Durchmesser, die den Beobachter irreführen. Bei einem Fernrohr von 60 cm Öffnung wäre also $40 \times 60 = 2400$ die stärkste noch zulässige Vergrößerung. Aber schon bei 1500facher ließe sich das Bild ebenso kaum noch verbessern. Dieser Mißstand bleibt auch dort bestehen, wo keine Atmosphäre vorhanden ist, also im freien Weltraum. Er setzt deshalb der Vergrößerung auch dort eine Grenze. Aber sonst könnte diese Vergrößerung wenigstens voll ausgenutzt werden. — — —

Keine Sternwarte der Welt, selbst die besteingerichtete, ist also in der Lage, dem Astronomen die Dienste zu leisten, die sich ihm als Weltraumschiffer im freien Weltraum außerhalb der Erdatmosphäre darbieten, wird er doch dort von zahlreichen Fehlern und Nachteilen nicht geplagt, deren Bekämpfung und kunstvolle Ausscheidung den Hauptteil der astronomischen Arbeit auf den irdischen Warten bildet. Allerdings haben die Beobachtungen von der Rakete aus den großen Nachteil, daß jede Bewegung der Insassen sich auch auf die Rakete und die instrumentellen Hilfsmittel überträgt. Das kann man allerdings vermeiden, wenn man Fernrohre außerhalb der Rakete benutzt.

Wir sind übrigens nicht darauf angewiesen, unsere astronomischen Beobachtungen unbedingt von der Rakete aus zu machen. Ein Abstieg auf einen der kleinen Planetoiden verschafft uns eine Warte, die geradezu ideal genannt werden muß, denn selbst wenn dieser Körper nur wenige Kilometer im Durchmesser hält, ist seine Masse schon so groß, daß die Bewegungen der Beobachter sich nicht mehr merkbar auf den Körper übertragen und deshalb auch nicht mehr stören. Andererseits kann ein so kleiner Körper keine Atmosphäre halten, so daß eine solche die Beobachtungen dort ebenso wenig stören würde wie beim Fluge im freien Weltraum. Was also im folgenden von diesem gesagt wird, gilt in noch höherem Maße für Beobachtungen von dieser idealen Warte aus.

Zu astronomischen Beobachtungen jeder Art haben die Raumschiffer ganz ausgezeichnete Gelegenheit, denn sowie die Rakete aus der Erdatmosphäre heraus ist, fallen ja alle Störungen weg, die durch die Luft bedingt sind. Es herrscht kein „zerstreutes“ (diffuses) Licht mehr, wie es durch die Rückstrahlung in der Nähe befindlicher Gegenstände und der Luftteilchen selbst erzeugt wird, die Schatten im Sonnenlicht werden hart und scharf, wo kein Licht ist, herrscht also absolutes Dunkel. Das Sonnenlicht stört infolgedessen auch nicht mehr bei der Beobachtung des gestirnten Himmels; dieser erscheint vollkommen schwarz, und die Sterne funkeln und blinzeln nicht, sondern erscheinen je nach ihrer Helligkeit als kräftigere oder schwächere starre Lichtpünktchen.

Diese Tatsache bietet die Möglichkeit, bei der Beobachtung sehr starke Vergrößerungen anzuwenden. In dieser Beziehung sind wir auf der Erde ja außerordentlich beschränkt, so beschränkt, daß wegen der optischen Verhältnisse Fernrohre mit größeren Objektiven als 50 bis 70 cm Durchmesser in Deutschland gar nicht ausgenutzt werden können. Man kann, wie gesagt, bei ihnen unter günstigen Umständen höchstens eine 500- bis 800fache Vergrößerung anwenden. Aber selbst in der günstigsten Luft der amerikanischen Bergsternwarten, zum Beispiel der Lick-Sternwarte auf dem Mount Hamilton in Kalifornien (an der pazifischen Küste), kann man bei dem großen Sechsenddreißigzöller (91 cm Objektivdurchmesser) unter allergünstigsten Umständen eine 1500fache Vergrößerung benutzen. Im freien Weltraum jedoch kann man diese Vergrößerung, wie oben dargelegt, wenigstens voll ausnutzen. Sie findet ihre Grenze nur in der optischen Beschaffenheit der benutzten Linsen und Spiegel.

Der vorhin beschriebene Zustand der günstigen Beobachtungsverhältnisse tritt schon etwa eine Minute nach Verlassen der Erde ein. Dann sind die Insassen der Rakete in der Lage, alle Beobachtungen anzustellen, die sie wollen. Die Fernrohre brauchen keine Rohre mehr zu sein, sondern es genügt, Objektiv und Okular durch ein paar dünne Stangen

miteinander zu verbinden, um sie in Stellung zu erhalten. Eine Durchbiegung der Fernrohrachse (eine der unangenehmsten Fehlerquellen bei astronomischen Messungen) existiert nicht mehr; nur die Güte des Objektivs oder des das Sternlicht auffangenden Spiegels ist noch bedeutsam. Die Monde der Planeten werden durch das Sonnenlicht oder das Eigenlicht der Planeten nicht beeinträchtigt und können ungehindert beobachtet und viel besser gesehen werden. Die Sonnenkorona ist immerwährend sichtbar, man braucht bloß die Sonnenscheibe abzublenden. Man kann dann Vorgänge auf der Sonne mit solchen in der Sonnenkorona vergleichen, kann ermitteln, wie das alles auf irdische Vorgänge wirkt und gewinnt so die Möglichkeit zu wertvollen Feststellungen über die Einwirkung gewisser Vorgänge in den oberen Schichten der Sonne auf das irdische Wetter, den Erdmagnetismus und dergleichen mehr. Man wird dort endlich auch die Messungen anstellen können, wegen deren man sich bei den kurz andauernden Sonnenfinsternissen jetzt so viel Mühe geben muß und infolge der atmosphärischen Störungen doch nicht die Genauigkeiten erreichen kann, die zur Entscheidung der wichtigen damit im Zusammenhang stehenden Fragen notwendig sind. Mit einem Schlage gewinnen wir die Möglichkeit, die Konsequenzen der Relativitätstheorie zu erforschen und damit Schlüsse auf diese ganze Lehre zu ziehen, sie experimentell zu bestätigen oder zu verwerfen. Wir werden leicht in der Lage sein, die Entscheidung über etwaige atmosphärische Reste auf dem Monde zu treffen, fehlende Ermittlungen an der Sonne anzustellen und die Atmosphären und Oberflächen des Mars und der Venus zu untersuchen.

Wegen der anwendbaren starken Vergrößerungen wird man sicher zahlreiche Sterne in Sternhaufen auflösen können, viele dunkle Begleiter von Fixsternen ermitteln und manche sogenannten spektroskopischen Doppelsterne unmittelbar beobachten und verifizieren (bestätigen) können. Man wird aber auch andererseits die Bewohnbarkeitsfrage durch mancherlei Beobachtungen um entscheidende Erkenntnisse vorwärtsbringen und schließlich auch den Einwand untersuchen können, der von namhaften Astronomen gemacht wird, daß nämlich die Weltraumschiffahrt durch die zahlreichen im Sonnensystem herumstehenden Meteore in Frage gestellt wird. Darüber nachher einiges.

Ein sehr großer Vorteil dieser Beobachtungen im freien Weltraum ist, daß das einmal gerichtete Fernrohr die betrachteten Objekte im Gesichtsfeld behält, ohne daß man durch Uhrwerke und dergleichen die optischen Hilfsmittel nachzuführen braucht. Auf der Erde verschwindet ein in einem Fernrohr eingestellter Stern bekanntlich sehr schnell aus dem Gesichtsfeld, weil sich die Erde und mit ihr das Fernrohr um die Erdachse drehen. Eine solche Drehung gibt es bei der freien Beobachtung auf der

Gefährdung der Rakete

Wanderung im Weltraum nicht. Alles das vereinfacht die instrumentellen Hilfsmittel außerordentlich und damit auch die Arbeit, die beim Beobachten und beim Auswerten der Beobachtungen geleistet werden muß. Übrigens wird man in solchem Falle die Beobachtungen nicht von der Rakete selbst aus anstellen. Das ist ja gar nicht notwendig. Die Beobachter bekleiden sich vielmehr mit blechern oder Gummianzügen, zu denen Schlauchleitungen für die Zufuhr von Luft und Wärme führen (so weit das letzte notwendig ist). Sie können sich dann durch Schleusen zur Rakete in den freien Weltraum hinausbegeben und fliegen wie selbstständige Körper neben ihrem Schiff her. Natürlich müssen sie sich anseilen, damit sie infolge der Eigenbewegungen beim Aussteigen nicht etwa dauernd von der Rakete abgetrieben werden und andererseits Gelegenheit haben, sich zur Rakete zurückzuziehen. Auch die von ihnen mit hinausgenommenen Instrumente werden angeseilt. Sie können übrigens leicht in Stellung gebracht, und diese Stellung kann ebenso leicht verändert werden.

Allerdings werden sich die Beobachter an Verhältnisse und Umstände gewöhnen müssen, die ihnen ganz unbekannt und ungewohnt sind, weil auf der Erde das alles ganz anders ist. Reibung existiert ja nicht, so daß eine einmal angenommene Bewegung nicht ohne weiteres zum Stillstand kommt. Aber auch diese Dinge dürfte der intelligente Mensch beherrschen lernen.

DIE RAKETE WIRD IM WELTRAUM BESCHOSSEN!

Wir berührten vorhin die Gefahr, der jeder im Weltall fliegende Körper ausgesetzt ist, nämlich der von den Meteoriten kommenden. Es ist klar, daß selbst das kleinste Meteorstückchen, das kaum Erbsgröße besitzt, infolge der ungeheuren Geschwindigkeiten von 30 bis 60 km je Sekunde das Raumschiff und seine Behälter durchschlagen und damit gefährden muß. Sind diese kleinen wandernden Massenteile im planetarischen Raum wirklich so zahlreich, wie von manchen behauptet wird, so gefährdete das allerdings den interplanetarischen Verkehr auf das empfindlichste und könnte jede einzelne Fahrt in Frage stellen.

Das ist meines Erachtens überhaupt das gewichtigste Bedenken für die ganze Weltraumfahrt. Die Sonne erhält infolge einstürzender Meteoriten alljährlich immerhin einen Massenzuwachs von 20 000 Tonnen. Diese wandern als mehr oder weniger kleine Massestückchen durch den planetarischen Raum und durchschwirren ihn gewissermaßen. Die Erde ist gegen sie durch ihre Atmosphäre geschützt, in der sie beim Eindringen meist verglühen und zerfallen, so daß sie die Erdoberfläche nur als gefahrlosen, feinen Staub erreichen. Weltraumfahrer oder ihre

Meteore sind für Raketen tödlich

Raketen werden von ihnen jedoch hart getroffen; ihnen sind sie deshalb so gefährlich, weil sie infolge ihrer enormen Geschwindigkeiten, die die von Geschossen um das Vielfache übertreffen, alles durchschlagen, was ihnen in den Weg kommt. Der amerikanische Astronom Shapley hat geschätzt, daß die Atmosphäre der Erde jeden Tag Tausende von Millionen Sternschnuppen einfangen muß, von denen höchstens eine von einhundert hell genug ist, um dem unbewaffneten Auge sichtbar zu sein. Diese große Menge ist für den Weltraumfahrer eben das gefährliche.

Wenn an einem Tage etwa 100 000 000 ($= 10^8$) Meteore die Erde treffen, so ist die Wahrscheinlichkeit, daß ein Raumschiff getroffen wird, nur ein Zehntilliardestel (10^{-8}). Andererseits ist bekannt, daß es ganze Meteorströme gibt, die von aufgelösten Kometen oder zerfallenen Planetoiden stammen. Gerät ein Raumschiff in einen solchen Strom, dann ist es rettungslos verloren, denn schon ein Durchschlag der Kabine gefährdet die Insassen, weil die Atemluft aus ihr zischend und schnell entweicht. Einen einzigen kann man vielleicht durch schnell übergelegte Gummipfättchen abdichten, die der Innendruck der Kabinenluft an die Wandung preßt und dort von selbst festhält. Aber wenn das mehrere Male schnell hintereinander vorkommt, wird die Situation sehr mißlich. Solche Durchschläge können selbstverständlich auch Insassen treffen, schwer verwunden oder töten. Beides können Weltraumfahrer wenig gebrauchen, denn für schwer Verwundete dürfte Rettung kaum zur Hand sein. Man darf also Abfahrten oder Ankünfte von Weltraumschiffen nicht gerade in die Zeiten der ihrer Periode nach meist bekannten Meteorströme verlegen.

Oberth meint allerdings, die Gefahr, daß ein Raumschiff von einem Meteor getroffen würde, sei so gering, daß es über 500 Jahre fliegen könne, ohne daß dieser Fall einträte. Trifft das zu, dann wäre allerdings die Gefahr viel geringer als jede Autofahrt auf der Erde. Natürlich könne der Treffer in der 1. Minute des Raumfluges vorkommen. Aber das kann ebenso geschehen wie bei der unglücklichen Quinenlotterie, die man einmal in Preußen eingerichtet hatte. Bei dieser war die Wahrscheinlichkeit, daß jemand eine Quine zieht, nur $1/44\,000\,000$, d. h. man erwartete, daß dieser Fall niemals eintreten werde. Und doch geschah das Unglück am ersten Tage. Der Verlust war für den Staat, der selbst aus Geldnot zu dieser Lotterie gegriffen hatte, so groß, daß man die Lotterie sofort aufhob.

Seit Oberths Beschwichtigung hat man jedoch mancherlei Erfahrungen gesammelt, so daß man die Meteoritengefahr doch nicht so leicht zu nehmen geneigt ist. Es ist nicht immer gleich ein Treffer, der durchschlägt. Aber man weiß, daß große Massen Meteorstaub durch die Atmosphäre und den Weltraum wandern. In den USA hat man auf polierten Außen-

flächen von Raketen Kratzer gefunden, die nur von solchem Staub herühren können. Glasflächen und Linsen von Beobachtungsinstrumenten werden dadurch sehr in Mitleidenschaft gezogen, können gänzlich mattgerieben und unbrauchbar werden. Ein mit 60 km sekundlicher Geschwindigkeit durch den Weltraum sausesendes Sandkorn hat bereits die Bewegungsenergie eines Artilleriegeschosses.

DAS WELTALL ALS MÜLLSCHLUCKER

Das vorhin erwähnte Bedenken gegen die im Weltraum umherschwirrenden Meteore läßt es übrigens rätlich erscheinen, von Anfang an bei der Weltraumfahrt nicht unnütze Körper abzustoßen. Denn diese schwirren für immer im Weltraum umher, und zwar in Bahnen, die wahrscheinlich häufiger befahren werden. Wirft man einen Körper aus dem Weltraumschiff, so fliegt er neben ihm her; er entfernt sich von ihm nur, wenn man mit einer Anfangsgeschwindigkeit geworfen hat. Da man jedoch nicht weiß, wie weit sich einmal die Weltraumfahrt ausdehnen wird, sollte man dafür Sorge tragen, daß die Zahl der vorhandenen Meteore nicht noch durch künstlich geschaffene vermehrt wird. Man wird also diejenigen Gegenstände und Stoffe, deren man sich aus dem Weltraumschiff entledigen möchte, lieber im Schiff behalten (verdorbene Lebensmittel, Fäkalien usw.). Wirft man sie schon ab, so in der Richtung von der Sonne weg, da sie sich dann von dem Planetenraum langsam entfernen. Man mag vielleicht darüber lachen, aber an alle solche Dinge und Umstände muß man eben doch denken, zur rechten Zeit vorher sogar.

Oberth hat übrigens über diesen Einwand keineswegs gelacht. Aber er meint: „Der Weltraum ist groß und kann viel aufnehmen. Und es ist schließlich mehr oder weniger Sache der Weltanschauung, ob wir uns für unsere Enkel über 50 000 Jahre heute schon in Unkosten stürzen wollen. . . . Fäkalien werden jedenfalls infolge ihres Wasser- und Gasgehaltes im luftleeren Raum sofort in kleinste Stücke zerrissen. Wir bekommen es also hier höchstens mit einem kosmischen Staub zu tun, dessen Körner zu klein sind, um einem Raumschiff zu schaden. — Ein Wiedersehen mit einer angefaulten Runkelrübe oder mit einem kaputen Steuerkreisel dagegen könnte in der Tat unbequeme Folgen haben, und es wäre tatsächlich zu überlegen, ob man solche Dinge nicht wenigstens vorher zermahlen soll. Das geht sehr leicht, wenn man sie eine zeitlang im Schatten des Raumschiffes gehalten hat, so daß sie —273° kalt und entsprechend spröde werden. Ernsthaft zu erwägen wäre die Abfallfrage bei den um die Erde rotierenden Beobachtungsstationen. Glücklicherweise gibt die Auswurfvorrichtung den Gegenständen einen gewissen Antrieb mit. . . .“, der sie dann ja aus der Bahnrichtung wegführt.

DIE LANGEWEILE UND PHYSIKALISCHER ZAUBER
BEI DEN WELTRAUMFAHRERN

Drinne gefangen ist einer . . . (Faust I)

Namentlich aus dem Mittelalter werden uns zahlreiche Fälle berichtet, daß Gefangene Jahre, sogar Jahrzehnte lang in engen, dunklen Kellern gehalten wurden und dennoch wieder freigekommen sind und dann noch längere Zeit gelebt und gewirkt haben. Auch Kaspar Hauser gehörte zu diesen Unglücklichen. Es ist uns unbegreiflich, wie diese Menschen das aushalten konnten. In ähnlicher Lage befinden sich jedoch unsere Raketenreisenden. Auch sie sind während der Raketenfahrt auf einen sehr engen Raum angewiesen, den sie nicht verlassen können; in ein wahres Gefängnis sind sie hermetisch eingeschlossen, selbst wenn sie im Raumtaucheranzug neben der Rakete einherfliegen. Denn draußen, außerhalb Rakete und Taucheranzug, wartet ihrer unweigerlich sofortiger Tod. — Längere Weltraumreisen bedingen also das Opfer einer nicht unbeträchtlichen Gefangenschaft in engstem Verließ, das nur extensiver (allerweitestgehender) Enthusiasmus überwinden kann.

Die heutige Zeit hat jedoch allerlei Mittel, die Zeit zu kürzen. Da sind das Radio, der Bandspieler und technische Musikinstrumente hoher Vollkommenheit. Vielleicht bietet das Radio gar Gelegenheit, mit der anderen, verlassenem Welt in Verbindung zu bleiben. Denn da wir um die ganze Erde herum Radio hören und ohne Leitung telegrafieren und telefonieren können, wäre es verwunderlich, warum es nicht mit hoch vervollkommenen technischen Hilfsmitteln möglich sein sollte, in der auf der Reise zum Monde befindlichen Rakete Sendungen von der Erde her zu empfangen und am Ende sogar mit dem Monde selbst in Verbindung treten zu können, wenn dort bereits Radiostationen angelegt sind. Der Weg um die Erde beträgt 20 000 km (Erdumfang 40 000 km, aber die Wellen des Radios gehen vom Sendeort nach beiden Seiten hin und treffen sich im Gegenpunkt auf der Erde bei den Antipoden, von Deutschland aus also etwa in der Gegend von Neuseeland). Bis zum Monde selbst sind rund 385 000 km, das ist allerdings beinahe 20mal so weit wie die größten bisher erprobten Radioentfernungen auf der Erde. Aber wir reichen mit unseren Hilfsmitteln jetzt schon erheblich weiter.

Die Radioverbindung erscheint deshalb weithin gesichert. Denn auch im leeren Weltraum wandern die elektromagnetischen Wellen, wie das Beispiel des Lichts beweist, das ja auch nichts anderes ist. Die Radarmethoden, mit deren Hilfe man den Mond angepeilt hat, bestätigen die Möglichkeit der Verbindung durch den Weltraum. Die Weltraumfahrer haben also im Radio ein Mittel, sich die Zeit zu kürzen. Allerdings haben sie

durch ihr wissenschaftliches Interesse und die zahlreichen für die Raketenfahrt notwendigen technischen Beobachtungen und die evtl. Sendungen genug zu tun. Schließlich müssen sie ja auch ab und zu schlafen. Zwar haben sie wenig körperliche Bewegung, aber die Arbeit des Registrierens und Notierens und das stete Beobachten strengen auch an.

Also das Radio! — Leider liegt der Fall doch nicht so einfach, wie man sich das gemeinhin vorstellt. Die Radiowellen gehen bekanntlich auf verschiedenen Wegen durch den Raum. Einesteils benutzen sie die leitende Erdoberfläche je nach ihrer Eignung dazu, andernteils wählen sie den Weg durch die Erdatmosphäre. Aber sie unterliegen auf diesem Wege allen den Einflüssen, denen auch andere Strahlen und Wellen unterworfen sind: sie werden abgelenkt, zerstreut und geschwächt. Ja es scheint sogar, daß diese Ablenkungen notwendig sind, um praktisch an allen Orten der Erde überhaupt empfangen zu können. Wellen und Strahlen gehen hauptsächlich geradlinig fort. Da die Radiostrahlen anscheinend auch der Krümmung der Erdoberfläche folgen, da sie auf Bergen, in Tälern, ja in Schächten empfangen werden können, müssen sie diese Eigenschaft, die sie uns erst recht brauchbar macht, durch Ablenkung, Reflexion, Polarisation erhalten. Tatsächlich werden die elektromagnetischen Wellen auch an Luftschichten und an elektrisch geladenen Schichten zurückgeworfen und zerstreut. Am bekanntesten von diesen Schichten ist auch in breiten Kreisen die nach ihrem Entdecker genannte *Heaviside-Schicht* geworden. Das ist eine in ihrer Höhe über der Erdoberfläche von meteorologischen Verhältnissen abhängige, elektrisch geladene, schwebende Schicht, die ihre Ladung durch die Zustrahlungen und Beeinflussungen der Sonne bekommt. An dieser Schicht werden die Radiowellen wie an einem matten Spiegel zurückgeworfen, zerstreut und gelangen so auf den unterschiedlichsten Wegen zur Erdoberfläche zurück, wo man sie empfängt. Auch das Fading, der zeitweilige Schwund des Empfangs und seine wechselnde Stärke, beruht auf diesen Erscheinungen und bildet umgekehrt einen Beweis für die Mechanik der Wellenübertragung. Diese Schichten liegen der Höhe wie ihrer Krümmung und ihres Zusammenhanges nach nicht fest, sondern sind Schwankungen nach fast jeder Richtung im Raume unterworfen. Sie spielen unterbrochen wie eine Wasseroberfläche. Daraus erklären sich die Unsicherheiten und Schwankungen des Radioempfangs. Treffen die von einem Sender ausgehenden Wellen sehr steil auf solche Schichten, so werden sie nicht mehr oder nur zu geringem Teile zurückgeworfen, sondern durchsetzen die Schicht und gelangen so ins Freie, will sagen in den freien Weltraum — falls sie die geladene Schicht selbst nicht etwa absorbiert (auslöscht). Unter Umständen könnten diese Wellen auch im Weltraum aufgefangen werden, wenn z. B. die Lage der Rakete dazu günstig ist. Was wir über diese Fragen wissen, geht aus dem folgenden Kapitel hervor,

das die gegen früher völlig veränderten Verhältnisse infolge des schnellen Fortschreitens unserer Wellenphysik und -technik erörtert. Danach können Erde und Rakete die unmittelbare Verbindung durchaus aufrechterhalten, ja man kann die Rakete sogar von der Erde aus steuern und ihre Geschwindigkeit messen.

Für die Sende- wie die Empfangsapparaturen braucht man allerdings motorische Energie, die man durch motorisch oder von Hand betriebene Stromquellen oder durch aufgefangene Sonnenenergie gewinnen kann. Diese Aufgaben sind rein technischer Natur, also, wie man wohl heutzutage sagen kann, durchaus lösbar und nur Fragen der Zeit.

Zweifellos sind Radioempfang und Radiosendung für die Raketenfahrer sowie für die von der Erde sie absendenden Stellen von größter Wichtigkeit, evtl. auch für die Rettung solcher Raketen, die aus irgendeinem Grunde in Gefahr sind, zu verunglücken. Wir zweifeln nicht daran, daß es zum mindesten im Verlaufe der Zeit und nach Überwindung der gewöhnlich sich einstellenden „Kinderkrankheiten“ möglich sein wird, das alles zu bewältigen.

Wie steht es mit der Musik in der Rakete? — Da hat uns nämlich ein geistreicher Schriftsteller, Alexander Moszkowski, vor längerer Zeit einen Floh ins Ohr gesetzt. Er erzählt von dem Bacheletschen Projektflug, der mit 550 km in der Stunde dahinfliegen soll, d. h. so schnell, wie Flugzeuge nun längst bereits fliegen. Wir sind ja bereits sogar über die Schallgeschwindigkeit (330 m) weg, der etwa 1200 km in der Stunde entsprechen. Überholte ein Projektflug diese Schnelligkeit, und stellte man auf die äußere hintere Plattform eines solchen Wagens ein Klavier auf, das ein Spieler traktierte, so würde dieser von seinem Spiel gar nichts mehr hören, wenn er vor dem Klavier in der Fahrtrichtung säße. Denn da er selber schneller fährt als die von den Klaviersaiten ausgehenden Töne, so können diese ihn gar nicht mehr erreichen: Sein Spiel bliebe stumm! Erst wenn der Zug seine Fahrt etwas verlangsamte, etwa zum Anhalten auf einer Station, gelangten dem Spieler die Töne wieder ins Ohr. Aber es stellten sich sehr merkwürdige Verhältnisse ein. Da nämlich der zuletzt angeschlagene Ton zuerst sein Ohr erreichte, die früher angeschlagenen erst später zu ihm herankämen, so hörte er sein Spiel umgekehrt. Hätte er eine ansteigende Tonleiter gespielt, so vernähme er nunmehr eine absteigende. Eine abgespielte Schallplatte gäbe umgekehrte Musik — was für Jazz zwar unmerklich, für manche andere moderne Komposition vielleicht auch sogar noch ein Vorteil wäre. — Ertönte draußen auf der Strecke ein Bahnsignal, so hörten die Zuginsassen beim Vorüberfahren ein völliges Überschnappen des Signaltons. Die heutigen D-Zug-Reisenden hören bei der Annäherung an das Signal einen langsam ansteigenden Ton, beim Entfernen einen sich immer mehr vertiefenden, je nachdem

Musik in der Rakete

wir je Sekunde vermehrte oder verminderte Schwingungszahlen empfangen (Doppler-Effekt). Beim Vorbeifahren schnappt der Ton plötzlich ab, und zwar um ein Sekundenintervall, bei ganz schnell fahrenden Zügen um höchstens eine Terz. Im mit Überschallgeschwindigkeit fahrenden Zuge jedoch springt der Ton beim Vorüberfahren plötzlich über Oktaven hinweg. Bei der Annäherung bliebe zudem der Ton unter Umständen plötzlich ganz aus, weil er in dieser Höhe mit dem Ohre nicht mehr wahrnehmbar wäre. Er fiel außerhalb der Skala der Hörmöglichkeit des Menschen.

Nun darf der Leser zweierlei nicht verwechseln, nämlich wenn innerhalb oder außerhalb des Zuges gespielt wird. Die Musik im geschlossenen Wagen hört man auch bei höchster Zuggeschwindigkeit wie gewöhnlich, denn die den Ton übermittelnde Luftmasse wird im Innern des Wagens von diesem mitgenommen, während die draußen auf der offenen Plattform gespielte in der ruhenden oder herumwirbelnden Außenluft erzeugt wird, die mit dem Zuge nicht mitgeht. So vernähme man die Musik in der Rakete, als wenn wir sie im Zimmer eines festen Hauses hörten. Andernfalls könnten wir auf der Erde ja sonst überhaupt keine Musik oder überhaupt irgend etwas anderes hören, weil sich die Erde mit einer Geschwindigkeit von 30 km in der Sekunde um die Sonne schwingt, die Schallgeschwindigkeit also hoffnungslos dahinter hinkte, denn sie pflanzt sich nur mit einem Neunzigstel der Erdgeschwindigkeit fort.

Eine andere Erscheinung im Reiche der *Farbe* würde jedoch für die Raketenfahrer Wirklichkeit. Ebenso wie bei den Schallerscheinungen durch Bewegungen bestimmter Schnelligkeit Verschiebungen in der Tonhöhe eintreten, verschieben sich auch die Farben bei entsprechenden Schnelligkeiten. Bei den größten Geschwindigkeiten, die man mit Flugzeugen erreicht, fangen solche Verschiebungen bereits an, merklich zu werden. Das gelbe Ährenfeld wird bei der Annäherung etwas grünlicher, bei Entfernung gewinnt es einen Stich ins Orange. Das dürfte allerdings nur sehr farbgeschulten und -empfindlichen Augen merkbar werden, bei Raketen- geschwindigkeiten jedoch sicherlich jedem Betrachter. Umfährt z. B. eine Rakete bei der Landung die Erde oder den Mond, so können solche Erscheinungen unverkennbar auftreten. Denn Raketen fahren mit Planetenschnelligkeiten, und in den Regionen dieser kommen die Farbenverschiebungen vor, die die Astrophysiker ausmessen und auswerten.

Merkwürdige Verhältnisse ergeben sich bei Raketenfahrten in bezug auf die *Zeit*. Läuft die Rakete um die Erde mit derselben Geschwindigkeit wie sich die Erde um ihre Achse dreht (d. s. am Äquator 460 m/sec), also in 24 Stunden einmal herum, so steht für die Raketenfahrer die Zeit still. Denn das Zeitmaß ist die Erddrehung. Und da sich die Erde um ihre Achse gegen die Rakete überhaupt nicht dreht, so gibt es für sie

Nachrichtenverkehr und Ortung

kein Fortschreiten der Zeit. Nicht mehr die gehende, sondern die stehende Uhr ist in diesem Falle der Zeitmesser und gibt dem Raketenfahrer die richtige Ortszeit an. Er reist von Ort zu Ort und von Land zu Land mit einer Fahrzeit von Null und kann behaupten, gleichzeitig in New York, London, Berlin, Schanghai und San Franzisko gewesen zu sein. Die Schnelligkeit der Rakete hängt natürlich von der Höhe ab, in der sie über der Erde dahinschießt. Je weiter draußen sie fliegt, desto geschwinder müßte sie sein. Fährt sie in der richtigen Entfernung, so tut sie das mit ihrer eigenen Geschwindigkeit ohne Beschleunigung und ohne Antriebskraft, wie der Mond. Allerdings kann niemand ein- oder aussteigen. Das ist natürlich nur der Fall, wenn die Rakete außerhalb der Erdatmosphäre umläuft. Denn innerhalb dieser gibt es solche planetarischen Geschwindigkeiten nicht; ein so fliegender Körper würde sich wie die Sternschnuppen in Staub und Asche auflösen. —

Die Fahrtgeschwindigkeiten jetzt und früher sind beinahe unvergleichlich geworden. Man fuhr vor hundert Jahren noch mit der Postkutsche. Faust und Mephisto allerdings hatten es schon leicht. Sie breiteten nur den Zaubermantel aus; mit Hilfe eines bishens Feuerluft, das sie bereiteten, hoben sie sich „behend von dieser Erde“. Wie lange sie dabei flogen, wissen wir nicht. Aber da Goethe dabei an die Montgolfière dachte, dürfte es auch gerade kein Rekordflug im heutigen Sinne gewesen sein. Zudem war es nur von Wittenberg bis Leipzig, wozu man jetzt den D-Zug benutzt, weil es sich kaum lohnt, dazu ein Flugzeug aus dem Bunker zu ziehen. — —

Man sieht: Die Langeweile der Raketenfahrer ist für den Interessierten und den Raketensportsmann rechte Kurzwahl!

NACHRICHTENVERKEHR UND ORTUNG IM WELTRAUM

Für den Nachrichtenverkehr und für die Ortung im freien Weltraum kommen Lang- und Mittelwellen nicht mehr in Betracht; man wird dafür vielmehr Wellen von 4 m Länge (75 MHz — Megahertz) wählen, für die Navigation (Fahrkunde) sogar Wellen unter 1 m Länge (über 300 MHz), weil diese geradlinig fortschreiten. Der Verkehr bereitet insofern Schwierigkeiten, als das Raumschiff wegen der Erddrehung aus dem Gesichtskreise der Sendestation verschwindet. Um die Radioverbindung nicht abreißen zu lassen, müssen die Sendungen von mehreren richtig um die Erde verteilten Stationen weitergehen. Dazu ist selbstverständlich ein internationaler Dienst notwendig. Diese Fragen sind jedoch noch längst nicht ganz geklärt. Die Antennenverhältnisse sind im Raumschiff sehr

beschränkt, und deshalb wird man zur Anwendung sehr kurzer Wellen, etwa 1 bis 15 cm (30 000 bis 2000 MHz), gedrängt.

Die Ortung des Raumschiffes ist auf jeden Fall eine schwierige Aufgabe, während die Nachrichtenübertragung von der Erde zum Raumschiff mit großen Bodenstationen kein Problem darstellt. Mit 150 kW Sendeleistung kommt man bis zu Entfernungen von über $100 \cdot 10^6$ (100 Millionen) Kilometer. Damit erreicht man immerhin Merkurs- und Marsbahn, wenn auch die Planeten selbst in allen ihren möglichen Stellungen noch nicht. Also auch die Raumschiffe nicht immer, z. B. wenn sie sich jenseits der Sonne befinden. Die zweckmäßigen Außenstationen aber und den Mond zu erreichen, macht keine Schwierigkeiten. Bei sehr großen Höhen oder im Weltraum selbst ist die Reichweite nicht mehr durch optische Sicht bedingt, wie sie die kurzen Wellen verlangen, sondern nur durch die Sender- und Empfangsleistung. Die zunehmende Bündlungs- und Richtmöglichkeit der kürzeren und immer kürzeren Wellen läßt die Reichweite immer schneller anwachsen. Für λ (Wellenlänge) = 10 m erzielt man schon eine Reichweite von anderthalb Millionen km. Die cm-Wellen lassen sich auf einem Sichtgerät gut und störungsfrei aufzeichnen, zeigen schon verhältnismäßig kleine Gegenstände an, an denen sie reflektieren (zurückgestrahlt werden). Sie brauchen nur kleine Antennensysteme, die man leicht richten kann, erfordern nur kleine Sendeleistungen, gehen ungehindert durch die Heaviside-Schicht und bringen von dieser keine störenden Echos. Gegenstände, die reflektieren, erscheinen auf dem Schirm der Braunschen Röhre als Lichtflecke.

Alle Navigationsverfahren beruhen darauf, daß die cm-Wellen von Hindernissen reflektiert werden, und die Laufzeit für den Hin- und Rückweg gemessen und auf einem Sichtgerät oder mit einem Instrument angezeigt wird. Damit werden schon für die Fliegerei bei völlig unsichtigem Wetter die Bewegungsmanöver eines Fahrzeugs erkennbar. Genau so dürfte in Zukunft die Raumnavigation arbeiten können. Für die Nachrichtenverbindungen mit dem Raumschiff eignet sich der Wellenbereich 4 m bis 10 cm, für die Navigation 1 m bis 6 cm.

So lange die Rakete arbeitet, treten Ionisationsstörungen durch die ungeheuren Mengen der Brandgase ein, die besonders deshalb unerwünscht sind, weil die Rakete gerade während dieser Periode auf die gewünschte Flugbahn eingesteuert werden muß, weil die Fluggeschwindigkeit dann noch niedrig und die Richtung leichter und mit weniger Energie steuerbar ist. Das geschieht in erster Linie noch in der Erdatmosphäre, in der allerlei Störungen wie Schubschwankungen, Windströmungen, Kreiselpräzessionen infolge der Flugbeschleunigung usw. auf ihren Lauf einwirken. Dagegen muß der Sollwert der Richtung des Raketenschwerpunktes gesichert werden. Das geschieht durch „Leitstrahlen“ von einer Bodenstation

Die Lebensweise des Weltraumfahrers

aus, wobei es sich darum handelt, die Steuerung möglichst stabil (fest, nicht schwankend) zu halten. Beispiele dafür bieten die Steuerungsmethoden der V 2-Raketen, wie sie Dr. Kirschstein beschreibt, der an den Arbeiten in Peenemünde mitgewirkt hat. Die Steuerung ist insofern nicht einfach, als sich die Geschwindigkeit der Rakete und die Dichte der umgebenden Luft während des Fluges um Größenordnungen ändern.

Der Nachrichtenverkehr wird zwischen Erde und einer Außenstation besonders wichtig. Leider ist man sich noch nicht darüber klar, wie eine solche zu bauen ist, und wie man am besten von dieser aus auf die Erde sendet. Denn da sie die Erde ständig umkreisen muß, gehört ein gut organisierter Signaldienst dazu, der um die ganze Erde verteilt sein muß. Die Methodik der Sendungen muß gleichfalls erst noch ermittelt werden.

Diesem Kapitel liegen der Hauptsache nach die Vorträge und Diskussionen (Aussprachen) zugrunde, die Anfang Januar 1951 im Rahmen der Jahreshauptversammlung der Gesellschaft für Weltraumforschung e. V. in Stuttgart stattgefunden haben und mit dem Buche „Hochfrequenztechnik und Weltraumfahrt“ von Dr. Merten herausgegeben worden sind (S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1951).

DIE NEUE LEBENSWEISE DES WELTRAUMFAHRERS

Sehr merkwürdige Verhältnisse würden übrigens den Weltraumfahrer erwarten, der sich einer Rakete anvertraut. Beim Start der Rakete hat er einige Minuten dem großen Andruck standzuhalten, der durch die Beschleunigung um je 30 bis 40 m in der Sekunde (rund 3 bis 4 g) auf ihn einwirkt. Das hat die gleiche Wirkung, als ob er 4 bis 5mal so schwer geworden sei. (1mal mehr, weil der Andruck der Schwerkraft gleichzeitig mit überwunden werden muß.) Sowie aber die Rakete die notwendige Reisegeschwindigkeit erlangt hat, hört jeder Andruck auf. Der Weltraumfahrer und das Raumschiff sind dann nur noch der Schwere desjenigen Himmelskörpers unterworfen, in dessen Anziehungsbereich sie sich befinden. In freier Weltraumfahrt wird der Weltraumfahrer überhaupt kein Schweregefühl mehr empfinden können, weil alle „Kräfte“ sich die Waage halten. Er fühlt sich genau so gewichtslos wie unser Gewährsmann, der vom 100. Stock des New Yorker Wolkenkraters heruntersaute. So wird der Weltraumfahrer nicht mehr sitzen oder liegen, sondern in jeder beliebigen Lage frei schweben. Um sich dann andere Lagen zu erteilen, muß er sich an der Wand oder an eigens dazu angebrachten Hilfsmitteln der Rakete wie Seilen, Stangen, Griffen, entlangtasten und -ziehen. Die Rakete selber muß dann immer entgegengesetzte Bewegungen ausführen, die allerdings entsprechend ihrer Masse viel geringer sind als

Die Schwere-Verhältnisse

die Bewegung der Insassen (Erhaltung des Schwerpunkts). Griffe und Halter sind deshalb im Aufenthaltsraum der Weltraumfahrer notwendig. Die Weltraumschiffer werden sich an alles das erst gewöhnen müssen. Den schnurrigen Fall absoluter Schwerelosigkeit hat schon Jules Verne in seinem Buch „Von der Erde zum Monde“ anschaulich beschrieben. Es heißt da folgendermaßen:

„Seit dem Moment, da sie von der Erde abgefahren waren, hatten sie selbst, die Kugel samt den darin enthaltenen Gegenständen, beständig und in zunehmendem Verhältnis an Schwere abgenommen. Konnten sie diese Abnahme für das Projektil (Geschoß) nicht konstatieren, so mußte doch ein Zeitpunkt kommen, wo diese Wirkung in Beziehung auf sie selbst und für die Geräte und Instrumente, deren sie sich bedienten, merkbar wurde.

Es versteht sich, daß eine Waage die Abnahme nicht angezeigt haben würde, weil das zum Abwiegen eines Gegenstandes bestimmte Gewicht gerade ebenso viel an Schwere verloren hätte wie der Gegenstand selbst; aber eine Schnellwaage mit einer Feder, deren Spannkraft von der Anziehungskraft unabhängig ist, hätte dieses Schwinden genau anzugeben vermocht.

Bekanntlich steht die Anziehungskraft, sonst Schwere genannt, im gleichen Verhältnis der Massen und im umgekehrten des Quadrats der Entfernungen. Daraus folgt nun: Wäre die Erde allein in dem Raum gewesen und die anderen Himmelskörper plötzlich zunichte geworden, so hätte das Projektil nach Newtons Gesetz um so viel mehr, als es sich von der Erde entfernte, an Gewicht verloren, doch ohne es jemals ganz zu verlieren. Denn die Anziehungskraft der Erde machte sich stets, bei jeder Entfernung, fühlbar. In dem gegebenen Fall aber mußte ein Zeitpunkt eintreten, wo das Projektil gar nicht mehr den Gesetzen der Schwere unterworfen war, wenn man von den anderen Himmelskörpern absah, deren Einwirkung man als Null ansehen konnte.

„In der Tat zog sich die Bahnlinie des Projektils zwischen der Erde und dem Monde. Je mehr es sich von der Erde entfernte, nahm die Anziehungskraft dieser ab im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernungen, aber auch die Anziehung des Mondes nahm im gleichen Verhältnis zu. Es mußte also ein Punkt kommen, wo diese beiden Anziehungen sich gegenseitig aufhoben, die Kugel also gar keine Schwere mehr hatte. Wären Erde und Mond von gleichem Massengehalt gewesen, so hätte dieser Punkt in gleicher Entfernung von beiden gerade in der Mitte der Linie gelegen. Zog man aber die Verschiedenheit der Massen in Betracht, so war leicht zu berechnen, daß dieser Punkt zwischen 47 und 52 Teilen der Reise lag, in Zahlen nämlich 78 114 französische Meilen von der Erde ab. Auf diesem Punkt bliebe ein Körper, der keine trei-

bende Kraft der Schnelligkeit oder Ortsveränderung in sich enthielt, ewig unverändert stehen, indem er von den beiden Gestirnen gleichmäßig angezogen würde und keine andere Kraft ihn abzog.

Nun aber mußte das Projektil, wenn die treibende Kraft richtig berechnet war, beim Anlangen an diesem Punkt keine Geschwindigkeit mehr



Jules Verne

haben, indem zugleich bei ihm wie bei allen darin befindlichen Gegenständen gar keine Schwere mehr erkennbar war.

Was würde jetzt erfolgen? Es konnte einer von den drei Fällen eintreten: Entweder das Projektil hatte noch einige Geschwindigkeit behalten, dann drang es über den Punkt gleicher Anziehung hinaus und mußte, vermöge der überwiegenden Anziehungskraft des Mondes, auf diesen fallen.

Oder, wenn ihm die Kraft mangelte, den Punkt gleicher Anziehung zu erreichen, so mußte es vermöge der überwiegenden Anziehungskraft der Erde auf diese zurückfallen.

Oder endlich, seine Kraft reichte zum Anlangen an dem neutralen Punkt gerade aus, dann würde es ewig an dieser Stelle bleiben, wie das angebliche Grab Mahomed's zwischen dem Zenith und Nadir.

In dieser Lage befand man sich und Barbicane setzte seinen Reisegefährten die Folgen klar auseinander. Das entsprach in höchstem Grade ihrem Interesse. Wie konnten sie nun aber erkennen, daß das Projektil diesen neutralen Punkt in der Entfernung von 78 114 französischen Meilen erreicht habe?

Eben daran, wenn sowohl sie, wie die im Projektil enthaltenen Gegenstände sich gar nicht mehr den Gesetzen der Schwere unterworfen zeigten. Bisher hatten die Reisenden, obwohl sich ihnen ergab, daß diese Kraft

mehr und mehr schwand, doch noch nicht ihre völlige Abwesenheit erkannt. Aber diesen Tag, gegen 11 Uhr morgens, als Nicholl ein Glas aus der Hand fallen ließ, blieb dasselbe, anstatt zu fallen, in der Luft schweben.

„Ah“, rief Michel Ardan, „da seht einmal eine spaßhafte Physik!“

Und sofort hielten sich verschiedene Gegenstände, Waffen, Flaschen, die man sich selbst überließ, wie zauberhaft an ihrer Stelle. Auch Diana, von Michel in die Luft gestellt, führte, jedoch ohne ein Zauberkunststück, das einst von Gaston und Robert Houdin veranstaltete schwebende Wunder auf. Der Hund schien übrigens gar nicht zu merken, daß er in der Luft schwebte.

Sie selbst, diese drei wagehalsigen Genossen, waren überrascht und trotz ihres wissenschaftlichen Urteils bestürzt, als sie, in den Bereich des Wunderbaren versetzt, merkten, daß ihrem Körper die Schwere abging. Wenn sie die Arme ausstreckten, fühlten diese kein Bedürfnis, wieder zu sinken, ihr Kopf wackelte auf den Schultern. Ihre Füße blieben nicht mehr auf dem Boden des Projektils. Sie waren wie Betrunkene, die nicht mehr fest stehen können. Die Phantasie hat Menschen ohne Schatten, ohne Widerschein geschaffen. Hier aber bildete die Wirklichkeit durch Aufhebung der Anziehungskräfte Menschen, bei denen nichts mehr ein Gewicht, und sie selbst keine Schwere mehr hatten!

Plötzlich schwang sich Michel mit einem Schwung empor und blieb so in der Luft schwebend, wie bei Murillo der Mönch in der Engelsküche. Seine beiden Freunde gesellten sich ihm ein Weilchen zu, so daß sie alle drei in der Mitte des Projektils eine wunderbare Himmelfahrt darstellten.

„Ist das glaublich? Ist es wahrscheinlich? Ist es möglich?“ rief Michel aus. „Nein. Und doch ist's so! Ach, hätte uns Raffael so gesehen, was hätte er für eine Himmelfahrt dargestellt!“

„Das Schweben in der Höhe kann nicht andauern“, erwiderte Barbicane. „Wenn das Projektil über den neutralen Punkt hinauskommt, wird die Anziehungskraft des Mondes uns nach diesem hinziehen.“

„Dann werden wir also auf der Decke des Projektils Fuß fassen“, erwiderte Michel.

„Nein“, sagte Barbicane, „weil das Projektil, dessen Schwerpunkt sehr weit unten liegt, sich allmählich umkehren wird.“

„Das will heißen, unsere ganze Einrichtung von oben bis unten wird sich umkehren.“

„Beruhige dich, Michel“, erwiderte Nichol, „eine Umkehrung ist durchaus nicht zu befürchten. Nicht ein einziger Gegenstand wird von seiner Stelle rücken, weil die Wendung des Projektils ganz unmerklich vor sich geht.“

Die Reise zum Mond

‚Richtig‘, fuhr Barbicane fort, ‚und wenn es über den Punkt gleicher Anziehung hinaus ist, wird sein Boden als der verhältnismäßig schwerere Teil es senkrecht nach dem Monde hinziehen. Aber damit dieses vor sich gehe, müssen wir über die neutrale Linie hinaus sein.‘



*Jules Vernes sensationelles Bild:
Projekttilg zum Monde.
Der Zeichner für dieses Bild zu Vernes
berühmten Buche „Von der Erde zum
Mond“ konnte sich von irdischen Vor-
bildern nicht freimachen und zeich-
nete daher, wissenschaftlich ganz falsch,
diesen recht irdischen Projekttilg mit
flatternder Fahne und zurückbleiben-
dem Rauch, ja sogar mit einzelnen
Wagen wie bei einem D-Zuge. Damals
war die Eisenbahn noch ein technisches
Wunder und daher auch Vorbild für
Vernes Überwunder*

‚Über die neutrale Linie hinaus!‘ schrie Michel. ‚Dann machen wir es wie die Seeleute, die die Linie des Äquators passieren. Benutzen wir den Übergang.‘

Eine leichte Seitenbewegung brachte Michel an die ausgefüllte Wand. Hier nahm er eine Flasche und Gläser, stellte sie in die Luft vor seine Kameraden, sie stießen lustig an und begrüßten die Linie mit einem dreifachen Hurra.

Diese Wirkung der Anziehungskräfte dauerte kaum eine Stunde. Die Reisenden fühlten sich unmerklich wieder nach dem Boden gezogen, und Barbicane glaubte wahrzunehmen, daß die konische Spitze des Projekttils ein wenig von der senkrecht dem Monde zu gewendeten Richtung abwich. Durch eine entgegengesetzte Bewegung wandte sich das Bodenstück dem Monde zu. Seine Anziehungskraft übertraf also die der Erde. Der Fall

Die Reise zum Mond

nach dem Monde zu begann, noch fast unmerklich, er konnte in der ersten Sekunde nur ein Drittel Millimeter betragen. Aber allmählich würde die anziehende Kraft zunehmen, der Fall würde merklicher werden, das Projektil, mit dem Boden gegen den Mond gezogen, würde seine Spitze der Erde zukehren und mit wachsender Schnelligkeit auf die Oberfläche des Mondlandes fallen. Damit wäre der Zweck erreicht. Jetzt konnte nichts mehr das Gelingen hindern, und Nichol mit Michel Ardan teilten Barbicanes Freude. Hernach plauderten sie über alle diese Erscheinungen, die sie eine nach der andern in Erstaunen versetzten. Die Neutralisation der Gesetze der Schwere zumal gab immer neuen Stoff der Unterhaltung. Michel Ardan, stets Enthusiast, wollte daraus Konsequenzen ziehen, die pure Phantasie waren.

„Nun, meine würdigen Freunde“, rief er aus, „welcher Fortschritt, wenn man sich dergestalt der Schwere, dieser an die Erde fesselnden Kette, entledigen könnte! Es wäre gleichsam Befreiung eines Gefangenen! Es gäbe keine Ermüdung mehr für die Arme wie für die Beine. Und wenn es richtig steht, daß, um auf die Erdoberfläche zu fliegen, um sich durch bloßes Muskelspiel in der Luft zu halten, es eine hundertfach stärkeren Kraft bedarf, als die unsrige ist, so würde ein bloßer Willensakt, eine Laune, uns in den Weltraum versetzen, wenn die Anziehungskraft nicht mehr existierte.“

„Wirklich“, sagte Nichol lachend, „wenn man die Schwere unterdrücken könnte, wie man den Schmerz durch Chloroform unterdrückt, so würde das gewiß die Gestalt der modernen Gesellschaft ändern.“

„Ja“, rief Michel, der von seinem Gegenstand ganz erfüllt war, „heben wir die Schwerkraft auf, dann gibts keine Bürden mehr. Kräne, Winden, Spillen, Kurbeln u. dgl. hätten dann kein Recht mehr zu existieren.“

„Gut gesagt“, entgegnete Barbicane, „aber wenn es keine Schwere mehr gäbe, so hielte und säße auch nichts mehr fest, würdiger Michel, so wenig dein Hut auf dem Kopfe, wie dein Haus auf einer Stelle; denn nur durch die Schwere hängen die Steine zusammen. Keine Schiffe, deren Festigkeit auf den Gewässern nur eine Folge der Schwere ist! Selbst der Ozean nicht, dessen Wogen nicht mehr durch die Anziehungskraft der Erde im Gleichgewicht gehalten würden, endlich keine Atmosphäre, deren Elementarteilchen ohne Zusammenhalt sich im Weltraum zerstreuen würden!“

„Das ist aber bedauerlich“, versetzte Michel. „Es gleicht doch nichts den positiven Leuten, die uns brutal zur Wirklichkeit zurückführen.“

„Aber tröste dich, Michel“, fuhr Barbicane fort, „denn wenn es keine Weltkörper gibt, wo die Gesetze der Schwere aufgehoben sind, so wirst du wenigstens einen besuchen, wo sie weit geringer ist als auf der Erde.“

„Der Mond?“

„Ja, der Mond, auf dessen Oberfläche die Gegenstände sechsmal weniger

Die Reise zum Mond

Gewicht haben als auf der Oberfläche der Erde, was sehr leicht zu beweisen ist.'

„Und wir werden es erfahren?“, fragte Michel.

„Offenbar, denn 200 kg sind nicht schwerer als 30 kg auf dem Monde.“

„Und unsere Muskelkraft wird doch nicht geringer sein?“

„Keineswegs. Anstatt einen Meter hoch zu springen, würdest du dich sechs erheben.“

„Aber dann sind wir auf dem Mond Riesen, wie Herkules!“ rief Michel.

„Um so mehr“, erwiderte Nichol, „als wenn die Körpergröße der Seleniten im Verhältnis zur Masse ihres Planeten steht, die kaum einen Fuß hoch sind.“

„Liliputer!“ versetzte Michel. „Dann werde ich die Rolle Gullivers spielen! Wir werden die Fabel von den Riesen zur Wirklichkeit machen. Den Vorteil hat man davon, wenn man seinen Planeten verläßt und in der Sonnenwelt Reisen macht.“

„Einen Augenblick, Michel“, erwiderte Barbicane. „Wenn du Gulliver spielen willst, so besuche nur die kleinen Planeten, wie Merkur, Venus oder Mars, deren Masse geringer ist als die der Erde. Aber wage dich nicht auf die großen, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, denn da würde die Rolle sich umkehren und du wärest Liliputaner.“

„Und auf der Sonne?“

„Ist die Dichtigkeit der Sonne viermal geringer als die des Erdkörpers, so ist dagegen ihr Umfang 1 380 000mal beträchtlicher, und die Anziehungskraft ist da 27mal stärker als auf der Oberfläche des Erdballs. Wäre alles dort im gleichen Verhältnis, so müßten die Bewohner im Durchschnitt fast 70 m hoch sein.“

„Tausend Teufel!“ rief Michel, „da wäre ich ja nur ein Zwerg, ein Knirps!“

„Gulliver im Lande der Riesen“, sagte Nichol.

„Richtig“, erwiderte Barbicane.

„Und es würde gar nichts schaden, zu seiner Verteidigung einige Geschützstücke bei sich zu haben.“

„Gut“, entgegnete Barbicane, „deine Kugeln würden auf der Sonne ganz wirkungslos sein, und sie würden in der Entfernung einiger Meter zu Boden fallen.“

„Das ist stark!“

„Das ist aber ganz gewiß“, erwiderte Barbicane. „Auf diesem enormen Weltkörper ist die Anziehungskraft so beträchtlich, daß ein Gegenstand, der auf der Erde 70 kg wiegt, auf der Oberfläche der Sonne ein Gewicht von 1930 kg hätte. Dein Hut wöge 10 kg, deine Zigarre ein halbes Pfund. Endlich, wenn du auf der Sonne zu Boden fielest, machte dir dein Gewicht von 2500 Kilo es unmöglich, wieder aufzustehen.“

„Teufel!“ sagte Michel. „Da müßte man einen tragbaren Kran bei sich haben. Nun denn, meine Freunde, so wollen wir für heut uns auf den Mond beschränken. Da werden wir wenigstens die Großen spielen. Später wollen wir überlegen, ob es nötig ist, die Sonne zu besuchen, wo man nicht trinken kann, ohne mittels einer Winde sein Glas zum Munde zu führen...“

So weit Jules Verne. — — —

Man erkennt, daß er ganz gut zu plaudern verstand und sich über viele Dinge Rechenschaft und Klarheit verschafft hatte, die den meisten Menschen wunderbar erscheinen, wenn sie davon hören.

WISSENSCHAFTLICHE FEHLER VERNES

Es geht übrigens nicht klar aus Vernes Darstellung hervor, ob er glaubt, die auf verschiedenen Weltkörpern etwa vorhandenen Lebewesen entsprächen der Größe der Weltkörper. Deshalb darüber einige Worte.

Lebewesen, die so eingerichtet wären, wären mechanisch einfach undenkbar. Man stelle sich vor, der Sonnenmensch wäre fast 70 m hoch; da er doch fast 28mal so schwer wäre wie ein gleich großer Körper auf der Erde, hätte er geradezu ungeheuerliches Gewicht. Ein gewöhnlicher Erdmensch, d. h. in seiner irdisch normalen Größe, wöge auf der Sonne schon 40 bis 45 Zentner. Ein 70 m hoher Mensch müßte unter gleichen Umständen 1500 bis 1750 Zentner wiegen. Das schüfe geradezu absurde Verhältnisse für seine mechanische Stabilität und seine Bewegungsfähigkeit. Der Aufbau eines solchen Körpers aus den organischen Stoffen wie den unserigen wäre selbstverständlich ganz unmöglich, denn Gewebe, Knochen und organische Gefäße wären bei solchen Dimensionen und Gewichten unmöglich. Nur Metalle und gewisse Textilien hielten Beanspruchungen aus, wie sie in solchen Körpern aufträten. Aus solchen Stoffen aber können keine organisierten Wesen aufgebaut werden. — Der große Mathematiker Gauß war deshalb der Meinung, daß die Größe der Weltkörper zwar auch die Größe der auf ihnen möglichen Lebewesen bestimme, aber umgekehrt. Der Sonnenmensch wäre nur den 28. Teil so groß wie der Erdmensch, wohingegen der Mondmensch wegen der verminderten Schwere unter sonst gleichen Umständen sechsmal so groß sein könnte wie der Erdmensch. Das entspräche den Verhältnissen eher als die Annahmen von Jules Vernes Reisenden.

Verne ist noch in manchen anderen Punkten inkonsequent gewesen, und in vielen Fällen hat er es sicherlich auch nicht gewußt. Auch der Forscher und der Wissenschaftler machen eben Fehler, die man Laien und unbewanderten Dilettanten erst recht nicht so schwer ankreiden darf. Verdenken wir es doch auch Verne, diesen glänzenden Plauderer, nicht, um so weniger

als wir ihm noch heute dankbar sind für die schönen Anregungen und die prächtige Unterhaltung, die er uns mit seinen Schriften verschafft hat. Mögen wir solche jetzt auch eleganter und noch unterhaltsamer verfassen, so verkennen wir doch wiederum nicht die zeitliche Priorität seiner Romane. Die Hauptsache ist, daß wir die von ihm gemachten wissenschaftlichen Schnitzer bemerken und richtigstellen.

Von diesen greifen wir nur einige heraus. — Wir haben schon darauf hingewiesen, daß Vernes Projektilreisende gar nicht lebend mehr die Kanone verlassen hätten; der Andruck hätte sie im ersten Augenblick getötet. Verne hat geglaubt, daß seine Projektilinsassen den Abschuß überdauern würden, wenn man sie auf ein $2\frac{1}{2}$ m hohes Wasserpolster legte. In Wirklichkeit jedoch müßte dieses Polster nach Oberths Rechnung 1000 km hoch sein. Überhaupt sind die Ansichten gerade in bezug auf den Andruck sehr verworren. Auch dafür ein Beispiel aus Oberths grundlegendem Werk „Wege zur Raumschiffahrt“. Er spricht da von dem Fall einer elfenbeinernen Billardkugel aus 20 cm Höhe, die auf eine Marmorplatte fällt. Die Kugel berührt die Platte mit einer Geschwindigkeit von 2 m/sec. „Diese Geschwindigkeit wird während des Anpralls abgebremst. Dabei beträgt die Bremsstrecke sicherlich für keinen Punkt der Kugel mehr als 1 mm (auch das erscheint mir schon sehr viel!). Den durchschnittlichen Andruck während des Anpralls finden wir zu $4 : 0,002 = 2000 \text{ m/sec}^2$, und der Höchstwert ist noch größer.“

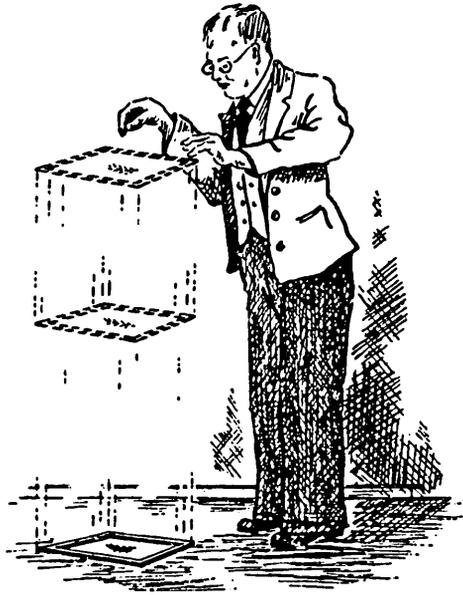
Oberth bespricht auch die Verhältnisse bei Pégouds Flügen, die seinerzeit mit Recht so gewaltige Sensation erregten; ich selber habe sie auf dem Tempelhofer Felde in Berlin erschauernd miterlebt — jetzt kann man sie täglich sehen. — „Wenn Pégoud mit einer Geschwindigkeit von 40 m/sec in einer waagrechten Spirale von 30 m Krümmungsradius fuhr, so war die Zentrifugalbeschleunigung gleich $53,3 \text{ m/sec}^2$, und im Ganzen war er einem Andruck von $54,2 \text{ m/sec}^2$ ausgesetzt.“

Ein anderes Beispiel: Kopfsprung nach rückwärts ins Wasser. „Man stellt sich mit dem Rücken gegen das Wasser und läßt sich nach rückwärts fallen, während die Füße zunächst am Sprungbrett bleiben. Dadurch entsteht eine Drehbewegung, die gerade so groß sein soll, daß man, den Kopf senkrecht nach unten, auf dem Wasser ankommt. Nimmt man die Füße zu früh vom Sprungbrett, so fällt man auf den Rücken. War das Sprungbrett 2 m über dem Wasser, so hat die Haut dabei einen Andruck von bis 200 m/sec^2 auszuhalten (wegen der Härte des Wasserspiegels; dafür wird sie aber auch krebssrot).“

Die Hawaii-Insulaner sollen, wie Oberth des weiteren mitteilt, von einem 80 m Felsen in aufrechter Haltung in das Meer springen. Sie müssen daher theoretisch mit 40 m/sec auf dem Wasserspiegel auftreffen, unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes vielleicht nur mit 35 m/sec. Der An-

druck wächst dabei mit dem Quadrat der Geschwindigkeit; er müßte daher 300 m/sec^2 betragen. Das wäre mehr als die Sonnenschwerkraft! Sehr unklar sind sich die meisten Autoren, die über solche Dinge schreiben, und auch Verne selber über die Art, wie die Beschleunigungen überhaupt wirken. Die von mir hier wiedergegebene Darstellung des Falles der absoluten Schwerelosigkeit zeigt das. Es heißt da z. B.: „Nun aber mußte das Projektil, wenn die treibende Kraft richtig berechnet war, beim Anlangen an diesem Punkt keine Geschwindigkeit mehr haben, indem zugleich bei ihm wie bei allen darin befindlichen Gegenständen gar keine Schwere mehr erkennbar war.“ Das ist falsch. Und ebenso wenn Verne seine Reisenden in ihrem Projektil nur so lange schweben läßt, wie sie sich in der neutralen Linie zwischen Erde und Mond befinden. Den Beweis für die Fehlerhaftigkeit dieser Vorstellung kann man mit einem einfachen Experiment führen. Man nehme einen Holzrahmen wie im Bilde, halte in der Mitte irgendeinen Gegenstand und lasse beides genau gleichzeitig fallen. Man beobachtet dann, daß der Gegenstand sich während des Falles nicht gegen den Holzrahmen bewegt, sondern in seiner Mitte verbleibt, bis beides auf den Boden trifft. Warum sollte das auch nicht geschehen? Es ist dazu gar kein Grund ersichtlich. Beide Körper befanden sich während des Falles im Schwerfeld der Erde, unter der gleichen Anziehungskraft. Warum hätte der Gegenstand denn aus dem Rahmen herausfallen sollen? Ebenso wenig fiel ein Insasse des Projektils oder einer Rakete auf deren Boden, so lange die Rakete frei fliegt. Beide sind ja völlig gleichwertige Gegenstände im Schwerfeld, dem sie unterliegen. Die Insassen werden sogar immer schweben, sowie und solange der Raketenofen nicht arbeitet. Bewegungen können sie sich nur erteilen, wenn sie sich gegen die Rakete bewegen, indem sie sich mittels Griffen und Seilen daran entlangtasten. Dann bewegen sich Insassen und Rakete gegeneinander. Anders ist es natürlich, wenn sich die Rakete durch ihren Apparat Antriebe gibt. Dann wird sie ja vorangetrieben, und die Insassen werden zwangsläufig auf ihren Boden gedrückt, sie erfahren dort den Andruck, der auch ihnen durch den Antrieb erteilt wird. Hört dieser auf, so hört auch jener wieder auf.

Ebenso falsch ist es, wenn Verne behauptet, das Projektil müsse seinen Schwerpunkt um- und dem Monde zukehren, wenn es über die neutrale Linie hinaus sei, weil dann die Anziehungskraft des Mondes überwiege. Auch dazu liegt keinerlei Anlaß vor, denn der Boden unterliegt der Anziehung des Mondes nicht anders, als jeder andere Teil des Projektils. Es ist überhaupt eine etwas vulgäre Vorstellung, die Verne mit der Drehung des Projektils vertritt, völlig unphysikalisch und unwissenschaftlich gedacht, so daß man gar nicht versteht, wie ein so geistreicher Kopf, der doch immerhin einen großen Vorrat wissenschaftlicher Kenntnisse besaß,



Holzrahmen und Feder, beides zugleich fallen gelassen. Beides fällt gleich schnell

derartiges schreiben und vertreten konnte. In gleicher Weise unverständlich ist, der sich mit einem Sprung emporschwingende Michel bliebe, wie Verne glaubt, schwebend in der Luft, wie bei Murillo der Mönch in der Engelsküche. Nein, er würde gegen die Decke stoßen, von dieser abgestoßen werden und so hin- und herschweben und -pendeln, wenn er sich nicht durch Festhalten irgendwo zur Ruhe brächte. Auch das Indieluftstellen von Flasche und Gläsern ist nicht so einfach. Die bleiben dort doch nicht stehen, man müßte sie denn dort festhalten und so in Ruhe bringen. Man erkennt, daß es anscheinend nicht so leicht ist, sich von den gewohnten Vorstellungen freizumachen. Dieses Freimachen gewährt jedoch gerade den Reiz solcher Betrachtungen. Die Naturerscheinungen ganz zu durchdenken für Fälle, die nicht in unserer Gewohnheit liegen, ist das Wertvolle und Aufklärende. Erst dadurch verschafft man sich eine wirkliche Beherrschung der physikalischen Tatsachen und Gesetze. Und das soll ja auch der Hauptwert unserer ganzen Betrachtungen in diesem Buche bilden, abgesehen von den Tatsachenkenntnissen, die es zu vermitteln trachtet.

DIE GEFABRDROHENDE KOSMISCHE STRAHLUNG

Genährt durch die Lehren der älteren klassischen Astronomie, die sich als die älteste Wissenschaft der Menschheit präsentiert, genährt durch das stolze Gedankengebäude der keplerisch-newtonisch-laplaceschen Himmelsmechanik stellte man sich bis in die neueste Zeit hinein die Welt als einen leeren Raum vor, in dem nur die stabilen Kugeln der Himmelskörper schweben und einsam und nach ehernen mechanischen Gesetzen der gelehrten Gesetzgeber ihre Bahnen in wohlabgesteckten Kegelschnitten ziehen, zusammengehalten durch die eisernen Bande der Massenanziehung, die als Fernkraft den Weltraum beherrscht. Allein dem ätherischen Licht war vorbehalten, Brücken zwischen den diskreten (unterschiedlich einzelnen) Massen zu schlagen, wodurch wir Kunde selbst von den fernsten Sternen und Sternhaufen erhalten. Eigentlich mußten die Entdeckungen der 3000 Weltnebel, um die die beiden Herschel die astronomische Wissenschaft bereichert hatten, diesen isolationistischen Gedanken bereits wankend machen. Aber die Tatsache, daß jedes neue und vervollkommnete Fernrohr zahlreiche dieser Nebel in einen Park schier zahlloser Sterne auflöste, befestigte die alte Vorstellung von dem diskreten Inhalt des siderischen (Sternen-)Weltgebäudes.

Als dann Wolf in Heidelberg auf seinen photographischen Platten die Geheimnisse der Ultraviolettnebel entschleierte, als 1900 sein berühmter Amerikanebel in allen Journalen abgebildet wurde, und als Wolf gar die großen Nebelhöhlen entdeckte, große schwarze Löcher in den leuchtenden und gewaltigen Flächen des Himmels überdeckenden kosmischen Nebelmassen, die man als dunkle, gänzlich nichtstrahlende Stoffmassen deuten mußte, da gewann der Gedanke mehr und mehr Boden, daß der Weltraum doch nicht so leer sein könne, wie man ihn sich vorgestellt hatte. Auch der geheimnisvoll zartschimmernde Kegel des Zodiakallichts, das allerdings die wenigsten Menschen der gemäßigten Zonen je zu Gesicht bekommen, wurde schließlich als eine feine Stoffansammlung angesehen, die die Sonne ringförmig umschwebt.

Aber gänzlich umzuwerfen droht die alte isolationistische Anschauung von der Verfassung des Weltganzen die neue, alles revolutionierende Atom- und Kernphysik, vorbereitet durch die alles durchsetzende Gärung der relativistischen Anschauungen, wie sie Ernst Mach und Hendrik Antoon Lorentz einleiteten, und wie sie Albert Einstein mit genialer Kühnheit den Physikertheoretikern der wohlausgebauten und scheinbar gänzlich unanfichtbaren, mathematisch tausendfach bewährten, sozusagen pensionsberechtigenden Wissensbereiche in das klassisch etwas erstarrte Antlitz schleuderte.

Gefahren der Ionisation

Das Universum ist nicht so leer und leblos, wie es seine Schilderer bis zur Schwelle des 20. Jahrhunderts darstellen zu müssen glaubten. Es ist im Gegenteil durchwirkt von der belebenden Energie, als welche sich sogar der gleichfalls tot und indifferent gedachte Stoff, „die schale Materie“, entpuppte.

Was das für die Weltraumfahrt bedeutet, darüber müssen wir noch einiges erfahren.

Mit dem Beginn des neuen Jahrhunderts meldeten sich der unermüdlichen Forschung bisher unbekannte Kräfte an, von denen man ganz und gar nicht wußte, wohin man sie plazieren sollte. Wieder waren es elektrische, also den menschlichen Sinnen nicht direkt zugängliche Erscheinungen, enthüllt durch physikalische Hilfsmittel. Man entdeckte sogenannte Restionisationen, die sich in abgeschlossenen Luftmengen fanden. Unter Ionisation versteht man das elektrische Leitendwerden von Luft. Diese ist unter gewöhnlichen Umständen einer der vorzüglichsten Nichtleiter der Elektrizität. Allein unter der Einwirkung von Strahlungen wird sie leitend. Die Gasmoleküle, die an sich ungeladen, elektrisch also neutral sind, werden namentlich durch elektrische Entladungen in positiv und negativ geladene Teilchen aufgespalten. Die positiven Teilchen heißen Ionen, die negativen Elektronen. Jedes der gebildeten Ionen trägt die Elementarladung $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. — 1 Coulomb ist die Einheit der Elektrizitätsmenge, nämlich diejenige, die bei 1 Ampère in 1 Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt. — Den Vorgang nennt man Ionisation. Man drückt das Maß der Ionisation aus durch die Zahl der Ionenpaare, die je Kubikzentimeter und Sekunde in Luft von Normaldruck (bei 760 mm Quecksilberhöhe im Barometer, also im Meeresniveau) und bei Normaltemperatur (15°) entstehen. 1 I ist 1 Ionenpaar, 6 I ist 6 mal so viel.

Ionisation wird auch hervorgerufen durch die bis vor einem halben Jahrhundert gänzlich unbekannte radioaktive Strahlung, von der sich immer mehr herausstellte, daß sie ein allgegenwärtiges Agens (Wirkendes) ist, vor dem sich die immer feinfühler werdende physikalische Meßtechnik kaum noch zu retten vermag. Aber selbst alle radioaktive Ionisierung ausschließenden Maßnahmen erwiesen sich mitunter wirkungslos, denn nach den Beobachtungen von Elster und Geitel 1901 enthielt Luft in geschlossenen Gefäßen immer eine geringe Restionisation, die sich nicht durch die in der Erdkruste überall vorhandene γ -Strahlung (Gamma-Strahlung) der radioaktiven Stoffe erklären läßt. V. F. Heß hat in diesen Fragen 1912 endgültig Klarheit gebracht, und Kohlhörster und später auch andere haben sie bestätigt. Heß stellte eine von außen her in die Erdatmosphäre eindringende Strahlung von enorm großem Durchdringungsvermögen fest, viel härter als die härteste γ -Strahlung aus der Gruppe der Röntgenstrahlen. Selbst in den untersten Atmosphärenschichten bringt

diese eine deutlich meßbare Ionisation von 2 I hervor. Die Strahlung dringt durch Hunderte Meter dicke Wasserschichten, sie ist auf dem Grunde des Bodensees in 250 m Tiefe ebenso meßbar wie auf der Sole tiefer Bergwerke. Nach oben hin nimmt sie gewaltig an Stärke zu und erreicht in 25 bis 30 km Höhe über der Erde ihren Höchstwert von 360 I. Ihr Verlauf ist nicht so einfach. Er wird durch sekundäre und andere Folgeerscheinungen der Strahlung verdeckt und verändert. Aber sie ist da, diese Strahlung. Trotz ihrer durchdringenden Stärke ist sie allerdings im Ganzen gering, weil sie bloß äußerst dünn herniederfällt, nicht so dicht wie die strahlende Sonnenwärme, die jede Minute 2,7 Kalorien (Wärmeeinheiten) auf jeden Quadratzentimeter der Erdoberfläche schickt. Aber während das einzelne Korpuskel der kosmischen Strahlung (KS) außerordentlich energisch ist und zwischen 0,3 und 3 Milliarden e-Volt (Elektronen-Volt) liegt (1 e-Volt = $1,63 \cdot 10^{-20}$ mkg), also 0,3...3 Hundertmilliardstel mkg beträgt ($0,3 \dots 3 \cdot 10^{-10}$ mkg), ist das einzelne von der Sonne kommende Photon nur ein verschwindender Bruchteil dieser geringen Energie. „Die Masse muß es bringen“ heißt es auch hier.

Zur Erläuterung sei einiges über die hier benutzten Maße bemerkt. Man versteht unter 1 mkg = ein Meterkilogramm eine Kraft, die ein Gewicht von 1 kg auf der Erde 1 m hoch zu heben vermag. Das ist dasselbe, wie wenn $\frac{1}{2}$ kg 2 m hoch gehoben wird oder $\frac{1}{10}$ kg 10 m hoch. Dieses Maß wird in der Technik ganz allgemein benutzt, weil man da als Längeneinheit Meter (oft auch mm) und als Gewichte oder Massen Kilogramme (kg) verwendet. In der Physik hingegen herrscht allgemein der Gebrauch des Zentimeter-Gramm-Sekunde-Systems (cgs-Systems). Für die hierbei benutzte Energiemenge geht man auf eine Energiemenge von 1 Erg zurück. Das ist eine Energie, mit der man $\frac{1}{1000}$ Gramm (also fast 1 Milligrammstück) 1 cm hoch heben kann. Das ist eine winzige Energie. In Erg umgerechnet ist $1 \text{ mkg} = 981 \cdot 100\,000 = 98,1 \cdot 10^6 \text{ Erg}$ oder $98,1 \text{ Mio Erg} \sim 10^8 \text{ Erg}$.

Schließlich noch vom Begriff des „Photons“. Man versteht darunter das kleinste mögliche Teilchen des Lichts. Wir wissen zwar, daß Licht eine Wellenerscheinung ist. Aber mit dieser Anschauung kommen wir nicht mehr aus, wenn wir uns in die Physik des Atoms begeben, wie uns Planck in seiner Quantenmechanik gelehrt hat. Daraus ergibt sich, daß Licht nicht in jeder beliebigen Menge abgegeben werden kann, daß vielmehr kleinste Lichtbrocken existieren, die nicht mehr geteilt werden können, also Lichtatome. In ihrer Größe unterscheiden sich die kleinstmöglichen Lichtbrocken, die sogenannten Quanten, nur durch die Farbe des ihnen eigenen Lichts, d. h. durch ihre Wellenlänge oder ihre Schwingungszahl (Frequenz) je Sekunde (s), um in der üblichen Bezeichnungs- und Denkweise der klassischen Physik zu reden. Diese kleinsten Lichtbrocken sind

Biologische Wirkungen der kosmischen Strahlung

die Photonen, und ihre Energiemenge ist je nach ihrer Frequenz 2,5 bis $4,6 \cdot 10^{-12}$ Erg. Erst $9,81 \cdot 10^{21} \sim 10^{22}$, d. s. etwa 10 000 Trillionen Photonen, ergeben die Energie eines Meterkilogramms. — Nun ist

$$1 \text{ mkg} \sim 10^8 \text{ Erg,}$$

also
$$1 \text{ Erg} \sim \frac{1}{10^8} \text{ mkg} \sim 10^8 \text{ mkg}$$

1 KS-Korpuskel hat $0,3$ bis $3 \cdot 10^{-11}$ mkg Energie. Rechnen wir mit dem größeren Werte, so hat 1 KS-Korpuskel

$$3 \cdot 10^{-11} \text{ mkg} \sim 3 \cdot 10^{-11} \cdot 10^8 \text{ Erg} \sim 3 \cdot 10^{-3} \sim 0,003 \text{ Erg}$$

1 Photon hat $2,5 \dots 4,6 \cdot 10^{-12}$ Erg Energie. Rechnen wir auch hier mit dem größeren Werte von etwa $4 \cdot 10^{-12}$ Erg, so hat 1 KS-Korpuskel

$$\frac{0,003}{4 \cdot 10^{-12}} = \frac{0,00075}{10^{-12}} = \frac{75 \cdot 10^{-5}}{10^{-12}} = 75 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{12} = 75 \cdot 10^7, \text{ d. h.}$$

dieselbe Menge wie $\frac{3}{4}$ Milliarden Photonen.

Die kosmische Strahlung, als KS bezeichnet, ist also zwar ungeheuer durchdringend, aber sehr dünn. Sie beträgt dem Energieinhalte nach gemessen nur 1 Millionstel der Sonnenstrahlung auf die Erdoberfläche. Immerhin ist sie eben sehr durchdringend und kann daher dort, wo sie trifft, sehr starke Wirkungen ausüben. Man kann das vergleichen mit einem Hagelschlag kleiner Körner und einem Luftbombardement mit 500-kg-Bomben. Der Hagelschlag hat zwar im Ganzen auch seine Wirkung, jedoch auf eine Stadt so gut wie gar keine, so groß auch seine Menge und damit auch seine Gesamtenergie sein mag. Das Bombardement mit 500-kg-Bomben hingegen ist sehr wirksam. Wo die einzelne Bombe trifft, ist sie jedenfalls durchschlagend, im Sinne unserer KS-Strahlung durchdringend. Wegen ihrer Durchdringungsfähigkeit, die die der Röntgenstrahlung ungeheuer übertrifft, schreibt man ihr biologische Wirkungen zu. Es ist ja bekannt, daß zahlreiche Forscher, Physiker wie Ärzte, die die medizinische Wirkung der Röntgenstrahlung noch nicht kannten und sich ihr schutzlos aussetzten, schwer geschädigt wurden. So hat mein Freund Otto von Bronk, der Erfinder der Hochfrequenzverstärkung (an jedem Röhrenradio der Welt ist sie verwendet), bei zahlreichen Vorträgen über die Röntgenstrahlen seit 1895 immer wieder als Demonstration seine linke Hand durchleuchtet und photographiert. Später stellten sich schlimme Ekzeme ein, und in den 30er Jahren dieses Jahrhunderts mußte ihm diese Hand noch abgenommen werden. Auch Professor Adolf Miethe, der bekannte Photochemiker und wissenschaftliche Optiker, erlitt schwere Krankheiten durch das Arbeiten mit Röntgenstrahlen. Hunderte von Röntgenärzten, alles Pioniere des Gebietes, haben sogar im Laufe der Jahre nachträglich und als Folgen ihrer wissenschaftlichen Arbeit ihr Leben eingebüßt.

Von der kosmischen Strahlung sagt Mielhwickel: „Wenn wir einer weichen Röntgenstrahlung von der Stärke der Höhenstrahlung (wie man die kosmische Strahlung auch nennt) ausgesetzt wären, trügen wir Verbrennungen schwersten Grades davon, und vermutlich wäre bei einer solchen Strahlung organisches Leben überhaupt nicht existenzfähig.“

Nun hat Eugster in Zürich biologische Untersuchungen an Pflanzensamen, einzelligen Organismen, Fliegen, Mäusen und Kaninchen angestellt und bei genügend langen Bestrahlungen schwere Schädigungen, Degenerationen (Entartungen) und Sterilisationen (Unfruchtbarwerden) gefunden*). Hat man doch die sogenannten spontanen (freiwillig und unvorhergesehenen) Mutationen auf die kosmische Strahlung zurückführen zu können geglaubt. Unter Mutationen versteht man plötzliche, nicht durch Übergänge vermittelte Abänderungen einer Tier- oder Pflanzenart in ihrem ganzen Aussehen und oft in fast allen ihren Teilen. Diese kommen sowohl in der freien Natur wie bei Kultur- und Züchtungsversuchen vor und sind bisher unerklärt geblieben. Nach den Erfahrungen mit Kurz-, Dezimeter- und Zentimeterwellen zu urteilen, liegt die Annahme nahe, daß auch die durchdringende Strahlung solche Änderungen und Einwirkungen hervorzubringen vermag. Man stellt sie sich vor als Strahlungstreffer auf die Chromosomen, diejenigen winzigen Bestandteile der organischen Zellen, an die die Vererbung bestimmter Eigenschaften von den Eltern auf die Nachkommen geknüpft ist. Werden diese verändert oder zerstört, so treten Änderungen, Mutationen, auf, die zwar auch Förderungen, andererseits Schädigungen sein können.

Damit treten die Erscheinungen der kosmischen Strahlung auch in das Blickfeld des Weltraumfahrers. Bei längeren Fahrzeiten können die kritischen Bestrahlungszeiten erreicht werden, bei denen Einwirkungen, vielleicht sogar gefährlicher Art eintreten. Diese Einwirkungen sind sicher viel bedeutender als bei den Versuchen, die man auf der Erde anstellen kann. Wir erfuhren ja, wieviel stärker die Strahlung in den Höhen zwischen 25 und 30 km ist. Und was im freien Weltraum erwartet werden kann, wissen wir nicht. Wir können es jedoch ahnen. Diese Gefahren sind nicht so ganz einfach von der Hand zu weisen. Man muß jedenfalls wissen, was einem unter Umständen bevorsteht, wenn man sich aus der in vielen Beziehungen schützenden Hülle der Erdoberfläche in den freien Weltraum hinausbegibt.

Man ist in der Lage, die Wirkung der KS im Körperinnern nachzuweisen. Es ist aber nötig, zu ermitteln, welche Strahlen die wirksamen sind. Daß man nicht achtlos darüber hinweggehen kann, geht schon aus der Tatsache hervor, daß auf die Oberfläche eines Menschen in jeder Sekunde 12 000 Treffer von Korpuskeln (Körperteilchen) kommen, während eines

*) Eugster und Heß, Die Weltraumstrahlung und ihre biologische Wirkung. Zürich 1940

Lebens also etwa 20 Billionen. Feststellungen solcher Art sind jedoch überaus schwierig. Einmal macht die ungeheure Durchdringungsfähigkeit der KS Vergleichsversuche mit abgeschirmter Strahlung außerordentlich schwer, sodann aber haben wir auch nicht die Möglichkeit, in jenen Höhen Dauerversuche zu machen, wo wir Höchstwerte der Wirksamkeit vermuten müssen. Diese liegen bei etwa 30 km Höhe über dem Erdboden, wo die Strahlung bereits 200mal so stark ist wie auf der Erde. Zwar kommt man mit Raketen so hoch und noch viel höher. Aber diese bewegen sich dort nur so kurze Zeit, daß die Einwirkung auf organische Stoffe zu kurzzeitig ist — ganz abgesehen davon, daß die Art ihres Transportes vielleicht andere Faktoren mitwirken läßt. Besser sind deshalb Versuche mit Ballonaufstiegen, wie sie Eugster 1951 angestellt hat. Er hat etwa 200 000 Eier von *Arthemiasalina*, dem Salzkrebs, sowie Präparate (zubereitete Stoffe) lebender menschlicher Haut dazu benutzt und bisher daraus schon feststellen können, daß ein zentraler KS-Treffer ein Ei abtötet. Wie sich die Nachzucht aus den anderen nicht getöteten Eiern verhält, muß erst noch ermittelt werden. In den menschlichen Hautstücken wurden KS-Treffer festgestellt.

Der Ursprung der KS ist uns noch unbekannt. Sie besteht aus Protonen, d. s. Wasserstoff-Atomkerne, und Elektronen, den negativen Elementarteilchen der Elektrizität. Daß die KS mit unvorstellbarer Gewalt durch den Weltraum und auf die Erde strömt, erfuhren wir schon. Die größte Menge von ihr wird jedoch in den höheren Atmosphärenschichten gehemmt, wo sie ungeheure Mengen Gasatome zertrümmert, und die Spaltprodukte selbst andere Atome und Moleküle zerstören. Man nennt solche Erscheinungen Kettenreaktionen, Wirkungen, die wie eine endlose Kette einanderfolgen, wie in der gezündeten Atombombe. In den Trümmern finden sich alle möglichen Elementarteilchen der Materie, unter ihnen auch die „Mesonen“, Aggregate (Anhäufungen) von 200 bis 400 Elektronen, die weitere Luftstrecken durchheilen und an den Luftteilchen allerlei Wirkungen verüben.

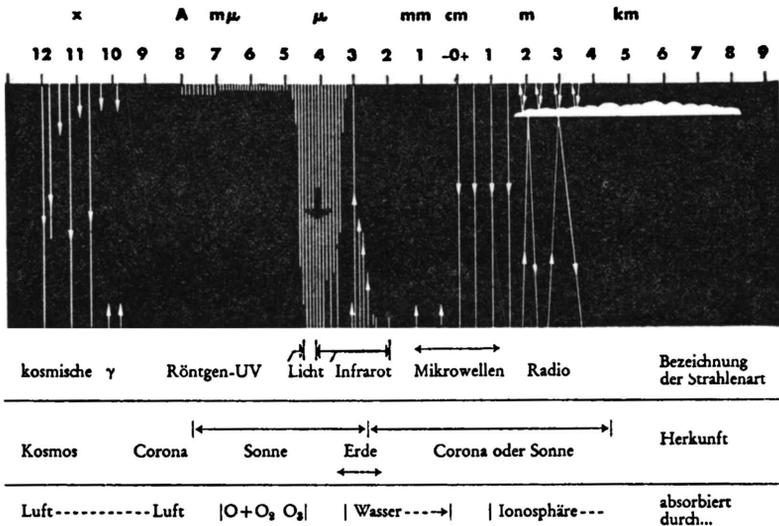
Die Weltraumfahrer sind diesen Strahlungen ausgesetzt, wenn sie nicht die Rakete mit entsprechenden Schutz-Vorkehrungen dagegen sichern. Vor allem aber werden diejenigen, die die Rakete verlassen und frei neben ihr dahinschweben, bedroht. Ob ihnen selbst der Oberthscs „Taucher“-Anzug dagegen genügend Schutz bietet, muß erst noch festgestellt werden.

Die KS ist aber nicht die einzige Strahlungswirkung, die von außen auf die Weltraumfahrer einströmt. Man muß sich darüber klar werden, welche Wirkungen *alle* diese Strahlungen haben können.

Spektrum der Wellenlängen

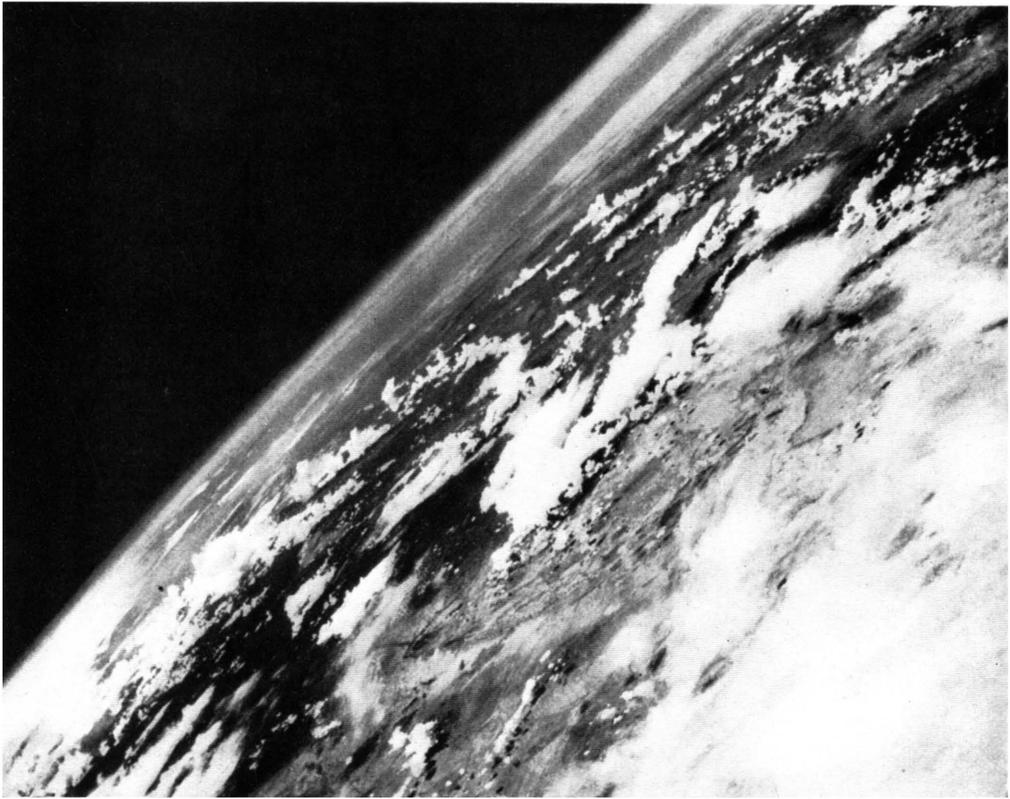
AUSSERIRDISCHE EINSTRALUNGEN

Zu dem Zwecke vergegenwärtigen wir uns alle physikalischen Wellenlängen, die es, gemäß unserer jetzigen Kenntnis überhaupt gibt. Das Bild, ein universelles Gesamtspektrum, stellt sie schematisch dar. Die kürzesten uns bekannten Strahlen sind die eben schon betrachteten kosmischen. Sie erweisen sich als eine ständige und konstante (gleichbleibende) Strahlung, während die Menge und Intensität (Stärke) der von der Sonne

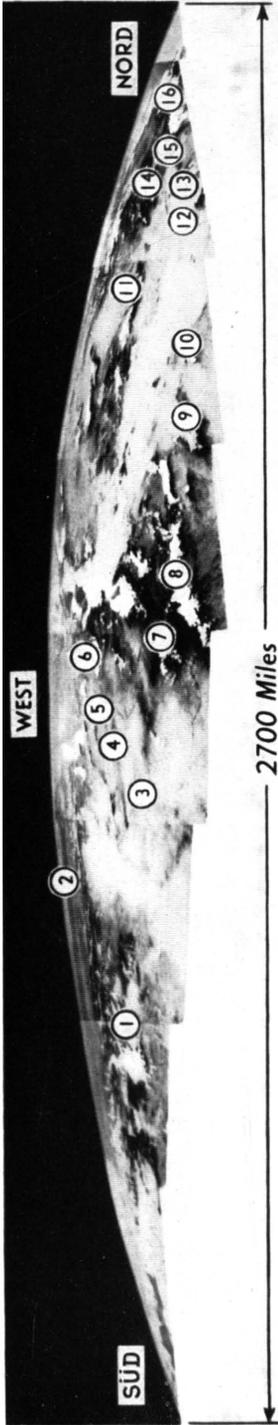


Das kosmische Gesamtwellenspektrum und das Verhalten der Erdatmosphäre dagegen. Die darüberstehende Skala ist im logarithmischen Maßstabe gezeichnet, und die darüberstehenden Zahlen bedeuten die logarithmischen Größenordnungen. Die darüberstehenden Bezeichnungen sind die für die Wellenlängen in den betreffenden Gebieten üblichen

und der Sonnenkorona ausgesandten Protonen, Elektronen und Kleinteilchen (Kleinteilchen) wie sie der Lichtdruck fortstößt, sehr stark schwankt. Die Erdatmosphäre öffnet allen diesen Strahlungen nur drei verhältnismäßig kleine Fenster, durch die sie hereinkommen können. Einmal sind es die extremen (äußersten) harten Strahlen, eben die KS, einschließlich der Mesonen, Neutronen, Elektronen. Ein zweites läßt die Lichtstrahlung herein, einschließlich der ultravioletten (UV) und der infraroten, und schließlich die kurzen Radiowellen. Alle anderen Strah-



Die Erde aus 91 km Höhe von einer automatisch arbeitenden Kamera aus fotografiert. Die Rakete startete von der amerikanischen Versuchs-Station White Sands, Las Cruces, New Mexico. Man erkennt deutlich die Erdkrümmung. Über der Erde zahlreiche Wolkenflächen.
Copyright by the Associated Press

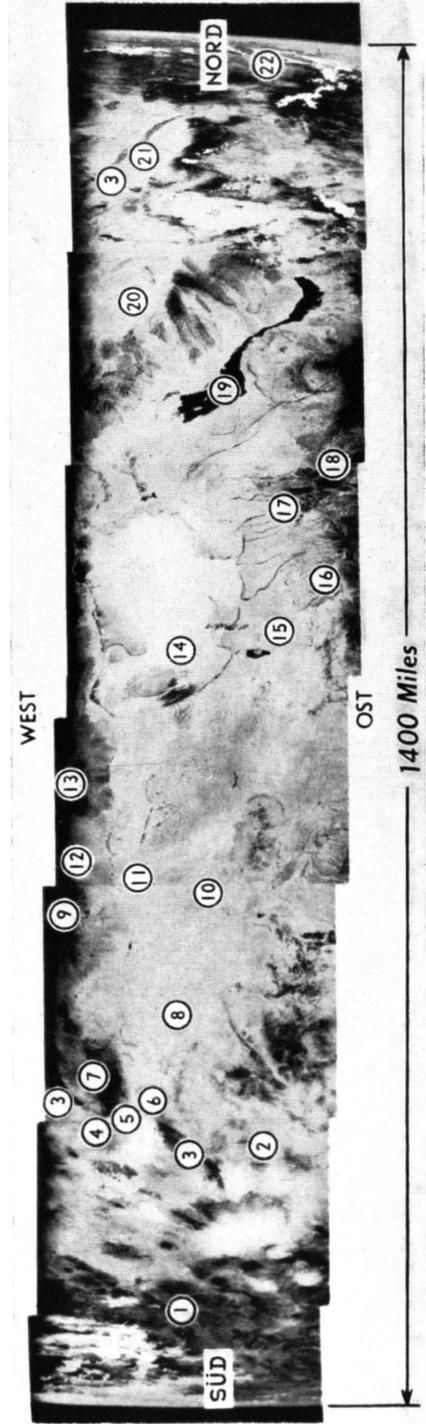


Kartografie mittels Aufnahmen von der Rakete aus

Beide Bilder sind zusammengesetzte Fotos, die mit einer Rundblickkamera aus 96 km Höhe (oben) bzw. 112 km (unten) aufgenommen wurden, und zwar über dem Versuchsgebiet von White Sands

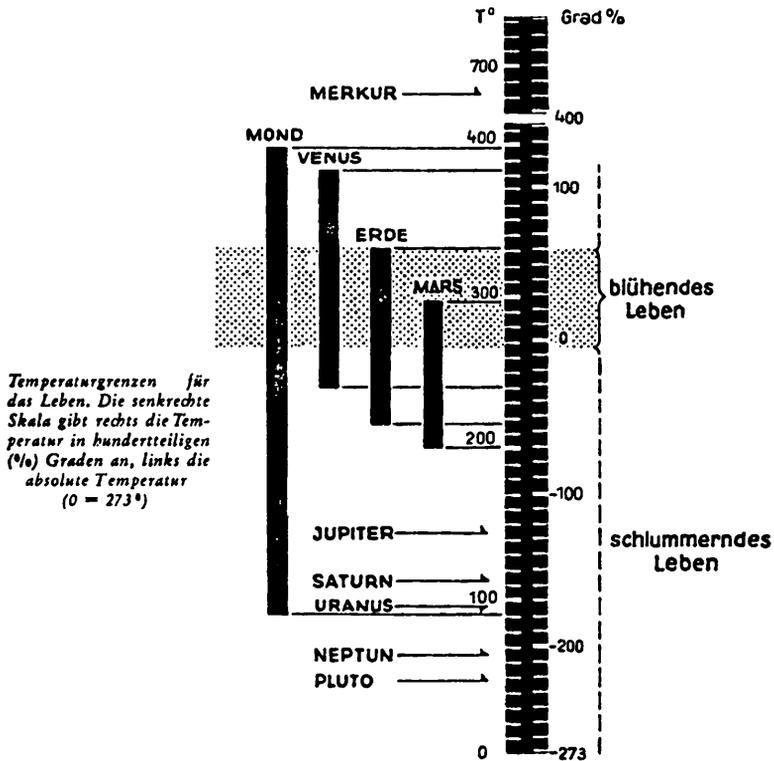
Im Bild oben bedeuten: 1 Mexico, 2 Golf v. Kalifornien, 3 Gila River, 7 Mogollon Berge, 8 Black Range, 11 Mount Taylor, 12 Albuquerque, 15 Rio Grande River, 16 Sangre de Cristo Range. Im

unteren Bild: 1 Mexico, 2 Texas, 3 Rio Grande River, 6 Biggs Field, Army-Luft-Basis, 8 Southern Pacific Eisenbahn, 9 Organ Mountains, 10 Tularosa-Gebiet, 12 Hauptquartier White Sands, 14 White Sands National Monument-Gebiet, 15 Alamogordo Armeeluft-Gebiet, 18 Sacramento Berge, 19 Malpais oder altes Lavagebiet, 20 Versuchsgebiet der 1. Atombomben-Explosion, 21 Albuquerque, 22 Gebiet von Wyoming



Die Temperaturen auf dem Himmelskörper

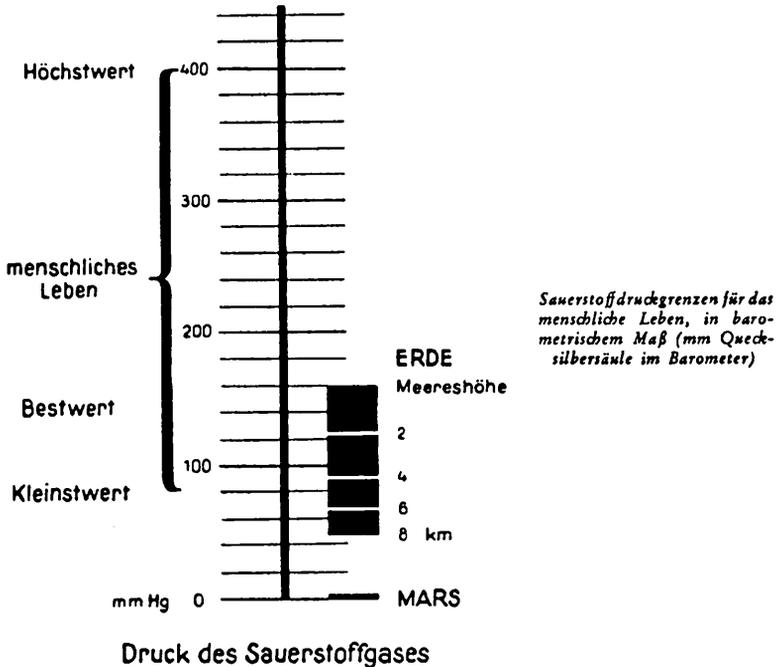
lungen werden durch Sauerstoff, Stickstoff, Ozon, Wasserdampf, Kohlensäure der Luft sowie durch die Ionosphäre aufgehalten, absorbiert (verschluckt). Die UV-Strahlen erzeugen auf der frei dargebotenen menschlichen Haut noch im Meeresniveau schon starken Sonnenbrand und mit-



unter auch noch recht unangenehme Nebenwirkungen. Die weichen Röntgenstrahlen bringen innerhalb kurzer Zeit gefährliche Verbrennungen hervor, werden jedoch durch verhältnismäßig geringe Luftschichten verschluckt und damit unschädlich gemacht. Die von außen kommenden Strahlen dieser Wellenlänge werden bereits in über 100 km Höhe wesentlich geschwächt und in 30 km Höhe durch das Ozon der Luft ganz absorbiert. Im freien Weltraum hätten der Raketenmantel und das Fensterglas dieselbe Wirkung. Gegen kosmische und die Sonnenstrahlung braucht man einen Stahlmantel für die Weltraumfahrer. Doch ungeachtet dessen muß größte Vorsicht beachtet werden. Die von der Sonne ausgehenden

Der Sauerstoffdruck

Röntgenstrahlen haben den Wert von mehr als 0,01 erg je Quadratcentimeter und Sekunde. Ihre harten Komponenten sind der Stärke nach noch unbekannt. Wenn nun — gemäß den Bestimmungen der Atom-Energie-Kommission — der Betrag an harten Strahlen bloß $\frac{1}{20}$ betrüge, wäre es



notwendig, das Weltraumschiff mit Bleiplatten zu panzern. Deren Dicke kann jedoch nur wenige Millimeter betragen und dann droht wieder die Gefahr einer Ansammlung kosmischer Strahlung in dünnen Platten. Noch andere Gefahren werden befürchtet, namentlich Erkrankungen des Nervensystems und Blutgerinnung. Man glaubt derartiges schon beobachtet zu haben, doch ist das höchst unsicher.

So viel ist jedenfalls klar, daß man mit allerlei unvorhergesehenen Erscheinungen rechnen muß und gut tut, ihre Gefahren nicht zu gering einzuschätzen. Sie alle zu berücksichtigen, dürfte keinesfalls leicht und immer einfach sein. Man bedenke vor allem, daß das tätige Leben an recht enge Grenzen gebunden ist, von denen die Bilder diejenigen der Temperatur und die des Sauerstoffdrucks für das menschliche Leben anschaulich verdeutlichen. Wie man daraus erkennt, kommen die Temperaturbedingun-

gen für tätiges, blühendes Leben nur auf wenigen Himmelskörpern vor — soweit wir die Bedingungen auf ihnen dafür kennen. Brauchbar erscheinen die Temperaturen nur auf der Erde und der Venus. Der Mond käme nur mit zwei schmalen Streifen weniger Längengrade in der Nähe der Licht- und Schattengrenze der Sonnenbeleuchtung in Betracht, Mars nur in seinem tropischen Gürtel. Für den Luftdruck spielt in erster Linie die Menge des vorhandenen Sauerstoffs eine ausschlaggebende Rolle, wofür wir nur von der Erde wissen, daß ihre Atmosphäre die Bedingungen dafür bietet. Und dann auch nur für die unterste Schicht, mit dem Optimum (Bestwert) in Meereshöhe, und dem Minimum (Gerinstwert) zwischen 5 und 6 km Höhe über dem Meeresspiegel.

WIE ORIENTIEREN SICH DIE WELTRAUMFAHRER VON DER RAKETE AUS?

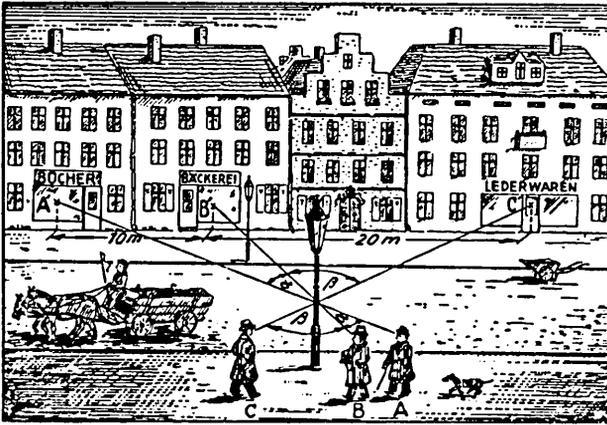
Frei im Weltraum schwebt die Rakete, losgelöst von Sonne, Erde oder anderen Himmelskörpern. — Steht sie still? — Bewegt sie sich? — Und wenn: Wohin und wie schnell oder wie langsam? —

Das sind Fragen, die jedem sofort aufkommen, der sich in die Lage der Weltraumfahrer versetzt. — Wer beantwortet sie? — Kann man sie überhaupt beantworten? — — —

Die meisten haben sich diese Fragen noch nie vorgelegt, bevor sie nicht durch unsere Betrachtungen darauf gestoßen sind. Im täglichen Leben kommen sie ja auch kaum vor. Für die Orientierung auf der Erde treten sie nicht auf, sind also gemeinhin bedeutungslos. Nur in Sonderfällen werden wir auf ähnliches geführt, z. B. bei der Ortsbestimmung entfernter Gegenstände oder von Himmelskörpern. Aber welcher Durchschnittsmensch befaßt sich mit derartigen Fragen?

Dem Astronomen vom Fach sind sie selbstverständlich geläufig, war doch die Astronomie bis zu der Zeit, als man sich mit der Oberflächenbeschaffenheit der Weltkörper zu beschäftigen begann, nichts als eine Wissenschaft von der Ausmessung des Himmels und der Ortsbestimmung und der Bewegung anderer Weltkörper. Man hatte darauf den größten Scharfsinn verwendet, den Menschengehirne aufzubringen vermochten, und Theorien und Methoden von einer Kompliziertheit und Präzision (Genauigkeit) entwickelt, wie sie anderwärts nicht vorkamen und benutzt wurden. Die Namen Tycho Brahe, Kepler, Newton, Laplace, Gauß, Bessel bezeichnen Meilensteine auf dem Wege zu dem grandiosen Gedankengebäude der Himmelsmechanik. — Aber das Problem, sich im freien Weltraum zu orientieren, ist verhältnismäßig einfach. Wohl jeder ist in der Lage, sich darüber zu unterrichten und es zu verstehen.

Orientierung in der Weltraum-Rakete

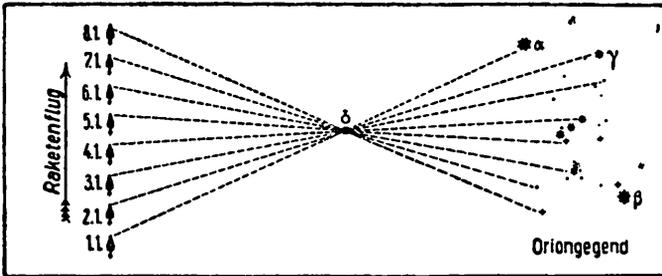


Zum Problem der Entfernungsmessung unzugänglicher Objekte und im Weltraum

Geht z. B. jemand auf der einen Straßenseite von A nach B und nach C, und blickt er von A aus in einem bestimmten Zeitpunkt zur Laterne am Wege, so deckt deren Bild auf der anderen Straßenseite gerade einen Globus im Bücherladen bei A'. In B angelangt, fällt der Blick auf einen Baumkuchen in der Bäckerei bei B', und von C aus gesehen, wird das Türschild der Lederwarenhandlung bei C' verdeckt. Kennt man nun die Entfernungen A' von B' und C', kennt man ferner den Abstand der Laterne von der gegenüberliegenden Häuserfront (B') und mißt die Winkel α und β sowie die Zeit, die der Passant brauchte, um von A nach B und nach C zu gelangen, so ist leicht festzustellen, wie groß die Strecken A'-B' und B'-C' sind. Man kann das ausrechnen, kann es aber auch im verhältnismäßigen Größenverhältnis aufzeichnen und auf der Skizze nachmessen. Jeder Leser ist also in der Lage, dies zu verstehen und selbst Feststellungen zu treffen. Geht man umgekehrt von den Entfernungs- und Winkelverhältnissen auf der anderen Straßenseite aus, so kann man die auf der Passantenseite bestimmen und löst damit dieselbe Aufgabe wie bei den Entfernungsmessungen im Weltraum.

In ähnlicher Weise bestimmt man Bewegungen, Geschwindigkeiten und Entfernungen im Weltraum. Auch die Bewegung der fliegenden Rakete gegenüber den Sternen des Himmels kann man erkennen, wenn man einen anderen zwischenstehenden Weltkörper anvisiert und seinen Ort bei Sternen des gegenüberliegenden Himmels festlegt. Hinter dem zwischenstehenden Himmelskörper erblickt man im Lauf der Zeit immer

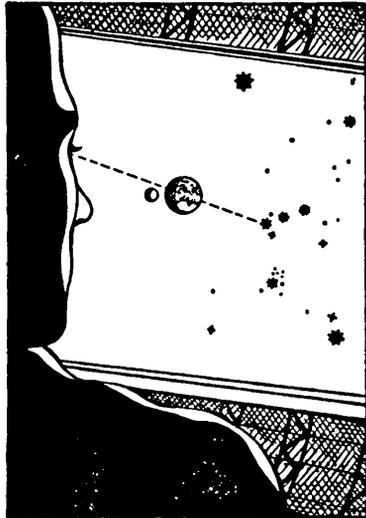
Navigation im Weltraum



α - Beteigeuze β - Rigel γ - Bellatrix

Zur Orientierung der Raketenfahrer im Weltraum

Beobachtung der Stellung der Rakete zur Erde und zu den Sternen durch die Raketenfahrer, um sich zu orientieren, ihre Stellung im Raume zu ermitteln und ihre Bewegungsgeschwindigkeit festzustellen



andere Sterne. Läuft die Rakete im Bilde nach oben, so wandert der anvisierte Himmelskörper, als welcher hier die Erde angenommen wurde, scheinbar nach unten. Während z. B. am 1. 1. α Orionis (Beteigeuze) hinter der Erde stand, war am 2. 1. schon γ Orionis (Bellatrix) überschritten, und am 6. 1. war beinahe β Orionis (Rigel) erreicht, am 7. 1. überschritten.

An den Sternen also erkennen wir die Bewegung unserer Rakete und auch deren Maß. Genauer darauf einzugehen, verbietet sich hier, da wir zu dem Zweck weit ausholen müssten.

Die Möglichkeit der Weltraumfahrt

Immerhin sieht der Leser wohl ein, daß es Wege gibt, sich von der Rakete aus zu orientieren. So z. B. auch, wenn sich die Rakete von der Erde entfernt oder sich ihr nähert. Entfernt sie sich, so muß die Scheibe der Erde kleiner erscheinen, nähert sie sich, so größer als zuvor. Sie verdeckt dann auf dem gegenüberliegenden Himmel verschiedene Sterne und Sterngruppen, und daraus kann man gleichfalls auf die Bewegung und die Geschwindigkeit der Rakete schließen. Hat der Astronom der Rakete vor Fahrtbeginn ausgerechnet, wo und wie groß man die Erde in einem bestimmten Augenblick der Raketenstellung sehen muß, so kann er an etwaigen Abweichungen die Fehler berechnen, die gemacht worden sind, und kann sie durch entsprechende Maßnahmen korrigieren. Erscheint die Erde kleiner, als sie nach der Vorausberechnung sein sollte, so ist man zu schnell gefahren, und man muß abbremsen; erscheint sie größer, dann zu langsam, und man muß aufholen. Erscheint die Erdscheibe gegen den vorausberechneten Ort nach einer Seite verschoben, so ist man nach der anderen hin abgekommen und muß das durch Richtschüsse korrigieren. Beispiele dafür geben die Bilder, die Oberth für den Film „Frau im Mond“ entworfen hat und die wir umseitig wiedergeben.

RESÜMEE EINES RAKETEN-INGENIEURS

Zu den zahlreichen Einzelfragen werden immer wieder neue Beiträge geliefert, die bei der Beurteilung des Ganzen berücksichtigt werden müssen. H. H. Kölle, der Geschäftsführer der Gesellschaft für Weltraumforschung, hat sich damit in einer Untersuchung „Der Beweis der Möglichkeit der Weltraumfahrt“ beschäftigt und kommt zu folgenden hauptsächlichen Ergebnissen: Mit Hilfe der Mehrstufenrakete kann man bei Benutzung der normalen Flüssigkeitsrakete das Erdschwerefeld überwinden und Fahrten zwischen Himmelskörpern ausführen. Dabei lassen sich durch sorgfältige Durchrechnung in jedem Falle günstige Lösungen finden, für die der erforderliche Aufwand am geringsten ist.

Das Projekt einer Außenstation läßt sich mit den normalen Flüssigkeitsraketen und den heute üblichen Auspuffgeschwindigkeiten verwirklichen. Für reine Raumfahrten ohne Anlandungen auf Himmelskörpern ist die Wasserstoff-Sauerstoff-Rakete den Flüssigkeitsraketen überlegen.

Die Kosten für das Außenstationsprojekt bewegen sich in der Größenordnung von 1 Milliarde Dollar, d. h. dem 50. Teil des Betrages für die jährlichen amerikanischen Rüstungsausgaben.

Damit ist gesagt, daß die Möglichkeit der Weltraumfahrt schon heute besteht. Allerdings ist dafür noch eine gewisse Entwicklungszeit erforderlich, die sich hauptsächlich nach dem effektiven finanziellen Einsatz richtet.

WERT DER KÜNSTLICHEN MONDE UND AUSSENSTATIONEN

Wir haben die künstlichen Monde, die wir außerhalb der Erde in nicht zu großer Entfernung von ihr bauen wollen, bisher in erster Linie als Außenstationen für die Weltraumschiffahrt angesprochen. Es steht außer Zweifel, daß sie als solche der Weltraumfahrerei sehr viel nützen. Man denke sie sich z. B. als Tankstationen für von ihnen selbst ausfahrende Weltraumraketen. Mancher Treibstoff könnte auf den Außenstationen in fester Form aufbewahrt werden, wenn man die Treibstofftanks im Schatten anbringt, vor der Sonnenstrahlung geschützt. In dieser Form ließe sich der Treibstoff beliebig lange aufbewahren, so daß man ihn immer nur dann von der Erde her nachzubringen brauchte, wenn sich dazu aus irgendwelchem Grunde günstige Gelegenheit bietet. Auch die Verproviantierung der ausfahrenden Weltraumschiffe könnte von hier aus zweckmäßig vorgenommen werden.

Wesentlich aber ist ihr Wert dadurch, daß die Weltraumschiffe überhaupt nur von dort auszureisen brauchten, nicht von der Erde her. Sie brauchten dann keine Atmosphäre zu durchdringen, brauchten keine so hohe Anfangsgeschwindigkeit wie von der Erde selbst aus, kämen daher mit viel weniger Treibstoff aus, brauchten davon keine unnütz hohen Lasten mitzunehmen, könnten infolgedessen leichter und billiger gebaut sein und noch manche anderen Vorteile gewinnen. Man könnte die eigentlichen Weltraumschiffe mit einem Hilfstank ausrüsten, der vor der Rakete hergeschoben werden könnte. Aus ihm könnte man den Treibstoff für die Rakete immer dann nachfüllen, wenn man solchen braucht. Beim Landen auf einem anderen Himmelskörper könnte man den Hilfstank an passender Stelle in eine Gravitationsbahn um diesen Körper hineinsteuern, das Raumschiff würde nur mit dem notwendigen Treibstoff landen und wieder aufsteigen, um sich dann den Hilfstank aus seiner freien Bahn heraus sich wieder anzugliedern. Man sparte dann den Treibstoff für das Mitführen des Treibstoffs beim Landen und Wiederaufsteigen und könnte unmittelbar weitere Fahrten unternehmen.

Das sind Vorzüge, die ohne weiteres in die Augen springen und denen sich manche anderen zugesellen werden, wenn erst einmal die Praxis der Weltraumschiffahrt eingesetzt haben wird.

Haben aber diese Außenstationen nicht auch für die Erde selbst noch irgendwelchen Wert?

Man braucht danach gar nicht erst lange zu suchen, um zu erfahren, was man von solchen Außenstationen aus alles für die Erde tun kann. Haben sie doch ganz anderen Wert als etwa bloß Flugzeugbeobachtungen, die stets nur von sehr beschränkten Höhen aus gemacht werden können,

aus denen die Erde als Schale erscheint, bei denen man von der Bewölkung sehr abhängig ist und wobei der Horizont keineswegs sonderlich geweitet ist, weil die Erdatmosphäre selbst am Horizont daran hindert. Aber aus einer Höhe von 1500 und 2500 km sieht die Sache ganz anders aus. Man befindet sich dann ja außerhalb nicht bloß der Troposphäre, sondern auch der Stratosphäre, ja überhaupt die ganze Atmosphäre hat man unter sich und blickt selbst nach den Seiten zu immer ziemlich steil durch sie hin. Man hat genügend Abstand, ohne jedoch an der Benutzung starker und gut wirkender optischer Hilfsmittel gehindert zu sein. So kann man von einer solchen Außenstation aus die Vorgänge auf der Erde bequem und gut beobachten. Oberth meint, daß man sogar die bedeutenden atmosphärischen Erscheinungen wie das Vorücken der barometrischen Maxima und Minima, die Windrichtungen u. a. an optischen Anzeichen mit Hilfe von Fernrohren beobachten und den ganzen Wetterzustand der Erde im Auge behalten könne. Für die Bewölkungsverhältnisse auf der Erde, die Wetterbeobachtung, die Wettervorhersage, aber namentlich auch für die Wetterkunde als Wissenschaft und die Beherrschung des irdischen Wetters für praktische Zwecke wäre das von unschätzbarem Werte und könnte unser Wissen schnell und wirksam fördern. Doch auch andere bedeutsame Erscheinungen ließen sich von einer solchen Außenstation aus viel besser beobachten, als von sonstwo auf der Erde selbst. Dazu gehörten natürlich entsprechende Signaleinrichtungen, die sich mittels kurzer Wellen unschwer schaffen ließen.

Die Militärs und Militaristen denken bei einer Außenstation selbstverständlich sogleich wieder an ihre Zwecke. Der Kriegführende, der eine solche Außenstation im Besitz hätte, besäße darin einen strategischen Vorteil von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Wir denken in erster Linie an die kulturfördernden Zwecke solcher Einrichtungen. Man könnte von Außenstationen aus die ganze Erde unter Kontrolle halten, könnte Vulkanausbrüche, einsam fahrende Schiffe, Forschungsexpeditionen, andere wichtige Naturerscheinungen beobachten, entsprechende Nachrichten weitergeben, den Nachrichten- und Zeitungsdienst wesentlich verbessern und was sich sonst noch alles herausstellen wird.

Man hat daran gedacht, mit Hilfe von Außenstationen und großen Spiegeln Meliorationen (Verbesserungen) auf der Erde für Kulturzwecke ausführen zu können, etwa auch Schmelzen von Eis, um eisblockierte Häfen eisfrei zu machen, und ähnliches. Wenn man flüchtig an solche Aufgaben und Möglichkeiten denkt, gelangt man leicht zu übertriebenen Vorstellungen und Hoffnungen. Immer ist es zweckmäßig, sich rechnermäßig davon zu überzeugen, was sich erreichen läßt. Das hat Prof. Schaub getan. In einer kleinen Arbeit in der „Weltraumfahrt“ 1951, Seite 55, kommt er zu dem Ergebnis, daß z. B. ein Spiegel in 500 km Höhe bei 500 km Brenn-

weite ein scharfes Sonnenbild von 5 km Durchmesser auf der Erde erzeugt. Jede andere Brennweite ergebe ein unscharfes Bild, breite also das Licht auf eine größere Fläche aus und verstreue dann die Energie in schwächerem Strom. Sollen jedoch das auf die Erde geworfene Licht und die Wärme so kräftig wie die direkt von der Sonne herkommenden sein, nämlich 1,9 Kalorien je Minute auf den Quadratzentimeter (sog. Solarkonstante), so muß der Spiegel genau so groß sein wie das von ihm erzeugte Sonnenbild, also 5 km im Durchmesser haben. Ein solcher Spiegel aber, wenn man ihn wirklich an einer Außenstation aufbauen könne, würde sehr schwierig dirigierbar (leitbar) sein. In 1000 km Höhe müßte der Spiegel schon 10 km Durchmesser haben. Nun darf man überdies nicht vergessen, daß er innerhalb eines Erdentages 19 Umläufe um die Erde macht. Sein Bild huschte also nur ganz flüchtig über die Erdoberfläche hin, wenn man ihn selbst richtig justierte. Er wäre also praktisch wertlos.

WAS ERWARTEN WIR, WENN WIR ANDERE HIMMELSKÖRPER BESUCHEN?

In erster Linie wissenschaftliche Bereicherung in einem Maße, wie sie die Astronomie von irdischen Warten aus niemals erzielen kann. Ich habe darüber schon mancherlei gesagt und werde noch einiges im folgenden vermerken. Vielleicht sind die Ergebnisse für andere Wissenschaften wie Geologie und Biologie noch viel bedeutsamer. Aber auch wirtschaftliche und technische Vorteile scheinen keineswegs aussichtslos. Zwar sind es nur wenige Himmelskörper, die nach bisheriger Aussicht unseren Besuchen offenstehen. Aber der exterritoriale Standpunkt, den sie uns gewähren, verbürgt eine riesige Ausweitung unseres wissenschaftlichen und technischen Gesichtskreises.

Verweilen wir zuerst noch ein wenig bei der Astronomie.

Astronomische Beobachtungen im freien Weltraum außerhalb der Rakete haben den Nachteil, daß jede Bewegung des Beobachters sich auch auf das benutzte Instrument überträgt, wenn man nicht ganz besondere Vorsichtsmaßnahmen anwendet, die jedoch das Beobachten behindern. Selbst auf einem künstlichen Monde oder einer Außenstation wäre das bis zu gewissem Grade der Fall, wenigstens, so weit man exakte Beobachtungen und Messungen anstellt. Sowie man jedoch einen halbwegs soliden Körper wie etwa einen kleinen Planeten oder gar den Mond zur Aufstellung eines Fernrohres benutzt, wird es anders. Die Masse eines auch nur wenige Kilometer im Durchmesser haltenden Körpers ist bereits so groß, daß ein Fernrohr darauf selbst bei Bewegung des Beobachters schon einen festen Stand erhielte, der die Beobachtungen nicht mehr störte, so daß man von

dort aus exakte Messungen anstellen könnte. Wendet man dann die zulässigen Vergrößerungen an, so lassen sich bereits mancherlei Feststellungen treffen, die von der Erde aus nicht möglich sind. Im freien Weltraum könnte man ein Urteil über die Gefahr gewinnen, wie weit Meteoriten die Weltraumschiffahrt gefährden und beeinträchtigen. Auflösung bisher unauflösbarer Lichtpunkte, vielleicht auch manche Fragen bezüglich der Bewohnbarkeit anderer Weltkörper ließen sich dort klären.

Die Umgebung der Sonne könnte durch einfaches Abblenden der Sonnenscheibe leicht und ergiebig kontrolliert werden. Man könnte vor allem die etwaige Beugung der Lichtstrahlen durch das Schwerfeld der Sonne prüfen, wie sie die Einsteinsche Relativitätstheorie fordert. Von der Erde aus können wir das nur bei Sonnenfinsternissen tun, und auch da nur höchst unvollkommen, weil der Hintergrund der Sonne wegen der Lichtzerstreuung in unserer Atmosphäre immer noch viel zu stark erhellt ist, wohingegen dieser im freien Weltraum vollkommen schwarz erscheint.

In diesem Zusammenhange mag auch an die mathematischen Probleme gedacht werden, die mit der geradlinigen Fortpflanzung des Lichts im Weltraum zusammenhängen. Es handelt sich da um Grundfragen der Mathematik, namentlich um das Parallelenproblem und damit zusammenhängend auch um die Frage der Winkelsumme von zwei Rechten (180°) im Dreieck-Probleme, die an die Grundlagen unserer Wissenschaft rühren.

Die Sonnenkorona können wir während der kurzen Verfinsterungen nur als starres Gebilde fotografieren. Sie ist aber nicht starr, sondern fortwährend veränderlich. Auch das läßt sich im freien Weltraum mühelos und so lange beobachten und kinematografieren, wie man nur will. Die Zusammenhänge der Koronaerscheinungen mit irdischen Vorgängen ließen sich dann sofort aufdecken.

Die aus dem Weltraum kommende harte Strahlung, über deren Ursprung wir noch so gut wie nichts wissen, könnte im freien Weltraum sicher leichter und unter erweiterten Bedingungen untersucht und gemessen werden. Die Stärke der Sonnenstrahlung, die Rückstrahlungsfähigkeit (Albedo) der Erde und anderer nicht selbstleuchtender Himmelskörper läßt sich von der Erde aus überhaupt nicht einwandfrei ermitteln, dagegen ohne weiteres vom freien Weltraum aus. Diese Feststellung wäre nicht bloß eine wissenschaftliche Aufgabe, sondern lieferte uns unmittelbar praktische Aufschlüsse über den Wärmehaushalt der Erde und das Verhalten der verschiedenen Erdgegenden dabei.

Schließlich könnten wir im freien Weltraum zahlreiche Versuche anstellen, für die wir wirklich luftleere, nicht nur luftverdünnte Räume brauchen, wie wir sie auf der Erde allein herstellen können. Das Verhalten der elektrischen Strahlungen ließe sich klären. Man kann daraus viel Nutzen

für die Wissenschaft wie für unsere wirtschaftliche Technik erwarten. Es ist nicht ausgeschlossen, daß man vom Monde oder vom Mars her mancherlei wichtige Stoffe holen kann, an denen wir auf der Erde Mangel haben, und sei es auch nur zur Ergänzung geringer Vorräte: Seltene Erden, Metalle oder auch Uran sowie solche Stoffe, aus denen man bei Kernspaltung höchstwertig Energie gewinnen kann. Und was bedeutete es wohl für die Menschheit, wenn sie etwa den ganzen ungenutzten Mars für sich kolonisieren könnte! — — —

WERT DER REISEN AUF FREMDE WELTKÖRPER

Was versprechen wir uns von einem *Besuch des Mondes*?

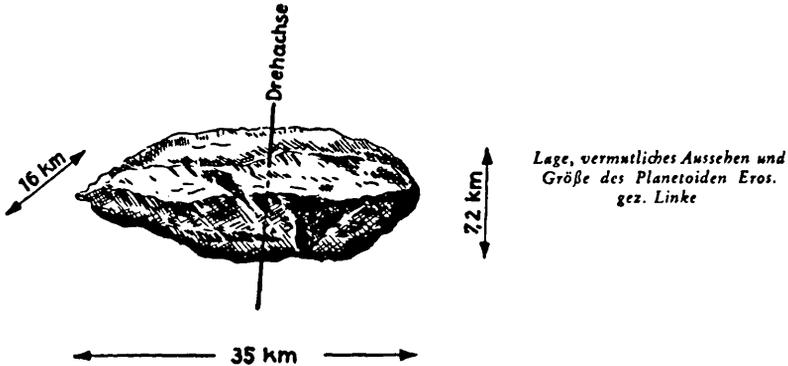
Astronomische Beobachtungen vom Monde aus dürften sehr großen Wert haben. Sie verschafften uns wesentlich genauere Kenntnisse über die Dimensionen und Maßverhältnisse im Sonnensystem, namentlich über die Verhältnisse des Systems Erde—Mond. Wissenschaftlicher Wert ist der Feststellung der Mondform beizumessen. Man nimmt an, daß der Mond ein ausgesprochen dreiachsiges Ellipsoid ist mit der längsten Achse in der Richtung auf die Erde zu. Groß sind die Achsenunterschiede allerdings nicht. Aber sie sind groß genug, um daraus Schlüsse auf die Entstehung der Mondform und der Formen von Himmelskörpern zu ziehen. Die Tatsache, daß der Mond der der Erde verwandteste Himmelskörper ist, da er ganz aus denselben Stoffen wie diese besteht und bei seiner Bildung wohl dieselben Umstände herrschten wie bei der der Erde, dürfte beim Vergleich wertvolle Aufschlüsse darüber liefern, wie die verschiedenen Elemente und Stoffverbindungen bei der Bildung der Erde beteiligt waren. Auf der Mondoberfläche selbst dürften Luft und Wasser kaum wesentlich mitgewirkt haben. Welche Unterschiede im Gesteinsaufbau hat das gezeitigt?

Man müßte auf dem Monde zum Zwecke der Klärung dieser Fragen Bohrungen ausführen, was dort wegen der geringeren Schwere und der wegen der Kälte zur Zeit der einen halben Monat lang fehlenden Sonnenstrahlung vermutlich etwas größeren Gesteins Härte wahrscheinlich viel leichter wäre als auf unserem eigenen Planeten. Man könnte bei der Gelegenheit auch das Wärmegefälle zum Mondinnern mit dem irdischen vergleichen. Grabungen oder Sprengungen, die größere Tiefen bloßlegen, könnten Aufschluß darüber geben, ob der Mond jemals Leben irgendwelcher Art getragen hat. Die wissenschaftliche Ausbeute wäre jedenfalls beträchtlich.

Aber auch eine praktische und wirtschaftliche könnte uns winken. Nach Hermann Martus entstanden die Mondkrater durch Einsturz größerer geformter Körper zu einer Zeit, als die Mondoberfläche noch bildsam

Die Reiseziele

war. Man kann annehmen, daß darunter viele meteoritenartigen Charakter hatten, daß diese sehr großen Körper jedoch verhältnismäßig dicht unter der Mondoberfläche stecken blieben. Vielleicht läßt sich ihr großer Eisengehalt ausbeuten, an Ort und Stelle verarbeiten und für technische Zwecke verwerten.



Nächst dem Monde interessierte uns der Planetoid *Eros* besonders, dessen Mitentdecker ich bin (ich habe in der Nacht vom 13. August zum 14. August des Jahres 1898 auf der Berliner Urania-Sternwarte zwei Stunden lang die Entdeckungsplatte exponiert). Dieser Planetoid ist derjenige Himmelskörper, der abgesehen vom Monde und dem erst 1937 von Reinmuth in Heidelberg entdeckten winzigen Planetoiden *Hermes* der Erde selbst am nächsten kommt. Aus diesem Grunde hat er eine sehr große wissenschaftliche Bedeutung. Auf ihm ein großes Raumteleskop zu verankern, böte Garantie für enorme wissenschaftliche Ausbeute, gerade wegen der Kleinheit des Körpers und seiner großen Erdnähe. Aber auch das Innere solcher kleinen Körper ließe sich vollständig erforschen, was für die Geologie der Erde, aber auch der kleineren wie der größeren Himmelskörper unschätzbare Aufschlüsse namentlich zur Kosmogonie (Lehre von der Entstehung der Welt) ergäbe. Die Verschiedenheit der Größen der *Planetoiden* — es gibt welche von Tischblock- und Hausblockgröße über solche von mehreren Kubikkilometern Inhalt bis zu Kugeln mit mehreren Hundert Kilometern Durchmesser — ergibt die Verhältnisse für alle möglichen Übergänge.

Mercur wird man nicht besuchen können. In den Regionen, in denen er seine Bahn zieht, ist die Sonnenstrahlung so stark, daß man sich nicht dorthin wagen kann.

Die Reiseziele

Venus dürfte für die Weltraumschiffer ein schwieriges Objekt sein. Aber allein wegen der Wahrscheinlichkeit, dort eine Lebewelt anzutreffen (S. Linke, Felix, Die Verwandtschaft der Welten und die Bewohnbarkeit der Himmelskörper. Leipzig 1925), wäre der Besuch eine sehr lohnende, ja dringende Aufgabe. Denn hier winkt nach unserer Kenntnis der Dinge eine reiche biologische Ausbeute für die Abstammungs- und Entwicklungslehre. Alles andere ließe sich erst übersehen, wenn man einmal eine Expedition auf die *Venus* durchgeführt hätte. Wissenschaftlich wäre jedenfalls der Besuch von allergrößtem Interesse.

Um den *Mars* hat sich seit Schiaparellis berühmten Kanalbeobachtungen bereits eine phantasiereiche Romantik gesponnen, und zahlreiche Romanschriftsteller haben sich um diesen Planeten bemüht. Aber alle besonnen Denkenden halten nicht viel davon und wissen, daß man vom *Mars*, seiner Oberflächenbeschaffenheit nur sehr wenig, von einer etwaigen Lebewelt gar nichts weiß. Ein Besuch mit einem Weltraumschiff dürfte diese Dinge jedenfalls schnell klären. — *Mars* ist gar nicht so schwer erreichbar, jedenfalls leichter als *Venus*. Wissenschaftlichen Zweck hätte der Besuch des *Mars* auf jeden Fall, wahrscheinlich auch technisch-wirtschaftlichen. Es wäre sogar nicht ausgeschlossen, daß uns eine technisch-wirtschaftliche Kolonisation des *Mars* großen Nutzen brächte, gleich ob der Planet von menschenähnlichen Wesen bewohnt oder — was eher anzunehmen ist — unbewohnt ist.

Jupiter kommt für einen Besuch ebensowenig in Betracht wie *Saturn*. Beide Körper haben noch so große Eigenwärme, daß man sich ihnen mit einem Weltraumschiff nur bedingt nähern könnte. Hingegen könnte man erwarten, daß vielleicht die großen *Jupitermonde* oder auch die *Monde Saturns* dankbare Objekte für Besuche wären, falls man später die dazu leistungsfähigen Raumfahrzeuge zur Verfügung hätte.

Die noch weiteren Planeten *Uranus*, *Neptun* und *Pluto* sind so weit von der Erde entfernt, daß es vorerst aussichtslos erscheint, überhaupt bis zu diesen Regionen zu gelangen. Die Reisedauern überstiegen menschliche Lebensdauern, so lange nicht etwa Atomenergie zum Verschnellern der Reisegeschwindigkeit mindestens um eine Größenordnung verfügbar wäre.

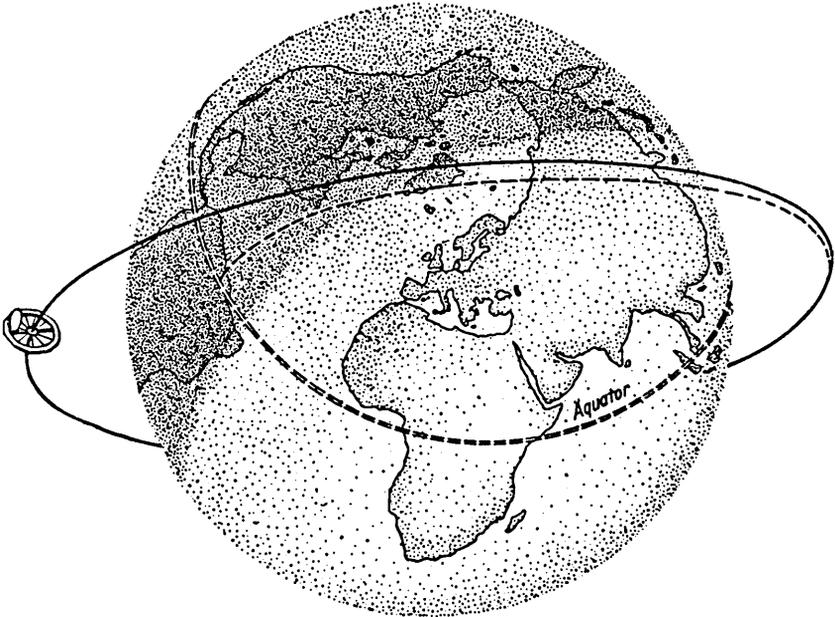
Über die Erreichbarkeit der verschiedenen Himmelskörper mittels Weltraumschiffen findet man bei Oberth weitgehende Angaben und Untersuchungen in den letzten Darlegungen seines mehrfach zitierten Buches.

WIE MAN DIE WELTRAUMSCHIFFFAHRT IN DER PRAXIS BEGINNEN WILL

DIE BEMANNTE RAKETE UND DER KOSMISCHE ERDHAFEN

Aus den zahlreichen vorangegangenen Kapiteln geht hervor, daß das Problem der Weltraumfahrt von unerhörter Kompliziertheit der Einzelaufgaben ist, so einfach sich das Ganze an sich darstellt. Immer wieder werden Stimmen laut, das alles sei nur Utopie. Meistens sind es Laien, die sich so auslassen, und man kann es ihnen auch kaum übelnehmen, daß sie es tun. So sehr unser Zeitalter ein technisches genannt werden muß, so wenig ist die breite Masse des Publikums über naturwissenschaftliche und technische Angelegenheiten unterrichtet. Wenn man in der Mittelschule eine Sprache lernt, so lernt man sie bekanntlich zwar auch nie fließend sprechen und schreiben. Aber man lernt davon doch ungleich mehr, als im naturwissenschaftlichen Unterricht selbst der Mittelschulen von den wichtigsten physikalischen und naturwissenschaftlichen Grundlehren. Was die Schule in dieser Beziehung eigentlich leistet — ich weiß es nicht. — Die Zweifel nagen glücklicherweise gerade an Dingen, die ganz unzweifelhaft sind und jedem auch so erscheinen müssen, der die Grundlehren der Physik und Astronomie begriffen hat. Wir haben doch massenhaft lebende Beispiele dafür. Denn die Körper im Sonnensystem: Sonne, Planeten, Monde, Kometen, Meteore, laufen alle genau so wie es unsere Theorie errechnet, und zwar mit einer Präzision, die gar nicht zu übertreffen ist. Da kann von Utopie keine Rede sein. Wir haben nur die technischen Mittel zu entwickeln, die das Gleiche leisten. Und dabei sind wir auf dem besten Wege. Vor allem sind wir aus dem Stadium der Propaganda der bloßen Idee und aus den ersten Vorstudien der Sache längst heraus. Wenn man Oberths Buch von 1929 vornimmt, so muß man immer wieder erstaunen über die Weite des Blicks, den dieser Pionier des Gebietes schon vor einem Vierteljahrhundert besessen hat. Inzwischen haben auch andere wie namentlich Hohmann, Scherschevski und die Peenemünder Raketenleute wesentliches zu den Problemen beitragen können, und der zweite Weltkrieg hat die Raketenforschung und -technik enorm vorangetrieben. Man hat schon zahlreiche Raketen als Zerstörungsmittel und einige als Forschungsapparate in die Atmosphäre gestoßen. Aber das Heraus aus der Erdatmosphäre und das Hinaus in den Weltraum steht uns noch bevor. Da es noch nicht geschehen ist, hält man es für Utopie, ohne daran zu denken, daß es heutzutage in erster Linie eine Frage der Waffentechnik

Die bemannte Rakete



Eine die Erde ständig umkreisende Außenstation. Sie besteht aus einem Zentralkörper, um den an Speichen ein Kabinenring rotiert, oder das Ganze rotiert. Der Kabinenring dient als Schwerkraftkabine für die auf der Außenstation Tätigen. Ein auf der Achse angebrachter Riesenspiegel fängt Sonnenwärme auf, die die auf der Station notwendige Wärme, Elektrizität und mechanische Energie liefert. Die — — — — Linie zeigt den Aufstiegsweg eines Zubringerschiffes zur Außenstation, wie es im Bilde Seite 243 genauer dargestellt ist. Die im Bilde dargestellte Station kreist in 1730 km Höhe über der Erde um diese mit einer Geschwindigkeit von 7600 m/s

geworden ist. Das sollte allen Zweiflern zu denken geben. Und daß die amerikanische Armee mit ihren gewaltigen Mitteln dahinter steckt, und die Sowjetunion gleichfalls, bedeutet ein wesentlich besseres Verständnis für technische Waffen als früher. Davon profitiert nun die Raketentechnik und sogar die Weltraumfahrt. Man hat den Gedanken eines künstlichen Mondes, also einer irdischen Außenstation, aufgegriffen und seine strategische Bedeutung erkannt. Damit müssen wir, die wir andere, in erster Linie wissenschaftliche und kulturelle Ziele verfolgen, rechnen. Jedenfalls ist der Bau einer Außenstation das nächst wichtige ganz große Ziel. Um es zu erreichen, müssen wir die bemannte Rakete bauen, mit der wir uns erst einmal um die Erde schwingen können. Ehe man jedoch dieses Projekt in die Tat umsetzt, müssen wir versuchen, eine unbemannte

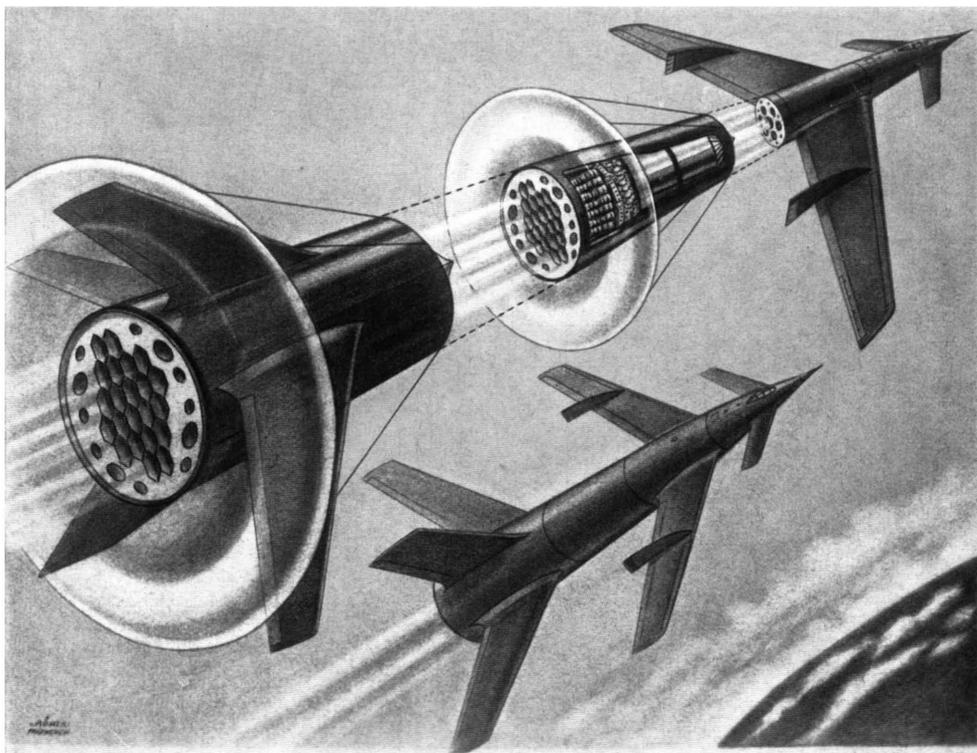
Rakete in eine Bahn um die Erde zu senden. In dieser Etappe werden wir uns wohl bald befinden. Angesichts der Kostspieligkeit der Versuche geht das nicht so schnell, wie wir's uns früher gedacht haben, denn jedem neuen Versuch gehen umfangreiche Laboratoriumsarbeiten voraus — ein Zeichen, daß die Weltraumforschung durchaus wissenschaftlich-technisch betrieben wird, und eine Garantie für ernsthafte Forschung, die über phantastische Vorstellungen längst hinweg ist. Deshalb beteiligen sich jetzt alle wissenschaftlichen Gebiete an der Mitarbeit. Und selbst die Staatsmänner und die Industrie werden sich nicht ausschließen. — Die Militärs zwingen sie schon dazu.

Die bisherigen Versuche haben gelehrt, daß man jede Etappe bis zu der Entwicklung vorantreiben muß, die eine gewisse Sicherheit des jeweils gesteckten Teilziels verbürgt, um die nächstfolgende mit fester Basis in Angriff nehmen zu können. Denn es waren oft lächerliche Zufälle, die Großversuche vereitelten. Keiner der an den Problemen arbeitenden Männer denkt noch daran, mit einem einzelnen Fahrzeug auf die Reise gehen zu wollen, um den Mond oder gar den Mars zu besuchen. Man denkt auch nicht daran, einen solchen Versuch bei einer Umfahrung des Himmelskörpers bewenden zu lassen, sondern gleich so weit zu sein, auf solchem Körper landen zu können, und die ersten Erforschungen sofort fruchtbar zu gestalten, wie es eben den enormen Kosten solcher Expedition angemessen ist.

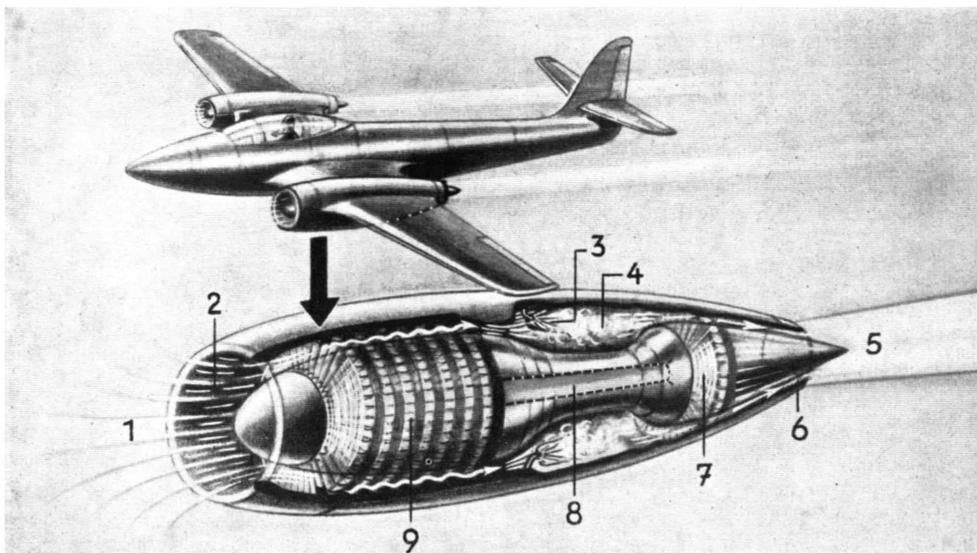
Wir sind theoretisch weit genug, um klar zu sehen, daß man nicht jeden Besuch eines Himmelskörpers, und sei es auch nur der Mond, von der Erde aus unternehmen kann. Das wäre unwirtschaftlich. Man verbraucht zu viel Kosten, um die Hilfsmittel für eine ganze Expedition jedesmal aus dem Schwerebereich der Erde herauszuheben. Das geschieht viel besser von einer Außenstation aus, bei deren Verlassen die Expedition mit ihrem gesamten Apparat schon eine Geschwindigkeit von 8 km besitzt, um von da aus die zusätzlichen Geschwindigkeits-Kilometer, die man zur Überwindung der Erdschwere für die Ausfahrt in den Weltraum noch braucht, mit verhältnismäßig geringen Energiekosten zu gewinnen.

Die Außenstation muß mit Zubringerschiffen für Hin- und Rückflüge zur Erde erreicht werden. Diese Lastraketen versorgen sie mit allem, was zu ihrer Unterhaltung und Ausrüstung notwendig ist. Aber auch mit allem, was für eine Ausfahrt in den Weltraum gebraucht wird. Ehe das alles nicht geschehen und gesichert ist, kann man an eine Ausfahrt in den freien Weltraum nicht denken.

So ergibt sich also für die eigentliche Weltraumfahrerei und die Erforschung des Sonnensystems eine ungeheure Vorarbeit, die das Ziel in um so größere Ferne rückt, je näher wir ihm zu sein scheinen, und je weiter wir in der Technik voranschreiten. Ich möchte ein Beispiel dafür anführen,

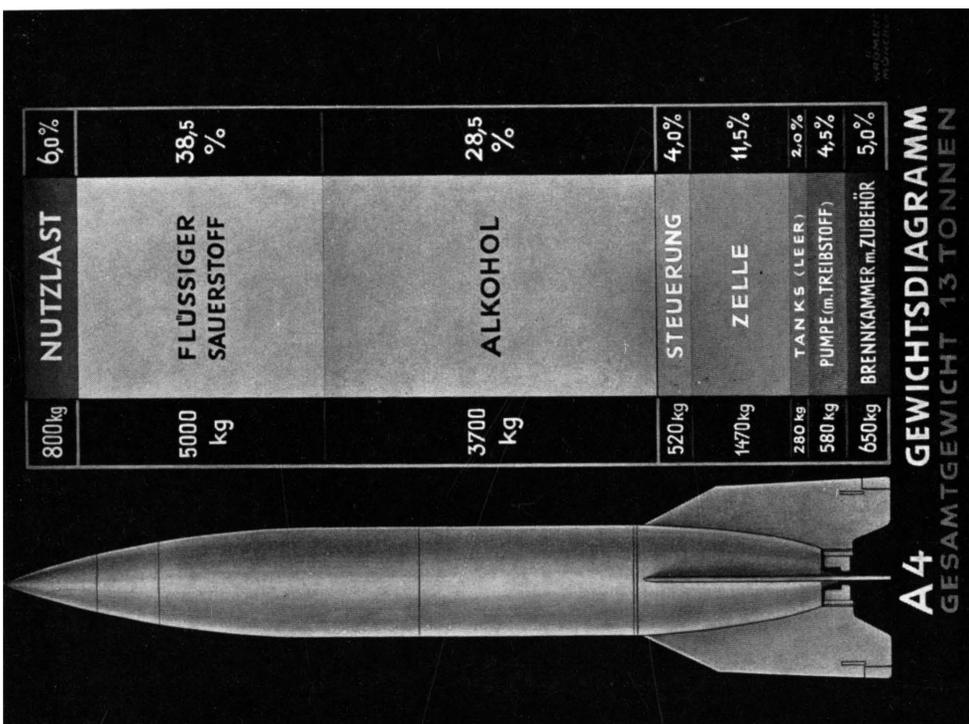


Dreistufige Zubringer-Rakete des v. Braunschens Marsprojekts (Zeichnungen v. Römer)

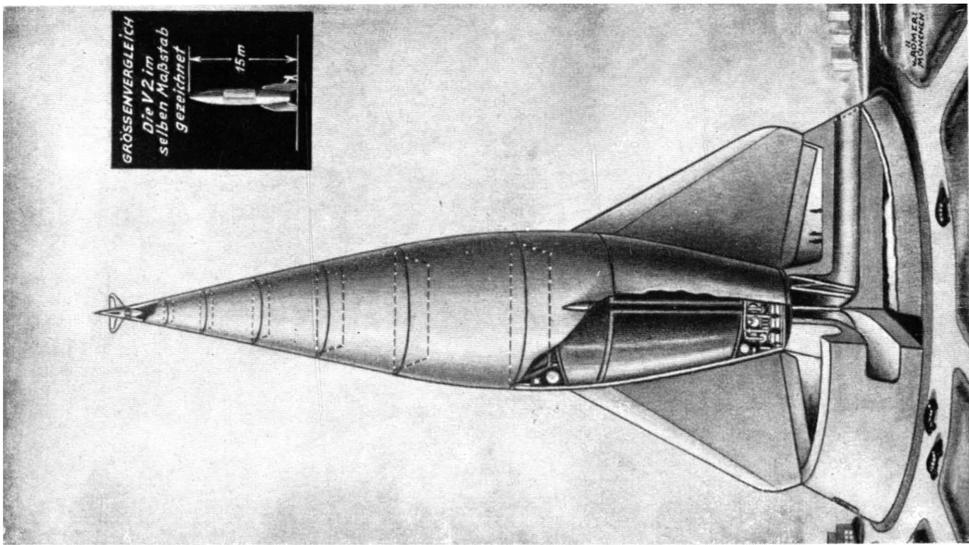


Der Turbo-Strahltrieb (Düsenmotor).

1 Eingesaugter Luftstrom, 2 Einlaufdüse, 3 Treibstoff-Einspritzung, 4 Brennkammer, 5 abstrahlende Verbrennungsgase, 6 Reaktionsdüse, 7 Turbine, 8 Kompressor-Antriebswelle, 9 Kompressor

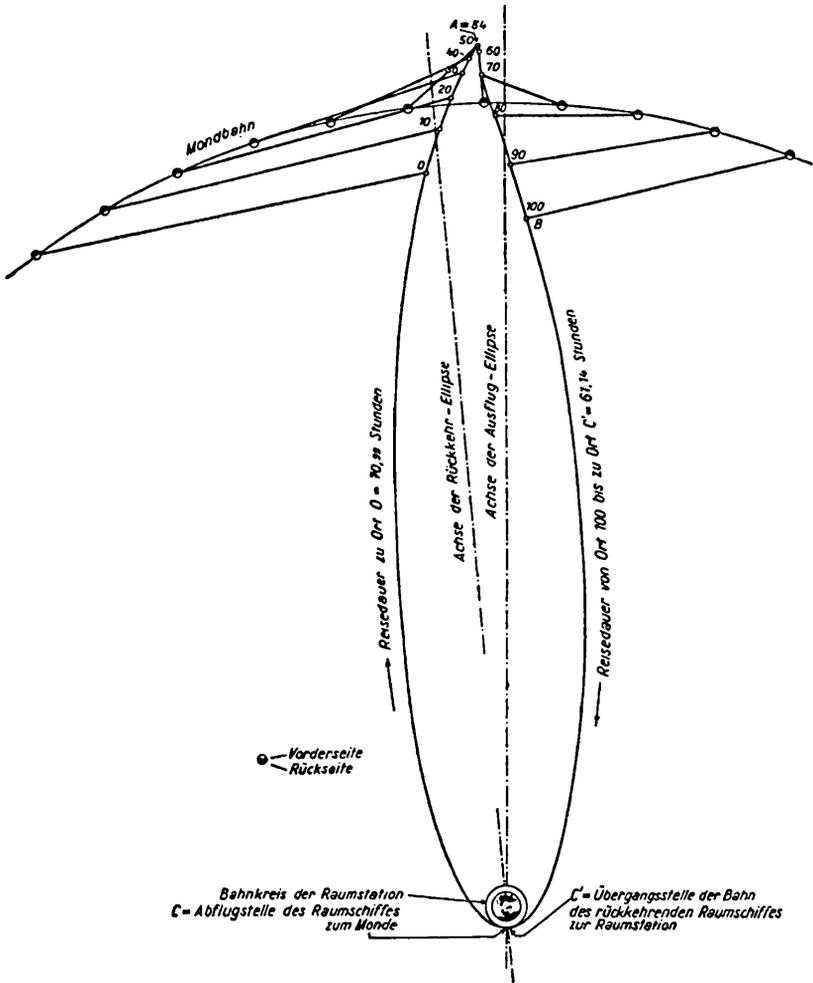


Gewichtsdiagramm der V2 (A4). Zeichnungen v. Römer



Projekt einer 7stufigen Mondrakete der Pazifischen Raketen-Gesellschaft in Mojave (Kalif.) auf dem Beton-Startturm

Der kosmische Erdhafen



Mondbesuch von der Außenstation aus, ohne Mondumsfahrung. Man fährt bis hinter die Mondbahn; der Mond läuft vorbei, und die Rakete kehrt hinter ihm zur Außenstation zurück. Die Zahlen bezeichnen die korrespondierenden (entsprechenden) Stellungen von Mond und Rakete. Nach v. Braun in „Space Medicine“ von John P. Marbarger. The University of Illinois Press, Urbana. 1951

Das Marsprojekt

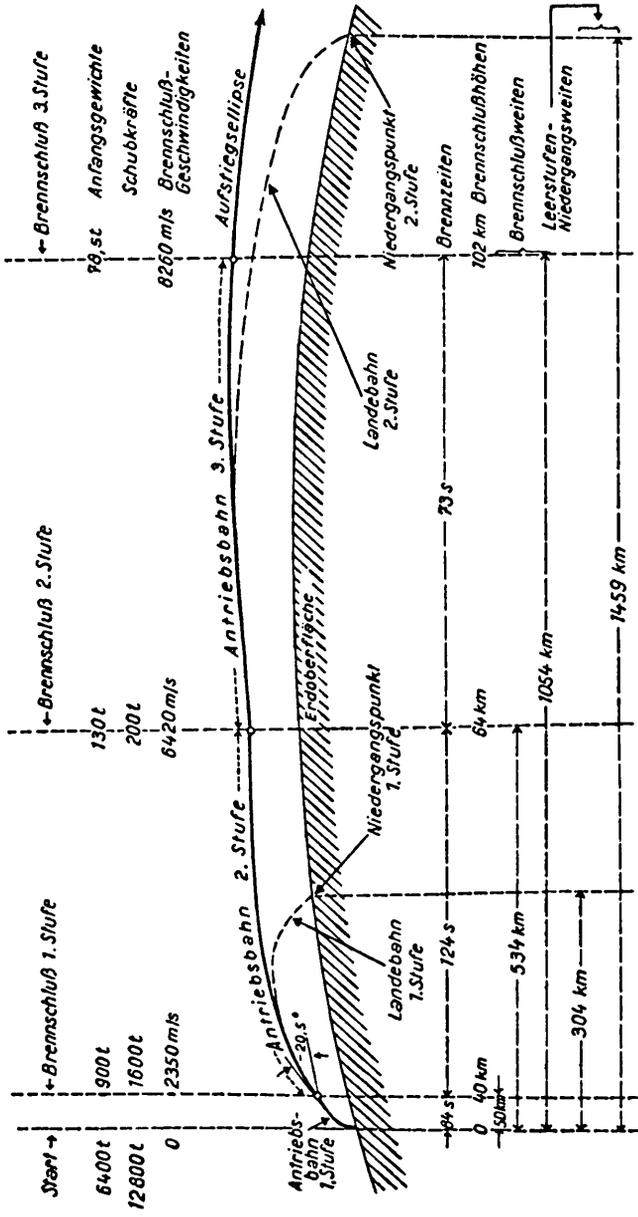
das uns das veranschaulichen mag. Moses erhielt als junger Mann von Gott-Vater den Auftrag, die Kinder Israels aus Ägypten in das gelobte Land zu führen, „darinnen Milch und Honig fließt“ (Mose 3. 8.). 40 Jahre hat es gedauert, bis das Ziel erreicht wurde! Und Moses selbst ist nie angekommen. Nun betrachte man einmal auf der Landkarte die Entfernungen: Ganze 500 km sind es gewesen, eine Strecke wie von Berlin bis zum Rhein, die eine kämpfende Truppe mit allem ungeheuren Drum und Dran heute in wenigen Wochen bewältigt, nicht mehr als was ein Einzelner in zwei Wochen zu Fuß leistet. Dazu braucht man kaum irgendwelche technischen, kaum primitive Mittel. Was bedeutet dem gegenüber eine Aufgabe von so universellem Ausmaß wie die Eroberung des Mondes von der Erde aus! Dazu ist eine wissenschaftliche und eine technische Entwicklungsarbeit zu leisten, die auf zahlreichen Gebieten völlig Neues, bisher noch nicht Dagewesenes, schaffen muß. Und wie lange arbeiten wir daran wirklich? Doch eigentlich erst seit Beginn des zweiten Weltkrieges. Es ist aber bereits bewiesen, daß Raketen, die auch einer Mannschaft keine unmöglichen körperlichen Zumutungen machten, hunderte Kilometer in die Atmosphäre aufzusteigen in der Lage sind, und zwar Kolosse von über 5 Tonnen Gewicht. Gelangen dieser erst aus dem atmosphärischen Mantel der Erde ganz heraus, dann ist das Weitere, die Erreichung der Geschwindigkeit eines künstlichen Mondes, ziemlich nahe gerückt. Die bemannte Rakete dürfte eine dreistufige sein, und über die Außenstation haben wir gleichfalls schon gesprochen.

DAS MARSPROJEKT

Jedes Ziel, das mit Aussicht auf Erfolg angestrebt werden kann, bedarf der Planung. Je sorgfältiger diese angelegt wird, je eingehender alles darin bedacht ist, was für das Gelingen erforderlich erscheint, desto aussichtsreicher ist das Gelingen. Und da in den Einzelgebieten schon sehr viel gearbeitet und geleistet worden ist, würde es dem einsichtsvollen Außenstehenden, aber auch dem Militär und dem Staatsmann, einen guten Eindruck machen, wenn eine solche Planung für das große Ziel vorgelegt werden könnte. — Ist das wohl möglich?

Es ist nicht bloß möglich, sondern der Plan ist schon vorhanden, und zwar einer, der weit über die vorläufigen Arbeitspläne hinausgeht, die sich einzelne Gruppen von Raketenfachleuten vorgenommen haben. Da erschien vor kurzem eine Schrift von Professor Dr. Wernher von Braun, dem Leiter der Raketenarbeiten von Peenemünde und jetzigem Mitarbeiter der amerikanischen Armee in USA, über „Das Marsprojekt — Studie einer interplanetarischen Expedition“, Umschau-Verlag, Frankfurt; 1952. Sie enthält nicht bloß feste Vorschläge für die technische Aus-

Das Marsprojekt



Der Aufstieg des Zerberger-Raumschiffs von der Erde zur Außenstation.
Nach v. Braun's Marsprojekt

rüstung jeder Art, sondern auch einen Voranschlag der Kosten sowie eine Ausarbeitung der Reisewege. Dieser Plan lehnt alle Ansichten ab, die sich mit bescheidensten Mitteln begnügen wollen, „um die Sache bloß einmal in Gang zu bringen“. Er sieht ganze Arbeit vor. Es sei ausgeschlossen, mit einem einsam fahrenden Weltraumschiff ein derartiges Unternehmen zu wagen. Columbus sei auch nicht mit einem einzigen Schiffe auf seine Fahrt ausgezogen, sondern besaß drei. Hätte er nur eines besessen, so wäre er sicher gescheitert, und die Welt hätte von seiner Entdeckung nie erfahren. Ganz ähnlich, ja in noch viel höherem Maße ist es für eine Welt-raumfahrt nötig, sich auf eine ganze Flotte von Weltraum-Fahrzeugen zu stützen, in denen genug Männer sitzen, die in jahrelanger Vorbereitung ihre Eignung erwiesen hätten und alle Vorbedingungen für ein solches Unternehmen in sich trügen. Allein eine großzügige Planung mit allen Hilfsmitteln könne zum Erfolge führen.

Die Expedition beabsichtigt mit den bisher bekannten chemischen Treibmitteln zu arbeiten, nicht etwa mit vorerst noch hypothetischen (auf Annahme beruhenden) atomischen. Der Aufwand dafür wird „zwar groß, steht aber dennoch zu den Leistungsmöglichkeiten einer solchen Unternehmung in einem vernünftigen Verhältnis“.

v. Braun veranschlagt für seine Expedition zum Mars zehn Schiffe mit einer Gesamtbesatzung von 70 Mann. Sie soll von einer irdischen Außenstation ausgehen. In dieser sollen die Raumschiffe erst zusammengesetzt werden. Es macht sich also nötig, alle Teile dazu, sowie die gesamte Ausrüstung und schließlich auch die Besatzung von der Erde mittels Zubringerfahrzeugen zur Außenstation zu bringen. Von dieser aus nimmt die Reise zum Mars ihren Ausgang, die in einer elliptischen Bahn um die Sonne führt. In der Nähe des Mars lassen sich alle zehn Schiffe vom Mars einfangen und gehen in eine Kreisbahn um diesen Planeten über. Dazu erteilen sie sich in Steuermanövern mittels ihrer Raketen die nötigen Bewegungsantriebe. Die Kreisbahn um den Mars geht dann wieder ohne Antrieb vor sich. Wenn die richtige Zeit zur Rückkehr gekommen ist, steuern sich die Schiffe wieder in ihre richtige Ellipse hinein, die sie zur Außenstation zurückführt. Von dieser vermitteln die Zubringer den Verkehr zur Erde.

Der bloße Besuch des Mars genügt v. Braun nicht, er will vielmehr dort auch landen und gibt zu diesem Zweck dreien der Raumschiffe Landungsboote bei, mit denen eine Gruppe Besatzungsmitglieder zum Mars niedergeht und dort ihre Erforschungen vornimmt. Sie kehren mit zwei Landungsbooten zu den drei Raumschiffen zurück, indem sie ihre Tragflächen auf dem Mars zurücklassen. Man läßt dann die drei Raumschiffe als Außenstationen des Mars in ihren Kreisbahnen zurück, so daß die 70 Besatzungsmitglieder auf sieben Raumschiffen die Rückreise antreten.

Das Marsprojekt

Wie man sieht, ist eine reguläre Expedition geplant, um etwa in Not geratenden Schiffen helfen und Aufgaben in solchem Umfange und von solchem Werte durchführen zu können, wie sie dem Aufwand entsprechen. Diese Planung ist weitgehend durchgerechnet worden, woran sich eine Reihe bekannter Weltraumforscher beteiligten.

Als Zubringerschiffe dienen dreistufige Raketen, die die Erde in 1730 km Höhe umkreisen. Die dazu gehörende Kreisbahngeschwindigkeit beträgt 7,07 km/sec. Sie laufen dort antriebslos in zwei Stunden um die Erde. Um welche Größen und Massen es sich bei diesen Zubringern handelt, geht aus folgenden Daten hervor: Länge 60 m, größter Durchmesser 20 m, Abhebege wicht von der Erde 6400 Tonnen (der Eiffelturm wiegt 6000 Tonnen), gesamter Treibstoffvorrat 5583 Tonnen, gesamte Aufstiegsnutzlast einschließlich der Treibstoffreserven 39,4 Tonnen. Die erste Stufe des Zubringerfahrzeugs ist natürlich die größte. Mit ihrem Treibstoffgewicht von 4800 Tonnen wird sie bei einer Abhebebeschleunigung von $8,83 \text{ m/sec}^2$ in senkrechttem Start nach 84 Sekunden Brennzeit bei 2250 m/sec Auspuffgeschwindigkeit in 40 km Höhe eine Geschwindigkeit von 2350 m/sec erreichen, wobei sie je Sekunde fast 56 Tonnen Treibstoff verbraucht. Die Leerstufe (700 Tonnen) soll beim Rückfall zur Erde mittels Fallschirmen gerettet werden; sie dürfte in etwas über 300 km vom Startpunkt niedergehen. Um einen Begriff von der Gewaltigkeit des Starts zu geben, sei mitgeteilt, daß der Düsenendquerschnitt der ersten Stufe 224 Quadratmeter beträgt. Aus diesem würde ein Feuerstrahl von 20 m Durchmesser hervorschießen. Die zweite Stufe wöge dann noch 900 Tonnen (bei 70 Tonnen Leergewicht). Die Ausströmgeschwindigkeit dürfte 2800 m/sec betragen, da in diesen Höhen der Luftwiderstand fast wegfiele. Nach 124 Sekunden Brennzeit erreichte sie bei 64 km Brennschlußhöhe eine Gesamtgeschwindigkeit von 6420 m/sec und gäbe nunmehr die dritte Stufe mit einem Anfangsgewicht von 130 Tonnen frei. Diese brennte 73 Sekunden, gibt der Rakete bei 2800 m/sec Ausströmungsgeschwindigkeit eine Gesamtschnelligkeit von 8260 m/sec, womit die dritte Stufe in die Aufstiegsellipse geht. Für diese braucht sie 50 Minuten und 53 Sekunden. Nach einem Anpaßmanöver erreicht sie die Außenstation, mit der sie nunmehr bei 7,07 km/sec die Kreisbahn um die Erde in zwei Stunden mitmacht. Ihr Endgewicht betrüge dann 66,6 Tonnen, ihre Rumpflänge wäre noch 15 m, ihr rückwärtiger Durchmesser 9,8 m.

Nach Entladung an der Außenstation und Erledigung ihrer Aufgabe kann die dritte Stufe der Rakete zur Erde zurückkehren. Sie hat zu dem Zwecke Tragflächen, mit denen sie in der Erdatmosphäre einen langen Gleitflug zurücklegen kann. Die dazu nötige Tragflächengröße beträgt 368 Quadratmeter bei 52 m Spannweite. Diese Tragflächen können auschiebbar eingebaut sein oder erst an der Außenstation angebracht werden.

Die Reise zum Mars

Das Landegewicht der dritten Stufe auf der Erde ist 27 Tonnen, die Landenutzlast 5 Tonnen. Sie landet mit 105 km/Stunde.

Die Aufstiegsnutzlast beträgt etwa 25 Tonnen. Ein Rest von Reservetreibstoffen wird in der Außenstation abgeliefert (etwa 10 Tonnen).

Die Mitteilungen über die Einrichtung, deren Einzelgewichte, Hauterwärmung bei der Landung auf der Erde, Landungsbremsen usw. sind höchst interessant und lehrreich. Ihre Durchsicht führt in die geleitete Planungsarbeit weit hinein und zeigt, wie sorgfältig und umfangreich sie ist.

DIE REISE ZUM MARS

Es wäre nun von höchstem Interesse, auch die Probleme bezüglich des Marsbesuches genauer zu verfolgen. Zu dem Zwecke muß ich jedoch auf v. Brauns Schrift verweisen, die jeder ernsthaft Interessierte lesen sollte. Ich kann nur kurz das allerwichtigste daraus mitteilen.

Da die Reise von der Außenstation abgeht, kommen die dafür nötigen Raumschiffe ausschließlich im leeren Raume im Verkehr zwischen Raumstation und Mars zur Verwendung und können sehr viel einfacher gehalten sein als die Zubringer. Die Treibstoffe werden in verhältnismäßig leichten Behältern in Gerüsten offen aufgehängt und nach ihrer Entleerung abgestoßen. Die Raumschiffe bekommen das gleiche Triebwerk wie die dritte Stufe der Zubringer, um sie gleich fertig von der Erde aus in die Ausgangskreisbahn (Außenstation) zu bringen und so verwenden zu können. Die Treibstofftanks und die Personenkabinen können aus dünnwandigem Kunststoff bestehen, fest genug, um gefüllt den notwendigen Beschleunigungsantrieben standzuhalten. Zwischen den sieben vom Mars zurückkehrenden Fahrzeugen (Passagierschiffe genannt) und den drei zur Landung bestimmten und auf einer Kreisbahn um den Mars zurückzulassenden (Lastschiffen) bestehen natürlich konstruktive Unterschiede. Die Lastschiffe sollen auch die Landungsboote tragen. Passagier- wie Landungsschiffe sollen das gleiche Anfangsgewicht haben.

Natürlich werden auch diese Raumschiffe gewaltige Kolosse sein. Ihr Aussehen hat nichts mehr von dem der Zubringerfahrzeuge oder der Raketen, wie wir sie gewohnt sind. Sie sind nur Gerüste mit zwischenhängenden Behältern, deren einer die Kabine ist. Dafür werden allerdings wie gesagt, dritte Stufen der Zubringer benutzt.

Die Form spielt jedenfalls gar keine Rolle mehr. Sie ist nur noch bedingt durch die für die Betriebsfolge als zweckmäßig erscheinende Anordnung der Geräte. Die Lastschiffe werden einschließlich der Landungsboote 64 m, die Passagierschiffe 41 m lang sein und einen größten Durchmesser von 29 m haben. Der Treibstoffvorrat für diese wird 3662,5 Tonnen je

Die Reise zum Mars

Schiff betragen, für jene 3306 Tonnen. Beim Abflug aus der Ausgangskreisbahn um die Erde beträgt das Anfangsgewicht 3720 Tonnen. Eine Brennzeit von etwa 66 Minuten führt das Schiff in eine Flucht-hyperbel hinein, die es dann antriebslos durchläuft. Die Abfahrt wird so gewählt, daß der Hyperbelast unmittelbar in eine Ellipsenbahn um die Sonne führt. Der sonnenfernste Punkt dieser Ellipse liegt wenige 1000 km innerhalb der Marsbahn. Dort werden die Schiffe so abgebremst, daß sie Mars als Monde einfängt. Dazu ist eine Brennzeit der Raketen von 658 Sekunden erforderlich. In dieser Bahn verbleiben die Schiffe antriebslos bis zur Rückfahrt und umkreisen den Mars unaufhörlich. Sie schicken Landungsmissionen zum Mars hinab, erledigen ihre Aufgaben und warten den richtigen Zeitpunkt zur Rückkehr ab.

Beim Abflug vom Mars gehen die Passagierschiffe wieder in eine Flucht-hyperbel. Sie brauchen dazu 222 Tonnen Treibstoff bei einer Brennzeit von 298 Sekunden und schwenken in eine Rückkehrellipse zur Erdbahn ein. Schließlich lassen sie sich von der Erde in die Ausgangskreisbahn der Außenstation einfangen, wozu sie 134,5 Tonnen Treibstoff brauchen, der in 163 Sekunden verbrennt.

Die Flugzeit von der Außenstation bis zum Mars beträgt 260 Tage, im Ganzen also 520 Tage. Hinzu kommen die Wartezeiten in der Kreisbahn um den Mars, die mindestens 449 Tage dauern, so daß der ganze Marsbesuch rund $2\frac{3}{4}$ Jahre in Anspruch nimmt. Dabei erleben die Raumfahrer zweimal den Vorübergang der Erde vor der Sonnenscheibe, gewissermaßen Gegenstücke zu den für uns so überaus seltenen Venusdurchgängen.

Interessant ist, was die zehn Besatzungsmitglieder für die Rückreise noch brauchen: persönliches Gepäck 1,2 Tonnen, Sauerstoff (1,235 kg pro Kopf und Tag) 5 Tonnen, fester Proviant (1,2 kg/Kopf und Tag) 3,5 Tonnen, Proviantverpackung 1 Tonne, Trinkwasser (2 kg/Kopf und Tag) 5,5 Tonnen, Nutzwasser 2 Tonnen usw., insgesamt etwa 25 Tonnen.

Der Plan sieht vor, daß mit den Landungsbooten 50 Besatzungsmitglieder zum Mars niedergehen, während die anderen als Schiffshüter bei den Raumschiffen zurückbleiben. Die Landung nimmt 149 Tonnen Nutzlast mit, womit die 50 Personen 400 Tage auf dem Mars verbleiben können. Dazu gehören Bodenfahrzeuge, aufblasbare Gummihäuser sowie Heiz- und Treibstoffe, Forschungsinstrumente u. a. Das erste Boot soll Schneekufen haben und in den Regionen einer der vereisten oder verschneiten Marspolarkalotten landen, da man ja noch nicht weiß, welche Landorte für Fahrgestelle mit Rädern geeignet sind. Die in ihm mitgeführten Bodenfahrzeuge müßten die Besatzung in die Äquatorzonen bringen. Für die Marsverhältnisse ist bezeichnend, daß der Luftdruck am Boden 64 mm, also nur etwa ein Zwölftel desjenigen auf der Erde beträgt. Das

Der Aufwand für den Marsbesuch

entspräche auf der Erde einer Höhe von etwa 16 km über dem Meere, der doppelten Höhe der höchsten Berggipfel des Himalaja. Das Wasser siedet dort bereits bei 44° C, was den Aufenthalt in der prallen Sonne schon gefährlich machen kann. Die mittlere Jahrestemperatur auf dem Mars wird zu 9° C errechnet, während sie auf der Erde 16° C ausmacht. Die geringe Luftdichte erfordert für die Landungsboote sehr große Tragflächen.

DER AUFWAND FÜR DEN MARSBESUCH

Jedes Raumfahrzeug zum Mars wiegt 3720 Tonnen, alle zehn insgesamt also 37 200 Tonnen. Diese Massen müssen mit den Zubringerschiffen von der Erde zur Außenstation gebracht werden. Da jeder Zubringer etwa 39 Tonnen Nutzlast hinaufbefördert, sind $37\,200 : 39 = 950$ Zubringerfahrten nötig. Diese erfordern $5583 \cdot 950 = 5\,320\,000$ Tonnen Treibstoffe, also die Menge von 532 Tankdampfern zu je 10 000 Tonnen. Das ist die 10fache Menge des Treibstoffverbrauchs für die Berliner Luftbrücke während der sechs Monate dauernden Blockade. v. Braun rechnet mit 100 Dollar Kosten je Tonne, so daß die Treibstoffe etwa $\frac{1}{2}$ Milliarde Dollar kosteten. Die Treibstoffkosten für den Marsbesuch machten nur etwa $3\frac{1}{2}$ Millionen Dollar aus. Es wird angenommen, daß jeder Zubringer alle zehn Tage eine Fahrt macht. Die auf See niedergegangenen Leerstufen dürften in diesen Fristen wieder eingebracht und die Überholung gleichfalls ausgeführt werden können. Eine Flotte von 46 Zubringern könnte die 950 Flüge innerhalb von acht Monaten fertigbringen.

Der Gesamtaufwand für die Marsexpedition überstiege also „eine kleinere militärische Operation auf einem beschränkten Kriegsschauplatz“ nicht. Diesen Vergleich zu ziehen dürfte man wohl billigen. Der Kostenbetrag fiele nicht allzusehr ins Gewicht, wenn der amerikanische Militarismus als Treibkraft dahinterstünde. Phantastisch immerhin als naturwissenschaftliches, als technisches Unternehmen längst nicht mehr — das ist das nüchterne Ergebnis dieses sorgfältigen Planes. Ein Mann wie Rockefeller könnte ihn allein finanzieren.

Der Aufbau eines interplanetarischen Radioverkehrs ist gleichfalls in Betracht gezogen. Man sieht eine Wellenlänge von 10 cm (3000 MHz) vor, eine Senderleistung von 10 Kilowatt, eine Antennenfläche von 10 Quadratmetern, eine viermal so große der Gegenstation. Man dürfte damit eine Reichweite von 100 Millionen Kilometern für den Sprechverkehr bekommen, wo die Expedition auf ihrem Wege zum Mars nach 160 Tagen angelangt wäre. Danach könnte jedoch der Maschinentelegraf in Wirksamkeit treten, der noch weit über die größte Entfernung Mars—Erde hinausreichte.

DER SINN DER WELTRAUMSCHIFFAHRT

Viele der Probleme, die uns bei der Betrachtung der Raketenschiffahrt entgegentraten, sind ganz ungewohnter Art. Wer sich deshalb mit diesen Dingen beschäftigt, muß darin ganz neu denken lernen. In jedem Falle aber ist eine Beschäftigung mit diesen Fragen überaus interessant, lehrreich und unterhaltsam und gewährt Freunden technischer Richtung außerordentlichen Reiz.

Wir haben gesehen, daß es durchaus im Bereich der Möglichkeit liegt, selbst mit den heutigen technischen Hilfsmitteln, Weltraumfahrten zu unternehmen. Es ist nur eine Frage des Aufwandes der Mittel, um die Probleme, mit denen sich schon zahlreiche Theoretiker und Praktiker, auch beruflich, befassen, zur Wirklichkeit werden zu lassen. Es bedarf allerdings nicht geringen Aufwands an Mitteln, um den großen Schritt zu vollführen, die Erde, an die wir für ewige Zeit festgebannt zu sein glaubten, wirklich zu verlassen, durch den freien Weltraum zu reisen und andere Weltkörper zu betreten. Wendete man nur wenig von dem Gelde, das viele gewinnstüchtige Unternehmer für die blödsinnigsten Zwecke bedenkenlos flüssig machen, für die Weltraumfahrt auf, so könnte der Menschheit bald wieder eine technische Sensation unerhörtesten Ausmaßes geboten werden. Denn selbst gegen die Verwirklichung des uralten Menschheitstraumes, sich gleich den Vögeln in die Lüfte schwingen zu können, ist das Verlassen der Erde und die Ausführung einer Weltraumfahrt ein grandioses, ein unerhörtes Beginnen.

Wem wird der Ruhm als erstem Himmelsstürmer beschieden sein? — — — Gelingt es aber, Menschen davon zu überzeugen, daß hier großartige ideelle Interessen im Spiele sind, so pflegen sie nach dem Wert solcher Dinge zu fragen. Wir haben diese Frage in den Darlegungen auf den Seiten 235 ff. eigentlich zur Genüge beantwortet. Wer wie zahlreiche Lebende und ich auch die ganze Entwicklung der Röntgentechnik, der Radioaktivität, Hochfrequenztechnik, der Relativitäts-, Quanten-, Atomtheorie und der jeweils zugehörnden Techniken sowie der Flugtechnik fast von ihren Urfanfängen miterlebt hat, weiß auch, daß man ehemals den Vater der wissenschaftlichen Luftfahrt, Otto Lilienthal, ausgelacht und als einen Narren angesehen hat, weil er sich ernsthaft mit Problemen beschäftigte, die der großen Masse der Geister nur allzufern und im Bereich der Unmöglichkeiten zu liegen schienen.

Und selbst als sich die ersten großen Flieger mit ihren verhältnismäßig primitiven Apparaten in die Luft erhoben und Flüge von einigen Kilometern Länge ausführten, als Blériot zuerst den Kanal überflog und Pégoud seine kühnen loopings vormachte, verstummten die Fragen nicht, welchen Sinn und Wert das nun alles haben solle. Heutzutage haben wir

ein ausgebreitetes Netz eines Luftreiseverkehrs, der ungeheure Strecken in einem Bruchteil der Zeit bewältigt, die früher dazu notwendig war, ja, der Reisen ermöglicht, die man früher überhaupt nicht ausführen konnte. Hätte man damals vorausgesehen, daß der Luftreiseverkehr eine solche Ausdehnung gewinnt, wäre man wahrscheinlich mit der Bereitstellung von Mitteln schneller bei der Hand gewesen.

Viel ferner scheint jedoch der praktische Wert von Weltraumfahrten zu liegen. Was haben wir im Weltraum zu suchen? Was wollen wir auf dem Monde oder gar auf dem Mars? —

Wir erfuhren das schon. Abgesehen davon, daß es gilt, zuerst rein wissenschaftliche Fragen zur Lösung zu bringen, nach deren Wert man zweckmäßig überhaupt nicht fragt (weil man erfahrungsgemäß nicht übersehen kann, welchen praktischen Wert einmal solche Dinge gewinnen können), dürfen wir wohl mit absoluter Sicherheit erwarten, daß selbst das Betreten fremder Weltkörper einmal unerwartete praktische Bedeutung haben wird.

Denken wir aber nicht einmal so weit, sondern bleiben wir vorerst auf dem Wege zu diesem Ziele, so müssen wir doch als einen außerordentlichen Gewinn buchen, wenn wir mit den Geschwindigkeiten, von denen hier (S. 187 ff.) die Rede war, über der Erdatmosphäre weite Strecken zurücklegen, fast in so wenig Minuten, wie wir mit den alten Hilfsmitteln Tage brauchten. Die Möglichkeit, 5000, 10 000, 20 000 km entfernte Ziele innerhalb einer Stunde zu erreichen, bietet so ungeahnte Vorteile, daß kein denkender Mensch wagen wird, sie abzuleugnen und abzulehnen. Der geistige Horizont der gesamten Menschheit würde durch eine solche Erweiterung seines gesamten Herrschaftsbereichs, den wir von den kommenden Konquistadoren des Himmelsraumes erwarten, eine ungeahnte Ausweitung erfahren. Was Adolf Diesterweg ehemals von der Beschäftigung mit der Astronomie sagte, gilt nunmehr in viel höherem Maße, wenn wir im wahrsten Sinne des Wortes „in den Weltraum hinaus-schreiten“:

Die Astronomie erweitert des Menschen Blick und erhebt ihn über engherzige, lokale Auffassungen und Ansichten. Daß jeder seine Weltansicht von seinem Standpunkt aus beginnt, bedarf keiner Entschuldigung, das versteht sich von selbst; es kann und darf nicht anders sein. Wer aber dabei stehen bleibt, wer nie erfährt, wie die Welt auf anderen Standpunkten aussieht, sich nicht auf andere Standpunkte zu stellen, sich nicht zu allgemeinen, universalen, dem ganzen Menschengeschlecht gemeinschaftlichen Ansichten zu erheben vermag: der ist recht eigentlich ein an die Scholle gefesselter, bornierter Mensch. Die Astronomie ist das vorzügliche Mittel, sich zu großartiger Weltanschauung zu erheben. Das Handeln des Mannes wird freier, wenn

Der Sinn der Weltraumschiffahrt

„das Haus sich dehnt“, und die Winzigkeit der Ansichten verschwindet, wenn die Räume wachsen. Um bei sich recht daheim zu sein, muß man ein Weltbürger werden, und um das Erdenleben zu fassen, muß man in die Himmelsräume hineinschreiten und sie umfassen!

Vielleicht werden unsere Enkel demaleinst lächeln über die Kleinlichkeit und Kleinmütigkeit ihrer Väter, die trotz zahlreicher historischer Parallelen (Gleichläufigkeiten) nicht einsehen wollten, daß die Weltraumfahrt nicht nur eine Bereicherung des Lebensinhalts der Menschen bringen mußte, sondern sogar eine Notwendigkeit werden kann. Wir alle sind uns doch darüber klar, daß die Erde nicht ewig Entwicklungsspielraum für die wachsende Menschheit bieten kann. Nicht etwa, daß sie schon bald zu klein sein wird, um die wachsenden Zahlen ihrer Bewohner zu fassen! Viel brennender wird demaleinst das Problem werden, wie die Menschheit sich selbst und ihre Errungenschaften rettet, wenn die drohenden Gefahren eingetreten sein werden, von denen ich in meinem Buche „Der ewige Kreislauf des Werdens“ (Leipzig 1922) gesprochen habe, und die ein rühmlichst bekannter Fachmann und Pionier der Flugtechnik, Professor Dr. August v. Parseval, einmal für sich in einige anspruchslose Verse gekleidet hat, die er, nur stark widerstrebend, mir zur Veröffentlichung überließ:

MEPHISTO

*Es war im letzten Abendschein,
Der graue Geselle trat bei mir ein.
Durch dünne Luft sein Auge stach,
Unhörbar, doch vernehmlich, sprach:*

*Da mag die ewige Liebe sehn,
Was ihrer Menschheit wird geschehn,
Wenn einst der alternden Sonne Licht
Die rechte Wärme und Kraft gebracht,
Wenn ihre goldenhelle Pracht
Ist auf ein trübes Rot gebracht.*

*Vom Pol vordringend das ewige Eis
Schließt enger und enger des Lebens Kreis;
Trüb ist die Luft, voll Nebelqualm,
Auf öder Flur nicht Baum noch Halm.
Nur Eiseskrachen und Mövenschrei
Durchbricht das ewige Einerlei.
Und wo der Menschheit Wiege stand,
Da trottet der Eisbär übers Land.*

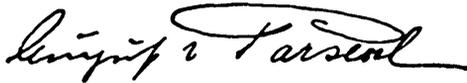
Der Sinn der Weltraumschiffahrt

*Und zwischen uralten Palastestrümmern
Müssen die Enkel hungern und kümmern.
Da hilft kein Witz dem eitlen Geschlecht,
Das alte Nichts verlangt sein Recht.
Nicht Kunst noch Wissen frommt der Not
Bei diesem Kampf ums letzte Brot.
Und alles Gold und Schätze Hauf,
Wiegt nicht ein Körnchen Nahrung auf.*

*Da löst sich jedes heilige Band,
Nicht Recht noch Treue hat Bestand,
Bis der Kultur glorreiche Erben,
Vertiert von Hunger und Kälte sterben.*

*Was Kunst und Wissen hervorgebracht,
Ist dann begraben in Eis und Nacht.
Stumm schauen über den ewigen Frieden,
Die Spitzen der alten Pyramiden.
Doch längst, eh völlig die Sonne vergeht,
Da sind auch sie zerstaubt und verweht.*

*Und auf eines anderen Weltballs Polen,
Mag sich das Drama wiederholen.*

A handwritten signature in black ink, reading "August v. Parseval". The signature is written in a cursive, flowing style with a large, sweeping flourish at the end.

Faksimile der Unterschrift von August v. Parseval

KOMPLETTE WELTGESCHICHTE DER RAKETE

Adam und Eva hatten — um auch mit dem Beginn einer geschichtlichen Darstellung über das Raketenproblem nicht aus dem üblichen Rahmen zu fallen — noch keine Raketen. Sie brauchten auch keine. Denn ein Paradies bot alles, was sie nur wünschen konnten. Damit war eigentlich gesagt, daß dort nichts im Überfluß vorhanden war. Nur eins: Die Dummheit! — — — Wieso die Dummheit? — Nun, das Wissen war ja verboten! Und das ist doch das einzige Requisite des Menschen, das ihn nach modernen Begriffen vor dem Tier auszeichnet. Wissen durften Adam und Eva nichts, und nichts erfahren! Wollten sie das auch noch besitzen, so war es mit der gottväterlichen Gemütlichkeit vorbei. Und zwar grundsätzlich und gründlich! So vorbei, daß, als sie dennoch das Verbot durchbrechen wollten, sie alles verlieren mußten und nichts als die berühmten Feigenblätter mehr gewinnen durften. Die ließ oder gab ihnen Gottes unerforschliche Güte. — Ja, sie ist wirklich unerforschlich, die Güte Gottes. —

Aber schon Adam und Eva hatten den Keim des modernen Menschen in sich, den „faustischen Drang“: Sie wollten wissend werden, wollten streben und forschen und haben sich damit so durchgesetzt, daß dieses ihr Streben jetzt als höchste Aufgabe des Kulturmenschen gilt. Deshalb waren sie im eigentlichen und besten Sinne auch schon moderne Menschen — diese unsere Stammeltern. So können wir auf sie immerhin stolz sein. Instinktiv haben sie für die Wissenschaft den Preis des Paradieses bezahlt. Wahrscheinlich hätten sie es schließlich auch bewußt getan. Doch: Wer weiß? — — —

Die Menschheit verfährt nun wie immer, wenn sie etwas versiebt hat oder irgend etwas erreichen will: Sie versucht, auf unendlich mühevollen und unerhört opferreichen Wegen in jahrtausende- —, ja vielleicht millionenlangem Ringen aus sich selbst heraus zu dem Ideal des Paradieses zu gelangen, das sie allerdings gegen das gottväterliche und patriarchalische Ideal ziemlich stark verschob, nämlich nach der Seite des vollkommenen Wissens hin:

„Zwar weiß ich viel, doch möcht ich alles wissen.“ Das ist das Ideal — andere Leute sagen, das Idol — der Menschheit, wenigstens der „strebend sich Bemühenden“ (die anderen genießen nach Erreichung des Zieles mit, d. h. die meisten sind Nassauer, als Mitglieder der „Zwangssinnung“ Menschheit sogar die allermeisten, und werden zwangsweise in den Genuß der wissenschaftlichen und anderen Möglichkeiten und Vorteile versetzt). — — —

Ich fahre fort: „Aber die Chinesen“ — Denn die haben bekanntlich (so lange man noch nichts von den betreffenden Problemen wußte,



Die Rakete soll aus dem Brandpfeil entstanden sein: Um das Jahr 1000 bereits kannten die Chinesen die „Lanzen des ungestümen Feuers“. Von ihnen gelangte die Erfindung zu den Arabern und nach Europa, geriet aber mit dem Aufkommen der Feuerwaffen in Vergessenheit

haben sie „unbekanntlich“) schon immer alles vorher gewußt, entdeckt, erfunden, benutzt, leider aber auch immer wieder vergessen, so daß wir ihnen alles immer erst wieder nachträglich „vorerfinden“ müssen. — Doch auch die Chinesen, sag' ich, haben bereits Raketen lange vor der Erfindung des Pulvers (das sie „bekanntlich“ auch schon vorher kannten) für ihre Kriegsführung (natürlich! Wozu sonst auch?) ausgewertet.

Die ersten Raketen sollen sich nach v. Romockis „Geschichte der Explosivstoffe“ aus den Brandpfeilen entwickelt haben, die man in China benutzte. Die Chinesen sollen damit feindliche Ziele zu vernichten und eine moralische (d. h. also in Wirklichkeit eine unmoralische) Wirkung auf ihre Feinde zu erzielen versucht haben. Mit brennendem Pulver geladene Geschosse erlöschen auch in der Luft nicht. Sie wurden als „Lanzen des ungestümen Feuers“ bezeichnet. Man wandte sie, so lautet ihre erstmalige Erwähnung, bei der Belagerung von Pien-kieng im Jahre 1232 an. 1250, 1265 und 1285 beschrieben mehrere Autoren die Rakete in Europa, im letztgenannten Jahre der arabische Kriegsminister Hassan Allrammah Nedschmeddin in seinem Kriegstagebuch unter der Bezeichnung „Pfeil von China“, die er auch zur Bewegung von Torpedos beschreibt.

Die Rakete mit Stab wurde von Konrad Kyser 1405 beschrieben. Reichere Ausbeute in dieser Beziehung lieferte Joanes de Fontana 1420.



Gegen die Engländer wurden Raketen zum ersten Male im Jahre 1780 von den Indern eingesetzt. Die Raketenbatterien Hyäer-Alis und Tipfo Sahibs haben im Kampf um Indiens Freiheit wiederholt unter den Reitern und Kriegselefanten der Briten größte Verwirrung angerichtet — so las ich in einer kleinen Darstellung über die Geschichte der Rakete

Er schrieb von Raketen in den Formen von fliegenden Tauben, laufenden Hasen und schwimmenden Fischen, die alle als Waffen für den Kriegsfall, andere als Automaten zur Belustigung Benutzung finden sollten. Für die Rakete zu Wasser, also einen Raketentorpedo, gab de Fontana ein interessantes Bild. Der Rumpf ist ein fischförmiger, mit einem Gesicht bemalter Kasten, der vorn eine scharfe Spitze mit Widerhaken, hinten zwei ins Wasser greifende Steuerflächen trägt, die die einmal gegebene Fahrtrichtung einhalten sollen. Oben ist auf jeder Seite ein Raketenrohr angeordnet, so daß die Flammengase nach hinten herausströmen und den Torpedo nach vorn treiben. Der Kasten ist innen mit Schießpulver geladen. Trifft das Ganze ein feindliches Schiff, so kann es dieses in Brand setzen, sowie die Raketen selbst ausgebrannt sind.

Was um 1500 der Mandarin Wan-Hu mit seinem Raketenflugversuch beabsichtigte, ist nicht ganz sicher. Er hatte für sich ein von zwei großen Drachen getragenes Sitzgestell bauen lassen, das 47 Raketen in die Luft heben sollten. Zu dem Zwecke sollten 47 Kulis die Raketen gleichzeitig zünden. Wan-Hu wurde ein zweiter Ikarus im übertragenen Sinne. Er flog mit seinem ganzen Apparat zwar in die Luft, jedoch anders als er sich gedacht hatte, und bezahlte seine Erfinder-Kühnheit mit dem Leben.

Wie man sieht, gehört die Rakete sozusagen zu der Sparte der vielgenannten „ollen Kamellen“. Und daß sie zuerst militärischen Zwecken diente, reißt sie auch nicht aus dem geschichtlichen Rahmen der Technik.



Automobiler Raketen-Torpedo, nach dem italienischen Ingenieur Joanes Fontana

Nun aber tritt sie schon im Abendlande auf. Denn Herr „Christoph Friedrich von Geißler, Sr. Kgl. Majestät in Pohlen und Churfürstl. Durchlaucht zu Sachsen, hochbestalteten Obristen und Commandantens bey Dero Feld-Artillerie“, behandelt in seinem Buch „Neue Curieuse und Vollkommene Artillerie“ die „großen Raketten“ und erzählt, daß anno 1668 in Berlin 120 pfündige Raketen hergestellt wurden. Diese Raketten waren „von Holzte gedreht und mit starken Leinen überzogen, beleimet, die Composition zu den Raketten ist 36 Pfund Salpeter, 16 Pfund Schwefel und 12 Pfund Lindene Kohlen, so alles ganz klein und so lange gerieben, biß alles im Feuer auffgieng, und nichts hinter sich ließ, denn wurden die Hülßen unter die Presse gesetzt, und die Composition eingepreßt, oben an der Rachette wurde ein 16-pfündige Bombe gesetzt, und denn, wie gebräuchlich, eine Ruthe so eine große Latte war, angebunden.“ Geißler hat im Tiergarten damit Versuche gemacht, von denen er berichtet, daß die Raketen große Gruben in den Sand machten, ehe sie sich erhoben.

Später wurden von anderen Praktikern Fallschirmraketen und solche Raketen beschrieben, die Bomben in die Höhe führten. — Ein ganzes Raketenkorps von 1200 Mann besaß der indische Fürst Hyder Ali von Mysore schon 1766, und 16 Jahre später ein solches von 5000 Mann. Diese warfen eiserne Raketenrohre im Gewicht von 6 bis 12 Pfund, die an Stangen von 8 Fuß Länge angebracht waren, gegen den Feind. — Kurz nachher machte man optisch-telegrafische Versuche im Hessischen, und 1806 wurden die nach William Congreve benannten Kriegsbrandraketen gegen Boulogne eingesetzt. Dieser ließ auch mit Sprengstoff oder geheimen Botschaften beladene Raketen über die Heere der Kämpfer des Befreiungskrieges hinwegsausen.

Eine sehr böse Rolle spielte die Rakete in dem englischen Kriege gegen Dänemark. 1807 steckten 40 000 Raketen die Stadt Kopenhagen in Brand. Man schoß die Raketen aus kupfernen Röhren ab, und sie erzielten Flugweiten bis beinahe drei Kilometer.

Dann kam eine lange Zeit, da man die Rakete nur als Belustigungsmittel, zur Feuerwerkerei, benutzte, und fast alles vergaß, was „schon dagewesen“. Auf dem Marsfelde bei Paris ließ der Pyrotechniker Claude Ruggeri kleine Tiere in die Luft schießen und mit Fallschirmen wieder zur Erde zurückgelangen. — In England entbrannte der Kampf gegen die Eisenbahn, und man wandte als absurd und lächerlich gegen Stephenson's Lokomotive ein, man könne sich ebensogut von einer Congreveschen Rakete abfeuern lassen. Was Stephenson veranlaßte, seiner Dampflokomotive den Namen „Rocket“ zu verleihen, auf deutsch „Rakete“. Unter allen diesen un militärischen Vergnügungen entsannen sich sogar die Militaristen dieses Hilfsmittels nicht, bis sie um die letzte Jahrhundertwende, wohl angeregt durch die neu aufkommende Flugtechnik, auf den Gedanken kamen, der Raketenantrieb könne sich vielleicht dafür eignen. Eine schöne Anwendung, die den Initiatoren ein humanitäres Zeugnis ausstellt, fand die Rakete 1866 bei Bremen, wo man eine Rakete vorführte, die 1 km weit flog und demonstrierte, daß man sie zur Rettung Schiffbrüchiger verwenden könne.

Der ehemals viel verlachte Berliner Erfinder Hermann Ganswindt, ein Mann mit großartigen Ideen, der Zeit stets weit voraus, vertrat bei einem Vortrage den Gedanken, Dynamit-Explosionen zu benutzen, um mit einem Weltraumfahrzeug den Mars zu besuchen. Und endlich kam der amerikanische Universitäts-Professor Goddard 1919 mit seiner Schrift heraus „Methoden für die Erreichung äußerster Höhen“, worin er den Rückstoß mittels Pulverraketen für seinen Zweck empfahl. Das war die erste wissenschaftliche Schrift zu diesem Kapitel.

Mit wissenschaftlichem Ernst und auf höhere Ziele weisend nahm sich Hermann Oberth, damals Gymnasialprofessor in Mediasch in Siebenbürgen, der Sache an. Seine Schrift „Die Rakete zu den Planetenräumen“ regte andere wie Hohmann, Pirquet, v. Hoefft, Scherschewski an, und diese Männer entwickelten die wissenschaftlichen Grundsätze für die Raketenfahrt mit dem Ziel der Fahrt in den Weltraum hinaus. Das klassische Buch dafür ist von Oberth: „Wege zur Raumschiffahrt“, München, 3. Aufl. 1929, an dessen Schösse sich manche anderen hängen, die viel bekannter wurden als er, weil sie sich der Reklame zu bedienen verstanden.

Es ist bemerkenswert, daß Oberth im Vorwort zur 2. Auflage seines Buches auf den hohen didaktischen (lehrhaften) Wert hinwies, den die Beschäftigung mit dem Gesamtkomplex besitzt. Es ist genau das, was

mein Buch in erster Linie beabsichtigt, nämlich naturwissenschaftlich-technische Aufklärung mit Hilfe des interessanten Gebietes der Raketenanwendung in breite Kreise namentlich der Jugend zu tragen und sie auf diese Weise für solche Beschäftigung überhaupt zu begeistern.

In Deutschland war es der Raketenwagen Opels, der Sensation entfachte und deshalb Raketenfragen in die Öffentlichkeit brachte, allerdings die Raketen und ihre Bedeutung eigentlich auf ein ganz falsches Gleis schob (s. S. 16). In der Lüneburger Heide lief einmal ein Raketen-Eisenbahnwagen, und auf den Feldern von Schleißheim bei München ein Raketen-schlitten. Die Flugtechniker griffen den Raketenantrieb auf. Man benutzte dazu das Entenflugzeug der „Rhön-Rossitten-Gesellschaft“, bei dem die Leitwerkflächen vorn am Rumpf saßen, so daß das Heck für die Raketen frei war. Zwei Raketen von 20 kg Schubkraft wurden eingebaut, die nacheinander zur Wirkung kamen. Mit diesem Antrieb startete, durch ein Gummiseil unterstützt, am 11. Juni 1928 Friedrich Stamer mit dem „Storch“ und sauste über den Hang der Wasserkuppe dahin. 1500 m legte er zurück. Beim zweiten Versuch explodierte die Ladung der ersten Rakete schon in der zweiten Sekunde nach dem Start. Der Brand konnte in einem Sturzflug gelöscht werden, aber bei der Landung explodierte auch die zweite Rakete, und das Flugzeug verbrannte.

Wieder war es ein Sensationsmacher, der zwei Jahre später den Raketenwagen wiederaufnahm, und zwar mit einer Flüssigkeitsrakete. Doch auch hier explodierte der Wagen und Valier fand den Tod — als erstes Opfer der neueren Raketentechnik.

Die an manchen Orten gegründeten Raketenvereine verloren bald an Anziehungskraft, wenn auch Reinhold Tilling 1931 und 1933 mit einer Rakete von rund 2 m Länge, die durch einen Flügelspreizmechanismus in ein Gleitflugzeug umgewandelt werden konnte, bei 8000 m Höhe 18 km Flugweite erreichte — er bezahlte seine Versuche mit dem Leben. Ein österreichischer Ingenieur Schmiedl konnte endlich die erste wirkliche Raketenpost einrichten. Am 2. 2. 1931 belud er eine 1,7 m lange Rakete mit 102 Briefen, die er in ein abgelegenes und schwer zugängliches Gebirgsdörfchen in der Nähe von Graz schoß; im Oktober nochmals 84 Briefe, und so periodisch bis Ende Juli 1932. Dann gab es Verwaltungsschwierigkeiten, und die Sache hörte auf.

Die Begeisterung war noch zu früh gekommen; die Technik selbst war noch längst nicht so weit. Die Treibstofffrage war sehr schwierig zu lösen. Benzin ist zu schwach. Benutzt man Wasserstoff, so braucht man Sauerstoff, den man mitnehmen muß, in schweren eisernen Flaschen. Das ergab technische Schwierigkeiten wegen des Gewichts. Man bedurfte erst wieder der Hilfe des Molochs, um Mittel zur technischen Forschung locker zu machen. Menschen mußten damit getötet, Städte zerpulvert und Kultur-

güter vernichtet werden können, nur dazu vermochte man die notwendigen Forschungsarbeiten zu finanzieren. Der menschliche und Kulturfortschritt hatte und hat noch heute für alle solche Forschungen zu wenig Kredit.

Ich selber wurde schon während des ersten Weltkrieges begeisterter Anhänger der Raketentechnik, warnte aber sogleich nach diesem Kriege vor Mißbrauch. Die Militaristen würden sich auch dieses Hilfsmittels bemächtigen, um daraus neue Kriegsinstrumente zu entwickeln. Tatsächlich bedurfte es des zweiten Weltkrieges, um das Problem technisch und praktisch weiterzutreiben. Die V-Geräte haben dann seinerzeit die ganze Welt aufgeregt. Hätte man noch mehr Fachleute hinter sie gesetzt, hätten sich noch mehr Unbedenkliche gefunden, die auch dieses Hilfsmittel den Kriegführenden dargebracht hätten, wäre es überhaupt nicht schon zu spät und Europa allzu ausgepumpt gewesen, wer weiß, was für Unglück damit noch über die Welt gekommen wäre.

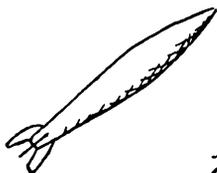
Jetzt haben sich die Amerikaner der Sache bemächtigt — als Kriegsbeute. Und da Militarismus Militarismus bleibt, auf welchem nationalen Holz er auch wächst, treibt das amerikanische Heer auf seine Weise wissenschaftliche Technik. Was dabei für die Wissenschaft selbst herauspringt, wissen wir noch nicht. Aber wir wissen, daß allein mit Hilfe des Militarismus solche großen Dinge entwickelt werden können, so lange die Völker darüber keine Kontrolle üben, wenn sie auch über jede noch so geringe zivile und Kulturausgabe in großen Ausschüssen und Deputationen lange und kritische Debatten veranstalten, um schließlich dennoch den Daumen auf dem Portefeuille zu behalten.

So war es im ersten Weltkriege bei der Hochfrequenztechnik und beim Flugwesen, im zweiten mit der Raketen- und auf der anderen Seite des Atlantik mit der Atomforschung. Wie die Dinge mit der letztgenannten gelaufen sind, wissen wir. Es war ein Glück, daß es einen Albert Einstein und einen Franklin Delano Roosevelt gab. Und daß Einstein in Roosevelt einen so großzügigen Staatsmann fand, der die Sache richtig begriff, leider jedoch nicht mehr erlebte, daß sein Glaube an die Kraft der Wissenschaft und die Autorität eines großen Gelehrten sich bewährt hatte. Zwei volle Milliarden Dollar Staatsvermögen, für die Roosevelt dabei Verantwortung übernahm, sind kein Pappenstiel, und es gehört schon ein gewaltiger moralischer Kredit dazu, diese Verantwortung auf die Autorität eines Mannes zu gründen. Nachträglich wog die Verantwortung federleicht, da sie den zweiten Weltkrieg wirklich beenden half.

Vielleicht profitiert auch die Raketentechnik davon. Denn tatsächlich ist ihre Sache durch die Atomforschung in ein ganz neues Stadium getreten. Diese ungestüme Atomenergie so zu bändigen, daß sie praktisch brauchbar wird, ist die Aufgabe. Denn wie wir sie jetzt kennen, durchschlüge

Weltgeschichte der Rakete

sie die gesamte Raketenapparatur auch nach vorn. Diese technische Bändigung werden die Wissenschaftler und die Techniker lösen. Dann dürfen wir hoffen, daß Oberths Vers'chen, das er am 29. Mai 1930 in mein Gästebuch schrieb, bald Wahrheit werde:



Warum an der
Erde kleben?
Sieh der Mond steht
gleich daneben
29. V. 30.

H. Oberth

FLIEGENDE UNTERTASSEN

— — — womit wir uns aus dem Gebiet des Sachlichen, in dem wir uns bisher bewegten, in das der schrankenlosen Phantasie, ja des Schwindels begeben. Im übrigen haben wir fliegende Untertassen schon vor Jahrzehnten bei Rastelli gesehen, dem wunderbaren und liebenswürdigen Jongleur, der Millionen Menschen entzückt hat.

Aber man wird immer wieder gefragt, was es mit den „fliegenden Untertassen“ auf sich habe, obwohl bisher kein Mensch darüber etwas Sicheres auszusagen vermochte. Überhaupt „Untertassen“! Was ist eine Untertasse eigentlich? Der Begriff kam aus Amerika, wo Untertasse saucer heißt. Warum man die in Frage stehende Erscheinung nun „saucer“ nannte, wo doch der Teller — denn die Untertasse ist nichts anderes — im Englischen plate, der allgemeinere Name für solches Ding ist, weiß ich nicht. Dennoch hängt die ganze Welt an der „Untertasse“. Nun, soll sie — ich bin ja liberal. Ich hatte immer gedacht, dabei irgendeine Anlehnung an etwas Tatsächliches und eine Erklärung zu finden, doch finde ich leider nichts dergleichen. Manche „Beobachter“ oder solche, die es sein wollen, sprachen von fliegenden Scheiben — was schon eher verständlich ist, weil selbst ein Teller doch eigentlich ein hohlflächenartiger Körper ist, und man sich bei Rotationen und Flug durch die Luft eher etwas Vernünftiges darunter vorstellen kann als gerade bei einer Untertasse. So kann sich also jeder Leser dabei nach Belieben etwas denken. Und das ist für solche Angelegenheiten immer gut oder gefährlich, wie man es nimmt. Das Undefinierte und Unklare ist stets das Wunderbare, und

„das Wunder ist des Glaubens liebstes Kind“.

Es ist deshalb auch nicht verwunderlich, daß eine solche Angelegenheit in den Gehirnen vieler Menschen „öfters wunderbare Blasen auftreibt“ — um mit Schiller zu reden. Schließlich werden ja auch heutzutage noch ähnliche Wunder beschworen. Ich brauche nur den Ort Heroldsbach zu erwähnen und in diesen Tagen (September 1952) den Ort Frielingsdorf. — Nun sind Erscheinungen, wie sie von vielen Menschen gesehen sein wollen, schon seit Jahrhunderten bekannt, noch ehe es fliegende Untertassen gab. Man kennt als dahin gehörend einmal die Meteore und Sternschnuppen, sodann aber auch die merkwürdigen Blitzerscheinungen, unter denen die Kugelblitze die seltenst gesehenen und völlig ungeklärten sind. Ob sich einige solche Erscheinungen unter den jetzt so häufigen „Beobachtungen“ befinden, ist mir nicht bekannt. Sternschnuppen hat wohl jeder Mensch schon gesehen. Ich weiß allerdings nicht, ob in der Zeit des allbeherrschenden Sports und des Fußballtotos noch viele den Blick zu den Sternen erheben, aber es könnte doch sein. — *Meteore und Sternschnuppen* kön-

nen die verschiedenartigsten Formen haben, vom feinsten Lichtfaden am Himmel bis zu Explosionen und Feuerregen (S. 198). Man weiß, wie das alles zustande kommt.. Da dringen Körper der mannigfachsten Größen in die Erdatmosphäre mit Schnelligkeiten, die unsere Geschößgeschwindigkeiten um das 50- bis 100fache übertreffen, zerstieben selbst in den feinen Hochschichten unserer Atmosphäre, erglühen und verbrennen zu feinem Staub. Manchmal fallen massive Stücke zur Erde nieder, mitunter sogar ansehnliche Körper (S. 131). Teile aus anderen Welten.

Blitze haben alle Menschen gesehen, die wenigsten allerdings einen Kugelblitz. Aber solche wurden glaubwürdig beschrieben, und diese merkwürdigen Erscheinungen und Berichte von Beobachtungen decken sich ungefähr mit manchen Beschreibungen von „fliegenden Untertassen“. Diese könnten also Kugelblitze gewesen sein. Solche sind in den großen wissenschaftlichen Werken beschrieben worden, z. B. von Arrhenius in seiner „Kosmischen Physik“ sowie von Hann in seinem „Lehrbuch der Meteorologie“.

Wie schwierig es jedoch ist, selbst aus den Mitteilungen von Leuten ein klares Bild zu gewinnen, von denen man es unbedingt erwarten könnte, geht aus folgenden Darstellungen aus der Wochenschrift „Life“ hervor. Da schrieb Mr. Sullivan, literarischer Mitarbeiter eines großen Flugzeugwerkes bei Los Angeles, was er zusammen mit zwei Kollegen auf dem Werksgelände erlebte „Ungefähr dreißig glühende meteorähnliche Objekte sprühten etwa 45 Grad über dem Horizont aus dem Osthimmel hervor, machten eine rechtwinklige Wendung und fegten in Wellenlinien über den Himmel, und zwar teilweise übereinander in einer Formation, die an das Bild einer liegenden Stimmgabel erinnerte. In 25 Sekunden durchjagten sie 90 Grad des Horizonts, dann schlugen sie wieder einen rechtwinkligen Haken, diesmal nach West. Ihren Durchmesser schätzen wir auf 10 Meter, ihre Geschwindigkeit auf 2700 Kilometer in der Stunde. Sie wirkten wie intensiv blaue, runde Lichter und bewegten sich wie flache Kiesel, die man über eine stille Wasserfläche springen läßt.“

Das war am helllichten Tage, so daß es geradezu ungeheuerlich erscheinen muß, wenn Lichterscheinungen solchen Ausmaßes am Himmel sichtbar werden. Denn selbst ein Blitz erscheint am wolkenverhangenen Tage nicht sehr hell. Wir kennen auch keine Möglichkeiten, daß reale (wirkliche) Körper bei derartigen Schnelligkeiten der Bewegung rechtwinklig wenden können. Schließlich erscheinen die Schätzungen des Durchmessers auf 10 m und die Bewegungsgeschwindigkeit von 2700 km in der Stunde (das wären $\frac{3}{4}$ km in der Sekunde) recht unglauwürdig. Wie gewinnt man, von solchen Vorkommnissen überrascht, in einer halben Minute solche Zahlen? — Andere gaben noch genauere Zahlen über Größen, Höhen, Bewegungsgeschwindigkeiten, was nur skeptisch machen muß.

Vom Flughafen Sioux City, Iowa, wurde ein „hellstrahlendes weißes Licht“ beobachtet, das zwei Flieger verfolgten. Es stürzte sofort auf ihre Maschine zu, glitt in ungefähr 60 m über sie nach hinten, wendete im Bruchteil einer Sekunde, zog einige Sekunden lang in 60 m Entfernung neben dem Flugzeug her, unterflog es plötzlich und verschwand spurlos. In der klaren Mondnacht konnten die Flieger das Objekt genau betrachten. Es hatte die Größe des größten amerikanischen Bombers, besaß vorn an dem zigarrenförmigen Rumpf Flächen wie ein Segelflugzeug, hatte weder Propeller noch Düsen und leuchtete von der Unterseite her. Wie ein solcher Gegenstand sich momentan in entgegengesetzter Richtung bewegen kann, ist völlig unerklärlich.

Nun hat ein amerikanischer Journalist in „Readers Digest“ 1950 mitgeteilt, daß es die fliegenden Untertassen wirklich gebe. Sie seien geheime *militärische Objekte*, über die die amerikanische Armee keinerlei nähere Mitteilungen als diese zulasse. Und nur zu dieser Mitteilung sei er autorisiert worden. Wenn wir dieser Mitteilung Glauben schenken dürfen, wäre einiges von den Berichten ernstzunehmender Beobachter, wenn auch nicht erklärt, so doch wenigstens plausibel gemacht.

Einigen anderen Beobachtungen mag die Erscheinung des sogenannten *Brockengespensts* zugrundeliegen. Diese frappt jeden aufs äußerste. Ich selbst habe sie auf dem Pilatus erlebt, wo mir mein eigener Schatten, umgeben von farbigen Gloriolen, mit meinen Bewegungen auf einer Nebelwand erschien, die Sonne im Rücken. Ungeübte, namentlich abergläubische Beobachter bauschen solche Phänomene zu phantastischen Geschichten auf, die sie unbewußt — leider nicht zu selten auch bewußt — mit allem möglichen und unmöglichen Beiwerk ausschmücken. — Unirdische Geschwindigkeiten lassen sich nach unserem Wissen nicht anders denn als Lichtphänomene und sogenannte optische Täuschungen erklären.

Eine am 2. November 1951 nachts in Arizona erschienene Feuerkugel wurde von 165 Personen gesehen. Sie soll grün geleuchtet haben und plötzlich unter ungeheuerlichen Lichterscheinungen ohne das geringste Geräusch zerplatzt sein. Diese Erscheinung macht den Eindruck eines Kugelblitzes.

Der Astronom Tombaugh, der Entdecker des Planeten Pluto (s. S. 20), hat gleichfalls eine bemerkenswerte Beobachtung bekannt gegeben. Er saß an einem Sommerabend 1948 mit seiner Frau und seiner Schwiegermutter in La Cucos im Staate Neumexiko im Garten, als plötzlich irgend etwas lautlos über sie dahinschoß. Es flog viel schneller als ein Flugzeug, aber viel langsamer als ein Meteor von Süd nach Nord und machte den Eindruck eines festen ovalen Flugkörpers, wie sie ihn zuvor nie gesehen hatten. Hinten löste er sich in eine formlose Lichterscheinung von blau-grünem Schimmer auf. Vorn und an den Seiten waren deutlich etwa sechs

Fenster sichtbar, wie einmal von zwei Fliegern beschrieben worden war, die ähnliches im Juli desselben Jahres an einem „langen, raketenartigen Flugschiff mit doppelten Fensterreihen“ und unbekannter Erscheinung gesehen haben. Man kann diese Mitteilung eines durch eine hochbedeutende astronomische Entdeckung bekannten Wissenschafters nicht unbeachtet beiseite schieben. Sie enthält allerdings keine Zahlenangaben, sondern nur eine allgemeine Beschreibung, die indessen so merkwürdig ist, daß man sie bei einer weniger glaubwürdigen Person für ein Phantasieprodukt hielt.

Wenn Dr. Walter Riedel, der ehemalige Chefkonstrukteur und Forschungsleiter der deutschen Raketenversuchsanstalt Peenemünde (jetzt mit Forschungsauftrag in USA beschäftigt), davon überzeugt ist, daß es sich bei den vielerörterten Erscheinungen um Besuche von außerhalb der Erde handelt, und ebenso der Aerodynamiker Biot meint, daß die am wenigsten unwahrscheinliche Erklärung die von durchdachten Konstruktionen außerirdischen Ursprungs sei, so muß man sich sagen, es könnte vielleicht so sein. Die Scheibenform der gesehenen Objekte sei für die Verhältnisse der irdischen Atmosphäre gänzlich ungeeignet und deute auf außerterrestrische Herkunft.

Es hat um die Jahrhundertwende einen Mann namens Charles H. Fort gegeben, der alle solche Beobachtungen und Berichte sammelte und einige Bände voll davon hinterließ, als er vor zwanzig Jahren das Zeitliche segnete. Er hatte daraus die feste Meinung gewonnen, daß die Erde seit Jahrhunderten schon von außerirdischen Wesen besucht würde. Und da wir als Kinder alle ja infolge unserer Erziehungsweise mit Wundern gefüttert wurden, mag man verstehen, daß selbst sonst wissenschaftlich Denkende ihren sicheren Standpunkt verlieren und an den Eierschalen aus ihren Kindertagen klebend sich erweisen, wenn sie von Beobachtungen erfahren, die sie sich nicht erklären können. In solchen Fällen ist es ein Leichtes und sehr bequem, sich der Mystik in die Arme zu werfen. Sogar einige der bedeutendsten Wissenschaftler sind dieser Versuchung erlegen. Das Wunder aber ist das Ende aller Wissenschaft.

Wie man die Beobachtungen der fliegenden Teller erklären soll, weiß ich nicht. Daß sie jedoch von außerirdischen Wesen gesteuerte Maschinen seien, glaube ich dennoch nicht. Man müßte doch sogleich fragen, warum sich diese bisher den Menschen nicht gezeigt oder offenbart haben. Denn nur so können solche „Wesen“ einen Gewinn von ihren Besuchen mitnehmen, die sie sicherlich nicht zwecklos unternähmen. Man muß ferner fragen, woher solche Wesen wohl gekommen sein könnten. Denn nach begründeten Annahmen könnten sie nur aus dem Planetensystem stammen, und in diesem böten höchstens die großen Jupitersmonde eine Stätte für hochorganisierte Lebewesen — und solche müßten es schon sein (Linke, Die

Verwandtschaft der Welten und die Bewohnbarkeit der Himmelskörper. Leipzig 1925). Von außerhalb des Sonnensystems in dieses zu gelangen, dazu besteht keinerlei Möglichkeit, weil kein Menschenleben ausreicht, auch nur aus dem Bereiche des uns nächsten Sternes (α Kentauri) hierher zu gelangen. Er ist vier Lichtjahre von uns entfernt, und bei einer Reiseschnelligkeit mit Lichtfortpflanzungsgeschwindigkeit (300 000 Kilometer in der Sekunde) müßte ein Besucher mindestens vier Jahre unterwegs sein. Eine solche Reiseschnelligkeit ist aber unmöglich, weil dazu unendlich große Beschleunigungen nötig wären, die unendlich große Energien erforderten. Zudem ist die Lichtgeschwindigkeit die größte im Universum überhaupt mögliche. Und selbst eine nur $\frac{1}{1000}$ so große (300 km je Sekunde) ist ausgeschlossen.

So kann also das Rätsel nicht gelöst werden; man muß es anders versuchen. Nun hat schon manches in der Welt und in der Wissenschaft überraschende, vorher nicht geahnte Aufklärung erfahren und dabei mitunter Ansichten über den Haufen geworfen, die man für die gesichertsten der menschlichen Erkenntnis hielt. Die ganze neue Physik ist dafür ein einziges zusammenhängendes Beispiel. Die Fehler lagen dabei stets auf der Seite der gedanklichen Verarbeitung von sicheren Beobachtungen. So ist es denn auch nicht verwunderlich, daß von der ganzen alten Philosophie, die 2000 Jahre als höchste Blüte des menschlichen Geistes gegolten hat, herzlich wenig übrig geblieben ist. Gedankenfehler reihte sich an Gedankenfehler, und Wissensmangel an Wissensmangel. Ist doch selbst die Mathematik, das schärfste Gedankengebäude des menschlichen Geistes, davon nicht verschont geblieben. Man glaubte ehemals, sie sei von allem frei, was nicht ausschließlich ihrem gedanklichen Vorstellungsgebäude entfloß. Es hat sich jedoch ergeben, daß auch sie naturgemäß bedingt ist und sein muß. Das erscheint mir völlig selbstverständlich, denn sie ist nichts als ein Gebäude aus menschlichen Gedanken, das einem biologischen Organ, dem natürlichen menschlichen Gehirn, seine Entstehung verdankt. Das heißt nichts anderes, als daß auch die Mathematik biologisch bedingt ist. Derselben Quelle entstammen andererseits auch die mystischen Vorstellungen, die nicht auf Erkenntnis aus Sinnesempfindungen beruhen. Auch sie sind biologisch bedingt, bloß werden sie gedanklich falsch ausgedeutet.

Warten wir also ab. Mögen viele von uns die Aufklärung dieser Beobachtungen nicht erleben, vielleicht gelingt sie später aber doch. Wir müssen uns eben bescheiden, weil wir noch längst nicht am Ende aller Dinge stehen und alles wissen. Die Naturwissenschaft ist erst etwa 400 Jahre alt und hat eine derart ungeheure Fülle von Tatsachen und Wissen zu Tage gefördert, daß der einzelne Mensch nicht mehr als einen winzigen Bruchteil davon aufzunehmen und zu fassen vermag. Eines Tages aber

Fliegende Untertassen

wird der Mensch auch das Problem der fliegenden Teller aufgeklärt haben, und jeder kann es dann erfahren und die Zusammenhänge erkennen, wenn ihn das interessiert.

ZU DEN RAKETENFILMEN

Die Raketen-Versuchsaufstiege, deren jetzt viele in den USA, namentlich in White Sands, vonstatten gehen, sind selbstverständlich gefilmt worden. Gelegentlich des III. Internationalen Astronautischen Kongresses in Stuttgart, Anfang September 1952, wurden mehrere solcher Filme vorgeführt. Es hat mein größtes Erstaunen hervorgerufen, wie sanft und allmählich sich die Raketen in jedem Falle von ihrem Rastplatz abheben und wie gleichmäßig ihre Geschwindigkeit zunimmt. Von Rucken und Stoßen, wie mitunter beim Anfahren einer Dampf-Eisenbahn, war dabei nichts zu bemerken. Es hat also den Anschein, daß der Andruck beim Start für die Insassen einer bemannten Rakete keinerlei schreckenerregende und gefährliche Stöße verursacht, so gewaltig auch das Brüllen der ungeheuren Massen ausgestoßener Treibgase dröhnt (zu S. 96).

STICHWORTVERZEICHNIS

A

Abgasturbine 182, 184
Abspringen aus Flugzeug 177
Achromasie 195
Aerodynamisch glatt 190
Agens 219
Aktion und Reaktion 110 f, 114 f
Albedo 234
Amerika-Nebel 218, Taf VII
Amerikanische Armee 242, 248
Anderson 169
Andruck 97 f, 129 f, 207 f, 215 f
Andruckfestigkeit 105 f
Anti-g-Anzug 107
Antrieb 146
Anziehungskraft 90
Anzug der Weltraumfahrer s. Raumtaucher-Anzug
Appletonschicht 172
Arbeit vor dem Schilde 42
Arbeiten unter und ohne Druck 45
Archimedes 26 f
Arrhenius 175, 262
Astronautischer Kongreß 3, 266
Astropol 45, 64
Atemluft 41 f, 137, 168
Atmosphäre der Erde 40 f, 162, 166 f, 169
Atmosphären der Planeten 40 f, 142 f
Atmung 173 f, 190
Atomenergie als Treibmittel 152 f, 163, 165, 259
Aufklärung, naturwiss. 13
Aufladegebläse 179
Aufstiegsrichtung der Rakete 129 f, 189 f
Augenschutz der Weltraumfahrer 191 f

Auspuff 117, 142, 145
Auspuffgeschwindigkeit 127 f, 145 f, 153, 155, Taf. XII
Außenstation 143, 160 f, 206, 230 f, 238 f
Außenstation, Stabilität 54, 160
Aviation Medicine 47
 α Kentauri 25 f, 163, 265

B

Bachelets Projekttilzug 203
Bahnen der Himmelskörper 87 f
Bahnexzentrizität 54
Bahnrichtung der Planeten und Monde 50
Ballistische Kurve 76 f
Beebe 192
Bein 63
Bemannte Rakete 238 f, 242
Bemannung der Außenstation 161
Beobachtung im freien Weltraum 198
Beschleunigung, physiologische Wirkung 99 f, 106 f
Beschleunigungsdrucke 103
Beschleunigungserträglichkeit 105 f, 124
Beschleunigungs-Kollaps 104, 107
Beschleunigungsschäden 106 f
Bessel 227
Besuch anderer Weltkörper 233 f
Bettgymnastik 47
Bewegen in der Rakete 36 f
Bewegungsgeschwindigkeiten 136
Bewußtseinsstörungen durch Beschleunigung 104
Bezold 175
Bildtafelverzeichnis 277

Stichwortverzeichnis

Biot 264
Bläue des Himmels 38 f, 167
Blér.ot 249
Blutdruck 103 f
Blutkreislauf 47, 102 f
Blutsiede-Temperatur 177
Bodensee 220
Boeing-Flugzeuge 186
Brandpfeil 254 f
v. Braun 12, 242, 244 f, 248, Taf. I, XII
Bremsen 70, 132
Bremsstrecke 143
Brennkammer 150 f
Brennpunkt 35, 87
Brennstoff s. Treibstoff
Brennstrahl 35, 87
Brennzeit von Marsraketen 243, 247
Brockengespenst 263
v. Bronk 221

C

Canberra 171
Cañon Diablo 131, Taf. VII
Cavendish 20
Cheopspyramide 125
Chromosomen 222
Clarke Taf. I
Congreves Kriegsbrandrakete 256
Contrecoup-Verletzungen 106
Coulomb 219
Crantz Taf. II

D

Dämmerung 167
Degeneration 222
Denken biologisch bedingt 265
Descartes 11
Diesterweg 250
Diffraktion 195
v. Diringshofen 47
Doppler-Effekt 203 f
Drall 71 f, 74 f, 120

Drehmoment 30, 72
Drehschemel-Versuche 108 f, 122
Drehsinn von Planeten und Monden
130, 136 f
Dreieck-Problem 234
Drouet 82
Druckknopfkrieg 156
Düse des Raketenofens 152
Düsenantrieb 184 f
Düsenmotor 185, Taf. XV
Düsenreaktionsgerät 82 f
Dunkelnebel 218, Taf. IV
Dunkelwolken, kosmische 193
Durant Taf. I

E

Edison-Effekt 82
Eiffelturm 125, 245
Einstein 218, 259
Eisenbahn 56, 61 f, 98
Elektromagnetisches Geschütz 80 f
Elektron 219, 223 f
Elektronen-Mikroskop 59, Taf. VI
Elektronenrakete 82 f
Elektronenvolt 220 f
Ellipse 35, 85 f
Elster und Geitel 219
Energie, kinetische 146
Entfernungen von Himmelskörpern
21 f
Entfernungsbestimmung 228
Entwicklungslehre 236
Erdbeschleunigung g 100 f
Erde, Erdkrümmung, Taf. XIII, XIV
Erdfotografie aus größeren Höhen,
Taf. XIII, XIV
Erdfhafen, kosmischer 238 f
Erdmittelpunkt 88
Erdrotation, Umfangsgeschwindigkeit
98
Erdsystem 32
Erdtod 252
Erdumkreisendes Geschöß 187
Erdvorübergang 247
Erg 220 f

Stichwortverzeichnis

Erhaltung der Kraft 78
Erhitzung der Rakete beim Landen
133
Erkenntnis 265
Erklären 89
Eros 235 f
Ersticken des Motors 185
Eugster 222 f
Explorer II, Ballon 169
Explosion 146
Explosivstoffe, Geschichte 254
Exzentrizität 87

F

Fahrtdauer 11, 138 f, 144
Fahrtfehler, Taf. IV
Fall eines Menschen 96 f, 108
Fallgeschwindigkeit 101, 216
Fallversuch 216
Farbverschiebung bei Raketeninsassen
204
Fata Morgana 40
Faustischer Drang 253
Federwaage 89, 208 f
Fehler bei Verne 214 f
Feuerdruck 152
Feuerkante 150 f
Feuerwagen 6
Feuerwerksrakete 17, 88, 116, 121
Fliegen in Stratosphäre 172, 174, 183
Fliehkraft s. Zentrifugalkraft
Fluchtgeschwindigkeit 93, 153
Flüssigkeiten, körnig 60
Flüssigkeitsrakete 117 f
Flugeigenschaften von Langgeschossen
70 f
Flughöhe 179
Flugmotor, Leistung 165
Flugpreise 180
Flugverkehrshöhen 185 f
Flugzeug in sehr großer Höhe 182
Flugzeugantrieb 184 f
Flugzeuggröße, rationelle 186
Flugzeugkatastrophen 104 f
Flugzeuglandung 186

Flutkräfte 52, 54
Foerster 57
Fontana 256
Fort 264
Fortbewegung 64, 95
Funkeln der Sterne 40 f

G

g 100 f, 104
Gail 45, 121
Gamma-Strahlung 219
Ganswindt 257
Gartmann 151
Gasentladungen in großen Höhen 176
Gauß 214, 227
Gehen 36 f, 64, 207 f
v. Geißler 256
Geschichte der Rakete 253 f
Geschoßbahn 66, 67, 70 f, 74, 76 f
Geschoßflug 78, 99, Taf. II
Geschoßform 79
Geschoßfotografien 78, 99, Taf. II
Geschoßgeschwindigkeiten 77 f, 84
Geschoßknall 79
Geschoßrotation 74 f
Geschwindigkeit eines Äquatororts 130
Geschwindigkeit von Fahrzeugen 16,
135
Geschwindigkeit von Himmelskörpern
84, 98 f, 135
Geschwindigkeit, höchste, für Rakete
160
Geschwindigkeit, physiologische Wir-
kung 98
Geschwindigkeitsbestimmung der
Rakete 123, 229 f, Taf. IV
Geschwindigkeitsfimmel 180
Geschwindigkeitszunahme durch
Beschleunigung 101 f
Gesellschaft für Weltraumforschung 46
Gesteinsaufbau 235
Gewicht 34, 90
Gewicht auf Himmelskörpern 212 f,
214

Stichwortverzeichnis

Gezeiten 54
Gigantik der Technik 125
Gleichgewichtsapparat, menschlicher 48 f
Gleitflächen 57, 60
Gleitflug der Rakete 133, 143
Glenn L. Martin Co, Taf. IX, X
Glimmentladungen in großer Höhe 183
Goddard 115 f, 128, 257
Goethe 6, 12, 14, 201, 205, 261
Grab Mohameds 209
Granate als Reisekabine 65, 74, 94 f, 101
Gravitation s. Massenanziehung
Gravitationsgesetz 89 f
Greffigny 82
Gummi in Kälte 45, 149

H

Halleys Komet 14
Hann 175
Heaviside-Schicht 171, 202, 206
Heizung der Raketenkabine 138, 163, 191
Heiligkeitsverlust bei Bildvergrößerung 193 f
Helmholtz 57, 78
Hemmschuh 62
Hermes 236
Herrschaftsbereich des Menschen 250
Herschel 218
Herz, menschliches 48, 103 f
Heiß 219
Himmelsmechanik 227, 238
Hochflug 180 f
Hochfrequenztechnik und Weltraumfahrt 207
v. Hoefft 147, 163, 188, 257
Höhenfähigkeit von Flugzeugen 182
Höhenmessung, barometrische 176
Höhenrekord der Rakete 159, Taf. XII
Höhenrekord des Flugzeugs 185
Höhenstrahlung s. kosm. Strahlung
Hohmann 115 f, 133 f, 139, 141 f, 238, 257

Hyder-Ali von Mysore 255
Hymatic Engineering Co. 107
Hyperbel 85 f

I

Infrarote Strahlen 224 f
Inhaltsverzeichnis 7 f
Innendruckfeste Kabinen 173 f, 178, 183, 190
Interplanetarischer Reise-Fahrplan 135, 143 f
Ionisation 162, 169 f, 172, 219, Taf. V
Ionosphäre 170 f, 224 f

J

Jupitermonde 237, 264

K

Kabinenluft entweichend 199
Kaliber 66 f
Kanone 65, 75
Kanonenkugel 65 f
Karbide 150
Kartografie mittels Raketen 171, Taf. XIII, XIV
Katapultabschuß 100
Kegel 86
Kegelschnitte 85 f
Kepler 35 f, 88, 227
Kerbschlagzähigkeit 149
Kettenreaktion 223
Kilogramm 89
Kinderkreisel 72
Kirschstein 207
Klopfen des Motors 181
Kluge und Bodmann 57
Knallgas 147
Knallwelle 79
Kochen des Betriebsstoffes in großen Höhen 183

Stichwortverzeichnis

Kölle 230
Kohlhörster 219 f
Kolumbiade 65 f
Kolumbus 139
Komet 87
Kompressionswärme, Entstehung 181
Kopflastigkeit 120 f
Kopfwelle 79
Korpuskel 220 f
Kosmische Strahlung 169, 218 f, 234
Kosmogonie 236 f
Kräftepaar 30, 72
Kräfte-Zusammensetzung 27 f
Krazer auf Raketen durch Meteorstaub 200
Kreiselwirkung 72 f
Kreisel-Steuerung 122, 158
Kreislaufl des Werdens 251
Kühlkanal 150 f
Kühme 190
Künstlicher Mond 17 f, 33, 44, 50 f, 143 f, 160, 231
Kugelblitz 262 f
Kugellager 60
Kurvenradius, erträglicher 105 f
Kurven- und Kunstflug 100
Kyeser 254 f

L

Lader 179 f
Landen der Rakete 122 f, 130 f, 142 f, 154 f, 231
Landungsboote 244 f, 247 f
Langbein, Ernst 42
Langer 48
Langeweile der Weltraumfahrer 201 f
Langgeschöß 65
Langstreckenflug 177
Lanzen des ungestümen Feuers 254 f
Lastrakete 240, 246 f
Laurentiusstrom 87
Leere des Weltraums 218 f
Leerstufe 245 f
Legentil 140

Leitstrahlen 207
Lesseps, F. v. 12
Leuchtende Nachtwolken 167
Leuchtraketen 88, Taf. III
Ley 160 f
Lichtabsorption durch Luft 192
Lichtabsorption in Meerestiefen 192
Lichtdruck 224
Lichtgeschwindigkeit 25, 166, 265
Lichtjahr 25 f
Licht, geradlinige Fortpflanzung 234
Lichtwellen 59
Lick-Sternwarte 196
Liegender Flieger 105 f
Lilienthal, Otto 11, 249
Linke 235 f, 251, 264 f
Logarithmus 88, 224
Lorentz 218
Lorablenkung 19 f
Luftbedarf des Motors 180 f
Luftbereifung 61 f
Luftbremse 132 f, 142 f, 154
Luftbrücke, Berliner 248
Luftdruck 41 f, 175
Luftdruck in großen Höhen 174 f
Luftdruckanzug 177
Lufterneuerung 138, 190
Luftfilterung 150
Luftgrenze 175
Luftmantel, Masse 168, 175
Lufttemperatur in großen Höhen 175 f
Luftunruhe 40 f
Luftwiderstand 67, 70 f, 76 f, 84, 88, 93, 120, 168, 190

M

Mach 78, 218
Mahlzeitendisziplin 105
Marburger 241
Marsbesuch 237, 240, 246 f
Marskanäle 237
Marskolonisation 234
Marsprojekt 12, 242 f, Taf. XV
Marsprojekt, Kosten 280

Stichwortverzeichnis

Martus 235
Mas 82
Masse 89
Masse von Raketen 124, 126 f
Massenanziehung, allg. 18 f, 88 f
Massenverhältnis 122, 127 f, 153
Massenzuwachs der Sonne durch
 Meteore 198
Mathematik 265
Mayer 78
Mephisto 251
Mersenne 11
Merten 207
Meson 223 f
Metalle in Kälte 149
Meteor Borgo 131
Meteorgefahr 162, 197 f
Meteorgeswindigkeit 84, 168
Meteorkrater in Arizona 131, Taf. VII
Meteorstrom 87
Meteorzahl, die Erde treffend 199
Meterkilogramm 220 f
Miehlwickel 221
Miethe 221
 μ (Mikron) 57
Militarismus für Raketenforschung 259
Mischkammer 152
Molekül 58 f
Mondbesuch 93 f, 235, 240 f
Mondform 235
Mond, künstlicher, s. künstl. Mond
Mondmensch 214
Mondrakete, Taf. XVI
Moses 242
Moszkowski 203
Motor-Atmung 179 f
Müllschlucker 200
Mutation 222
Mystik 264

N

Naturgesetze, Gültigkeit 33, 64
Navigation im Weltraum 206 f
Nebelhöhlen 218

Neutrale Linie 209
Neutron 224
Newton, Isaac 36, 88, 227
Nur-Strahlflugzeug 185

O

Oberfläche von Körpern 57 f,
 Taf. V, VI
Oberth 5, 45, 51, 74, 81, 97 f, 114, 117,
 128, 147, 151, 155 f, 177, 189, 199 f,
 215, 223, 230, 232, 237 f, 257,
 260, Taf. I
Oberth-Medaille Taf. I
Objektiv 41
Ölschmierung 59 f
Ohrensteine 48
Okrade 26
Opel 16 f, 55, 95, 116, 258, Taf. II
Organe, nicht rotierend 63
Organismus, menschlicher 101
Orientierung im Weltraum 227 f,
 Taf. IV
Orion 229 f
Orthostatischer Kollaps 47
Ortsbestimmung der Rakete 123
Ortung 205 f
Otolithen 48
Ozon 225

P

PAA 186
Panamakanal 12
Panzerfaust 15, 156
Parabel 85 f, 88
Paradies 253
Parallaxe 123, Taf. IV
Parallelogrammsatz 27 f
Parameter 87
Paris-Kanone v. 1918, 75, 77, 133
v. Parseval 251 f
Passat 77
Pazifische Raketengesellschaft XVI

Stichwortverzeichnis

- Peenemünde 238, 242, 264, Taf. I
Pégoud 215, 249
Peristaltik 48
Perlmutter — Wolken 170
Philosophie 265
Photon 220 f
Physik während Weltraumfahrt 201, 210
Physikalisch-Technische Reichsanstalt 57
Piccard 191
v. Pirquet 75, 81 f, 257
Pistolen-Rückstoßschuß 123
Planck 220
Planetarium 22 f, Taf. III
Planetenbahnen 30 f, Taf. III
Planeten-Oberflächen 197
Planetensystem 20 f
Planetoiden 236 f
Planung 242
Pneumatikbereifung s. Luftbereifung
Polarlicht 167, 176
Politur 58
Post 177 f
Primärstrahl, Taf. V
Projektilzug Vernes 211
Propeller 62, 64
Propeller-Strahltriebwerk 184 f
Proton 223 f
Proviand für Weltraumreisende 134, 137, 247
Pulver 116, 146 f
Pulverrakete 115 f, 146 f
Pyramiden 22, 125
- Q**
- Quantenmechanik 220
Quinenlotterie 199
- R**
- Rad 61 f
Radio im Weltraum 201 f, 248
Radioaktivität 219
Radiostörungen 172, 176, 202 f
Rakete 83, 115 f, Taf. XII
Rakete kein Geschloß 164
Rakete nur Flugzeug? 164
Rakete, Wirkungsgrad in Atmosphäre 188
Raketenantrieb für Automobile 54 f, 62, 188 f
Raketenautomobil 17, 95, 258
Raketenbahnen 88, 93 f
Raketenfilme 266
Raketenform 79, 165
Raketen-Geschwindigkeiten Taf. XII
Raketengewichte, -größen und -massen 124 f, 140 f, 144
Raketenmotor 150 f, 155
Raketenpost 258
Raketenprinzip 95, 113 f
Raketenofen 117, 148 f, 151 f
Raketenreisen auf der Erde 163, 165, 187 f, 190, 250
Raketenreisen im interstellaren Raume 166
Raketen-Steuerung 118 f, 158
Raketentorpedo 255 f
Raketenvereine 258
Raketen-Versuchsaufstieg 156 f
Ranke 47 f
Rastelli 261
Rateau 182
Rauhigkeit 57 f
Raumtaucher-Anzüge 44 f, 177, 198, 223, Taf. VIII
Reaktionsturbine 111, 155
Regelation 61
Regenbogenfarben 39
Regeneration verbrauchter Luft 42
Registrier-Rakete 133, 162, 169
Reibung 55 f, 60 f, 95
Reibungsarbeit 60 f
Reibungswiderstand 60 f
Reichel 154
Reichweite von Radio im Weltraum 206 f
Reinmuth 236
Reisedauern 12, 135, 166, 237

Stichwortverzeichnis

- Relativitätstheorie 197, 234
Restionisation 219
Retomberatil? 11
Rettung Schiffbrüchiger 14 f, 257
Richtimpuls 121
Richttrad 121 f
Richtschüsse 117 f, 120 f, 124, Taf. IV
Richtung im Weltraum 36 f
Richtungskontrolle 123
Richtungssteifigkeit 72, 121
Riedel 264
v. Römer Taf. XV, XVI
Röntgenstrahlen 219 f, 224 f
Rohrpostplan 82
v. Romocki 254
Roosevelt, F. D. 259
Royal Aircraft 107
Rückstoß 70, 113, 123, 151, 184 f
Ruff 106
Ruggieri 257
- S**
- Saenger 147, 151
Sander-Rakete 14
Sandrechnung 26
Saturnring-Trennungen 54
Saturnsystem 51
Sauerstoff, lebensnotwendiger 226 f
Sauerstoffatmung 174
Schädigung durch Beschleunigung
100 f, 102 f
Schaefer 48
Schallgeschwindigkeit 79, 164 f
Schallüberholung 203 f
Schaub 52, 125, 232
Schauflüge 42
Schershevski 238, 257
Schichtgrenzen in Atmosphäre 169
Schienenreibung 56
Schiffsgeschütze 76
Schlankheitsgrad 190
Schleierkühlung 151
Schleuder 31
Schlucken 46 f
Schneider 48, 107
- Schoenenberger-Effekt Taf. I
Scholz 49, 148, 153
Schule und Naturwissenschaft 238
Schußweite 77 f
Schwärze des Weltalls 38, 196, 234
Schwanzflossen 122
Schwarzer Vorhang 105
Schwarzsehen 104
Schwere auf Himmelskörpern 213 f
Schwere in Rakete 36 f, 210, 213
Schwerefeld der Erde 84, 89, 91
Schwerfreier Punkt 91, 209 f
Schwerelinie 68
Schwerelosigkeit 46 f, 49, 64, 207 f,
210, 213, 216
Schwerkraft-Kabine 49 f, 53, 239
Schwerpunkt 33, 67 f
Schwerpunkts-Erhaltung 108 f, 111 f,
117, 207 f
Segnersches Wasserrad 111, 155
Sextade 26
Shapley 199
Sich bewegen 108 f
Siemens 57, Taf. VI
Sinnesempfindungen 265
Sitzender Flieger 103, 106
Sog 78, 164 f
Solarkonstante 220
Solenoidgeschütz 80 f
Sonnenbrand 225
Sonnenfinsternisse 197
Sonnenkorona 197, 224, Taf. VIII
Sonnenstrahlung 155, 163, 169, 191
Sonnenstrahlung heizt Rakete 191
Space Medicine 241
Spektralanalyse 64, 168
Spektrum 39 f, 224 f
Spezifisches Gewicht 66
Spiegel an Außenstationen 232 f, 239
Stamer 258
Startfehler und Korrektion 120 f
Steilbahn 88
Stephensons Rocket 257
Sterilisation 222
Stern „van Maanen“ 107
Sternnamen 25

Stichwortverzeichnis

Sternschnuppen 261 f
Sternwarte, ideale 192
Steuerflächen 72, 123
Steuerkreisel 119, 122
Stevens 169
Storch 258
Strahltriebwerk 184
Stratosphäre 167, 169, 175
Stratosphären-Flugzeug 178 f
Strichpolitur 58
Stromlinienform 78 f
Strughold 47
Stützmasse 113, 123, 146, 153
Stufenprinzip 117, 125, 129, 159 f
Sturzflug 47, 100, 103
Sullivan 262
Synergie-Kurve 189

T

Tag als Begriff im freien Weltraum 193
Tankstationen 231
Taucheranzug s. Raumtaucher-Anzug
Temperatur auf Außenstation 161
Temperatur des Weltraums 43 f, 149, 190 f
Temperaturen von Treibstoffen 148
Temperaturgrenzen für Leben 225 f
Temperaturumkehr in großen Höhen 176
Tiefseekugel 192
Tilling 258
Time 156
Tippo Sahib 255
Titanic-Untergang 14
Tombaugh 20, 263
Tragflächen, Rolle bei Raketenlandung 133, 245 f
Transportarten 62 f
Treibstoffe 146 f, 258, Taf. XII
Treibstoffpumpen 152
Triebwerkskühlung Taf. I
Troposphäre 167, 169
Turbine des Strahl-Triebwerks 184 f
Turbo-Auflade-Gebläse 182
Turbo-Strahlantrieb 185, Taf. XV
Tycho Brahe 227

U

Überschallgeschwindigkeit 79, 185
Überschlagen von Granaten und Raketen 66, 120 f
Überschwere Körper 107
Ulinski 82 f
Ultrakurzwellen für Weltraumradio 172, 205 f
Ultraviolette Strahlen 224 f
Ultraviolettnebel 218
Ultrazentrifugen-g 107
Umdrehungsrichtung von Planeten und Monden 130, 136 f
Umkehrung der Rakete 211, 217
Untertassen, fliegende 261 f
Uranus und Uranusmonde 51

V

Valier 74, 258
Venusbesuch 137 f
Verdichtungswelle 78
Vererbung 222
Verglühen von Meteoriten und Raketen 130 f, 142
Vergrößerung im Fernrohr 40 f, 59
Vergrößerungen, im freien Weltraum anwendbare 193
Vergrößerungen mit dem Fernrohr 195
Verne 65 f, 74 f, 85, 208 f, 215 f
Versacken des Blutes 104
Verwandschaft der Welten 236
Viking-Rakete 157 f, Taf. IX, X
V-Raketen 120, 156 f, Taf. XI, XVI
V-Waffen 15

W

WAC-Corporal 159 f, 169, Taf. XI
WAC-Private 160
Wärme durch Kompression 178
Wärmeleitfähigkeit 150
Wan-Hus Raketen-Flugversuch 255
Wasserspringer 97, 107, 215
Wasserstoff 148 f

Stichwortverzeichnis

- Wasserstoffosphäre 169
Wegener 167, 169
Weltentstehung 236 f
Weltluftfahrt-Netz 250
Weltraumfahrer 43
Weltraumfahrt, Zeitschrift 46, 54, 107, 147, 148, 151, 153, 154, 159
Weltraumkälte 44, 190
Weltraumreisen, Wert und Sinn 231 f, 249 f
Weltraum-Stationen 134
Werfen 67, 91 f
Wettereinfluß auf Flugzeug 166, 188
Wetterunbilden 173
Wettervorhersage 232
White Sands 159, 266, Taf. XIII
Widerstandsmittelpunkt 121 f
Wind, elektrischer 155 f
Wirbelzopf 79
Wirkzeit 105 f
Wissen 253
Wolf 218
Wucht des Geschosses der Paris-Kanone 133
Wucht der landenden Rakete 133
Wunder 261, 264
Wundern 13
Wurfbahnen 85, 91 f
- Z**
- Zaubermantel 6, 205
Zeitbegriff der Raketeninsassen 193, 204 f
Zeitreife von Erfindungen 182
Zentimeter-Gramm-Sekunde-System 220 f
Zentrifugal-Experiment 73
Zentrifugalkraft 31
Zentripetalkraft 31
Zielabweichung 77
Zodiakallicht 218
Zubringer-Rakete 240, 242 f, 245 f, Taf. XV
Zuckmayer 145
Züge in Geschosrohr 72
Zündung versagt in großer Höhe 183
Zuggewicht bei Eisenbahn 56
Zwischenkühler 179

VERZEICHNIS DER BILDТАFELN

- Tafel I* Prof. Hermann Oberth, der geniale und unerschrockene Pionier der Weltraumfahrt und ihrer wissenschaftlichen und technischen Vorbereitung, Ehrenpräsident der Gesellschaft für Weltraumforschung; Mr. Durant, American Rocquet Society; Mr. A. C. Clarke, Chairman of the British Interplanetary Society. Aufnahme von F. Linke vor dem Modell des Schoenenberger-Effekts für Raketen-Triebwerkskühlung und Treibstoffmedien-Mischung auf der Stuttgarter Ausstellung September 1952
Prof. Dr. Wernher v. Braun, früher maßgeblicher Mitarbeiter auf dem Peenemünder Raketenfelde, Mitarbeiter der amerikanischen Armee für Raketenforschung, Inhaber der Hermann-Oberth-Medaille 1952
- Tafel II* Fritz v. Opel mit seinem Raketen-Automobil „Opel Rak 2“ auf der Avusbahn bei 236 km/s Geschwindigkeit
Der Raketenmotor des „Opel Rak 2“ mit den Auspuffdüsen, aus denen die Explosionsgase abströmen (Opel Bilderdienst)
Geschoßfotografien nach Crantz (siehe Seite 79)
- a) Aufnahme am deutschen Infanteriegewehr M 98 mit dem S-Geschoß, etwa 35 cm vor der Mündung. Abgangsgeschwindigkeit etwa 880 m/sec. Links die mit großer Geschwindigkeit aus dem Lauf tretenden Pulvergase, am Ende des Geschosses die von oben nach unten durchgehende Knallwelle, an der Geschoßspitze die Kopfwelle, mit der der Geschoßknall verbunden ist.
 - b) Fliegendes S-Geschoß von 8-mm-Kaliber und etwa 880 m/sec. Fluggeschwindigkeit mit Luftwellen und -wirbeln.
 - c) Fliegendes Rundkopfgeschoß von 8-mm-Kaliber und etwa 640 m/sec. Geschwindigkeit mit Kopf- und Schwanzwelle und Luftwirbeln.
- Tafel III* Maßstäbliche Verkleinerung der Bahnen der äußeren Planeten auf europäische Verhältnisse (siehe auch S. 23)
Leuchtraketen schießen von Kriegsschiffen. Die fotografischen Leuchtschiffe machen, da sie steil sind, den Eindruck von Parabeln
- Tafel IV* Zur Orientierung bei der Raketenfahrt. Sieht man die Erde zu groß, so ist man noch zu nahe; die Fahrtgeschwindigkeit war zu gering, und der Raumschiffer muß seine Rakete beschleunigen. Erscheint die Erde zu klein, so ist man schon zu weit und muß abbremsen. Links ist die berechnete Stellung, rechts steht die Erde zu weit westlich. Die Größe der Verschiebung zeigt den Fahrfehler an, der durch Richtschüsse berichtigt werden muß
S-förmiger Dunkelnebel im Schlangenträger
- Tafel V* Mikroaufnahmen und Lichtschnitte einiger Proben von Metalloberflächen
Bahnspur eines kosmischen Primärstrahls, stark vergrößert. Die einzelnen Ionen sind als weiße Punkte sichtbar

Verzeichnis der Bildtafeln

- Tafel VI* Eloxalhaut einer Aluminiumoberfläche. Vergr.: 30 000fach. Oberfläche einer polierten Stahlkugel. Vergr.: 12 200fach. Diese Flächen nennen wir „absolut glatt!“. Aufnahmen mit dem Siemens-Elektronenmikroskop nach E. Ruska und E. v. Borries (Siemens & Halske AG)
- Tafel VII* Meteorokrater in Arizona (USA). Nach einer Fliegeraufnahme des Armeeflugkorps
Amerika-Nebel im Schwan. Aufnahme des Entdeckers M. Wolf, Heidelberg
- Tafel VIII* Sonnenkorona, aufgenommen gelegentlich der Sonnenfinsternis vom 31. 8. 1932 auf der Harvard-Sternwarte USA
Raumtaucher-Anzüge zur Landung auf Himmelskörpern. Verständigung der Teilnehmer durch Radio, z. B. auf dem Mond, wo keine Atmosphäre den Schall leitet (Ullstein-Bildarchiv)
- Tafel IX* „Viking“ während des Abstieges. Brenndauer 75 Sekunden, Brennschlußhöhe 40 km. In 4 Min. 23 Sek. erreichte Höhe: 216 km. Erbauer: Glenn L. Martin Co., Baltimore, Md.
- Tafel X* „Viking“, Höhenforschungsrakete der US-Marine
„Viking“ kurz vor dem Start
- Tafel XI* V-2-Rakete, zum größten Teil aufgeschnitten
WAC-Corporal auf umgebauter V2, kurz nach dem Start
- Tafel XII* Darstellung der Ausströmgeschwindigkeiten verschiedener Raketen-Treibstoffe. Wasserstoff-Sauerstoff ergab die höchste mit 3500 m/s. Die Entwicklung der Großrakete. Während des 2. Weltkrieges wurde das A-Programm militärisch und gelangte bis zur V2, die in USA durch v. Braun weiterentwickelt wurde. A4 kam 180 km hoch. A9 stieg nicht senkrecht auf, A4 + Wac-Corporal erreichte die Rekordhöhe. Den großen Fortschritt zeigen die Geschwindigkeiten, die man vergleichbar an der Einzeichnung der Raketen mit ihrem Heckende über der Grundlinie erkennt. Bilder: v. Römer, München
- Tafel XIII* Die Erde aus 91 km Höhe von einer automatisch arbeitenden Kamera aus fotografiert. Die Rakete startete von der amerikanischen Versuchs-Station White Sands, Las Cruces, New Mexico. Man erkennt deutlich die Erdkrümmung. Über der Erde zahlreiche Wolkenflächen. Copyright by the Associated Press
- Tafel XIV* Kartografie mittels Aufnahmen von der Rakete aus. Beide Bilder sind zusammengesetzte Fotos, die mit einer Rundblickkamera aus 96 km Höhe (oben) bzw. 112 km (unten) aufgenommen wurden, und zwar über dem Versuchsgebiet von White Sands
- Tafel XV* Dreistufige Zubringer-Rakete des v. Braunschen Marsprojekts (Zeichnungen v. Römer)
Der Turbo-Strahlantrieb (Düsenmotor) (s. auch S. 185)
- Tafel XVI* Projekt einer 7stufigen Mondrakete der Pazifischen Raketen-Gesellschaft in Mojave (Kalif.) auf dem Beton-Startturm
Gewichtsdiagramm der V2 (A4). Zeichnungen v. Römer, München

FRANZIS-BÜCHER AUS WISSEN UND TECHNIK

GUSTAV BÜSCHER

MENSCHEN MASCHINEN ATOME

Ein Buch von der Energie

Ein neues Buch des beliebten populären Schriftstellers Gustav Büscher ist an sich ein Ereignis. „Menschen, Maschinen, Atome“ behandelt darüber hinaus ein Thema, das uns alle angeht: die lebenerhaltende Energie, in allen Spielarten und Zusammenhängen fesselnd geschildert, ein packendes Buch für Junge und Ältere, für alle, denen Lesen nicht nur Entspannung und Nervenkitzel ist. Unser Sein und unser Leben kommen aus der Energie, aus der Kraft der Materie; ihre unzähligen Wandlungen schildert Gustav Büscher in meisterhafter Sprache. Ein echtes Volksbuch, das der Technik-Begeisterte gern seinen Angehörigen in die Hand geben wird, um sie an der Technik zu interessieren, das er aber auch sich selbst zum Geschenk machen wird.

316 Seiten mit 104 Bildern im Text und auf 16 Tafeln

FRANZIS - VERLAG · MÜNCHEN



Felix Linke versteht interessant zu plaudern und dabei verwickelte physikalische und technische Dinge in seinen Lesern anschaulich werden zu lassen. Seine Stärke ist die unbedingte wissenschaftliche Zuverlässigkeit, die er mit dem Zauber- mantel des Wunderbaren und Geheim- nisvollen umkleidet. Was er von der Welt- raumfahrt und von der Rakete erzählt, ist un- glaublich und wunder- voll, und doch in jeder Zeile durch Tatsachen belegt. Das macht: Felix Linke ist Ingenieur. Durch seine Tätigkeit an der Berliner Urania- Sternwarte, wobei er Mitentdecker des Planetoiden Eros wurde, konnte er zum ersten Male seinen Blick in die Tiefen des Universums richten. Eine langjährige Freundschaft mit Prof. Hermann Oberth, dem berühmten Raketenforscher, begei- sterte ihn für die Weltraumfahrt, deren Studium er viele Jahre seines Lebens wid- mete. So konnte er aus dem Vollen schöp- fen und eine umfassende Schau dieses Ge- bietes geben.

