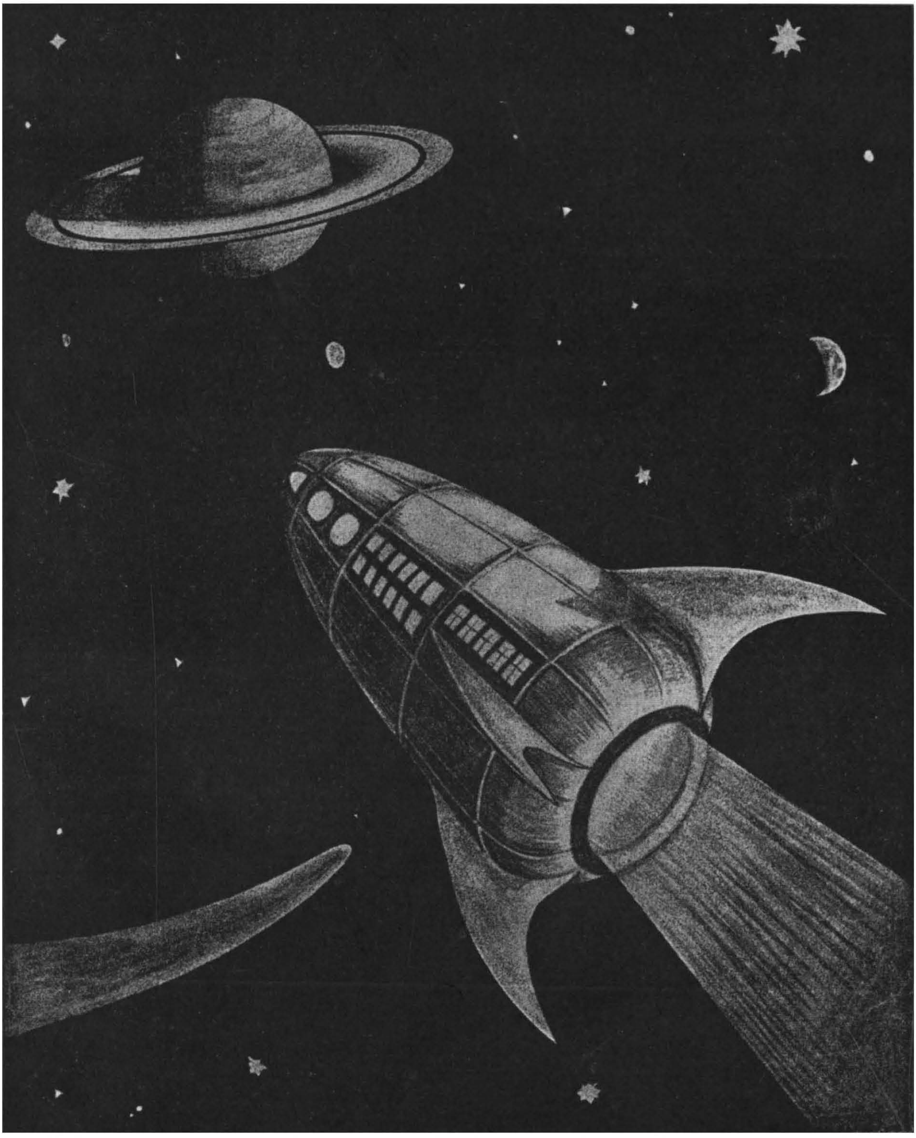
MAX VALIER

DER VORSTOSS IN DEN WELTENRAUM

EINE TECHNISCHE MÖGLICHKEIT?



R · OLDENBOURG-VERLAG
MÜNCHEN-BERLIN

DER VORSTOSS IN DEN WELTENRAUM

EINE WISSENSCHAFTLICH-GEMEINVERSTÄNDLICHE BETRACHTUNG

VON

MAX VALIER

MIT 35 TEXTABBILDUNGEN

2. AUFLAGE

1 · 9 · 2 · 4
MÜNCHEN UND BERLIN
DRUCK UND VERLAG R. OLDENBOURG

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Ein Menschheitstraum scheint seiner Verwirklichung nahe!

Was Jahrtausende geahnt, was Millionen, die inzwischen wieder zu Staub geworden sind, gehofft, was ungezählte Dichter besungen und Schriftsteller in kühn ersonnenen Romanen beschrieben haben, das soll nun wirklich möglich sein: Der Vorstoß in den Himmelsraum, die Reise zum Monde, der Aufstieg zur Sternenwelt, die Eroberung der Himmelskörper, zum mindesten der Planeten, die gleich unserer heimatlichen Erde den lohenden Sonnenball, den Gesetzen des Kosmos gehorsam, umkreisen.

Seit Jahrtausenden schon schwebt der Gedanke an die Fahrt ins All über der Menschheit. Vor 2000 Jahren schrieb Lukian seinen »Menippus«, und sicherlich war diese Schrift nicht die erste, die von einer kühnen Fahrt nach dem Monde berichtet. Nimmer kann sich der Mensch mit dem Erreichten oder leicht Erreichbaren begnügen, von je trieb ihn ein innerster Zwang dazu, gerade das scheinbar Unmögliche zu versuchen. Und darin liegt auch durchaus nichts Unnatürliches. Ist doch dieses Streben nur der lebendige Ausdruck unseres Wesens, das nach immer höherer und vollkommenerer Entfaltung seiner Daseinsweise verlangt und diese durch beständige Erweiterung der Naturbeherrschung zu erreichen sucht.

Viele Jahrtausende mag der Urmensch gebraucht haben, um sich nur der übermächtigen Tierwelt gegenüber zu behaupten, anfangs ohne eine andere Waffe als die Überlegenheit seines Geistes, die ihn erst nach und nach die wirksamen Kampfmittel finden ließ, durch die er sich im Laufe der Zeiten zum Herrn alles Lebendigen auf Erden aufschwang. Und abermals Jahrtausende sind vergangen, bis der Mensch es in Technik und Kunst so weit gebracht hat, daß er uns Zeugnisse wie die ägyptischen Pyramiden und Tempelbauten hinterlassen konnte, vor denen wir heute noch in staunender Ehrfurcht stehen.

Schneller und schneller rollte das Flügelrad des Fortschritts.

Mit Stolz dürfen wir auf die Errungenschaften des abgelaufenen Jahrhunderts zurückschauen. Die Erde, unser Heimatstern, scheint bezwungen. Die Weiten der Festländer, die Tiefen der Meere, die Höhen des Luftkreises schrecken uns nicht mehr. Unsere Bahnen durchjagen die Lande, die Schiffe durchpflügen den Ozean, unsere Flugmaschinen durchstürmen die Lüfte, und wir verständigen uns drahtlos rund um die Erde.

Ein einziges noch ist unbezwungen, die ungeheure Schwerkraft des Erdballs! Wie ein undurchdringlicher Panzer umgibt das Schwerefeld die Erde. Machtlos stand der Mensch bisher dieser gewaltigsten Naturkraft gegenüber, ein gefesselter Prometheus, mit ehernen Banden an den Erdboden geschmiedet, frei nur in seinen Gedanken, deren Flug nichts hemmen kann, kühn und unüberwindlich bis an die Grenzen alles Seienden vorzustoßen. Nun sollen die Gedanken zur Tat werden!

Der Bann scheint gebrochen, der uns bisher im Zweifel hielt, ob es je gelingen mag, in den Weltraum emporzudringen. Zwei Forscher von Rang, Prof. Rob. H. Goddard vom Clark College in Worcester und Phys. Prof. Hermann Oberth, ein Deutscher, haben sich durch jahrelang fortgeführte Berechnungen und Versuche überzeugt, daß die Möglichkeit, unsere Erde zu verlassen, schon für unsere heutigen technischen Hilfsmittel besteht, wenn es nur gelingt, diese in der richtigen Weise zu nützen, um das einzige wahre Hindernis, das furchtbare Schwerefeld der Erde zu überwinden. Denn nicht der Mangel an Luft, die Kälte des Weltraums und die sonstigen Schwierigkeiten waren es, welche die Fahrt ins Sternenall unmöglich machten, sondern einzig und allein darin, sich aus dem Schwerefeld der Erde herauszuarbeiten, liegt die Entscheidung beschlossen. Wäre die Erde so klein wie der Mond, oder doch ihre Masse noch so gering wie die des Mars, so würde der Aufstieg in den Himmelsraum kaum sonderliche technische Anforderungen stellen, denn schon eine verhältnismäßig geringe Anfangsgeschwindigkeit, einem Geschosse erteilt, würde dann genügen, dieses über die Schweregrenze hinauszutreiben. Für uns aber gilt eine furchtbare Zahl, vermehrt noch um das, was der Luftwiderstand das Raumschiff behindert, zur Höhe zu steigen. Im ganzen läuft der Aufgabe Lösung darauf hinaus, ob es möglich ist, dem Fahrzeug, das sich zu den Sternenräumen erheben soll, soviel Energie mitzugeben, daß es den Panzer der Erdschwere zu durchschlagen, sich selbst und seinen Inhalt zu tragen und noch genug Triebmittel mitzuführen vermag, daß auch die Rückkehr zur Erde und die Landung auf ihr mit Sicherheit möglich ist. Beide genannten Forscher bejahen die Grundfrage.

Einig im Wesentlichen beschreiten sie bloß verschiedene Wege zur Erreichung des nämlichen Zieles.

Prof. Goddard hat seine Arbeiten zeitlich zuerst in den Berichten der Smithsonian Institution in Washington 1919 unter dem Titel »A Method of Reaching extreme altitudes« (Ein Verfahren zur Erreichung äußerster Höhen) veröffentlicht, eine Schrift, die in Amerika ungeheures Aufsehen erregt hat und dem Gelehrten bald die Mittel zuströmen ließ, die zur Durchführung seiner Versuche in großem Maßstabe nötig sind. Da bisher keine deutsche Ausgabe vorliegt, dürfte dieses Werk freilich bei uns nur in wenigen Händen sein.

Prof. Oberth dagegen hat seine Untersuchungen erst vor Jahresfrist im gleichen Verlage, in welchem auch dieses vorliegende Buch erscheint, unter dem Titel »Die Rakete zu den Planetenräumen« der Öffentlichkeit übergeben. In dem Bestreben, seine Pläne vor der wissenschaftlichen Prüfung zu rechtfertigen, hat er nicht gezögert, den ganzen ersten Teil seiner Schrift mit den Formeln der höhern Berechnungslehre zu füllen. Wenn auch der zweite und dritte Teil seines Buches gemeinverständlich genannt werden durften, so ist doch das Werk im ganzen anscheinend vielfach sogar in wesentlichen Punkten selbst von der Kritik nicht recht verstanden worden, anders wäre es nicht möglich, daß in einigen Besprechungen dem Verfasser entgegengehalten wurde, seine Raketenmaschinen könnten im luftleeren Weltenraume ihre Wirksamkeit nicht entfalten, da die Auspuffgase alsdann keinen Rückhalt mehr fänden. Erst zahlreiche Zeitungsartikel, die durch die meisten größern Blätter und Zeitschriften gelaufen sind, haben nachträglich aufklärend und anregend gewirkt, so daß heute in der Tat auch bei uns die Begeisterung für die Fahrt ins Sternenall täglich im Steigen begriffen ist.

Kein Zweifel: Der Augenblick ist da, die Stunde gekommen, in welcher wir den Vorstoß zu den Sternen mit wirklicher Aussicht auf Erfolg in Angriff nehmen dürfen. Daß der Panzer der Erdschwere sich nicht so leicht besiegt geben wird, das ist klar, und daß es viele Opfer an Zeit, Geld und vielleicht auch Menschenleben kosten wird, ihn zu durchbrechen, ist vorauszusehen. Sollen wir uns aber deswegen von unserem Vorhaben abbringen lassen? Forderten denn nicht auch die Pole der Erde, die Wüsten und Sümpfe der heißen Erdteile ihren Tribut und läßt sich denn etwa der Mount Everest so leichthin ersteigen? Und was sind doch alle Wüsten und Sümpfe und Berge und Pole der Erde gemessen an der Erreichung des Weltraums?

Wer hätte nicht schon im Banne des Vollmondzaubers in lauer Sommernacht den brennenden Wunsch in sich gefühlt, sich emporzuheben zu den Sternen und die Erde unter sich als goldenen Ball schweben zu sehen im Allraum, wie sie kleiner und kleiner wird und endlich als diamantenes Sandkorn im Kosmos verschwindet, und wer nicht das Verlangen getragen, aller Erdenschwere entrückt der Sternenwelten Wunder mit eigenen Augen nahe zu schauen? — Träume! — Und dennoch: ist nicht so manches, was unseren Vorahnen einst glitzernder Traum war, inzwischen verwirklicht?

Ein einziges Mal nur auf Stunden der Bannkraft der Erde sich zu entringen, müßte uns schon Unnennbares über tiefe Geheimnisse kosmischen Waltens erschließen; würde rechtfertigen all die Mühen und Plagen, die kühne Entdecker, Eroberer, Erfinder jemals erlitten. — Wie wohl der Weltraum sich ausnimmt, wenn man darin ist? Ob auch die Sterne dann ebenso leuchten, oder ob etwa ihr Licht, ihre Farbe uns gänzlich verfälscht wird, während ihr Strahl durch die Lufthülle dringt? Strittig ist heute noch alles. Immer noch wissen wir nicht, woraus unser Luftkreis in höheren Schichten besteht. Gar nicht zu reden vom Monde und den Planeten. Wissen wir denn, wie es oben dort aussieht? Ob sie bewohnt sind mit Wesen gleich uns oder wüste Einöden aus Eis, wer will es beweisen, solange wir sie nicht im Raumschiff erreichen.

Wie Gewürm, das im Grundschlamm des Ozeans sein Leben wühlend dahinschleppt, so kriechen wir immer noch allesamt auf der Kruste des Erdballs, und auch dem Flugzeug gelang es bisher nicht, uns nur in die reineren Höhen oberer Schichten aus dem Bodensatz des Luftmeeres emporzutragen. Soll wirklich die Erde uns jetzt noch genügen, die wir bereits des Weltenalls Herrlichkeit ahnen?

Dieses Buch will nun in gemeinverständlicher Weise einige Möglichkeiten untersuchen, aus dem Schwerebereiche der Erde herauszukommen. Um gleichzeitig denjenigen Lesern, die sich eingehender mit der Frage beschäftigen wollen, gerecht zu werden, haben wir auch die wesentlichen rechnerischen Untersuchungen in einfacher Weise mit angeführt, aber um die übrigen Leser nicht zu belästigen, in besondere, kleingedruckte Absätze zusammengezogen, die man unbeschadet für das Verständnis des Haupttextes leicht überspringen kann.

I. Der Bannkreis der Schwere.

Die meisten Verfasser der neuern Raumschiffahrts-Romane machen es ihren Helden leicht, das Schwerefeld der Erde zu überwinden. Sie lassen diese nämlich meist einfach einen neuen Stoff entdecken, der von sich aus schwerefrei ist, oder sonst ein Mittel erfinden, durch welches das Schwerefeld der Erde selbst aufgehoben werden kann.

Nun wissen wir zwar bis heute noch nicht, was das Wesen der Schwere ist und worin eigentlich ihre Kraftwirkung besteht, und es wäre immerhin denkbar, daß es schwerefreie Stoffe gibt oder sonst Möglichkeiten, die Schwerewirkung auszuschalten. Der Vergleich mit dem Elektromagneten, der seine Kraft verliert, wenn der in seinen Spulen fließende Strom unterbrochen wird, liegt sehr nahe. Aber wahrscheinlich ist es doch nicht, daß in absehbarer Zeit Versuche auf diesen Wegen zum Erfolge führen könnten, denn alle wissenschaftliche Erfahrung spricht bis zur Stunde dagegen. Es ist bisher nicht nur niemals gelungen, die Schwerewirkung einer Masse zu verändern, d. h. künstlich zu steigern oder zu verringern, sondern auch nicht einmal, sie abzuschirmen. Licht- und Wärmestrahlen, ja die viel durchdringungskräftigeren Röntgenstrahlen, die elektrischen Wellen und die Strahlungen der radioaktiven Elemente lassen sich aufhalten, wenn man ihnen geeignete Hindernisse in den Weg stellt. Einzig die »Schwerestrahlen« haben sich noch auf gar keine Weise auf ihrem Wege hemmen lassen. Selbst der Körper des Erdballs scheint von ihnen noch ohne jede Beschwerde durchsetzt zu werden. Wenigstens sind alle Versuche, bei totalen Mondfinsternissen eine Abschirmwirkung der Schwerestrahlen der Sonne durch das Dazwischentreten des Erdkörpers zwischen Sonne und Mond festzustellen, bis heute gescheitert.

Es scheint danach, daß die Schwerkraftsbetätigung der Masse kaum minder fest anhaftet als ihr Beharrungsvermögen, und wir müssen diesen Befund — so anfechtbar er vom Standpunkte des reinen Denkens aus erscheinen mag — einstweilen und solange als Erfahrungstatsache hinnehmen, bis das Gegenteil erweisbar wird. Diese Lage der Dinge ist freilich recht betrüblich und müßte uns aller Hoffnung berauben, jemals unsere Erde verlassen zu können, wenn der Vorstoß zu den Sternenräumen an die Entdeckung eines neuen, schwerelosen Stoffes oder an die Möglichkeit der Ausschaltung des Schwerefeldes der Erde geknüpft wäre. Glücklicherweise ist dies nicht der Fall. Es genügt vollkommen, um die Erdschwere in ehrlichem Ringen zu besiegen, wenn es uns gelingt, ihr eine mächtigere, von uns technisch beherrschte andere Naturkraft entgegenzusetzen. Dazu aber stehen uns sogar verschiedene Wege offen. Ob sie wirklich zu dem Ziele, uns mit Raumschiffen über den Bannkreis der Erdschwere zu erheben, führen können, das zu beurteilen ist erst möglich, wenn wir den zu überwindenden Gegner, den Panzer des Erdschwerefeldes, nach seiner Eigenart und Stärke gründlich kennengelernt und zahlenmäßig erfaßt haben, denn erst dann vermögen wir die aufzuwendenden Kraftleistungen zu ermitteln, die notwendig sind, um ihn zu durchbrechen.

Auf der Erdoberfläche, im täglichen Leben erfahren wir die Wirkung der Schwere auf eine doppelte Weise. Jeder frei bewegliche, nicht unterstützte Körper erhält durch sie einen Antrieb zum Erdmittelpunkte hin, die sog. Fallbeschleunigung, jeder durch eine Unterstützung am freien Fall verhinderte Körper übt auf seine Unterlage einen Druck aus, den wir auch sein Gewicht nennen. Wir sagen daher: auf jeden Körper an der Erdoberfläche wirkt die Schwere als eine lotrecht nach unten gerichtete Kraft. Ihre Stärke können wir entweder durch die Maßgröße des Druckes oder der Fallbeschleunigung bzw. Fallhöhe in der ersten Sekunde bestimmen. Als Einheit der Kraft gilt dabei der Schweredruck, welchen der in Sèvres bei Paris im internationalen Maß- und Gewichtsbureau aufbewahrte Platin-Iridiumblock auf seine Unterlage ausübt. Wir nennen ihn ein Kilogramm (kg) und bezeichnen ihn als das Gewicht (G) dieser Stoffmenge. Beraubten wir den Block seiner Unterstützung, so würde er an jenem Orte in der ersten Sekunde 4,903325 m tief fallen und dabei eine Endgeschwindigkeit gleich dem doppelten dieser Zahl, nämlich 9,80665 m erlangen. Diese letzte Zahl nennt man die Schwerebeschleunigung (g). Dies sind die Erfahrungen, welche wir an der Erdoberfläche selbst über unsern Gegner, die Erdschwere, sammeln können.

Eine Frage für sich ist es, wie sich die Schwerewirkung des Erdballs verhält, wenn wir uns von der Erdoberfläche nach oben,

d. h. nach außen gegen den Weltenraum entfernen. Die Erfahrung lehrt, daß sich das Gewicht jedes Körpers verringert, wenn wir ihn vom Erdboden heben. Ein 1 kg Gewicht, in die Höhenlage von 1000 m über dem Meere gebracht, zeigt dort auf einer feinen Federwage nur mehr einen Druck von 999,25 g an. Diese Gewichtsabnahme hat ihren Grund in dem Ausbreitungsgesetz der Schwere. Seit Newton wissen wir, daß die Feldstärke der Schwere um jede anziehende Masse her mit dem Quadrate der Entfernung von ihrem Mittelpunkte abnimmt.

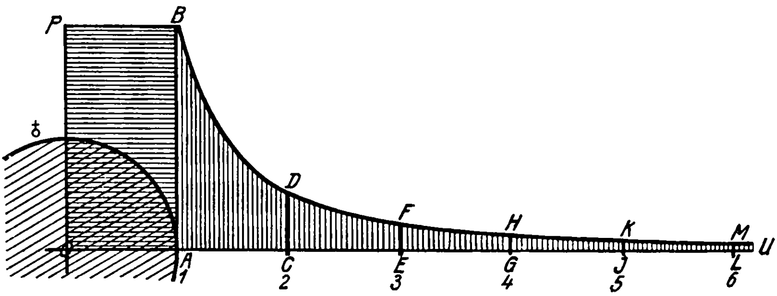


Abb. 1. Schaulinie der Erdschwere. Auf der Wagrechten ist der Abstand vom Erdmittelpunkte in Erdhalbmessern (*1, 2... 5, 6*) aufgetragen, die Höhe der Lote *AB*, *CD* oder *EF* usw. versinnlicht die Stärke der Erdschwere in der betreffenden Entfernung *OA*, *OC* oder *OE* usw. Die gesamte Kurvenfläche *ABU* ist gleich groß wie das Rechteck *ABPO*. Der Erdball ist als Kreis um den Punkt *O* mit dem Zeichen der Erde ♁ angedeutet.

Setzen wir den Halbmesser der Erde gleich 1 (in Wirklichkeit mißt er 6378 km) und die Stärke der Schwerkraft an der Erdoberfläche auch gleich 1, dann beträgt diese im Abstande 2 R (Erdradien) vom Erdmittelpunkte $^1/_4$, im Abstande 3 R nur noch $^1/_9$, in der Entfernung 4 R bloß $^1/_{16}$, für 5 R dann $^1/_{25}$ usw. für 10 R endlich $^1/_{100}$; für 1 Million Erdhalbmesser ein Billionstel, für eine Milliarde ein Trillionstel usf. Wäre Newtons Formel im Weltraum genau erfüllt, so würde die Schwerewirkung einer Masse überhaupt niemals Null und ihre Reichweite wäre unendlich. Man dürfte dann von einer eigentlichen Grenze des Schwerefeldes um die Körper nicht sprechen.

Es ist noch nicht lange her, daß man allgemein geglaubt hat, alle Gestirne des Himmels, auch die entlegensten, wären einander durch die Schwere verbunden. Heute neigt man im Gegenteil vielfach zu der Ansicht, daß die Schwere der Sonne nicht einmal bis zu Alpha Centauri, unserm Nachbarn im Sternreich, langen mag. Doch ist außer Zweifel, daß innerhalb des Sonnenstaates Newtons Formel mit solcher Schärfe erfüllt ist, daß wir uns für alle Zwecke der Raumschiffahrt im Planetenreich mit vollkommener Sicherheit auf sie verlassen dürfen. Hier also durchdringen sich wirklich die Schwerbereiche der einzelnen Körper, und es gibt keinen tatsächlich schwerefreien Raum. Wenn wir daher im folgenden vom Schwerebereiche der Erde, des Mondes usf. sprechen, so meinen wir damit nicht einen bestimmt abgegrenzten Raum, der das Wirkungsfeld der Erdanziehung wie eine Seifenblase in sich schließt, sondern als Schweregrenze der Erdkraft sehen wir jeweils jene Scheidelinie an, hinter welcher die Schwerkraft eines andern Gestirns zu überwiegen beginnt. Sie liegt verschieden, je nachdem, welchen Körper wir grade betrachten, anders zwischen Erde und Mond, Erde und Mars, Erde und Sonne.

Es ist unbedingt notwendig, daß wir hierin vollkommen klar sehen, wenn wir Raumschiffahrt treiben wollen. Denn es wäre eine Tollheit, den Vorstoß in die Himmelsräume zu wagen, ohne uns vorher durch unantastbare Berechnungen der Bahn versichert zu haben, die unser Raumschiff beschreiben wird, und der Möglichkeiten, es durch diese sich gegenseitig übergreifenden Schwerefelder zu steuern. Es wäre doch verhängnisvoll, wenn wir unversehens der übermächtigen Anziehung eines Himmelsgestirns verfallen könnten, so daß dieses durch seine Störkraft uns in den glutigen Schoß der Sonne schleudert. Furchtbarer Gedanke! — mit brennenden Augen zu erkennen, wie die flammende Scheibe des Tagesgestirns sich von Stunde zu Stunde vergrößert und endlich, zum lodernden Meere erweitert, den Himmelsraum einnimmt. Überall Sonne, ringsum Gluten, in die wir, rettungslos, ohne Macht uns zu helfen, immer tiefer einschießen bis endlich unsre in glühende Gase zerlösten Gebeine sich mit den Glutdämpfen des schmelzenden Raumschiffs und dem feurigen Odem der Sonne vermischen.

Die anschaulichste Vorstellung vom Schwerefelde um einen Körper und vom Sichdurchdringen der Felder verschiedener Gestirne bietet die Schwerekurve uns dar (vgl. Abb. 1).

Man erhält sie, wenn man im »Achsenkreuz« die Entfernungen wagrecht, die Kraftwerte lotrecht aufträgt und die Enden verbindet (vgl. Abb. 1). Zweckmäßig setzt man dabei den Erdhalbmesser und die Stärke der Schwere an der Erdoberfläche gleich 1 an, weil man dann im Vergleich mit andern Gestirnen die beste Übersicht hat.

Newtons Lehre gestattet nämlich sofort auch für andere Körper die Schaulinie ihrer Schwere zu zeichnen, wenn nur ihr Durchmesser und ihre Masse (im Vergleiche zur Erde) bekannt sind. So ergibt sich für den Mond die Kurve sogleich, wenn wir nur alle Lote der Erdschwerelinie 81mal kürzen, denn sovielmal ist seine Masse geringer. Freilich ist auch sein Halbmesser kleiner, seine Oberfläche steht also dem Mondmittelpunkt näher. Die Schwere auf ihr ergibt sich infolgedessen nicht zu $^1/_{81}$, sondern zu $^1/_6$ von der auf der Erde. Mit ihr wird natürlich auch das Gewicht, der Fallraum und die Beschleunigung sechsmal so klein wie auf unserem Heimatstern. Nicht ändert sich aber die Masse der Körper. Ein Schinken, auf den Mond mitgenommen, sättigt dort uns nicht weniger als hier auf der Erde, wenn er auch nur

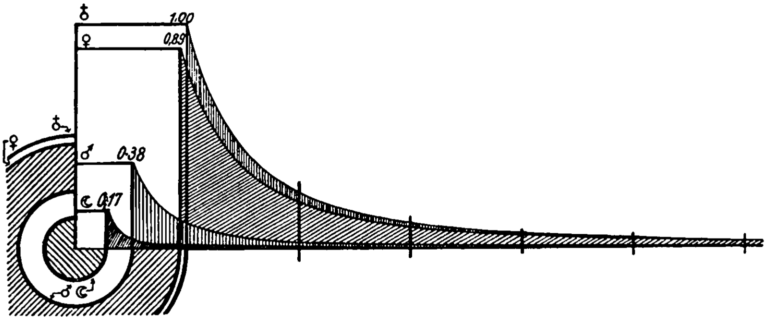


Abb. 2. Schaulinien der Schwerewirkung der Himmelskörper Erde (♁), Venus (♀), Mars (♂) und Mond (☾) im Maßstabe der Abb. 1 zum Vergleiche einander gegenübergestellt und in dasselbe Achsenkreuz eingezeichnet. Erddurchmesser und Schwere an der Erdoberfläche sind im Maßstabe gleich 1,00 angesetzt.

mehr ein Sechstel Gewicht zeigt. Ein Athlet aber wird auf dem Monde die sechsfache Masse zu stemmen vermögen, denn für seine Muskelkraft kommt es nicht auf diese, sondern nur auf das Gewicht an.

Es ist durchaus zu empfehlen, sich auch für Venus und Mars, als die Gestirne, deren Erreichung durch Raumschiffe vielleicht nächst dem Monde am ehesten möglich ist, die Schwerkurven zu zeichnen. Die von diesen, den wagrechten Achsen und dem im Oberflächenpunkte des betreffenden Sterns errichteten Lote eingeschlossene *Fläche ist nämlich das Maß für die Schwermacht des Gestirns*. Sie ist flächengleich dem Rechteck, das jenes Lot zur Höhe und den Halbmesser des Sterns zur Grundlinie hat und bedeutet unmittelbar die Leistung, welche aufgewendet werden muß, um den Panzer des Schwerkreises zu durchschlagen. Das ist's aber gerade, auf was es ankommt (vgl. Abb. 2).

Wir nennen die *Arbeit*, welche erforderlich ist, um 1 kg-Gewicht 1 m zu heben ein *Meterkilogramm*. Nähme die Schwerkraft nach oben nicht ab, so wäre die Arbeit, es 1000 m zu heben, gleich 1000 mkg. In Wahrheit ist sie geringer, weil eben die Schwere nach dem Newtongesetz abnimmt. Fragen wir nun, welche Arbeit erforderlich ist, um 1 kg Gewicht bis über die Grenze der Schwere des Erdballs zu heben, so sagt uns die Maßzahl der Fläche die Antwort: diese Arbeit ist gleich jener, ein 1 kg Stück im ungeschwächten Schwerefeld einen Erdhalbmesser hoch zu heben, also gleich 6,378 Millionen mkg.

Gilt der Erdhalbmesser und die Schwere an der Erdoberfläche gleich 1, dann ist sie 1. Für jedes andere Gestirn finden wir sie dann sofort durch Einsetzen der Verhältniswerte. Für den Mond z.B., dessen Halbmesser nur $^2/_7$, dessen Oberflächenschwere $^1/_6$ beträgt, $^2/_7 \times {}^1/_6 = {}^2/_{42} = {}^1/_{21}$. Für Jupiter hätten wir $11{,}19 \times 2{,}54 = 28{,}4$. Das bedeutet: Es ist 21 mal leichter, den Panzer der Mondschwere zu durchschlagen als den unserer Erde, aber 28½ mal schwerer, die furchtbare Schweremacht des Himmelsriesen Jupiter zu überwinden. Vom Monde ist also die Rückkehr zur Erde im Verhältnis zum Aufstieg vielmals leichter. Vor Jupiter aber müssen die Raumschiffe sich hüten, sollen sie seiner Bannkraft nicht für immer verfallen. Für das Schwerfeld der Sonne berechnet sich ähnlich die schreckbare Ziffer 3050. Indessen kreist ja glücklicherweise die Erde 149½ Millionen km hoch über dem Sonnenball, so daß dessen Schwerefeld im Raum um die Erde nur mehr winzig geringe Stärke besitzt. (Fallbeschleunigung zur Sonne 5,9 mm, Stein zur Erde 9810 mm!)

Es ist uns noch übrig, das Sichübergreifen verschiedener Schwerefelder und seine Folgen an einem Beispiele klar zu erläutern. Am besten eignen sich dazu zwei Himmelskörper, deren Massen nicht zu verschieden und deren Entfernungen voneinander nicht zu groß sind; denn sonst ist es unmöglich, ihre Schwerekurven vollständig und maßstäblich richtig auf ein Blatt Papier zu bringen. Wollten wir da etwa Erde und Mond als Beispiel nehmen, so müßte das Papierblatt mindestens 1 m breit und 10 m hoch sein. Wir denken uns daher ein Körperpaar derart, daß sich die Durchmesser verhalten, wie 1:2, die Massen (bei gleicher Dichte) danach wie 1:8. Der Abstand soll 5 Halbmesser des größern Körpers (gleich 10 des kleinern) betragen. Dann erhalten wir ein Bild, das sich sehr schön überblicken läßt (vgl. Abb. 3). Aus dem früher Gesagten ergibt sich, daß die Oberflächenschweren (im Bilde die Lote an den Sterndurchmessern) verhalten wie 2:1, d. h. auf dem Boden des größern Körpers wiegt eine Masse doppelt so viel wie auf dem kleinern. Weiter folgt, daß die von den Schwerekurven gebildeten Flächen sich verhalten wie 1:4, denn bei halber Oberflächenschwere hat der kleinere Körper auch nur halben Durchmesser und $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. Es ist also vom kleinern Körper viermal leichter loszukommen als vom großen, schon wenn man jeden von beiden zunächst für sich allein betrachtet. In Wahrheit ist es noch viel leichter, weil sich eben — was wir jetzt erklären wollen — die Schwerefelder gegenseitig übergreifen und teilweise aufheben.

Wie man sieht, schneiden sich beide Schwerekurven in einem Punkte *Q*. Fällen wir von ihm das Lot herab auf die Wagrechte, welche die Mittelpunkte der beiden Gestirne miteinander verbindet, so erhalten wir den Punkt *S*. Es ist der sog. »schwere-

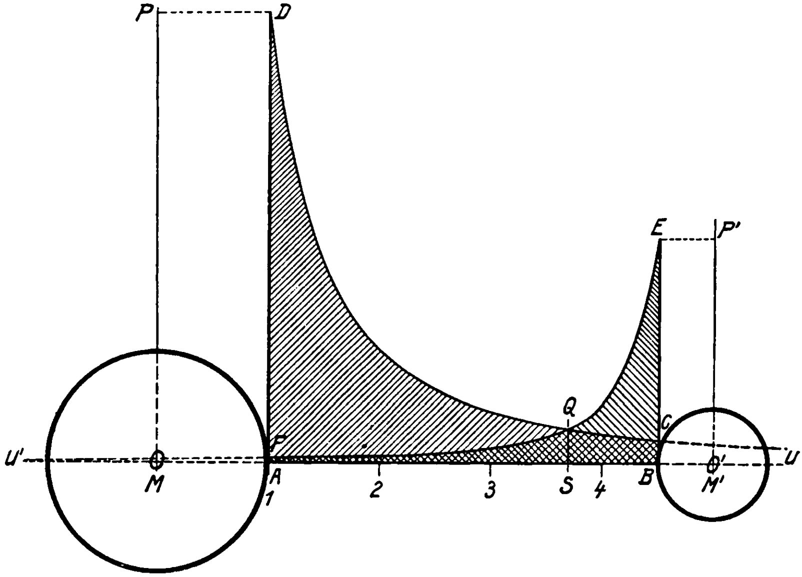


Abb. 3. Das Sichübergreifen der Schwerefelder zweier Gestirne *M* und *M'*, deren Masse sich verhält wie 8 : 1 und deren Abstand 5 Halbmesser des größeren Körpers beträgt. (Nähere Erklärung der Buchstaben siehe nebenstehenden Buchtext.)

freie Punkt« was nun ohne weiteres einleuchtet. Daß die Kurven sich im Punkte *Q* schneiden, bedeutet nämlich, daß dort ihre Lote gleich hoch, die Kräfte also gleich stark sind. Da sie außerdem entgegengesetzt gerichtet sind — denn jeder Stern zieht zu seinem Mittelpunkte hin, — so heben sich die beiden gleich starken aber entgegengesetzt wirkenden Schwerekräfte auf oder halten sich, wie man auch sagen kann, das Gleichgewicht. Irgend eine Masse, etwa ein Raumschiff, an diesen Punkt gebracht, unterliegt keiner Anziehung mehr, weder zum einen noch zum andern Gestirn hin.

Nun darf man nicht denken, daß sich die Schwerkräfte zweier Gestirne nur in diesem Punkte messen. Sie tun es vielmehr auf der ganzen Strecke von einem Stern zum andern hin, nur überwiegt stets die Anziehung des einen oder andern Körpers, und zwar desjenigen, dessen Schwerekurve an jener Stelle höher liegt. Um die wahre Anziehung zu finden, welcher eine Masse unterliegt, die sich an einer beliebigen Stelle der Verbindungslinie der Mittelpunkte beider Gestirne (M und M') befindet, müssen wir immer die dort herrschende Stärke beider Schwerekräfte voneinander in Abzug bringen.

Bezeichnen wir den »unendlich fernen Punkt«, in welchem die streng-Newtonsche Schwerewirkung erst Null würde mit U für den Hauptstern, mit U' für den kleineren Körper, dann wäre die Reichweite der Schwerkräfte eigentlich MU bzw. $M'U'$ rings um beide Körper her, d. i. unendlich. Für die Zwecke der Raumschiffahrt dagegen bezeichnen wir zweckmäßig als »Grenze des Schwerefeldes« irgendeines Körpers jene Scheidelinie, jenseits welcher das Schwerefeld eines andern Gestirns zu überwiegen beginnt. In unserem Beispiele ist danach die Strecke AS der Schwerbereich des Hauptkörpers, die Strecke BS der des kleinern Gestirns, wenn wir die Verhältnisse auf der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte allein betrachten.

Wenn ein Raumschiff vom großen Stern auf den kleinen fahren soll, so braucht es also nicht das volle theoretische Schwerefeld ADU zu überwinden, auch nicht einmal bis zur Erreichung der Oberfläche des kleinen Gestirns mit der Schweremacht des Hauptsterns zu kämpfen, sondern nur bis hinauf zum Punkte S, hinter welchem es von selbst dem Ziele entgegenfällt. Es braucht also nicht die Arbeit zu leisten, deren Sinnbild die Fläche ADU ist, auch nicht die, welche der Fläche $ABCD$ entspricht, sondern einzig und allein die Leistung muß aufgebracht werden, welche der Fläche FQD zugehört. Das ganze Flächenstück $ABCQF$, welches beiden Schwerekurven gemeinsam ist, fällt weg, da sich beide hier gegenseitig aufheben. Dasselbe gilt für die Rückfahrt, so daß auch hier nicht BEU' oder $BEAF$ zu leisten ist, sondern nur CQE, ein Flächenzipfel, der in unserm Beispielsfalle nur rund die Hälfte des Flächeninhaltes von BEU' ausmacht. Wir erkennen jetzt, daß für den Arbeitsaufwand, der zur Reise zwischen zwei einander sehr nahe stehenden Himmelskörpern notwendig ist, nicht einfach das Verhältnis ihrer gegenseitigen Schweremacht ($ADU{:}BEU'$), sondern nur das der abzüglich der gegenseitigen Feldaufhebung noch verbleibenden geschwächten Felder ($FQD{:}CQE$) maßgebend ist.

Hier gilt gewissermaßen das Sprichwort: Wenn zwei sich streiten freut sich der Dritte! — Weil beide Gestirne einen Teil ihrer Schweremacht verbrauchen, um sich gegenseitig festzuhalten, darum braucht das zwischen ihnen verkehrende Raumschiff um ebensoviel weniger Kraft aufzuwenden, als beide Himmelsgestirne solcherart verschwenden.

Wenn beide Sterne weit voneinander entfernt sind, nähert sich das Verhältnis der geschwächten Felder selbstverständlich dem der ungeschwächten, denn dann sinkt das gemeinsame Flächenstück ($ABCQF$) zum verschwindenden Bruchteile der verbleibenden Flächen (FQD und CQE) herab. Für das Sternpaar Erde-Mond macht die Erleichterung ($ABCQF$) nur 0,00362 vom vollen Erdschwerefeld aus, für die Rückfahrt vom Monde 0,07604 vom vollen Mondschwerefeld.

Sind beide Himmelskörper einander sehr nahe, oder ist der eine von ihnen recht klein, dann ist der Fall denkbar, daß der schwerefreie Punkt ganz nahe an die Oberfläche des kleinern Körpers heranrückt oder sie sogar erreicht. Dies würde zu der eigentümlichen Erscheinung für die Bewohner des kleinen Körpers führen, daß jedermann, der sich bis an den »kritischen« Punkt vorwagt, eine unfreiwillige Himmelfahrt erlebt und vom Boden seines heimatlichen Gestirns weg, scheinbar nach oben emporschwebend, in Wahrheit gegen den großen Stern abstürzt. Es ist möglich, daß solche Zustände auf dem innern Marsmond Phobos und auch auf dem fünften Jupitersmond bereits eingetreten sind. Wenn diese Körper heute noch immer zusammenhalten, dann verdanken sie dies nur dem innern Halt (der Kohäsion) der sie zusammensetzenden Stoffe, nicht deren Schwerewirkung (Gravitation). Würde unser Mond der Erde etwa auf 2 Erdhalbmesser genähert, so müßten auf seiner uns zugewandten Oberfläche ähnliche Erscheinungen eintreten. Es ist denkbar und wird von manchen Forschern angenommen, daß die Erde vor vielen Jahrzehntausenden einen solchen Mond gehabt hat, der vermutlich erheblich kleiner als der gegenwärtige gewesen ist. Seine Auflösung mußte beginnen, als die vorwitzige Spitze seines schon vorher hühnereiförmig gestreckten und zur Erde hin verlängerten Körpers über den schwerefreien Punkt hereinzurücken begann. Zunächst flog alles von ihr los, was locker auf dem Mondboden lag, später folgten durch die immer mehr die Übermacht gewinnende Erdkraft, auch die Hügel und die Berge. Und nun gabs kein Halten mehr. Allmählich zog die alles zermalmende Kraft der Erdschwere dem sich vergebens gegen seine Auflösung wehrenden Gestirn gewissermaßen die Haut über den Kopf, bis schließlich in Milliarden Trümmer zerlöst der ehemalige Trabant als ein zierlicher Doppelring mit schwarzer Teilung inmitten die Erde umkreiste, bis auch dieser sich spiralig verengernd sich mit der Erde vereinigte. Nichts anderes ist auch der heutige Saturnsring, den wir im Fernrohre als eines der herrlichsten Himmelswunder bestaunen[1]).

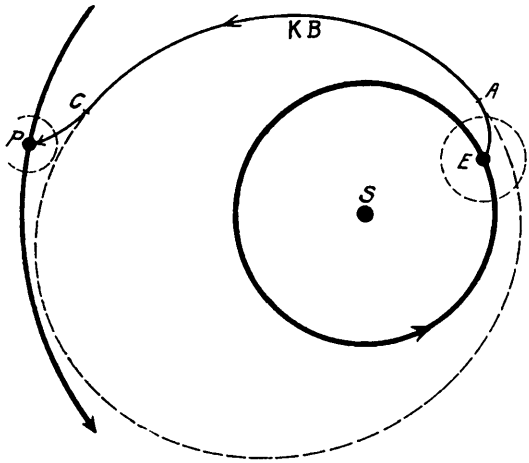


Abb. 4. Reiseweg von der Erde zu einem andern Planeten. *EA* Aufstieg von der Erdoberfläche. *AC* freie Fahrt in der Keplerschen Bahn *KB*, endlich *CP* Abstieg und Landung auf dem Planeten *P*.

Wir überblicken nun die Verhältnisse, wenn wir es nur mit zwei Körpern zu tun haben, in deren Schwerefeldern die Reise gehen soll. In Wahrheit liegt dieser einfache Fall nirgends wirklich streng vor. Immer wird der Weg des Raumschiffes auch durch die Anziehung aller anderen Körper des Sonnenreiches beeinflußt. Die Aufgabe, seine Bahn schon von der Erde aus rein rechnerisch vollkommen genau abzuleiten, ist daher eine sehr schwie-

[1]) Wer sich näher über diese Fragen unterrichten will, der sei auf die Werke: Edgar Dacqué: »Urwelt, Sage und Menschheit«, R. Oldenbourgs Verlag, München 1924, weiter auf M. Valier: »Der Sterne Bahn und Wesen« sowie auf H. Fischers »Weltwenden«, diese beiden im Verlage R. Voigtländer, Leipzig, erschienen, endlich auch auf M. Valier »Weltende«, Verlag Natur und Kultur, München, sowie auf Dr. ing. e. h. H. Voigt »Eis ein Weltbaustoff«, Verlag Herm. Paetel, Berlin, Neufinkenkrug, verwiesen.

rige, und sie würde geradezu unlösbar sein, wenn nicht die Himmelskörper glücklicherweise so sehr weit voneinander entfernt wären, daß man ihre besonderen Einwirkungen im allgemeinen nur als geringfügige Störung in Rechnung stellen darf.

Übrigens muß das bemannte Raumschiff ohnehin so eingerichtet sein, daß es willkürlich steuern kann, wenn es die Fahrt von der Erde zu andern Sternen wagen will. In diesem Falle aber ist der Kapitän in der Lage, jederzeit die kleinen Störungen der verschiedenen Himmelskörper durch entsprechende Maßnahmen aufzuheben und — gleich dem Führer eines Luftschiffs, das vom Sturme abgetrieben zu werden droht — dennoch sein Ziel zu erreichen.

Abgesehen von der Reise von der Erde zum Mond, die sich gewissermaßen nur in den Schwerefeldern dieser beiden Körper abspielt, wird jede Fahrt im Sonnenreiche, deren Ziel ein anderer Wandelstern ist, sich aus drei Abschnitten zusammensetzen: dem Aufstieg von der Erde, der freien Kepler'schen Bahn im Schwerefelde der Sonne und der Landung auf dem betreffenden Planeten. Sache des Kapitäns wird es dabei vor allem sein, das Raumschiff glücklich in die vorher berechnete Kepler'sche Ellipse hineinzubringen (vgl. Abb. 4), die bei geringstem Brennstoffverbrauch auf dem raschesten Wege zu dem zu erreichenden Planeten hinführt. Ein streng geradliniges Zuhalten auf das Ziel ist nämlich im Weltenraum kaum je möglich. Technisch am schwierigsten wird naturgemäß immer die Landung auf den Gestirnen sein. Wir werden später noch mehr von diesen Dingen zu hören bekommen.

II. Unsere Kampfmittel.

Wir kennen nun unsern Feind und wissen, daß für jedes Kilogramm Gewicht, das den Panzer der Erdschwere durchschlagen soll, eine Arbeit von 6,378 Millionen mkg aufgewendet werden muß; dabei sind noch die Verluste durch Luftwiderstand usf. nicht eingerechnet. Es ist dies eine furchtbare Zahl, zu denken, daß jedes Kilogramm Gewicht uns eine Leistung kostet, die gleich ist der Arbeit, rund $6^1/_2$ Millionen kg einen Meter hoch vom Erdboden zu heben! Und doch ließe sich die Sache schon machen und wäre mehr eine Frage des Kostenpunkts bloß, wenn wir nur am schwerefreien Punkte zwischen Erde und Mond einen Haken anhängen könnten, daran eine Rolle ist, über die ein Seil läuft. Dann brauchten wir bloß an der einen Seite die Last aufzuhängen und an der andern zu ziehen (natürlich durch starke Motoren). Dies ist nämlich das Verfahren, nach dem wir auf der Erde selbst in unseren technischen Betrieben das Schwerefeld der Erde zu überwinden pflegen. Mit solchen Fördermaschinen ziehen wir die Kohle in den Schächten der Bergwerke empor, heben wir die Ziegel und Steine beim Hausbau zumeist. Keinem Menschen wird es einfallen, die Kohlen aus dem Bergwerkgrunde irgendwie heraufzuschleudern. Dagegen kann man bei kleineren Bauten noch heute oft sehen, wie die Maurer die Ziegelsteine einander von Stock zu Stock frei zuwerfen und so einen Aufzug überflüssig machen. Dieses Verfahren stellt die zweite Möglichkeit dar, das Schwerefeld der Erde zu überwinden.

Im ersten Falle wirken wir durch einen Zug nach oben, dem Gewichte der Last, d.h. ihrem Schweredruck gegen die Unterlage entgegen und überwinden diesen durch Aufwendung einer etwas größeren, nach oben gerichteten Kraft, denn die Last bleibt während ihres ganzen Weges, technisch gesprochen, unterstützt; sie ist ja aufgehängt, kann also niemals frei der Schwerebeschleunigung folgen. Im zweiten Falle wirken wir durch den Wurf, das heißt die Erteilung eines Antriebs nach oben der Erdbeschleunigung entgegen.

Wie das Beispiel von den Ziegelsteinen beim Hausbau beweist, haben wir auf der Erde die Wahl zwischen beiden Wegen, und wir schlagen den ein, der uns im gegebenen Falle besser geeignet erscheint. Rein mechanisch sind sich beide gleichwertig. Der Arbeitsaufwand, der erforderlich ist, um einen Stein um eine gewisse Zahl Meter zu heben, bleibt sich gleich, ob wir ihn auf welche Weise immer emporziehen oder frei emporwerfen. Dabei gilt für den Wurf der Staz, daß die Geschwindigkeit, welche wir ihm erteilen müssen, damit er die gewisse Höhe erreicht, gleichgroß ist wie diejenige, welche er infolge der Erdschwere erhält, wenn er dieselbe Strecke von oben herabfällt. Da dieser Satz ganz allgemein gültig ist, so dürfen wir ihn auch in unserem Falle anwenden, wenn es gilt, ein Geschoß oder Raumschiff von der Erde aus in den Weltenraum zu schleudern, denn es ist klar, daß uns hier nur das Verfahren des Wurfes übrigbleibt, da es leider keine Himmelsleitern gibt, auf denen wir die Last emportragen könnten und sich am schwerefreien Punkte der berühmte Haken mit der Rolle nicht anhängen läßt.

Die Frage ist also: welche Geschwindigkeit erlangt ein Körper, der aus dem Weltall in freiem Fall zur Erde herabstürzt. Es mag dem Laien schwierig scheinen sie zu lösen, in Wahrheit gibt uns aber darüber eine Rechnung Aufschluß, die überraschend einfach ist.

Es zeigt sich, daß ein freifallender Körper niemals eine Geschwindigkeit von mehr als 11182 m/sec annehmen kann, von wie hoch er auch immer auf die Erde stürzen mag. Umgekehrt genügt diese Geschwindigkeit auch, ihn unendlich hoch hinaufzutreiben, mit andern Worten, in aus dem Anziehungsbereich der Erde herauszuschleudern. Interessant ist dabei, daß die Geschwindigkeit eines Körpers, der mit 11182 m/sec von der Erde abgeschleudert wird, an allen Punkten seiner Bahn so groß ist, wie die Zahl, die man bekommt, wenn man aus dem Produkte seines Abstandes vom Erdmittelpunkt mit der doppelten Stärke der Schwere an seinem Orte, die Quadratwurzel zieht. (Für andere Himmelskörper gilt genau dasselbe in entsprechender Weise.)

Man nennt diese Geschwindigkeit die »parabolische« Geschwindigkeit, denn wenn wir sie irgendwo einem Körper erteilen, dann bewegt er sich auf einer Parabel, in deren Brennpunkt der anziehende Körper steht.

Wie dem Leser erinnerlich, gehört eine Arbeit dazu, um einem Körper eine Geschwindigkeit zu erteilen. Die Arbeit zur Erzielung der parabolischen Geschwindigkeit ist nun genau so groß, wie die

Arbeit, welche nötig wäre, um den Körper von dem betreffenden Punkt aus dem Schwerefelde der ihn anziehenden Masse herauszuheben. Am Erdboden ist sie also gleich 6,378 Millionen mkg für das Kilogramm.

Wir erkennen jetzt, daß die Aufgabe, ein Geschoß, ein Raumschiff oder eine sonst wie immer gebaute Maschine aus dem Erdschwerefelde hinauszubringen, im wesentlichen darauf hinausläuft, ihr eine Geschwindigkeit zu erteilen, die größer ist als die gefundene Zahl 11182 m/sec, und zwar um mindestens soviel, daß auch noch der Luftwiderstand, einschließlich der sonstigen Verluste, überwunden werden kann.

Gelingt es, solche Geschwindigkeiten zu erzielen, dann ist die Erreichung des Sternenraumes grundsätzlich möglich, gelingt es nicht, dann sind alle guten Ratschläge vergebens.

Es gilt also Umschau zu halten nach den technischen Möglichkeiten, solch hohe Geschwindigkeiten zu erzeugen. Wir wollen dabei drei Verfahren unterscheiden, einen Körper zu beschleunigen, nämlich den Wurf, den Schuß und das Rückstoßprinzip.

Wurfmaschinen.

Es ist immer gut, alle Möglichkeiten zu betrachten und nicht eine deswegen auszulassen, weil sie vielleicht auf den ersten Blick gar zu einfältig scheint. Wir hoffen, daß der Leser uns nicht für so naiv halten wird, daß wir glauben, einen Stein mit der Hand nach dem Monde werfen zu können. Doch immerhin — man lache nicht zu früh — tatsächlich würde die Kraft eines menschlichen Arms hinreichen, um einen Stein vom Marsmond Phobos wegzuschleudern, so daß er niemals wieder auf diesen fällt, sondern zum Mars fliegt. Nehmen wir des Phobos Durchmesser zu 12,75 km an (was stimmen dürfte), seine Dichte gleich der unseres Erdballs (was sicher eher zu groß als zu klein ist), dann ist er gerade 1000mal im Durchmesser kleiner als der Erdball, darum auch die Oberflächenschwere auf ihm 1000mal kleiner und, wie die Berechnung zeigt, auch die parabolische

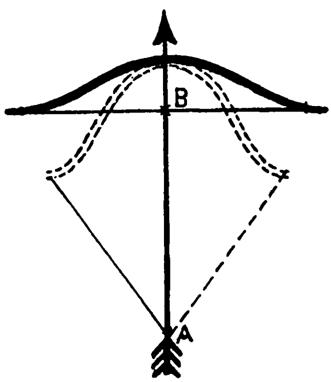


Abb. 5. Einfacher Bogen.

Geschwindigkeit 1000mal geringer. Wird auf ihm ein Stein so geworfen, daß er mit der Geschwindigkeit von 12 m in der Sekunde die schleudernde Hand verläßt, so genügt dies, um ihn in den Raum zu entführen. Ist die Dichte des Phobos viermal geringer als die der Erde, was wahrscheinlich zutrifft, so ist die Geschwindigkeit nochmals um die Hälfte kleiner. Ein Fußballklub, der den Marsbewohnern auf Phobos ein Wettspiel liefern wollte, müßte vorsichtig sein, daß der Ball nicht allemal im Weltraum verschwindet. Übrigens würden die Torschützen dort ihre liebe Not haben, weil der Ball, sobald er einmal einen stärkeren Tritt kriegt, um den ganzen Mond herumsausen würde, bis er endlich wieder herniederkommt. Nicht anders erginge es den Spielern selber. Beim geringsten Sprung würden sie allemal kilometerhoch über den Boden des Mondes emporschießen und stundenlang brauchen, bis sie wieder sachte wie Schneeflocken zu ihm zurücksänken.

Also nicht wir sind zu schwach, sondern die Erde ist bloß zu stark für uns. Das scheinen auch die Kriegsleute des Altertums erkannt zu haben, denn sie versuchten schon die Wurfkraft des menschlichen Arms durch die »Schleuder« zu erhöhen. Der biblische David muß dem Goliath den berühmten Kieselstein mit einer ziemlichen Anzahl von Metersekunden ins Antlitz geschleudert haben. Daher auch die Wirkung: $^1/_2 mv^2$; die Formel ist unerbittlich! Als diese einfache Art des Schleuderns nicht mehr genügte, bei welcher man nur den Radius des Schwungkreises des menschlichen Arms künstlich vergrößerte, kam man auf den Gedanken, die Elastizität gewisser Stoffe als Energiespeicher (wie wir heute sagen würden) auszunützen. So erfand man den Bogen, der es nicht nur gestattete, unförmliche Steine, sondern verkleinerte Lanzen, die sog. Pfeile zu schleudern. Spannt der Schütze den Bogen, so speichert er damit die aufgewendete Kraft seiner Armmuskeln in Gestalt einer elastischen Spannung im Baustoff des Bogens (nicht in der Sehne!) auf. Umgekehrt wird bei der heute von unsern Jungens viel benützten Gummischlauchschleuder die Elastizität des Gummizugs, also gewissermaßen der Sehne als Speicher benützt, während die Gabel starr ist.

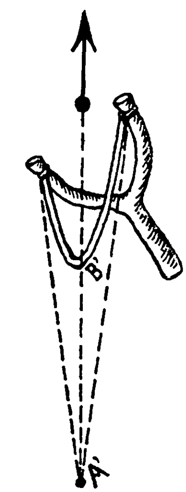


Abb. 6. Gummizugschleuder.

Ihre gewaltigste Ausbildung fanden diese beiden Wurfverfahren in den spätantiken und mittelalterlichen Ballisten und

Katapulten, manchmal ganz ungeheuren Maschinen, die beträchtliche Massen ziemlich weit warfen, ihnen also immerhin erhebliche Anfangsgeschwindigkeiten erteilt haben müssen. Wahrscheinlich war in der Übergangszeit der Unterschied in der Leistung der besten Wurfmaschinen dieser Art und der ersten schlechten Pulvermörser gar nicht so groß.

Das Prinzip des Ballisten beruht auf dem ungleicharmigen Hebel. Am kurzen Arm wird eine sehr schwere Last aufgehängt, am Ende des langen Arms aber die verhältnismäßig leichte, zu schleudernde Masse. Das Verhältnis der Massen und Hebelarme darf natürlich nicht so sein, daß nahezu Gleichgewicht herrscht (was der Fall wäre, wenn sich Last und Geschoß umgekehrt verhalten wie die Hebelarme), sondern es muß die Last am kurzen Arm möglichst viele Male überwiegen. Läßt man dann den langen Hebelarm mit dem Geschoß, der zuerst niedergebunden war, plötzlich los, so schnellt der lange Arm rasch empor, weil die Erdschwere die große Last herniederzieht.

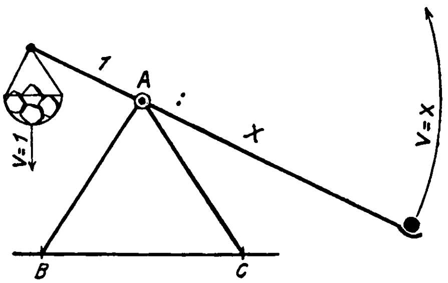


Abb. 7. Schema der Wurfmaschine.

Theoretisch ist kein Hindernis, eine solche Maschine zu berechnen, die dem Geschoß die Geschwindigkeit von 12000 m in der Sekunde erteilt, nur würde der lange Hebelarm voraussichtlich mehrere 100 m lang ausfallen und die erforderliche Last am kurzen Arm so ungeheuer werden, daß natürlich an eine technische Ausführbarkeit nicht zu denken ist. Wollte man doch eine solche Maschine bauen, würde man die Last lieber durch gewaltige Spiralfedern oder Gummizüge ersetzen.

Das Prinzip des Katapulten ist wieder das gleiche wie beim Bogen. Er ist nur eine ins gigantische übertragene Armbrust, ein Bogen, dessen Sehne durch einen Flaschenzug oder eine Schraube gespannt wird. Auch hier liegt kein Hindernis vor, einen Bogen von solcher Größe zu berechnen, daß seine Elastizität imstande ist, mehrere Milliarden Meterkilogramm Arbeit, die beim Spannen des Bogens geleistet werden muß, aufzuspeichern, um sie, wenn die Sehne abschnellt, einem torpedoförmigen »Raumschiff« mitzuteilen, so daß es mit 12000 m/sec Geschwindigkeit fortfliegt. Die Schwierigkeit liegt wieder nur in der Ausführung.

Ebenso kann man sich auch eine Gummizugschleuder von entsprechend gewaltigen Ausmaßen denken. Wer wüßte nicht,

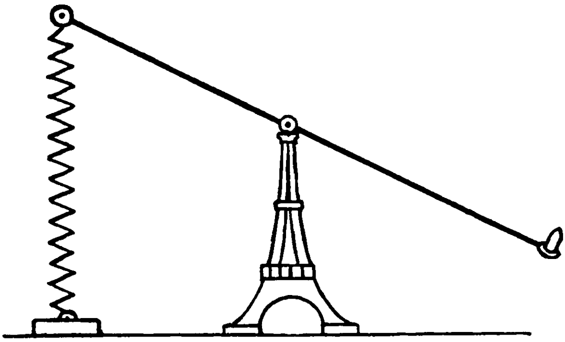


Abb. 8. Gigantischer Ballist.

mit welch großer Geschwindigkeit schon dünne, bis zum Zerreißen gespannte Gummischnürchen zusammenflitzen? Solche Gummizüge auf einer entsprechend langen Rutschbahn bis zum Zerreißen gespannt (d. i. ungefähr aufs 25fache ihrer normalen Länge) würden dem »Raumschiff« sicherlich auch eine gewaltige Geschwindigkeit zu erteilen vermögen, vielleicht die 12000 m/sec, wenn man die Masse des Schiffs zur Länge und den Querschnitten der Schnüre nur richtig bemißt.

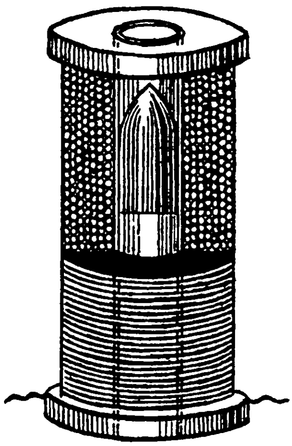


Abb. 9.
Schnitt durch ein Solenoid.

An solche plumpen Riesenmaschinen, mittelalterlichen Gepräges, deren Ausführbarkeit sehr bezweifelt werden muß, schließt sich nun seltsamerweise ein ganz »moderner« Gedanke unmittelbar an: das elektrische Solenoid-Geschütz. Solenoid nennt man bekanntlich eine elektrische Spule, die aus vielen Tausenden Metern Draht bestehen kann, und die innerlich hohl ist. Sie stellt so gewissermaßen ein Art Kanonenrohr dar. Bringt man nun in ihr Inneres einen Stöpsel aus Eisen, derart, daß er in der Hohlröhre sich eben noch leicht bewegen kann und schaltet man in geeigneter Weise plötzlich den Strom ein, so wird dieser Stöpsel mit auffallend großer Geschwindigkeit aus dem Rohre getrieben und fliegt wie ein Geschoß weiter. Wir glauben nicht, daß es richtig wäre, diese Solenoide mit Pulvergeschützen zu vergleichen, sondern es ist der Sache angemessener, sie mit der alten Katapulte bzw. der soeben besprochenen Gummischnurzug-Maschine zu vergleichen. Denn sie ist nichts anderes als diese, nur daß an Stelle der Gummischnüre die Kraftlinien des elektrischen Feldes sozusagen dasjenige sind, was elastisch

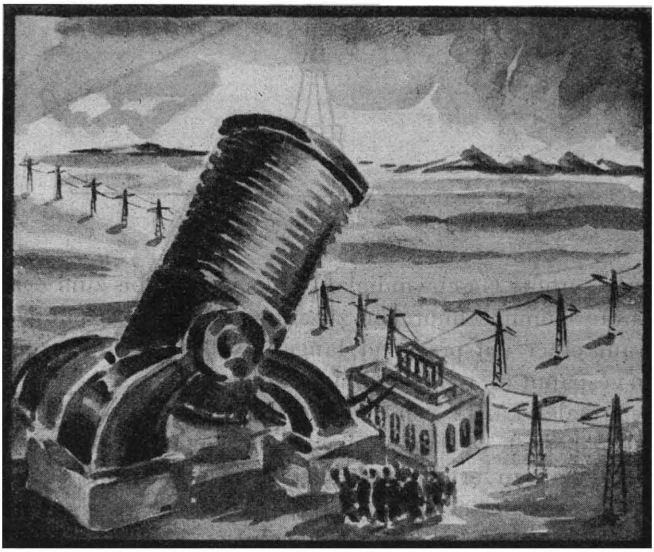


Abb. 10. Riesenhaftes Solenoid-Geschütz, wie es voraussichtlich mindestens erforderlich wäre, um ein Geschoß aus dem Bannkreis der Erdschwere hinauszuschleudern.

gespannt ist. Man hat vor dem Weltkriege öfters von diesen Solenoid-Kanonen gelesen, und es sollen von den Kriegsarsenalen verschiedener Staaten auch Versuche im großen Maßstab mit ihnen gemacht worden sein. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Geschosse aus den Solenoiden fuhren, scheint die der besten Pulvergeschützgranaten erreicht, wenn nicht übertroffen zu haben. Nur der Umständlichkeit und schweren Verwendbarkeit halber, vielleicht auch wegen der geringen Treffsicherheit, scheinen diese Maschinen nicht weiter ausgebildet worden zu sein. Wir erwähnten sie der Vollständigkeit halber, denn es ist auch hier wieder theoretisch ohne weiters möglich, eine Solenoid-Kanone von solcher Größe zu berechnen, daß das Geschoß bei Anlegung der entsprechenden Stromspannung die Geschwindigkeit von 11250 m/sec erhalten müßte.

Geschütze.

Unter einem Schuß verstehen wir hier das Ausstoßen eines Geschosses aus einer Röhre durch den Druck der hinter ihm befindlichen völlig eingeschlossenen Gase eines explodierenden Stoffes. Die außerordentlich gewaltigen Leistungen, welche der Geschützbau in den letzten Kriegsjahren aufzuweisen gehabt hat, sind noch in jedermanns Erinnerung. Wer könnte je den Eindruck jener ersten Meldung vergessen, als das deutsche Riesengeschütz Paris aus 120 km Entfernung beschoß! Seither sollen in anderen Staaten noch größere Wurfweiten erzielt worden sein. Wenn es nicht Zeitungsenten gewesen sind, dann wollen die Amerikaner, Franzosen und Engländer schon auf 150—160 km weit Geschosse geschleudert haben. Eine einfache Überlegung sagt uns, daß diese gewaltigen Schußweiten nicht bei einer verhältnismäßig flachen Wurfbahn erreicht worden sein können (weil dann die Geschosse ihren ganzen Weg in dem dichten Bodensatz des Luftozeans hätten zurücklegen müssen, wo der Luftwiderstand ungeheuer ist), sondern, daß es sich um verhältnismäßig hochgewölbte Wurfparabeln gehandelt haben muß. Wahrscheinlich liegt der Scheitelpunkt dieser Geschoßbahnen mehr als halb so hoch, wie ihre Schußweite, vielleicht sogar gleich hoch. Diese Dinge werden natürlich streng geheim gehalten, wie alles, was zum edlen Kriegshandwerk gehört. So wären denn also nicht die Flugzeuge, die Zeppeline und die Registrierballone bisher in die höchsten erreichten Höhen gedrungen (Ballonsonden erreichten bis zu 36 km), sondern die Geschosse jener Riesen-Ferngeschütze. Wie hoch sie gestiegen wären, wenn man jene gigantischen Langrohrungetüme senkrecht nach oben gerichtet hätte — wer will das berechnen, da die erzielten Anfangsgeschwindigkeiten strengstes Geheimnis sind. Vielleicht 80, vielleicht 160 km? Die Rechnung zeigt, daß ein Geschoß, welches mit einer Geschwindigkeit von 1 km/sec ein senkrecht nach oben gerichtetes Geschütz verläßt, abzüglich des Luftwiderstandes ungefähr 50 km hoch steigt, bei 2 km Geschwindigkeit beim Verlassen der Geschützmündung etwa 200 km hoch dringt und bei 3 km anfänglicher Schnelle etwa 460 km Höhe erklimmt.

Unserer Ansicht nach müssen die Ferngeschütze also mindestens eine Geschwindigkeit zwischen 1200 und 1800 m/sec dem Geschosse bei Verlassen des Rohres haben erteilen können.

Hunderttausend Meter hoch also können wir bereits heute schießen. Was ist daneben der Mount Everest, der berühmte höchste Berg der Erde! Ein Dreikäsehoch, der sich darauf beschränken muß, die winzigen Menschlein, die ihn eigenhändig ersteigen wollen, noch eine Weile mit seinem schneeweißen Barte zu schrecken, bis sie auch ihm auf das Haupt klettern, um dort die Fahne ihres Vaterlandes aufzurichten. Für unsere Ferngeschütze existieren Berge als Hindernisse überhaupt nicht mehr. Der selige Jules Verne kann sich noch im Grab drüber freuen, daß sein geliebtes Paris unter allen Städten auf Erden die Ehre hatte, zuerst aus 120 km Entfernung — beschossen zu werden!

Aber im Ernst, das muß der Feind dem genialen Franzosen lassen: er ist unter allen Romanschriftstellern der einzige gewesen, der sich die Mühe genommen hat, seine Helden nicht durch irgendein »Varium« oder »Nihilium« oder »Stellit« oder sonst ein neues Element von unbegrenzten Eigenschaften, Kräften und Fähigkeiten nach dem Monde zu befördern, sondern der es versucht hat, den Schuß nach dem Monde aus einem Riesengeschütz derart vor dem Leser zu entwickeln, daß die Sache für den Uneingeweihten geradezu überzeugend erschien. Auch Prof. Oberth nennt Jules Vernes Vorschlag in dessen Roman »Von der Erde zum Monde« technisch beinahe ausführbar, ein Lob, das dadurch nicht geschmälert wird, daß Oberth die Mitnahme von Reisenden in Jules Vernes Geschoß für gänzlich ausgeschlossen erklären und außerdem auf ungefähr ein Dutzend sonstige »kleinere Fehler« aufmerksam machen muß, die dem genialen Romancier trotz aller Vorsicht doch unterlaufen sind.

Es lohnt sich wohl, auf Jules Vernes Reise zum Mond, wenigstens auf ihren technisch ballistischen Teil hier ein wenig einzugehen, weil sich dabei die Gelegenheit ergibt, auch unsere eigenen Anschauungen zu läutern und den gegenwärtigen Stand der Frage, ob es möglich ist, ein Geschoß in einem Geschütze bis auf 11250 m/sec zu beschleunigen, zu beleuchten.

Nachdem Verne im ersten Kapitel den »Gun-Klub« als eine Gesellschaft leidenschaftlicher Artilleristen dem Leser vorgestellt hat, deren Mitglieder »eine Achtung genießen, die in direktem Maßstabe dem Quadrate der Entfernung proportional ist, welche die Geschosse der von ihnen erfundenen Kanonen erreicht haben«, schildert er im Kapitel II die große außerordentliche Sitzung, in welcher der Präsident Barbicane, um die Klubmitglieder darüber hinwegzutrösten, daß ihnen kein Krieg auf Erden Gelegenheit gibt, ihrem ballistischen Ehrgeiz zu fröhnen, den Vorschlag macht, die Erreichung des Mondes durch ein Geschoß zu bewerkstelligen.

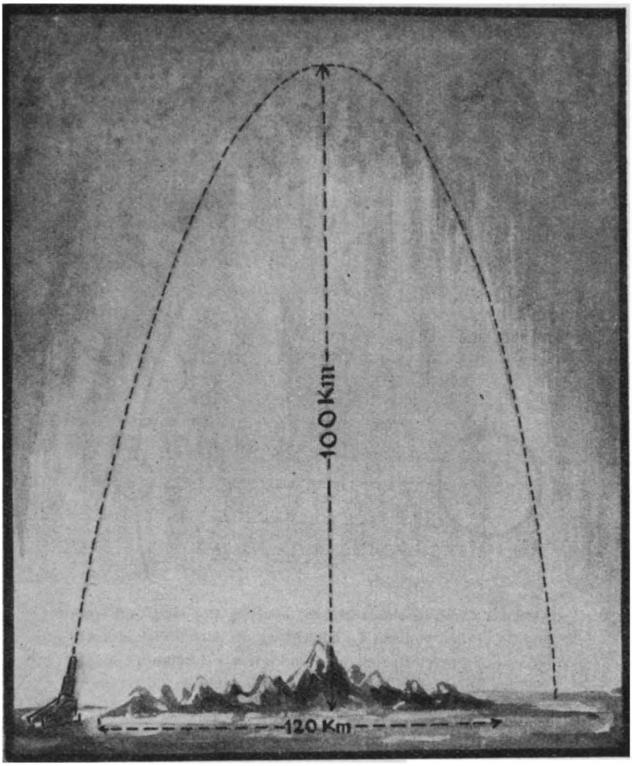


Abb. 11. Mutmaßliche Geschoßbahn bei den bisherigen Ferngeschützen, im Vergleiche zum Himalaya-Gebirge. Schußweite 120 km, Steighöhe 100 km, Anfangsgeschwindigkeit des Geschosses etwa 1600—1700 m/sec.

Den Höhepunkt der Rede bildet ihr Schluß, an welchem Barbicane voraussetzt, daß es den Mitgliedern des Gun-Klubs nicht unbekannt sein könne, daß die Wiederstandskraft der Kanonenrohre und die Treibkraft des Pulvers ohne Grenzen sind, worauf er schließt: »Ich habe die Frage unter allen Gesichtspunkten betrachtet, habe sie entschlossen angefaßt, und aus meinen unbestreitbaren Berechnungen ergibt sich, daß jedes

Geschoß, das mit einer anfänglichen Geschwindigkeit von 12000 Yards in der Sekunde in der Richtung nach dem Monde hingeschleudert wird, notwendig dort anlangen muß. Ich habe daher die Ehre, meine wackern Kollegen, Ihnen dieses kleine Experiment vorzuschlagen.«

12000 Yards sind etwa 11200 m in der Sekunde. Man sieht, daß Barbicane richtig erfaßt hat, worauf es ankommt. Kapitel III schildert die Wirkung dieser Rede aufs Publikum. Im IV. Kapitel

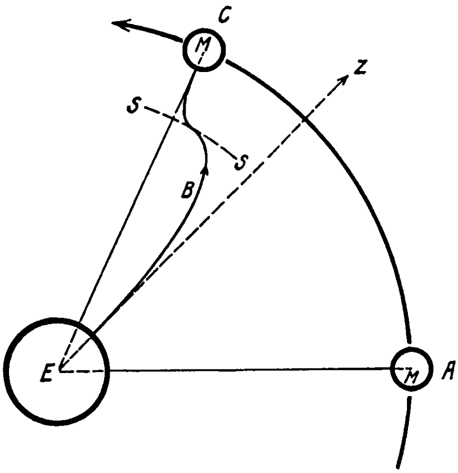


Abb. 12. Weg des Geschosses, welches der Gun-Club zum Monde senden wollte. *Z* Zielrichtung im Augenblick des Abschusses, in welchem sich der Mond im Orte *A* befand. *C* Mondstellung, in welcher das Geschoß auf ihm anlangt. *B* Geschoßbahn, *S—S* Schwerefreie Linie zwischen Erde und Mond. (Das Bild ist nur schematisch, nicht maßstäblich richtig.)

wird ein astronomisches Gutachten vom Observataorium in Cambridge eingeholt. Wir geben kurz Fragen und Antworten (die Zahlen in unserm Maß).

1. Ists möglich, ein Geschoß nach dem Monde zu schleudern? — Antwort: Jawohl, wenn man ihm 11200 m/sec erteilt.

2. Welches ist die genaue Entfernung des Mondes? — Antwort: diese ist wegen der Bahnexzentrizität verschieden. Die geringste ihrer beiderseitigen Mittelpunkte beträgt 357000 km. Davon Erd- und Mondhalbmesser (6378 km und 1735 km) abgezogen gibt als Abstand ihrer Oberflächenpunkte 348900 km.

3. Binnen welcher Zeit hätte das Geschoß bei hinreichender Anfangsgeschwindigkeit diesen Abstand zu durchfliegen; folglich, in welchem Zeitpunkte wird man es abschleudern müssen, damit es in einem bestimmten Moment auf dem Monde eintreffe? — Antwort: 97 h 13 m 20 s wird es brauchen. Um soviel Zeit früher muß man abfeuern, wenn das Geschoß zu einem bestimmten Zeitpunkte auf dem Mond anlangen soll.

4. Wann steht der Mond in der günstigsten Stellung? — Antwort: wenn er in Erdnähe und zugleich im Zenit des Geschützes steht.

5. Nach welchem Punkt des Himmels muß das Geschütz gerichtet sein? — Antwort: nach dem Zenit; es muß drum ein Ort auf der Erde gewählt werden, in dessen Zenit der Mond stehen kann, also ein Ort zwischen $\pm 28^0$ geogr. Breite.

6. An welcher Stelle wird der Mond sich am Himmel befinden, wenn das Geschoß abgefeuert wird? — Antwort: 64^0 vom Zenit, denn soviel macht die Bewegung des Mondes in den 97 Stunden aus, inbegriffen das, was die Erdrotation das Geschoß mit sich reißt.

Wie man sieht, arbeitet Jules Verne darauf hin, den einfachsten Fall zu wählen, damit der Leser die Sache am besten begreift. Er will dem laufenden Monde grade so vorzielen, wie einem Hasen, den man von einem langsam fahrenden Wagen aus schießen will, wobei man eben auch die Eigengeschwindigkeit des Wagens zu berücksichtigen hat. Die Kugel soll nahezu eine gerade Linie von der Erde zum Monde fliegen. In Wahrheit würde sie, wie sich aus der Zusammensetzung des Geschwindigkeits-Parallelogramms für jeden Punkt ergibt, infolge des Zusammenwirkens des Erdrotationsanteils mit dem Antrieb des Schusses eine S-förmige Kurve mit einem Wendepunkte sein.

Im Kapitel VII beginnt dann die Debatte über die Kugel. Man kann nicht sagen, daß sie sehr sachlich geführt wird. Das Gefühl und die Begeisterung geben den Ausschlag. Die Größe, d. h. der Außendurchmesser der Kugel (man denkt zunächst nur an eine solche, nicht an ein Langgeschoß!) wird aus der Bedingung abgeleitet, daß man sie mit den stärksten Fernrohren auf ihrem ganzen Wege und auch beim Eintreffen auf dem Monde noch soll sehen können. Präsident Barbicane glaubt mit einem neu zu erbauenden Riesenspiegel auf dem höchsten Berge Amerikas eine 48000fache Vergrößerung erreichen und einen Körper von 9 Fuß Durchmesser auf der Mondoberfläche noch sehen zu können, drum soll die Kugel 9 Fuß (= 108 amerik. Zoll à 25 mm = 2,70 m) im Durchmesser erhalten. Eine solche Fernrohrvergößerung ist natürlich eine Unmöglichkeit, spielt aber auch gar keine Rolle. Man braucht nur die Kugel mit Leuchtpulver zu füllen, so daß sich beim Auftreffen auf dem Mond ein bengalisches Feuer entzündet. Das würde als Beweis des Eintreffens des Geschosses am Monde ebenso viel wert und sicher leicht wahrzunehmen sein. Übrigens denkt auch Prof. Goddard, der Amerikaner, dran, seinen Raketen Leuchtpulver mitzugeben.

Die Sitzung nimmt ihren Fortgang.

Zuerst soll die Kugel massiv und aus Gußeisen gemacht werden. Das macht dem Major Elphiston bange. Daraufhin schlägt Barbicane eine Hohlkugel vor, die nur 2½ t wiegen soll. Schließlich einigt man sich, eine Aluminiumhohlkugel zu nehmen, die 20000 Pfund, also 10 t wiegen soll. Die Wände sollen 12 Zoll dick sein. Am Schlusse der Debatte wird den Herren nur noch vor dem Kostenpunkt Angst, denn das Aluminium wird von Jules Verne zum damaligen Preise von 9 Dollar das Pfund gerechnet. Heute kostet das Kilogramm kaum 1 Mark im großen, der Preis würde also keine Rolle mehr spielen.

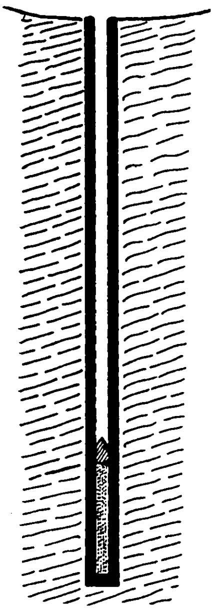


Abb. 13. Senkrechter Schnitt durch Barbicanes Columbiade.

Im VIII. Kapitel befaßt sich der Ausschuß des Gun-Klubs mit der Frage des Geschützes. Seine Aufgabe ist bekannt, es soll die 10 t schwere Kugel mit einer Geschwindigkeit von 11200 m aus der Mündung schleudern; der Hohldurchmesser ist auch gegeben, denn das Geschoß soll 270 cm Durchmesser besitzen. Die Frage ist jetzt, wie lang das Geschützrohr werden muß und wie dick seine Wandungen sein sollen, um den Explosionsdruck der Pulvergase auszuhalten.

J. T. Maston, der ungestüme Sekretär des Gun-Klubs ruft gleich dazwischen, er verlange, daß das Geschütz mindestens eine halbe Meile lang gemacht werden solle (1 engl. Landmeile = 1,61 km, also 800 m). Der Übertreibung beschuldigt, wehrt er sich energisch dagegen. Der Mann hat nicht so unrecht. Hätte Barbicane seinem Rate gefolgt, die Kugel wäre sicherer zum Monde geflogen. Der Vorsitzende meint, gewöhnlich seien die Geschütze 20—25 mal so lang, wie ihr Kaliber, darauf ihm Maston ins Gesicht sagt, ebensogut könnte man mit einer Pistole gegen den Mond schießen. Endlich einigt man sich auf die hundertfache Kaliberlänge, also 900 Fuß oder 270 m. Dies ist, wie wir noch sehen werden, tatsächlich viel zu wenig. Als Wandstärke werden sechs Fuß vorgeschlagen und auch ohne Einwendung angenommen und die Kanone soll lotrecht stehend aus Gußeisen einfach in die Erde gegossen werden. J. T. Maston berechnet, daß sie 68040 t wiegen wird. Dabei nimmt Barbicane offenbar an, daß die umgebende Erde das in sie versenkte Rohr derart zusammenhalten wird, daß es nicht springen kann. Das ist einigermaßen glaublich, wenn man sich das Kanonenrohr in sehr hartes und homogenes Felsgestein, wie Granit, Porphyr u. dgl. von großer Mächtigkeit eingelassen denkt. Dann erscheint nämlich das gegossene Metallrohr eigentlich nur als Innenauskleidung des steinernen wirklichen Geschützrohres, dessen Wandstärke unangebbar ist.

Das IX. Kapitel ist der Pulverfrage gewidmet. Verne läßt dabei seine Helden so rechnen: 1 l Pulver wiegt 900 g und erzeugt, zur Explosion gebracht, 4000 l Gas. Bei gewöhnlichen Kanonen beträgt die Pulvermenge $^2/_3$ vom Gewichte des Geschosses, bei großen Geschützen geht sie aber auf $^1/_{10}$ herab. Worauf Maston meint, wenn diese Theorie richtig sei, dann brauche man nur das Geschütz groß genug machen, um überhaupt kein Pulver mehr zu benötigen. Aber die Sitzung wird bald wieder ernst, und als man sich schon auf ein gewisses Rodmannsches Pulver geeinigt zu haben scheint, naht der Augenblick, die Pulvermenge zu bestimmen. Die Herren sehen sich ratlos an und raten, — weil sie nichts Besseres wissen, auf gut Glück hin. 100 t will ein gewisser Morgan, 250 t schlägt Elphiston vor und Maston, der ungestüme Sekretär, fordert 400 t. Doch diesmal wird er von dem Präsidenten Barbicane nicht nur nicht getadelt, sondern dieser findet auch das noch zu wenig und verlangt Verdopplung der 400 t auf 800, was ein Gewichtsverhältnis der Kugel zum Pulver wie 1:80 ergibt.

Die Unterbringung der gewaltigen Pulvermenge macht den Herren freilich noch Sorgen genug. Es zeigt sich, daß 800 t Schießpulver das Kanonenrohr zur Hälfte füllen würden, so daß das verbleibende Rohrende zu kurz wird. Endlich findet man in der Schießbaumwolle ein Auskunftsmittel. Die Sitzung schließt in der Überzeugung, daß 54 m hoch Schießbaumwolle in den

Kanonenschlund gestopft dieselbe Treibkraft wie Barbicanes 800 t Pulver entwickeln werden und das Geschoß bis zur Mündung auf 11200 m/sec zu beschleunigen vermögen.

Da das Rohr im ganzen 270 m lang ist, hat die Kugel einen Weg von 216 m im Lauf zur Verfügung, auf welchem ihr durch den Druck der Explosionsgase der gesamte Antrieb erteilt werden muß. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß die Beschleunigung eine gleichmäßige ist, so beträgt die mittlere Geschwindigkeit der Kugel bis zur Geschützmündung $\frac{1}{2} \times 11200 = 5600$ m/sec, und sie braucht 0,03848 oder rund $^1/_{26}$ Sekunde, um aus dem Rohr zu fahren. Da ihr bei gleichmäßiger Beschleunigung auf solche Weise in $^1/_{26}$ sec die Endgeschwindigkeit 11200 m/sec erteilt wird, beträgt die Beschleunigung, auf die ganze Sekunde gerechnet, 26 mal soviel oder 291200 m/sec^2. Das ist sehr viel, aber es muß eben jedem Kilogramm Geschoßgewicht in $^1/_{26}$ Sekunde ein Energieinhalt von 6,378 Millionen mkg übertragen werden. Im ganzen sind für die 10 t schwere Kugel Barbicanes also 63,78 Milliarden mkg in dieser Zeit zu leisten, was einer Antriebswirkung von 22,11 Milliarden PS gleichkommt, denn 26 mal 63780000000 : 75 = 22110000000 PS. Wollen wir den mittleren notwendigen Druck der Pulvergase wissen, dann brauchen wir nur durch die Querschnittsfläche (57256 cm^2) zu teilen, um zunächst zu erfahren, welche Leistung auf ein Geviertzentimeter Geschützrohrquerschnitt entfiel und erhalten 1113900 mkg. Dies abermals geteilt durch den Weg in Metern (216 m) ergibt uns endlich den Gasdruck in Atmosphären, denn es gilt die Gleichung, Arbeit ist gleich Kraft mal Weg. Wir finden so als mittleren Druck 5157 Atm. Nach Barbicanes Zündungsvorschlag, der darauf hinausläuft, die ganze Schießbaumwollmenge möglichst auf einmal zur Explosion zu bringen, würde natürlich der Anfangsdruck mindestens 10 mal so hoch anzusetzen sein (vgl. unsere bald folgenden Mörser und Schiffsgeschützbeispiele).

Über die Rolle des Luftwiderstandes finden wir bei Jules Verne nur im VIII. Kapitel Barbicanes leicht hingeworfene Bemerkung, »daß dieser unbedeutend sein wird«. Es ist unsere Pflicht, dieser Sache doch etwas genauer nachzugehen, denn wir haben schon öfters die begeisterten Mitglieder des Gun-Klubs etwas unzuverlässig gefunden.

Wir müssen zwei Arten des Luftwiderstandes unterscheiden, nämlich den der Luftsäule im Kanonenrohr und den der freien Luft, nachdem das Geschoß die Mündung der Kanone bereits verlassen hat.

Im Moment der Explosion hat Barbicanes Kugel eine 216 m hohe 2,70 m im Durchmesser haltende Luftsäule im Geschützlauf über sich, die nirgends seitlich ausweichen kann, sondern von dem mit furchtbarer Geschwindigkeit herauffahrenden Geschosse vor sich her wie eine Stahldrahtspiralfeder zusammengepreßt wird. Da die Geschoßgeschwindigkeit die Schallschnelligkeit vielmal, zuletzt mehr als 30fach überschreitet, kann diese Luft auch nicht einmal nach oben aus der Geschützmündung entweichen, weil sie dazu keine Zeit hat, sondern es ist fast geradeso, als ob die Kanone an der Mündung durch einen Deckel verschlossen wäre. Kurz, die aus der Mündung fahrende Kugel wird von dieser zusammengepreßten Luft wie von einer Zipfelmütze bedeckt sein, die erst von diesem Augenblicke an seitlich auseinanderflattert. Technisch gesprochen muß das Geschoß also die ganze Masse dieser Luftsäule auf seine eigene Geschwindigkeit beim Verlassen der Geschützmündung beschleunigen und noch die Kompressionsarbeit leisten.

Nun berechnet sich der Rauminhalt der 216 m hohen Luftsäule in Barbicanes Kanone zu 1237 m^3. Das Gewicht der Luftsäule bzw. nachherigen Luftkapuze beträgt bei 1,2 kg pro Raummeter rund 1500 kg, also etwa $^1/_6$ vom Gewichte des Geschosses. Um diese Masse auf 11200 m/sec zu beschleunigen, ist also nochmals ein Aufwand gleich einem knappen Sechstel jener 63,78 Milliarden mkg erforderlich für Kompression und Beschleunigung zusammen also etwa 14 Milliarden mkg. Erinnern wir uns, daß der mittlere Explosionsdruck der Pulvergase hinter dem Geschoß nicht hoch über 5000 Atmosphären herauskam, und daß diese Zahl wohl anfangs hoch überboten, später, je mehr sich das Geschoß aber der Mündung nähert, auch erheblich unterschritten wird, so könnte es kommen, daß, noch bevor das Geschoß aus der Mündung fährt, der ansteigende Druck der vor ihm komprimierten Luft höher wird als der abnehmende der Pulvergase hinter dem Geschoß. In diesem Falle würde es also seine höchste Geschwindigkeit nicht erst an der Geschützmündung, sondern schon früher noch im Lauf erreichen, und die überschüssige Rohrlänge von jenem kritischen Punkte an wäre nicht nur zu nichts mehr nütze, sondern bloß schädlich. (Diese Höchstgeschwindigkeit wäre natürlich niedriger als die berechnete.)

Glücklicherweise lassen sich diese ganzen wohlgemessenen 14 Milliarden mkg Widerstand der Luftsäule im Rohr ersparen, wenn man so schlau ist, das Geschütz kurz vor dem Abfeuern luftleer zu pumpen. Natürlich muß man dann auf die Mündung einen Deckel machen, der sehr leicht und nur so stark zu sein braucht, daß ihn der äußere Luftdruck nicht eindrückt. Das nunmehr mit unverminderter Kraft in voller Schnelle aus dem Rohre fahrende Geschoß wird ihn mit Leichtigkeit und dem Aufwande weniger Zehner von Meterkilogramm zerschmettern.

Schlimmer steht es mit dem Widerstande der freien Luft. Wohl nimmt er vom Augenblick, in welchem das Geschoß die Mündung verläßt, rasch ab und beträgt am Ende der ersten Sekunde nur mehr $^1/_5$ vom Ausgangswerte, aber immerhin macht er für 11200 m/sec Geschoßmündungsgeschwindigkeit bis etwa

1000 kg/cm² aus. Dies bedeutet, daß das Geschoß von der Luft genau so aufgehalten wird, als wenn es wie ein Pumpenkolben die Luft bei etwa 1000 Atmosphären Druck in einem Rohre vor sich herschieben müßte. Welch furchtbare Bremswirkung für das Geschoß sich daraus ergibt, ist leicht auszurechnen.

Soll die Geschoßgeschwindigkeit nicht unter die erforderliche parabolische sinken, so müßte es in der ersten Sekunde etwa 12000 m hoch steigen, und wir haben für jeden Geviertzentimeter Geschoßquerschnitt einen Verlust von rund 5900000 mkg. Das ist aber nur der Verlust in der ersten Sekunde. Zur Überwindung des gesamten Luftwiderstandes wären gar 7600000 mkg pro Quadratzentimeter Querschnitt nötig. Diese Zahl ist wesentlich größer als die bewußten 6,378 Millionen mkg, die wir oben als erforderlich bezeichnet haben, um das Erdschwerefeld zu durchstoßen. So scheint es, als wäre der Luftwiderstand in der ersten Sekunde allein schon ein erheblich stärkerer Panzer als das ganze Schwerefeld unseres Heimatsterns.

Das ist nicht richtig! Man darf nämlich nicht vergessen, daß der Luftwiderstand nicht mit der Masse der Granate, sondern bloß mit der Querschnittsfläche wächst. Er ist gleichgroß für ein hohles oder massives Geschoß von äußerlich gleicher Gestalt, Oberflächenbeschaffenheit und Geschwindigkeit. Auf die Flächenbelastung also kommt es an, ob der Luftwiderstand den Energieinhalt der Granate an lebendiger Kraft übertrifft oder nicht.

Barbicanes Geschoß sollte bei 2,70 m Durchmesser, d. i. 57256 Geviertzentimeter Querschnitt nur 10000 kg, wiegen, hatte also nur 175 g Flächenbelastung. Auf 11200 m/sec gebracht, enthielt es pro Kilogramm 6,378 Millionen mkg, auf den Geviertzentimeter seines Querschnitts berechnet aber nur 1,114 Millionen mkg, das ist gerade rund 7mal weniger, als der Luftwiderstand in der ersten Sekunde ausmacht, wenn es die parabolische Geschwindigkeit eingehalten hätte. Daraus folgt klar, daß die so vielberühmte Granate des Gun-Clubs überhaupt schon in der ersten Hälfte der ersten Sekunde in der Luft sozusagen stecken geblieben wäre. Weit entfernt, zum Monde zu gelangen, würde sie nur einen lächerlich kleinen Bogen über der Erde beschrieben haben. Der erste Vorschlag, die Kugel massiv aus Gußeisen zu machen, wäre jedenfalls viel richtiger gewesen. Also gerade das Gegenteil von dem, was man in jener Sitzung für richtig hielt, hätte man tun sollen. Freilich hätte für eine so schwere Kugel auch wieder die Kanone ganz anders gebaut und die

Pulvermenge gänzlich anders bemessen werden müssen. Man denke bloß, daß für die Durchschlagung des Luftwiderstandes in der ersten und den folgenden 5 Sekunden (die allerdings nicht mehr viel ausmachen) rund $7^1/_2$ Millionen mkg pro Quadratzentimeter Querschnittsfläche, d. i. mehr als die Macht des Erdschwerefeldes bei 1 kg Flächenlast aufgebracht werden muß. Könnte man ein Geschoß von 100 kg/cm² Flächenbelastung bauen, dann würde freilich der Luftwiderstand, der gleichsam die lebendige Kraft von 1,2 kg Flächenbelastung verschlingt, nur mehr 1,2 % der Macht des Erdschwerefeldes ausmachen.

Das ist aber nicht möglich, übrigens auch nicht vorteilhaft, denn um eine so große Masse in Bewegung zu setzen, wäre die erforderliche Energiemenge unnötig groß. Hat das Geschoß das mittlere spezifische Gewicht 20, was nur erreichbar ist, wenn es aus fast reinem Platin, Wolfram und andern Schwermetallen besteht, so würde es bei einer Höhe von 2½ m im Mittel immer erst 5 kg auf den Geviertzentimeter Querschnittsfläche wiegen, macht man es aus einem Wolframstahlmantel, der mit Blei ausgegossen ist, so muß es bei einem mittleren spezifischen Gewicht von 13,2 Einheiten des Wassers noch um die Hälfte höher sein, um diese Querschnittsbelastung zu erreichen. Man erkennt, daß es mit billigeren Schwermetallen nur mit Mühe und Not technisch möglich ist, bei ziemlich großer Geschoßlänge auf 10 kg/cm² zu kommen. Jetzt begreifen wir auch, warum alle Granaten, die für hohe Fluggeschwindigkeiten berechnet sind, bei den modernen Geschützen 5—6mal so lang sind, als ihr Kaliber mißt! Die hohe Flächenbelastung soll ihre Durchschlagskraft gegenüber dem Luftwiderstande erhöhen.

Wenden wir unsern Blick nach diesen Erörterungen nochmals auf Barbicanes hohles Aluminiumgeschoß, so müssen wir sagen, daß es einer Seifenblase zu vergleichen ist, die jemand mit einem Billardstock gegen einen Sturmwind vorstoßen wollte. Wegen der geringen Wandstärke würde dieses Geschoß schon im Kanonenrohr durch die furchtbare Pressung der von rückwärts nachdrängenden Pulvergase und des von vorne entgegendrückenden Widerstandes der Luftsäule im Rohr gänzlich plattgedrückt worden sein. Abgesehen davon aber hätte es niemals den Luftkreis zu durchschlagen vermocht, vom Erdschwerefelde gar nicht zu reden.

Nachdem wir nun die äußeren Verhältnisse beim Kanonenschuß einigermaßen überblicken, ist es noch notwendig, kurz auf den Explosionsvorgang im Rohrinnern selbst einzugehen, denn auch hier dürfen wir uns mit dem kühn ausgesprochenen Worte in Barbicanes großer Rede nicht zufrieden geben, wonach die Treibkraft des Pulvers und die Widerstandskraft der Geschützrohre unbegrenzt sind.

Um diese Fragen besser zu durchleuchten, wollen wir drei Beispiele, gewissermaßen Steigerungsstufen ballistischer Leistungen, nacheinander untersuchen. (Wir wollen damit nur eine ungefähre Vorstellung vermitteln. In Wirklichkeit müßten die Berechnungen ganz anders aufgebaut werden, weil bei so hohen Geschwindigkeiten auch die Trägheit der Pulvergase eine stark verzögernde Rolle spielt.)

Wir denken uns ein zylindrisches, einseitig geschlossenes, auf der andern Seite offenes, beliebig langes Geschützrohr irgendeines Kalibers, wobei uns sein hohler Durchmesser als Maßeinheit gelten soll.

Im ersten Beispielsfalle befinde sich am Grunde des Rohrs eine kleine aber rasante Sprengstoffmenge, und das Geschoß stehe mit seinem Boden einen Kaliberdurchmesser, d. i. eine Maßeinheit vom untern Ende des Geschützrohrs ab. Nun explodiere der Sprengstoff, und zwar soll er in einer unmeßbar kurzen Zeit entflammt sein, so daß diese für uns gar nicht in Betracht kommt. Dann haben wir in diesem nämlichen Augenblicke hinter dem Geschosse ein Gasgemisch von hoher Temperatur und somit auch hohem Druck, denn die Explosion ist technisch nichts anderes als die Umsetzung der vorher im Sprengstoff enthalten gewesenen, gebundenen chemischen Energie in Raum- und Wärmeenergie. Erst infolge der Explosionswärme entsteht eigentlich der hohe Druck; jene ist die Ursache, dieser die Wirkung in diesem Falle. Gewöhnliches Pulver erzeugt z. B. ein Gasgemisch von etwa 2400° C. Sehr gute Pulver entwickeln etwa eine Verbrennungswärme von 1000 Kalorien, vermöchten also bei verlustloser Umsetzung in Bewegungsenergie 427000 mkg pro Kilogramm zu entwickeln. Wenn alle chemische Energie, die im Pulver enthalten ist, ausschließlich der Beschleunigung des Geschosses zugute käme, so würden je 15 kg Pulver genügen, um 1 kg Geschoßgewicht die bewußte Endgeschwindigkeit von 11200 m/sec zu erteilen. Nun wird freilich sehr viel Energie zur Eigenbeschleunigung der nach dem Geschoß aus der Kanone fahrenden Pulvergase verbraucht und was dgl. Verlustquellen mehr sind.

Doch kehren wir zu unserm Beispiele zurück. Die Explosion sei erfolgt und die Gase schieben das Geschoß wie einen Kolben vor sich her. Je mehr es Raum hinter sich freigibt, um so weiter können sich die Gase ausbreiten, es werden also Druck und Temperatur sinken.

Die Berechnungslehre zeigt, daß dann (abgesehen von der Trägheit der Pulvergase) der Druckabfall nach einer Kurve vor sich geht, die man Adiabate nennt. Sie ist der Schwerekurve von Ansehen nicht unähnlich und auch nach der Berechnungsformel durchaus verwandt. Sie fällt bloß etwas weniger steil ab als jene, weil der Druck nicht mit dem Quadrate der Entfernung des Kolbens, sondern bloß mit der 1,4. Potenz abnimmt.

Die von dieser Druckkurve, dem sie links begrenzenden Lote und der wagrechten Achse eingeschlossene Fläche bedeutet wieder die A r b e i t, welche die Gase leisten, während sie das Geschoß durch ihren Druck aus dem Rohre hinaustreiben, denn die Lothöhen sind nichts anderes als die Maßzahlen des jeweils hinter dem Geschoß herrschenden Druckes, und die Strecken auf der Wagrechten sind die zurückgelegten Wege. Kraft mal

Weg ist aber gleich Arbeit. Als ihre Einheit soll uns jene Fläche gelten, die den Anfangsdruck als Lotwert und die Streckeneinheit des Weges als Wagwert aufweist. Sie ist ein Rechteck ($AA'\,BB'$). Wie die höhere Berechnungslehre zeigt, ist die Größe der Gesamtfläche bis zu ihrem unendlich fernen Punkte draußen, in welchem ihre Spitze theoretisch ausläuft (ABU) einfach gleich zweieinhalb Einheiten ($2{,}5 \times AA'\,BB'$). Es

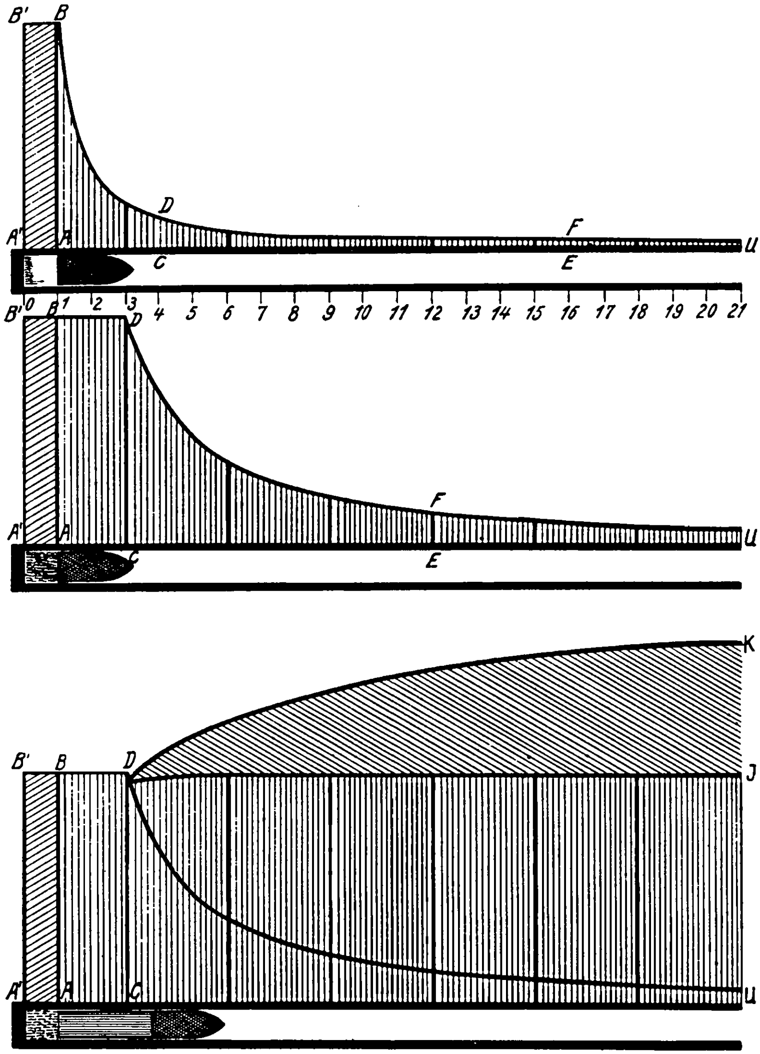


Abb. 14. Schaulinienbilder zu den drei Kanonenschußbeispielen.
(Nähere Zeichenerklärung siehe im vorstehenden Text.)

hat bei derartigem Explosionsverlaufe nicht viel Sinn, das Geschützrohr recht lang zu machen, denn bei dem starken Abfall der Kurve wird die Hauptarbeit durch den Gasdruck im Anfang geleistet. Eine Rohrlänge von 16 Kaliberweiten genügt, um so ziemlich alles herauszuholen. Bis dort herein mißt der Flächenzipfel (*EFU*) 0,83 Einheiten, die Fläche *ABEF* also schon 1,67 Einheiten, die erzielbare Geschoßgeschwindigkeit ist 1,29 Einheiten. Man erkennt, daß sich bei einer solchen Geschützart sehr hohe Endgeschwindigkeiten überhaupt nicht erzielen lassen. Sollen sie doch verhältnismäßig groß sein, so muß der Anfangsdruck sehr erheblich gesteigert werden, was natürlich ein sehr dickfleischiges Geschützrohr erfordert (Mörser).

Nun ändern wir das Beispiel in Gedanken wie folgt ab. Alles übrige bleibe gleich, aber jetzt werde eine große Menge eines verhältnismäßig weniger rasch entflammenden Sprengmittels in den Raum hinter dem Geschoß am Rohrgrunde hineingetan. Es soll jetzt im Gegensatze zu früher die Verbrennung dieser großen Sprengmittelmenge immerhin eine derartige Zeit erfordern, daß das Geschoß schon eine bemerkenswerte Strecke im Rohre zurücklegt, bis das letzte Pulverrestchen entflammt ist. Der Einfachheit halber wollen wir annehmen, die Verbrennung des Sprengmittels dauere solange, bis der Boden des Geschosses schon 3 Kaliberlängen vom Rohrgrunde absteht und verlaufe so, daß bis dahin der Druck der Pulvergase unverändert geblieben ist. Dann erhalten wir als Druckschaulinie zuerst eine Wagrechte, die bis zu dem auf der dritten Kaliberlänge errichteten Lot herüberläuft. Erst hier beginnt der Druckabfall und vollzieht sich jetzt genau so, wie früher nach der 1,4. Potenz, nur daß jetzt 3 Kaliberlängen gleichsam als Einheitsstrecke erscheinen. Es wird nämlich der Druck jetzt erst bei 12 Kaliber Geschoßbodenabstand vom Rohrgrunde so tief gefallen sein, wie im früheren Beispiel schon bei 4 Kaliberlängen usf. Der Flächeninhalt der ganzen Kurve ist jetzt gegenüber früher einfach 3mal größer, von *U* bis zum Kurvenknick (bei *CD*) herein gerechnet, wozu außerdem noch die zwei Einheiten (*ABCD*) kommen, so daß die Gesamtflächenzahl 9,5 Einheiten beträgt. Könnten wir das Rohr unermeßlich lang machen, so wären jetzt 9,5 Arbeitseinheiten aus der Gasexpansion herauszuholen, die imstande sein müssen, dem Geschosse eine Mündungsgeschwindigkeit von Wurzel aus 9,5, gleich 3,1 Einheiten zu erteilen. Wir erkennen aber auch, daß jetzt die Nutzleistung des Geschützrohres bei technisch möglicher Länge schon eine recht gute ist. Für die Strecke 1 bis 3 Kaliberlängen ist der »ideale Zustand« schon erreicht, daß der Druck unverändert bleibt, die Kurve also nicht herabsinkt und auch von der Kaliberlänge 3 bis 12 hinaus lassen sich schon wieder 3,2 Flächeneinheiten gewinnen. Bis zu 48 Kaliber Abstand vom Rohrgrunde können noch 1,84 Flächeneinheiten ausgenutzt werden. Erst von 60 Kalibern ab wird der Gewinn im Verhältnis zur Zugabe in der Rohrlänge geringer, die Kurve ist schon niedrig, ihr Flächeninhalt gibt nicht viel mehr aus, auch wenn wir das Rohr noch um 10 Kaliber länger machen. Rechnen wir zusammen, so kann ein 60 Kaliber langes Rohr in diesem Falle von den 9,5 theoretischen Maßeinheiten der Gesamtfläche *ABU* schon $7^1/_4$ ausnützen. Dabei ist der Anfangsdruck, der zugleich Maximaldruck ist, auch nicht höher als im Beispiele vom Mörser. — Was wir jetzt betrachtet haben, war vergleichbar dem Schiffsgeschütztyp, der Rohrlängen von 50 bis 60 Kalibern heute zu den Alltäglichkeiten rechnet (30 cm Kaliber, 18 m Rohrlänge). Wir begreifen jetzt, wie ein Schiffsgeschütz von gleichem Kaliber wie ein Mörser, wenn dieser dem Geschoß 500 m/sec Geschwindigkeit erteilt, eine ebenso schwere Granate 2,66 mal so hoch beschleunigen, ihr also eine Mündungsgeschwindigkeit von 1323 m/sec verleihen kann. Natürlich sind alle unsere Berechnungen nur als ganz schematisch aufzufassen.

Wir haben nun erkannt, daß es sicherlich am idealsten wäre, wenn wir die Beschleunigung während der ganzen Zeit, welche das Geschoß braucht, um aus dem Rohre zu fahren, konstant halten könnten. Das ließe sich erreichen, wenn wir einen Pulversatz anwenden, der so abbrennt, daß der Gasdruck auf den Geschoßboden längs des ganzen Weges immer derselbe bleibt. Die übertragbare Arbeit würde dann pro Wegeinheit eine Flächeneinheit ausmachen. Mit andern Worten, jede Verlängerung des Rohres um eine Kaliberlänge brächte eine Arbeitseinheit Gewinn. Ein 122 Kaliber langes Rohr müßte dem Geschoß 11 fache, ein 145 Kaliber langes 12 fache Einheitsgeschwindigkeit bis zur Mündung erteilen. Freilich ist der technischen Ausführung da bald eine Grenze gesetzt. Es muß also wünschenswert erscheinen, auf anderm Wege, ohne die Rohre unmöglich lang machen zu müssen, eine noch höhere Geschwindigkeitssteigerung herbeizuführen. Und das ist möglich!

Denken wir uns abermals dasselbe Versuchsrohr, nur diesmal mit erweiterter Pulverkammer, in die ein langsam brennender Pulversatz gepackt sein soll. Die Granate selbst trage aber einen weitern, kräftigen Pulversatz in einer Patrone hinter sich, die vorerst verschlossen bleibt. Der Grundpulversatz sei so bemessen, daß er das Geschoß samt der Patrone wie im vorigen Beispiel zu beschleunigen und den Druck bis 3 Kaliberlängen konstant zu halten vermag.

Von hier ab würde die Druckkurve abfallen. In diesem Augenblicke öffne sich die Patrone, ihr Pulver fange Feuer und ströme, ganz wie bei einer Rakete zurück in das Rohr, da es ja sonst nirgendshin entweichen kann. Der Einfachheit halber nehmen wir an, daß immer gerade soviel Pulver aus der Patrone abbrenne, daß der Gasdruck im Rohre immer derselbe bleibt bis das Geschoß die Mündung erreicht. Die Patrone muß so bemessen sein, daß ihr Sprengmittelinhalt bis zu diesem Augenblick grade erschöpft ist. Dann haben wir eine einfache Rechnung. Die Arbeit der Pulvergase ist bei konstantem Druck einfach gleich diesem mal der ganzen Rohrlänge. Bei 50 Kaliberlängen also 49 Einheiten (weil wir ja die erste als Pulverkammer beansprucht haben). Die erzielte Geschwindigkeit betrüge 7 Einheiten, dies alles dann, wenn die zu beschleunigende Masse bis zur Rohrmündung dieselbe geblieben wäre. Das ist aber nicht der Fall. Die vereinigte Masse von Geschoß + Patrone nimmt von dem Augenblicke an ab, in welchem deren Pulverinhalt abbrennt. Die gleiche Kraft auf diese sich stetig vermindernde Masse angewendet erzeugt also eine noch höhere Beschleunigung, die nur von dem Verhältnis des Geschosses + der Patrone zur Masse des Geschosses allein abhängt. Könnten wir nur das Verhältnis der Masse des Pulvers in der Patrone im Vergleich zur Masse des Geschosses allein recht groß machen, so wäre sozusagen jede gewünschte Geschwindigkeit erreichbar.

Leider ist uns auch hier eine recht enge technische Grenze gezogen. Alle Pulver haben geringes spezifisches Gewicht, etwa bei 1 herum. Hat das

Geschoß das spez. Gew. 15, dann müßte die Patrone schon 15mal so lang gemacht werden, wie die Granate, wenn sie die gleiche Masse enthalten soll, was natürlich unmöglich ist.

Immerhin mag es gelingen, auf diesem Wege einem nur 60 Kaliber langen Rohre für die Geschoßendmasse etwa eine achtfache Endgeschwindigkeit abzuringen. Es ist denkbar, daß ein solches Ferngeschütz von 40 cm Kaliber und 24 m Rohrlänge seinem Geschoß eine Mündungsgeschwindigkeit von 2000 m/sec erteilen konnte. Vermutlich haben auch die Erfinder jenes Ferngeschützes, das aus 120 km Paris beschoß, dieses Prinzip irgendwie benützt und damit eine Maschine geschaffen, die man eigentlich eine Raketenkanone nennen könnte. In ihrer Wirkung würde demnach das reine Gasdruckprinzip des Schusses schon teilweise vermengt mit dem Rückstoßprinzip der Rakete auftreten.

Fassen wir alles zusammen, so kommen wir dazu, gleichsam als »korrespondierende Mitglieder«, die der Gun-Klub leider vergessen hat um ihre Meinung zu befragen, Barbicane und seinen Ausschußmitgliedern folgenden Vorschlag für den Bau einer Kanone zu machen, deren Geschoß den Mond erreichen soll.

1. Das Kaliber darf nicht in Rücksicht auf die unmittelbare Sichtbarkeit des Geschosses in starken Fernrohren gewählt werden, denn eine solche ist von vornherein ausgeschlossen, sondern es ist einzig und allein aus der Bedingung zu berechnen, daß die Flächenbelastung des Geschoßquerschnitts bei einem erträglichen Verhältnisse der Geschoßlänge zu seinem Durchmesser groß genug wird, um das Durchschlagen des Luftmantels zu gewährleisten. Es ist im übrigen so klein zu nehmen, als es die Erfüllung dieser Bedingung nur immer gestattet, denn jede weitere Vergrößerung erhöht nur die Schwierigkeiten im Bau und den Ausmaßen der Kanone. Da die Mitnahme von Personen sowieso ausgeschlossen ist, kann das Geschoß nahezu massiv gemacht werden, so daß im Hohlraum nur genügend Platz für die selbsttätig wirkende Vorrichtung zur Hervorbringung der Lichtsignale zu sein braucht.

In Ansehung dieser Umstände erlauben wir uns, dem Gun-Klub ein Kaliber von 1,20 m vorzuschlagen, so daß sich bei einem mittleren Verhältnis der Geschoßlänge zum Kaliber wie 6:1 eine Geschoßhöhe von 7,20 m ergibt. Bei einem mittleren spez. Gewicht von 13,9 (Wolframstahlmantel mit Bleiausguß) wird dann die Querschnittsbelastung gerade gleich der runden Zahl 10 kg/cm².

2. Die dem Geschosse zu erteilende Geschwindigkeit muß um soviel höher berechnet werden, daß die überschüssige Energie zur Überwindung des Luftwiderstandes ausreicht. Wird das Geschütz auf einem 5000 m hohen Berge errichtet, dann liegt der

halbe Luftdruck schon unter ihm und der gesamte, noch vom Geschoß zu überwindende Luftwiderstand wird mit 4 Millionen mkg pro Geviertzentimeter Querschnitt sicher reichlich genug bemessen sein. Erteilen wir dem Geschoß eine Anfangsgeschwindigkeit von 12000 m/sec, dann enthält es in jedem Kilo seines Gewichtes eine lebendige Kraft von 7,344 Millionen mkg, während zur Überwindung des Schwerefeldes nur 6,378 Millionen mkg erforderlich sind. Es kann also jedes Kilogramm 0,966 Millionen mkg Überschuß abgeben, und da wir 10 kg/cm² Querschnittsbelastung haben, ergeben sich für den Gevierzentimeter Geschoßquerschnitt 9,66 Millionen mkg als verfügbar. Das reicht, den Panzer des Luftmantels zu durchschlagen, während das Geschoß selbst immer noch die parabolische Schnelle zur Überwindung des Erdschwerefeldes in sich trägt. Nicht 11182 m in der Sekunde, sondern rund 12000 m müssen wir erteilen können, soll das Geschoß dem Bannkreis der Erde wirklich entfliehen.

3. Was die Kanone betrifft schließen wir uns J. T. Mastons Forderung an. Sie soll nutzbare 900 m Rohrlänge haben und auf einem nahe dem Erdgleicher gelegenen Berge in 5000 m Mündungshöhe über dem Meeresspiegel als Schacht in den Felsen gesprengt werden. Das eigentliche Kanonenrohr wird nicht aus Gußeisen sondern aus Beton gemacht. Die Rohrseele wird durch Metallspritzverfahren mit einem nahtlosen Metallüberzug zur Verminderung der Reibung und Erhöhung der Widerstandskraft überzogen. Selbstverständlich wird das Rohr nicht ausgefeilt, sondern mit einer großen Zylinderschleifmaschine genau kalibriert. Dem Rohre wird ein Drall gegeben, denn die Erhöhung der Reibung wird reichlich aufgewogen durch die sonstigen Vorteile und spielt gegenüber den im ganzen aufzuwendenden Kräften keine bedenkliche Rolle. Der Sprengstoff wird von rückwärts her in Brand gesetzt und soll langsam abbrennen.

Vor dem Abschuß wird das Kanonenrohr luftleer gepumpt.

Ein solches Geschütz wäre, wenn man nur die Kosten nicht scheuen muß, beinahe, vielleicht wirklich ausführbar. Bei unserer nutzbaren Rohrlänge würde das Geschoß, gleichmäßige Beschleunigung auf 12000 m/sec angenommen, gerade $1^1/_2$ Zehntel Sekunde zum Herauffahren brauchen.

In dieser Zeit müssen auf jedem Geviertzentimeter $10 \times 7{,}344 = 73{,}44$ Millionen mkg, im ganzen (bei 11310 cm² Querschnitt und demnach 113100 kg Geschoßgewicht) also 831 Milliarden mkg übertragen werden. Aus den 73,44 Millionen mkg/cm² erhalten wir durch Teilung durch 900 m

Weglänge einen erforderlichen mittleren Rohrdruck von 81500 Atmosphären. Bedenken wir, daß bei einem Schiffsgeschütz größten Ausmaßes, das Granaten mit 1200 m/sec wirft, das Geschoß bei $1\frac{1}{2}$ kg/cm² Flächenbelastung eine Triebleistung von 110 160 mkg/cm² erfordert, die wir nur durch 20 m Wegstrecke teilen dürfen, so kommt auch hier ein mittlerer Rohrdruck von schon 5500 Atmosphären heraus, dabei ist der Anfangsdruck jedenfalls mindestens doppelt so hoch. Schon bei den Schiffsgeschützen, die man vor dem Kriege kannte, traten maximale Explosionsdrucke bis zu 30 000 Atmosphären auf.

Jedenfalls: sollte sich je ein Milliardär finden, der sich bereit erklärt, alle Kosten zu tragen, wir dürften die Herstellung einer Kanone, die bis zum Monde trägt, getrost den wackern Ingenieuren überlassen, die jenes erste Riesengeschütz erbauten, das Paris aus 120 km Entfernung beschoß. Deutscher Geist und deutscher Fleiß würden auch dem Monde einen Granatengruß zu senden wissen.

Voraussichtlich kommt es freilich niemals zu diesem, jedenfalls viele Zehner von Millionen Goldmark verschlingenden Versuch, denn schon ist dem Kanonenschuß ein Rivale erstanden, der so vieles zu seinen Gunsten ins Feld führen kann, daß jedem, der ernstlich an die Erreichung des Mondes denkt, die Wahl nicht mehr schwer fallen kann. Wir werden bald sehen, daß einzig und allein die Rakete als Raumschiff der Zukunft in Frage kommen kann. Wir wenden uns darum jetzt ganz von Jules Vernes Roman, dessen weitere Kapitel nichts in unserem Sinne an dieser Stelle noch Bemerkenswertes enthalten, ab und den Raketenmaschinen zu.

Raketen.

Beim Kanonenschuß ist es der Druck der hinter dem Geschosse eingeschlossenen Gase, welcher dieses so lange beschleunigt, bis es die Mündung des Geschützrohres erreicht. In diesem Augenblicke ist daher seine Geschwindigkeit am größten, denn schon in der nächsten Sekunde wirken Schwerkraft und Luftwiderstand zusammen, sie zu vermindern. Bei der Rakete dagegen ist es der Rückstoß der von ihr selbst ausgeschleuderten Gase, der ihren Antrieb bewirkt. Als Rakete bezeichnen wir daher ganz allgemein jede Maschine, die sich kraft des Rückstoßes der entweichenden Gase eines selbst mitgeführten explodierenden Triebmittels fortbewegt.

Um die Wirkungsweise des Rückstoßprinzips recht zu verstehen, wollen wir zunächst einige einfache Versuche betrachten.

Denken wir uns zwei gleichmassige Kugeln und zwischen sie eine Spiralfeder im zusammengepreßten Zustande hineingetan, so wird diese, losgelassen, die Kugeln nach beiden Seiten auseinandertreiben, und zwar mit der gleichen Kraft, ist es doch von selbst klar, daß der Druck einer solchen Feder an sich nach beiden Seiten gleichgroß sein muß. Beide Kugeln erhalten also, anders ausgedrückt, einen gleichen Bewegungsantrieb, da die Kraft dieselbe ist. Sind nun auch ihre Massen gleich, so ist es selbstverständlich, daß auch die empfangenen Beschleunigungen und damit auch die Endgeschwindigkeiten dieselben sein müssen.

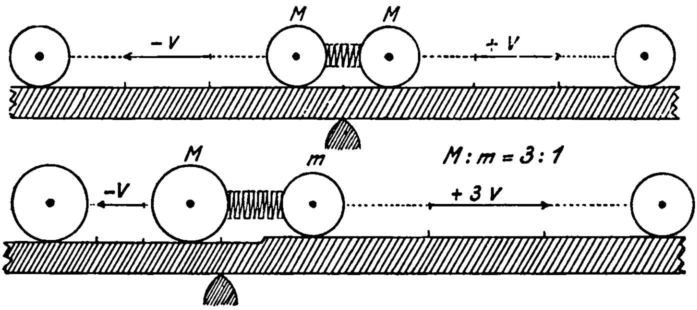


Abb. 15. Kugelbeispiele auf dem Wagebalken zur Erklärung des Satzes von der Erhaltung des Schwerpunkts. (Näheres im Buchtext.)

Beide Kugeln bewegen sich demnach in ganz gleicher Geschwindigkeit nach entgegengesetzten Richtungen fort. Daraus folgt aber: daß ihr gemeinsamer Schwerpunkt an seiner alten Stelle bleibt.

Unter dem Schwerpunkte versteht man bekanntlich den Massenmittelpunkt eines Körpers. Für regelmäßig gestaltete, stoffeinheitliche (regulär-homogene) Körper fällt er mit ihrem Formmittelpunkte zusammen, für andere kann er davon verschieden sein. Den gemeinsamen Schwerpunkt zweier Körper erhält man, wenn man ihre einzelnen Schwerpunkte miteinander durch eine Gerade verbindet und auf dieser jenen Punkt sucht, an dem man diesen gedachten Wagebalken unterstützen müßte, damit Gleichgewicht herrscht. Es findet sich, daß das Produkt aus der Masse mit ihrem Hebelarm auf beiden Seiten gleich sein muß. Auf der Dezimalwage z. B. verhalten sich die Hebelarme wie 1:10, daher Last und Gewicht umgekehrt wie 10:1. Der Schwerpunkt wird dort durch die sog. Wagschneide gekennzeichnet.

Nun ändern wir unser Beispiel ab. Wir nehmen jetzt eine große Kugel und eine kleine, so daß sich die Massen verhalten wie 3:1 und setzen wieder die gespannte Spiralfeder dazwischen. Was wird geschehen, wenn sie abschnellt?

Die wirkende Kraft ist nach beiden Seiten die gleiche; die Massen aber sind verschieden. Infolgedessen muß nach dem Satze Kraft = Masse × Beschleunigung auch die erteilten Endgeschwindigkeit verschieden sein, und zwar genau im umgekehrten Verhältnisse wie die Massen. Die dreimal leichtere Kugel wird die dreimal größere Geschwindigkeit erlangen. Betrachten wir wieder das Verhalten in bezug auf den ursprünglichen, gemeinsamen Schwerpunkt beider Massen, dann sehen wir, daß dieser auch jetzt erhalten bleibt, denn zu jedem beliebigen Zeitpunkte wird immer die kleinere Masse sich dreimal so weit vom alten Schwerpunkt entfernt haben, als die große Masse nach der andern Seite ausgewichen ist. Denken wir uns beide Kugeln sozusagen auf einem Wagebalken hinausrollend, so wird immer das alte Gleichgewicht bestehen bleiben.

Man nennt die Erkenntnis, welche wir aus solchen Versuchen gewinnen konnten, den »Satz von der Erhaltung des Schwerpunktes«. Er gilt in jedem Schwerefelde, im lufterfüllten, wie im luftleeren Raum, ja ungestört eigentlich nur im luft- und schwerefreien Felde, während im Luftraum und unter der Schwerewirkung die Beiträge des Luftwiderstandes und der Schwerkraft als Störungen in Erscheinung treten.

Auf diesem einfachen Satze beruht nun die ganze Raketentechnik. Es ist nämlich gleichgültig, ob, wie in unserem Beispiele, die beide Massenteile auseinandertreibende Kraft erst in irgendeiner Gestalt (Spiralfeder u. dgl.) zwischen sie hineingetan wird, oder ob sie ihnen selbst irgendwie innewohnt, wie dies bei den allbekannten und zur Verschönerung unserer Nachtfeste beliebten Feuerwerksraketen auffällig in Erscheinung tritt. Hier ist es das abbrennende Pulver, das, sich selbst vergasend, in jedem Augenblicke die Rolle der Spiralfeder übernimmt, indem es seine eigenen Moleküle aus der Düse der Rakete hinaustreibt. Mit vollem Rechte dürfen wir daher auch jedes Molekülchen der kleinen Kugel im vorigen Beispiele gleichachten, während die Masse der noch übrigen Rakete als die große Kugel erscheint, nur daß das Massenverhältnis jetzt nicht mehr 1:3, sondern 1 zu soundsovielen Trillionen ist. Würde etwa von der Rakete nur ein einziges Pulvergasmolekül mit einer gewissen Geschwindigkeit ausgeworfen, d. h. vom ursprünglichen Schwerpunkte aus in die eine Richtung getrieben, so muß die ganze übrige Rakete nach der entgegengesetzten Seite mit einer Geschwindigkeit hinausfahren, die dem Massenverhältnis reziprok ist.

Nach der Berechnungslehre angeschrieben ergibt dies die sog. Grundgleichung des Raketenprinzips $c \cdot m = v \cdot M$. Im Sinne der höheren Berechnungskunde entsteht daraus die sog. Differentialgleichung, deren weitere Entwicklung in Prof. Oberths Buch »Die Rakete zu den Planetenräumen« ausführlich gegeben ist.

Es läßt sich aber auch ohne die Hilfe höherer Berechnungsformeln leicht einsehen, wie es durch kluge Nützung des Satzes von der Erhaltung des Schwerpunktes möglich ist, daß eine Raketenmaschine bei entsprechender Bauart sich selbst eine hohe Endgeschwindigkeit erteilen kann.

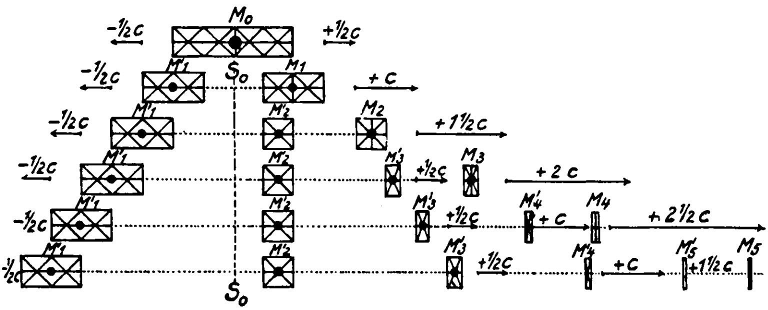


Abb. 16. Teilungsbeispiel zur Veranschaulichung der Rückstoßwirkung bei Raketen. (Näheres im nebenstehenden Buchtext.)

Wir denken uns, als vereinfachtes Sinnbild einer Rakete, eine stangenförmige Masse M_0. Ihr Schwerpunkt S_0 befinde sich in ihrer Mitte. Diese Masse soll sich nun plötzlich mittendurchteilen und ihre beiden Hälften mit einer gewissen Geschwindigkeit c auseinandertreiben, genau so wie im ersten Kugelbeispiel mit der Spiralfeder inmitten. Nach dem bereits Abgeleiteten ist es klar, daß dann der alte Schwerpunkt S_0 erhalten bleibt, und daß beide Massenhälften, weil sie massengleich sind, nach beiden Seiten mit der Geschwindigkeit $\frac{1}{2}\,c$ sich vom Ur-Schwerpunkte entfernen werden, denn die Geschwindigkeit c galt ja nur, wenn man beide Massen aufeinander bezog. Wir wollen nun, der Unterscheidung halber, die eine der beiden Richtungen als $+$ (vorwärts), die andere als — (rückwärts) bezeichnen und die vorwärtsgetriebene Massenhälfte mit M_1, die nach rückwärts gestoßene mit M'_1. Die tiefgestellte Kennziffer $_1$ soll uns andeuten, daß die ursprüngliche Masse erst einmal halbiert worden ist.

Die rückwärts fliegende Masse betrachten wir nicht weiter.

Es ist klar, daß wir die vorwärts fliegende nun wieder wie ein neues Ganzes auffassen und an ihr die Teilung wiederholen können. Der Schwerpunkt dieser Masse M_1 heiße S_1. Er bewegt sich mit der Geschwindigkeit $+ \frac{1}{2} c$ mit ihr nach vorwärts, bezogen immer auf den Urschwerpunkt S_0. Teilt sich jetzt M_1 wieder in zwei Hälften, die mit der Geschwindigkeit c auseinandergetrieben werden, so erhält die nach vorwärts gestoßene also neuerlich einen Geschwindigkeitszuwachs von $+ \frac{1}{2} c$ in bezug auf den vorherigen Schwerpunkt S_1, die zurückweichende Hälfte aber die Geschwindigkeit $- \frac{1}{2} c$ in bezug auf S_1. In bezug auf den Urschwerpunkt S_0 erlangt also das vorstürmende Urmassenviertel M_2 schon die Geschwindigkeit $+\frac{1}{2}+\frac{1}{2} = +1\, c$, während das zurückgestoßene Viertel M'_2 die Geschwindigkeit $+\frac{1}{2}\, c - \frac{1}{2}\, c = 0$ erhält. Setzen wir die Teilungen beliebig weit fort, so ergibt sich immer für jede neue Halbierung ein Geschwindigkeitsgewinn des vorwärtsfliegenden jeweiligen Massenstückes um $+\frac{1}{2} c$, für je 2 Halbierungen zusammengenommen also ein Zuwachs um ein ganzes $+ c$.

Es scheint nach diesem Verfahren sehr leicht möglich, daß das jeweils vorstürmende Stück eine sehr hohe Endgeschwindigkeit, etwa 100 oder 1000 c erlange. Es brauchen dazu ja nur 200 bzw. 2000 Halbierungen ausgeführt zu werden. — Das sieht sehr harmlos aus, ist aber in Wahrheit eine ganz fürchterliche Sache. Bedenken wir bloß, was das heißt, 100 oder 1000 oder gar 2000 Halbierungen! Wie verhält sich da die voranstürmende Masse? Nach der ersten Halbierung ist M_1 noch die Hälfte von M_0, der Ausgangsmasse. Nach der zweiten Teilung stürmt M_2 voran, als Hälfte von der Hälfte, gleich einem Viertel von M_0; M_3 ist schon nur mehr ein Achtel, M_4 ein Sechzehntel, M_5 ein Zweiunddreißigstel . . ., M_{10} ein Tausendvierundzwanzigstel. Nach n Halbierungen ist also die noch übrige voranstürmende Endmasse M_n nur mehr der 2^n. Teil der Ausgangsmasse M_0; oder umgekehrt, das Massenverhältnis $M_0/M_n = 2^n$. Soll die Endgeschwindigkeit $V = 50\, c$ werden, so sind schon 100 Halbierungen nötig, und wir bekommen 2^{100}, was gleich ist 1,27 Quintillionen. Dies bedeutet folgendes: Wäre die Masse unserer Raketenmaschine anfangs so groß wie der ganze Erdball, nur ein einziges Zweitausendstel Gramm davon könnte diese Endgeschwindigkeit erlangen.

Nun wird das Ergebnis wohl etwas günstiger, wenn wir nicht Halbierungen, sondern Teilungen zu ungleichen Stücken vornehmen, wovon man sich leicht durch die Rechenprobe überzeugen kann, und zwar wird der Vorteil um so größer, je kleiner die jeweils abgestoßene Masse im Vergleich zur Ausgangsmasse ist. Am besten ist es, wenn sozusagen unendlich kleine Teilchen ausgestoßen werden, wie dies glücklicherweise bei den Raketen tatsächlich nahezu der Fall ist, da es sich hier um einen Strom von einzelnen Gasmolekülen handelt. Leider macht aber auch dann der erzielbare Gewinn nicht einmal so viel aus, als wenn c von Haus aus doppelt so groß gewesen wäre.

Im ersten Halbierungsbeispiel mußten jeweils $^3/_4$ der Ausgangsmasse geopfert werden in zwei Halbierungsschritten, damit der verbleibende Rest einen Geschwindigkeitszuwachs um c erhalte. Sollte 1 c erreicht werden, mußte die Ausgangsmasse 4 mal so groß sein wie die Endmasse, sollte 2 c erzielt werden, mußte die erste $4 \times 4 = 4^2 = 16$ mal so groß sein wie die letzte. Für 3 c entsprechend $4 \times 4 \times 4 = 4^3 = 64$ mal so groß usf. Allgemein gesprochen, der Zuwachs von c ging nach Potenzen von 4. Die höhere Berechnungslehre zeigt nun, wie sich dieselbe Sache bei Abstoßung unendlich kleiner Gasmoleküle verhält. Das Ergebnis ist die für die Beschleunigung aller Raketenmaschinen grundlegende, maßgebende Formel, die sich in Worten so aussprechen läßt: Die Endgeschwindigkeit, welche eine Raketenmaschine sich selbst durch das Ausstoßen von Gasen mit der Geschwindigkeit c zu verleihen vermag, ist gleich dem natürlichen Logarithmus aus dem Verhältnis der Ausgangsmasse durch die Endmasse mal der Auspuffgeschwindigkeit $V = c \log \text{nat} (M_0/M_1)$. Mit andern Worten, der Zuwachs von c geht nicht wie oben nach Potenzen von 4, sondern nach Potenzen von e, der Basis der natürlichen Logarithmen, also nach Potenzen der Zahl 2,71828.

Soll eine Rakete nämlich sich die Geschwindigkeit c erteilen, das ist die Schnelligkeit, mit welcher ihre eigenen Auspuffgase sie verlassen, dann muß ihre Ausgangsmasse 2,72 mal so groß sein wie ihre Endmasse, oder mit andern Worten, die gefüllte, startbereite Maschine muß 2,72 mal soviel wiegen wie die leere Hülle nach Verbrauch aller Betriebsstoffe. Soll die doppelte Gasauspuffgeschwindigkeit 2 c erzielt werden, ist ein Massenverhältnis 7,4:1 erforderlich; für 3 c entsprechend 20,1:1, für 4 c weiter 54,6:1, für 5 c schon 148,4:1 für 10 c gar 22026:1. Für eine Endgeschwindigkeit gleich 30 c aber berechnet sich das furchtbare Zahlverhältnis 11 Billionen zu 1.

Jetzt erkennen wir klar, worauf es ankommt, wenn eine Raketenmaschine eine möglichst hohe Endgeschwindigkeit erlangen soll, wie dies für die Raumschiffahrt unbedingt erforderlich ist. Wir müssen trachten, Brennstoffe zu verwenden, die ein recht hohes c ergeben, d. h. bei deren Explosion die Verbrennungsgase mit möglichst hoher Geschwindigkeit aus der sog. Düse der Rakete nach rückwärts strömen, und wir müssen versuchen, das Massenverhältnis der vollen zur leeren Rakete möglichst groß zu machen. Dabei ist aber eine Steigerung von c im allgemeinen viel wirksamer als eine Vermehrung des Massenverhältnisses.

Praktisch finden beide Verfahren der Geschwindigkeitssteigerung leider bald ihre Grenzen. Es dürfte technisch schon kaum mehr möglich sein, eine Raketenmaschine so zu bauen, daß die volle Maschine 50mal so viel wiegt wie die leere. Man darf nicht vergessen, daß die Wandungen und die Maschinenteile eine gewisse Stärke haben müssen, und daß die Rakete schließlich auch eine gewisse Nutzlast tragen soll, selbst wenn diese nur aus Leuchtpulvern für die Lichtsignale oder aus Registrierapparaten, dem Fallschirm u. ä. notwendigen Nebengeräten besteht. Auf der andern Seite ist es wieder nicht möglich, die Geschwindigkeit, mit welcher die Gase die Düse verlassen, beliebig zu steigern, denn wenn auch hier einiges getan werden kann, z. B. durch die Formgebung der Düse sowie durch klug berechnete Beigaben gewisser Zusatzstoffe, so kann doch die aus dem Satze von der Erhaltung der Energie zu folgernde Grenze nicht überschritten werden.

Um dies einzusehen, brauchen wir uns genauer nur vor Augen zu führen, wieso das Ausströmen der Explosionsgase überhaupt zustande kommt.

Vor der Explosion enthält der Betriebsstoff im Kilogramm eine gewisse Menge von Energie, und zwar in Form einer chemischen Spannung aufgespeichert. In der Explosion selbst wird diese ausgelöst, und die vorher gebunden gewesene Energie tritt nun in Form von Erhitzung, von Durckvermehtung und Bewegung der Explosionsgase in Erscheinung. Wie groß die Anteile sind, die nach beiden Seiten hin entfallen, das hängt von so vielen äußeren Umständen ab, daß es sich rein rechnerisch gar nicht ermitteln läßt. Soviel aber erkennt man ohne weiteres: selbst dann, wenn alle im Betriebsstoff vorher enthalten gewesene chemisch gebundene Energie einzig nur in Bewegung des auspuffenden Gases verwandelt würde, könnte die Auspuffgeschwindigkeit doch niemals größer sein, als es die Gleichung der lebendigen Kraft gestattet: für ein Pulver von 1000 Kalorien im Kilogramm, was einer Arbeitsfähigkeit von 427000 mkg entspricht, also allerhöchstens 2893 m/sec. Sache der technischen Einrichtung ist es, durch entsprechende Maßregeln dafür zu sorgen. daß die Explosion einer vollkommenen Verbrennung möglichst nahekommt und der Anteil der Energieumsetzung in Bewegung möglichst groß im Vergleich zu dem in Wärme ausfällt.

Bisherige Versuche brachten folgende Ergebnisse. Nach Prof. Goddard ergab Du Pont Pistolenpulver Nr. 3 bei 972,5 Kalorien Energieinhalt im Kilogramm eine Auspuffgeschwindigkeit von 2290 m/sec (statt 2853 m/sec) und mit der Pulversorte Infallible der Hercules Powder Cie. von 1238,5 Kalorien Energieinhalt im Kilogramm ließ sich sogar 2434 m/sec (statt 3220 m/sec) erreichen. Nach Prof. Oberth kann man mit einem Gemisch aus Benzindampf und Luft, wie es auch in unseren Automobil- und Flugzeugmotoren zur Verwendung gelangt, allerhöchstens 1700 m/sec erreichen, während die Explosion von Alkohol mit Sauerstoff schon durchschnittlich 1500—1700 m/sec ergibt, bei entsprechender Anordnung aber bis auf 2200 m/sec getrieben werden kann. Die höchste Auspuffgeschwindigkeit liefert das Verbrennen von Wasserstoff und Sauerstoff. Sie beträgt erfahrungsgemäß im Mittel 3800—4200 m/sec und kann nach Prof. Oberth dadurch, daß man die bei den hohen auftretenden Temperaturen merklich störende sog. Dissoziation verhindert, mindestens auf 4500 m/sec gesteigert, vielleicht sogar nahe an 5000 m/sec herangebracht werden. (Theor. Höchstwert 5640 m/sec; da 3780 Kalorien im Kilogramm.)

Die Dissoziation tritt in diesem Falle als eine Störung der vollkommenen Verbrennung auf, geradeso, wie wenn bei niedrigen Temperaturen im Benzinmotor das vom Vergaser gelieferte Benzindampf-Luftgemisch nicht richtig zusammengesetzt ist und zuviel oder zu wenig Sauerstoff enthält. Nur ist hier die Ursache gewissermaßen die umgekehrte. Tritt beim Benzinmotor bei unrichtigem Gasgemisch unvollkommene Verbrennung ein, so tritt die Dissoziation gerade bei theoretisch richtiger Mischung von Sauerstoff und Wasserstoff zu Knallgas (16 Gewichtsteile Sauerstoff mit 2 Gewichtsteilen Wasserstoff) am stärksten auf. Prof. Oberth hält daher dafür, daß das eigentlich »unrichtige« Mischungsverhältnis 3 Gewichtsteile Wasserstoff zu 11—15 Gewichtsteilen Sauerstoff, die höchste Ausnützung der Brennstoffenergie zugunsten der Auspuffgeschwindigkeit ergeben wird.

Bei der hohen Auspuffgeschwindigkeit des Knallgases könnte es scheinen, als ob es sehr leicht wäre, mit solchen Raketen eine Endgeschwindigkeit von 12000 m/sec zu erzielen, wobei schon ein Massenverhältnis der gefüllten, startbereiten Maschine zur leeren, wie 12:1 ausreichen müßte. Leider ist dies nicht der Fall. Das Betriebsstoffgemisch der Knallgasrakete ist nämlich spezifisch derart leicht, daß es schwer hält, mit solcher Füllung die notwendige Querschnittsbelastung zu erreichen, die für die Überwindung des Luftwiderstandes erforderlich ist. Gibt man der Maschine eine kurze, gedrungene Form, wie es sonst wünschenswert ist, dann wird sie in der Luft stecken bleiben, macht man sie sehr schlank und lang, daß jene hinreichend groß wird, so sinkt ihre Knickfestigkeit derart, daß sie geringste Störung genügen wird, sie wie einen Grashalm abzubiegen.

Aber auch aus einem anderen Grunde wäre es gar nicht vorteilhaft, die Rakete schon aus der Ruhelage mit Knallgas abfahren zu lassen. Bei noch geringer Geschwindigkeit der Maschine im Anfang äußert sich nämlich fast die ganze Auspuffenergie der Gase, bezogen auf den Standpunkt eines festen Beobachters auf dem Erdboden, in Rückwärtsbewegung der Gase, nicht in Vorwärtsbewegung der Rakete. Ja, es ist, im Augenblicke der Abfahrt selbst, der technische »Wirkungsgrad« der Rakete sozusagen Null. Freilich bessert er sich mit steigender Fahrtgeschwindigkeit sehr rasch und es geht die ganze Energie der ausgepufften Gase auf die Rakete selbst über, wenn diese sich mit der Geschwindigkeit c nach vorwärts bewegt, denn dann kommen die Gase hinter der Rakete gerade zum Stehen. Wächst die Geschwindigkeit der Maschine noch weiter, dann leisten in der Rakete noch vorhandene, nun erst zur Vergasung gelangende Brennstoffe sogar mehr als 100% der ihnen durch den eigentlichen Auspuffantrieb mitgeteilten Energie, weil sie dann auch von der, auf Kosten der Ausstoßung der früher verbrauchten Brennstoffe, als Insassen der Rakete erlangten lebendigen Kraft noch einen Teil wieder hergegeben. Die ausgepufften Gase stehen nämlich dann in bezug auf den Beobachter am festen Erdboden auch nicht mehr still, sondern bewegen sich mit der Differenz der Geschwindigkeit von Rakete und Gasstrom nach vorwärts. Freilich stellt ihre ganze Bewegungsenergie nur einen kleinen, noch dazu bei weiter gesteigerter Fahrtgeschwindigkeit der Maschine ungemein rasch abfallenden Bruchteil der Energie jener früher verausgabten Brennstoffe vor, auf deren Kosten, die zuletzt noch vorhandenen Betriebsstoffe ihre Eigengeschwindigkeit im Sinne der Rakete selbst erlangt haben. So wird der Nutzungsgrad der Raketen bei sehr hohen, die Auspuffgeschwindigkeit der Gase erheblich übertreffenden Fahrtgeschwindigkeit wieder ungünstiger.

Um sich dies vollkommen klar zu machen, denke man sich einen Mann, der aus dem letzten Waggon eines Eisenbahnzuges fortwährend Steine mit der stets gleichbleibenden Geschwindigkeit $c = 10$ m/sec nach rückwärts wirft, weiters einen Beobachter auf dem festen Bahndamm. Steht der Zug und wirft der Mann, dann kommt dem Steine die ganze Wurfkraft als Rückwärtsbewegung zugute. Da die aufzuwendende Energie nach der Formel der lebendigen Kraft mit dem Quadrate der Geschwindigkeit wächst, muß der Mann also 100 Arbeitseinheiten aufwenden, und diese stecken dann sowohl für seinen Standpunkt am Waggon, wie auch für den Standpunkt des Beobachters am festen Erdboden in der Rückwärtsflugbewegung des Steines. Besitzt der Zug aber bereits eine Geschwindigkeit von 2 m/sec nach vorwärts, und wirft der Mann jetzt den Stein mit 10 m/sec zurück, dann wendet er wohl 100 Arbeitseinheiten von seinem Standpunkt auf, während, betrachtet vom Bahndamm, nur 64 notwendig sind, um den Stein mit 8 m/sec absolut zurückfliegen zu lassen. Es kommen also schon 36 von den 100 Einheiten der Beschleunigung des Zuges zugute. Fährt der Zug aber gleich schnell, wie der Mann den Stein zurückschleudert, dann erhält dieser, vom Bahndamm betrachtet, die wagrechte Geschwindigkeit Null. Er gibt daher seine ganze, als Zuginsasse innegehabte Energie wieder her. Die aufgewendete Wurfleistung des Mannes kommt voll und ganz dem Zuge zugute. Fährt nun der Zug noch schneller, z. B. mit 12 m/sec, dann können wir so überlegen. Solange der Mann den Stein hält, besitzt dieser als Fahrtteilnehmer die Geschwindigkeit des Zuges, d. i. 12 m/sec zum Bahndamm, also ein Arbeitsvermögen von 144 Einheiten in bezug auf diesen. Wirft der Mann den Stein mit 10 m/sec zurück, so sieht das vom Bahndamm aus, als würde der Stein von 12 m/sec auf 2 m/sec abgebremst.

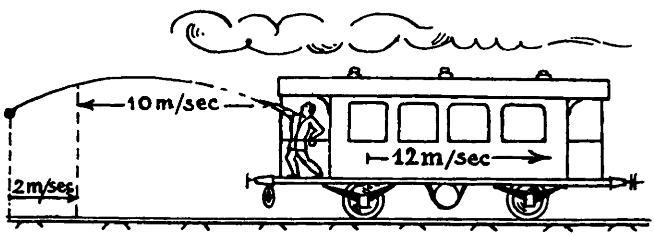


Abb. 17. Beispiel des Steinwurfs aus dem fahrenden Zuge. (Näheres im nebenstehenden Buchtext.)

Dabei werden 144—4 = 140 Arbeitseinheiten frei. Der Mann braucht aber zu dem Wurf nur 100 zu leisten. Der Stein gibt also jetzt scheinbar mehr, sogar 140% von jener Leistung her, die in seine Abstoßung vom Zug gesteckt worden ist, aber eben nur deshalb, weil er auf Kosten der Lokomotiv-Zugkraft vorher auf die Geschwindigkeit des Zuges selbst gebracht worden war.

Nun hinkt dieser Vergleich freilich, denn es erscheint in ihm außer dem Stein noch die Wurfkraft des Mannes und die Zugkraft der Lokomotive. Eigentlich sollten wir Steine haben, die von selbst aus dem Zuge springen und die eben durch den Rückstoß ihres Sprunges den Zug erst in Bewegung setzen. Solche Steine gibt es freilich nicht, aber nichts hindert, daß wir uns einen Waggon voll lebendiger Frösche vorstellen, die der Reihe nach mit gleicher Geschwindigkeit nach rückwärts abspringen. Man könnte geneigt sein bei flüchtigem Überlegen zu glauben, daß bei dem Anwachsen des Wirkungsgrades auf über 100% die Triebwirkung sich ins Unermeßliche steigern muß, wenn das immer so weitergeht. Aber man darf nicht vergessen, daß durch das beständige Abspringen die Zahl der jeweils im Wagen »noch vorhandenen Frösche« fortwährend, und zwar schneller abnimmt, als der

Wirkungsgrad zunimmt. Das Produkt aus beiden ist also doch eine unentwegt abnehmende Zahl.

Professor Oberth hat berechnet, daß man vom wirtschaftlichen Standpunkte bei gleichbleibender Auspuffgeschwindigkeit der Gase (c) am besten fährt, wenn die Endgeschwindigkeit der Rakete $V_n = 1{,}593\,c$ ist, d. h. rund 1½mal so groß wie die Auspuffgeschwindigkeit der Gase. Es muß dann das Gewicht der startbereiten Maschine 4,94 oder rund 5mal so groß sein wie das der leeren. Vier Fünftel vom Ganzen müssen die Brennstoffe ausmachen. Dann ist das Verhältnis der zu dem tatsächlichen Antrieb der Rakete ausgenutzten Energie, im Vergleiche zu der in den Brennstoffen als Auspuffgeschwindigkeit enthalten gewesenen, das günstigste mögliche, nämlich 64,7%. Mehr kann also eine Rakete selbst bei vollkommenster Bauart und verlustlosem Arbeiten des Treibapparates bei gleichbleibender Auspuffgeschwindigkeit keinesfalls leisten. Bedenkt man nun, daß das Wesen des Explosionsvorganges ohnehin schon nur einen Teil der ursprünglichen chemisch gebundenen Betriebsstoffenergie in Bewegung umzusetzen gestattet — günstigstenfalls etwa 60 bis 80% — während der Rest zur Erhitzung der Explosionsgase verschwendet wird, dann müssen wir 64,7% erst nochmal mit 80% multiplizieren, um den wirklichen technischen höchstmöglichen Wirkungsgrad der Rakete mit rund 52% zu erhalten.

Dies mag dem Uneingeweihten bedenklich wenig erscheinen. Dagegen ist zu bemerken, daß von unseren bisherigen Verbrennungskraftmaschinen keine einzige einen auch nur annähernd so hohen Wirkungsgrad aufweist. Die besten Dampfmaschinen nützen kaum mehr als 20% der in der Kohle enthaltenen gewesenen Energie aus, die Auto- und Flugzeugmotoren bringen es auf 33% und die Dieselmaschinen auf 37%.

Es ist aber möglich, den Wirkungsgrad weiter zu steigern, wenn wir auch die Gasauspuffgeschwindigkeit veränderlich halten. Am besten wäre es, könnten wir immer $C = V$, die Ausströmgeschwindigkeit der Explosionsgase gleich der Raketenfahrtschnelligkeit machen, so daß die Gassäule hinter ihr, absolut genommen, im Raume ruhend bleibt. Für diese Art von Fahrt ist dann einfach die durch Brennstoffverbrauch erzielbare Endgeschwindigkeit proportional dem Massenverhältnis, d. h. jede Verdopplung der Ausgangsmasse bringt eine Verdopplung der Geschwindigkeit hervor. Der Wirkungsgrad, den wir oben zu 64,7% berechnet fanden, stiege auf 100% und multipliziert mit den 80% der Explosionswirkung, erhielte die Raketenmaschine den technischen Wirkungswert von 80% in bezug auf die im Betriebsstoff schlummernde chemisch gebundene Energie.

Leider läßt sich dieser ideale Zustand praktisch nicht ganz erreichen, aber es ist sehr wohl möglich, einiges zu tun, indem man nicht mit dem scheinbar besten Brennstoff, der die höchste Auspuffgeschwindigkeit liefert, aus der Ruhelage anfährt, sondern zuerst ein langsamer auspuffendes Gas, dafür aber einen spezifisch möglichst schweren Brennstoff verwendet. Bei Pulverraketen wird man also verschiedene Pulversorten, bei Raketenmaschinen mit flüssigen Brennstoffen verschiedene Triebmittel entsprechend wählen, damit wenigstens in einem möglichst großen Bereich $C = V$ eingehalten werden kann.

Nach Prof. Oberth dürfte es möglich sein, bei Pulverraketen zwischen einer Fahrtgeschwindigkeit der Maschine von 400 bis 2400 m/sec, bei seinen Raketen mit flüssigen Brennstoffen sogar zwischen 400 und 5000 m/sec $C = V$ zu machen. Um dies zu bewirken, gedenkt Prof. Oberth zwei ineinandersteckende, übereinandergestellte Raketen zu verwenden, von denen die untere mit Alkohol und Sauerstoff, die obere mit Wasserstoff und Sauerstoff betrieben wird. Durch entsprechende Zugaben von »Kühlstoffen« für den Anfang der Fahrt läßt sich dabei die Auspuffgeschwindigkeit der Gase wohl bis unter 500 m/sec drücken. Sobald die Rakete diese Geschwindigkeit erreicht hat, hört dann die Kühlmittelzugabe auf, so daß $C = V$ zunächst bis zur mittleren Ausströmungsgeschwindigkeit der Alkohol/Sauerstoffmischung eingehalten wird. Von da ab werden an Stelle des Kühlmittels umgekehrt höherwertige Brennstoffe zugesetzt, welche die Auspuffgeschwindigkeit steigern. Dann bleibt wohl zunächst C gegen V etwas zurück, was aber nichts schadet, da der Wirkungsgrad noch immer ein sehr guter ist. So will Prof. Oberth die untere Alkoholrakete arbeiten lassen, bis sie eine Geschwindigkeit von 4000 m/sec erreicht hat. Erst jetzt beginnt die Wasserstoffrakete ihre Tätigkeit in ihrer vollen, unverbrauchten Kraft und bei den denkbar günstigsten Bedingungen, während die Alkoholrakete, vorher abgekuppelt, zur Erde zurücksinkt, nachdem sie ihren »Vorspann-Dienst« getan, den Panzer der Erdlufthülle durchschlagen und die Wasserstoffrakete schon auf 4000 m/sec beschleunigt hat. Diese kann noch bis zu 5000 m/sec hinauf wieder $C = V$ einhalten und arbeitet dann bis zur höchsten benötigten

Endgeschwindigkeit von absolut 10000 m/sec (warum hier nicht 12000 m/sec s. später) noch außerordentlich vorteilhaft.

Durch die Anordnung einer untern Schubrakete mit Alkoholfüllung erreicht Prof. Oberth aber einen weiteren gewaltigen Vorteil. Ihr Betriebsstoff ist spezifisch 5mal schwerer und die für die Durchschlagung des Luftwiderstandes erforderliche Querschnittsbelastung wird größer. Die Rakete kann also den aus allen anderen Gründen wünschenswerten kurzen, gedrungenen Bau erhalten. Entsprechend stellt sich auch M_0/M_1 5mal günstiger. Der erreichbare Vorteil an Raum- und Gewichtsersparnis ist ganz ungemein groß. Auf Grund genauer Berechnung schreibt Prof. Oberth schon in seinem Buche, »Die Rakete zu den Planetenräumen«, dem Sinne nach: Wollte man, an Stelle der soeben besprochenen Verbindung einer unteren Alkoholrakete mit einer oberen Wasserstoffrakete nur Wasserstoffraketen nehmen, die das gleiche leisten sollen, so würde der ganze Apparat 5mal so lang, 125mal so voluminös und 18mal so schwer.

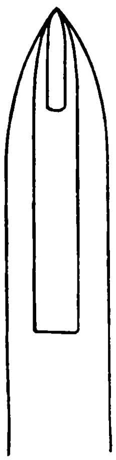


Abb. 18. Dreifach übereinandergestellte Raketen.

Auch abgesehen von der verschiedenen Betriebsstoffgattung bringt nämlich das Übereinanderstellen von zwei Raketen, davon die untere abgekuppelt wird und zurückfällt, sobald ihre Betriebsstoffe verbraucht sind, einen sehr wertvollen Gewinn für die Endgeschwindigkeitssteigerung, was man sofort einsieht, wenn man nur bedenkt, daß alsdann die obere frische Rakete die tote Last der Leerhülle der untern Maschine nicht auch noch mitzuschleppen braucht. Wollte man aber unbedingt nur an einer Rakete festhalten, so würde man doch gut tun, verschiedenwertige Brennstoffe zu wählen und die Tankzellen abwerfbar einzurichten.

Wie groß der Vorteil der Abkupplung ist, läßt sich leicht an einem kleinen Beispiel zeigen. Denken wir uns zunächst eine einfache Rakete von 1000 kg Voll- und 100 kg Leergewicht, also $M_0/M_1 = 10$. Dann ist die erreichbare Endgeschwindigkeit (bei konstantem c!) gleich 2,3 c. Nehmen wir nun aber eine Doppelrakete, deren Gesamt-Vollgewicht ebenfalls 1000 kg und deren Gesamtleergewicht auch 100 kg wiegt. Dabei soll die untere Rakete 800 kg voll, 80 kg leer, die obere 200 kg voll, 20 kg leer wiegen. Steigt diese Doppelrakete auf, bis die Betriebsstoffe der untern Maschine verbraucht sind, dann beträgt ihre Endgeschwindigkeit 1,273 c, denn es ist hier $M_0/M_1 = 1000/280$. Kuppeln wir jetzt nicht ab, so muß die obere Rakete die tote Last der untern, d. s. 80 kg, auch noch mitschleppen und die erreichbare Endgeschwindigkeit bleibt wie früher 2,3 *c*. Kuppeln wir aber ab, dann stellt die obere Rakete eine frische, unverbrauchte Maschine für sich, im Massenverhältnis voll zu leer wie 10:1 dar und kann sich selbst aus eigener Kraft nochmal eine Geschwindigkeit von 2,302 *c* erteilen. Dies zu den 1,273 *c* dazu ergibt eine wirkliche Gesamt-Endgeschwindigkeit von 3,575 *c*.

Theoretisch ließe sich durch das Übereinanderstellen von beliebig vielen Raketen, die der Reihe nach abgeworfen werden, sobald ihre Betriebsmittel erschöpft sind, die Endgeschwindigkeit ins Unermeßliche steigern. Praktisch aber dürfte schon die Fünffachrakete kaum noch ausführbar sein. Sie ist aber auch nicht notwendig. Prof. Oberth hat in seinem Buche »D. Rak. z. d. P.« durch unantastbare Berechnungen dargetan, daß tatsächlich schon durch eine Dreifachrakete, bestehend aus einer untern Alkohol- und zwei obern Wasserstoffraketen, die Erreichung einer Endgeschwindigkeit von mindestens 12000 m/sec technisch möglich ist.

Wenn wir hierauf nicht näher eingehen können, so liegt dies daran, daß der eigentliche Beweis nur in der Sprache der höhern Berechnungslehre geführt werden und nur durch die Formeln selbst dem Kundigen überzeugend dargestellt werden kann. Wir glauben aber doch auch schon durch unsere Ausführungen klar gemacht zu haben, daß in Ansehung so kräftiger Triebmittel und der verschiedenen Vorteile, die einen Wirkungsgrad von 70—75% der im Brennstoff chemisch gebundenen Energien herausholen lassen, die Erreichung dieser kosmischen Geschwindigkeit wirklich möglich ist.

Es ist nur noch übrig, die Rolle des Luftwiderstandes und die Verhältnisse beim Raketenaufstieg im Gegensatz zur Geschützgranate zu betrachten.

Das Kanonengeschoß verläßt den Lauf mit seiner höchsten Geschwindigkeit, weil es seinen Antrieb einzig und allein während der ungemein kurzen Zeit erhält, die es braucht, um aus dem Rohre zu fahren. Infolgedessen ist auch der Luftwiderstand bei der erforderlichen Geschwindigkeit von 12000 m/sec, in die seine Überwindung schon eingerechnet werden mußte, so ungemein groß und der Druck gegen das Geschoß so entsetzlich, daß nur schwerste und härteste Stoffe für die Granate verwendet werden konnten. Deshalb war die Granate auch als Reiseschiff ungeeignet.

Anders die Rakete. Diese kann grundsätzlich mit jeder beliebigen Beschleunigung, also auch »ganz langsam« anfahren und sich erst im Laufe von Sekunden oder Minuten, wie es gewünscht wird, auf die verlangte höchste Geschwindigkeit bringen.

Dabei trifft es sich ganz ausgezeichnet, daß die Rakete beim Aufstieg gerade im Anfang, solange sie noch durch die dichtesten Luftschichten stoßen muß, die geringste Geschwindigkeit hat, und erst weiter oben, wo ja die Luftdichte schon stark abnimmt, allmählich jene hohen Geschwindigkeiten annimmt, bei welchen der Luftdruck beträchtlich würde — wenn die Luft noch so dicht wäre, wie am Erdboden. Man könnte glauben, daß es unter diesen Umständen am besten sei, die Raketen nur recht langsam aufsteigen zu lassen.

Das ist nicht richtig. Wir dürfen nicht vergessen, daß die Rakete jede Sekunde mit der Erdschwere kämpfen muß und um jeder Sekunde willen, die sie unnützerweise »länger braucht«, an Geschwindigkeit rund 9,8 m/sec nach oben verliert, weil ihr die Erdschwere so viel in jeder Zeiteinheit wegnimmt. Es gilt also den »goldenen Mittelweg« zu suchen zwischen Skylla und Charybdis. Ohne beiden ihren Tribut gezahlt zu haben, kommt man nicht aus dem Bannkreis des Erdballs.

Prof. Oberth hat sich nun in seinem Buche alle Mühe gegeben, diesen Pfad zu finden, und es ist ihm in der Tat gelungen, die Formeln für die »günstigste Geschwindigkeit« abzuleiten, welche die Rakete in jedem Augenblick, in jeder Höhe (solange sie noch im Luftkreise der Erde ist — später fällt diese Rücksicht weg) einhalten müßte, damit sie am wenigsten nach beiden Seiten hin einbüßt. Leider läßt sich nun diese günstigste Geschwindigkeit aus technischen Gründen wieder nicht genau einhalten. Aber es ist doch glücklicherweise möglich, dem goldenen Mittelweg wenigstens einigermaßen zu folgen. Wür dürfen unbesorgt sein, Prof. Oberths Raketen werden nicht, wie die famose Kugel Barbicanes, schon im Luftmantel der Erde stecken bleiben oder wie zerquetschte Eier ausrinnen, weil sie dem Gegendruck des Luftwiderstandes nicht standzuhalten vermögen.

Sollen mit Raketenmaschinen Menschen befördert werden, dann kommt noch ein weiterer Punkt in die Betrachtung hinein. Der menschliche Körper verträgt nämlich, ohne ernstlich Schaden zu nehmen, in der Lotrechten keine höhere Beschleunigung als das Vierfache der Erdschwerkraft. Schon wenn ein Trambahnwagen rasch anfährt, spüren wir oft sehr unangenehm den Ruck der Beschleunigung.

Dieser Anfahrtsruck nun würde die in einer Rakete reisenden Menschen sofort töten, wenn sie eine zu große Beschleunigung an-nähme. Wenn auch unmittelbare Todesgefahr erst bei einer Beschleunigung von mehr als 100 m in der Sekunde zu erwarten ist, so würden doch die meisten Menschen schon bei 40 Sekundenmetern Geschwindigkeitszuwachs bewußtlos werden. Prof. Oberth nimmt vorläufig an, daß als obere Grenze für bemannte Raumschiffe 30 m Beschleunigung in der Sekunde, bei senkrechter Fahrt nach oben nicht überschritten werden dürfen.

Man verwechsle nicht die Beschleunigung mit der Geschwindigkeit! Diese letzte spüren wir überhaupt nicht, sei sie so groß, wie sie wolle. Wenn der Schnellzug durch die Landschaft mit

Abb. 19. Die Raumfahrer während der freien Fahrt. Jeglicher Andruck hat aufgehört. Engeln gleich schweben die Insassen in ihrer Zelle. Oben und unten verlieren ihren Sinn.

90 km/h rast, so bemerken wir nur deshalb etwas von der Bewegung, weil sie technisch nicht ganz stoßfrei gemacht werden kann. Im Flugzeuge kann man bei abgestelltem Motor, bei geschlossenen Augen, tatsächlich nicht sagen, ob man mit 200 km/h durch die Luft saust oder ob man sich in Ruhe befindet. Und endlich: wir alle fahren ja mit dem Erdball um die Sonne mit der Geschwindigkeit von 30 km/sec, einer dreimal größern also, als wie sie für die Raketenfahrt zum Monde fordern, und doch spüren wir nichts von dieser furchtbaren Schnelle. Nicht die hohen Endgeschwindigkeiten als solche sind daher zu fürchten. Sobald die »freie

Fahrt« im Weltenraum beginnt, werden die Reisenden überhaupt nichts mehr von der Schwere und dem durch sie hervorgerufenen Andruck empfinden, sondern völlig schwerefrei sich fühlen und wie Engel in dem Raumschiffe schweben. Dies nicht etwa erst mit der Annäherung an den schwerefreien Punkt zwischen der Erde und andern Himmelskörpern, sondern schon, sobald der Pilot die Raketenmaschine abstellt und das Raumschiff einfach frei seiner Trägheit gemäß dem Zuge der Schwerekräfte der anwirkenden Himmelsgestirne Folge gibt.

Aus dem soeben Gesagten geht hervor, daß Raketen, welche Menschen befördern sollen, gar keine Wahl in bezug auf die Einhaltung der »günstigsten« Geschwindigkeit haben. Um nicht zu lange gegen die Erdschwere kämpfen zu müssen, wird man eben so schnell auffahren, als es die Insassen auszuhalten vermögen, ohne schwindlig oder bewußtlos zu werden. Sache des Piloten (bzw. eines selbsttätigen Reglers) wird es sein, durch entsprechende Betätigung des Gashebels den Zeiger am Beschleunigungsmesser immer auf dem »roten Strich« zu halten. Jedes Sinken unter diese höchste zulässige Zahl bedeutet Kraftvergeudung in größtem Maße, jedes Überschreiten gefährdet die Gesundheit und unter Umständen sogar das Leben der Reisenden. Da der Mensch im ganzen, d. h. durch Erdschwere und Fahrtbeschleunigung zusammen, einen Andruck von 40 m/sec^2 auf die Dauer aushalten kann, so ist es sogar besser, nicht senkrecht aufzusteigen, sondern, nach Durchfahrung der untersten Luftschichten schräg von der Lotrechten abzubiegen. Dann darf nämlich die Fahrtbeschleunigung größer genommen werden, weil der durch die Erdschwere vernichtete Teil der Gesamtbeschleunigung (mit dem Sinus des Aufstiegwinkels) abnimmt. Dadurch kommt die Raketenmaschine aber früher auf die volle Fahrtgeschwindigkeit und braucht entsprechend weniger Sekunden lang nutzlos gegen das Erdschwerefeld zu kämpfen. Ein Gewinn von 20 Sekunden in der Anfahrtszeit macht schon rund 160 m/sec Ermäßigung der erforderlichen »idealen Antriebsleistung« aus, was ein sehr großer Vorteil ist; wissen wir doch aus dem rüher Gesagten, wie sehr man um jeden m/sec bei den hohen Endgeschwindigkeiten kämpfen muß. Es ist für eine Rakete also keineswegs gleichgültig, ob sie sich auf eine ideale Endgeschwindigkeit von 12000 m/sec oder nur auf 11800 m/sec beschleunigen muß. Da der Mensch nun eben keine größere Gesamtbeschleunigung aushält, so muß man erst recht sehen, daß man wenigstens durch möglichst günstige Wahl der Aufstiegs-kurve noch rettet, was an Energieaufwand zu retten ist. Prof. Oberth hat die »Synergie-Kurven« als Fahrtweg berechnet.

Die Bedeutung der Abfahrtsbeschleunigung erkennt man leicht durch eine kleine Nebenrechnung. Soll eine bemannte Rakete bei senkrechter Auffahrt durch den doppelten Panzer der Erdschwere und des Luftwiderstandes dringen, so muß sie 332 Sekunden lang mit einer lotrechten Aufwärtsbeschleunigung von 30 m in der Sekunde fahren. Dann erreicht sie nach dieser Zeit eine wirkliche Endgeschwindigkeit von 9960 m/sec in einer Höhe von 1653 km über dem Erdboden, in welcher die parabolische Geschwindigkeit wegen der Abnahme der Schwere nach Newtons Gesetz schon nur mehr 9954 m/sec beträgt. Höher braucht sich die Rakete in

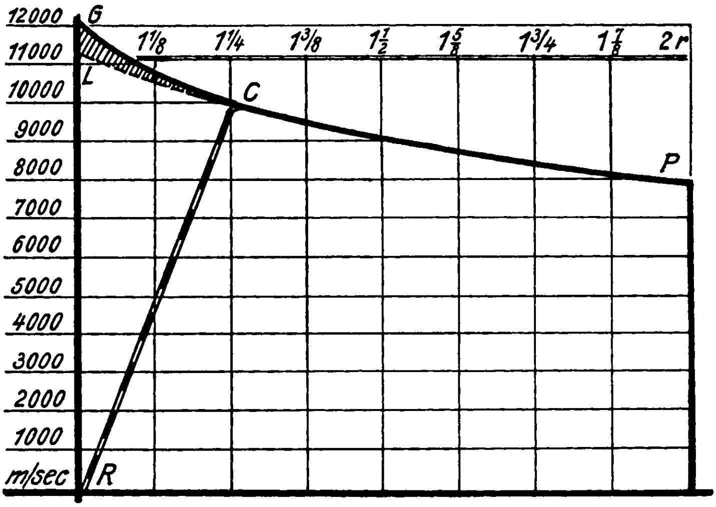


Abb. 20. Schaulinie der Geschwindigkeit beim Aufstieg. *GC* beim Kanonengeschoß, *RC* bei der bemannten Rakete, deren Beschleunigung 30 m in der Sekunde nicht übersteigen darf.

Wirklichkeit gar nicht zu beschleunigen. Aber man darf nicht glauben, daß ihr deswegen etwas geschenkt worden sei. Sie hat während des 332 Sekunden dauernden Aufstieges durchschnittlich 8 m/sec (anfangs 9,81, zuletzt 6,17) infolge der Erdschwerewirkung, d. i. im ganzen 2656 m/sec von ihrer Geschwindigkeit verloren, dazu noch mußte sie den Luftwiderstand überwinden, der 200 m/sec Bremsung bedeutet. Der »ideale Antrieb« der Raketenmaschine muß also so bemessen gewesen sein, daß sie, ohne Luftwiderstand und Erdschwerebehinderung, sich eine theoretische Endgeschwindigkeit von $9960 + 2656 + 200 = 12816$ m/sec erteilt haben würde. Fährt dagegen die Rakete in einer Synergiekurve auf, dann gelingt es, die erforderliche Endgeschwindigkeit schon in einer um $^1/_6$ kürzeren Zeit, etwa in 260 Sekunden zu erreichen. Dann macht die Fahrtänderung durch die Erdschwere nur rund 2000 m/sec statt 2656 m/sec aus und fällt dadurch noch weniger ins Gewicht, daß sie der Bewegung nicht direkt entgegenwirkt, sie also nur zum Teil hemmt. Die erforderliche» ideale Antriebsleistung« entspricht nur einer Endgeschwindigkeit von rund 12100. Unbemannte Maschinen wird man natürlich noch viel schneller sich beschleunigen lassen, am besten so, daß sie immer nahezu mit der oben erklärten, theoretischen »günstigsten« Geschwindigkeit fahren. Prof. Oberth findet dann, daß sein Raketenmodell in diesem Falle nur eine Gesamtverzögerung von 800 m/sec erleidet. Freilich erhält es seine volle Geschwindigkeit von rund 10950 m/sec schon in rund 280 km Höhe, wo die Schwerebeschleunigung noch 8,996 m/sec^2 und die parabolische Geschwindigkeit demnach 10932 m/sec beträgt. Wir müssen also die 800 m/sec zu 10932 m/sec dazuzählen und erhalten eine erforderliche ideale Endgeschwindigkeit von 11732 m/sec.

Fassen wir alles zusammen, was wir bisher über Raketen gesagt haben, so glauben wir, einesteils klar gezeigt zu haben, daß diese Maschinen auch im luftleeren und schwerefreien Raume, und dort gerade am allerbesten, arbeiten können, denn ihr Vortrieb beruht nicht auf dem Sich-Abstoßen von etwas Festem, gleich dem Manne im Boote, der dieses mit einer Stange von der Ufermauer abstößt, sondern auf dem Satz von der Erhaltung des Schwerpunktes und der Kraft des Rückstoßes von selbst ausgeworfenen Massen. Wir glauben auch nachgewiesen zu haben, daß Raketenmaschinen die erforderlichen Endgeschwindigkeiten, die zur Überwindung des Doppelpanzers der Erdschwere und des Luftkreises notwendig sind, zu erreichen gestatten und noch mehr, daß dies sogar bei so geringen Beschleunigungen möglich ist, daß auch Menschen mit solchen Maschinen aufsteigen können. Damit ist aber die Eignung der Raketen zur Raumschiffahrt dargetan.

Die Frage ist nur noch, ob es gelingen wird, derartige Riesenraketen auch technisch herzustellen, ob wir Baustoffe kennen, welche den Beanspruchungen genügen und ob es wirklich möglich ist, alles so trefflich einzurichten, daß auch die willkürliche Betätigung der Maschine ganz und gar vom Kapitän beherrscht wird. Wenn dies in dem Maße gelingt, wie es etwa bei dem letzten wunderbaren »Amerika-Zeppelin« als Luftschiff erreicht ist, dann wird die Weltraum-Schiffahrt zur Tat werden können.

III. Von der Leuchtrakete zum Raumschiff.

Zwei Möglichkeiten gibt es, Raketenmaschinen zu bauen, die in ihrer höchsten Vollendung dem Bannkreise der Erde sich zu entringen vermögen. Der Unterschied zwischen beiden Gattungen besteht im wesentlichen in der Art der verwendeten Brennstoffe, wodurch freilich wieder für sämtliche Maschinenteile selbst eine entsprechend verschiedene Ausbildung bedingt wird. Dagegen unterliegen beide Raketentypen ganz denselben Gesetzen in bezug auf ihre Wirkungsweise, Leistung usf., wie wir schon im vorigen Abschnitt gezeigt haben. Hier braucht uns daher nur mehr die technische Seite dieser Maschinen zu beschäftigen.

Prof. Goddard hat, wie kaum anders zu erwarten, als echter Amerikaner, den von der praktischen Seite näherliegenden, einfacheren Weg eingeschlagen, indem er von der gewöhnlichen Feuerwerksrakete ausging und versuchte, diese Pulverraketen im Sinne unserer Ausführungen im frühern Kapitel zu entwicklen. Prof. Oberth dagegen hat, ganz der wissenschaftlichen Gründlichkeit deutschen Gelehrtentums entsprechend, zuerst den rein rechnerischen Weg betreten, und als er durch die Ergebnisse der mühevollen Untersuchungen zu der Überzeugung gelangt war, daß die Raketen mit flüssigen Brennstoffen den Pulverraketen weit überlegen sein müssen und eigentlich einzig und allein für die Beförderung von Menschen in Betracht kommen können, sich von vornherein diesen zugewandt, wenn auch ihre technische Durchbildung weit schwieriger erscheint, als die der Goddardschen Raketen mit festen Brennstoffen.

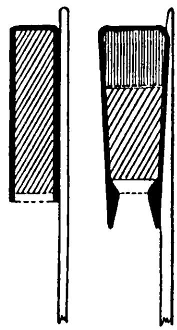


Abb. 21. Einfache u. bessere Feuerwerksrakete im Querschnitt.

Es sei uns gestattet, von der einfachen Leuchtrakete ausgehend über Goddard zu Oberth vorzuschreiten und die technische Entwicklung vom Feuerzauber sommerlicher Nachtfeste zum gewaltigen Riesenraumschiff, das das Sonnenreich durchstürmt, in groben Strichen zu zeichnen.

Die gewöhnlichen Feuerwerksraketen bestehen aus einer einfachen Hülse, meist nur aus steifem Papier, die einseitig fest verschlossen, am andern Ende aber geöffnet ist. Der geschlossene Vorderteil, das Kopfende, ist vielfach nur quer abgestumpft, kaum je abgerundet oder zugespitzt zur Verminderung des Luftwiderstandes, trotzdem dieser auch schon bei den verhältnismäßig geringen Geschwindigkeiten, welche diese Art Raketen erreichen, eine beträchtliche Rolle spielt. Aber man will ja keine gar zu große Höhe erreicht wissen, denn wenn die Rakete zu hoch oben erst explodiert, dann ist die Glanzwirkung für den Beschauer eine verhältnismäßig geringere.

Die Füllung der ganz einfachen Raketen besteht nur aus einem einheitlichen, *langsam* abbrennenden Pulversatz. Sobald dieser verbraucht ist, erlischt die Rakete ohne weitere Erscheinungen. Der beigebundene lange, leichte Stab hat nur den Zweck, ein Sich-Überschlagen der Rakete während des Aufstiegs zu verhindern. Bei den »besseren« Raketen, die am Ende ihres Aufstieges zerplatzend irgendein Feuerkugelspiel, farbiges Licht u. dgl. zeigen, ist die Füllung geteilt in zwei Abschnitte, in den *Treibsatz*, der auch oft mit schmückenden Beigaben gemischt ist, und in den *Kunstsatz*, der im Kopfende der Rakete eingeschlossen, erst zur Entzündung gelangt, wenn der Treibsatz schon abgebrannt ist und die Rakete ihren Höhepunkt erreicht hat.

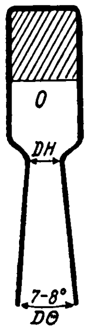


Abb. 22. Schematischer Schnitt durch eine Rakete. *O* Ofen, *DH* Düsenhals, *DÖ* Düsenöffnung. Öffnungswinkel am besten 7—8°.

Die Ausströmungsöffnung, durch welche die Gase des verbrannten Pulvers ihren Ausweg nach rückwärts nehmen, ist bei den ganz einfachen Raketen in keiner Weise besonders geformt, sondern ihre Hülle ist einfach eine zylindrische Röhre. Bei besseren Raketen, die als »Nutzlast« eine erhebliche Menge Kunstsatz in die Höhe tragen sollen, ist diese Öffnung aber meist etwas verengert zum *Düsenhals*, so daß innerhalb ein verhältnismäßig erweiterter Raum, der sog. *Ofen* entsteht, der um so geräumiger wird, je mehr vom Treib-Pulversatz schon verbrannt ist.

Wird nun beabsichtigt, mit derartigen einfachen Pulverraketen eine möglichst große Höhe zu erreichen, so wird man technisch zunächst schon rein äußerlich zwei Verbesserungen anbringen. Man wird der Rakete nämlich jene Gestalt zu geben versuchen, bei welcher der Luftwiderstand so klein als möglich wird und der Düse solche Form geben, daß möglichst viel von der Explosionsenergie in Auspuffgeschwindigkeit umgesetzt wird. Auf Grund zahlreicher Versuche ist nun bekannt, daß für die Verminderung des Luftwiderstandes die Form des sog. deutschen S-Geschosses am vorteilhaftesten ist, während die Düse sich erst verengert, und dann wieder erweitert. Goddard erzielte sehr gute Ergebnisse mit Düsen von 7—8° Öffnungswinkel.

Der Luftwiderstand eines Körpers setzt sich bekanntlich zusammen aus seinem Reibungs- und Formwiderstand. Der erste wird bei glatter Oberfläche, wie etwa poliertem Stahlmantelgeschoß, sehr gering. Der zweite wieder läßt sich zerlegen in den Stirnwiderstand infolge der Zusammendrückung der Luft vor dem bewegten Körper her und in den Sog, den Widerstand infolge der Wirbelbildung hinterher. Für Körper, die sich mit einer Geschwindigkeit in der Luft bewegen, welche kleiner ist als die Ausbreitungsschnelligkeit des Schalles, ist der Sog ebensowichtig wie der Stirndruck. Man muß sie daher nicht nur vorne entsprechend formen, sondern auch ihr rückwärtiges Ende sehr sorgfältig schlank verlaufend bilden, damit die Wirbelungen vermieden werden. Es gibt eine sog. »beste Form«, die man den »Stromlinienkörper« nennt. Sein Formwiderstand gegen die Luft ist rund 18 mal kleiner als der einer kreisförmigen Platte vom nämlichen Querschnitt. (Der Amerika-Zeppelin hat z. B. diese Gestalt erhalten.) Das vordere Ende dieses Stromlinienkörpers ist verhältnismäßig stumpf, das rückwärtige allein läuft spitz aus. Anders ergibt sich die beste Form für Geschosse, die mit Überschallgeschwindigkeit die Luft durchstürmen. Bei ihnen hat sie sowieso nicht mehr Zeit, dem Geschosse zu folgen, es entsteht hinter diesem einfach ein Vakuum. Es ist darum gleichgültig, wie das rückwärtige Geschoßende gebildet ist, man kann es auch quer abschneiden. Dagegen ist die Stirnseite der Granate sehr wichtig für den Widerstand. Es zeigt sich, daß man sie für hohe Überschallgeschwindigkeiten nicht mehr so stumpf machen darf, wie beim Stromlinienkörper, sondern daß sie eine wirkliche Spitze bekommen muß. Der Stirnwiderstand eines solchen Geschosses ist ebenfalls rund 3—4 mal kleiner, wie der einer ebenso großen kreisförmigen Fläche.

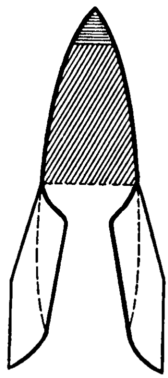


Abb. 23. Einfache Pulverrakete mit verbesserter Spitzenform und Steuerflächen, um den Luftwiderstand zu vermindern und ein Sich-überschlagen zu verhindern.

Wie wichtig die Form der Düse für die Umsetzung der Explosionsenergie in Auspuffgeschwindigkeit ist, das haben zahlreiche Versuche ergeben. Nach den Messungen Prof. Goddards erreicht der thermische Wirkungsgrad bei den gewöhnlichen Feuerwerksraketen kaum 2%, d. h. nur 2% von der im Pulver enthaltenen chemischen Energie werden in Auspuffgeschwindigkeit umgesetzt. Schon bei Düsen von ½ cm Halsweite und 8° Öffnung konnte Goddard aber 30—50% erreichen und bei Düsen von 1 cm Halsdurchmesser und 8° Öffnungswinkel erzielte er gar 57—65 %. Dieser außerordentliche, die besten Dieselmotoren (37 %) weit übertreffende thermische Wirkungsgrad erklärt sich durch die Höhe der Verbrennungstemperatur, durch die geringe Wärmeabgabe durch Leitung, durch das Fehlen der Reibung und durch die Unmittelbarkeit der Energieumsetzung, da ja hier keine Kolben und sonstigen Maschinenteile erst in Bewegung zu setzen sind.

Durch die Beseitigung der beiden größten Mängel der gewöhnlichen Feuerwerksraketen läßt sich demnach schon allerhand erreichen. Es ist doch sehr viel getan, wenn der Stirnwiderstand beim Aufstieg durch die spitze Form auf $\frac{1}{4}$ des sonstigen herabgedrückt und der thermische Wirkungsgrad von 2% auf 65% gesteigert werden kann. Ohne Zweifel wird eine unter Berücksichtigung dieser Vorteile gebaute, sonst nur ganz einfache Pulverrakete schon sehr bedeutende Endgeschwindigkeiten und damit auch Steighöhen erreichen können. (Den Stab der Feuerwerksraketen würde man selbstverständlich durch eine symmetrisch wirkende Anordnung von Steuerflossen zu ersetzen wissen.)

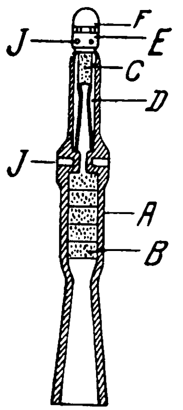


Abb. 24. Schnitt durch eine Goddardsche Doppelrakete.

In seiner Veröffentlichung hat Prof. Goddard keinen bestimmten Apparat beschrieben. Er schlägt bloß vor, das Pulver, in verschiedene Patronen verpackt, nach Art der Maschinengewehre in den Verbrennungsraum einzubringen. Weiterhin gedenkt er natürlich der Übereinanderstellung mehrerer Raketen. Aber auch der Längsschnitt dieser Maschinen ist noch überaus einfach. Jede Rakete besteht aus einer Chromnickelstahlhülse, die den Ofen und die Düse zugleich bildet und dem drehbaren Kopf, der durch einen besonderen, aus spiraligen Düsen heraus brennenden Pulversatz in rasche Rotation versetzt, als Kreisel wirken soll, um die Rakete am Sich-überschlagen zu verhindern. Die obere, kleinere Rakete ist ebenso gebaut und trägt in ihrem Kopfteil noch die emporzutragenden Registrierapparate. Bei dem kleineren Modell ist das Pulver noch unmittelbar, wie bei den Feuerwerksraketen in den Ofenraum gepackt, derart, daß nach Abbrennen der untern Ladung durch eine Zündöffnung das Feuer auf die obere Rakete übergreift und diese in Brand setzt. Die Landung der Registrierapparate wird mittels Fallschirms bewirkt.

Prof. Goddard hat berechnet, daß unter ungünstigen Annahmen 12,6 kg Pulver pro Kilogramm Endgewicht zur Erreichung einer Höhe von 55 km, 89 kg für 368 km und 167,7 kg für 693 km ausreichen werden. Um 1 kg über die Schweregrenze des Erdballs hinauszubringen, errechnet Goddard einen Betriebsstoffverbrauch von 802 kg.

Dies stimmt mit unseren früheren Überlegungen ungefähr überein. Bei einer mittleren Auspuffgeschwindigkeit von 2000 m/sec würde der erforderliche ideale Antrieb von rund 12000 m/sec immer noch das sechsfache, bei nur 1800 m/sec rund das siebenfache von der Auspuffgeschwindigkeit bedeuten. Dann muß die Ausgangsmasse $e^6 = 403{,}4$ bzw. $e^7 = 1096{,}5$ mal so groß sein, als die Endmasse. Goddard scheint also etwa mit 1900m/sec wirklich technisch erreichbarer Auspuffgeschindigkeit bei den Pulvern seiner Raketen zu rechnen.

Daß Goddard auch an die Verwendung flüssiger Brennstoffe gedacht hat, geht aus einer Anmerkung seines Buches hervor. Er hat sich aber vielleicht durch die großen technischen Schwierigkeiten in der Behandlung dieser Triebmittel von ihrer Verwertung abschrecken lassen, freilich um den Preis, auf die Eroberung des Sternenalls durch bemannte Raumschiffe zu verzichten. Für Goddards Pulvermaschinen ist es nämlich schon sehr viel, wenn sie eine geringe Leuchtpulverladung bis auf den Mond zu tragen und durch ihre Entzündung zu beweisen vermögen, daß sie unsern Gruß an den Trabanten wirklich überbracht haben. Einhalb Kilogramm Blitzlichtpulver sollen nach Goddard schon hinreichen, um einen einige Sekunden dauernden Lichtblitz zu erzeugen, der mit unsern Fernrohren auf dem Monde vielleicht wahrgegenommen werden könnte, sieben Kilogramm würden deutlich zu sehen sein. Freilich dürfte man nicht zur Vollmondszeit die Rakete auf dem Monde eintreffen lassen, sondern müßte die Fahrt so bemessen, daß sie den Mond erreicht, wenn er nur eine schmale Sichel ist und uns seine Nachtseite in ganz mattem Erdlichte noch eben zeigt. Für die Beförderung von Menschen bis in den Sternenraum sind Goddards Raketen aber wegen ihres schüttelnden Ganges ungeeignet.

Um so größer ist Prof. Oberths Verdienst, daß er sich, trotz der unzweifelhaft ganz erheblichen, ja auf den ersten Blick geradezu unüberwindlich erscheinenden technischen Schwierigkeiten nicht hat abschrecken lassen, auch die Durchbildung der Raketenmaschine mit flüssigen Treibmitteln in Angriff zu nehmen. Mit den Berechnungen, die wir im vorigen Kapitel besprochen haben, ist es nämlich noch keineswegs getan. Die Betriebsstoffe, welche Prof. Oberth verwenden will, sind besonders bei der Wasserstoffrakete nicht so harmlos und leicht zu handhaben, wie die

Pulver Goddards, die nur vor Stoß und zu hoher Erwärmung geschützt sein müssen, damit sie nicht vorzeitig explodieren. Nicht mit Unrecht hat darum ein hervorragender Naturwissenschaftler, um seine Meinung von der Möglichkeit der Raumschiffahrt befragt, geantwortet: »Die Erreichung des Weltraums ist schließlich auch nur eine Motorenfrage, so wie das Fliegen in der Luft mit Maschinen, die schwerer sind als diese, eine solche gewesen ist; alles übrige ist dann mehr oder minder selbstverständlich.«

Die Schwierigkeiten bei den Raketen mit den flüssigen Betriebsmitteln liegen an drei Punkten. Der erste ist die Mitführung der Treibstoffe an und für sich, der zweite ihre Einbringung in den Verbrennungsraum, der dritte der Schutz der Ofenwand und der Düse vor der furchtbaren, bei der Explosion erzeugten Hitze.

Was den ersten Punkt anlangt, so dürfen wir nämlich nicht vergessen, daß flüssiger Wasserstoff erst bei einer Kälte von -253^0 und flüssiger Sauerstoff bei -183^0 beständig ist, sowie aber die Temperatur über diese tiefliegenden Grade steigt, sich verflüchtigt. Man kann nur bedingungsweise geschlossene, d. h. mit Ventilen versehene Tankräume verwenden, die bei geringem innern Überdruck schon die Entlüftung gestatten. Außerdem ist zu bedenken, daß bei so tiefen Temperaturen die Metallwände derart brüchig werden, daß für den Wasserstoffbehälter wohl einzig und allein Blei einigermaßen noch standzuhalten vermag. Die Wasserstoffrakete Prof. Oberths müßte also erst unmittelbar vor ihrer Auffahrt gefüllt werden und auch für den flüssigen Sauerstoff der Alkoholrakete gilt das nämliche. Das Einfüllen selbst ist sicherlich nicht ungefährlich. Es handelt sich dabei aber nur um ein technisches Hindernis und nicht um ein naturgesetzlich als unübersteiglich anerkanntes und wir dürften darum an sich vertrauen, daß es nach entsprechenden praktischen Versuchen schon gelingen wird, der Sache Herr zu werden. Trotzdem wäre es nach unserem Dafürhalten sehr wünschenswert, wenn es gelänge, auf chemischem Wege Betriebsstoffe herzustellen, welche die Transportschwierigkeiten nicht bieten, die dem flüssigen Wasserstoff und Sauerstoff eigentümlich sind. Bisher sind Versuche in dieser Richtung kaum gemacht worden, weil kein Bedarf nach derartigen Treibmitteln bestand. Für die Alkoholrakete handelt es sich dabei hauptsächlich um den Sauerstoffträger. Da die Rakete vom Luftsauerstoff unabhängig sein muß, so ist sie genötigt, den für die Verbrennung ihres Brennstoffes notwendigen Sauerstoff entweder rein als flüssigen Sauerstoff oder in irgend einer chemischen Verbindung mitzuführen. Der Brennstoff selbst bietet keinerlei Schwierigkeiten. Als solcher kann Äthyl- oder Methyl-Alkohol, auch flüssiges Azetylen verwendet werden. Als Sauerstoffträger wäre — nachdem eben der reine flüssige Sauerstoff die oben erwähnten Schwierigkeiten bietet — eine Verbindung am besten, die sehr sauerstoffreich ist, einen großen Teil ihres Sauerstoffgehaltes leicht abgibt und die im verbleibenden Reste einen Stoff darstellt, der als Kühlstoff erwünschte Nebendienste leistet. Vom thermochemischen Standpunkte wäre vielleicht die Überchlorsäure ($HClO_4$) nicht schlecht, die bei Erwärmung unter Wärmeabgabe zu Chlorwasserstoff und freien Sauerstoff zerfällt. Leider wäre bei Verwendung dieser Verbindung zu befürchten, daß sie die Metallteile zu stark angreift. Aber dagegen läßt sich am Ende Rat schaffen. Jedenfalls wird es zunächst Sache der Chemiker sein, für die Alkoholraketen einen geeigneten Sauerstoffträger zu finden, der bei entsprechenden Eigenschaften vor allem der Bedingung entspricht, daß er eine harmlose, leicht mitzuführende Flüssigkeit vorstellt.

Schwieriger scheint es noch, für die Wasserstoffrakete die Betriebsstoffrage zu lösen. Hier sind ja beide Mittel, der Sauerstoff und der Wasserstoff noch mehr, in reiner Form kaum technisch zu bändigen. Man müßte also hier versuchen, nicht nur den Sauerstoff, sondern auch den Wasserstoff chemisch so weit zu zähmen, daß ihre Mitführung keine besonderen Vorkehrungen erfordert. Jedenfalls muß die Frage der Mitnahme des Betriebsstoffes entweder technisch oder chemisch in befriedigender Weise gelöst werden. Daß dies möglich ist, hat Prof. Oberth in seinem Buche schon angedeutet und Wege dazu gewiesen, den Beweis durch die Probe auf das Beispiel können natürlich erst umfangreiche Versuche ergeben.

Die zweite Schwierigkeit besteht, wie schon erwähnt, in der Notwendigkeit, die Betriebsstoffe in den Verbrennungsraum einzubringen und zugleich in jenen Zustand zu versetzen, der für die möglichst vollkommene Verbrennung günstig ist.

Bei unseren Auto- und Flugzeugmotoren besorgt das Ansaugen des Explosionsgemisches der im Zylinder auf und abgehengehende Kolben selbst beim sog. ersten oder Saughub, in Verbindung mit dem Vergaser. Hier haben wir aber keinen Kolben im Ofen oder in der Düse. Da z. B. während der bereits in Gang befindlichen Verbrennung der im Aufstieg begriffenen Alkoholrakete der Gasdruck im Ofen etwa 20 Atmosphären beträgt, so ist natürlich ein mindestens ebenso hoher Druck notwendig, wenn die Treibstoffe aus ihren Behältern in den Ofen hereinströmen sollen. Technisch kann dieser Druck auf zwei Arten erzeugt werden, entweder durch irgendwelche Pumpen, oder durch entsprechenden Überdruck im Betriebsstoffbehälter selbst.

Man denke zum Vergleich an den Kohlensäuredruck, den man auf Bierfässer wirken läßt, um das Bier durch das Steigrohr zum Ausschenkhahn emporsteigen zu lassen. Auch wird sich jeder, der auf Kriegsflugzeugen geflogen ist, einer Handpumpe erinnern, die dazu da war, um Luftüberdruck im Benzinbehälter zu erzeugen, damit das Benzin durch die Leitung in den Vergaser getrieben wird. Bei den sog. Schweißbrennern oder autogenen Schweißvorrichtungen ist es der Überdruck der in Stahlflaschen auf 150 Atmosphären zusammengepreßten Gase Azetylen und Sauerstoff selbst, der sie aus dem Schlauche treibt. Endlich hat man auch bei den Kriegsflammenwerfern zum Herauspressen des Brennstoffes aus dem Tank angeschlossene Stahlflaschen mit hochkomprimiertem Stickstoff verwendet. Druckpumpen dagegen verwendet die Feuerwehr, wenn sie aus offen fließendem Wasser schöpfen muß und Wasserstrahlen erzeugen soll, die über Haushöhe reichen.

Prof. Oberth hat sich in seinem Buche für Druckpumpen entschieden, und zwar eine Art, deren Wirkungsweise er als seine Erfindung ansehen darf. Gasüberdruck wäre freilich vielmals einfacher, aber wir dürfen nicht vergessen, daß in diesem Falle der ganze Betriebsstoffbehälter unter dem erforderlichen hohen Drucke steht, also auch entsprechend dicke Wände erhalten muß, sodaß das Leergewicht des Raketenschiffs dadurch erheblich zunimmt. Bei den Benzintanks der Flugzeuge genügt ein Überdruck von ¼ Atmosphäre, das spielt für die Wandstärke keine Rolle, bei 20 Atmosphären und mehr ist es aber etwas anderes. Immerhin sind auch technische Anordnungen des Gasdruckverfahrens denkbar, welche den Haupttank nicht unter den hohen Druck stellen, sondern nur jeweils kleine, abwechselnd gefüllte Betriebsstoffzylinder, deren Wandgewicht im Vergleich zur Gesamtrakete keine Rolle mehr spielen würde. Wenn auch heute noch nicht im voraus gesagt werden kann, welches Verfahren am besten geeignet sein wird, die Betriebsstoffe aus den Tankräumen in den Ofen zu bringen, sicher ist, daß diese Aufgabe technisch lösbar ist. Hatten in der Betriebsstoffrage die Chemiker das Wort, hier werden es die Techniker zu schaffen haben.

Es genügt aber nicht, die Treibstoffe einfach in den Ofenraum zu bringen, dies muß zugleich so geschehen, wie es für ihre

Verbrennung am günstigsten ist. Beim Viertaktmotor unserer Autos und Flugzeuge ist das freilich leicht. Hier braucht nicht ein ununterbrochener Strom von explosiblem Gas erzeugt zu werden, sondern jeder Kolben für sich kann sich durch das Ansaugen aus dem Vergaser die notwendige Menge Benzindampf-Luftgemisch heranholen. Es kann daher dieses Gasgemisch schon vor dem Verbrennungsraum im sog. Vergaser hergestellt werden. Das geht bei der Rakete nicht. Hier dürfen die Treibstoffe erst im Verbrennungsraum selbst miteinander gemischt werden und müssen in diesen noch flüssig, wenn auch fein zerstäubt, eingebracht werden. Die Rakete, als Motor betrachtet, ähnelt also gar nicht dem bisherigen Viertakt-Kolbenmotor der Flugzeuge und Automobile, sondern sie stellt eine besondere Form der — bisher noch nicht erfundenen — von den Technikern lang ersehnten Explosionsturbine dar. Wenn man sie schon mit einer bereits bekannten Maschine vergleichen will, so muß man eher zu den Flammenwerfern der Kriegszeit greifen. Bei diesen furchtbarsten Mordmaschinen, die der Krieg hervorgebracht hat, wurde einfach aus einem Schlauch mit Metallmundstück ein flüssiger Brennstoff (wie Benzin, Petroleum u. dgl.) genau so gespritzt, wie man mit dem Gartenschlauch Wasser spritzt. Dieser Brennstoffstrahl wurde an der Mündung entzündet. Da hier der in der Luft enthaltene Sauerstoff die Verbrennung bestreiten mußte, konnte die Flamme nicht in das Rohr zurückschlagen, sondern der Strahl hatte die Möglichkeit zu brennen erst, nachdem er die Mündung verlassen hatte. Da der Luftsauerstoff natürlich nur seine Oberfläche berühren konnte, so vermochte er den 1—3 cm starken Brennstoffstrahl begreiflicherweise nicht sofort vor der Mündung zu verzehren, sondern erst auf einer Strecke von 5 bis 30 m weiter. Im ganzen entstand an Stelle des dünnen Flüssigkeitsstrahles, der sich gezeigt hätte, wenn man ihn nicht entzündet hätte, ein fuchsschwanzartiger, buschigbreiter Feuergarbenstrahl, der bei großen Flammenwerfern 4—6 m im kreisförmigen Querschnitt messen mochte.

In einem sauerstoffreien Raume würden diese Flammenwerfer nicht gebrannt haben, so z. B. in einem mit Kohlensäure gefüllten Keller. Soll ein derartiger Brennstoffstrahl auch dann brennen, so muß man ihm an der Mündung des Schlauches einen entsprechenden Sauerstoffträger zuführen, wie dies beim sog. Knallgasgebläse der Fall ist, nur daß hier die beiden Gase durch ein Doppelhohlmundstück einander erst an der Öffnung zugeführt werden, während es sich bei der Rakete um das — am besten fein zerstäubte — Zusammenbringen der beiden flüssigen Treibmittel handelt. Freilich muß der Zuführungsdruck auch entsprechend hoch genommen werden, daß gegenüber dem im Ofen herrschenden Gasdruck noch ein so reichlich bemessener Überschuß vorhanden ist, damit die Einbringung und Zerstäubung der Mittel in der gewünschten Weise erfolgt.

Wie immer diese Aufgabe technisch gelöst werden möge, in allen Fällen wird der Boden des Ofens der Rakete aus einem ganzen Schwarm solcher Zerstäubungsvorrichtungen bestehen, deren Aufgabe es ist, die beiden, durch Überdruck im Tank oder Pumpenkraft zugebrachten flüssigen Betriebsmittel in den Ofenraum hineinzuzerblasen und zugleich miteinander zu vermischen. Prof. Oberth hat in seinem Buche eine Art für diese Vorrichtung besprochen, außerdem aber dem Verfasser brieflich erklärt, daß er sich auch noch eine ganze Reihe anderer Verfahren ausgedacht habe, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Jedenfalls dürfen wir das Vertrauen haben, daß auch die technische Bewältigung der Pumpen- und Zerstäuberfrage nach entsprechenden Versuchen gelingen wird.

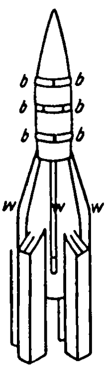


Abb. 25. Außenansicht der Oberth'schen Rakete Modell B, bestehend aus zwei ineinandersteckenden Hauptraketen u. der darunter gestellten Schubrakete. *b—b* Verstärkungsreifen, *w—w* Steuerflügel.

Es ist noch übrig, der ungeheuren Hitze zu gedenken, die im Ofen auf die Brenndauer der Rakete entsteht und die so hoch ansteigen könnte, daß ihr kaum noch ein Metall Widerstand zu leisten vermöchte, wenn keine Vorkehrungen zu ihrer Herabminderung getroffen würden. Der Raketenbauer steht also vor der Aufgabe, alle durch Hitze gefährdeten Teile entsprechend zu kühlen. Das ist am Ende nichts neues, denn dieselbe Aufgabe ist auch bei allen anderen Verbrennungskraftmaschinen zu lösen, ja, sie ist dort noch viel schwieriger, weil diese Maschinen mit ihrem verwickelten Kolbengetriebe einen so vielgestaltigen Bau aufweisen, daß es schwer hält, das Kühlwasser allen Orten genau im erforderlichen Maße zuzuführen. Hier bei der Rakete braucht nur die Ofen- und Düsenwandung gekühlt zu werden. Prof. Obert gibt in seinem Buche auch dazu an, wie er sich diese Frage gelöst denkt. Ohne Zweifel sind auch andere Anordnungen noch möglich. Jedenfalls ist die Schwierigkeit der Kühlung bei Raketenschiffen die geringste von allen dreien und sicherlich technisch überwindbar.

Es ist auch in der ganzen bisherigen Entwicklung unserer Wärmekraftmaschinen höchst bezeichnend, daß alle Versuche, Pulvermotoren zu bauen, immer wieder fehlgeschlagen sind, während die Kolbenmaschinen mit flüssigen Brennstoffen (Benzin, Benzol, Schweröl) in kaum drei Jahrzehnten derartige Fortschritte gemacht haben, daß man heute wohl schon von einer völligen technischen Beherrschung der Viertakt- und Zweitaktmaschinen sprechen darf. Sowohl unsere Auto- und Flugzeugmotore wie auch die Dieselmaschinen der Kraftwerke und Schiffe sind heute soweit entwickelt, daß ihr Leistungsgrad kaum noch gesteigert werden kann. Gerade dieser Umstand ist erst recht im Hinblicke auf die Rakete bedeutungsvoll, denn diese liegt — was für jeden Fachmann sofort erkannt werden muß — geradezu auf der allgemeinen Entwicklungslinie der Verbrennungsmotoren.

Wir glaubten, diese Bemerkungen voranschicken zu müssen, damit die Längsschnitte durch Prof. Oberths Entwürfe zu Raketenmaschinen auch richtig verstanden werden.

Im Gegensatze zu Prof. Goddard hat Oberth in seinem Buche ein Raketenmodell vollständig beschrieben und bis auf geringe, aus begreiflichen Gründen geheimzuhaltende Einzelheiten erklärt. Weiters ist aber auch der Schnitt durch ein großes Raketenschiff gegeben, welches schon zur Personenbeförderung eingerichtet ist. Wir entnehmen für unsere Zwecke daraus das Folgende.

Als »Modell B« bezeichnet Prof. Oberth eine kleine Maschine, deren Aufgabe es ist, lediglich in den höheren Luftschichten Forschungen zu ermöglichen, die mit emporgetragenen Registrierapparaten ausgeführt werden können.

Der eigentliche Apparat besteht aus einer Doppelrakete, einer unteren Alkohol- und einer oberen Wasserstoffrakete, außerdem noch aus einer zuunterst gestellten Hilfsrakete. Das obere Raketenpaar ist von der Spitze bis zur Düsenöffnung 5 m lang, 55,6 cm dick und wiegt 544 kg, die Hilfsrakete ist 1 m dick, etwa 2 m hoch und wiegt 220 kg.

Der ganze Apparat ist dafür berechnet, von 5500 m Höhe über dem Meeresspiegel abzufahren. Sollte er vom Meere selbst aufsteigen, so müßte er, um die notwendige Querschnittsbelastung zu erhalten, doppelt so lang, damit aber auch 8mal so schwer werden.

Die Hilfsrakete hat die Aufgabe, das obere Raketenpaar auf eine Anfangsgeschwindigkeit von 500 m/sec zu bringen. Sie erreicht dies bei 8 Sekunden eigener Brenndauer, worauf sie von der nunmehr Feuer fangenden Alkoholrakete abgestoßen wird. Dies geschieht in einer Höhe von 7700 m über dem Meere. Dort oben beträgt der Gegendruck des Luftwiderstandes bei 500 m/sec als der günstigsten Geschwindigkeit nur mehr 0,2 kg/cm². Als Brennstoffe führt die Alkoholrakete 341,5 kg Wasser, dem 45,8 kg Alkohol beigemischt sind, 1,67 kg rektifizierten Alkohol und 98,8 kg flüssigen Sauerstoff oder die entsprechende Menge stickstoffhaltiger flüssiger Luft mit (in welchem Falle weniger Wasser als Kühlstoff benötigt wird). Die Verbrennungstemperatur im Ofen beträgt 1700—1750° C. Die Düse hat 12,35 cm Halsweite und 29,9 cm Öffnung. Das Gesamtgewicht der vollen Doppelrakete, zu 544 kg gerechnet, ergibt bei einem Gesamtgewicht der Wasserstoffrakete und der leeren Hülle der Alkoholrakete von 56,2 kg ein Verhältnis M_0/M_1 zu 9,7. Prof. Oberth rechnet aber nur mit 9 und gibt auch die Auspuffgeschwindigkeit zu bloß 1400 m/sec an, was sicher viel zu wenig ist. Unter diesen Umständen würde die Alkoholrakete sich und der in ihrer Spitze steckenden Wasserstoffrakete bei einer Brenndauer von 36 bis 40 Sekunden eine Endgeschwindigkeit von 2900 m/sec erteilen, worauf sich die Wasserstoffrakete entzündet und sie zurückläßt. Diese, im ganzen nur 6,9 kg schwer, enthält 1,36 kg flüssigen Wasserstoff und 1,94 kg flüssigen Sauerstoff. Prof. Oberth berechnet, daß sie in einer Höhe von 56 km über dem Meere in Wirksamkeit treten wird. Ihre Brennzeit beträgt wieder nur 8,15 Sekunden, wobei sie ihrer Endmasse von 3,6 kg eine Endgeschwindigkeit von 5139 m/sec erteilt, selbst wenn die Auspuffgeschwindigkeit der Gase nur mit 3400 m/sec angenommen wird.

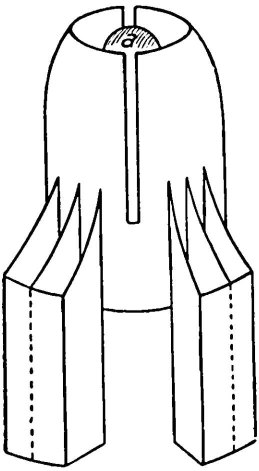


Abb. 26. Außenansicht der Schubrakete des Modells B nach Oberth.

Schon bei diesen sicherlich viel zu gering angesetzten Auspuffzahlen müßte die Rakete Modell B eine Steighöhe von rund 2000 km erreichen können, vermutlich käme sie aber mit den

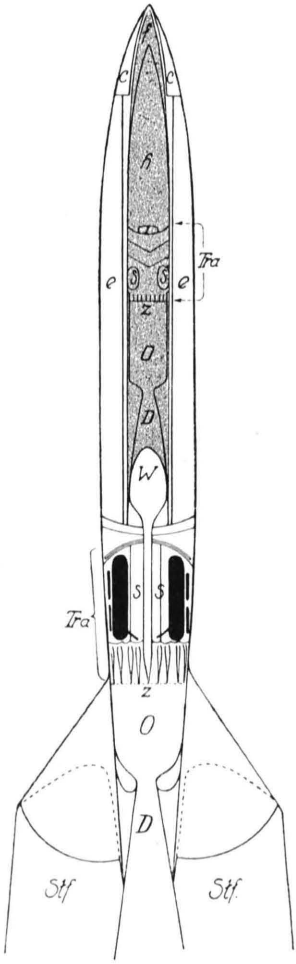
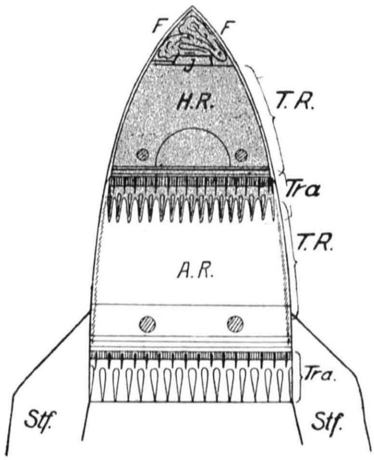


Abb. 27. Vereinfachter Schnitt durch die beiden Hauptraketen des Modells B nach Oberth. *C* auseinanderklappbare Spitze, *f* Fallschirm, *e* Alkohol-Wassertank, *s* Sauerstoffraum, *W* Windkessel, *Tra* Treibapparat, *Z* Zerstäuber, *O* Ofen, *D* Düse, *Stf* Steuerflügel der unteren Alkoholrakete. Die in dieser steckende Wasserstoffrakete ist grau gezeichnet, die Buchstaben haben die entsprechende Bedeutung, nur ist *A* der Tank für flüssigen Wasserstoff und darunter *I* die Kammer für die Nutzlast, d. i. die Registrierapparate.



Lbb. 28. Große Oberth'sche Doppelrakete. *HR* Wasserstoffrakete, *AR* Alkoholrakete, *TR* Tankraum, *Tra* Treibapparat, *Stf* Steuerflügel, *F* Fallschirm, darunter *I* die Beobachterkammer.

angegebenen Triebmitteln mindestens doppelt so hoch. Die Landung wird ev. durch Fallschirm bewirkt. Den ganzen Aufbau der Maschine erkennt man wohl am besten aus einer Längsschnitt- und Außenansichtszeichnung (Abb. 27). Der Steuerung dienen die Schwanzflossensysteme.

Es wurde hier aus technischen Gründen die Wasserstoffrakete ganz in die obere Alkoholrakete hineinverlegt. Diese Anordnung ist nicht mehr nötig bei ganz großen Raumschiffen. Diese haben, ohne schlank zu sein, schon wegen ihres großen Querschnittes eine derartige Höhe, daß die notwendige Querschnittsbelastung leicht erreicht wird. Sie können also auch ohne Schaden unmittelbar vom Meeresspiegel auffahren.

Bei diesen Riesenraketen, die man schon als Vorläufer noch weitaus gewaltigerer Raumschiffe ansehen darf, erscheinen die beiden Einzelraketen übereinandergestellt. Unter der Spitze befindet sich der Fallschirm und abermals unter diesem die freilich etwas enge Kammer für den Beobachter. Sie besitzt bei diesem Modell 1,5—2,5 cm starke Wände aus Aluminium und Fenster, die mit Aluminiumklappen während des Aufstieges geschlossen sind. Ist die Höhe erreicht, so kann der Beobachter die Raketenspitze aufklappen und sich mit seiner Kammer zusamt dem Fallschirm an Drähten von der Rakete abstrecken, um einen freien Überblick nach allen Richtungen des Weltraumes zu haben. Da gar kein Andruck herrscht, ist zur Ausführung dieser Bewegungen kaum nennenswerte Kraft notwendig. Vor dem Abstieg würde der Beobachter sich in seiner Kammer wieder an die Rakete heranziehen.

Prof. Oberth sieht als normal die Landung mit der leeren Rakete vor. Der Fallschirm hat nicht den Zweck, den ganzen Fall der leeren Rakete zu bremsen, sondern hauptsächlich den, ihre Spitze nach oben zu ziehen, so daß sie mit der Düse gegen die Erde fällt. Indem der Beobachter, der durch elektrische Drähte mit der Maschine in Verbindung steht, die Rakete wieder anbrennen läßt, kann er dann durch den Rückstoß der Gase jetzt ebenso den Sturz bremsen, wie er beim Aufstieg dadurch sogar die Beschleunigung nach oben erhalten hat. Da die Leerhülle im Vergleich zu ihrem Querschnitt immerhin sehr leicht ist, wird ihr Fall sich unschwer bremsen lassen. — Die Düse ist bei derartig großen Raketen schon geteilt, und sieht von unten betrachtet, bienenwabenartig aus. Zu jedem Düsenrohr gehört ein besonderer Ofen, der aber zum Druckausgleich durch Fenster mit den Nachbaröfen in Verbindung steht. Die Wabenwände müßten natürlich hohl ausgebildet und inwendig ausgiebig gekühlt werden, wenn sie nicht schmelzen sollen. Auch die Gefahr, daß der Fallschirm verbrennt, läßt sich durch entsprechende Maßnahmen beseitigen.

IV. Der Vorstoß in den Himmelsraum.

Vorausgesetzt, daß sich die technischen Schwierigkeiten überwinden lassen, und wir es bis zur technischen Beherrschung des Raketenmotors als solchen durch entsprechende Vorversuche gebracht haben, würde sich der Vorstoß in den Sternenraum nach der Meinung beider Gelehrten, Goddards wie Oberths, etwa in der folgenden Weise vollziehen.

Man würde zunächst kleine Raketenmodelle herstellen und diese mit einigen Registrierapparaten aufsteigen lassen, um zunächst die stoffliche Zusammensetzung der Luft in jenen Höhen durch das Herabbringen von Luftproben, sowie die Bewegungen in jenen Schichten aus dem Abtreiben der Raketen von der berechneten Bahn zu ergründen. Dabei würde man von geringen Steigleistungen ausgehen und allmählich die Endgeschwindigkeiten steigern, bis auf diese Weise Höhen von 2000—10000 km erreichbar werden.

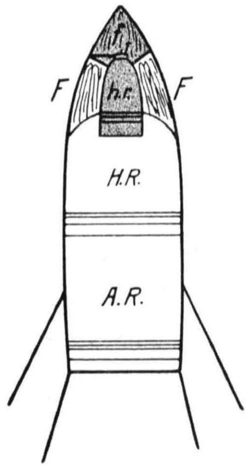


Abb. 29. Schematischer Schnitt durch eine große Oberth'sche Dreifachrakete. *AR* Alkoholrakete, *HR* große Wasserstoffrakete, *hr* obere, kleine Wasserstoffrakete, *f* Fallschirm, *I* Beobachterkammer.

Es läßt sich nicht leugnen, daß derartige Versuche allein um ihrer selbst willen schon wert wären, gemacht zu werden, gar nicht zu reden von dem, was sie als Vorläufer der späteren für diese bedeuten. Sie würden uns schon vieles, was wir heute noch kaum ahnen, über die Grenzen des Luftkreises, seine Stoffnatur, die dort oben herrschenden Temperaturgrade mit Zuverlässigkeit berichten.

Wären auf diese Weise endlich die unteren 10000 km über der Erdoberfläche hinlänglich untersucht, so würde man trachten, etwas stärker gebaute Doppelraketen in immer größere Höhen zu treiben, bis endlich einmal eine solche Maschine nicht mehr zur Erde zurückfällt. Diese Raketen müßten schon mit selbsttätig wirkenden Blinkeinrichtungen versehen werden, damit man sie auf ihrer Bahn verfolgen kann, woraus dann weitere, höchst wichtige Schlüsse über gewisse Zustände im sog. leeren Raume auf rechnerischem Wege gezogen werden können.

Ist es einmal gelungen, Raketen über die Schweregrenze zu bringen und an ihren Bahnen entsprechende Studien zu machen, dann könnte man versuchen, den Mond zu treffen, wobei in der bereits erwähnten Weise das Auftreffen der Rakete sich durch ein bengalisches Feuer bemerkbar machen soll.

Abb. 30. Letztes Teilstück der in Abb. 29 im Schnitt gezeigten Dreifachrakete, wie es im Weltenraume weiterfliegt, nachdem *AR* und *HR* bereits zurückgelassen worden sind.

Es muß etwas Herrliches sein um jene Nächte! Als Astronom an gewaltigem Fernrohre zu stehen und die letzten Lichtblitze des seine Bahn hinstürmenden Raketenschiffs zu sehen, bis endlich auf der Scheibe des Mondes das lohende Flammlicht uns den Sieg menschlichen Geistes und menschlicher Technik über den Abgrund des leeren Raumes verkündigt.

Ist die Beschießung des Mondes bereits soweit entwickelt, daß ein Fehltreffer schon das Gelächter der Rivalen hervorruft, so wird man versuchen, eine noch etwas gewaltigere, aber noch immer unbemannte Rakete rund um den Mond zu schießen, so daß sie wieder zur Erde herabkommt. Ihr würde man dann selbsttätig wirkende Lichtbildkammern oder Filmapparate mitgeben, die unausgesetzt kurbeln, so daß uns die Umfahrung des Mondes im Bilde festgehalten wird. Natürlich müßte man diese Maschine so aufsteigen lassen, daß sie den Mond zur Neumondszeit umkreist, damit sie seine von uns abgewendete Seite unter voller Sonnenbeleuchtung antrifft. Kein Film der Welt, der bisher gemacht worden, würde solchen wissenschaftlichen Wert besitzen, wie dieser Bildstreifen, der uns das, was Jahrtausende vergebens zu ergründen versuchten, mit einem Schlag offenbart.

Während diese Versuche schrittweise vorwärtsgehen, würde man ganz selbstverständlich auch die Versuche mit großen, bemannten Raketen nicht vergessen. Man würde solche natürlich

End-geschwindigkeit km/sec	Steighöhe km
1	68
2	277
3	640
4	1 310
5	1 970
6	3 820
7	6 140
8	11 950
9	29 530
9,5	68 400
10	∞

zunächst auch für geringere Steigleistungen und Endgeschwindigkeiten bauen, damit der Mensch sich langsam an die dabei auftretenden Erscheinungen und Gefühle gewöhnen kann. Übrigens kann man auch vorher schon die Reisenden auf einer gigantischen Zentrifuge bzw. einem großen, entsprechend eingerichteten Karussell auf ihre Andruckfestigkeit prüfen und diese durch Übung vielleicht nicht unerheblich steigern. Die Berechnung sagt uns, wie hoch wir mit Raketenschiffen bei dem zulässigen Antrieb nach oben von 30 m/sec^2 kommen können, wenn die Maschine eine gewisse Endgeschwindigkeit sich zu erteilen vermag (vgl. nebenstehende Tabelle).

Freilich dürften diese Fahrten für den kühnen Pionier des Weltraums, der sie unternimmt, noch keineswegs bequem und angenehm sein. Selbst bei solchen Riesenraketen, wie wir sie nach Prof. Oberths letzten Ausführungen in seinem Buche kennengelernt haben, ist die Beobachterkammer noch sehr eng (vgl. unsere Abb. 29). Auch muß es ein eigentümliches Gefühl sein, zum erstenmale so allein und befreit von aller Schwere, einem Engel gleich in diesem engen Raume herumzuschweben. Nicht umsonst hat daher Prof. Oberth an allen Wänden, auch am Fußboden, Lederschlingen angeordnet (wie sie in unseren Tramwagen hängen), damit sich der Beobachter an ihnen in die gewünschte Lage ziehen kann. Oben und unten haben aufgehört, etwas zu bedeuten.

Abb. 31. Abfahrt einer bemannten großen Oberthschen Rakete zum Mond.

Auch das Essen und Trinken dürfte manche Schwierigkeiten bieten. Wenn Jules Verne die Insassen seines Kanonengeschosses am schwerefreien Punkte eine Flasche Wein leeren läßt, so hat er auch dabei einen Fehler begangen. Von dem Augenblicke an, in welchem die Beschleunigung der Rakete aufhört und sie dem freien Falle, wie ein Stein zuerst noch immer nach oben, nach Erreichung des Höhepunktes nach unten folgt, würde der Wein nicht mehr aus der Flasche fließen und sich in die Gläser füllen lassen. Auch wenn man die Flasche auf den Kopf stellt, fließt kein Tropfen aus. Schwingt man sie aber, dann würde durch die Wirkung der Fliehkraft, die auch da oben gilt, gleich der ganze Flascheninhalt aus dem Halse herausfahren und vor dem erstaunten Beschauer wie eine Kugel sich ballen und frei in der Luft schweben bzw. gegen eine Wand prallen, in soundsoviele kleinere Kugeln zerstieben und das so lange, bis der ganze Raum wie mit einem Nebel aus feinsten Tröpfchen erfüllt ist. Es wird nichts übrig bleiben, als sich an die Schnullerflasche zu gewöhnen.

Nach Prof. Oberth kann der Beobachter auch durch eine Doppeltüre in einem Taucheranzug aus seiner Kammer kriechen und sich, nur durch ein Seil mit ihr verbunden, in den freien Raum begeben. Es ist nur die Frage, ob der Anzug ihn auch genügend vor der Kälte schützen wird. Ein gewöhnlicher Taucheranzug wird jedenfalls nicht zureichen, wenn wirklich die Kälte des umgebenden Weltraumes unter —250° C liegen sollte, was heute als allgemein anerkannt gilt. Vielleicht ist es aber möglich, eine Art Thermosflaschenanzug zu erfinden, der einen Wärmeverlust durch Ausstrahlung seitens des damit Bekleideten fast völlig verhindert d. h. es müßte einfach der Taucheranzug eine spiegelnde Außenseite erhalten. Außerdem kann man die Kammer auf der einen Seite schwarz, auf der andern weiß machen und die schwarze der Sonne zuwenden, ja, wenn es nötig sein sollte, der Kammer parabolische Hohlspiegel mitgeben, so daß die auftreffenden Sonnenstrahlen auf den Beobachter in ihrem Innern gesammelt werden.

Das Gefährlichste an solchen Probefahrten bemannter Raketen ist jedenfalls die Landung. Immerhin wird auch sie zu bewerkstelligen sein. Es ist klar, daß man nicht ohne umfangreiche Vorversuche bemannte Aufstiege veranstalten wird. Und am Ende: Hat nicht auch jeder der ersten Pioniere des Flugwesens bei jedem einzelnen Aufstieg mit den damals noch ganz und gar unsicheren Apparaten sein Leben aufs Spiel gesetzt? Darf nicht ein jeder, der noch zu Ende des Krieges Einfliegedienste auf den Versuchsflugfeldern gemacht hat, dasselbe von sich sagen? Setzen wir nicht das Leben ein, nie wird uns das Leben gewonnen sein!

Sind die Versuche auf beiden Linien (unbemannte Raketen, die bereits den Mond erreichten, bemannte Raketen, die viele 1000 km hoch kamen und glatt landeten), so weit gediehen, so wird der Tag gekommen sein, an welchem sich die erste als Raumschiff anzusprechende Riesenrakete zum Monde empor erhebt, mit der Aufgabe, Menschen als Insassen zu unserem Himmelsbegleiter emporzutragen

Zuerst wird man freilich nur eine Umfahrung des Mondes vornehmen. Es ist eben doch noch eine ganz andere Sache, an den Mond nur bis auf 50 km Höhe über seinem Boden heranzugehen und ihn in dieser Lage wie ein »Mond des Mondes« zu umkreisen, um nachher wieder zur Erde heimwärts zu lenken, oder wirklich auf ihm zu landen. Da der Mond keine bemerkliche Lufthülle haben kann, ist mit einer Bremswirkung eines Fallschirms sowieso nicht zu rechnen, es muß also der ganze Sturz mit Raketengegenrückstoß abgefangen werden, was eine außerordentliche Manövriersicherheit und Brennstoffmitnahme des Raumschiffes erfordert.

Wagt man das erstemal die Landung noch nicht, so ist sie damit sicherlich nur aufgeschoben, denn wenn es schon einmal gelingt, bis auf ein paar Meilen an den Mond heranzukommen, so werden es sich spätere kühne Mondfahrer nicht nehmen lassen, auch die Landung vorzunehmen. Damit ist der erste große Schritt in der Eroberung des Sternenalls getan. Übrigens muß nicht gerade notwendig unser Mond das erste Ziel der Raumfahrer sein. Die Reise zum Mars und die Landung auf diesem oder einem seiner kleinen Möndchen dürfte unter Umständen leichter auszuführen sein als auf unserem eigenen Trabanten.

Die Erreichung des Mondes durch unbemannte Maschinen muß schon verhältnismäßig bald und die Fahrt zu unserem Himmelsbegleiter mit bemannten Raumschiffen voraussichtlich ebenfalls noch in absehbarer Zeit gelingen.

Sind wir einmal so weit, dann mag sich die Menschheit ihre Ziele wiederum höher stecken. Ob sie diese und wie rasch sie dieselben zu erreichen vermag, das hängt hauptäschlich davon ab, ob sich auf der Oberfläche des Mondes jene Stoffe gewinnen lassen, die wir zum Betriebe der Raumschiffe benötigen.

Wie sich die Weltraumschiffahrt von der Stunde an, in welcher der Mensch zum erstenmal den Mondboden betrat, möglicherweise entwickeln wird, das wollen wir versuchen, in dem folgenden letzten Kapitel dieser Schrift zu schildern.

V. Die Eroberung der Sternenwelten.

Unmittelbar von der Erde aus wird es kaum je möglich sein, mit Raketenschiffen der bisher betrachteten Bauart die näheren, geschweige denn die ferneren Wandelsterne zu erreichen, d. h. auf ihnen zu landen und wieder zur Erde zurückzukehren, dagegen dürfte die Fahrt bis zu ihnen hin und zur Erde zurück sich wohl durchführen lassen. Das versteht man sofort, wenn man die entsprechende Energiebetrachtung anstellt.

Jetzt gilt es nämlich, nicht nur das gegenseitige Schwerefeld und Verhältnis Erde-Mond ins Auge zu fassen, sondern die Erde selbst als Planeten anzusehen, der seine Bahn um die Sonne zieht. Unser Heimatstern entwickelt dabei in seinem Lauf eine Geschwindigkeit von etwa 29 km/sec, bezogen auf die Sonne als ruhenden Punkt. Dieser Schnelligkeit entspricht eben die heutige Form der Erdbahn. Könnten wir die Erde im ganzen abbremsen, so daß sie einen Teil dieser 29 km/sec verliert, sie würde sofort aus ihrer jetzigen Bahn abweichen und in einer länglich gestreckten Ellipse zur Sonne hin fallen. Wie nahe dann das Perihel, d. h. der sonnennächste Punkt dem flammenden Tagesgestirn zu liegen kommt, das hängt ganz von dem Betrage ab, bis auf welchen wir die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn herabgemindert haben. Würde sie bis auf Null gebremst, so würde die Erde einfach senkrecht auf den Sonnenball abstürzen. Dasselbe, was wir hier für unsern Heimatstern im ganzen gesagt haben, gilt auch für jeden seiner Teile bzw. für jeden Körper, der mit derselben Geschwindigkeit wie er in seiner Bahn lief.

Nun ist ein Raumschiff, welches in entsprechender Richtung von der Erde aufsteigt und sich bis an die engere Schweregrenze erhebt, wenn seine Geschwindigkeit in bezug auf die Erde grade Null ist, in bezug auf die Sonne mit 29 km/sec in der Erdbahn bewegt. Ist es entgegengesetzt der Erdbewegung um die Sonne aufgestiegen, so schwebt es, kosmisch betrachtet, hinter dem Erdball her, wie ein winziges Boot, das im Kielwasser eines großen Dampfers treibt. Beschleunigt sich nun das Raketenschiff weiter um einige km/sec, seiner Fahrtrichtung um die Sonne entgegen, so wird es, bezogen auf die Sonne, abgebremst und beginnt eine Bahn zu beschreiben, die es der Sonne näher führt. Durch entsprechende richtige Wahl der Bremsungsgröße ist es auf solche Weise möglich, den Sonnennahpunkt der Ellipse an die Venusbahn zu legen oder bis an die Merkurbahn heranzubringen und wenn man die Abfahrtzeit richtig wählt, so

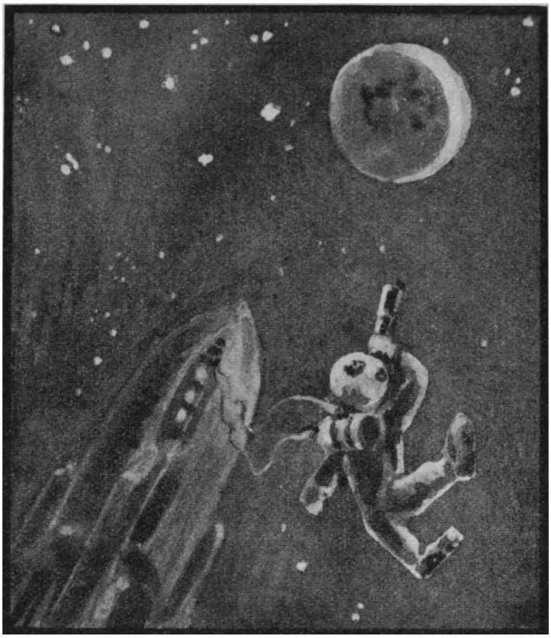


Abb. 32. Der Beobachter im Taucheranzug im freien Weltenraum, nur durch Kabel mit dem Raketenschiffe verbunden, während der Fahrt zum Mond.

kann man es so einrichten, daß man das Perihel gerade durchläuft, wenn auch der betreffende Planet an jener Stelle ist.

So könnte man auch ohne Landung schon sehr wichtige Forschungen über die Oberflächengestaltung dieser untern Wandelsterne machen. Man könnte sich sogar ruhig von Venus oder Merkur als »Mond«, einfangen lassen und diese Gestirne in geringen Entfernungen von $\frac{1}{2}$ oder $\frac{1}{4}$ Millionen km mehrere Male umkreisen, um sich im richtigen Augenblicke von ihnen wieder loszureißen und in einer ähnlichen Ellipse zur Erde zurückzukehren, wobei freilich wieder etwas Energie aufgewendet werden muß, mehr immerhin, als bloß bei einem einmaligen Vorbeifahren im Perihel der Ellipse, ohne Umkreisung der betreffenden Gestirne, aber immer noch bedeutend weniger als bei einer Landung auf ihnen.

Wollen wir von der Erde im Sonnenreiche auswärts fahren, etwa zum Mars oder Jupiter, dann müssen wir das von der Erde aufgestiegene Raumschiff in der Richtung der Erdbahnbewegung noch mehr beschleunigen, damit seine sonnenbezügliche Geschwindigkeit von 29 km/sec auf mehr gesteigert wird. In diesem Falle müssen wir nämlich in eine Ellipse hinein, deren Sonnennahpunkt bei der Erdbahn und deren Fernpunkt bei dem betreffenden Planeten liegt, den wir erreichen wollen. Die Energie, die dazu außer dem Aufstieg im Erdschwerefelde noch für die Fahrt zu einem der oberen Planeten aufgewendet werden muß, liegt zwischen jenen 6,378 Millionen mkg pro Kilogramm des Erdschwerefeldes und 13,6 Millionen mkg pro Kilogramm. Außer der parabolischen Geschwindigkeit zur Erde mit 11182 m/sec, dem Luftwiderstande und Verzögerungsverluste von 2800 m/sec ist nämlich dann noch die Geschwindigkeit in bezug auf die Sonne von jenen 29 km/sec bis auf 42 km/sec zu treiben. Mit einem Worte, ein Raketenschiff, welches bis an die Grenzen des Sonnenreichs in freiem Fluge vorstoßen will, muß sich die Endgeschwindigkeit von etwa 19,1 km/sec erteilen können. Da hievon 4 km/sec durch die Alkoholrakete geleistet werden, würden 15,1 km/sec auf die Wasserstoffraketen entfallen. Die Auspuffgeschwindigkeit zu 4000 m/sec gerechnet, folgt daraus für die Wasserstoffraketen ein Massenverhältnis 43,2:1 für die gefüllte zur leeren Maschine, während für den Aufstieg von der Erde allein bis an deren engere Schweregrenze ein Verhältnis 12,1:1 genügt. Man sieht, daß schon 3,57mal soviele Brennstoffe in der obern Rakete notwendig sind, wodurch bei gegebener Nutzlast auch die Alkohol-Schubrakete entsprechend massiger ausfallen muß. Man erkennt daraus, daß, um nur eine kleine Beobachterkammer für einen einzigen Mann mit den notwendigsten Erfordernissen (deren Gewicht in Anbetracht der langwährenden Reisen im Sonnenreich nicht zu verachten ist) mit solchen Raketen bis zum Jupiter hinaufzusenden, schon ein Apparat notwendig ist, der im abfahrtbereiten Zustande auf der Erdoberfläche einem mittleren Ozeandampfer an Größe und Masse gleicht. Da die Treibstoffe auch nicht gerade billig sind, würde eine solche Fahrt viele Zehner von Millionen Goldmark kosten.

An eine Landung auf den andern Himmelskörpern wäre dabei erst recht nicht zu denken. Um sie z. B. auf Jupiter auszuführen und von diesem Riesen wieder loszukommen, müßte die Rakete sich eine Endgeschwindigkeit vom 172fachen ihrer Gasauspuffgeschwindigkeit erteilen können, woraus ein Massenverhältnis 4,7 Trillionen zu 1 für das Gewicht der vollen zur leeren Rakete folgt.

Einzig und allein unser Nachbar Mars macht hier vielleicht eine löbliche Ausnahme. Zur Fahrt bis zu ihm, hin und zurück, ohne Landung, genügt der Aufwand der 1,5fachen Betriebsstoffe, die zur Reise bis zum Monde nötig sind. Und wenn man schon nicht auf ihm zu landen wagen wollte, so könnte man doch auf einem seiner beiden winzigen Möndchen, Phobos oder Deimos, anlegen und sich von ihnen einige Dutzend Male um den Mars herumführen lassen. Von diesen Möndchen wieder loszukommen ist bei ihrer geringen Anziehung nicht schwer und auch aus dem verhältnismäßig schwachen Schwerefelde des Mars aus der Höhe des Deimos wieder abzufahren erfordert keine übermäßigen Kräfte. Wollte man freilich von Deimos oder Phobos zur Marsoberfläche herabsteigen, dann müßte man auch wieder von ihr emporfahren, was aber immer noch verhältnismäßig leicht ist, wegen der geringen Masse unseres Himmelsnachbars.

Die Fahrt zur Venus kostet an und für sich nicht viel mehr als die zum Mars, aber Venus besitzt leider keinen kleinen Mond, auf dem sich bequem anlegen ließe und der Abstieg zu ihrer Oberfläche sowie der Wiederaufstieg von ihr kosten kaum weniger als ein Aufstieg und eine Landung bei unserem Erdball.

Wären wir für immer darauf angewiesen, mit unseren Raketenschiffen, ohne Möglichkeit, die Tankräume mit Betriebsstoffen nachzufüllen, von der Erde aus abzufahren, dann dürften wir wohl kaum darauf rechnen, die Raumschiffahrt in einigermaßen abzusehender Zeit soweit zu entwickeln, daß Reisen zu den anderen Wandelsternen im Sonnenreiche mit derartiger Sicherheit und Bequemlichkeit möglich sind, wie sie unbedingt erforderlich ist. Glücklicherweise sind wir dies nicht. Wir haben ja unsern Mond! Er kann und muß uns das Sprungbrett ins Sternenall werden, wenn es nur gelingt, auf seiner Oberfläche ein Kraftwerk zu errichten, welches durch Sonnenenergie die Betriebsstoffe für unsere Riesen-Weltraumschiffe erzeugt. Dann brauchten nämlich diese gigantischen Maschinen gar nicht erst zur Erde herabzusteigen, sondern sie würden nur nahe dem schwerefreien

Punkte zwischen Erde und Mond, auf einem künstlichen Mond, der als Umsteigstation dient, anlegen, worauf sie vom Monde aus durch Betriebsstoff-Schleppraketen mit ihren Treibmitteln versehen und vollgefüllt werden, während die Reisenden und die Lebensmittel von der Erde in kleineren Liftraketen zur Umsteigstation emporgebracht werden und erst dort oben das Weltraum-Fernschiff besteigen. In diesem Falle kann sich dann das Riesenraumschiff volle 12 km/sec Beschleunigung ersparen, die es sonst benötigte, um von der Erdoberfläche aufzufahren, kann auch tech-

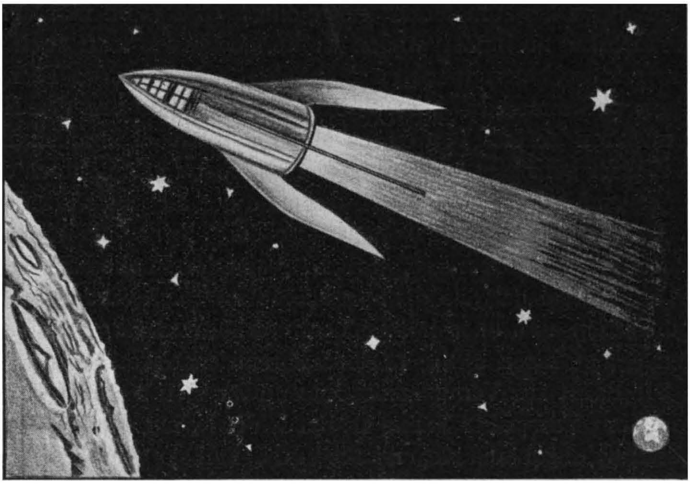


Abb. 33. Dem Ziele nahe. Große Oberthsche Rakete, im Begriffe den Mond zu umkreisen. Im Hintergrunde die Erde.

nisch ganz anders gebaut sein, da es nie einen Luftwiderstand zu überwinden braucht, weil es immer nur im leeren Raume kreuzt. Ein solches Schiff würde fähig sein können, sich eine Gesamtbeschleunigung von 20—25 km/sec zu erteilen, was vollauf hinreicht, alle beliebigen Fahrten im Sonnenreiche ohne Landungen auf den Planeten auszuführen. Für solche müßten vom großen Raumschiff kleine Raumboote ausgesetzt werden, wenn es nicht gelingt, auch bei andern Planeten Umsteigstationen ähnlich jener zwischen Erde und Mond einzurichten.

Wie sich unserer Meinung nach die Eroberung des Sonnenreiches auf diesem Wege praktisch vollziehen würde, das wollen wir noch in den folgenden Zeilen kurz anzudeuten versuchen.

Die Insassen der ersten bemannten Rakete, welche den Mond erreicht, müssen vor allem versuchen, auf ihm irgendwo Eis zu finden. (Nach der Welteislehre des Wiener Ingenieurs Hanns Hörbiger besteht die ganze Mondoberfläche aus Eis, in diesem Falle wäre daran kein Mangel, aber auch fast alle andern Sternforscher sind der Ansicht, daß es Eis auf dem Monde gibt.) Eis ist nämlich nichts anderes als gefrorenes H_2O, d. h. Wasserstoff und Sauerstoff. Gelingt es, Eis zu finden, so signalisieren die beiden Pioniere auf dem Monde sofort durch Lichtblitze zur Erde her, worauf sogleich eine zweite Rakete nur mit einem Piloten aufsteigt (damit sie möglichst viel Nutzlast mitnehmen kann). Bis diese ankommt, schiffen die beiden ersten Männer am Monde alles aus, was sie in ihrem Raumschiffe zu diesem Zwecke mitgenommen haben und suchen einen geeigneten Platz bei dem Eise, für die erste Niederlassung. Selbstverständlich müssen alle Arbeiten, wegen des Luftmangels auf dem Monde in Taucheranzügen ausgeführt werden. Man wird auch den Tag des Eintreffens so gewählt haben, daß für jene Mondlandschaft die Sonne gerade aufgeht. Da der Tag auf dem Monde 14 Erdentage lang währt, so hat man eine geraume helle Zeit vor sich, in der sich schon allerhand machen läßt. Vorläufig muß noch immer die enge Kammer der Rakete als Wohnraum dienen, aber schon entsteht eine kleine Sonnenkraftanlage, die elektrischen Strom erzeugt und das Eis zu Wasser schmilzt und dann elektrolytisch zersetzt, so daß flüssiger Sauerstoff und Wasserstoff daraus gewonnen wird. Inzwischen kommt die zweite Rakete auf dem Monde an. Sie enthält vor allem die notwendigen Bestandteile, um auf dem Monde ein kleines Haus zu errichten, das natürlich luftdicht abgeschlossen sein muß und in das man nur durch Doppelschottentüren gelangen kann. Im Innern dieses Hauses wird dann Luft erzeugt, gleich unserer Erdenluft, so daß sich seine Bewohner in ihm der Taucheranzüge entledigen und ganz auf irdische Weise bewegen können. Reicht eine Nachschubrakete nicht, dann müssen eben noch mehrere, mit Material beladen angefordert werden. Bei dem ungeheuren Energieaufwande, der notwendig ist, um nur 1 kg Last auf den Mond zu bringen, muß freilich die kleine Kolonie auf unserem Himmelsbegleiter daran denken, sich bald von der Erde unabhängig zu machen, wenigstens in bezug auf den Luftbedarf. Sie muß das Sonnenkraftwerk so sehr vergrößern, daß die untertags gewonnene Energie nicht nur genügt, den zum Atmen notwendigen Sauerstoff im Hause und für die Füllung der Taucheranzüge zu liefern, sondern auch so große Wassermengen zu erhitzen, daß das Haus sich über die Mondnacht durch diese Warmwasserheizung auf erträglicher Temperatur erhalten kann. Das Haus selbst wird nach dem Prinzip der Thermosflaschen gebaut sein müssen, dann ist der Wärmeverlust durch Strahlung sehr gering. Weiter soll das Sonnenkraftwerk auch schon flüssigen Wasserstoff und Sauerstoff zur Füllung der Raketen für die Rückfahrt zur Erde liefern.

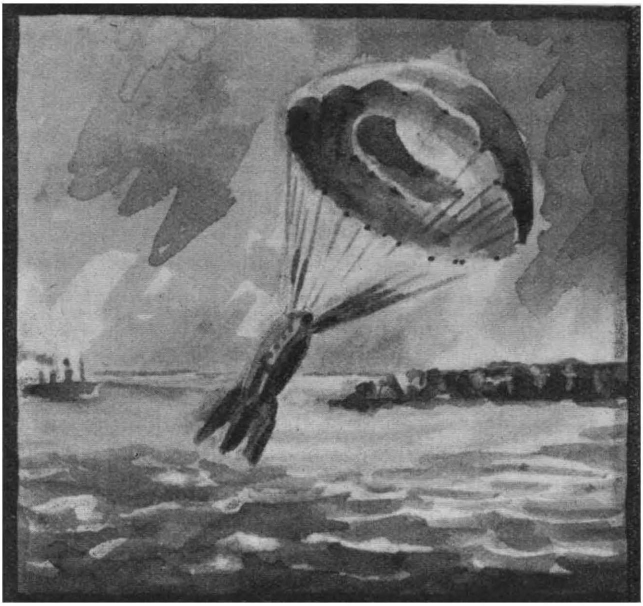


Abb. 34. Glückliche Landung auf der Erde. Die Bremsung des Falles wird natürlich nicht durch den Fallschirm allein, sondern hauptsächlich durch Auspuffgase bewirkt.

Ist es soweit, dann werden alle Mann, bis auf zwei, mit den leeren Raketen zur Erde zurückkehren, man wird diese wieder füllen und so in mehrmaliger Fahrt alles auf dem Monde schaffen, was zur Einrichtung einer dauernden Station dort oben, vor allem aber für die Vergrößerung des Kraftwerks notwendig ist. Im Laufe der Zeit wird man auch stückweise die Hüllenteile zu einem großen Raumschiff hinaufschaffen, das dann im freien Raume zusammengesetzt und vom Sonnenkraftwerk auf dem Monde mit Betriebsstoffen vollgefüllt wird. Dieses Schiff kann dann schon unter recht günstigen betriebstechnischen Aussichten die Reise zum Mars wagen, dort eine Landung auf einem der Marsmonde vornehmen, auf ihm einige Wochen verweilen, genaue Studien der Marsoberfläche anstellen und vor allem auch untersuchen, inwieweit die Marsmonde zur Errichtung einer ebensolchen Station, wie auf dem Erdmond, geeignet sind. Je nach dem Ergebnis dieser ersten Forschungsfahrt wird dann bald ein zweites Raumschiff vom Monde aus abgehen, um nach den Plänen der Ingenieure und den auf unserm Monde gemachten Erfahrungen die kleine Station mit Sonnenkraftwerk auf dem Phobos oder Deimos zu errichten.

Während dies geschieht, kann das Forschungsraumschiff die oben angedeuteten Fahrten zur Venus und zum Merkur, ohne dort zu landen, ausführen.

Aber auch auf dem Monde und der Erde wird man nicht müßig bleiben. Denn der ideale Zustand ist noch lange nicht erreicht. Die Station auf dem Monde ist wohl recht und gut und auch notwendig, aber es ist immer noch eine ungeheure Kraftverschwendung, daß jeder, der in den Weltraum reisen will, zuerst von der Schweregrenze der Erde auf den Mond wieder niedersteigen und von dort wieder emporgehoben werden muß. Alle Arbeit der Raumschiffahrtsingenieure muß sich vielmehr darauf richten, einen künstlichen Mond zu erzeugen, der nahe dem schwerefreien Punkte zwischen Erde und Mond, aber etwas näher bei der Erde als dieser, um die Erde kreist. Es ist übrigens höchst bezeichnend, daß auch der geniale Romanschriftsteller Kurd Laßwitz in seinem Buche »Auf zwei Planeten« die Marsbewohner, die zur Erde gelangt sind, sich einer Umsteigstation, eines über dem Nordpol in 6378 km Höhe schwebenden Ringes bedienen läßt, wie denn auch die kugeligen Raumschiffe der Martianer sich durch Repulsit-Schüsse, also auch Raketenrückstoß, bewegen. In der Tat ist diese Umsteigstation energietechnisch höchst wichtig.

Es mag schwere Mühe genug kosten, allmählich in Stücken die Bestandteile zu einem solchen schwimmenden Monde hinaufzubringen, dessen Größe doch mindestens unseren gewaltigsten Ozeandampfern gleichen müßte, aber wenn es möglich war, den Mond zu erreichen, dann wird es auch möglich sein, diesen künstlichen Mond herzustellen. Auf ihm muß natürlich auch ein ständiger Dienst eingerichtet werden. Zu ihm bringen die Tankraketen vom Monde her die Betriebsstoffe und die Liftraketen von der Erde die Passagiere und Lebensmittel und an ihn legen die großen Raumschiffe für den Fernverkehr im Sonnenreiche an.

Wie schon erwähnt, würde dieser Kunstmond vorteilhaft nahe, aber doch nicht ganz im schwerefreien Punkte zwischen Erde und Mond zu errichten sein, denn in diesem Falle wäre seine Bahn zu labil, und er würde so oft er zwischen Erde und Mond zu stehen kommt, Gefahr laufen, aus seiner Bahn geworfen zu werden. 50000—100000 km über dem Erdmittelpunkte, das würde so die richtige Höhenlage sein. Seine Umlaufszeit um die Erde ist dann durch die Keplerschen Gesetze gegeben. Man könnte aber auch daran denken, den Kunstmond in jener Entfernung von der Erde zu errichten, in der seine Umlaufszeit gerade gleich genau der Erdachsenumdrehung ist. In diesem Falle müßte er 6,04 Erdhalbmesser über dem Meeresspiegel am Äquator der Erde kreisen. Sowohl auf dem künstlichen wie auch auf unserem natürlichen Monde, läßt sich selbstverständlich ein großes Observatorium für kosmische Forschung einrichten. Befreit von dem alles verschleiernden Luftkreis müßten sich schon von hier aus die wunderbarsten Beobachtungen mit den gewaltigen Fernrohren und sonstigen Geräten machen lassen. Eine einzige derartige Warte würde für die Wissenschaft wertvoller sein als alle bisherigen Sternwarten auf der ganzen Erdoberfläche. Auch die Wettervorhersage würde auf eine ganz neue, kosmische Grundlage gestellt werden können, von der Polarlichtforschung u. ä. gar nicht zu reden.

Schluß.

Fassen wir alles zusammen, was wir bisher entwickelt haben, so können wir nun sagen: Gelingt es erst den Mond zu erreichen, dann ist es nur eine Frage der Zustände, die wir auf ihm antreffen, ob sich auf ihm eine dauernde Niederlassung mit Kraftwerk errichten läßt. Nach allem, was wir heute vom Monde wissen, dürfte das möglich sein. Ist dies wirklich so, dann halten wir den Schlüssel zum Sonnenreich und seinen Körpern in unseren Händen. Sei es mit, sei es ohne künstlichen Mond als Umsteigstation, vom Erdmond selbst aus ist es jedenfalls möglich, mit Raumschiffen, die vom dortigen Kraftwerk nachgefüllt werden können, die kosmischen Geschwindigkeiten zu erzielen, welche zur Erreichung aller nähern Mitglieder des Sonnenreiches bis zum Jupiter, ja vielleicht bis zum Saturn hinaus notwendig sind. Auf den kleinern Wandelsternen, wie Merkur, Venus und Mars werden auch Landungen durchführbar sein, nur vor den Himmelsriesen Jupiter und Saturn werden sich unsere Raumschiffe noch hüten müssen. Aber muß es nicht etwas Großartiges sein, sich dem ringgegürteten Wunderplaneten Saturnus auch nur soweit zu nähern, daß wir uns im Kreisel seiner Monde befinden (vgl. das Titelbild dieses Buches)? Muß es nicht etwas ganz Herrliches sein, mit langgeschweiften Kometen um die Wette die Himmelsräume zu durchstürmen? Gewiß!

Genug, reichlich genug des Lohnes für alle unsere Bemühungen — würden wir heute sagen, die wir noch immer an dem Erdboden kleben und nicht einmal dem Luftkreise zu entfliehen vermochten — noch immer nicht genug, viel zu wenig noch, werden diejenigen rufen, welche die Fahrt bis an die Grenzen des Kreises der Wandelsterne schon mitgemacht haben. Zur Milchstraße — so werden jene sagen — gelüstet es uns emporzufahren. Was sind die $4\frac{1}{2}$ Milliarden km Entfernung empor zu Neptun, was sind die kosmischen Geschwindigkeiten von 20, 50 oder gar 100 km/sec, mit welchen wir diese Reisen zurücklegen. Alt und grau wird man, bis man von solcher Fahrt zurückkommt. Ein Schneckentempo, das nur die erbärmlichen Söhne des XX. Jahrhunderts zu befriedigen vermochte.

Wenn die Elektronen in den Kathodenröhren 1000 bis 2000 km/sec und noch viel mehr erreichen, warum sollen wir Menschen nicht auch mit solchen Geschwindigkeiten fahren? Ja wahrhaftig mit der Schnelle des flinksten Boten, der das Sternenall durchstürmt, wollen wir fahren, mit Lichtgeschwindigkeit dahinrasen durch die Räume, 300000 km in einer Sekunde zurücklegen! In $1\frac{1}{2}$ Sekunden schon am Monde vorbeifahren, $8\frac{1}{2}$ Minuten nur zum Fluge bis zur Sonne benötigen, 4 Stunden schon nach unserm Abschied von der Erde dem Neptun einen

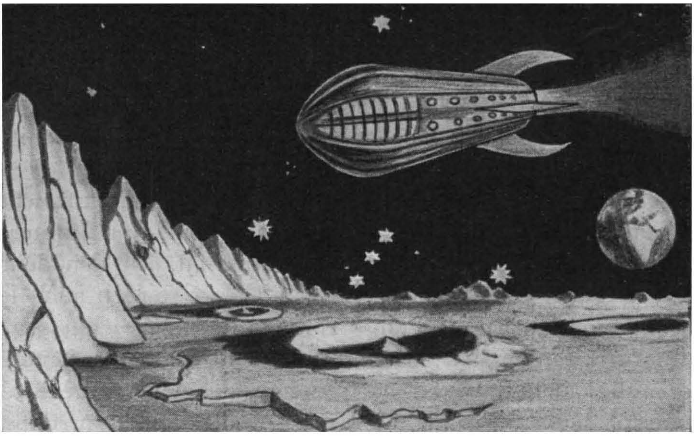


Abb. 35. Zukunftsbild. Großes Raketenraumschiff für Vergnügungsfahrten im Weltenraum über eine Mondlandschaft schwebend.

Gruß zuwerfen, wenn wir seine Bahn kreuzen. So werden jene rufen in den heißen Sitzungen, in welchen um die Eroberung der Fixsternreiche für und wider gestritten wird, unter den Söhnen zukünftiger Jahrhunderte.

Zu kühn scheint uns der Flug solcher Gedanken, zu vermessen, ja geradezu freventlich solches Ansinnen. Und doch, mußte den Menschen des abgelaufenen Jahrhunderts nicht die wirkliche Erreichung des Mondes ebenso vermessen, freventlich kühn erscheinen, während wir, was noch ein Jules Verne bewußt als Phantasie schrieb, heute für technisch möglich halten. In der Tat denkt auch schon Prof. Oberth daran — das sei hier festgehalten — daß es in Zukunft möglich werden möchte, die Auspuffgeschwindigkeit der Gase durch elektrische Beeinflussung bis auf 1000 km/sec und mehr zu steigern, wenn man nur dem Raketenschiff einen großen annähernd parabolischen Spiegel mitgibt, durch den es Sonnenkraft sammeln und die notwendigen elektrischen Energien selbst erzeugen kann. Der Gedanke, die Erscheinungen in den Kathodenröhren unserer Laboratorien für die Raumschiffahrt nutzbar zu machen, ist von Prof. Oberth seit vielen Jahren erwogen worden. Wenn er ihn in seinem Buche nicht schon weiter behandelt hat, dann ist dies nur deswegen geschehen, weil er nicht mit Mitteln arbeiten wollte, deren Anwendungsmöglichkeit heute noch fraglich ist, sondern vielmehr zeigen wollte, daß die Erreichung des Mondes und der näheren Wandelsterne auch schon mit reinen Brennstoffraketen erzwungen werden kann.

— — — — — — — — — — — — — — — — — — — —

Darum dürfen wir den Gedanken, daß Menschen dereinst mit Lichtgeschwindigkeit zu fahren vermögen, nicht an sich verwerfen. Sei es darum, so mögen sie denn die Räume des Weltalls so eilend durchjagen, wie der Bote des Strahl, der uns bis zur Stunde allein Nachricht brachte von Welten und Körpern, die außer uns schweben in den Tiefen des Kosmos. Was würden die Menschen dann wohl erreichen? Dürften sie je sich als Sieger der Welten, als Bezwinger des Alls göttergleich fühlen?

Wohl kaum, denn schon heute wissen wir ein Weniges, was unsere Erwartungen dämpfen muß. Selbst das Licht braucht von dem allernächsten Nachbarfixstern bis zur Erde schon 4,3 Jahre, von anderen Sonnen, die wir zu unsern engern Gefährten in jener Insel des Allraums rechnen, in der wir uns mit unserer Sonne befinden, 10—50 Jahre. Nur wenige Dutzend Sterne stehen unserer Heimat so nahe. Alle übrigen schweben in vielmals entfernteren Räumen, Hunderte, Tausende von Jahren soll auch das Licht gebrauchen uns ihren Gruß zu bringen. Was nützt es darum, mit der Schnelle des Lichtes im Weltall zu fahren? Unermeßliche Öde umgäbe die Reisenden, Monate, Jahre, jahrzehntelang. Nicht nur oben und unten, jeder Begriff der Zeit verlöre den Sinn. Und überhaupt — ob jene die Sterne noch sähen, das ist zu bezweifeln.

Wenn man sich in rascher Fahrt einer Schallquelle nähert, so erhöht sich der Ton, entfernt man sich, so sinkt er hernieder. Dasselbe geschieht auch beim Licht. Bewegen wir uns seiner Quelle entgegen, so werden die Wellen gleichsam gestaucht und das

Licht bekommt eine höhere Farbe, die einer kürzeren Wellenlänge entspricht. Schon bei der Geschwindigkeit eines Geschosses der Schiffsgeschütze macht diese Stauchung einen merklichen Betrag aus. Wie nun erst gar, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung sich der Lichtgeschwindigkeit selbst allmählich nähert. Dann wird die Wellenstauchung sozusagen unendlich scharf für die Sterne, denen wir uns gerade nähern, die Wellenstreckung unendlich groß, für jene, von denen wir uns entfernen. Mit anderen Worten, wir können diese Himmelskörper nicht mehr sehen! Fahren wir von der Erde mit wachsender Beschleunigung ab, sie wird rot und verschwindet, auch die Planeten werden rot und verbleichen und unsere Sonne glost purpurn ehe sie erlischt, vor uns aber die Sterne werden, während unser Raumschiff sich eilend beschwingt, immer blauer, so blau, bis endlich ihr Licht ins Violette umschlägt und plötzlich verschwindet. Unser Auge vermag nicht mehr es zu fassen, so wie auch das Ohr den Ton einer Pfeife nicht mehr hört, wenn dieser »zu hoch« ist. In voller Fahrt werden wir also bei Lichtgeschwindigkeit in der Himmelshalbkugel vor uns keine Sterne mehr sehen, und auch hinter uns gähnt eine furchtbare Öde, nur im Kranze, rings quer zu unserer eigenen Bewegungsrichtung dürften die Sterne noch sichtbar sein (wenn nicht auch hier bei so großen Geschwindigkeiten die uns bekannten Gesetze nicht mehr gelten) augenblickweis, blau auftauchend aus dem vorderen Gevierte und baldigst rötlich glimmend verschwinden. Vergebens durchjagten wir so die Räume, stets könnten wir nur aus unermeßlicher Ferne die Körper herüberglänzen sehen als Sternenpunkte, die in jener Querebene liegen, durch die unsere Fahrt geht, niemals aber vermöchten wir die Körper zu sichten, die uns nahe sind und auf die wir geradenwegs zufliegen, selbst dann nicht, wenn schon in der nächsten Sekunde uns der furchtbare Aufprall auf ihnen in Billionen Atome zerlöst.

Bisher in Buchform erschienene Werke desselben Verfassers:

Gemeinverständliche, himmelskundliche Schriften:

DER STERNE BAHN UND WESEN. 500 S. mit 90 Abb. und 13 Bildern auf 6 Tafeln. R. Volgtländers Verlag in Leipzig. 1924. Preis in Ganzleinen M. 10.—

In einwandfreier, wissenschaftlich unwiderleglicher Weise wird das Unzulängliche des bisherigen Weltbildes aufgezeigt. Nachdem so der Blick des Lesers für die Lücken und Widersprüche der bisherigen Lehrmeinungen geschärft ist, entwickelt der Verfasser ein hinreißendes Bild der in ihrer Geschlossenheit unerreichten Welteislehre, soweit sie die Himmelskunde anlangt. Für jeden Sternfreund ist dieses reiche Werk geradezu eine Offenbarung.

DAS ASTRONOMISCHE ZEICHNEN. 100 S. mit 100 Abb. Verlagsanstalt Tyrolia, München. Preis brosch. M. 1.20, geb. M. 1.60.

Dieses Buch füllt eine Lücke aus. Es ist eine Anleitung für jeden tätigen Freund der Himmelskunde, seine eigenen Beobachtungen nutzbringend festzuhalten und zu verwerten.

DER STERNGUCKER. 52 S. mit 46 Abb. Dritte Auflage. 1922. Verlagsanstalt Tyrolia, München. Preis brosch. M. 1.—.

Eine erste Einführung in die Himmelskunde für jedermann.

WELTENDE. 180 S. mit 13 Abb. und 10 Tafeln. Verlagsanstalt Tyrolia, München. 1922. Preis brosch. M. 3.—.

Ein Buch über die Gefahren, welche unserer Erde und dem organischen Leben auf ihr aus der Natur ihres Innern, aus dem Luftkreise um sie her und auf ihrem Fluge durch die Sternenräume drohen. Im dritten Teile wird das Problem der Annäherung des Mondes an die Erde bis zu der Katastrophe seiner schließlichen Auflösung durchgeführt. Wertvolle Ausblicke ergeben sich auch für die Deutung uralter Sagen und mancher Prophetien über den Weltuntergang. Insbesonders die Apokalypse Johannis findet eine neuartige Erklärung.

MILLIARDENWERTE AUS DEN STERNEN. 32 S. mit 4 Abb. und 1 Tafel. Verlagsanstalt Tyrolia, München. 1922. Preis M. —.50.

Eine Schrift über die von der Welteislehre des Wiener Ingenieurs Hans Hörbiger zu erwartenden wirtschaftlichen Ergebnisse in bezug auf die Vorhersagung der Großwetterlage und des Ernteausfalles auf lange Frist, wie der Entdeckung neuer Kohlen-, Erdöl- und Salzlager.

DIE ENTWICKLUNG UNSERES SONNENSYSTEMS. Nach der kosmotechnischen Lehre dargestellt. 128 S. mit 12 Abb. und 10 Tafeln. Hermann Paetels Verlag in Neufinkenkrug bei Berlin. 1923. Preis brosch. M. 2.—, geb. M. 3.50.

Eine kurzgefaßte Darstellung des kosmogonischen Teils der Welteislehre, bearbeitet auf Grund der neuesten Forschungen Ingenieur Hörbigers.

Philosophische Schriften:

METAPHYSISCHE PROBLEME. 480 S. und 3 Tafeln. Zu beziehen durch Verlag Otto Wilh. Barth (Asokthebu) München. Preis eleg. geb. M. 8.—.

Ein Werk, das sich mit den Fragen von Zeit und Raum, Körper und Geist usw. befaßt. In der Erkenntnis von der Dreifaltigkeit alles Seienden findet es seinen Abschluß.

OKKULTE WELTALLSLEHRE. 360 S. mit zahlreichen Abb. Verlag Otto Wilh. Barth (Asokthebu) München. 1922. Preis geb. M. 5.50, brosch. M. 4.—.

Ein Werk, welches versucht, den wissenschaftlichen Inhalt aus den okkulten Bestrebungen der Gegenwart herauszuschälen.