

---

**A. A. Kosmodemjanski**

**Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski**

Biografien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner Band 43  
1979 , Verlag Mir Moskau, BSB B. G. Teubner Leipzig  
Abschrift und LaTeX-Satz: 2024

<https://mathematikalpha.de>

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einführung</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Erste Schritte in der Wissenschaft</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Arbeiten zur Luftfahrt und experimentellen Aerodynamik</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Arbeiten zur Theorie der Rückstoßbewegung</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Aus der Geschichte der Luftfahrt und der Raketentechnik in Russland</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Raketen für Weltraumflüge und ein „Luftkissen“-Schnellzug</b>	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>Eine neue Wissenschaft - Die Raketendynamik</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Arbeiten zur Theorie interplanetarer Reisen</b>	<b>86</b>
<b>10</b>	<b>Ein großer Wissenschaftler</b>	<b>100</b>
<b>11</b>	<b>Anhang: Der ideale Gelehrte nach den Auffassungen von K. E. Ziolkowski</b>	<b>116</b>

## 1 Vorwort



Abb. 1. Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski im Jahre 1911

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski war ein berühmter russischer Wissenschaftler und Techniker. Er ist unser nationaler Stolz. Ziolkowski machte eine Reihe bedeutender Entdeckungen in der experimentellen Aerodynamik, der Flugmechanik, der Raketendynamik und der Welt- raumfahrt.

Aus seiner Feder stammten originelle Aufsätze zur Geophysik und Biologie, zur Philosophie und Sprachwissenschaft, zur Soziologie und Ethik, zur Astronomie und zu vielen Teilproblemen der Technik.

Der Autor dieses Buches ist Fachmann für theoretische Mechanik. Es werden deshalb die For- schungen Ziolkowskis zur Aerodynamik, Raketendynamik und Raumfahrt hier am eingehends- ten betrachtet werden. Diese Arbeiten Ziolkowskis dienen auch heute dem wissenschaftlich- technischen Fortschritt; sie stehen im Gesichtsfeld der führenden Spezialisten für kosmische Probleme.

Nicht untersucht werden in diesem Buch Ziolkowskis Forschungen zu Problemen der Astro- nomie, der Biologie, der Soziologie und der Philosophie sowie seine Beiträge zu speziellen wissenschaftlich-technischen Fragen.

Im Anhang werden Ziolkowskis Vorstellungen vom idealen Geistesschaffenden betrachtet.

Für den Autor ist Ziolkowski einer der Forscher, die er liebt, und er hat schon viele Artikel über das Schaffen Konstantin Eduardowitschs veröffentlicht. Der Autor bittet deshalb um Nach- sicht, wenn er manchmal von der strengen Darstellung abgeht und sich auf das Gebiet der Intuition und der Romantik begibt, wo schwer etwas zu beweisen ist. Über Ziolkowski nur im „Geiste kühler Betrachtung“ zu schreiben, ist unmöglich. Seine Arbeiten verlangen von dem, der sie studiert, auch die Weisheit des menschlichen Herzens.

Popularisierung, möchten wir dem Verfasser sagen, ist sehr weit entfernt von Vulgarisierung, von Popularitätshascherei. Der populäre Schriftsteller führt den Leser an tiefe Gedanken, an die ernste Wissenschaft heran, indem er von einfachsten und allgemein bekannten Gegebenheiten ausgeht, mit Hilfe unkomplizierter Betrachtungen Oder treffend gewählter Beispiele auf die wichtigsten Schluss- folgerungen aus diesen Gegebenheiten hinweist und den denkenden Leser auf immer neue und neue Fragen stößt.

Der populäre Schriftsteller setzt keinen nicht denkenden, nicht denken wollenden oder nicht denken könnenden Leser voraus - im Gegenteil, er setzt beim unentwickelten Leser die ernste Absicht voraus, mit dem Kopf zu arbeiten, er hilft ihm, diese ernste und schwere Arbeit zu tun, und leitet ihn, indem er ihm hilft, die ersten Schritte zu machen, ihn lehrt, selbständig weiterzugehen (W. I. Lenin, Bd. 5, Berlin 1955, S. 317).

Bei der Niederschrift des Buches war der Autor bestrebt, diesem tieferschürfenden, exakten und klaren Gedanken unseres genialen Lehrers zu folgen.

Während der Vorbereitung des Manuskriptes zum Druck fand ich kräftige Hilfe bei dem Kandidaten der physikalisch-mathematischen Wissenschaften L. W. Glik. Die wissenschaftliche Mitarbeiterin S. A. Sokolowa half bei der Arbeit an unveröffentlichten Archivmaterialien. Beiden sage ich herzlichen Dank.

A.A. Kosmodemjanski

## 2 Einführung

Es ist falsch zu glauben, dass nur der Dichter Phantasie braucht. Das ist ein dummes Vorurteil! Sogar in der Mathematik braucht man sie, sogar die Entdeckung der Differentialrechnung wäre ohne Phantasie unmöglich gewesen. Phantasie ist eine höchst wertvolle Eigenschaft.  
W. I. Lenin

Gegenwärtig erleben wir die größte wissenschaftlich-technische Revolution. Die Meisterung von Prozessen zur Energiegewinnung aus dem Atomkern, die Entwicklung von Überschall-Düsenflugzeugen und weitreichenden Raketen, die verschiedenartigen, manchmal geradezu phantastischen Möglichkeiten schneller elektronischer Rechenmaschinen, Radar und Fernsteuerung haben den wissenschaftlich-technischen Fortschritt unwahrscheinlich beschleunigt. In Industrie und Wissenschaft wurden Kräfte geweckt und organisiert, von denen man in den vorhergehenden Perioden der Menschheitsgeschichte nicht einmal zu träumen wagte.

Man denke nur daran, welche große wissenschaftlich-technische Entdeckungen in den 30er und 40er Jahren unseres Jahrhunderts gemacht wurden; ungeheure Fortschritte machte das Fernsehen (schwarz-weiß und farbig); es begann die Massenproduktion von Rückstoßtriebwerken (Raketentriebwerke und Luftstrahltriebwerke für die Luftfahrt), von elektronischen Rechanlagen (Analog- und Digitalrechner) und von Elektronenmikroskopen, die eine neue Ära der Experimentalphysik, Biologie und Medizin eröffneten. Die Atomenergie wird in großem Umfang genutzt. Atomkraftwerke liefern Elektroenergie an das Netz, man baute atomkraftgetriebene Fracht- und Passagierschiffe, Unterseeboote.

Die ganze Welt kennt die Pionierarbeiten zur Erschließung des Kosmos, die in der Sowjetunion geleistet wurden. 1957 wurde in der UdSSR der erste künstliche Satellit der Erde auf eine elliptische Umlaufbahn gebracht, und 1961 eröffnete Juri Alexejewitsch Gagarin die Epoche der bemannten Weltraumflüge.

Die Erfolge der Lasertechnik und der Mikroelektronik sind noch gar nicht übersehbar (obwohl Transistorrundfunkempfänger in Millionen Stück produziert werden). Wir haben uns daran gewöhnt, dass eine Reise von Moskau nach dem Fernen Osten nur 8-9 Stunden dauert. Fliegt man mit dem Überschallflugzeug TU 144 um 10 Uhr morgens (Ortszeit) aus Chabarowsk ab, so landet man um 8 Uhr morgens (Moskauer Zeit) in Moskau; man hat die Erde in ihrer Drehung um die durch Nord- und Südpol gehende Achse überholt.

Diesen großen Entdeckungen, deren revolutionäre Bedeutung die Menschheit in ihrem gesamten Umfang und ihrer Vielschichtigkeit erst in den letzten 30-40 Jahren zu begreifen begann, liegen eigentlich einfache Naturerscheinungen zugrunde.

Der Hauptinhalt der wissenschaftlich-technischen Erkenntnisse hat sich heute schon in der Praxis bestätigt; darin besteht auch die große Bedeutung dieser Bereiche von Wissenschaft und Technik und ein Garant für unbegrenzte Möglichkeiten weiterer Verbesserungen, Entdeckungen und Erfindungen.

Die in der Geschichte der Zivilisation bedeutsamsten Entdeckungen neuer wissenschaftlich-technischer Fakten und Gesetze, deren Umsetzung in die Praxis heutzutage alle neuen Zweige von Wissenschaft und Technik bereichert, wurden möglich durch die Konzentration der Kräfte und schöpferischen Fähigkeiten von Wissenschaftlern, Ingenieuren und Erfindern vieler Länder. Dieses Buch erzählt vom Leben, von der wissenschaftlichen Arbeit und von den Erfindungen des berühmten sowjetischen Gelehrten Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski.

Die wissenschaftlichen Interessen Ziolkowskis umfassten ein überaus breites Spektrum von Problemen: von der Philosophie und Soziologie bis zu geologisch- biologischen Fragen. Der Autor ist der Auffassung, dass am progressivsten und lebensfähigsten folgende drei Forschungsrichtungen Ziolkowskis waren:

- Arbeiten über die Luftfahrt (dazu gehören Untersuchungen und Lösungsvorschläge für ein lenkbares Luftschiff, für ein Ganzmetallflugzeug, für einen Luftkissen-Flugapparat, sowie der Bau des ersten Windkanals in der Welt mit offener Messstrecke und Arbeiten auf dem Gebiet der experimentellen Aerodynamik).
- Arbeiten über die Raketendynamik (eine hervorragende Folge von Forschungsarbeiten über Raketen großer Reichweite und Raketen zum Flug im kosmischen Raum; eine strenge mathematische Theorie für die Bewegung von ein- und mehrstufigen Raketen mit Flüssigkeitstriebwerken).
- Arbeiten über die Weltraumfahrt (dazu gehören Untersuchungen über den geradlinigen Flug von Raketen im Newtonschen Schwerfeld, die Klärung der Frage, ob Flüge im Sonnensystem realisierbar sind, mit Hilfe der Gesetze der Himmelsmechanik und die eingehende Prüfung mechanischer und physikalischer Probleme unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit, aber auch sorgfältige Erwägungen, wie das Leben der Besatzung während des Fluges zu sichern ist; interessant und aktuell bleiben die Prognosen Ziolkowskis über die Zukunft der nach dem Rückstoßprinzip wirkenden Geräte).

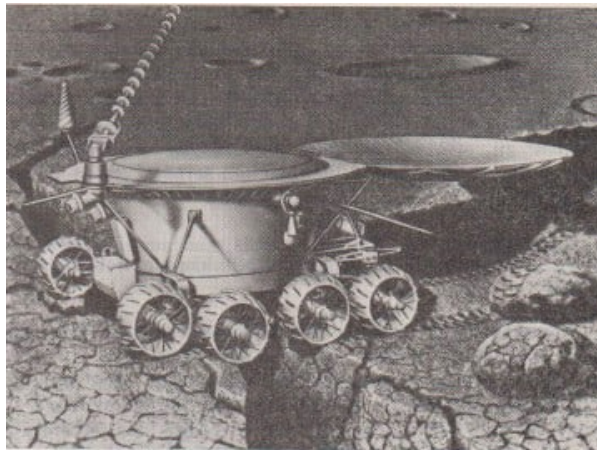


Abb. 2. Lunochod - eine herausragende Leistung der sowjetischen Raumfahrt. Erstmals wurde ein von der Erde aus gelenktes automatisches Fahrzeug auf den Mond gebracht und zu wissenschaftlichen Forschungen eingesetzt

Man muss betonen, dass in den Untersuchungen Ziolkowskis die drei genannten Problemkreise erstmalig wissenschaftlich bearbeitet wurden. Betrachtet man das Lebenswerk Ziolkowskis, so beeindruckt die große und alles verzehrende Leidenschaft, mit der er nach neuen Wegen für den Fortschritt von Wissenschaft und Technik suchte.

Diese Besessenheit, Neues, dem Menschen noch Unbekanntes zu erforschen, gab Konstantin Eduardowitsch auch in den schwersten Augenblicken seines Lebens Kraft. Er schrieb:

Das Leben brachte mir viel Kümmeris, und nur eine Seele, die von einer freudvollen Gedankenwelt überschäumte, ließ mich dies ertragen.

Ziolkowskis Arbeiten über die Raketendynamik sind mit russisch-epischer Breite und kühner Phantasie geschrieben. Seine ersten originellen Berechnungen über die Raketenbewegung stell-

te er 1897 an und veröffentlichte sie 1903. Er begriff als erster die Vorzüge des Rückstoßantriebs für Flüge mit hoher Geschwindigkeit und wies sie exakt nach.

Aus den Berechnungen Ziolkowskis folgt, dass die Rakete die aussichtsreichste technische Lösung ist, um Höhen jenseits der Atmosphäre zu erreichen und kosmische Reisen zu verwirklichen.

Ziolkowskis Schlussfolgerungen aus den betrachteten theoretischen Problemen der Rückstoßbewegung waren logisch einwandfrei und durch ausführliche Berechnungen begründet.

Ohne Berechnungen ging es bei mir nie ab. Sie lenkten meine Gedanken und Träume,

schrrieb Konstantin Eduardowitsch in einem seiner Artikel über die Raketendynamik.

Ziolkowski machte bedeutende Entdeckungen auf dem Gebiet der Luftfahrt. Er entwickelte als erster ein Projekt für ein lenkbares Ganzmetall-Luftschiff mit veränderlichem Volumen, mit einer dünnen, gewellten Metallhülle und aufgeheiztem Gas; er entwarf ein Ganzmetall-Flugzeug als freitragenden Eindecker mit einem Rumpf von guter Stromlinienform, das die Umrissform eines „ohne Flügelschlag schwebenden Vogels“ hatte und „epochemachend in der Entwicklung der Luftfahrttechnik“ war<sup>1</sup>.

Die Notwendigkeit, die Flugeigenschaften des Luftschiffes und des Flugzeuges streng wissenschaftlich zu bestimmen, veranlasste Ziolkowski, einen Windkanal zu bauen (den ersten in der Welt mit offener Messstrecke) und eine lange Reihe von Experimenten mit unterschiedlich geformten Körpern anzustellen. Diese Untersuchungen legten den Grundstein zur „modernen experimentellen Aerodynamik“.

Ein großer Mensch, der die wissenschaftlichen Arbeitsmethoden beherrscht, sieht die weitere wissenschaftlich-technische Entwicklung voraus. Ziolkowskis fruchtbringende Ideen nehmen vor unseren Augen Gestalt an als vielfältige Konstruktionen weitreichender Raketen, lenkbare Luftabwehrraketen, Raumschiffe und immer vollkommenere Überschall-Düsenflugzeuge.

Am 4. Oktober 1957 begann für die Menschheit eine neue Ära - die Ära der intensiven und systematischen Erforschung des Weltraumes. An diesem Tag wurde als erster künstlicher Satellit der Erde ein sowjetischer Sputnik auf die Umlaufbahn gebracht. Erstmals in der Menschheitsgeschichte wurde die Minimumkreisbahngeschwindigkeit von annähernd 8 000 m/s erreicht.<sup>2</sup> Zusammen mit dem Sputnik gelangte die letzte Stufe der Trägerrakete in die Umlaufbahn. Am 2. Januar 1959 errang die sowjetische Wissenschaft und Technik einen neuen bedeutenden Sieg: In der UdSSR wurde der erste Flug zum Mond gestartet, wobei die letzte Stufe der Trägerrakete mit zahlreichen Geräten die Fluchtgeschwindigkeit von 11200 m/s erreichte.<sup>3</sup>

Die Theorie mehrstufiger Raketenflüge begründete K. E. Ziolkowski; 1929 veröffentlichte er in Kaluga die bedeutsame Arbeit „Kosmische Raketenzüge“.

Die Raketentechnik nahm in Russland eine Entwicklung, die viele Erfahrungen einbrachte. Schon in der ersten Hälfte des 19. Jh. entstanden durch die Arbeiten der Militäringenieure A. D. Sassjadko und K. I. Konstantinow Kampfraketen mit Sprengkopf und Rückstoßantrieb auf Schwarzpulvergrundlage, die während der 30er bis 70er Jahre des 19. Jh. in der russischen Armee wohlbekannt waren.

---

<sup>1</sup>E. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. I. Moskau 1951, S. 8, 12.

<sup>2</sup>Als genauere Wert der Minimumkreisbahngeschwindigkeit wird in modernen Arbeiten angeführt:  $v_K = 7912$  m/s (UdSSR) und  $v_K = 7909$  m/s (USA).

<sup>3</sup>Für die Fluchtgeschwindigkeit wird in modernen Arbeiten als genauere Wert genannt:  $v_F = 11189$  m/s (UdSSR) und  $v_F = 11186$  m/s (USA).



Abb. 3. „Wostok“ - eine sowjetische dreistufige Trägerrakete, vielfach eingesetzt, um bemannte Raumflugkörper unterschiedlicher Zweckbestimmung in den Weltraum zu tragen. Diese Rakete brachte am 12.4.1961 den ersten bemannten Raumflugkörper der Welt mit dem Fliegerkosmonauten J. A. Gagarin als Piloten auf die Umlaufbahn



Abb. 4. Ansicht der Triebwerksanlage von „Wostok“

Unter tragischen Umständen, im Kerker, wenige Tage vor der Hinrichtung wegen seiner Beteiligung an der antizaristischen Volkstümlerbewegung, schlug der begabte Chemiker N. I. Kibaltschitsch 1881 den Bau eines Raketenflugapparates vor, der von starken Pulverraketen angetrieben werden sollte.

Ende des 19., Anfang des 20. Jh. schufen Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski und Iwan Wsewolodowitsch Mestscherski die Grundlagen zweier Wissenschaften: der Raketendynamik und der Mechanik von Körpern mit veränderlicher Masse. Ziolkowski arbeitete die Dynamik der geradlinigen Bewegung weitreichender Raketen mit Flüssigkeitstriebwerk im einzelnen aus. Mestscherski veröffentlichte in seinen Hauptarbeiten 1897 und 1904 die Grundgleichungen der Dynamik eines Punktes mit veränderlicher Masse. Sehr gewichtig für die Entwicklung



der Raketentechnik und der Kosmonautik sind auch die Arbeiten von W. P. Gluschko, S. P. Koroljow, M. K. Tichonrawow, F. A. Zander und anderer, die in verschiedenen wissenschaftlich-technischen Handbüchern und Zeitschriften erschienen.

Die Entwicklungsgeschichte der Raketentechnik stellte Prof. N. A. Rynin in seinem neunbändigen enzyklopädischen Werk „Interplanetarer Verkehr“ dar.

Der hervorragende sowjetische Wissenschaftler und Konstrukteur S. P. Koroljow schuf 1940 ein Raketen-Segelflugzeug mit Flüssigkeitsrakentriebwerk, auf dem auch erste Flüge absolviert wurden. Die sowjetischen Piloten I. P. Polunin, N. I. Chramow und E. E. Sawizki führten als erste in der Welt Kunstflugfiguren und meisterhaft eingeübte Gruppenflüge auf schnellen Düsenflugzeugen aus.

Die zweite Hälfte des 20. Jh. ist eine Zeit stürmischer Entwicklung der Flugzeuge mit Strahltriebwerk, der Raketentechnik und der Weltraumfahrt. Die UdSSR verfügt über Raketen aller Klassen und für jeden Verwendungszweck. Hier wurden die ersten interkontinentalen Raketen geschaffen und erfolgreich erprobt. 1950 begann man, mittels Raketen die oberen Atmosphärenschichten zu erforschen.

Wägt man ab, wie sich der weitere Fortschritt der Raketentechnik auf die Entwicklung von Industrie und Wissenschaft aller Länder auswirkt, kommt man nicht umhin, das wissenschaftlich-technische Wirken der Pioniere der Raketentechnik näher zu betrachten. Mit ihren Arbeiten haben sie für diese technische Entwicklungsrichtung eine sichere Grundlage geschaffen.

Die Arbeiten von K. E. Ziolkowski waren in der internationalen wissenschaftlich-technischen Literatur die ersten, die ernsthafte Forschungsergebnisse zur Luftfahrt, Raketendynamik und zur Theorie interplanetarer Flüge enthielten. In diesen Untersuchungen verdecken die mathematischen Formeln und Berechnungen nicht die großen und klaren, originell und genau formulierten Ideen.

Vor nahezu 80 Jahren schloss Ziolkowski ein großes Arbeitsprogramm zur experimentellen Aerodynamik ab und schuf die Theorie des Fluges einstufiger Raketen mit Flüssigkeitstriebwerk (Treibstoffkomponenten: flüssiger Sauerstoff als Oxydator, flüssiger Wasserstoff als Brennstoff). Die moderne Entwicklung von Wissenschaft und Technik bestätigt die Gedanken und Arbeiten dieses genialen Menschen (die aerodynamischen Versuche führte er selbst durch, und er baute auch selbst die Luftschiffmodelle).

Bemerkenswert ist, dass Ziolkowski bei der Entwicklung von Raketen allein die friedliche Verwendung dieser Flugapparate im Sinne hatte. In seinen zahlreichen Veröffentlichungen (mehr als 140) findet sich nicht ein Wort über militärische Anwendungen weitreichender Raketen. Am 12. Mai 1905 schrieb Ziolkowski an die Redaktion der Zeitung „Birshewye wedomosti“:

Bei der Arbeit an Rückstoßgeräten hatte ich friedliche und hohe Ziele: das Weltall zum Wohle der Menschheit erschließen, Raum und von der Sonne ausgestrahlte Energie gewinnen.

Die Zeit, der strenge und erbarmungslose Richter, offenbart und bekräftigt nur die Großartigkeit der Absichten, die Originalität des Werkes und die große Weisheit der Einsicht in das Wesen neuer Gesetzmäßigkeiten von Natur und Technik, die für das Schaffen Konstantin Eduardowitsch Ziolkowskis charakteristisch sind.

Seine Arbeiten helfen den sowjetischen Wissenschaftlern und Ingenieuren kühne Vorhaben zu verwirklichen. Man kann stolz sein auf einen so großen Gelehrten, den Schöpfer neuer Wissenschafts- und Industriezweige.

### 3 Erste Schritte in der Wissenschaft

Ich lernte, indem ich arbeitete. ...

K. E. Ziolkowski

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski war ein hervorragender sowjetischer Wissenschaftler, ein Forschungsingenieur von immenser Schaffenskraft und Beharrlichkeit, ein Mensch mit einem großen und guten Herzen. Weite und Reichtum schöpferischer Phantasie vereinten sich bei ihm mit logischer Konsequenz und mathematischer Exaktheit des Urteils. Er war ein wirklicher Neuerer der Wissenschaft.

Am Ende seines Lebens charakterisierte Ziolkowski seine wissenschaftlich-technische Tätigkeit wie folgt:

Ich bin ein Revolutionär in Wissenschaft und Technik und würde sehr darunter leiden, wenn man mir nicht die Möglichkeit gäbe, beispielsweise an einem Stratosphärenflugzeug oder an der Atomstruktur zu arbeiten. Man kann unmöglich von mir verlangen, dass ich mich ausschließlich auf das Luftschiff konzentriere. In mir verkörpert sich der revolutionäre Geist von Wissenschaft und Technik.<sup>4</sup>

In diesem Buch gilt das Hauptaugenmerk den Forschungen Ziolkowskis, die mit Flugapparaten zu tun haben. Das sind Luftschiff, Ganzmetallflugzeug, Raketen zur Erschließung des Kosmos und Flugzeuge mit Rückstoßtriebwerk.

Luftschiff, Flugzeug und Rakete waren der Mittelpunkt des langen schöpferischen Suchens von Konstantin Eduardowitsch. Aber es wäre falsch anzunehmen, die Skala des wissenschaftlichen Werkes von Ziolkowski beschränke sich auf Probleme des Flugapparatebaus. Er äußerte auch eine Reihe erstaunlich reifer und origineller Gedanken zu Fragen der Astronomie, Geophysik und Biologie. In seiner Autobiographie schreibt er:

Durch meine außergewöhnliche Wissbegierde bin ich Enzyklopädist ... Meine Naturphilosophie, die ich im Laufe des ganzen Lebens erarbeitete und höher stellte als jede andere meiner Beschäftigungen, erforderte ebenfalls Kenntnisse in allen Wissenszweigen.<sup>5</sup>

Astronomie und der Bau des Weltalls beschäftigten Konstantin Eduardowitsch ganz besonders. Er deutete das Weltall vom Standpunkt „kosmischer“ Weltanschauung, wobei er annahm, dass die Vernunft im Laufe der Zeit die ganze Welt beherrschen wird.

Die Astronomie hat mich begeistert, weil ich nicht nur die Erde, sondern zum Teil auch das Weltall als Eigentum des Menschengeschlechts betrachtet habe und bis heute betrachte.<sup>6</sup>

Zu vermerken ist auch, dass aus seiner Feder originelle (jedoch umstrittene) Beiträge stammen zur Philosophie, zur Sprachwissenschaft, zu Fragen einer progressiven Umgestaltung der Gesellschaft und zur Organisation der Industrie auf künstlichen Treibhaus-Rauminseln, die zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter um die Sonne kreisen. Diese Arbeiten Ziolkowskis haben in unseren Tagen heftige Diskussionen unter Wissenschaftlern und Ingenieuren ausgelöst.

Besondere Aufmerksamkeit - sowohl der sowjetischen wie der internationalen Wissenschaft - erlangten die Forschungen Ziolkowskis, die sich auf die Begründung der Theorie der Rückstoßbewegung beziehen. Die Resultate dieser Forschungen sind wichtig für die heutige Raketentechnik und Weltraumfahrt.

Im letzten Viertel des 19. und am Anfang des 20. Jh., als Ziolkowski eine neue Wissenschaft

---

<sup>4</sup>Brief an W. A. Sarsar vom 28. April 1932. K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>5</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>6</sup>Ebenda

schuf, die die Gesetze der Raketenbewegung definierte und erste Konstruktionen zur Erforschung des grenzenlosen Weltraumes mit raketentriebenen Apparaten skizzierte, betrachteten viele den Rückstoßantrieb und die Raketentechnik als eine aussichtslose und von ihrer praktischen Bedeutung her nichtige Angelegenheit, brauchbar nur für Feuerwerk und Festbeleuchtung.

Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski wurde am 17. September 1857 in dem Dorf Ishewskoje, Kreis Spasski, Gouvernement Rjasan, in der Familie des Försters Eduard Ignatjewitsch Ziolkowski geboren. Über seine Eltern schreibt Ziolkowski:

Der Vater war immer kühl, reserviert. Unter Bekannten galt er als kluger Mensch und Redner, unter den Beamten wegen seiner konsequenten Ehrlichkeit als Roter und als unduldsam ... Er hatte eine Schwäche für Erfindungen und für das Bauen. Ich war noch nicht auf der Welt, als er eine Dreschmaschine erdachte und baute. Sie war aber missglückt!

Die älteren Brüder erzählten, dass er mit ihnen Modelle von Häusern und Schlössern bastelte. Vater ermunterte uns zu körperlicher Arbeit, wie auch überhaupt zu selbständigem Tun. Wir machten fast immer alles selbst. Mutter war ein völlig anderer Charakter. Sie hatte eine sanguinische Natur, war heftig, zum Lachen aufgelegt, eine Spöttlerin und war talentiert. Beim Vater stachen Charakter und Willensstärke hervor, bei der Mutter die reiche Begabung.<sup>7</sup>

Die ersten Kinderjahre Konstantin Eduardowitschs waren glücklich. Er war ein lebhaftes, intelligentes Kind, unternehmungslustig und für alle Eindrücke empfänglich. Im Sommer baute der Junge mit seinen Kameraden Laubhütten im Wald, kletterte gern auf Zäune, Dächer und Bäume. Er lief viel herum, spielte Ball, Lapta (ein schlagballähnliches Spiel) und Gorodki (russisches Wurfspiel mit Hölzern).

Oft ließ er Drachen steigen und beförderte an der Schnur „Post“ nach oben - Schächtelchen mit Käfern, Im Winter lief er mit Begeisterung Schlittschuh.

Ziolkowski war acht, als die Mutter ihm einen winzigen Luftballon schenkte, einen sogenannten Aerostat, aus Kollodium geblasen und mit Wasserstoff gefüllt. Der künftige Schöpfer einer Theorie für Ganzmetallluftschiffe beschäftigte sich mit diesem Spielzeug voller Vergnügen. In Erinnerung an diese Kinderjahre schrieb Ziolkowski:

Ich las leidenschaftlich gern und las alles, was ich in die Finger bekommen konnte ... Ich träumte gern und zahlte sogar meinem jüngeren Bruder heim, dass er meine Phantastereien belauschte. Wir waren klein, und ich wollte, dass auch das Haus, die Leute, die Tiere, dass alles andere auch klein sei. Dann träumte ich, ich wäre stark. In Gedanken sprang ich sehr hoch, kletterte wie eine Katze an Stangen und Seilen hoch. Ich träumte, es gäbe gar keine Schwerkraft.<sup>8</sup>

Im zehnten Lebensjahr erkältete sich Ziolkowski beim Schlittenfahren und bekam Scharlach. Die Krankheit war schwer, und infolge einer Komplikation verlor der Junge fast völlig das Gehör. Die Taubheit machte einen weiteren Schulbesuch unmöglich. Später schrieb Ziolkowski:

Die Taubheit macht meine Biographie wenig interessant, denn sie entzieht mich dem Umgang mit Menschen, der Beachtung, dem Austausch. Meine Biographie ist arm an Personen und Begegnungen.<sup>9</sup>

Von 10 bis 14 war Ziolkowskis Leben eine überaus traurige und düstere Zeit ... Ich bemühe mich, mir irgend etwas ins Gedächtnis zu rufen, kann mich aber heute an nichts erinnern. Aus

---

<sup>7</sup>K. E. Ziolkowski: Mein Leben und Arbeiten. In: Sammelband der Aeroflot zu Ehren. Ziolkowskis. Moskau 1939 S. 17.

<sup>8</sup>Ebenda, S. 19

<sup>9</sup>Ebenda, S. 20.

dieser Zeit gibt es keine Erinnerung.<sup>10</sup>



Abb. 5. Kostja Ziolkowski im Jahre 1862

Mit 14 Jahren begann Konstantin Eduardowitsch, sich autodidaktisch zu bilden; er las in der nicht sehr großen Bibliothek seines Vaters, in der es naturwissenschaftliche und mathematische Bücher gab. Es erwachte die Erfinderleidenschaft.

Er bastelte Luftballons aus dünnem Zigarettenpapier, baute eine kleine Drehbank und konstruierte eine Kutsche, die mit Hilfe des Windes fahren sollte. Das Modell der Kutsche war sehr schön gelungen und bewegte sich auf einem Brett am Dach sogar gegen den Wind. Über diese Lebensperiode schrieb Ziolkowski:

Während ich las, entstanden ernstzunehmende Gedankengänge. Mit etwa vierzehn kam mir in den Sinn, über Arithmetik zu lesen, alles erschien mir völlig klar und verständlich. Seitdem habe ich begriffen, dass Bücher eine einfache und für mich durchaus zugängliche Sache sind.

Mit Neugier und Verständnis begann ich einige von Vaters naturwissenschaftlichen und mathematischen Büchern durchzunehmen. Mich begeisterte ein Astrolabium, das Messen der Entfernung zu unzugänglichen Gegenständen, das Aufnehmen perspektivischer Anordnungen, die Höhenbestimmung. Ich richtete mir einen astronomischen Winkelmesser ein. Mit seiner Hilfe bestimmte ich, ohne das Haus zu verlassen, die Entfernung zum Feuerwachstum. Es ergaben sich 400 Arschin. Durch Abschreiten prüfte ich nach, und es stimmte, Seitdem vertraute ich theoretischem Wissen.<sup>11</sup>

Die hervorragenden Fähigkeiten, die Neigung zu selbständiger Arbeit und das zweifellos vorhandene Erfindertalent veranlassten die Eltern, über den künftigen Beruf und die weitere Ausbildung des Sohnes nachzudenken. Konstantin Eduardowitsch war 16 Jahre alt, als sein Vater beschloss, ihn nach Moskau zu schicken. Er sollte die Industrie kennenlernen und sich im Selbststudium weiterbilden, Einer der besten Kenner von Ziolkowskis Lebenslauf, der Ingenieur B. N. Worobjow, schrieb:

Wie so viele Jungen und Mädchen, die in die Hauptstadt strömten, um eine Ausbildung zu erhalten, war er voller überaus rosiger Hoffnungen. Aber niemand dachte daran, dem Jungen aus der Provinz, der mit allen Kräften zur Schatzkammer des Wissens drängte, Aufmerksamkeit zu schenken. Seine schwierige materielle Lage, die Taubheit und Untauglichkeit zu manchen praktischen Dingen des

---

<sup>10</sup>Ebenda, S. 23.

<sup>11</sup>Ebenda, S. 24.

Lebens waren durchaus nicht dazu angetan, seine Talente und Fähigkeiten zu offenbaren.<sup>12</sup>

Von zu Haus erhielt Ziolkowski monatlich 10-15 Rubel. Er nährte sich einzig und allein von Schwarzbrot und hatte nicht einmal Kartoffeln und Tee. Dafür kaufte er Bücher, Retorten, Quecksilber, Schwefelsäure und andere Dinge für die unterschiedlichsten Versuche und für selbstgebaute Apparate. In seiner Autobiographie schrieb Ziolkowski darüber:

Ich erinnere mich, dass ich damals außer Wasser und Schwarzbrot nichts hatte. Alle drei Tage ging ich zum Bäcker und kaufte für 9 Kopeken Brot. So gab ich im Monat 90 Kopeken aus... Meine Ideen machten mich glücklich, und das Schwarzbrot betübte mich nicht im geringsten.<sup>13</sup>

Ziolkowski stellte einfache physikalische und chemische Versuche an, las viel, studierte eingehend Lehrbücher der elementaren und höheren Mathematik, der analytischen Geometrie und höheren Algebra.

Mit bereits 17 Jahren hatte ich mich durch Bücher mit der Differential- und Integralrechnung vertraut gemacht und löste Aufgaben aus der analytischen Mechanik, ohne davon irgendeinen Begriff zu haben. Und ich löste sie, wie sich dann zeigte, richtig,<sup>14</sup>

schrieb Konstantin Eduardowitsch. Oft, wenn er irgendein Theorem untersuchte, bemühte sich Ziolkowski, selbst den Beweis zu führen. Das machte ihm Spaß, auch wenn es ihm nicht immer glückte.

In diesen Jahren beginnt Ziolkowski über die Erschließung des Weltraums durch den Menschen nachzudenken.

Es schien ihm möglich, in den kosmischen Raum aufzusteigen, indem man sich die Zentrifugalkraft zunutze macht. Der Mechanismus des Apparates, den sich Ziolkowski ausgedacht hatte, bestand aus einer geschlossenen Kammer oder einem Kasten, in dem zwei sich oben überschlagende Pendel mit massiven Kugeln an den Enden schwangen. Die Kugeln bewegten sich auf Kreisbögen, und ihre Zentrifugalkraft sollte nach den Vorstellungen des jungen Mannes die Kabine hochheben und in den interplanetaren Raum tragen.

Ich war so aufgeregt, ja, erschüttert, dass ich die ganze Nacht nicht schlief - ich lief ziellos durch Moskau - und dachte immer an die großen Folgen meiner Entdeckung. Aber schon am Morgen ging mir auf, was an meiner Erfindung falsch war. Die Enttäuschung war ebenso stark wie das Hochgefühl vorher. Diese Nacht beeinflusste mein ganzes weiteres Leben; nach 30 Jahren träume ich noch manchmal, dass ich mich auf meiner Maschine zu den Sternen erhebe und spüre die gleiche Begeisterung, wie in dieser unvergesslichen Nacht.<sup>15</sup>

Es ist hervorzuheben, dass die Erfindereinfälle Ziolkowski den Anstoß gaben, sich mit höherer Mathematik, Mechanik, Physik und Chemie zu beschäftigen. Zum Beispiel begann er, sich mit der Aerodynamik zu befassen, um eine Grundlage für die aerodynamische Berechnung eines Luftschiffes zu finden. Organische Chemie studierte er eingehend bei der Suche nach den energiereichsten Treibstoffen für Raketentriebwerke. Seine Untersuchungen zu astronomischen Fragen wurden ausgelöst durch seine immer wache Aufmerksamkeit für die Beherrschung des Weltraums und interplanetare Reisen. In einer seiner Arbeiten schrieb er:

Der Gedanke an einen Verkehr im Weltraum ließ mich niemals los, Er veranlasste mich auch, mich mit der höheren Mathematik zu beschäftigen.

So betrachtete K. E. Ziolkowski Grundlagendisziplinen (Mathematik, Mechanik, Physik, Che-

---

<sup>12</sup>B. N. Worobjow: Ziolkowski. Moskau 1940. S. 25.

<sup>13</sup>K. E. Ziolkowski: Mein Leben und Arbeiten. S. 26.

<sup>14</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>15</sup>K. E. Ziolkowski: Mein Leben und Arbeiten. S. 26.

mie) als unentbehrliches Instrumentarium bei der konkreten Untersuchung technischer Probleme. Hier einige der Fragen, die den jungen Ziolkowski besonders bewegten:

Ist es nicht möglich, die Bewegungsenergie der Erde praktisch auszunutzen? Damals fand ich die Antwort: Es ist unmöglich.

Ist es nicht möglich, einen Zug so um den Äquator fahren zu lassen, dass es darin durch die Zentrifugalkraft keine Schwere gibt?

Ich antwortete mir abschlägig. Luftwiderstand und vieles andere lassen das nicht zu.

Ist es nicht möglich, einen Luftballon aus Metall zu bauen, gasundurchlässig und ewig in der Luft schwebend? Ich antwortete: Es ist möglich.

Ist es nicht möglich, in Hochdruck-Dampfmaschinen den Abdampf nutzbar zu machen? Ich fand, dass auch das möglich ist.<sup>16</sup>

Bemerkenswert ist die völlige Unabhängigkeit des jungen Mannes. Er stellte ein Programm für seine theoretischen Studien und Versuche auf. Systematisch arbeitete er in der Bibliothek und nutzte ausgiebig von hervorragenden russischen Gelehrten verfasste Lehrbücher über Mechanik, Physik, Chemie und Mathematik.

So arbeitete Ziolkowski, nachdem er ein Physiklehrbuch für Mittelschule studiert hatte, sorgfältig das Lehrbuch der Experimentalphysik von F. F. Petruschewski, Professor an der Petersburger Universität, durch. In Chemie machte er ausführliche Konspekte aus Professor D. I. Mendelejews berühmtem Buch „Grundlagen der Chemie“. Ziolkowski studierte vollkommen selbständig.

„Lehrer hatte ich nicht. Ich bin als reinblütiger Autodidakt anzusehen“, äußerte sich Konstantin Eduardowitsch 1926 gegenüber Professor N. A. Rynin. Eigenartig sah er aus in dieser Zeit seines Lebens.

Dank vor allem den Säuren trug ich damals Hosen mit gelben Flecken und Löchern. Die Jungen auf der Straße riefen mir nach: „Nanu, haben etwa die Mäuse Ihre Hosen angeknabbert?“ Dann hatte ich lange Haare, einfach deshalb, weil ich nicht dazu kam, sie zu schneiden.

Ziolkowski schrieb:

Was las ich damals in Moskau, und was für Dingen gab ich mich hin? Vor allem den exakten Wissenschaften ... Der bekannte Publizist Pissarew ließ mich vor Freude und Glück zittern ... Von den belletristischen Werken machten die Romane und Erzählungen Turgenjews den größten Eindruck auf mich, besonders seine „Väter und Söhne“.<sup>17</sup>

Während er in Moskau lernte, stand Ziolkowski im Briefwechsel mit seinem Vater. „Ich war glücklich durch meine Träume und klagte nie“. In den öffentlichen Bibliotheken lies er Bücher und Zeitschriften:

Ich erinnere mich an die Mechanik von Weißbach und Braschmann, die „Principia“ von Newton und andere. Von den Zeitschriften las ich in all diesen Jahren „Sowremennik“, „Djelo“, „Otetschestwenne sapiski“. Diese Zeitschriften hatten enormen Einfluss auf mich.<sup>18</sup>

Ein Bekannter der Familie Ziolkowski traf bei einem Besuch in Moskau Konstantin auf der Straße und war entsetzt über sein müdes und erschöpftes Aussehen.

Der Vater forderte mich „aus naheliegenden Gründen“ auf, nach Hause zu fahren. Zu Hause freuten sie sich, nur dass ich so schlecht aussah, setzte sie in Erstaunen. Ganz einfach, ich hatte all meinen

---

<sup>16</sup>Ebenda, S. 25.

<sup>17</sup>Ebenda, S. 27.

<sup>18</sup>Ebenda

Speck „aufgezehrt“.<sup>19</sup>

Das Ergebnis der ständigen Unterernährung waren körperliche Schwäche und gestörtes Sehvermögen. Ziolkowski begann eine Brille zu tragen.

Drei Jahre hatte Ziolkowski in Moskau zugebracht. Nach der Heimkehr zum Vater fing er an, nachhilfebedürftigen Gymnasiasten Privatstunden in Mathematik und Physik zu geben. Unzweifelhafte pädagogische Fähigkeiten und gute Beurteilungen über diese Privatstunden entschieden die Frage der Berufswahl. Ganz bestimmt sind die Erfolge des jungen Ziolkowski als Nachhilfelehrer aus der durch die Taubheit erzwungenen Methode des Wissenserwerbs zu erklären, die zu einer schnellen Entwicklung des selbständigen Denkens führt.

In moderner pädagogischer Terminologie ausgedrückt, absolvierte Konstantin Eduardowitsch eine ideale Schule des Problemunterrichts. Diese Schule war schwierig und anstrengend, weil es lenkende Hinweise des Lehrers nicht gab. Oft gab es auch keine guten Lehrbücher. In einem unveröffentlichten Manuskript Ziolkowskis ist unter der Überschrift „Fatum, Schicksal, Verhängnis“ zu lesen:

Lehrer hatte ich gar keine, und deshalb war ich gezwungen, mehr zu schaffen und zu vollbringen, als aufzunehmen und zu erlernen. Hinweise, Hilfe von irgendeiner Seite gab es nicht; in den Büchern gab es viel Unverständliches, ich musste mir aber alles selbst erklären. Mit einem Wort, das schöpferische Element, das Element der Eigenentwicklung, der Selbständigkeit herrschte vor. Sozusagen mein ganzes Leben lernte ich nachzudenken, Schwierigkeiten zu überwinden, Fragen zu entscheiden und Aufgaben zu lösen. Viele Wissenschaften habe ich wegen fehlender Bücher und Lehrer geradezu selbständig geschaffen.<sup>20</sup>

Im Herbst 1879 legte Konstantin Eduardowitsch extern das Examen als Volksschullehrer ab, und vier Monate später übertrug man ihm die Stelle des Lehrers für Arithmetik und Geometrie an der Lehranstalt des Kreises Borowsk im Gouvernement Kaluga.<sup>21</sup>

Auf Empfehlung einiger Einwohner von Borowsk fand Ziolkowski „sein Unterkommen bei einem Witwer mit Tochter, der am Stadtrand wohnte“, bei E. N. Sokolow.

Man vermietete ihm zwei Zimmer und gab ihm Vollverpflegung. Sokolows Tochter war fast gleichaltrig mit Ziolkowski (zwei Monate jünger als er). Ihr Charakter, ihre Arbeitsliebe gefielen Konstantin Eduardowitsch, und bald heirateten sie.

Zur Trauung gingen wir 4 Werst zu Fuß, ohne Festkleidung. In die Kirche wurde niemand eingelassen. Wir gingen zurück - und niemand wusste etwas von unserer Ehe ... Dennoch hatten Musikanten irgendwie von der Hochzeit Wind bekommen. Mit Mühe und Not baten wir sie wieder hinaus. Betrunken hat sich nur der Pope, der uns getraut hat. Und so bewirtet wurde er nicht von mir, sondern vom Hausherrn.<sup>22</sup>

In seiner Wohnung in Borowsk richtete sich Ziolkowski ein kleines Laboratorium ein. Hier gleißten elektrische Blitze, rollten Donnerschläge, tönnten Glöckchen, flammten Feuer auf, drehten sich Räder und strahlten Beleuchtungen.

Interessierten schlug ich vor, mit einem Löffel eine unsichtbare Konfitüre zu kosten. Wenn sie sich

---

<sup>19</sup>Ebenda

<sup>20</sup>Archiv der Akademie der Wissenschaften der UdSSR.

<sup>21</sup>„Auf Anordnung des Herrn Kurators des Moskauer Schulbezirks. vom 24. Januar 1880 unter der Nr. 630 angestellt, um die Obliegenheiten eines Lehrers für Arithmetik und Geometrie an der Borowsker Kreislehranstalt auszufüllen“ (aus der Dienstliste K. E. Ziolkowskis).

<sup>22</sup>K. E. Ziolkowski: Mein Leben und Arbeiten. S. 30.

durch diese Bewirtung verführen ließen, erhielten sie einen elektrischen Schlag. Die Besucher ergötzen sich und staunten über den elektrischen Achtfüßer, der jeden mit seinen Tatzen an der Nase oder am Finger packte, und dann standen dem, der an ihn geraten war, die Haare zu Berge, und Funken sprangen ihm aus einem beliebigen Körperteil.<sup>23</sup>

Im Jahre 1881 erarbeitete Ziolkowski selbständig die Grundlagen der kinetischen Gastheorie. Die Arbeit sandte er an die Petersburger physikalisch-chemische Gesellschaft, wo sie bei angesehenen Mitgliedern der Gesellschaft Beifall fand, unter denen auch der geniale russische Chemiker D. I. Mendelejew war.

Allerdings stellten die wichtigen Entdeckungen, die Ziolkowski in dem abgeschiedenen Provinzstädtchen gemacht hatte, für die Wissenschaft nichts Neues dar. Gleiches hatte man schon etwas früher in Deutschland entdeckt. Für seine zweite wissenschaftliche Arbeit unter dem Titel „Die Mechanik des tierischen Organismus“<sup>24</sup> wurde Ziolkowski einstimmig zum Mitglied der Physikalisch-chemischen Gesellschaft gewählt.

Diese moralische Unterstützung für seine ersten wissenschaftlichen Untersuchungen behielt Ziolkowski sein ganzes Leben lang in dankbarer Erinnerung. Im Vorwort zur zweiten Auflage seiner Arbeit „Einfache Lehre vom Luftschiff und seinem Bau“ (Kaluga 1904, S. V.) schrieb Konstantin Eduardowitsch:

Der Inhalt dieser Arbeit ist etwas veraltet, d.h., ich habe selbständig Entdeckungen gemacht, die anderen schon früher gelungen waren. Nichtsdestoweniger schenkte mir die Gesellschaft große Aufmerksamkeit, womit sie mich bestärkte. Vielleicht hat sie mich auch vergessen, aber ich habe die Herrn Borgmann, Mendelejew, van der Vliet, Petruschewski, Bobilew und besonders Setschenow nicht vergessen.<sup>25</sup>

1883 schrieb Konstantin Eduardowitsch in Form eines wissenschaftlichen Tagebuches die Arbeit „Der freie Raum“.

Er betrachtete darin im Rahmen der klassischen Mechanik eine Reihe von Problemen der Bewegung von Körpern im Raum ohne Schwerkraft und Widerstandskräfte. In diesem Fall ergeben sich die Hauptcharakteristika der Bewegung von Körpern nur aus den Wechselwirkungskräften zwischen den Körpern des gegebenen mechanischen Systems.

Besondere Bedeutung für quantitative Folgerungen haben die Gesetze von der Erhaltung der kinetischen Grundgrößen (Impuls, Drehimpuls und kinetische Energie), die ein wichtiges Kapitel der theoretischen Mechanik darstellen.

Ziolkowski gibt zahlreiche Beispiele und bildhafte Beschreibungen der Erscheinungen in einem Raum ohne die Einwirkung äußerer Kräfte. Hier einige seiner Notizen vom 24. Februar 1883:

Im freien Raum drückt ein Körper nicht auf seine Unterlage - und umgekehrt. Wenn deshalb im freien Raum Wohnungen gebraucht würden, dann könnten sie bei mangelnder Festigkeit nicht von selbst zusammenfallen, wie groß sie auch immer seien. Ganze Berge und Schlösser von beliebiger Form und

---

<sup>23</sup>Ebenda, S. 31.

<sup>24</sup>Die Arbeit wurde von dem berühmten Physiologen I. M. Setschenow günstig beurteilt (X. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. IV, Moskau 1964, S. 161-263). Es gibt folgende Bemerkungen Konstantin Eduardowitschs zu einem Manuskript unter dem Titel „Mechanik in der Biologie“, von ihm datiert mit 3. Januar-12. März 1920: „Die Arbeit wurde vom Autor (Ziolkowski - A. K.) schon 1882 begonnen. Damals äußerte sich der bekannte Professor Setschenow wie folgt darüber: ‚Ziolkowskis Arbeit zeigt zweifellos seine Begabung. Der Autor stimmt mit den französischen mechanistischen Biologen überein. Schade, dass sie nicht abgeschlossen und druckfertig ist ...‘“ Erst heute, nach 38 Jahren, ist es ihr beschieden, das Licht der Welt zu erblicken. Sie ist nicht einmal umgearbeitet, nur neu geschrieben, doch ihr Geist ist unverändert. Das begonnene Werk ist, abgesehen vom Verlust einiger Blätter, noch erhalten.

<sup>25</sup>Einfache Lehre von Luftschiff und seinem Bau. Von K. Ziolkowski. 2. Aufl, Kaluga 1904.



Größe könnten sich im Raum ohne jegliche Unterstützung und Verbindung mit einer Unterlage halten. Wenn ich mich an der Erdoberfläche auf eine Spitze stelle, wird sie mein Bein durchbohren. Im freien Raum wird mein Körper nicht auf die Nadel drücken, und ich kann dort auf einer Bajonettspitze genauso gut stehen wie auf einem ebenen Feld.

Auf der Erde halte ich keine 4 Pud in den Händen, aber im freien Raum belasten Tausende von Pud meine Hand oder meinen kleinen Finger nicht im geringsten ... Im freien Raum gibt es weder oben noch unten ... Dort kann man nicht sagen, ich begeben mich nach oben, ich lasse mich nieder, ich bin oben, ihr seid unten; ... ein Pendel schwingt dort nicht, und Uhren (mit Pendel) gehen dort nicht. Aber mit Taschenuhren kann man die Zeit sehr wohl feststellen oder allgemein vermittelt Uhren, in denen ein Pendel nicht durch die Schwerkraft schwingt, sondern durch die Elastizität einer Stahlfeder.<sup>26</sup>

Die Bewegung von Körpern im freien Raum kann nur durch den Austausch von Impulsen zwischen den einzelnen Körpern entstehen. Dabei gilt der Impulserhaltungssatz.

Wenn im Anfangszeitpunkt die Geschwindigkeiten aller Punkte (Körper) gleich Null sind, dann ist zu allen Zeitpunkten der Gesamtimpuls des Punktsystems gleich Null.

Stellen wir uns vor, dass es im freien Raum nur zwei Körper gibt: einen Menschen mit einer Masse von 80 kg und einen Stein von 1 kg. Die Geschwindigkeiten des Menschen und des Steines seien im Anfangszeitpunkt gleich Null. Wenn der Mensch; den Stein schleudert und ihm dabei beispielsweise eine Geschwindigkeit von  $v_2 = 16$  m/s erteilt, dann beginnt er sich in entgegengesetzter Richtung zu bewegen. Aus dem Gesetz von der Erhaltung des Impulses<sup>27</sup> ergibt sich in der Projektion auf die Gerade, auf der sich Mensch und Stein bewegen, für die Geschwindigkeit des Menschen ( $v_1$ ):

$$v_1 = -\frac{m}{M}v_2 = -\frac{1}{80} \cdot 16 \text{ m/s} = 0,2 \text{ m/s}$$

wobei  $m$  die Masse des Steines und  $M$  die Masse des Menschen ist.

Dieses Beispiel zeigt, dass für eine Verschiebung im freien Raum das Abstoßen von Materialstücken die natürlichste Methode ist, d. h. die Rückstoßmethode zur Geschwindigkeitserteilung. Wenn stoffliche Teilchen ununterbrochen abgestoßen werden, dann erhalten wir die einfachste Rakete. Das begriff auch Ziolkowski. Hier seine Notiz vom 28. März 1883:

Gesetzt den Fall, es gäbe ein Fass, gefüllt mit stark komprimiertem Gas. Wenn wir einen der daran befindlichen feinen Hähne aufdrehen, dann wird das Gas in einem ununterbrochenen Strahl aus dem Fass strömen. Dabei wird der Druck des Gases, durch den seine Teilchen in den Raum geschleudert werden, und auch das Fass unaufhörlich wegstoßen. Im Ergebnis dessen wird sich die Bewegung des Fasses kontinuierlich ändern ...

Mittels hinreichend vieler Hähne (sechs) ist es möglich, den Gasausstoß so zu steuern, dass die Bewegung des Fasses oder einer Hohlkugel völlig vom Willen dessen abhängt, der die Hähne bedient, d.h., das Fass kann (im Raum) eine beliebige Kurve nach einem beliebigen Geschwindigkeitsgesetz beschreiben ... Allgemein ist im freien Raum eine gleichmäßige Kurvenbewegung oder eine ungleichmäßige Bewegung mit einem kontinuierlichen Substanzverlust verbunden.<sup>28</sup>

In diesen Notizen Ziolkowskis finden sich noch keine quantitativen Beziehungen; alle Überlegungen und Behauptungen tragen rein qualitativen Charakter. Grundlage all dieser Schlussfolgerungen sind die aus der theoretischen Mechanik bekannten Gesetze von der Erhaltung des

---

<sup>26</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. Moskau 1957.

<sup>27</sup>Der (strenge) Beweis des Impulserhaltungsgesetzes ist in jedem Hochschullehrbuch der theoretischen Mechanik zu finden.

<sup>28</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 52.

Impulses und des Drehimpulses für mechanische Systeme, die nur der Wirkung innerer Kräfte (Wechselwirkungskräfte) unterliegen.

Aber es ist offensichtlich, dass die Fortbewegung durch Rückstoß Konstantin Eduardowitschs Aufmerksamkeit schon bei den ersten selbständigen wissenschaftlichen Schritten auf sich zog.

Später (in den Jahren 1896-1897) kleidet Ziolkowski diese qualitativen Schlüsse in eine streng mathematische Form, und Zahlenrechnungen ergeben eine exakte ingenieurmäßige Abschätzung der Vorzüge einer Rakete.

Ziolkowskis selbständige wissenschaftliche Arbeit begann unter sehr eigentümlichen Bedingungen. Nach althergebrachten doktrinären Ansichten war Ziolkowskis wissenschaftliche Tätigkeit überhaupt unmöglich. Man muss sich einmal das stille Provinzstädtchen Borowsk in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts vorstellen, weitab von den Hauptverkehrsadern des Landes. Es gab weder eine Bibliothek noch wissenschaftliche Zeitschriften, noch Laboratorien.

Er ist Lehrer an der städtischen Zweiklassenschule, deren Lehrprogramme für Physik und Mathematik nur ganz elementare Fakten berühren. Die Interessen der Kollegen gehen nicht über die Erörterung rein methodischer Fragen hinaus. Zeitungen kommen mit einer Woche Verspätung. Und Ziolkowski leistet fast Unglaubliches!

Gestützt auf einzelne Bemerkungen über neue Fragen der Wissenschaft in Lehrbüchern, auf seinen in Moskau erworbenen Erfahrungsschatz entwickelt er seine Methode selbständigen Beweisens und Erforschens bereits bekannter Dinge folgerichtig weiter und beginnt zu wichtigen wissenschaftlich-technischen Fragestellungen vorzustoßen.

Eine geborene Idee kann Ziolkowski nicht anhand veröffentlichter Literatur überprüfen - in Borowsk gibt es keine; er untersucht alles vom Anfang bis zum logischen Schluss selbständig, in voller Gewissheit, dass die in seinem Kopf entstandene Idee neu und noch von keinem gedacht worden ist. Im Falle des Erfolgs nimmt die Arbeit Gestalt an und stellt sich dem Urteil der offiziellen Wissenschaft in der Hauptstadt.

Anfangs machte ich längst bekannte Entdeckungen, dann neuere und danach auch völlig neue, schrieb Ziolkowski in seiner Autobiographie. Die Übereinstimmung der gefundenen Ergebnisse mit den Entdeckungen anderer Gelehrter gab ihm Vertrauen in die eigenen Kräfte und sein Talent für wissenschaftliches Forschen.

Ziolkowski verfügte über ein großartiges Gedächtnis, das ihm bis zu den letzten Lebenstagen erhalten blieb.

Er machte keine großen Auszüge aus den Arbeiten anderer Autoren. Erfasste er den Grundgedanken irgendeiner Arbeit oder machte er sich mit einer interessanten Aufgabenstellung vertraut, so legte er eigene, selbständig geführte Beweise vor. Diese Methode, sich gewonnene wissenschaftliche Fakten anzueignen, erforderte einen ungeheuren Aufwand an Geisteskraft.

Schon in den ersten Arbeiten Konstantin Eduardowitschs zeigt sich ein eigenständiger, origineller Geist. Er versteht es, Themen in Betracht zu ziehen und Lösungen zu finden, die neue Wege in der Wissenschaft erschließen. Eine klare und deutliche Formulierung wissenschaftlich-technischer Probleme ist kennzeichnend für ihn.

Bei der Popularisierung seiner Ideen greift er gewöhnlich zu anschaulichen Beispielen, die das Wesen der Sache einleuchtend herauschälen. Für Beweise nutzt er die einfachsten mathematischen Mittel. Die gewonnenen Resultate und die Folgerungen daraus werden einer sorgfältigen Analyse unterzogen. Ziolkowski vermochte hinter theoretischen Berechnungen das wirkliche pulsierende Leben der Technik zu sehen, den Kampf verknöchertes, im Sterben liegender aka-

demischer Schulen mit neuen Ideen.

Unter für schöpferische Arbeit höchst schwierigen Bedingungen vermochte er beharrlich und konsequent um den Sieg des Neuen zu ringen. Seine extreme Selbständigkeit und Originalität bei wissenschaftlichen Forschungen ist zuweilen mit allgemeingültigen Normen kaum zu vereinbaren. Kritische Anmerkungen von Opponenten analysiert er jedoch sorgfältig anhand der von ihnen erreichten Ergebnisse, und er kann seine wissenschaftliche Überzeugung fundiert verteidigen.

Einige Wissenschaftler und Ingenieure, die nur oberflächlich mit dem vielfältigen Schaffen Ziolkowskis vertraut sind, behaupten, dass Konstantin Eduardowitschs Art zu forschen eine Missachtung vorausgegangener Arbeitsergebnisse großer Geistesschaffender darstellt. Wir führen hier einige Äußerungen in Ziolkowskis unveröffentlichter Arbeit „Unterhaltungen über die Erde“ (1932) an. Diese Äußerungen sind grundsätzlicher Natur und können, wie Ziolkowski schreibt, zur Erklärung all seiner Arbeit dienen.

In meinen Arbeiten findet man wenig Namen und Verweise auf berühmte Werke. Das heißt aber nicht, dass ich sie nicht achte, nicht anerkenne oder alles von mir Gesagte als von mir Entdecktes ausbebe.

Meine Auffassungen und Lehren sind zweifellos ein Produkt der Wissenschaft und der Bücher, die ich gelesen habe. Infolge der Taubheit habe ich seit der Kindheit nur eine Informationsquelle: Geschriebenes oder Gedrucktes.

Ohne die Wissenschaft, ohne diesen Fundus von Arbeiten großer und genialer Menschen aller Zeiten und Völker wäre ich eine verschwindend kleine Größe.

Ein Mensch und sogar ein ganzes Volk, sich selbst überlassen, tappt im Dunkeln und ist nicht imstande, beispielsweise selbst auf das heute allen bekannte Zahlensystem zu kommen oder auf die dezimale Schreibweise der Zahlen.

... Ja, ich bin selbständig und entdecke vieles selbst, aber dennoch bin auch ich ein Produkt von Strömungen und Gedanken, die unter den Leuten umgehen.

... Mir liegt es einfach, so zu schreiben, wie ich schreibe. Das Fehlen von Namen und Verweisen macht es auch dem Leser leichter. Es geht doch nicht um mich oder andere, sondern darum, das Wichtigste so kurz und einfach wie möglich mitzuteilen.

... Ich erkenne nicht nur die Verdienste der Weisen, Gelehrten und aller, die Bildung und technischen Fortschritt vorangetrieben haben, an, ich weiß vielmehr gar nicht, wie ich meine Begeisterung und meine Hochachtung vor ihnen ausdrücken soll.

## 4 Arbeiten zur Luftfahrt und experimentellen Aerodynamik

Ich denke, dass den Menschen die Wahrheit über alles geht und nicht ein schöner Irrtum, Der Irrtum hat keinen Wert.  
K. E. Ziolkowski

In einem seiner autobiographischen Artikel schrieb Ziolkowski:

1885, im Alter von 28 Jahren, nahm ich mir fest vor, mich mit der Luftfahrt zu befassen und einen steuerbaren Ballon aus Metall theoretisch zu erarbeiten.

Konstantin Eduardowitsch richtete seine Aufmerksamkeit auf die wesentlichen Mängel der Ballons mit Hüllen aus gummiertem Stoff, die damals verwendet wurden. Solche Hüllen nutzten sich schnell ab, hatten keine große Haltbarkeit, und infolge der Durchlässigkeit des Stoffes entwich das eingefüllte Gas (in jenen Jahren Wasserstoff) schnell. Außerdem ergab die ins Innere der Hülle dringende Luft, indem sie sich mit dem Wasserstoff mischte, Knallgas, und ein kleiner Funke genügte, um es zu einer Explosion kommen zu lassen.

Ergebnis der Forschungsarbeit Ziolkowskis war der umfangreiche Aufsatz „Der Ballon in Theorie und Experiment“. Darin wird eine neue und ganz originelle Konstruktion für ein lenkbares Luftschiff mit einer dünnen Metallhaut wissenschaftlich-technisch begründet; Ziolkowski erarbeitete Zeichnungen mit Gesamtansichten des Luftschiffs und von einigen wichtigen Baueinheiten der Konstruktion.

Ziolkowskis Luftschiff hatte folgende charakteristische Eigenschaften. Erstens war es ein Luftschiff mit veränderlichem Volumen. Dadurch ließ sich bei unterschiedlichen Temperaturen der umgebenden Luft und bei unterschiedlichen Flughöhen eine konstante Auftriebskraft gewährleisten. Die Möglichkeit, das Volumen zu verändern, wurde konstruktiv mit Hilfe ziehharmonikaartig gewellter Wandungen und eines besonderen Systems zum Zusammenziehen derselben erreicht.

Zweitens konnte das Gas, mit dem das Luftschiff gefüllt war, erwärmt werden, indem die Motorenabgase durch ein Schlangenrohr geleitet wurden.

Die dritte Eigentümlichkeit der Konstruktion bestand darin, dass die dünne Metallhülle zur Erhöhung der Festigkeit und Stabilität gaufriert (gewellt) war; die Wellen verliefen senkrecht zur Achse des Luftschiffes, um die Starrheit der Hülle zu erhöhen.<sup>29</sup>

Die gewählte geometrische Form und die Festigkeitsberechnung für den dazu gehörigen dünnwandigen Körper waren Originalvorschläge Ziolkowskis.

Das Projekt fand keine Anerkennung. Die offizielle Organisation des zaristischen Russlands für die Luftfahrt, die VII. Luftfahrtsabteilung der Russischen technischen Gesellschaft, fand, dass das Projekt eines Ganzmetallluftschiffes, das fähig ist, sein Volumen zu verändern, keine große praktische Bedeutung haben kann und Luftschiffe „ewig ein Spielball der Winde sein werden“. Deshalb wurde dem Autor auch eine Beihilfe zum Bau eines Modells versagt.

Ein Schreiben Ziolkowskis an den Generalstab der Armee hatte ebenfalls keinen Erfolg. Die

---

<sup>29</sup>Die Anordnung der Wellen, wie sie in Ziolkowskis Arbeiten angegeben wird, führt zu einer größeren Rauheit der Oberfläche des Luftschiffes und zu einer, wie Experimente erwiesen, wesentlichen Erhöhung des Reibungswiderstandes. Erste Versuche zur Bestimmung des Einflusses der Rauheit auf den Reibungswiderstand wurden im Laboratorium von Ludwig Prandtl (in Göttingen) von dem bekannten Experimentator Nikuradse angestellt (siehe 7. Nikuradse: Strömungsgesetze in rauhen Röhren, VDI-Forschungsheft Nr. 361, 1933).

gedruckte Arbeit „Ein lenkbarer Metallballon“ (1892) erhielt nur einige teilnahmevolle Rezensionen.

Von Ziolkowski stammt die zukunftsweisende Idee, ein Ganzmetallflugzeug zu bauen.

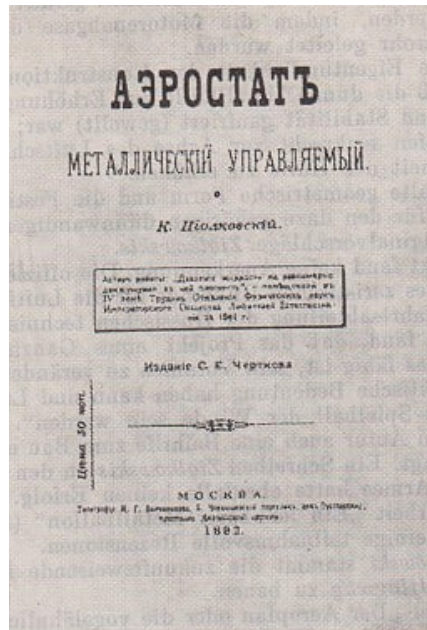


Abb. 6. Titelblatt von K. E. Ziolkowskis erstem Buch „Ein lenkbarer Metallballon“

Der Artikel „Der Aeroplan oder die vogelähnliche Flugmaschine“, 1894 veröffentlicht in der Zeitschrift „Nauka i shisn“ (Wissenschaft und Leben), bringt eine Beschreibung, Berechnungen und Zeichnungen von einem Eindecker mit freitragenden, unverspannten Flügeln. Im Gegensatz zu einer Reihe von Erfindern und Konstrukteuren, die in jenen Jahren an Apparaten mit schlagenden Flügeln arbeiteten, zeigte Ziolkowski, dass „die Nachahmung eines Vogels in technischer Hinsicht äußerst schwierig ist wegen der komplizierten Bewegung der Flügel und des Schwanzes und auch wegen des komplizierten Baus dieser Organe“.

Ziolkowskis Flugzeug hat die Form

eines regungslos schwebenden Vogels, aber anstelle seines Kopfes denken wir uns zwei Flügelschrauben, die sich gegenläufig drehen ... Die Muskeln des Tieres ersetzen wir durch Explosionsmotoren. Sie erfordern keinen großen Treibstoffvorrat (Benzin) und brauchen keine schweren Dampfkessel und große Wasservorräte ...

Anstelle des Schwanzes bauen wir ein doppeltes Steuerruder aus vertikalen und horizontalen Flächen ... Das doppelte Steuerruder, der Doppelpropeller und die Unbeweglichkeit der Flügel haben wir uns nicht wegen des Nutzens und der Ökonomie der Arbeit ausgedacht, sondern einzig und allein wegen der Ausführbarkeit der Konstruktion.<sup>30</sup>

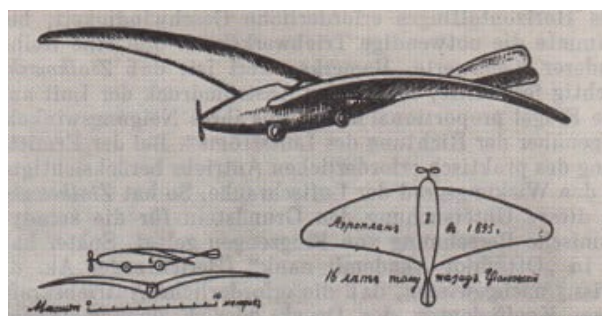


Abb. 7. Modell des Ganzmetallflugzeuges von K. E. Ziolkowski

<sup>30</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. I. 8. 44.

Bei Ziolkowskis Ganzmetallflugzeug haben die Flügel bereits ein dickes Profil, und der Rumpf ist stromlinienförmig. Überaus interessant ist, dass Ziolkowski in diesem Zeitschriftenartikel erstmals in der Entwicklungsgeschichte des Flugzeugbaus die Notwendigkeit hervorhebt, die Stromlinienform des Flugzeugs zu verbessern, um hohe Geschwindigkeiten zu erreichen. Die Konstruktionsentwürfe zu Ziolkowskis Flugzeug waren weitaus vollendeter als die späteren Konstruktionen der Gebrüder Wright, von Santos-Dumont, Voisin und anderen Erfindern. Über seine Berechnungen schrieb Ziolkowski:

Bei der Bestimmung dieser Zahlen setzte ich die günstigsten, idealen Widerstandsbedingungen von Rumpf und Flügeln voraus; bei meinem Flugzeug gibt es keine herausstehenden Teile außer den Flügeln; alles ist von einer einheitlichen glatten Hülle umschlossen, auch die Passagiere.

In dieser Arbeit unternimmt Ziolkowski erstmalig den Versuch, die hauptsächlichen Charakteristika eines Flugzeugs nach dem Übergang zum horizontalen Flug rechnerisch zu bestimmen. Er fand die zur Aufrechterhaltung des Horizontalfluges erforderliche Geschwindigkeit, bestimmte die notwendige Triebwerkskraft und eine Reihe anderer Kennwerte. Bemerkenswert ist, dass Ziolkowski richtig feststellte, es sei „der Anströmdruck der Luft auf die Flügel proportional dem Sinus ihres Neigungswinkels gegenüber der Richtung des Luftstroms“.

Bei der Ermittlung des praktisch erforderlichen Antriebs berücksichtigte er den Wirkungsgrad der Luftschraube. So hat Ziolkowski in dieser Untersuchung den Grundstein für die aerodynamische Berechnung von Flugzeugen gelegt.

Später hat er in „Otschjot Akademii nauk“ (Berichte der Ak. d. Wiss.) nachgewiesen, dass die erforderliche Antriebskraft dem Koeffizienten des Druck- oder Formwiderstandes proportional und dem Koeffizienten der Auftriebskraft zur Potenz  $3/2$  umgekehrt proportional ist. Dieses Ergebnis wird in vielen Lehrbüchern der Aerodynamik der Flugzeuge angeführt.

Ziolkowski sah die Bedeutung der Benzinverbrennungsmotoren voraus:

Aus theoretischen Gründen glaube ich an die Möglichkeit, außerordentlich leichte und gleichzeitig außerordentlich starke Benzinmotoren zu bauen, die die Anforderungen des Flugwesens völlig befriedigen.<sup>31</sup>

Konstantin Eduardowitsch sagte voraus, dass mit der Zeit ein kleines Flugzeug erfolgreich mit dem Auto konkurrieren kann.

Der Entwurf eines freitragenden Ganzmetall-Eindeckers mit dickem gewölbtem Flügel ist Ziolkowskis größtes Verdienst in der Luftfahrt.<sup>32</sup> Diesen heutzutage meistverbreiteten Flugzeugtyp untersuchte er als erster. Aber Ziolkowskis Idee vom Bau eines Passagierflugzeuges fand unter den russischen Gelehrten keine Anerkennung.

Über diese Periode seines Lebens schrieb der Wissenschaftler voll Bitterkeit:

Bei meinen Versuchen kam ich zu sehr vielen neuen Erkenntnissen, aber neuen Erkenntnissen stehen die Gelehrten argwöhnisch gegenüber. Diese Erkenntnisse können bestätigt werden, indem man meine Arbeiten experimentell nachvollzieht, aber wann wird das geschehen? Es ist schwer, viele Jahre allein unter ungünstigen Bedingungen zu arbeiten und auf keiner Seite einen Hoffnungsschimmer oder eine hilfreiche Hand zu sehen.<sup>33</sup>

Am Entwurf eines lenkbaren Ganzmetallluftschiffes und eines Eindeckers mit guter Stromlini-

---

<sup>31</sup>Ebenda, S. 70.

<sup>32</sup>Wahrscheinlich nutzte K. E. Ziolkowski den großen Erfahrungsschatz, den er bei der Arbeit an dem dünnwandigen Metallluftschiff gesammelt hatte, bei dem skizzenhaften Entwurf und der Berechnung des stromlinienförmigen Eindeckers aus Metall.

<sup>33</sup>N. A. Rynin: K. E. Ziolkowski, sein Leben, seine Arbeiten und Raketen, Leningrad 1931. S. 13/14.

enform arbeitete der Wissenschaftler von 1885 bis 1898. Diese wissenschaftlich-technischen Erfindungen gaben Ziolkowski den Anstoß zu wichtigen Entdeckungen. Auf dem Gebiet des Luftschiffbaus hatte er eine Reihe völlig neuer Ideen.

Er war, kurz gesagt, der Begründer der Wissenschaft von den lenkbaren Ballons aus Metall. Seine technische Intuition eilte dem industriellen Entwicklungsstand der 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts weit voraus.

Die Zweckmäßigkeit seiner Vorschläge untermauerte er mit detaillierten Berechnungen und Schemata. Wie jedes große und neue technische Problem berührte der praktische Bau eines Ganzmetallluftschiffes einen umfangreichen Komplex derzeit ungelöster Probleme in Wissenschaft und Technik. Dazu gehörten Fragen der Aerodynamik, der Stabilität gewellter Hüllkörper, der Festigkeit, der Gasundurchlässigkeit, des hermetischen Verlöten von Blechen usw. Heute kann man nur staunen, wie weit Ziolkowski außer der allgemeinen Idee einzelne technische und wissenschaftliche Fragen voranzubringen vermochte.

Konstantin Eduardowitsch erarbeitete die Methode der sogenannten hydrostatischen Erprobung von Luftschiffkörpern. Um die Festigkeit dünner Hüllkörper, wie sie die Außenhaut von Ganzmetallluftschiffen darstellt, zu ermitteln, empfahl er, ihre Versuchsmodelle mit Wasser zu füllen. Diese Methode wird heutzutage in der ganzen Welt angewendet, um die Festigung und Stabilität dünnwandiger Behälter und Hüllkonstruktionen zu prüfen.

Der Gelehrte schuf eine Vorrichtung, die es erlaubte, die Schnittform der Luftschiffhülle nach dem vorgegebenen Überdruck grafisch zu bestimmen. Die ungeheuer schweren Arbeits- und Lebensbedingungen - er hatte auch keine Schüler und Anhänger - zwangen ihn jedoch in vielen Fällen, sich im Grunde auf das Formulieren des Problems zu beschränken.

Wahrscheinlich ist vielen Lesern nicht ganz klar, warum es bis heute weder im Lande Ziolkowskis noch anderwärts ernsthafte Versuche gibt, den Bau eines lenkbaren Ganzmetallluftschiffes zu verwirklichen. Der Grund dafür liegt in den betrüblichen Erfahrungen bei der Nutzung großer Ganzmetallluftschiffe<sup>34</sup> vom Typ „Zeppelin“. So wurde beispielsweise das 1936 in Deutschland gebaute Luftschiff LZ 129 („Hindenburg“) mit einem sehr großen Volumen (200000 m<sup>3</sup>) am 6. Mai 1937 bei der Landung zerstört.

Aus verschiedenen Gründen (Wetterbedingungen, Festigkeit) zerbrachen schon früher das englische Luftschiff R 101 mit 140000 m<sup>3</sup> Volumen im Jahre 1930 und die amerikanischen „Acron“ und „Macon“ mit 184000 m<sup>3</sup> Volumen 1933 und 1935. Die Arbeit der sowjetischen Organisation „Dirishablestroj“ (Luftschiffbau) brachte keine ermutigenden Ergebnisse. Man baute kleinere Modelle des Ziolkowskischen Luftschiffes; die Arbeiten wurden aber eingestellt. Flugzeuge erwiesen sich als leistungsfähiger.

Im Jahre 1934, bereits an seinem Lebensabend, beurteilte Ziolkowski in dem Artikel „Bedeutende Augenblicke meines Lebens“ seine Forschungsarbeit am Luftschiff folgendermaßen:

1892. Alter 35 Jahre, Erstes Buch über ein Metallluftschiff aus Wellblech. Negative Besprechung in der Fachzeitschrift. Besprechung stammte vom Vorsitzenden der VII. Abteilung der ehemaligen kaiserlichen technischen Gesellschaft. Möglich, dass diese Besprechung zutreffen wird. Auch ich selbst glaubte nicht an eine neue Sache, solange ich nicht ihre Realisierung sehe. (In der Zeitung „Kommuna“, Kaluga, 18.8.1934.)

Die Arbeiten von Konstantin Eduardowitsch zur theoretischen und experimentellen Aerodynamik waren zweifellos bedingt durch die Notwendigkeit, die Auftriebskräfte und den Formwider-

---

<sup>34</sup>Luftschiffe mit einem Volumen unter 30000 m<sup>3</sup> sind weniger ökonomisch als Flugzeuge und Hubschrauber.

stand exakter zu erfassen und damit die aerodynamische Berechnung der Flugeigenschaften eines Luftschiffes und eines Flugzeuges strenger zu begründen.

Ziolkowski war ein großartiger Naturforscher. Beobachtung und Phantasie, Berechnung und Betrachtung vereinigten sich bei ihm mit experimenteller Praxis und Modellversuchen.

In den Weihnachtsferien 1890/91 schreibt er die Arbeit „Zur Frage des Fliegens mit Hilfe von Flügeln“. Ein Auszug aus diesem Manuskript, der mit dem Beistand des berühmten Professors für Physik an der Moskauer Universität A. G. Stoletow 1891 in den Arbeiten der Gesellschaft der Freunde der Naturwissenschaften veröffentlicht wurde, war die erste gedruckte Arbeit Ziolkowskis. Darin verwies er erstmals in der wissenschaftlichen Weltliteratur auf die Bedeutung einer länglichen Flügelform (nach heutiger Terminologie der Flügelstreckung), gab dafür die mathematische Analyse und bestätigte diese experimentell mit Hilfe einer von ihm erfundenen Vorrichtung.

N. E. Shukowski, Professor an der Moskauer Universität, hielt sehr viel von Ziolkowskis ersten aerodynamischen Untersuchungen. In seinem Gutachten schrieb er:

Das Werk von Herrn Ziolkowski hinterlässt einen angenehmen Eindruck, da der Autor, gestützt auf wenige analytische Hilfsmittel und einfache Versuche, meistens zu richtigen Ergebnissen gelangt. Die originelle Untersuchungsmethode, die Überlegungen und scharfsinnigen Versuche des Autors sind nicht uninteressant und kennzeichnen ihn auf jeden Fall als talentierten Forscher ... Die Folgerungen des Autors in bezug auf den Flug der Vögel und Insekten sind richtig und stimmen völlig mit den modernen Ansichten über diesen Gegenstand überein.<sup>35</sup>

Im weiteren Ringen um die Idee seines Flugzeuges und Luftschiffes strebt Ziolkowski nach genaueren (gegenüber den errechneten) Koeffizienten des Luftwiderstandes für Körper unterschiedlicher Form und baut 1897 in Kaluga den ersten Windkanal mit offener Messstrecke in Russland (nach Ziolkowskis Terminologie ein „Gebälse“, Abb. 8).

Im folgenden Jahr veröffentlicht er dessen Beschreibung und die ersten Versuche mit einer ausführlichen Betrachtung der experimentellen Methodik.

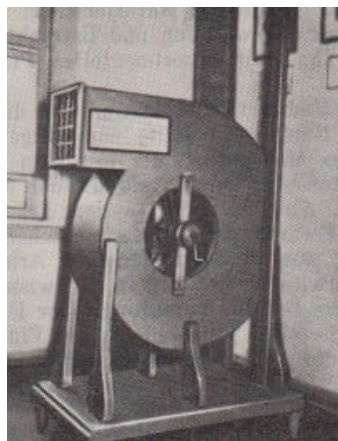


Abb. 8. K. E. Ziolkowskis Windkanal („Gebälse“)

Diese bemerkenswerte Arbeit zur experimentellen Aerodynamik wurde 1898 in der Zeitschrift „Westnik opytnoi fiziki i elementarnoi matematiki“ (Bote der Experimentalphysik und Elementarmathematik) gedruckt. Ziolkowski, der bei der aerodynamischen Projektierung des Ganzmetallluftschiffes und -flugzeuges eine beträchtliche Erfahrung gewonnen hatte, bewies mit äußerster Klarheit die Notwendigkeit systematischen Experimentierens für die Bestimmung der

---

<sup>35</sup>Siehe K. E. Ziolkowski: Der Luftwiderstand und ein Schnellzug. Kaluga 1927. S. 69



Wirkungskräfte eines Luftstromes auf einen sich darin bewegenden Körper. Er schrieb:

Und wie wichtig ist es, die Gesetze des Widerstandes und der Reibung möglichst genau zu formulieren! Welch riesigen Einfluss haben sie auf die Theorie des Ballons und des Flugzeuges! Ja, gibt es Gebiete in der Technik und Wissenschaft, in denen die Gesetze des Widerstandes eines elastischen Mediums keine Bedeutung hätten? So ersehnen wir also heiß die Feststellung dieser Gesetze und werden, soweit es von uns abhängt, zur Ausführung der dafür notwendigen Versuche beitragen.<sup>36</sup>

In dieser Arbeit Ziolkowskis wird, auf der Grundlage systematischer Experimente zur Ermittlung des Widerstandes unterschiedlich geformter Körper, die Bedeutung der Reibungskräfte für ein Luftschiff geklärt. Es werden Interpolationsformeln für die Berechnung der Reibungskräfte aufgestellt, die in ihrem Aufbau fast modern sind.

Der Einfluss des Heckteils eines Körpers auf die Größe der Widerstandskräfte wird gezeigt. Um herauszuheben, wie wichtig und völlig glaubwürdig die gewonnenen Schlussfolgerungen sind, schrieb Konstantin Eduardowitsch:

Gern bin ich bereit, vor jedem einen beliebigen der in diesem Artikel beschriebenen Versuchen zu wiederholen. Die Vorrichtung (Windkanal), die ich gebaut habe, ist so unaufwendig, bequem und einfach, beantwortet so schnell ungelöste theoretische Fragen, dass sie als unabdingbare Ausrüstung jeder Universität oder jedes Physikkabinetts zu betrachten ist.

Ziolkowskis bemerkenswerte Voraussicht, welche Bedeutung der Windkanal hat, und sein Arbeitsprogramm für die experimentelle Aerodynamik wurden in der weiteren Entwicklung der Luftfahrt vollauf bestätigt. Bedeutsam ist auch, dass Ziolkowskis Gedanken und Experimente praktisch schon in dem Arbeitsprogramm zum Studium des Luftwiderstandes zum Ausdruck kamen, das D. I. Mendelejew in seiner Arbeit „Über den Widerstand von Flüssigkeiten und die Luftfahrt“ (1881) darlegte.

Mendelejew bemerkte, wie haltlos die Versuche sind, das Problem des Widerstandes eines Mediums theoretisch ohne planmäßige und ausgiebige experimentelle Untersuchungen zu lösen:

Deshalb muss man sich von den Höhen allgemeiner theoretischer Erwägungen betreffs des Widerstandes herablassen zum Experiment und zu Messungen, wenn man in den Hypothesen und Theorien über diesen Gegenstand und dann auch in den praktischen Ergebnissen Vollkommenheit erreichen will; die Versuche und Messungen selbst haben die Eigenschaft, mehr zum Verständnis des Wesentlichen an einer Sache beizutragen, als Bemühungen, das Wesentliche des Gegenstands mit einem Mal zu erfassen ...<sup>37</sup>

Indessen liegt die Unzulänglichkeit der experimentellen Daten über den Widerstand eines Mediums für eine vollständige Lösung der Probleme der Luftschiffahrt so klar auf der Hand, dass es mir unmöglich erscheint, über die unvermeidliche Notwendigkeit neuer exakter Experimente, über ihren Zweck, über die notwendigen Verfahren und die zu ihrer Ausführung nötigen Mittel zu schweigen. Dieser Mangel an genauen Versuchsergebnissen für den Widerstand eines Mediums erklärt gleichzeitig, warum sich sowohl die allgemeine Theorie des Widerstandes eines Mediums als auch die praktische Luftfahrt so zögernd entwickeln.<sup>38</sup>

Hervorragende russische Ingenieure und Gelehrte, wie Moshaiski, Shukowski und Ziolkowski, unterstützten in einer Reihe von Artikeln und von ihnen ausgeführten Experimentalarbeiten diese klugen und vorwärtsweisenden Äußerungen Mendelejews, die im Grunde genommen ein Kampfprogramm der fortschrittlichen russischen Wissenschaft waren.

---

<sup>36</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. I. S. 120.

<sup>37</sup>D. I. Mendelejew: Werke, Bd. VII. Moskau, Leningrad 1946, Ss. 375.

<sup>38</sup>Ebenda, S. 303.

1899 wandte sich Ziolkowski an die Akademie der Wissenschaften mit der Bitte, ihm Mittel für Versuche zur Bestimmung der Widerstandskräfte von Körpern in einem künstlich erzeugten Luftstrom zu bewilligen. Dabei verwies er auf die Ergebnisse seiner vorausgegangenen Versuche, die in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht worden waren.

Die Akademie der Wissenschaften beauftragte das Akademiemitglied M. A. Rykatschew, Ziolkowskis Arbeiten zu prüfen. Er beurteilte sie günstig:

Diese Versuche verdienen die volle Aufmerksamkeit der Akademie, sowohl wegen der Idee als auch wegen der Mannigfaltigkeit der Versuche. Trotz der primitiven häuslichen Mittel, die der Autor benutzte, gelang es ihm, bei variierten Gebläseantriebskräften die Geschwindigkeit zu bestimmen.

... Der Autor ermittelte die Abhängigkeit des Widerstandes von der Strömungsgeschwindigkeit und dem Längenverhältnis der Form. Höchst interessant sind die Versuche, die angestellt wurden, um den Einfluss des Heckteils zu bestimmen ... Aus all diesen Gründen wären Versuche in größeren Maßstäben mit genaueren Vorrichtungen sehr wünschenswert, und ich erlaube mir, die Abteilung zu bitten, dem Ersuchen des Autors zu entsprechen und ihm aus dem wissenschaftlichen Fond materielle Unterstützung zu gewähren.<sup>39</sup>

Nach dem Gutachten von M. A. Rykatschew beschloss die physikalisch-mathematische Abteilung der Akademie der Wissenschaften, Ziolkowski eine Unterstützung in Höhe von 470 Rubeln zu übergeben, damit er neue Versuche anstellen konnte. (Die Unterstützung war die erste und einzige, die Konstantin Eduardowitsch im vorrevolutionären Russland von amtlichen Regierungsstellen erhielt.)

Ein ausführliches Versuchsprogramm reichte Ziolkowski im Mai 1900 bei der Akademie der Wissenschaften ein. Das Geld verwandte Ziolkowski zum Bau eines neuen Windkanals mit einem quadratischen Querschnitt der Messstrecke von 71 cm Seitenlänge.

Es wurden auch Messgeräte (aerodynamische Waagen) angefertigt - und all dies wurde fast 6mal verändert und umgebaut, um einen befriedigenden Luftstrom zu erhalten.

Ende 1900 begannen die Versuche, und im Dezember 1901 wurde die erste Versuchsserie gemäß dem von der Akademie bestätigten Programm abgeschlossen. In Ziolkowskis Erläuterungen zu dieser Arbeit können wir lesen:

Mit den Versuchen über den Luftwiderstand beschäftige ich mich schon mehr als 15 Jahre ... Für meine letzten Versuche (in den Jahren 1900 und 1901) verwendete ich ein großes Schaufelgebläse, ähnlich einer Worfelmaschine. Einen ebensolchen Ventilator, nur mit bedeutend kleineren Maßen, hatte ich schon früher benutzt (in den Jahren 1897 und 1898). Die Querschnittsfläche des Luftstromes ist jetzt viermal so groß ... Bei meinen Versuchen musste ich einige Zehntausend Eintragungen machen.

Ziolkowski untersuchte in seinen Experimenten im einzelnen die Widerstandskräfte einer Serie flacher Scheiben, kreisförmiger und elliptischer Zylinder sowie von Luftschiffmodellen mit unterschiedlichen Längenverhältnissen und verschiedenen Formen der Bug- und Heckteile (Abb. 9).

Er ermittelte die Auftriebskraft und den Formwiderstand von Flugzeugflügeln. Einer speziellen experimentellen Untersuchung wurde ein Modell des Luftschiffes von Schwarz (siehe Abschn. 9) unterzogen, das ein zylindrisches Mittelstück, eine kegelförmige Nase und einen ebensolchen Schwanz hatte. Bei diesen Experimenten, die Ziolkowski ohne Techniker und Laboranten ausführte, wurden wichtige Gesetzmäßigkeiten in der Aerodynamik der Unterschallgeschwin-

---

<sup>39</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. I. S. 254.

digkeiten erkannt.

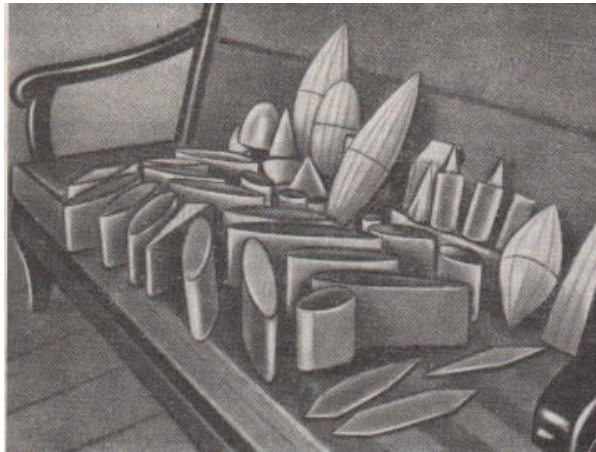


Abb. 9. Modelle, die K. E. Ziolkowski in Kaluga in den Jahren 1897-1901 im Windkanal untersuchte

Er bewies, dass die Widerstandskraft von nichtstromlinienförmigen Körpern proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit sowie einer gewissen für jeden Körper charakteristischen Fläche (z. B. der Fläche einer flachen Scheibe, der Querschnittsfläche eines Luftschiffmodells usw.) wächst. Trotz des kleinen Änderungsintervalles der Geschwindigkeit des Luftstromes vermochte Ziolkowski zu zeigen, dass sich die Reibungswiderstandskraft ändert in Abhängigkeit vom Produkt der Luftgeschwindigkeit und eines charakteristischen Längenmaßes des Körpers in einer gewissen Potenz, wobei die Exponenten von Geschwindigkeit und Länge identisch sind.

Da Ziolkowski seine Versuche, wie er an die Akademie der Wissenschaften schrieb, unter annähernd gleichen Bedingungen (Luftdruck und -temperatur) durchführte, ergaben die von ihm gemachten Schlussfolgerungen erstmals die Abhängigkeit des aerodynamischen Reibungswiderstandes von der Reynoldsschen Zahl.

In der modernen Aerodynamik hat sich die Darstellung des Koeffizienten des Reibungswiderstandes als Funktion der Reynoldsschen Zahl allgemein durchgesetzt. In einer Reihe seiner Arbeiten stellte Ziolkowski die „Analogie zwischen dem Widerstand des Wassers und der Luft“ heraus. Heutzutage ist für niedrige Unterschallgeschwindigkeiten des Luftstromes dieser Fakt eindeutig erwiesen.

Mit Bitterkeit muss man vermerken, dass die Mehrzahl von Ziolkowskis Erkenntnissen auf dem Gebiet der experimentellen Aerodynamik im vorrevolutionären Russland nicht veröffentlicht wurde. Viele seiner Folgerungen über den Luftwiderstand wurden deshalb von anderen Forschern im 20. Jahrhundert noch einmal formuliert (hauptsächlich in den aerodynamischen Laboratorien von Eiffel in Frankreich und Prandtl in Deutschland).

Nach Abschluss der großen Versuchsserie mit dem neuen Windkanal (in dem Ziolkowski, um im ganzen Strahlquerschnitt eine möglichst gleichmäßige Geschwindigkeit des Luftstromes zu erhalten, erstmalig ein Gitter aus dünnen, horizontalen und vertikalen Lamellen anwandte) bereitete Konstantin Eduardowitsch 1901 einen Bericht über seine Forschungen vor (unter dem Titel „Bericht K. E. Ziolkowskis an die Russische Akademie der Wissenschaften über Versuche zum Luftwiderstand“).

Der Bericht wurde Akademiemitglied M. A. Rykatschew zur Rezension übergeben und fand eine negative Beurteilung, weshalb er nicht in den Arbeiten der Akademie veröffentlicht wurde. Später erschien ein Teil des Berichts in der Zeitschrift „Nautschnoje obosrenije“ (Wissenschaftliche Rundschau) Nr. 5/1902. Am 21. März 1908 übersandte Ziolkowski sein Manuskript über

die Versuche zum Luftwiderstand an Professor N. E. Shukowski. Shukowski aber - in seiner Zerstreuung - verlegte das Manuskript und konnte Ziolkowski keinerlei Antwort geben, obwohl dieser mehrfach Briefe schickte.

Das Manuskript wurde erst 1935 aufgefunden und im ersten Band von Ziolkowskis gesammelten Werken auf den Seiten 121-207 abgedruckt. Nach den schmerzlichen „Ereignissen“ von 1908 begann Ziolkowski, seine Arbeiten mit Bleistift zu schreiben und zwei, drei oder vier Blatt Kopierpapier unterzulegen. Stets behielt er zwei oder drei Ausfertigungen des Originalmanuskriptes bei sich.

Die Hauptarbeiten über das Ganzmetallluftschiff hat Ziolkowski in Borowsk vollendet. 1892 zog Konstantin Eduardowitsch nach Kaluga, wo er ein (für einen einzigen Menschen) großartiges Programm aerodynamischer Forschungen und Experimente verwirklichte.

Sonderbar und kaum begreifbar erschien den Spießern der russischen Provinzstädte Borowsk und Kaluga in jener vorrevolutionären Zeit das Leben K. E. Ziolkowskis. Seine Erfindungen, seine Experimente, sein wissenschaftliches Schaffen fanden keine Unterstützung und Anteilnahme unter den „loyalen und ordentlichen“ Bürgern jener Städte.

Im Sommer 1886, begeistert von der Luftfahrt, baute Konstantin Eduardowitsch ein großes Flugmodell, einen sogenannten Habicht mit einer Spannweite von etwa 70 cm. Kinder und Erwachsene kamen zusammen, um zu schauen, wie Ziolkowski auf der Straße seinen Habicht startete. Nachts ließ Ziolkowski den Habicht mit einer Laterne fliegen. Die Einwohner sahen den sich bewegenden Stern und stritten: „Was ist das? Ein Stern, oder lässt der Kauz von Lehrer seinen Vogel mit Feuer los?“

Ganz in seine Überlegungen versunken, wozu zweifellos auch die Taubheit beitrug, bemerkte der Gelehrte auf der Straße oft weder seine Arbeitskollegen von der Schule noch Bekannte oder Vorgesetzte. Er war zerstreut, und nicht selten verlor er verschiedene Dinge und Bücher. Er war eben besessen vom wissenschaftlichen Suchen.

Eines Tages kam ich spät von einem Bekannten zurück, Das war am Vortag der Sonnenfinsternis im Jahre 1887. In der Straße, durch die ich ging, stand ein Brunnen. In seiner Nähe leuchtete etwas. Ich komme näher und sehe, zum ersten Mal, große Stücke faules Holz, das hell leuchtet! Ich las sie in meinen Rockschoß auf und ging nach Hause. Ich zerstückelte das faule Holz und breitete es im Zimmer aus. Im Dunkeln wirkte es wie der Sternenhimmel ...

Am Morgen suche ich den Schirm, um hinaus auf die Straße zu gehen. Dann erinnere ich mich, dass ich den Schirm am Brunnen stehen ließ. Ich tauschte ihn gegen faules Holz und einen Sternenhimmel<sup>40</sup>,

vermerkt Konstantin Eduardowitsch mit traurigem Lächeln.

Erstaunt sehen eines Winters die Einwohner von Borowsk, wie der Kreisschullehrer Ziolkowski auf Schlittschuhen über den zugefrorenen Fluss jagt. Im kräftigen Wind fuhr er mit aufgespanntem Schirm mit der Geschwindigkeit eines Schnellzuges dahin.

Irgend etwas hatte ich immer auf Lager. So kam ich auf den Gedanken, einen Schlitten mit einem Rad zu versehen, derart, dass alle saßen und Hebel hin- und herbewegten. Der Schlitten sollte über das Eis gleiten. Dann ersetzte ich diese Vorrichtung durch einen eigenartigen Segelsessel. Auf dem Fluss fuhren Bauern. Die Pferde scheuten vor dem dahingleitenden Segel, die Vorbeifahrenden schimpften. Doch durch meine Taubheit wurde ich dessen lange nicht gewahr. Als ich dann aber ein Pferd erblickte, holte ich eilig das Segel ein.<sup>41</sup>

Er war voller Ideen. Äußerlich wirkte Ziolkowski ruhig und ausgeglichen. Mittelgroß, mit langen schwarzen Haaren und schwarzen, etwas traurigen Augen, in Gesellschaft war er ungeschickt

---

<sup>40</sup>K. E. Ziolkowski: Mein Leben und Arbeiten. S. 34.

<sup>41</sup>Ebenda, S. 32.

und schüchtern, Er hatte nur wenige Freunde. In Borowsk war er mit Z. S. Jeremejew, einem Kollegen von der Schule, näher befreundet; in Kaluga halfen ihm dann viel W. I. Assonow, P. P. Kanning und später S. W. Stscherbakow. Beim Verteidigen seiner Ideen war er entschlossen und hartnäckig - ohne Rücksicht auf die Vorurteile der Kollegen und Nachbarn.

Fast alle seine Lehrerkollegen und die Vertreter der örtlichen Intelligenz sahen in Ziolkowski einen unverbesserlichen Phantasten und Utopisten. Boshaftere bezeichneten ihn als Dilettanten und Handwerker. Ziolkowskis Ideen erschienen den Spießern unglaublich: „Er denkt, dass ein Eisenball in die Luft steigt und fliegt. Was für ein komischer Ker!“

Der Gelehrte war immer beschäftigt, immer bei der Arbeit. Wenn er nicht las oder schrieb, dann arbeitete er an der Drehbank, lötete, hobelte. Für seine Schüler fertigte er viele funktionstüchtige Modelle.

Ich machte einen großen Luftballon aus Papier. Spiritus konnte ich nicht beschaffen. Deshalb brachte ich unten am Ballon ein Netz aus dünnem Draht an, in das ich einige glühende Spänchen legte. Der Ballon, der manchmal eine wunderliche Form annahm, stieg auf, soweit es der an ihm befestigte Faden erlaubte. Der Faden brannte jedoch durch, und mein Ballon entschwebte über die Stadt, ließ Funken und einen glühenden Span fallen. Er geriet dem Schuster auf das Dach. Der Schuster beschlagnahmte den Ballon.<sup>42</sup>

Die Spießer betrachteten alle Experimente Ziolkowskis als Kuriositäten und als Spielerei; viele hielten ihn in ihrer Gedankenlosigkeit für einen Sonderling und „ein bisschen übergeschnappt“. Es gehörte schon eine erstaunliche Energie und Hartnäckigkeit dazu, ein ungeheurer Glaube an das Fortschreiten der Technik, um in einer solchen Umgebung und unter schwierigen, fast armseligen Bedingungen tagtäglich zu arbeiten, zu erfinden, zu rechnen, die Dinge voranzutreiben.

---

<sup>42</sup>K. E. Ziolkowski. Mein Leben und Arbeiten. S. 33.

## 5 Arbeiten zur Theorie der Rückstoßbewegung

Praktische Dinge werden nur dann etwas, wenn man von den allgemeinen Grundlagen ausgeht, wenn man mit den betreffenden Abstrakta vertraut ist.  
D. I. Mendelejew

Unter den technischen und wissenschaftlichen Errungenschaften des 20. Jahrhunderts gebührt den Raketen und der Theorie der Rückstoßbewegung zweifellos einer der vorderen Plätze. Der zweite Weltkrieg führte zu einer ungewöhnlich schnellen Vervollkommnung der Konstruktion von Rückstoßflugkörpern. Auf den Schlachtfeldern tauchten wieder Pulverraketen auf, aber bereits mit hochwertigem rauchlosem Pyroxilin-Pulver („Katjuschas“).

Flugzeuge mit Luftstrahltriebwerk wurden geschaffen, unbemannte Flugzeuge mit intermittierend arbeitenden Strahltriebwerken und ballistische Raketen mit einer Flugweite bis zu 280 km. Heute ist die Raketentechnik ein sehr wichtiger und schnell wachsender Industriezweig. Die Theorie des Raketenfluges von Rückstoßapparaten entwickelt sich weiter und löst immer kompliziertere Aufgaben.

K. E. Ziolkowski hat viel dazu beigetragen, dass die Grundlagen der Theorie der Raketenbewegung erkannt wurden. Er war der erste, der die geradlinige Raketenbewegung ausgehend von den Gesetzen der theoretischen Mechanik als Forschungsaufgabe formulierte und untersuchte. Wie schon erwähnt, hat Ziolkowski das Prinzip, eine Bewegung mit Hilfe der Rückwirkungskräfte ausgestoßener Teilchen hervorzurufen, schon 1883 erkannt. Eine mathematisch strenge Theorie der Rückstoßbewegung hat er jedoch erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts geschaffen. Ziolkowski schrieb:

Lange verhielt ich mich zur Rakete wie alle: eine Spielerei und wenig zu gebrauchen. Ich erinnere mich nicht so recht, wie mir in den Sinn kam, Berechnungen zu einer Rakete anzustellen. Mir scheint, die ersten Samen dieses Gedankens streute der bekannte phantastische Schriftsteller Jules Verne; er erweckte mein Gehirn zur Arbeit in der bekannten Richtung. Es entstanden Fragen, aus den Fragen erwuchs die Geistestätigkeit.

... Ein alter Zettel mit endgültigen Formeln für eine Rückstoßvorrichtung trägt das Datum 25. August 1898 ... Ich habe niemals auf die vollständige Lösung der Frage Anspruch erhoben. Voran geht unweigerlich ein Gedanke, Phantasie, ein Märchen. Hinter ihnen schreitet das wissenschaftliche Kalkül. Und zu guter Letzt findet der Gedanke seinen krönenden Abschluss. Meine Arbeiten über kosmische Reisen gehören zur mittleren Schaffensphase.

Mehr als sonst jemand begreife ich, welcher Abgrund die Idee von ihrer Verwirklichung trennt, weil ich im Laufe meines Lebens nicht nur dachte und rechnete, sondern auch praktisch umsetzte, auch mit den Händen arbeitete. Aber eine Idee muss da sein: der praktischen Ausführung geht das Denken voraus, der exakten. Berechnung die Phantasie.<sup>43</sup>

1903 erschien in der Zeitschrift „Nautschnoje obosrenije“ (Wissenschaftliche Rundschau) der erste Artikel Konstantin Eduardowitschs über die Raketentechnik. Er war überschrieben: „Die Erforschung des Weltraums mit Rückstoßgeräten“.

In dieser Arbeit wurde auf der Grundlage der einfachsten Gesetze der theoretischen Mechanik (des Impulserhaltungssatzes und des Superpositionsprinzips der Kräfte) eine Theorie des Raketenfluges entwickelt und die Möglichkeit des Einsatzes von Rückstoßapparaten für einen interplanetaren Verkehr begründet.<sup>44</sup>

---

<sup>43</sup>1) K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. 8 479, 180.

<sup>44</sup>Die allgemeine Theorie der Bewegung von Körpern, deren Masse sich im Verlauf der Bewegung ändert, wurde von dem Professor am Petersburger Polytechnischen Institut I. W. Mesischerski (1859-1935) geschaffen.



10 Abb. 40. Zeitschrift „Wissenschaftliche Rundschau“

Die Idee, Raketen zur Lösung wissenschaftlicher Probleme einzusetzen und Rückstoßtriebwerke zu nutzen, um einen Verkehr großer Raumschiffe zwischen den Planeten ins Leben zu rufen, ist Ziolkowskis ureigenste Sache.

Er ist der Vater der modernen Flüssigkeitsraketen mit großer Reichweite, einer der Schöpfer eines neuen Kapitels der theoretischen Mechanik, der Mechanik von Körpern mit veränderlicher Masse.

Die klassische Mechanik, die die Gesetze der Bewegung und des Gleichgewichts von Körpern untersuchte, beruht auf drei Bewegungsgesetzen, die der englische Gelehrte Isaac Newton schon 1687 klar und streng formuliert hat. Diese Gesetze wurden von vielen Wissenschaftlern angewandt beim Studium der Bewegung von Körpern, deren Masse sich im Laufe der Bewegung nicht ändert.

Man betrachtete wichtige Fälle der Bewegung und schuf die Mechanik der Körper mit konstanter Masse als Grundlagenwissenschaft, Die Axiome der Mechanik von Körpern mit konstanter Masse und die Newtonschen Bewegungsgesetze stellen die Verallgemeinerung der gesamten Entwicklung der Mechanik bis dahin dar. Heutzutage werden die Grundgesetze der mechanischen Bewegung in allen Physiklehrbüchern dargelegt.

Wir gehen jetzt kurz auf die Newtonschen Bewegungsgesetze ein, weil der folgende Schritt in der Wissenschaft, der es gestattete, die Raketenbewegung zu studieren, eine Weiterentwicklung der Methoden der klassischen Mechanik darstellte.

Das erste Newtonsche Gesetz, das für spezielle Fälle bereits Galilei und Descartes bekannt war, wird folgendermaßen formuliert: Jeder Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, solange und soweit er nicht durch auf ihn ausgeübte Kräfte gezwungen wird, diesen Zustand zu ändern. Dieses Gesetz wird oft als Trägheitsgesetz bezeichnet.

Es drückt eine wesentliche Eigenschaft von Körpern aus. Der Sinn des Trägheitsgesetzes besteht darin, dass die mechanische Bewegung eines Körpers nicht aus dem Nichts entstehen kann, dass sie sich vielmehr nur unter dem Einfluss der Wechselwirkung mit anderen Körpern ergibt.

Isoliert vom Einfluss anderer Körper befindet sich jeder materielle Körper in Ruhe oder bewegt sich geradlinig und gleichförmig und behält diese Bewegung bei. Die Bewegung eines Körpers kann nicht verschwinden und in ein Nichts verwandelt werden, aber sie kann als mechanische

Bewegung auf einen anderen materiellen Körper übertragen werden oder kann in eine andere Bewegungsform umgewandelt werden (z. B. in Wärme).

Ist  $m$  die Masse des Körpers und  $v$  seine Geschwindigkeit, dann ist das Produkt  $mv$  der Impuls des Körpers. Für einen isolierten Körper bleibt sein Impuls während der Bewegung konstant. Eine Änderung des Impulses kann nur unter dem Einfluss eines anderen Körpers vor sich gehen oder, wie man in der Mechanik sagt, unter der Einwirkung von Kräften.

Das Bestreben eines Körpers, seinen Impuls beizubehalten, zeigt sich im Versuch darin, dass ein sich bewegender Körper beim Auftreffen auf ein Hindernis einen um so größeren Druck ausübt, je größer seine Geschwindigkeit und seine Masse sind.

Das zweite Newtonsche Gesetz bestimmt das Maß der mechanischen Wechselwirkung zwischen Körpern: Die Änderung des Impulses eines Körpers ist proportional der auf ihn ausgeübten bewegenden Kraft und ihr gleichgerichtet.

Legt man die Einheit von Masse, Geschwindigkeit und Zeit zweckentsprechend fest, dann kann man das zweite Gesetz (bei  $m = \text{konstant}$ ) so formulieren: Die Masse eines Körpers, multipliziert mit seiner Beschleunigung, ist gleich der bewegenden Kraft. Die Richtung der Beschleunigung stimmt mit der Richtung der auf ihn einwirkenden Kraft überein.



Abb. 11. K. E. Ziolkowski 1903

Auf diese Weise können wir die Größe der mechanischen Wechselwirkung zwischen Körpern durch die Änderung des Impulses messen<sup>45</sup>, bei Körpern mit konstanter Masse also durch die Beschleunigung des sich bewegenden Körpers.

Aus dem zweiten Newtonschen Gesetz folgt, dass ein und dieselbe Kraft Körpern mit unterschiedlichen Massen unterschiedliche Beschleunigungen erteilt. In der modernen theoretischen Mechanik bildet das zweite Newtonsche Gesetz die Grundlage, auf der alle mathematischen Berechnungen beruhen. Es ist jedoch darauf zu verweisen, dass das zweite Newtonsche Gesetz nur für Körper gilt, deren Masse während der ganzen Zeit der Bewegung konstant bleibt.

Demzufolge kann man das zweite Newtonsche Gesetz beispielsweise auf das Studium der Bewegung eines Artilleriegeschosses anwenden, aber nicht eines Raketengeschosses, das durch

---

<sup>45</sup>Wenn sich die Masse eines Körpers im Laufe der Zeit ändert, ist die Impulsänderung nur unter der Bedingung das Maß der Wechselwirkungskraft, dass die absolute Geschwindigkeit der abgestoßenen Teilchen gleich Null ist.



den Treibstoffverbrauch seine Masse ändert. Für Körper mit konstanter Masse sind die Newtonschen Gesetze und die Ableitungen daraus durch die Praxis bestätigt, mit Ausnahme spezieller Bereiche der Technik, die der Relativitätstheorie unterliegen.

Das dritte Newtonsche Gesetz hat die größte Bedeutung für die Theorie der Raketenbewegung: Die Wirkung ist immer gleich der entgegengerichteten Gegenwirkung, anders gesagt, die von zwei Körpern aufeinander ausgeübten Kräfte sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet.<sup>46</sup>

Tatsächlich wird irgendein Körper, wenn er auf einen anderen Druck oder Zug ausübt, selbst von diesem gedrückt oder gezogen. Wenn man mit dem Finger auf einen Stein drückt, dann wird auch der Finger durch den Stein gedrückt. Wenn irgendein Körper, der auf einen anderen auftrifft, dessen Impuls ändert, dann erfährt sein eigener Impuls dieselbe Änderung, aber in entgegengesetzter Richtung.

Es ist zu vermerken, dass Wirkung und Gegenwirkung verschiedenen Körpern auferlegt sind und deshalb kein im Gleichgewicht stehendes Kräftesystem darstellen. Aus diesem Grunde können sowohl Wirkung wie auch Gegenwirkung eine Bewegung der Körper hervorrufen, auf die sie ausgeübt werden.

Zum Beispiel wirkt beim Fall eines Steins im Erdanziehungsfeld die Gegenwirkungskraft auf die Erde. Die Wirkung ruft eine Bewegung des Steines hervor, die Gegenwirkung eine Bewegung der Erde. (Weil die Masse des Steines verschwindend klein ist im Vergleich zur Masse der Erde, kann die Verlagerung der Erde aber nicht festgestellt werden.)

Die Gegenwirkung heißt auf lateinisch *reactio*, und die Kräfte, die im Ergebnis der Wechselwirkung einander berührender Körper auftreten, werden oft als Reaktionskräfte bezeichnet. Beispielsweise wirkt ein Ruder auf das Wasser ein, versetzt es in Bewegung, aber die Wasserteilchen üben auf das Ruder Reaktionskräfte aus und fördern damit die Bewegung des Bootes.

Obwohl die Newtonschen Gesetze und einige für die Herausbildung der Theorie der Reaktionsbewegung (im deutschen Sprachgebrauch ist die Bezeichnung „Rückstoßbewegung“ üblich) notwendige Schlussfolgerungen wohlbekannt waren, dauerte es über 200 Jahre, bis die Grundthesen dieser neuen Wissenschaft entdeckt wurden.

Für das Verständnis der Grundlagen der Theorie der Bewegung von Körpern mit veränderlicher Masse hat das Impulserhaltungsgesetz abgeschlossener mechanischer Systeme die wesentlichste Bedeutung. Erläutern wir das Wesen dieses Gesetzes.

Man stelle sich ein System von Teilchen oder Körpern vor, die sich nur unter dem Einfluss der Wechselwirkungskräfte zwischen ihnen bewegen. Ein solches mechanisches System bezeichnet man als abgeschlossen. Das anschaulichste Beispiel eines abgeschlossenen mechanischen Systems ist das Sonnensystem (bestehend aus der Sonne und den Planeten), weil die Bewegung der Körper in diesem System nur von den Kräften ihrer gegenseitigen Anziehung abhängig ist oder von inneren Kräften.

Äußere Kräfte, bedingt durch die Einwirkung der Sterne und Sternhaufen auf das Sonnensystem, sind wegen ihrer gewaltigen Entfernung vernachlässigbar klein. Die Bewegung eines beliebigen Körpers in einem abgeschlossenen mechanischen System hängt ab von der Bewegung und der Stellung der übrigen Körper des Systems. Man kann streng mathematisch beweisen, dass in einem abgeschlossenen mechanischen System der Gesamtimpuls während der Bewegung konstant bleibt, er ist gleich dem Anfangsimpuls dieses Systems.

Wenn zum Anfangszeitpunkt alle Teilchen bewegungslos waren, dann ist der Gesamtimpuls

---

<sup>46</sup>In den Formulierungen des ersten, zweiten und dritten Newtonschen Gesetzes geht es um Körper mit hinreichend kleinen Abmessungen (in der theoretischen Mechanik als materielle Punkte bezeichnet).

gleich Null. Er kann sich weiterhin unter der Wirkung innerer Kräfte nicht ändern, obwohl innere Kräfte eine Bewegung der Teilchen auslösen können.

Betrachten wir z.B. zwei kleine Kugeln von gleicher Masse, die auf einem ebenen polierten Tisch liegen oder sich im kosmischen Raum befinden, wo es keine Schwerkraft und keinen Luftwiderstand gibt.

Wir bringen zwischen den Kugeln eine Feder an, drücken sie zusammen, legen um die Kugeln eine Schlinge und setzen sie auf den Tisch (Abb. 12). Die Wirkung der elastischen Federkraft auf die Kugeln ist eine innere Kraft, und wenn zum Anfangszeitpunkt die Geschwindigkeiten der Kugeln gleich Null sind, dann ist der Impuls dieses Systems gleich Null. Zerschneiden wir die Schlinge, mit der die zwei Kugeln zusammengehalten werden, dann stößt sie die Feder in direkt entgegengesetzte Richtungen. In Übereinstimmung mit dem Impulserhaltungssatz bewegen sich die Kugeln so, dass ihr Gesamtimpuls wie vorher gleich Null ist.

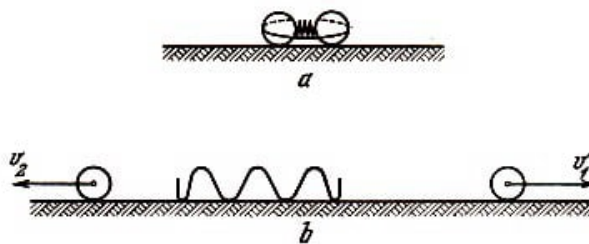


Abb. 12. Zwei Kugeln mit Feder

- a) Kugeln unbeweglich, Feder zusammengedrückt; b) Feder entspannt, die Kugeln erhielten eine Geschwindigkeit gemäß dem Impulserhaltungssatz

Wenn der Impuls der ersten Kugel gleich  $mv_1$  ist, mit  $m_1$  - Masse und  $v_1$  - Geschwindigkeit der ersten Kugel, und wenn der Impuls der zweiten Kugel  $mv_2$  ist, mit  $m_2$  - Masse und  $v_2$  - Geschwindigkeit der zweiten Kugel, dann gilt auf Grund des Impulserhaltungssatzes

$$m_1v_1 + m_2v_2 = 0$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich

$$v_1 = -\frac{m_2}{m_1}v_2$$

Wenn die Massen der Kugeln einander gleich sind ( $m_1 = m_2$ ), dann sind die Geschwindigkeiten der Kugeln ebenfalls gleich, aber entgegengesetzt gerichtet (darauf verweist das Minuszeichen). Wenn die Massen der Kugeln nicht gleich sind, dann wird die Kugel mit der größeren Masse die kleinere Geschwindigkeit haben.

Genauso verhält es sich, wenn man von einem stillliegenden Boot springt. Jeder weiß, dass sich beim Springen vom Boot (d. h. wenn man beim Abstoßen eine Geschwindigkeit in horizontaler Richtung erhält) das Boot in entgegengesetzter Richtung zu bewegen beginnt.

Wenn die Masse des Bootes 4mal so groß ist wie die Masse des Springenden und der Springende eine horizontale Geschwindigkeit von 2 m/s erreicht, dann ist  $v$  des Bootes  $= -\frac{1}{4}v$  des Menschen, also gleich  $-\frac{1}{2}$  m/s. Aus dieser einfachen Rechnung ergeben sich wichtige Schlussfolgerungen:

1. Wenn von irgendeinem Körper (Boot, Schiff) ein anderer Körper weggeschleudert (abgestoßen) wird, dann wird der Impuls dieses Körpers gleich dem Impuls, den der zweite Körper erhält.
2. Die Kraft, mit der die Beine des springenden Menschen dem Boot einen Stoß geben, kann

man als Rückstoßkraft betrachten, und sie ist offensichtlich um so größer, je größer die Masse (das Gewicht) des Menschen und je größer seine Absprunggeschwindigkeit sind. Nach dem Gesetz von Wirkung und Gegenwirkung ist in dem Moment, da sich der Mensch vom Boot löst, sein Druck auf das Boot gleich dem Druck des Bootes auf die Fußsohlen des Menschen.

3. Wenn einige Menschen von dem Boot nacheinander mit einer gewissen relativen Geschwindigkeit abspringen, dann erhöht sich stufenweise die Geschwindigkeit des Bootes, aber seine Masse wird geringer. Ein solches Schiff mit Menschen, die sich davon ablösen (abstoßen), gleicht einer Rakete.

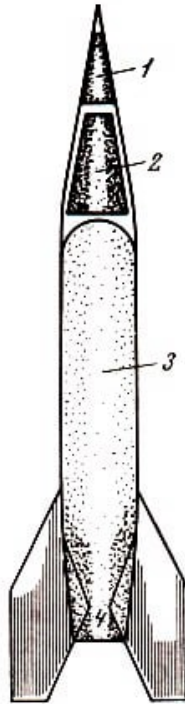


Abb. 13. Schema einer Rakete mit Feststofftriebwerk  
1 Nutzlast; 2 Sektion für Steuergeräte; 3 Brennkammer mit festem Treibstoff; 4 Ausströmdüse

Abb. 13 zeigt im Schnitt eine ganz einfache Rakete mit Feststofftriebwerk. Solch eine Rakete stellt einen Rotationskörper mit konischem Kopfteil dar. In ihm ist die zu transportierende Nutzlast untergebracht (Sprengstoff, Geräte, Post usw.). Den größeren Teil des Raketenvolumens beansprucht das Feststofftriebwerk, bestehend aus einer mit Treibsätzen gefüllten Kammer und einer besonders geformten Ausströmdüse.

Beim Abbrennen der Treibsätze bilden sich heiße Gase und treten mit großer Geschwindigkeit durch die Düse aus. Sie erzeugen eine Rückstoßkraft, die um so größer ist, je größer die Geschwindigkeit der aus der Düse strömenden Teilchen ist und je mehr Teilchen pro Sekunde ausströmen.

Raketentriebwerke für flüssigen Treibstoff haben eine spezielle Brennkammer. Durch Einspritzdüsen werden flüssiger Brennstoff und Oxydator in die Brennkammer geleitet. Die Zufuhr der Treibstoffkomponenten wird so berechnet, dass eine vollständige Verbrennung gewährleistet ist.

In der Brennkammer (Abb. 14) wird der Treibstoff entzündet, und die Verbrennungsprodukte - heiße Gase - strömen durch eine besonders profilierte Düse mit hoher Geschwindigkeit.

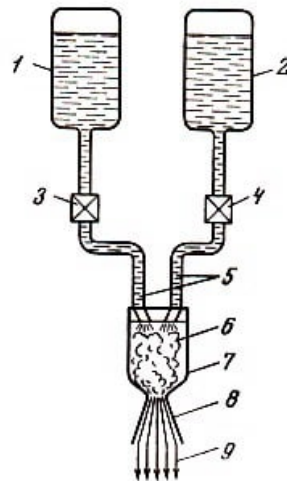


Abb. 14. Vereinfachtes Schema eines Flüssigkeitsraketenantriebes  
 1 Oxydatortank; 2 Brennstofftank; 3 Oxydatorpumpe; 4 Brennstoffpumpe; 5 Einspritzdüsen;  
 6 Brennkammer; 7 Brennkammergehäuse; 8 Ausströmdüse; 9 Strahl ausgestoßener Teilchen  
 (Verbrennungsprodukte)

Oxydator und Brennstoff werden in besonderen Behältern untergebracht, die in der Rakete oder im Flugzeug angeordnet sind. Für die Zufuhr von Oxydator und Brennstoff in die Brennkammer werden Kreispumpen eingesetzt, oder man drückt sie mit einem komprimierten neutralen Gas (z. B. Stickstoff) aus den Tanks heraus.

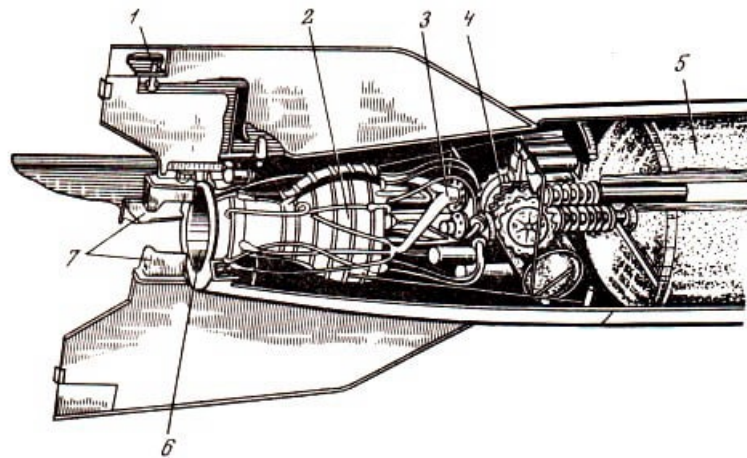


Abb. 15. Flüssigkeitsraketenantrieb, am Heck einer Rakete eingebaut  
 1 Luftruder; 2 Brennkammer; 3 Rohrleitung für Brennstoffzufuhr (Alkohol); 4  
 Kreiselpumpenaggregat; 5 Oxydatortank; 6 Ausströmdüse; 7 Strahlruder

Abb. 15 zeigt ein Raketenantriebwerk älterer Bauart. Misst man die Ausströmgeschwindigkeit in Meter je Sekunde, den Massenausstoß (Massendurchsatz) in Kilogramm je Sekunde, dann erhält man die Rückstoßkraft in Newton. Nehmen wir z. B. ein Raketenantriebwerk, in dem jede Sekunde 5 kg Treibstoff verbrennen. Die Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsprodukte sei 2000 m/s. Dann ist die Rückstoßkraft ( $F$ )

$$F = 5 \cdot 2000 \text{ kg m s}^{-2} = 10000 \text{ N} = 10 \text{ kN}$$

In der Entwicklung ballistischer Raketen (und von Flugapparaten mit Rückstoßantrieb überhaupt) gelangen große Fortschritte in den letzten Jahrzehnten. Bemerkenswerte Erfolge, die

neue Entwicklungswege für die Raketentechnik und das Fliegen mit Rückstoßtriebwerken wiesen, erzielte die Sowjetunion.

Es sei nur angeführt, dass am 27. August 1957 in der UdSSR eine mehrstufige ballistische Rakete gestartet wurde. Am 4. Oktober 1957 wurde der erste künstliche Erdsatellit gestartet und folglich erstmalig die Minimumkreisbahngeschwindigkeit (7912 m/s) erreicht. Im Laufe des Jahres 1959 gab es drei erfolgreiche Starts sowjetischer Sonden zum Mond.

Dabei wurde erstmals die Fluchtgeschwindigkeit (etwa 11,2 km/s) erreicht. Es wurden die Trägerrakete „Wostok“ und das Raumschiff „Wostok“ geschaffen. Sie ermöglichten es, dass am 12. April 1961 der Fliegerkosmonaut Juri Alexejewitsch Gagarin seinen erfolgreichen Flug um den Erdball absolvierte. Ihm folgten viele weitere Fliegerkosmonauten.

Als bedeutsamste Errungenschaft der USA-Raketentechnik erwies sich die Entwicklung der Trägerrakete „Saturn V“, deren Masse auf 3000 t kommt. Mit Hilfe dieser Raketen wurden die ersten Landungen amerikanischer Astronauten auf dem Mond möglich. Die letzte Raketenstufe (des Systems „Saturn V-Apollo“) hatte ebenfalls die Fluchtgeschwindigkeit.

Die erste Stufe der Saturn-V-Rakete hatte fünf Raketentriebwerke F 1, von denen jedes einen Schub von 690 Mp entwickelte. Der Gesamtschub der Triebwerke der ersten Raketenstufe von „Saturn V“ betrug also 3450 Mp, wobei in der Sekunde etwa 13200 kg Treibstoff verbraucht wurden.

Bewegt man sich nur innerhalb der Atmosphäre, ist es angebracht, zur Verbrennung des Brennstoffes einfach den Luftsauerstoff zunutzen. Wir erhalten das sogenannte Luftstrahltriebwerk. Das einfachste Beispiel eines Luftstrahltriebwerkes ist ein gewöhnliches, an beiden Enden offenes Rohr mit wechselndem Querschnitt. Den Gedanken, Luftstrahltriebwerke für moderne Flugzeugtypen zu verwenden, arbeitete K. E. Ziolkowski selbständig mit großer Sorgfalt aus. Er lieferte die ersten Berechnungen für die Flugcharakteristika von Flugzeugen mit Luftstrahl- und Turbopropeller-Triebwerken.

Abb. 16 zeigt das Schema eines direkt wirkenden Luftstrahltriebwerkes, bei dem die Bewegung der Luftteilchen längs der Rohrachse infolge der Anfangsgeschwindigkeit zustande kommt.

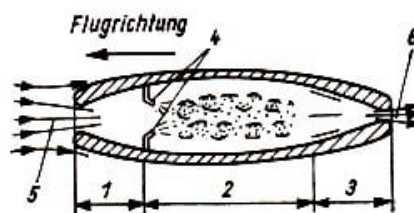


Abb. 16. Schema eines direkt wirkenden Luftstrahltriebwerkes  
1 Diffusor; 2 Brennkammer; 3 Düse; 4 Einspritzdüsen; 5 Lufteintritt; 6 mit großer Geschwindigkeit ausgestoßene Verbrennungsprodukte

Diese erhält der Flugkörper durch irgendein anderes Triebwerk (oder der Luftdurchsatz wird durch eine eingebaute Turbine bewirkt), während die weitere Bewegung durch die Rückstoßkraft aufrechterhalten wird. Sie ergibt sich aus der gegenüber der Geschwindigkeit der eintretenden Teilchen erhöhten Geschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen. Die Energie eines Luftstrahltriebwerkes wird durch das Verbrennen des Brennstoffes gewonnen, genau wie bei einer einfachen Rakete.

Ein gut gerichteter Strahl der ausgestoßenen Teilchen - das ist die Hauptsache bei der Konstruktion aller Rückstoßapparate. Die Methoden, einen kraftvollen Teilchenstrom zu erhalten, sind sehr unterschiedlich. Das Problem, wie man Teilchenströme auf einfachste und möglichst

ökonomische Weise erhält, das Erarbeiten von Methoden zur Regulierung solcher Ströme. ist eine dankbare Aufgabe für Erfinder und Konstrukteure.

Betrachten wir nun die Bewegung einer ganz einfachen Rakete. Es ist leicht zu verstehen, dass sich ihre Masse ändert, weil ein Teil davon, der Treibstoff, im Lauf der Zeit verbrennt und abgestoßen wird.

Eine Rakete ist ein Körper mit veränderlicher Masse.

Die Theorie der Bewegung solcher Körper wurde Ende des 19. Jahrhunderts in Russland von I. W. Mestscherski und K. E. Ziolkowski geschaffen.

Diese großartigen Arbeiten von Mestscherski und Ziolkowski ergänzen einander sehr schön. Ziolkowskis Studien über die geradlinige Raketenbewegung bereicherten die Theorie der Bewegung von Körpern mit veränderlicher Masse wesentlich, denn sie warfen gänzlich neue Fragen auf. Bemerkenswert ist, dass Ziolkowski die Hauptformeln für die Raketenbewegung im kräftefreien Raum und in einem homogenen Schwerfeld bereits bis zum 10. Mai 1897 gefunden hatte.

Der erste Teil der Arbeit konnte jedoch erst 1903 unter dem Titel „Die Erforschung des Welt- raumes mit Rückstoßgeräten“ veröffentlicht werden.

Die Hauptergebnisse der Dissertation von I. W. Mestscherski lagen nicht später als am 27. März 1897 vor. An diesem Tag wurde nämlich die Dissertation Iwan Wsewolodowitschs von der Petersburger Universität zum Druck gegeben. Im November 1897 kam die Arbeit heraus. Ein eingehendes Studium der veröffentlichten und der Archivmaterialien erlaubt es, den Schluss zu ziehen, dass die Entdeckungen Mestscherskis und Ziolkowskis in der Raketendynamik un- abhängig voneinander gemacht wurden.<sup>47</sup>

Die Bewegung von Rückstoßapparaten zu studieren, bereitet große Schwierigkeiten, weil derar- tige Apparate ihre Masse während des Fluges erheblich verändern. Schon jetzt werden Raketen gebaut, deren Masse sich während der Arbeit des Triebwerkes auf ein Achtel oder Zehntel ver- ringert. Die Massenänderung der Rakete im Verlauf des Fluges gestattet es nicht, unmittelbar die Formeln und Folgerungen der klassischen Mechanik zu verwenden.

Bekanntlich nimmt man auch bei solchen technischen Aufgaben, wo man es mit Körpern veränderlicher Masse zu tun hat (z.B. Flugzeuge mit großem Treibstoffvorrat), an, dass die Flugbahn des Körpers in Abschnitte geteilt und auf jedem Teilabschnitt die Masse des sich bewegenden Körpers als konstant angesetzt werden kann.

Durch diese Annahme ersetzt man das schwierige Problem der Bewegung eines Körpers mit veränderlicher Masse durch das einfachere und schon gelöste Problem der Bewegung eines Körpers mit konstanter Masse. Ziolkowski hat für das Studium der Bewegung einer Rakete als Körper mit veränderlicher Masse eine solche Grundlage geschaffen. Heute bezeichnen wir die Theorie des Raketenfluges als Raketendynamik.

Ziolkowski gilt als Begründer der modernen Raketendynamik. Die veröffentlichten Arbeiten zu diesem Thema lassen eine folgerichtige Entwicklung seiner Ideen auf diesem neuen Gebiet erkennen.

Nach welchen Grundgesetzen richtet sich die Bewegung von Körpern mit veränderlicher Masse? Wie berechnet man die Fluggeschwindigkeit eines Rückstoßapparates? Wie findet man die Flughöhe einer senkrecht aufsteigenden Rakete? Wie gelangt man mit einem Rückstoßgerät

---

<sup>47</sup>Siehe A. A. Kosmodemjanski: Die ersten Arbeiten von K. E. Ziolkowski und I. W. Mestscherski zur Ra- ketendynamik, Fragen der Geschichte von Naturwissenschaft und Technik. Ausg. 2(43). Moskau 1973 (russ.).

über die Grenzen der Atmosphäre, durchbricht den „Panzer“ der Atmosphäre? Wie überwindet man die Erdanziehung?

Das sind einige der Fragen, die Ziolkowski untersuchte und beantwortete.

Aus unserer Sicht ist Ziolkowskis wertvollste Idee in der Raketentheorie, die Mechanik von Körpern veränderlicher Masse als neue Teildisziplin an die klassische Newtonsche Mechanik anzuschließen. Eine neue große Gruppe von Erscheinungen dem menschlichen Verstand untertan zu machen, etwas zu erklären, was viele sahen, aber nicht verstanden, der Menschheit ein wirksames Werkzeug für technische Veränderungen zu geben - das waren die Aufgaben, die sich der geniale Ziolkowski stellte.

Sein ganzes Forschertalent, all seine Originalität, seine schöpferische Eigenständigkeit und der kühne Flug seiner Phantasie offenbaren sich in seinen Arbeiten zur Raketendynamik mit besonderer Kraft und Produktivität. Jahrzehnte vorher sagte er die Entwicklungswege der rückstoßgetriebenen Flugkörper voraus, erkannte er jene Änderungen, denen die gewöhnliche Feuerwerksrakete unterzogen werden musste, um zu einem mächtigen Instrument technischen Fortschritts in einem neuen Wissensbereich zu werden.

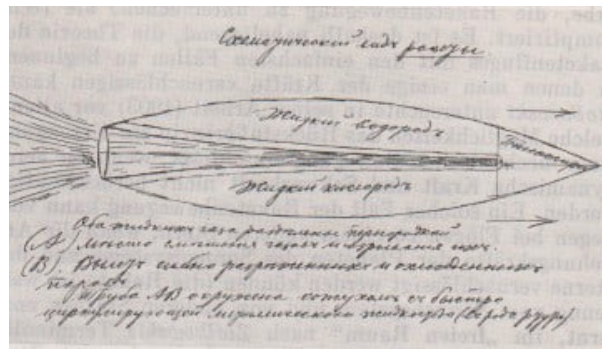


Abb. 17. Erste Variante von K. E. Ziolkowskis Flüssigkeitsrakete (Treibstoffkomponenten: flüssiger Wasserstoff und flüssiger Sauerstoff)

In seiner Arbeit „Die Erforschung des Weltraumes mit Rückstoßgeräten“ (1911) verwies Ziolkowski auf jene ganz einfachen Anwendungsformen von Raketen, die seit langem bekannt waren:

Solche kümmerlichen Formen des Rückstoßes beobachten wir auch gewöhnlich auf der Erde. Eben deshalb konnten sie niemanden zu Träumen und Forschungen anregen. Nur Verstand und Wissenschaft können darauf hinlenken, diese Erscheinungen in grandiose, für die Sinne nahezu unfassbare Dimensionen zu übertragen.<sup>48</sup>

Beim Flug einer Rakete in nicht allzu großen Höhen wirken auf sie drei Hauptkräfte: die Schwerkraft (die Newtonsche Gravitationskraft), die durch die Atmosphäre bedingte aerodynamische Kraft (meist zerlegt man diese Kraft in den Auftrieb und den Luftwiderstand) und die vom Triebwerk bewirkte Rückstoßkraft. Bei Berücksichtigung aller genannten Kräfte erweist sich die Aufgabe, die Raketenbewegung zu untersuchen, als recht kompliziert.

Es ist deshalb naheliegend, die Theorie des Raketenfluges mit den einfachsten Fällen zu beginnen, in denen man einige der Kräfte vernachlässigen kann, Ziolkowski untersuchte in seiner Arbeit (1903) vor allem, welche Möglichkeiten das Rückstoßprinzip zur Erzeugung einer mechanischen Bewegung einschließt, wenn die aerodynamische Kraft und Schwerkraft nicht berücksichtigt werden.

Ein solcher Fall der Raketenbewegung kann vorliegen bei Flügen zu einem anderen Stern, wenn

<sup>48</sup>K. E. Ziolkowski: Arbeiten zur Raketentechnik. Moskau 1947, S. 60

die Anziehungskräfte der Planeten des Sonnensystems und der Sterne vernachlässigt werden können (die Rakete ist weit genug vom Sonnensystem und von anderen Sternen entfernt, im „freien Raum“ nach Ziolkowskis Terminologie.)

Diese Fragestellung nennt man heute das erste Ziolkowskische Problem. Die Bewegung der Rakete hängt in diesem Fall nur von der Rückstoßkraft ab. Bei der mathematischen Formulierung der Aufgabe führt Ziolkowski die Annahme ein, dass die relative Geschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen konstant ist. Beim Flug im leeren Raum bedeutet diese Annahme, dass das Rückstoßtriebwerk nach festen Funktionswerten arbeitet und über den Düsenquerschnitt die Geschwindigkeiten der ausströmenden Teilchen nicht von der Raketengeschwindigkeit abhängen.

Konstantin Eduardowitsch begründet diese Hypothese in seiner Arbeit „Die Erforschung des Weltraumes mit Rückstoßgeräten“ folgendermaßen:

Damit der Flugkörper die größtmögliche Geschwindigkeit erhält, ist es notwendig, dass jedes Teilchen der Verbrennungsprodukte oder eines anderen Ausstoßes die größtmögliche Geschwindigkeit erhält. Diese ist aber durch den Ausstoßstoff gegeben. Energie sparen gibt es hier nicht: das ist nicht möglich und nicht vorteilhaft.

Mit anderen Worten, der Raketentheorie muss man eine konstante Relativgeschwindigkeit der Ausstoßteilchen zugrunde legen.<sup>49</sup>

Ziolkowski stellt eine Gleichung der Raketenbewegung bei konstanter Geschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen auf und diskutiert sie ausführlich. Er erhält ein äußerst wichtiges mathematisches Resultat, das heute als Ziolkowski-Formel bekannt ist.

Bezeichnet  $v$  die Geschwindigkeit der Rakete in dem Zeitpunkt, da ihre Masse gleich  $M$  ist, und  $u$  die konstante Geschwindigkeit der aus der Triebwerksdüse ausgestoßenen Teilchen, dann hat die Ziolkowski-Formel folgendes Aussehen:

$$v = u \ln \frac{M_0}{M} \approx 2,3 \left( \lg \frac{M_0}{M} \right) u$$

wobei  $M_0$  Masse der Rakete zum Zeitpunkt des Starts ist, zu dem ihre Geschwindigkeit gleich Null ist.

Die Phase des Raketenfluges, in der das Triebwerk arbeitet, nennt man aktive oder Antriebsperiode. Am Ende der aktiven Periode ist die Geschwindigkeit der Rakete am größten. Ist die Masse der Rakete bei gänzlich verbrauchtem Treibstoff  $M_1$  und die Endgeschwindigkeit  $v_{\max}$ , dann folgt aus der Ziolkowski-Formel

$$v_{\max} \approx 2,3u \lg \frac{M_0}{M_1}$$

Das Verhältnis der Anfangsmasse der Rakete zur Masse am Ende des Verbrennungsprozesses sei 10 und die Ausströmgeschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen gleich 3000 m/s. Dann ergibt sich die Endgeschwindigkeit der Rakete zu

$$v_{\max} \approx 2,3 \cdot 3000 \cdot 1 = 6900 \text{ m/s}$$

Aus der Ziolkowski-Formel folgt: um eine möglichst große Raketengeschwindigkeit bei Brennschluss des Triebwerkes zu erreichen, muss man einmal die Ausströmgeschwindigkeit und zum anderen den Anteil des Treibstoffvorrats erhöhen.

---

<sup>49</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 197.



Eine Erhöhung der relativen Ausströmgeschwindigkeit der Teilchen erfordert, das Rückstoßtriebwerk zu vervollkommen und die Treibstoffkomponenten sinnvoll auszuwählen. Der zweite Weg, der mit einer Vergrößerung des Treibstoffvorrates verbunden ist, erfordert, die Konstruktion des Raketenkörpers bedeutend zu verbessern, so dass die „Trocken“masse des Triebwerkes abnimmt und die Hilfsmechanismen sowie die Geräte zur Flugsteuerung leichter werden.

Die von Ziolkowski angestellte strenge mathematische Analyse offenbarte die Hauptgesetzmäßigkeiten der Raketenbewegung und schuf die Möglichkeit, die Vor- und Nachteile konkreter Raketenkonstruktionen quantitativ abzuschätzen.

Die einfache Ziolkowski-Formel gestattet es, mittels elementarer Rechnungen die Ausführbarkeit dieses oder jenes Vorhabens festzustellen. Nehmen wir beispielsweise einmal an, wir wollen eine einstufige Rakete für einen Flug zum Mars schaffen und verfügen über ein Triebwerk mit einer Ausströmgeschwindigkeit von 2500 m/s.

Wir wissen, dass zum Verlassen des Anziehungsbereiches der Erde eine Geschwindigkeit von 11,2 km/s nötig ist. Dann kann man aus der Ziolkowski-Formel den notwendigen Anteil des Treibstoffes an der Raketenmasse finden:

$$11,2 \text{ km/s} = 2,3 \cdot 2500 \text{ m/s} \lg \frac{M_0}{M_1} \quad \text{d.h.} \quad \lg \frac{M_0}{M_1} = 1,948$$

Einer Logarithmentafel entnimmt man  $\frac{M_0}{M_1} = 88$ , d.h., die Gesamtmasse der Raketenkörperkonstruktionen, des Triebwerkes, der Hilfsmechanismen und der Steuergeräte darf nur 1/88, also nur etwas mehr als 1% der Startmasse betragen. Heutzutage lässt sich eine solche Rakete nicht bauen.

Wenn es gelingt, die Ausströmgeschwindigkeit auf 4850 m/s zu erhöhen, dann ist, wie man aus der Ziolkowski-Formel leicht findet, und folglich

$$\frac{M_0}{M_1} = 10$$

d. h., die Masse der Rakete ohne Treibstoff kann 10% der Startmasse betragen. Eine solche Rakete ist realisierbar.

Die Ziolkowski-Formel kann auch in den Fällen zur annähernden Abschätzung der Raketengeschwindigkeit benutzt werden, wenn aerodynamische Kraft und Schwerkraft im Verhältnis zur Rückstoßkraft nicht allzu groß sind. Probleme ähnlicher Art entstehen bei der Schaffung von Feststoffraketen mit kürzerer Brennzeit und großem Massendurchsatz.

Die Rückstoßkraft übersteigt bei solchen Feststoffraketen die Schwerkraft um das 40-120fache und den Luftwiderstand um das 20-60fache. Die Endgeschwindigkeit solcher Feststoffraketen, die man nach der Ziolkowski-Formel berechnet, unterscheidet sich von der wahren um 1-4%. Eine solche Genauigkeit bei der Bestimmung der Flugcharakteristika reicht im Anfangsstadium der Projektierung völlig aus.

Die Ziolkowski-Formel gestattete quantitative Aussagen darüber, was mit der Methode, eine Bewegung durch Rückstoß zu vermitteln, maximal möglich ist.

Nach Ziolkowskis Arbeit von 1903 begann eine neue Epoche in der Entwicklung der Raketentechnik, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Flugcharakteristika der Raketen im voraus berechnet werden können. Ziolkowskis Arbeit markiert also den Beginn der wissenschaftlichen Raketenprojektierung.

Die Voraussicht des Pulverraketenkonstruktors K. I. Konstantinows einer Wissenschaft von der Ballistik der Raketen (Raketendynamik) gewann in Ziolkowskis Arbeiten reale Gestalt.

## 6 Aus der Geschichte der Luftfahrt und der Raketentechnik in Russland

Die Lebensfähigkeit und Bedeutung einer Idee ist nur durch lange Erfahrung zu erkennen,  
Den Wert der schöpferischen Arbeit eines Gelehrten bestimmt die Zeit.  
W. I. Wernadski

Befassen wir uns zuerst mit der Geschichte der Raketentechnik im Russland des 19. Jahrhunderts. In früheren Zeiten wurden Raketen nur für festliche Feuerwerke und Illuminationen benutzt.

Eine Kampf Rakete oder ein Raketengeschoss ist ein Fluggerät, schwerer als Luft, das durch die Rückstoßkräfte aus dem Gerät ausgestoßener Teilchen bewegt wird. Die Resultierende aus den Rückstoßkräften der ausgestoßenen Teilchen wird häufig als Reaktionsschub bezeichnet. In den meisten Fällen stimmt die Richtung der Schubkraft mit der Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Raketenschwerpunkts überein, oder sie bildet (wie z.B. bei Bahnmanövern oder einem programmierten Flug auf einer vorgegebenen gekrümmten Bahn) mit diesem Geschwindigkeitsvektor einen bestimmten Winkel. Bei programmierten Flügen von interkontinentalen Raketen und Raketen mittlerer Reichweite (bis 5000 km) ist dieser Winkel während der Antriebsperiode nicht sehr groß.

Das Wort „Rakete“ kommt vom italienischen „rocchetto“, was Stange, Spindel heißt.

Das Prinzip des Rückstoßantriebs (des Triebwerks mit direkter Rückwirkung) war schon lange bekannt. Bis ins Altertum reichen verschiedenartige Versuche, solche Triebwerke zu nutzen, um Fluggeräte, d.h. Raketen unterschiedlicher Systeme und Zweckbestimmung, zu schaffen. Die Geschichtsschreibung überlieferte, dass in China vor mehr als 2000 Jahren Raketen zur Belustigung dienten. Später setzten die Chinesen Raketen auch als Kampfmittel ein. Bereits 1232 beschossen sie mit Erfolg mongolische Horden. In dem amerikanischen „Handbook of Astronautical Engineering“ steht, dass die ersten Abbildungen von Raketen in babylonischen Handschriften aus der Zeit um 3200 v.u.Z. zu finden sind.

Von den ernsthaften Forschungen über Raketenkonstruktionen ist die Arbeit des polnischen Ingenieurs Kazimierz Simenowicz zu erwähnen, der 1650 in deutscher Sprache das Buch „Rogetten für Luft und Wasser“ veröffentlichte und erstmals in der Welt eine Zeichnung von einer dreistufigen Rakete vorlegte.

Ende des 18. Jahrhunderts stießen die Engländer bei der Eroberung Indiens auf Trupps geübter Raketen-Krieger.

Der indische Fürst Gaidar-Ali schuf schon 1766 ein Raketenschützenkorps von 1200 Mann. Später vergrößerte sein Sohn Tippu-Sahib den Bestand dieses Korps auf 5 000 Mann. Die indischen Kampf Raketen wurden 1799 bei Seringapatam gegen die Engländer eingesetzt. Muster dieser Raketen werden heute noch im Woolwich-Museum (England) aufbewahrt.

Die Raketen der Truppen Tippu-Sahibs bestanden aus etwa 30 cm langen Eisenhülsen, an die zur Flugstabilisierung Bambusstangen von 2,5-3 m Länge angesetzt wurden. Diese Stangen wurden durch eine Drahtwicklung mit den Hülsen verbunden. Äußerlich erinnerten die indischen Raketen aber an Feuerwerksraketen, weil ihr „Kampfteil“ aus einer eisernen Spitze (einem Pfeil) bestand.<sup>50</sup>

---

<sup>50</sup>Eine nähere Beschreibung der indischen Raketen findet man in B. Williams, S. Epstein: The Rocket Pioneers. London 1957

Der Nutzeffekt dieser Raketengeschosse - der „Feuerpfeile“ - war jedoch durchaus beachtlich. Die Truppen Tippu-Sahibs demoralisierten die englische Kavallerie restlos.

Der erste, der sich in Europa für die indischen Kampfraketen interessierte, war der englische General William Congreve (1772-1828). Er organisierte im Arsenal von Woolwich die Produktion von Pulverraketen und unternahm mit ihnen viele Experimente. Insbesondere fand er, dass der optimale Winkel der Abschussvorrichtung, unter dem die Rakete eine maximale Flugweite erreicht, 55° beträgt.

Bei der wirkungsvollen Beschießung von Kopenhagen im Jahre 1806, an der Congreve teilnahm, wurden etwa 25000 Raketen losgelassen. Nach der Beschießung Kopenhagens begann man in fast allen Ländern Europas an Pulverkampfraketen zu arbeiten.

In Russland wurde die erste Raketenunternehmung Ende des 17. Jahrhunderts ins Leben gerufen.

Im Tagebuch des Reisenden Patrick Gordon von 1690 kann man lesen, dass Peter I. selbst die Fertigung von Feuerwerksraketen leitete und großartige Feuerwerksbelustigungen veranstaltete. In den gleichen Jahren begann in Russland die Massenproduktion von hochwertigem Schießpulver. Das bestätigen viele ausländische Gäste. Hier z.B. eine Notiz des dänischen Gesandten aus dem Jahre 1710:

Man kann sich kaum vorstellen, welche Pulvermenge bei Festgelagen und Vergnügungen verschossen wird, beim Eintreffen freudiger Botschaften, bei Feierlichkeiten und Begrüßungen, ähnlich der heutigen: denn in Russland schätzt man Pulver nicht mehr als Sand, und schwerlich findet man in Europa einen Staat, wo es in solchen Mengen hergestellt wird und Qualität und Stärke des hiesigen hat.<sup>51</sup>

Zu Peters Zeiten erkannten die Führer der russischen Armee auch die militärische Bedeutung der Raketen, 1717 entstand die berühmte Signalarakete, die nahezu unverändert mehr als 150 Jahre zur Ausrüstung der russischen Armee gehörte.

Die russischen Feuerwerker genossen Weltruhm. Sie schufen eine große Zahl von Feuerwerksraketen und Pulvermischungen. In besonderen Fällen wurden zusammengesetzte (Stufen-) Raketen verwendet. Die Feuerwerke verblüfften durch ihre Grandiosität. An einem Abend wurden Zehntausende von Raketen abgeschossen. An der Fertigung von Raketen und Raketensätzen waren Tausende von Arbeitern beteiligt.

Als Beispiel sei angeführt, dass sich um eines der Feuerwerke, die 1733 veranstaltet wurden: „2000 Menschen 10 Wochen lang ganz eifrig und mit Lust und Liebe bemühten“<sup>52</sup>.

Die große Konstruktions- und Produktionserfahrung aus der schöpferischen Arbeit an Feuerwerksraketen nutzte man bei der Projektierung der ersten Pulverkampfraketen. Die Raketentechnik entwickelte sich in Russland selbständig. Experimentelle und technische Basis waren hauptsächlich die Betriebe und Werkstätten, die Feuerwerkskörper herstellten.

Den bedeutsamsten Beitrag zur Schaffung von Pulverkampfraketen stellten die Arbeiten der russischen Militäringenieure Alexander Dmitrijewitsch Sassjadko (1779- 1837) und Konstantin Iwanowitsch Konstantinow (1818- 1871) dar. Den Bemühungen dieser hervorragenden Vertreter der russischen Militärtechnik ist es zu danken, dass die russischen Raketen in ihren Flug- (ballistischen) und Betriebscharakteristika ähnlichen ausländischen Typen oftmals überlegen waren.

---

<sup>51</sup> „Russki, archiv“, 1892, Nr. 8, S. 498.

<sup>52</sup>D. A. Rowinski: Beschreibung von Feuerwerken und Illuminationen (russ.). Petersburg 1903.



Abb. 18. A. D. Sassjadko (1779-1837)

A. D. Sassjadko nahm an den Kriegen gegen Napoleon teil und machte die Feldzüge in Nord- und Süditalien mit. 1812 kommandierte er die 15. Artilleriebrigade, mit der er bis Paris kam. Für seine Verdienste in der Völkerschlacht bei Leipzig wurde er mit dem Georgsorden III. Klasse ausgezeichnet (in der russischen Armee erhielten nur drei Leute im Range eines Obersten diesen Orden). Als A. D. Sassjadko 1814 nach Russland zurückkehrte, gehörte er zu den erfahrensten und gebildetsten Artillerieoffizieren.

Zu dieser Zeit interessierte sich Sassjadko für die Pulverkampfraketen, deren Projektierungs- und Herstellungsverfahren die Engländer streng geheim hielten. Der Kerngedanke von Sassjadkos Untersuchungen bestand darin, gestützt auf den reichen technischen Erfahrungsschatz der russischen Feuerwerker, eine Feuerwerksrakete in eine Kampfrakete umzuarbeiten. Seine Auffassung, dass an den englischen Kampfraketen (Congreves, wie sie genannt werden) keinerlei besonderes Geheimnis sei, war wichtig.

In einem Bericht schrieb Sassjadko:

Da ich es immer als meine heilige Pflicht und als besonderes Glück erachtete, ein nützliches Amt nach besten Kräften auszuüben, ... suchte ich einen Weg, Raketen als Brandmittel zu verwenden. Obwohl ich nie die Gelegenheit hatte zu sehen und auch nicht die geringste Nachricht darüber erhielt, wie die Engländer sie machen und im Kriege anwenden, dachte ich mir doch, dass das, was sie sich bemühen als so ungewöhnliche und wichtige Entdeckung hinzustellen, eine gewöhnliche, ohne Schwierigkeiten handhabbare Rakete ist.<sup>53</sup>

Da er von der Regierung keine materielle Hilfe für die Durchführung von Versuchen erhielt, verkaufte Sassjadko das ihm vom Vater vererbte Gut und begann mit diesen Mitteln seine Versuchs- und Konstruktionsarbeit. Als Prototyp für Sassjadkos Raketen dienten die russischen Feuerwerks- („Reit“-) Raketen.

In den von Sassjadko geschaffenen Raketen wurde ein Pulvertreibsatz wie für eine Reitrakete verwendet, doch die Kammerwände wurden aus Eisen gefertigt statt aus dem für Feuerwerksraketen weithin angewendeten Karton.

Zur Flugstabilisierung benutzte er eine lange Holzstange, wie das auch bei Feuerwerksraketen gemacht wurde. Die Nutzlast war in Sassjadkos Raketen ein Brandsatz oder eine Granate. A. D. Sassjadko erarbeitete Kampfraketenkonstruktionen in 3 Kalibern: 4 Zoll (101,5 mm), 2,5

---

<sup>53</sup>ZGWIA, f. 35, op. 4/245, d. 65

Zoll (63,5 mm) und 2 Zoll (50,4 mm).

Die erste offizielle Erprobung der von A. D. Sassjadko konstruierten Raketen fand 1817 in Petersburg statt. Sie verlief erfolgreich, und Sassjadko wurde nach Mogiljow in das Hauptquartier des Feldmarschalls Barclay de Tolly verwiesen, um den Personalbestand einer speziell gebildeten Unterabteilung in der Anwendung der Raketen zu unterrichten. Von den Helfern Sassjadkos ist W. M. Wnukow zu erwähnen, der später die Petersburger Raketenanstalt leitete.

Im Dezember 1817 vermeldete Barclay de Tolly in einem speziellen Rapport über die Tätigkeit von A. D. Sassjadko in Mogiljow:

Obwohl diese Versuche, die hinsichtlich des Gebrauchs und der Wirksamkeit seiner neuen und insgesamt noch verbesserungsbedürftigen Waffe angestellt wurden, naturgemäß noch nicht als abgeschlossenen betrachtet werden können, sind sie doch soweit gediehen, dass die Nützlichkeit seiner Raketen unbestreitbar ist, genau wie die Notwendigkeit, diese bei den Truppen einzuführen ...

Steil abgeschossene große Raketen können bei Belagerungen besonders der eng gebauten orientalischen Städte besser sein als die bis jetzt bekannten Mittel... Bei ruhigem Wetter oder zumindest bei nur schwachem Wind kann ihre Richtung hinreichend festgelegt werden... Ich erachte es als meine Pflicht, hiermit zu bezeugen, dass ich während der Anwesenheit von Oberst Sassjadko in meinem Hauptquartier seinen außerordentlichen Fleiß und seine Mühen um die Aufhellung und Untersuchung seiner bei uns noch unbekanntenen und so sehr nützlichen Waffe stets mit Vergnügen gesehen habe.

Mit den Erfolgen, die ihn zum gesteckten Ziel der von ihm begonnenen und durchgeführten Versuche brachten, lieferte er den besten Beweis seiner ausgezeichneten Kenntnisse und Fähigkeiten.<sup>54</sup>

Im Jahre 1818 wurde A. D. Sassjadko zum Generalmajor befördert, und 1820 wurde er zum Leiter der Artillerielehranstalt ernannt. Auf sein Drängen bei der Petersburger Raketenanstalt wurde 1826 die erste russische Raketenschützenkompanie geschaffen.

Den ersten Kampfeinsatz erlebten Sassjadkos Raketen im russisch-türkischen Krieg 1828-1829. Hergestellt wurden die Raketen beim Feldheer in unmittelbarer Frontnähe. Der Hauptgrund dafür war anscheinend das Aufreißen von Pulversätzen beim Transport der gefertigten Raketen, was zu einer Vergrößerung der Brandfläche, zu erhöhtem Druck in der Kammer und zum vorzeitigen Platzen der Hülsen führte. In jenen Jahren wurden Sassjadkos Raketen von den russischen Truppen auch im Kaukasus eingesetzt. Wie Archivdokumente ausweisen, zählte die Menge der angefertigten Raketen nach Tausenden.



Abb. 19. K. I. Konstantinow (1818-1871)

---

<sup>54</sup>ZGWIA, f. 35, op. 4/245, sw.188

Es ist zu bemerken, dass die Kampftraketen von Sassjadko vollkommener waren als die Raketen von Congreve. Die „Geheimnisse“ der Herstellung von Congreves Raketen würden der russischen Regierung mehrfach von ausländischen Erfindern und Händlern angeboten. Diese „Geheimnisse“ wurden einige Male für recht erhebliche Summen angekauft.

Aber vergleichende Erprobungen der verschiedenen Varianten Congrevescher Raketen und der Raketen von Sassjadko bewiesen immer die Überlegenheit der letzteren.

Ein weiterer Schritt in der Vervollkommnung der Pulverkampftraketen wurde von K. I. Konstantinow getan, dem Vater der russischen Pulverkampftraketen und Begründer der experimentellen Raketendynamik, dem Organisator einer moderneren Massenproduktion von Pulverraketen (mit rauchendem Schwarzpulver).

Konstantin Iwanowitsch Konstantinow wurde 1818 geboren. Nach Abschluss des Studiums an der Michailowski-Artillerieakademie 1838 wurde er zum Leiter der Schule für Pulver- und Salpeter-Meister ernannt. 1844 erarbeitete K. I. Konstantinow eine elektrobalistische Vorrichtung zur Geschwindigkeitsbestimmung von Artilleriegeschossen auf einem beliebigen Punkt der Flugbahn und konstruierte eine Zielvorrichtung für Mörser mit nicht gezogenem Rohr, wofür er den Michailowski-Preis erhielt.

Die Raketen von Sassjadko wurden in schlecht ausgerüsteten Werkstätten hergestellt. Die Qualität der ausgelieferten Raketengeschosse hing in hohem Maße von der Produktionserfahrung der Facharbeiter ab. Es gab keinerlei Instruktionen für die Raketenherstellung, und Erfahrungen wurden mündlich weitergegeben.

Im Jahre 1847 erhielt Oberst Kostyrko, der damals Kommandeur der Petersburger Raketenanstalt war, die Weisung, die Methodik der Raketenfabrikation schriftlich in Form einer Instruktion niederzulegen. In diesem ersten schriftlichen Leitfaden für die Raketenherstellung werden Details der Fertigung dargelegt, die gebräuchlichen Kaliber, konstruktive Besonderheiten, die Pulverzusammensetzung und eine Reihe von Produktionsverfahren.

Dieser Leitfaden bestimmte auch das technische Niveau der Massenproduktion von Pulverkampftraketen in der Petersburger Raketenanstalt bis 1849, als K. I. Konstantinow zum Leiter dieser Anstalt ernannt wurde. Konstantinow führte eine wahre technische Revolution in der Massenproduktion von Raketen herbei.

Er ging richtig davon aus, dass

das Geheimnis der Anfertigung von Kampftraketen vor allem darin besteht, Fabrikationsverfahren zu besitzen, die gleichbleibende Ergebnisse bewirken und das nicht nur hinsichtlich der Ausmaße der verschiedenen Raketenteile, sondern auch hinsichtlich der physikalischen und chemischen Eigenschaften der Materialien, aus denen diese Teile gemacht werden; und schließlich in dem Vermögen, bei laufender Fabrikation ohne Zeitverlust zahlreiche Prüfungen anzustellen, soweit sich die Notwendigkeit dazu ergibt.<sup>55</sup>

Die Hauptaufgabe bei der Massenproduktion sah Konstantinow darin, solche Bedingungen zu sichern, dass heute eine Rakete hergestellt werden kann, die voll und ganz der gleicht, die gestern hergestellt wurde.<sup>56</sup>

Um diese Aufgabe zu lösen, betrieb Konstantinow mit Konsequenz die Mechanisierung der Hauptproduktionsprozesse für Pulverkampftraketen. Eine vernünftige Verbindung von maschineller Technik mit der Kunstfertigkeit der Arbeiter sollte eine hohe Qualität sichern.

Konstantinow betrachtete Schritt für Schritt alle Produktionsstufen der Pulverraketen. Die Verbes-

---

<sup>55</sup>K. I. Konstantinow: Über Kampftraketen (russ.). Petersburg 1864. S. 70-71.

<sup>56</sup>Ebenda, S. 71.

serungen, die er vorschlug und einführte, bestanden in folgendem:

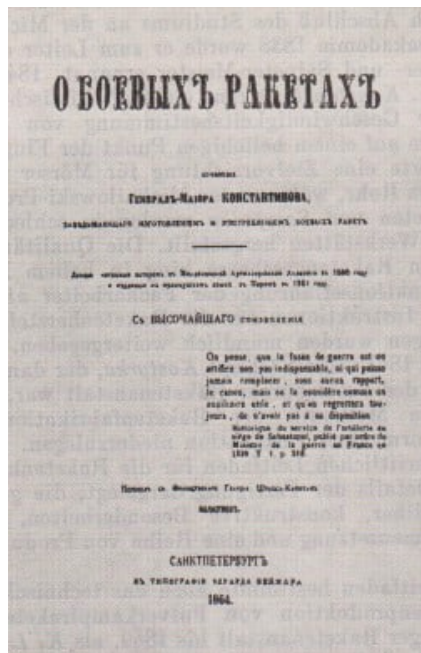


Abb. 20. Titelblatt von K. I. Konstantinows bekannter Arbeit „Über Kampf raketen“

- Stopfen der Raketen mit trockenem (und sich folglich nicht veränderndem) statt mit feuchtem Pulver;
- Vergrößerung der Tiefe des Raketenhohlraumes und Verstopfen des vorderen Endes mit kaltem Blei;
- Automatisierung der Prozesse zum Schlagen der Löcher in die Eisenbleche, die zusammengerollt und genietet wurden, um die Raketenhülse zu bilden;
- Einführung geneigter Kupfertonnen zum Zerreiben und Vermischen der Pulverbestandteile und besonderer Holzfässer, die mit Umdrehungszählern ausgestattet waren, um eine gleichbleibende Verarbeitung der Pulvermischungen zu sichern;
- Einführung von Spezialpressen (von Konstantinow konstruiert) zum Stopfen der Hülsen und eines neuen Systems zum Verschließen der Hülsen;
- Erfindung einer neuen Maschine (mit Sicherheitsvorrichtung) zum Bohren des Raketenhohlraumes;
- Erfindung und Anwendung eines ballistischen Pendels zur Bestimmung der Rückstoßkraft als Funktion der Zeit.

Betrachten wir einige der hervorragenden Neuerungen von K. I. Konstantinow genauer. Als er sein Amt als Leiter der Petersburger Raketenanstalt antrat, gab es dort vier horizontale Tonnen zum Zerreiben und Mischen der Schwarzpulverbestandteile sowie zum Gewinnen einer homogenen Pulvermasse.

Diese Tonnen waren in einer nicht heizbaren Baracke untergebracht und wurden von acht Arbeitern in Drehung versetzt, die sich in einem nur durch einen leichten Verschlag von den Tonnen abgetrennten Raum befanden. Im Winter arbeiteten diese Leute bei Frost und hatten überhaupt mehr Chancen umzukommen, als am Leben zu bleiben, weil das Zerreiben der Pulverbestandteile höchst gefährlich war.

Ich habe erwirkt, die Leute, die die Tonnen in drehende Bewegung versetzen, weit weg von diesen Tonnen unterzubringen, in einem warmen Raum, wo sie Schwungräder drehen, von denen die Drehbewegung durch ein mechanisches Getriebe auf die Tonnen übertragen wird. Zur größeren Sicherheit

wurde zwischen der Baracke mit den Tonnen und dem Gebäude, in dem sich die Leute verbergen, ein Erdwall errichtet.

Um eine einheitliche Struktur der Pulvermasse zu erreichen, führte Konstantinow für jede Partie auszuliefernder Raketen Umdrehungszähler ein, die vor den Arbeitern angebracht wurden und ihnen dazu dienten, stets die richtige Drehgeschwindigkeit der Tonnen einzuhalten.

Konstantinows Beobachtungsgabe und Ingenieurserfahrung führten ihn zu einer neuen Konstruktion der Tonnen zum Durchreiben der Pulvermischung. Ihre Achse lag jetzt schräg, und die Praxis zeigte, dass wenn

bei den früheren Tonnen 10 Arbeitsstunden erforderlich waren, in deren Verlauf die Fässer 4200 Umdrehungen machten... mit den neuen Tonnen halb soviel Umdrehungen (bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit) in 5 Arbeitsstunden ausreichten.

Die positiven Ergebnisse gaben den Anstoß, solche geeigneten Tonnen noch in drei staatlichen Pulverfabriken einzuführen.

Nachdem Konstantinow die Herstellung einer homogenen Pulvermasse verbessert hatte, tat er einen wichtigen Schritt zu einer vollkommeneren Massenproduktion von Raketen.

Die zweite, nicht weniger schwerwiegende Aufgabe war das Stopfen der Raketenhülsen mit Pulvermasse. Die mechanischen Pressen der Raketenanstalt übten „allerhöchstens einen Druck von 80 Pud auf den Quadratzoll“ aus. Das reichte nicht, um aus einem streufähigen Stoff (Pulver) eine feste, kompakte Masse zu erhalten, die eine gleichmäßige Brenngeschwindigkeit gewährleistet.

Konstantinow konstruierte eine neue Presse, die einen Druck von insgesamt 400000 kp (24419 Pud) erbrachte. Im Auftrag der russischen Regierung wurden in Paris drei Stück dieser Pressen gebaut. Konstantinow schrieb:

Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Schwierigkeit, eine hinreichend starke Presse zu beschaffen, zu Beginn der Raketenfertigung den Gedanken auslöste, das Pulver beim Stopfen anzufeuchten. Man nahm dazu seine Zuflucht wie zu einem Linderungsmittel, um das Stopfen zu erleichtern und das Explodieren von Raketen zu vermeiden. Aber das Anfeuchten des Pulvers bringt einen recht erheblichen Nachteil mit sich. Angefeuchtetes Pulver, das nach und nach wieder austrocknet, mehr oder weniger schnell, je nach der Jahreszeit und der Wetterlage, bei der die Raketen gestopft wurden, und je nach den Begleitumständen ihrer Lagerung und Beförderung, verändert sich ständig und ergibt beim Schießen ganz unterschiedliche Resultate.

Die Konstruktion mächtiger Pressen erlaubte es, die Raketen mit trockenem, homogenem Pulver zu laden und beim Schießen die Streuung der Geschosse zu verringern.

Um die Größe der Rückstoßkraft, die sich bei der Verbrennung des Pulvers entwickelt, zu messen, erarbeitete K. I. Konstantinow eine Prüfstanderprobung durch ein ballistisches Pendel. Das einfachste Verfahren, die Qualitäten irgendeines Geschosses zu überprüfen, besteht darin, es unter realen Bedingungen zu erproben.

Aber diese Erprobung erbringt nur ein Ergebnis, das aus recht vielen Ursachen zustande kommt, von denen wiederum einige zufälliger Natur sind. Um sich über die wahren Charakteristika eines Geschosses klarzuwerden, bedarf es einer größeren Zahl von Erprobungen, die mit Methoden der mathematischen Statistik auszuwerten sind. Die durch solches Probeschießen gewonnenen Charakteristika lassen jedoch nicht den Einfluss einzelner konstruktiver Geschossparameter auf das gewonnene integrierte Ergebnis erkennen.

Heutzutage, da komplizierte Konstruktionen (Objekte) mit einer Vielzahl von Kennwerten ent-



wickelt werden, betrachtet man es als unabdingbar, Bodenerprobungen (und manchmal auch zielgerichtete Experimente im wirklichen Flug) anzustellen, um den Einfluss der wichtigsten Einzelparameter des Objektes zu klären. Das Suchen nach einer rationellen (optimalen) Lösung, indem zahlreiche Originalvarianten erprobt werden, wird von der modernen Projektierungspraxis abgelehnt.

Das ist nämlich teuer und endet sehr oft damit, dass die Thematik zu den Akten gelegt wird, obwohl sie für den Staat notwendig und nützlich ist.

K. I. Konstantinow begann als erster in der Entwicklungsgeschichte der Raketentechnik durch wissenschaftliches Experimentieren den Einfluss einzelner konstruktiver Veränderungen auf die ballistischen Charakteristika von Raketen abzuschätzen. Er schrieb:

Eine Erprobung unter realen Bedingungen bringt uns lediglich ein Resultat, in dem alle Einzelheiten der Vorgänge, aus denen dieses Resultat entsteht, untergehen. Aus all dem ergibt sich die Notwendigkeit, Mittel für analytische Untersuchungen zu haben, um einen oder einige jener Einzelvorgänge, aus denen sich das Endresultat herleitet, zu studieren. Diese Erwägungen führen zur Erfindung des ballistischen Pendels.

K. I. Konstantinow ist der Begründer der experimentellen Raketendynamik; er erkannte die Bedeutung des wissenschaftlichen Experiments für den Fortschritt der Raketentechnik in vielen Einzelheiten.

Er verstand recht gut, dass die Messung der Rückstoßkraft bei einer am ballistischen Pendel befestigten Rakete eine gewisse Schematisierung des wirklichen Fluges bedeutet. Aber die Grundcharakteristik - den hauptsächlichsten Anteil der Rückstoßwirkung - konnte man auf diese Weise sicher genug ermitteln.

Für das Messen der Bewegungskraft von Raketen wäre es am allerbesten, wenn man eine Möglichkeit hätte, diese Messungen anzustellen, ohne die Geschwindigkeit der Rakete, die sie während des Fluges hat, zu verändern und unter diesen Bedingungen den inneren Druck auf den Raketenkopf und die innere Druckspannung der Gase zu verschiedenen Zeitpunkten beim Abbrennen der Treibladung zu bestimmen. Aber wenn man die Frage so stellt, trägt sie offensichtlich nicht den jetzt zur Verfügung stehenden Messmethoden genügend Rechnung.<sup>57</sup>

Man muss die Bedingungen des Problems verändern und damit beginnen, dass man die Rakete unbeweglich macht oder ihre Bewegungsgeschwindigkeit bedeutend herabsetzt. Dabei verändern sich unbestreitbar die Ergebnisse, weil die innere Spannung der Gase und ihre Ausströmgeschwindigkeit durch die Öffnungen der Grundplatte nicht gleich sein können bei einer Rakete, die während der Bewegung nur ihre Eigenlast zu tragen hat, und einer solchen, die man mehr oder weniger unbeweglich macht, indem man sie zwingt, sich mit dem Kopf gegen ein Dynamometer zu stemmen oder gegen irgendein anderes Hindernis.

Die so gewonnenen Ergebnisse können jedoch richtige Hinweise bezüglich der Raketenfertigung geben, für die Kontrolle der gleichbleibenden Qualität ihrer Fabrikation, und können, wie es scheint, als annähernde Lösung der Aufgabe dienen, die in der Rakete gespeicherte Bewegungskraft zu bestimmen.<sup>58</sup>

Nachdem Konstantinow höchst unvollkommene Dynamometer, die zur Bestimmung der Rückstoßkraft benutzt wurden, studiert hatte, wies er die wesentlichen Vorzüge des von ihm für diesen Zweck vorgeschlagenen ballistischen Pendels nach.

---

<sup>57</sup>Erst die Telemetrie erlaubt es heutzutage, bei einer fliegenden Rakete den Druck in der Brennkammer zu ermitteln. Kennt man den Druck in der Triebwerkskammer, kann man die Rückstoßkraft (oder den Reaktionsschub) finden.

<sup>58</sup>K. I. Konstantinow: a. a. O., S. 178-179.

Das ballistische Pendel von Konstantinow ähnelt dem Pendel-Rückstoßfänger eines Geschützes, aber die Rakete wird nicht in den Fänger abgefeuert, sie ist im Fänger unbeweglich befestigt, so dass ihre Achse durch den Angriffspunkt (Schwingungspunkt) des Pendels geht: Auf Grund der Gesetze der Mechanik über die Auslenkung eines Pendels kann man die Größe der Rückstoßkraft finden. Für die Bestimmung der Rückstoßkraft als Funktion der Zeit konstruierte Konstantinow einen Schreiber, der seitlich am Pendel angebracht wurde.

Eine der wesentlichsten Schlussfolgerungen, die sich aus den Versuchen mit dem ballistischen Pendel ergaben, war der Hinweis darauf, „dass sich die Bewegungskraft in Raketen nur entwickelt, wenn der Raketenhohlraum brennt“, und dass diese Kraft sehr klein ist, wenn der Querschnitt der tauben Masse brennt.

Das Vorhandensein dieser kleinen Kraft führt jedoch zu großen Unregelmäßigkeiten und Abweichungen im Flug der Raketen, und ein entscheidender Vorschlag Konstantinows bestand darin, auf die taube Masse beim Stopfen zu verzichten, um die Treffsicherheit zu erhöhen.

K. I. Konstantinow schrieb darüber:

Das Raketenpendel erbrachte uns viele Hinweise in bezug auf den Einfluss der Dimensionierung der Raketenbestandteile, der Innenmaße des Raketenhohlraums, der Zahl und Abmessungen der Ausströmöffnungen auf das Ergebnis der Bewegungskraft und ihre Wirkungsweise. Aber die Versuche mit diesem Gerät waren noch nicht zahlreich genug, um alles auszuschöpfen, was man von ähnlichen Apparaten erwarten kann.<sup>59</sup>

Die Resultate der umfangreichen Experimentaluntersuchungen und der Erfahrung aus der Produktion von Kampftraketen legte K. I. Konstantinow in seinen Vorlesungen an der Michailowski-Artillerie-Akademie dar.

Die Vorlesungen wurden unter dem Titel „Über Kampftraketen“ 1861 zuerst in französischer Sprache, 1864 dann in russischer Sprache herausgegeben.

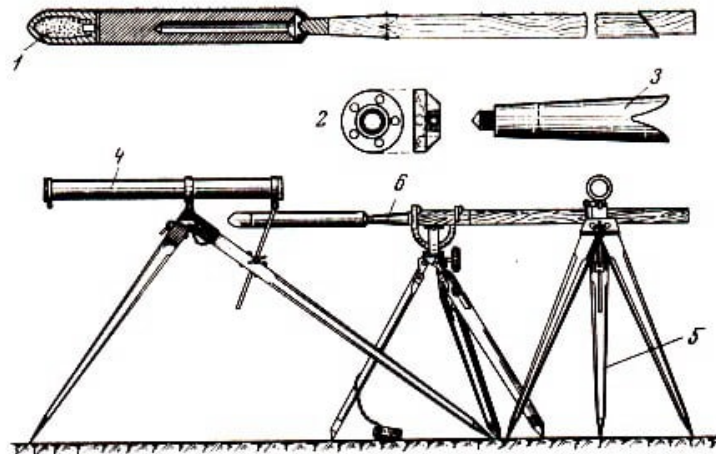


Abb. 21. Details der zweizölligen Rakete von K. I. Konstantinow und Gesamtansicht der Raketenstartvorrichtung

1 Längsschnitt der zweizölligen Rakete mit langem prismatischem Schwanz, bestückt mit einer zweifündigen Granate (das Muster jener Raketen, die lange Zeit im Kaukasus eingesetzt wurden und während des Krimkrieges 1853-1856 nach Sewastopol geschickt wurden); 2 Grundplatte (Poddon); 3 Schwanzrohr der prismatischen zweizölligen Raketenschwänze; 4, 5 Seiten- und Vorderansicht der Abschussvorrichtung; 6 Abschussvorrichtung mit Führungsrohr für eine Rakete mit langem Schwanz

<sup>59</sup>Ebenda, S. 189

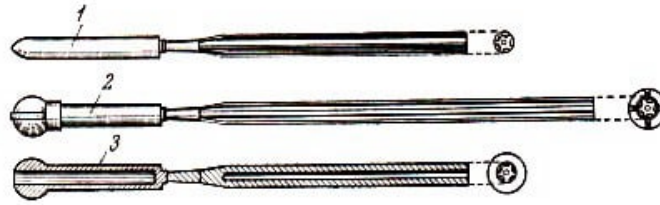


Abb. 22. Raketen von K. I. Konstantinow

1 zweizöllige Rakete für direktes Zielen mit 2-Pfund-Granate, mit kurzem kanneliertem Schwanz ausgestattet; 2 Steilfeuerrakete mit 6-Pfund-Granate und kanneliertem Schwanz; 3 Längsschnitt einer Übungsrakete

Dieses Buch enthält ausführliche Beschreibungen der von Konstantinow vervollkommenen und in die Bewaffnung der russischen Armee aufgenommenen Kampfraketen. Die Abb. 21 und 22 zeigen Detailzeichnungen der zweizölligen Rakete, die von der Petersburger Raketenanstalt geliefert wurde, und eine Gesamtansicht der Raketenabschusseinrichtung.

Eine große Zahl von wissenschaftlich-technischen Artikeln Konstantinows über Fragen der Raketentechnik wurde im „Artillerijski shurnal“ veröffentlicht. Studiert man die weitgespannten Untersuchungen Konstantinows über Pulverraketen, so lässt sich behaupten, dass er Mitte des 19. Jh. das geistige Haupt einer Schule von Raketenfachleuten war, die in Russland fortschrittliche Methoden der Produktion von Pulverkampfraketen entwickelte und die Grundlagen der experimentellen Raketendynamik erarbeitete.

Diese Entwicklungsperiode der Raketentechnik in Russland war eng verbunden mit direkten Ansprüchen der Armee, was auch dazu führte, dass Muster für die Bewaffnung geschaffen wurden.

In wissenschaftlicher Hinsicht war dies eine Periode, in der man technische Erfahrung anhäufte, eine Periode, in der man wissenschaftliche Beobachtungen anstellte und die Erfahrungstatsachen qualitativ systematisierte, Sämtliche Fragen, die sich beim Entwickeln neuer Muster von Raketengesossen ergaben, wurden auf dem Schießplatz und in der Raketenanstalt entschieden.

Russland stand vornan in der Raketentechnik, weil dank der Intuition und dem Scharfsinn Konstantinows der wissenschaftliche Versuch als wesentliches Element bei der Vervollkommnung von Kampfraketen eingeführt wurde. Er erlaubte es, den Einfluss einzelner Konstruktionsparameter auf die ballistischen Eigenschaften der Raketengesosse zu analysieren.

Das umfangreiche Material, das in der Petersburger Raketenanstalt unter Konstantinows Leitung in der Produktion und bei Experimenten gesammelt wurde, erfuhr jedoch keine umfassende wissenschaftliche Verallgemeinerung; Konstantinow gelang es nicht, eine Theorie des Raketenfluges (eine Theorie der ballistischen Projektierung) zu schaffen. Das schätzte Konstantinow auch selbst ganz nüchtern ein, In seiner Arbeit „Über Kampfraketen“ schrieb er:

Diese Fakten stellen nur Beobachtungsergebnisse dar, aber sie zeigen bereits die Möglichkeit einer mathematischen Theorie für die Konstruktion und das Abschießen von Raketen, mit einem Wort, die Möglichkeit einer Raketenballistik. Aber das ist eine Wissenschaft, die noch geschaffen werden muss.

Konstantinow hatte erkannt, dass einer Theorie der Raketenbewegung das Theorem von der Änderung des Impulses aus der theoretischen Mechanik zugrunde gelegt werden muss. Er schrieb:

Zu jedem Zeitpunkt, während die Raketenladung abbrennt, ist der Impuls, den die Rakete erhält,

gleich dem Impuls der ausströmenden Gase.<sup>60</sup>

Man muss jedoch bemerken, dass die Hauptschwierigkeit bei der Anwendung dieses einleuchtenden Gesetzes darin besteht, dass sich die Masse der Rakete während der Arbeit des Triebwerkes wesentlich verändert.

Um die Mitte des 19. Jh. wurden Artilleriegeschütze mit gezogenem Lauf, die längliche Geschosse mit Drall verschießen, erfunden und weiter vervollkommen. Dies stellte ein starkes Hindernis für die Weiterentwicklung von Pulverkampfraketen dar. Die von dem berühmten russischen Wissenschaftler und Artilleriegeneral N. W. Majewski (1823-1892) entworfenen und geschaffenen neuen Artilleriegeschütze bewiesen ausgezeichnete Kampfeigenschaften: große Schussweite, eine in jenen Jahren unerhörte Treffsicherheit und eine bedeutende Schussgeschwindigkeit.

Die gezogenen Artilleriegeschütze, die von hinten geladen wurden, verdrängten die Pulverraketen, und lange Jahre - bis zum zweiten Weltkrieg - waren die Pulverkampfraketen vergessen. Versuche von K. I. Konstantinow, in Nikolajew eine bessere Raketenanstalt einzurichten, endeten erfolglos. Die Petersburger Raketenanstalt wurde geschlossen, und der Bau der Raketenanstalt in Nikolajew wurde nicht vollendet, obwohl die maschinelle Ausstattung in Frankreich hergestellt und auch nach Nikolajew geliefert worden war.

Ungeachtet der offensichtlichen Vorzüge von Pulverkampfraketen - große Beweglichkeit, wirksamer Beschuss von Flächen, starke moralische Wirkung auf die gegnerischen Truppen, leichte Handhabung in Bergen und in Städten - ließ das Interesse immer mehr nach; unter den russischen Armeeführern der zweiten Hälfte des 19. Jh. war keiner, der die Vorschläge Konstantinows praktisch unterstützte.

Wir zitieren hier die traurigen Gedanken des „Vaters der Pulverkampfraketen“, die er in einem seiner letzten Artikel unter dem Titel „Kampfraketen in Russland im Jahre 1867“ zum Ausdruck brachte:

Die Nikolajewer Raketenanstalt könnte nunmehr in kürzester Zeit vollendet werden, und ab 1868 könnten darin die Arbeiten zur Raketenherstellung das ganze Jahr über laufen ... Inzwischen ging bei uns der Bau der Nikolajewer Raketenanstalt überaus langsam voran, insbesondere deshalb, weil sich mehrfach die Frage erhob, ob man bei uns nicht ganz und gar auf Kampfraketen verzichten und deshalb den Bau dieser Anstalt einstellen sollte. Das führte zu mehr oder weniger langen Stockungen ... Zuletzt kam der Vorschlag, die weitere Realisierung der Nikolajewer Raketenanstalt völlig abzubrechen, weil man der Ansicht war, in der heutigen Zeit seien Raketen entbehrlich.

Und Konstantinow schrieb ganz richtig:

Wenn materielle Verluste auch manchmal später ausgeglichen werden können, so bleibt dabei doch ein bedeutender Schaden, wenn man nach einiger Zeit das, was man aufgegeben hat, von neuem beginnen muss. Aber was man durch nichts ersetzen kann, das ist der Zeitverlust, und ebenso unmöglich ist, den abgerissenen Faden der Überlieferung wieder zu knüpfen und die Leute wieder schnell anzulernen, besonders in Dingen der Militärlabortechnik ... Langjährige Arbeiten, die Früchte gewaltiger Aufwendungen, all das ginge bei einer Auflösung der Raketenanstalt (in Nikolajew - A. K.) zugrunde und müsste später von neuen Leuten von vorn begonnen werden.<sup>61</sup>

So geschah es auch in den 20er Jahren des 20. Jh. Der Begründer der experimentellen Rake-

---

<sup>60</sup>Siehe W. P. Gluschko: Die Entwicklung des Raketenbaus und der Kosmonautik in der UdSSR (russ.). Moskau 1973. S. 7

<sup>61</sup>„Artillerijski shurnal“, 1867, Nr. 6

tendynamik verstarb in Nikolajew im Jahre 1871.

Von den Vorgängern Ziolkowskis, die den Gedanken der Rückstoßbewegung und ihrer Anwendung bei Luftschiffen und Flugzeugen herausarbeiteten, sind N. Sokownin, der 1866 das kleine Buch „Ein Luftschiff“ veröffentlichte, und F. Geschwend, der 1867 in Kiew eine Broschüre unter dem Titel „Allgemeine Grundlage für den Bau eines Luft-Dampfers (Parolet)“ herausgab, zu erwähnen.

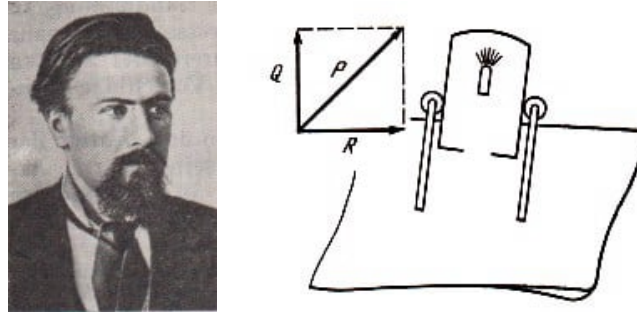


Abb. 23. N. I. Kibaltschitsch (1853-1881) und sein Schema eines rückstoßgetriebenen Flugapparates

Für die Entwicklungsgeschichte des Gedankens einer weltweiten Nutzung von Flugapparaten mit Rückstoßantrieb ist ein Lösungsvorschlag des bekannten Mitgliedes des Geheimbundes „Narodnaja wolja“ (Volkswille) Nikolai Iwanowitsch Kibaltschitsch sehr interessant. Eine kurze Erläuterung dieser Erfindung hat Kibaltschitsch wenige Tage vor seiner Hinrichtung im Kerker verfasst.

N. I. Kibaltschitsch war der Sohn eines Landgeistlichen und wurde am 19. Oktober 1853 im Gouvernement Tschernigow geboren. 1871 immatrikulierte er sich im ersten Semester am Petersburger Ingenieurinstitut für Verkehrswege. Nachdem er zwei Studienjahre an diesem Institut absolviert hatte, wechselte er im Sommer 1873 als Student zur Medizinisch-chirurgischen Akademie über.

Während der Sommerferien 1875, als er auf dem Landgut seines Bruders im Gouvernement Kiew weilte, gab er einem Bauern das von der Zensur verbotene Märchen „Von den vier Brüdern“ zu lesen. Die Gendarmerie griff die Angelegenheit auf, und im Herbst bereits gab es in der Petersburger Wohnung Kibaltschitschs eine Haussuchung.

Dabei fanden sich bei ihm 2 Pakete mit illegaler Literatur. Am 11. Oktober 1875 wurde Kibaltschitsch verhaftet, und nachdem er 2 Jahre und 7 Monate in verschiedenen Gefängnissen zugebracht hatte, wurde er zu einmonatiger Gefängnishaft verurteilt,

Im Jahre 1879 bot N. I. Kibaltschitsch dem Exekutivkomitee der Organisation „Semlja i wolja“ (Land und Freiheit) seine Mithilfe bei der Herstellung von Minen und Bomben an. Er beteiligte sich an der Anfertigung der Mine für eine Sprengung in Odessa, bereitete Minen für einen Sprengstoffanschlag im Winterpalais vor und versorgte die Teilnehmer an dem Attentat auf Zar Alexander II. am 1. März 1881 mit Bomben.

Kibaltschitsch gehörte zu den hochgebildeten Persönlichkeiten seiner Partei und nahm sich einer ihm übertragenen Sache mit der Ernsthaftigkeit eines Stuben- gelehrten an, ohne Einblick in organisatorische Einzelheiten der Attentate zu haben. Am 17. März 1881, nach der Ermordung Alexanders II., verhaftet, zeichnete Kibaltschitsch im Gefängnis anfangs an die Wand, dann auf Papier das Projekt eines Rückstoß-Flugapparates, und in seinem Schlusswort vor Gericht sprach er über dieses Projekt.

Die Niederschrift über das Projekt des Luftfahrtgerätes wurde der „Sache vom 1. März“ beigefügt und lag 37 Jahre lang in den Geheimarchiven der Gendarmerieverwaltung. 1918 wurde

Kibaltschitschs Projekt vollständig in der Zeitschrift „Byloe“ (Nr. 10-11, S. 112) veröffentlicht. Hier einige Auszüge aus der Projektbeschreibung von Kibaltschitsch:

Dieses Projekt schreibe ich in der Haft, einige Tage vor meine Tode. Ich glaube an die Realisierbarkeit meiner Idee, und diese Glaube hilft mir in meiner schrecklichen Lage. Sollte meine Idee nach sorgfältiger Prüfung durch Wissenschaftler als ausführbar anerkannt werden, dann bin ich glücklich, weil ich der Heimat und der Menschheit einen großen Dienst erwiesen habe. Ruhig werde ich dann dem Tod entgegentreten, wissend, dass meine Idee nicht mit mir untergeht, sondern fortlebt in der Menschheit, für die ich bereit war, mein Leben hinzugeben ...

Viele Erfinder legen der Bewegung von fliegenden Projektilen die Muskelkraft des Menschen zugrunde ... Ich glaube, dass ein solcher Fluggerätetyp, selbst wenn es möglich sein sollte, ihn zu bauen, doch nur eine Art Spielzeug sein wird und keine ernst zu nehmende Bedeutung haben kann. Doch welche Kraft ist bei der Luftfahrt anzuwenden?

Eine solche Kraft bieten meiner Ansicht nach langsam brennende Explosivstoffe ... Wenn wir ein Pfund Körnerpulver nehmen, das bei der Zündung augenblicklich aufflammt, es unter hohem Druck in eine zylindrische Form pressen und ein Ende dieses Zylinders dann zuklemmen, so werden wir sehen, dass die Verbrennung nicht gleich den ganzen Zylinder erfasst, sondern sich ziemlich langsam von einem Ende zum anderen ausbreitet, und zwar mit einer bestimmten Geschwindigkeit. Auf dieser Eigenschaft gepressten Pulvers beruhen die Kampftraketen ...

Stellen wir uns jetzt vor, wir hätten einen Eisenblechzylinder mit bekannten Abmessungen, auf allen Seiten hermetisch abgeschlossen und nur in seinem unteren Boden befände sich eine Öffnung bekannter Größe. In der Zylinderachse ordnen wir ein Stück Presspulver an, gleichfalls zylindrisch geformt, und entzünden es an einer der Grundflächen; beim Abbrennen entwickeln sich Gase, die auf die gesamte Innenfläche des Metallzylinders einen Druck ausüben. Der Druck auf die Mantelfläche wird sich rundum ausgleichen, und nur der Gasdruck auf den geschlossenen Zylinderboden wird nicht durch einen entgegengerichteten Druck ausgeglichen, weil die Gase auf der entgegengesetzten Seite einen freien Ausgang haben - die Öffnung im Boden.

Wenn der Zylinder mit dem geschlossenen Boden nach oben aufgestellt ist, dann muss er bei einem bestimmten Gasdruck (dessen Größe einerseits vom inneren Volumen des Zylinders, andererseits von der Dicke des Presspulverstückes abhängt) in die Höhe steigen.

Den rückstoßgetriebenen Flugkörper von N. I. Kibaltschitsch kann man sich schematisch als Plattform vorstellen, an der auf Stützen ein starkes Feststoffraketentriebwerk befestigt ist. Durch einen besonderen Mechanismus sollten die Pulversätze nacheinander in die Triebwerkskammer eingeführt werden. Die sich beim Abbrennen der Pulversätze entwickelnde Rückstoßkraft sollte nach der Vorstellung des Erfinders bei vertikaler Stellung der Triebwerkskammer die Plattform hochheben.

Gab man der Achse des Triebwerks, das mit speziellen Zapfen in zwei Stützen gelagert ist, eine andere Orientierung in bezug auf die Plattform, konnte man dieser eine Bewegung in horizontaler Richtung verleihen. Bildlich gesprochen erinnerte der Flugapparat nach dem Projekt von Kibaltschitsch an einen fliegenden Teppich, nur wurde seine Bewegung durch ein starkes Feststoffraketentriebwerk hervorgerufen. Zum Schluss schrieb Kibaltschitsch: Ob meine Idee richtig ist, kann letztendlich nur ein Versuch entscheiden. Aus dem Versuch allein kann man auch das notwendige Verhältnis zwischen den Abmessungen des Zylinders, der Dicke der Pulverkerzen und dem Gewicht des zu hebenden Apparates bestimmen. Allererste Versuche können mit kleinen Zylindern bequem auch im Zimmer angestellt werden.

Die hier behandelten Dinge zeigen, dass während des 18. und 19. Jh. in Russland recht interessantes und reichhaltiges Faktenmaterial auf dem Gebiet der Raketen mit festem Treibstoff (Feuerwerks- und Kampf-Pulverraketen unterschiedlicher Konstruktion) gewonnen wurde. Dieser kurze historische Abriss umfasst nur einen Teil der Untersuchungen, die angestellt wur-

den, und kennzeichnet bis zu einem bestimmten Grade das Niveau des wissenschaftlichen Denkens in der Theorie und Praxis der Rückstoßbewegung sowohl in Russland wie auch im Ausland bis zu den grundlegenden Arbeiten von K. E. Ziolkowski.

In den 80er Jahren des 19. Jh. wurden die Kampftraketen mit Antrieb durch rauchendes Schwarzpulver aus der Ausrüstung der russischen Armee gestrichen, und in jenen Tagen, als Konstantin Eduardowitsch in Kaluga die theoretischen Grundlagen der Raketendynamik schuf, wurden Raketen nur zu Feuerwerken an Feiertagen (oft zum Osterfest) und zu Illuminationen verwendet.

Die Entwicklung der Flugtechnik (der Bau von Modellen und Flugzeugen in Originalgröße) ging in Russland im 19. und Anfang des 20. Jh. mit noch größeren Schwierigkeiten voran als die Entwicklung der Luftfahrt. Bis zu den Jahren 1909/10 gab es im Grunde genommen lediglich den Versuch des russischen Seemanns A. F. Moshaiski, ein von einem Piloten gesteuertes Propellerflugzeug mit Dampfmotor zu bauen. Auf seine Untersuchungen, die unter sehr schwierigen materiellen und technischen Bedingungen durchgeführt wurden, und den Konstruktionsversuch werden wir später noch ausführlich eingehen.

Im dritten Kapitel wurde schon über K. E. Ziolkowskis Arbeit von 1894 „Der Aeroplan oder die vogelähnliche Flugmaschine“ berichtet. Diese Arbeit ist typisch für Ziolkowski: Eingangs wird der Grundgedanke dargelegt; dann kommt die mathematische Begründung des Vorgesprochenen.

In diesem Werk werden erstmals in der wissenschaftlichen Literatur einige Formeln zur aerodynamischen Berechnung eines Flugzeuges angegeben und ein Schema für eine gute Stromlinienform vorgeschlagen.

Die Flugzeuguntersuchungen Ziolkowskis fanden keine Anerkennung, aber es war auch unmöglich, mit dem miserablen Lehrergehalt Konstruktionsarbeiten in die Wege zu leiten.



Abb. 24. N. E. Shukowski (1847-1921)

Die Entwicklung auf theoretischem Gebiet überholte in Russland das praktische konstruktive Schaffen. Besonders wichtige theoretische Erkenntnisse auf dem Gebiet des Flugwesens und der Raketentechnik gewannen D. I. Mendelejew, N. E. Shukowski und K. E. Ziolkowski.

Nach den erfolgreichen Flügen der Gebrüder Wright (1903) begann eine intensive Entwicklung pilotgesteuerter Flugzeuge in Frankreich, Dieses Land kaufte für die gewaltige Summe von 500000 Franc eine Lizenz für das Flugzeug der Gebrüder Wright.

Bemerkenswert ist, dass in N. E. Shukowskis berühmten Vorlesungen über die theoretischen Grundlagen der Luftfahrt (1911-1912) in dem Kapitel, in dem Flugzeuge und Flugboote beschrieben werden, keine einzige russische Konstruktion enthalten ist. Aufgeführt werden die Flugzeugkonstruktionen der Gebrüder Wright, von Voisin, Farman, Bleriot und viele andere ausländische Apparate.



Abb. 25. I. I. Sikorski und das von ihm konstruierte Flugzeug „Ilja Muromez“

Im Jahre 1908 begann man in Russland Fliegerklubs zu bilden, die Konstruktionen ausländischer Firmen sowohl kauften als auch nachbauten. Schauflüge der ersten russischen Piloten M. N. Jefimow, N. E. Popow, B. I. Rossinski, S. I. Utotschkin erregten ungewöhnliches Interesse und erfreuten sich allgemeiner Aufmerksamkeit.

Selbständige praktische Arbeiten der russischen Konstrukteure I. I. Sikorski, J. M. Gakkel und D. P. Grigorowitsch wurden 5 bis 8 Jahre nach den erfolgreichen Flügen der Gebrüder Wright begonnen. Besonders hervorzuheben sind die schweren mehrmotorigen Flugzeuge „Russki witjas“ (Russischer Recke) (1913) und „Ilja Muromez“ (1914), die von I. I. Sikorski konstruiert wurden.

Mit diesen Flugzeugen wurde eine Reihe von Weltrekorden aufgestellt (Flugweite, Flughöhe, Flugdauer und Tragfähigkeit). Bei einem Flug der „Ilja Muromez“ mit zehn Passagieren wurde eine Höhe von 2000 m erreicht (Weltrekord). Am 5. Juni 1914 hielt sich dieses Flugzeug mit 6 Passagieren 6 Stunden und 33 Minuten in der Luft (ebenfalls Weltrekord).

Zu Beginn des ersten Weltkrieges hatte Russland die besten Großflugzeuge der Welt, aber die privaten Flugzeugwerke in Petrograd, Moskau und Odessa bauten für den Bedarf der russischen Armee Flugzeuge nach hauptsächlich französischen Lizenzen und veralteten Typen („Nieuport 4“, „Farman 16“, „Voisin“).

Nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution begann sich das russische Flugwesen schneller zu entwickeln.

Wir wollen aber noch etwas näher auf die Entwicklung des Flugwesens im Russland des 19. und zu Beginn des 20. Jh. eingehen. Im 19. Jh. richtete sich die Aufmerksamkeit der russischen Wissenschaftler und Erfinder hauptsächlich auf Geräte leichter als Luft - auf Aerostaten (Ballons). Der erste Flug mit wissenschaftlicher Zielstellung wurde von der Akademie der Wissenschaften 1804 organisiert.

Die Leitung der Experimente, die während des Aufstiegs im Ballon angestellt werden sollten, wurde dem Akademiemitglied J. D. Sacharow übertragen. In seiner Aktennotiz, die einer Akademiekonferenz am 16. Mai 1804 vorgelegt wurde, schrieb Sacharow:

Bekanntlich ist bis heute noch nicht ermittelt, in welchem Maße die Luft mit zunehmendem Abstand vom Erdball dünner wird; ebenso ist unbekannt, aus welchen Gasen sie besteht und in welchem Verhältnis sie daraus in der höheren Atmosphäre gemischt ist. Dazu habe ich die Ehre vorzuschlagen, beim Aufsteigen mit dem Ballon, was eine überaus günstige Gelegenheit für eine Prüfung darstellt, einen solchen Versuch in folgender Weise auszuführen.



Weiter wird in der Notiz die Methodik der Entnahme von Luftproben in verschiedenen Höhen dargelegt. Der Flug fand am 30. Juni 1804 in Petersburg statt. Der Luftballon stieg auf eine Höhe von 2000 m und landete nach 3 1/2 Stunden 60 km von Petersburg. Während des Fluges wurden alle vorgesehenen Beobachtungen und Messungen (außer den magnetischen Messungen) ausgeführt.

Zu den wissenschaftlichen Instrumenten, die Sacharow dabei benutzte, gehörten u.a. ein Barometer, ein Thermometer, 2 Elektrometer, 12 gläserne Dosen zur Entnahme von Luftproben. Die Akademie der Wissenschaften vermerkte mit großer Genugtuung den wissenschaftlichen Wert dieser Luftreise. J. D. Sacharow berichtete der Akademie:

Die Hauptsache bei dieser Reise war, Erkenntnisse von hoher Genauigkeit über den physikalischen Zustand der Atmosphäre und über ihre Bestandteile in bestimmten Höhen zu gewinnen.<sup>62</sup>

Im weiteren wurden zu wissenschaftlichen Zwecken in Russland noch dreimal Flüge mit Freiballons durchgeführt: von Akademiemitglied M.A.Rykatschew 1868 und 1873 und im Jahre 1887 auch von dem genialen russischen Chemiker D. I. Mendelejew.

D.I.Mendelejew veröffentlichte in der Zeitschrift „Sewerny westnik“ (Nordbote) einen großen Artikel unter der Überschrift „Eine Luftfahrt von Klin aus während einer Finsternis“<sup>63</sup>, in dem die Vorbereitung des Ballons zum Flug und die Durchführung des Fluges ausführlich beschrieben und auch einige Ergebnisse wissenschaftlicher Beobachtungen wiedergegeben werden.

In dem Artikel finden sich bemerkenswerte Äußerungen, die kennzeichnend sind für den Stand der russischen Wissenschaft und Luftschiffahrtstechnik zu Ende des 19. Jh. Mendelejew schrieb:

Gewiss ist vor allem, dass die Aerostatik auf den richtigen Weg gelangte, aber noch sehr weit von ihrer möglichen Vollendung entfernt ist. So kann man mit Aerostaten höher aufsteigen, als dies bisher geschehen ist ... Leicht kann man entsprechende Geräte herrichten, z. B. Steigeballons, von einem Aerostaten aus aufgelassen und mit selbstschreibenden Vorrichtungen ausgestattet, oder auch allseitig abgeschlossene Kabinen, in denen ein Beobachter auch in solchen Höhen ohne Gefahr verbleiben und Aufstieg und Abstieg des Ballons regeln kann.

Dabei wird er die Verhältnisse in den oberen Atmosphärenschichten studieren, wo der Keim aller Wetteränderungen zu suchen ist, die in der Atmosphäre vor sich gehen. Wenn es möglich ist, Unterwasserfahrten oder Unterwasserarbeiten in Tauchglocken auszuführen, dann kann man offensichtlich auch den Aufenthalt in einer dünnen Luftschicht ungefährlich machen.

In der Arbeit „Über die Temperatur der höheren Schichten der Erdatmosphäre“ verwies Mendelejew 1875 auf die Notwendigkeit, Ballons mit luftdichter Kabine für den Beobachter zu bauen. Er schrieb, man müsse „an dem Ballon eine hermetisch abgeschlossene, umflochtene und elastische Vorrichtung anbringen zur Aufnahme des Beobachters, der dann mit komprimierter Luft versorgt wird und ohne Gefahr für seine Person Ermittlungen anstellen und den Ballon steuern kann“<sup>64</sup>.

Mendelejew äußerte, dass es nach eingehendem Studium möglich ist, die Dauer der Flüge zu erhöhen, die Gewinnung des Wasserstoffs, mit dem in jenen Jahren die Luftballons gefüllt wurden, erheblich zu verbilligen und zu verbessern. Technische Hindernisse gebe es auch nicht für den Bau lenkbarer Ballons. Mendelejew hob hervor:

Glanzvolle Tage sind für die russische Wissenschaft jedoch noch nicht angebrochen. Sie kommen erst

---

<sup>62</sup>Geschichte der Luftschiffahrt und des Flugwesens in der UdSSR (nach Archivmaterialien und Zeugnissen von Zeitgenossen). Die Periode bis 1914, Unter der Redaktion von W. A. Popow. Moskau 1944.

<sup>63</sup>Siehe D. I. Mendelejew: Werke, Bd. VII. S: 471-546.

<sup>64</sup>Ebenda, S. 19.

noch. Irgendwann wird sicherlich eine solche Zeit kommen, da man bei ähnlichen Unternehmungen nicht die Mittel bedauern wird, weil gemeinschaftliche Mittel zur Verfügung stehen werden, wenn man den Ort der Wetterbildung aufspürt. In der Ballontechnik gibt es keinen Grund dafür, dass die oberen Atmosphärenschichten bis heute nicht durch Messungen mit Geräten erfasst wurden und keine Antwort gaben auf die Fragen derer, die in die Probleme des Gleichgewichts und der Turbulenz der Luft eindringen.<sup>65</sup>

Im Jahre 1880 wurde die „Russische Gesellschaft für Luftfahrt“ gebildet. Im Beschluss der Gründungsversammlung heißt es:

Personen, die der Sache der Luftfahrt ernsthaft ergeben sind, haben unter Berücksichtigung ihrer gewaltigen Bedeutung für Russland sowohl in wissenschaftlicher als auch in kultureller und militärischer Hinsicht beschlossen:

1. In Petersburg nach dem Beispiel anderer Länder eine „Russische Gesellschaft für Luftfahrt“ zu gründen.
2. Die Gesellschaft stellt sich als Ziele:
  - a) Entwicklung von Luftfahrt-Wissenschaft und -Kunst allgemein;
  - b) Ermittlung der günstigsten Fortbewegungsart in der Luft;
  - c) Verwirklichung von Projekten, deren Vervollkommnung und praktische Verwendung;
  - d) Popularisierung und Verbreitung in der Gesellschaft von Kenntnissen und Fertigkeiten in der Luftfahrt durch Druckerzeugnisse, öffentliche Versuche und Protektion für Erfinder von Geräten zur Fortbewegung in der Luft.<sup>66</sup>

Im Dezember 1880 wurde auf Initiative von D. I. Mendelejew die VII. Abteilung für Luftfahrt der Russischen technischen Gesellschaft gegründet. In der Entwicklung des Fliegens mit nichtlenkbaren Ballons spielte diese Abteilung eine bedeutende und nützliche Rolle. Ab 1883 bewilligte das Kriegsministerium der Abteilung jährlich 1000 Rubel Unterstützung.

Sie gab die Zeitschrift „Wosduchoplawanije i issledowanije atmosfery“ (Luftfahrt und Atmosphärenforschung) heraus. Zu bemerken ist, dass die Mehrzahl der prominenten Mitglieder der VII. Abteilung Militärs waren. So wurde 1889 im Bericht an das Kriegsministerium angegeben:

In der Abteilung werden 55 Mitglieder geführt, vornehmlich Offiziere aller Waffengattungen: Garde, Armee und Flotte; Privatpersonen machen bis zu 15 % der Gesamtmitgliederzahl aus, wobei es sich um Techniker, Wissenschaftler und Fabrikanten handelt, ausschließlich russische Untertanen.<sup>67</sup>

Da der Flug von Freiballons völlig von der Richtung der Luftströmungen in der Atmosphäre abhängt, war ihre Anwendung in der Volkswirtschaft und im Militärwesen sehr beschränkt. Das Denken von Erfindern und Ingenieuren richtete sich auf die Suche nach Methoden des gelenkten Fluges. Im 19. Jh. wurden in Russland einige Varianten für lenkbare Ballons mit Antriebsanlagen an Bord vorgeschlagen. Sie wurden nicht verwirklicht.

Am erfolgreichsten arbeitete an der Schaffung eines lenkbaren Ballons der Kapitän Ognieslaw Stefanowitsch Kostowitsch, von Herkunft ein Serbe. Kostowitsch betrachtete Russland als seine zweite Heimat. Er entwarf einen Ballon in Form eines Zylinders mit zwei Kegeln. Es ergab sich eine strömungsgünstige spindelartige Form. An den Seiten des Ballons waren kleinere Flügel angeordnet.

Durch die Achse des Ballons ging eine Welle, an deren Ende eine Luftschraube befestigt war. Zur Prüfung des Projekts wurde in der Ingenieurhauptverwaltung eine Kommission gebildet, zu der bekannte russische Wissenschaftler gehörten: Akademiemitglied A. W. Gadolin, Professor

---

<sup>65</sup>Ebenda, S. 476.

<sup>66</sup>Geschichte der Luftschiffahrt und des Flugwesens in der UdSSR.

<sup>67</sup>Ebenda, S. 98.

W. L. Kirpitschjow und Professor N. P. Petrow. Im Gutachten der Kommission heißt es:

O. S. Kostowitsch legte uns Zeichnungen, Modelle und Berechnungen eines von ihm projektierten Ballons vor, der die Möglichkeit haben soll, sich in der Luft frei in den gewünschten Richtungen zu bewegen, selbst bei Wind mittlerer Stärke. Der Ballon soll die Form eines Zylinders haben mit Kegeln an den Enden und mit einer kleinen (Gondel unter seiner Mitte. Seine Länge ist ungefähr 30 Sashen<sup>68</sup>, der größte Durchmesser 6 Sashen.

Die Bewegung des Ballons soll mittels einer Maschine bewirkt werden, die einen am Ende des Ballons angebrachten Propeller in Drehung versetzt ... Ein solcher Aufbau des Luftballons ist durchaus vernünftig im Hinblick auf die leichte Beweglichkeit, und die uns von Kostowitsch vorgestellten Arbeiten in dieser Sache enthalten nichts, was den Naturgesetzen widerspricht. Eine erfolgreiche Ausführung ist möglich.<sup>69</sup>

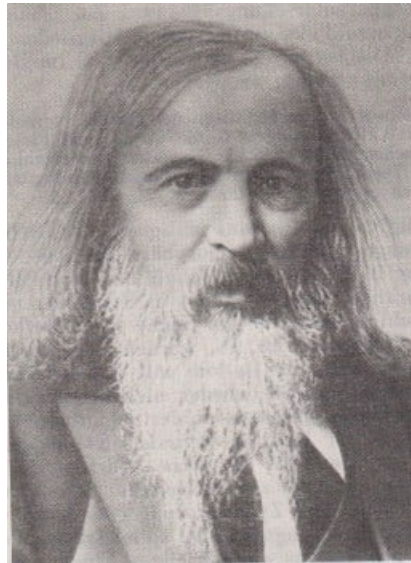


Abb. 26. D. I. Mendelejew (1834-1907)

Im Jahre 1889 wurden von den Summen, die von der Militärbehörde gestellt wurden, die Grundbestandteile und ein Verbrennungsmotor mit etwa 80 PS angefertigt. Aber zum Zusammenbau des Luftballons und zu Erprobungen reichten die Mittel nicht, und das gute Vorhaben kam nicht zustande.

Wenn schon der Luftschiffahrt im zaristischen Russland keine große Aufmerksamkeit geschenkt wurde, so galt die Idee, Flugapparate zu schaffen, die schwerer sind als Luft, ganz und gar als utopisch, und offizielle Regierungsstellen befassten sich nicht damit. Erfinder von Flugzeugen mussten auf eigene Gefahr arbeiten. Hier soll nun von den Arbeiten des Kapitäns 1. Ranges Alexander Fjodorowitsch Moshaiski berichtet werden.

Moshaiski erarbeitete als erster in der Welt eine originelle und vernünftige Konstruktion für ein Flugzeug mit Dampfmotor, baute ein solches Flugzeug und begann mit seiner Erprobung auf dem Flugfeld. Erst nach der Revolution wurden in alten Militär- und Staatsarchiven detaillierte Beschreibungen des Flugzeugs von Moshaiski und viele Dokumente gefunden, die deutlich machen, wie es geschaffen und erprobt wurde.

A. F. Moshaiski wurde am 9. März 1825 in der Stadt Rotschensalm im Gouvernement Wyborg in der Familie eines Seeoffiziers der russischen Kriegsflotte geboren. Er entschied sich für den Seemannsberuf und absolvierte 1841 das Seekadettenkorps. Von 1853 bis 1855 nahm Moshaiski auf der Fregatte „Diana“ an einer Fahrt durch den Atlantischen und Stillen Ozean zu den

---

<sup>68</sup>1 Sashen = 2,134 m

<sup>69</sup>Geschichte der Luftschiffahrt und des Flugwesens in der UdSSR. S. 155.

Küsten Japans teil.

1862 quittierte er den Dienst in der Flotte und siedelte in die Ukraine um, wo er Gehilfe eines Schiedsmannes war und in der Russischen Gesellschaft für Dampfschiffahrt und Handel diente. Offensichtlich wurde in diesen Jahren auch sein Interesse an Flügen auf Apparaten, die schwerer sind als Luft, d.h. auf Flugzeugen geweckt. Im Jahre 1876 siedelte er nach Petersburg über. Die Akademie der Wissenschaften der UdSSR veröffentlichte einen Sammelband mit Dokumenten, die in logischer Folge Moshaiskis Arbeit am ersten Flugzeug der Welt erhellten.<sup>70</sup>

Die Dokumente, die sich auf die Jahre 1877 bis 1880 beziehen, belegen die Untersuchungen Moshaiskis an kleineren Modellen eines von ihm erdachten Flugzeuges. Diese Untersuchungen zeigten, dass Flugzeugmodelle, die mit Hilfe von Luftschrauben in Bewegung versetzt wurden, auf einer ebenen Fläche Anlauf nehmen und abheben können. Die Flüge der Modelle machten einen großen Eindruck. P. Bogoslawski, Mitglied des technischen Komitees im Marineministerium, schrieb:

Dieser Tage hatten wir Gelegenheit, bei Versuchen mit einem Flugapparat (einem Modell), der von unserem Seemann Herrn Moshaiski ersonnen wurde, dabeizusein. Der Erfinder hat die schon lange anstehende Frage der Luftfahrt überaus zweckmäßig gelöst. Der Apparat fliegt nicht nur mit Hilfe seiner Antriebsgeräte und läuft auf dem Erdboden, sondern kann auch schwimmen. Die Schnelligkeit des Fluges dieses Apparates ist erstaunlich. Weder Schwerkraft noch Wind machen ihm etwas aus, und er ist in der Lage, in beliebiger Richtung zu fliegen.<sup>71</sup>

Ende 1876 wandte sich Moshaiski an das Kriegsministerium mit dem Ersuchen, seine Versuche an Flugmodellen zu unterstützen. Eine Kommission, bestehend aus den Professoren D. I. Mendelejew und N. P. Petrow, Oberst P. Bogoslawski, General Swerew und Militäringenieur Struve, gab ein befürwortendes Gutachten zu Moshaiskis Bericht ab, und im Ergebnis wurde beschlossen, für die Untersuchung der Flugmodelle 3000 Rubel auszugeben.

Die folgenden Versuche mit Modellen überzeugten Moshaiski, dass es notwendig ist, einen Flugapparat im Originalmaßstab zu bauen:

Nachdem ich etwa 1800 Rubel auf die Versuche verwendet und viel Zeit verloren hatte, gelangte ich zu der Überzeugung, dass die Untersuchungsmethode geändert werden muss und dass die zur Lösung der Frage erforderlichen Daten nur an einem Apparat von solchen Abmessungen gewonnen werden können, dass ein Mensch die Leistung der Maschine und die Flugrichtung des Apparates steuern könnte.<sup>72</sup>

Für den Bau des Flugzeuges in natura wurden nach Berechnungen des Erfinders 18895 Rubel und 45 Kopeken gebraucht. Aber der Vorschlag Moshaiskis fand im Kriegsministerium keine Unterstützung; die weiteren Arbeiten am Flugzeug gingen hauptsächlich auf eigene Kosten voran.

In einem Gutachten der Ingenieurhauptverwaltung wurde behauptet, dass die Schaffung eines Flugapparates schwerer als Luft „vorläufig als unnützlich und unrationell anzusehen ist“. Moshaiski setzte die aerodynamischen Untersuchungen an kleineren Modellen fort und begann gleichzeitig, den Bau eines ersten Originalflugzeugmusters vorzubereiten.

Im Juni 1880 meldete er seine Ansprüche auf seine Erfindung an, und am 3. November 1881 erhielt er das „Privileg“, ein Patent „auf ein Luftfahrgerät“. In diesem Patent gibt es eine

---

<sup>70</sup>A.F. Moshaiski - der Schöpfer des ersten Flugzeuges. Moskau 1955

<sup>71</sup>„Kronschtadtski westnik“, 1877, Nr. 5, S. 1-2.

<sup>72</sup>A. F. Moshaiski - der Schöpfer des ersten Flugzeuges. S. 36

Beschreibung und Zeichnungen von Moshaiskis Flugzeug:



Abb. 27. Titelblatt von D. I. Mendelejews bekannter Arbeit auf dem Gebiet der Hydroaerodynamik „Über den Widerstand der Flüssigkeiten und über Luftfahrt“

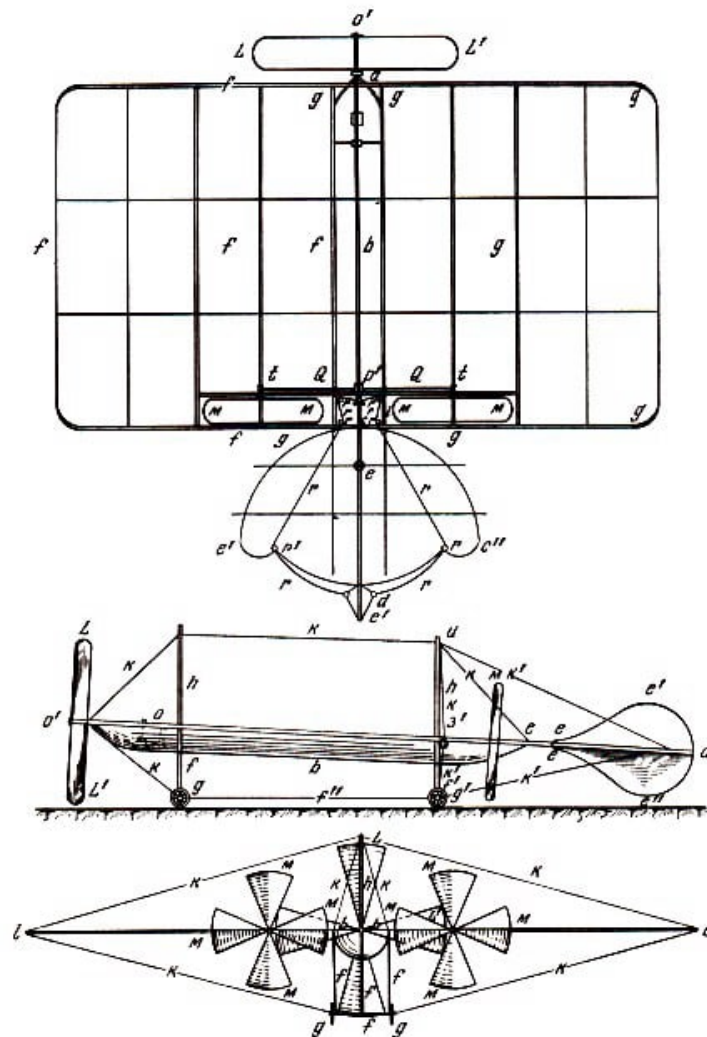


Abb. 28. Zeichnungen des Flugzeuges von A. F. Moshaiski (1825 bis 1890)

Das Luftfahrgerät (Abb. 28) besteht aus folgenden Hauptteilen: den Flügeln, einem zwischen ihnen angebrachten Bootskörper, dem Schwanz, einem Fahrgestell mit Rädern, auf dem das ganze Gerät ruht, den Maschinen zum Drehen der Propeller und einem Mast zum Verspannen der Flügel. Die Flügel des Geräts sind starr ausgelegt.

Der Schwanz besteht aus einer horizontalen und einer vertikalen Fläche; erstere kann gehoben und gesenkt werden und ist zur Lenkung des Geräts nach oben und nach unten bestimmt, die zweite bewegt sich nach links oder rechts und lässt das Gerät sich nach der Seite wenden.

Der Bootskörper dient zur Unterbringung der Maschinen, des Materials dafür, der Last und der Menschen. Das Fahrgestell mit Rädern, auf dem das ganze Gerät ruht und mit dem es fest verbunden ist, dient zum Rollen des Fluggerätes auf dem Erdboden vor dem Aufstieg; in der Luft wirkt eben dieses Fahrgestell als Balancier oder Richtscheit. Bei der Vorwärtsbewegung in der Luft versetzen die von einer Maschine angetriebenen Propeller des Fluggerätes infolge des Luftwiderstandes das Gerät in Bewegung.

In einer Zeichnung (Abb. 28) ist das beschriebene Flugzeug von Moshaiski in Aufsicht, Seitenansicht und Rückansicht dargestellt.<sup>73</sup>

Nach den erhaltenen Dokumenten wurde der Bau des Flugzeuges Ende 1879 begonnen.

Das schwierigste Problem bei der praktischen Umsetzung der Erfindung war es, leichte, schnelllaufende und zuverlässig arbeitende Motoren zu schaffen. Moshaiski projektierte zwei leichtere Dampfmaschinen von 10 und 20 PS und erreichte, dass sie von der englischen Firma „Ahrbecker“ hergestellt wurden.

Im Sommer 1881 waren die Hauptteile des Flugzeuges fertig. In dieser Zeit kamen auch die Dampfmaschinen aus England an. Für die Montage des Flugzeuges wurde dem Erfinder auf dem Krasnosselsker Truppenübungsplatz ein besonderes Grundstück zugewiesen, das er mit einem hohen Holzzaun umfriedete. Anfangs gestattete A. F. Moshaiski, das in Bau befindliche Flugzeug zu besichtigen, aber kurz vor Abschluss der Montage wurde fremden Personen der Zutritt verwehrt. Mitte 1882 war das Flugzeug gebaut.<sup>74</sup>

In heutiger Terminologie lässt sich sagen, dass Moshaiskis Flugzeug ein Eindecker war mit hoch angeordnetem Flügel kleiner Flügelstreckung und einer Flügeltiefe von 14,2 m. Die Flügelfläche betrug etwa 370 m<sup>2</sup>, und die Startmasse war 933 kg. Die Belastung je Quadratmeter Flügelfläche war sehr gering, nur 2,7 kg/m<sup>2</sup>, also etwa zwei Größenordnungen kleiner als bei modernen Flugzeugkonstruktionen, doch die Belastung je Pferdestärke war sehr groß, ungefähr 23 kg auf 1 PS (moderne Passagiermaschinen weisen eine Belastung von 3-4 kg auf 1 PS auf). Die Stärke der Triebwerke war offenbar für ein so schweres Flugzeug unzureichend.

Der erste Flug von Moshaiskis Flugzeug misslang. Es hob von der Erde ab, legte sich auf die Seite und stieß an einen hohen Zaun, wobei Flügel und Chassis beschädigt wurden. Offensichtlich lag die Ursache des missglückten Fluges darin, dass Querruder fehlten (die die Querstabilität sichern) und die Rückwirkung der vorderen Luftschraube nicht ausgeglichen war.

Die Ingenieurhauptverwaltung des Kriegsministeriums sah in diesem verunglückten Flug lediglich eine Bestätigung ihrer ablehnenden Haltung gegenüber den Arbeiten Moshaiskis.

Ab 1886 begann Moshaiski, nachdem er eine unbedeutende Unterstützung vom Marineministerium erlangt hatte; stärkere Dampfmaschinen für sein Flugzeug zu entwickeln. Eigene Mittel hatte der Erfinder bereits nicht mehr.

---

<sup>73</sup>Ebenda, S. 82-85

<sup>74</sup>Ebenda, S. 12

Die langjährige Forschungs- und Konstruktionsarbeit, der Bau des Flugzeugs im Originalmaßstab und die Erprobungen nötigten Moshaiski, nicht nur die ihm gehörenden Güter in der Ukraine und im Gouvernement Wologda zu verpfänden und zu verkaufen, sondern auch persönliche Dinge wie Uhren und Trauringe. Trotz allem wurden die Entwicklungsarbeiten an den neuen Triebwerken nicht beendet.

Am 20. März 1890 starb der hervorragende russische Ingenieur A. F. Moshaiski.

Da die Entwicklungsarbeiten an Moshaiskis Flugzeug ab 1882 für vertraulich erklärt wurden, offenbaren die erhaltenen Materialien nicht alles, was dieser Mann mit seinem urwüchsigen Talent für das russische Flugwesen getan hat. Überwältigen und zu inniger Anteilnahme anregen kann die wahre Besessenheit des Erfinders von seinen Ideen, die so wertvoll waren und den Weg zu einer bedeutenden technischen Entwicklungsrichtung des 20. Jh. öffneten. Moshaiski war auf dem richtigen Wege.

Mit seinen Forschungen nahm er viele technisch-wissenschaftliche Lösungen vorweg, die erst zwei Jahrzehnte später im Flugwesen Eingang fanden.

Große Bedeutung für die wissenschaftliche und technische Entwicklung des Flugwesens in Russland hatten die Arbeiten des genialen russischen Wissenschaftlers Dmitri Iwanowitsch Mendelejew, Eine Reihe seiner Artikel, die sich mit den Eigenschaften von Gasen und Dämpfen befassten, setzte die Ausgangspunkte für den Aufbau einer neuen Wissenschaft, der Aerodynamik.

Von physikalisch-chemischen Untersuchungen von Gasen ging er schrittweise zu Problemen der Meteorologie und Aerodynamik über. Um den Luftozean in den Griff zu bekommen für Zwecke der Wettervorhersage und der Luftfahrt; schrieb Mendelejew, sind gleichzeitig zwei Aufgaben zu lösen: die Atmosphäre in ihrer ganzen Ausdehnung zu studieren und dabei die nötige genaue Messapparatur zu schaffen sowie, um diese nach oben zu bringen, Fluggeräte und Luftschiffe, mit deren Nutzung die Ära des Luftverkehrs eröffnet wird.

Besonders Flugkörper, die leichter sind als Luft; die Aerostaten, fesselten Mendelejews Aufmerksamkeit. In einer seiner Schriften an das Kriegsmarineministerium bemerkte er, dass zwar seitens des Forschers beide Arten der Luftfahrt gleiche Bedeutung verdienen, dass aber für praktische Bedürfnisse, so z.B. militärische, allein die Ballons einen raschen und abwägbaren Erfolg erwarten lassen, um so mehr, als die ganze Frage von der theoretischen Seite her in den Grundsätzen hier endgültig geklärt ist. Deshalb ist es nötig, schrieb Mendelejew, in der Praxis zu großzügigen Versuchen an einem wohldurchdachten, lenkbaren Ballon überzugehen. Er war überzeugt, dass man einen großen Ballon genauso lenken kann wie ein Schiff.

Im Jahre 1875 legte Mendelejew ein Projekt für einen großen Höhenballon mit luftdichter Gondel vor. Dies war das erste Projekt in der Welt für einen Stratosphärenballon. Auf dieses Projekt kam Mendelejew später in einer ganzen Reihe seiner wissenschaftlichen Arbeiten mehrfach zurück.

Mendelejew untersuchte vor allem den Widerstand von Flüssigkeiten (den Formwiderstand, wie wir heute sagen) theoretisch. Der erste Teil dieser Arbeit erschien 1880 in Petersburg. In dieser Monographie wurden alle erstrangigen Arbeiten über den Bewegungswiderstand von Körpern in Flüssigkeiten oder Gasen analysiert. Dmitri Iwanowitsch setzte sich mit der Stoßtheorie von Newton auseinander, mit der Stromfadentheorie von Bernoulli und Euler, mit der Wellentheorie und der Theorie des Reibungswiderstandes.

Diese Analyse zeigte, dass die aufgestellten Theorien vom Experiment nicht bestätigt werden und es nur sehr wenige korrekt angestellte Versuche gab. Deshalb betrachtete es Mendele-

jew als die wichtigste Aufgabe, mittels systematischer wissenschaftlich begründeter Versuche Fakten zu sammeln. Diese Schlussfolgerungen waren von prinzipieller und methodologischer Bedeutung.

Wie aus nach der Revolution veröffentlichten Materialien hervorgeht, gab es im Russland des 19. Jh. recht viele Vorschläge für den Bau von Flugapparaten. Aber eine wissenschaftliche Grundlage für zielgerichtetes Konstruieren war noch nicht geschaffen.

Eine solche wissenschaftliche Grundlage gab es auch noch nicht in anderen Ländern. Es gab einzelne, rein intuitive Vermutungen, manchmal gestützt durch vereinzelte Versuche. Für Flugzeuge war die Kernfrage nicht gelöst, nämlich die Bestimmung der Auftriebskraft. Es gab keine Berechnungsverfahren für die Schubkraft von Luftschrauben. Das Konstruieren ging tastend voran, mit großen Zweifeln an der Richtigkeit der gewählten Lösung. In dieser Situation gab Mendelejews bemerkenswerte Monographie der weiteren Forschung zum Flugwesen und zur Luftfahrt eine vernünftige und richtige Linie vor. Nachstehend einige seiner Gedanken.

Dringend notwendig und letztlich ausschlaggebend für die Sache ist vernünftiges und zuverlässiges Experimentieren. Junges und unerfahrenes Denken geht in zu viele Richtungen, solange es von der Erfahrung nicht auf den richtigen Weg gebracht wurde, um von selbst die Quintessenz des empirischen Wissens nach sich ziehen oder in sich tragen zu können, so wie ein an Zügel gewöhntes Pferd dorthin zieht, wohin es soll ...

Schließlich muss man verstehen, dass der Mensch, als er das erste Rad machte und damit bis zur Lokomotive gelangte, auf diese Bewegungsart nicht in einfacher sklavischer Nachahmung natürlicher Formen kam, sondern als vernunftbegabter Schöpfer, der in der Natur Stoffe und Kräfte für seine eigenen, von der Gesellschaft geschaffenen und nicht naturgegebenen Zwecke nutzte.<sup>75</sup>

Mendelejew sagte weiter:

Ein wissenschaftliches Studium der Dinge hat zwei Haupt- oder Endziele: Voraussicht und Nutzen. Das, was noch nicht bekannt ist, voraussehen oder voraussagen, heißt in jedem Fall, etwas Vorhandenes, aber noch nicht Beschriebenes entdecken (z.B. ein neues Land oder unbekannte Erscheinungen, Körper, Produktionsverfahren usw.), und hat jene höhere Bedeutung, dass es den Leuten die Möglichkeit zeigt, das eigentliche Wesen der Dinge zu ergründen ...

Wissenschaftliche, auf Studium gegründete Voraussagen geben den Menschen jene Zuversicht, mit deren Hilfe es möglich ist, die Natur der Dinge in die gewünschte Richtung zu lenken und zu erreichen, dass das Gewünschte und Erwartete Wirklichkeit wird und das Unsichtbare sichtbar.<sup>76</sup>

Es ist wohlbekannt, dass D. I. Mendelejew mit dem bedeutenden russischen Physiologen Z.M. Setschenow befreundet war, dass er den illegalen Schriften von A. I. Herzen Anteilnahme entgegenbrachte, dass er sich mit N. G. Tschernyschewski traf. In den Arbeiten und in den Äußerungen Mendelejews wird die enge Verbindung zwischen der russischen materialistischen Philosophie und dem fortschrittlichen demokratischen naturwissenschaftlichen Denken deutlich sichtbar.

Durch Tiefe und Originalität sich auszeichnende progressive Ideen zur Entwicklung der Luftfahrtwissenschaften, kühne und sorgfältig durchdachte technische Projekte, durch die hohe Meisterschaft und Kultur der Ausführung beachtenswerte Flugzeugkonstruktionen, die nach 1908 geschaffen wurden, sind von fortschrittlichen russischen Gelehrten und Ingenieuren buchstäblich unter Qualen geboren worden.

Es seien die größten Entdeckungen auf dem Gebiet der theoretischen, experimentellen und technischen (angewandten) Aerodynamik angeführt, die N. E. Shukowski machte, Professor

---

<sup>75</sup>D. I. Mendelejew: Werke, Bd. VII. S. 293-459.

<sup>76</sup>D. I. Mendelejew: Grundlagen der Chemie, Bd. I, Moskau, Leningrad 1947. S. 354.



an der Moskauer Universität und an der Moskauer Technischen Hochschule.<sup>77</sup> Er bewies den Hauptsatz über die Auftriebskraft des Flügelprofils, formulierte eine Hypothese für die Berechnung der Zirkulationsgeschwindigkeit um einen Flügel mit scharfer Hinterkante, schlug drei Serien theoretischer Profile vor (Shukowski-Profil, Flügel vom Typ der Parabelinversion, Flügel vom Typ Antoinette) und stellte die Formeln für die Bestimmung der Auftriebskraft dieser Profile und ihrer Wirkungslinie auf.

Shukowski schuf aerodynamische Laboratorien an der Universität und an der Technischen Hochschule. Wir verdanken ihm großartige Pionierarbeiten zur Wirbeltheorie des Propellers. Er erarbeitete auch eine strenge Theorie zur Bestimmung der Flugeigenschaften von Flugzeugen und führte Untersuchungen über die Flugstabilität solcher Flugapparate durch.

Keinerlei künstliches Hindernis konnte die Entwicklung von Wissenschaft und Technik in Russland aufhalten.

Die Hemmnisse wurden überwunden durch die Begabung, Beharrlichkeit und schöpferische Unternehmungslust der russischen Forscher. Die fortschrittlichen Menschen des vorrevolutionären Russlands haben die kühnen wissenschaftlich-technischen Ideen der russischen Wissenschaft stets begrüßt und unterstützt.

---

<sup>77</sup>Siehe A. A. Kosmodemjanski: N. E. Shukowski. Moskau 1969. Über die aerodynamischen Arbeiten Shukowskis siehe die Kapitel VI bis VIII (S. 80-147).

## 7 Raketen für Weltraumflüge und ein „Luftkissen“-Schnellzug

Es gibt eine äußerste Kühnheit: die Kühnheit des Erfindens, des Erschaffens, wenn ein großer Plan Gestalt annimmt durch den schöpferischen Gedanken.

A. S. Puschkin

Wie schon gesagt, wurden in den 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Pulverkampfraketen (mit rauchendem Schwarzpulver) aus der Produktion genommen und in der Armee nicht mehr eingesetzt. Forschungen zur Raketentechnik (sowohl theoretische wie auch experimentelle) wurden als unnützlich und nicht notwendig für das Land erachtet. Man musste schon über recht ungewöhnlichen Scharfsinn und wissenschaftlichen Wagemut verfügen, um entgegen den Ansichten und Behauptungen der Autoritäten Untersuchungen über die Theorie der Rückstoßbewegung anzustellen.

Ende des 19. Jh. erweckte Ziolkowski die wissenschaftlich-technische Entwicklung der Raketentechnik in Russland zu neuem Leben und legte eine ganze Anzahl origineller Konstruktions-schemata für Raketen vor. Ein wesentlicher Schritt nach vorn waren die von Ziolkowski erarbeiteten Schemata von Raketen großer Reichweite und von Raketen für interplanetare Reisen mit Rückstoßtriebwerken auf der Basis flüssigen Treibstoffs.

Bis zu Ziolkowskis Arbeiten wurden nur Raketen mit Feststoffantrieb untersucht und für die Lösung verschiedener Aufgaben vorgeschlagen.

Die Verwendung flüssigen Treibstoffs (Brennstoff und Oxydator) lässt eine höchst rationelle Konstruktion eines leichten zuverlässig arbeitenden Flüssigkeitsrückstoßtriebwerkes mit dünnen Wänden zu, die durch den Brennstoff (oder den Oxydator) gekühlt werden. Für Raketen mit großen Abmessungen war eine solche Lösung die einzig annehmbare.

### Die Rakete von 1903.

Den ersten Typ einer Rakete mit großer Reichweite beschrieb Ziolkowski in seiner Arbeit „Die Erforschung des Weltraums mit Rückstoßgeräten“ (1903 veröffentlicht). Die Rakete stellt sich als längliche Metallkammer dar, die große Ähnlichkeit mit einem Luftschiff oder einer Spindel hat. Ziolkowski schrieb:



Abb. 29. Ziolkowskis Raketenprojekt von 1903 (mit gerader Düse). Zeichnung von K. E. Ziolkowski,

Inschrift links oben: flüssiger Wasserstoff; links unten: flüssiger Sauerstoff; rechts: Mensch, Absorber für Kohlendioxid und Ammoniak

Man stelle sich eine längliche Metallkammer vor (von der Form, die den geringsten Widerstand aufweist), ausgestattet mit Licht, Sauerstoff, Absorbentien für Kohlendioxid, Ammoniak und andere Ausscheidungen von Lebewesen, nicht nur für die Aufnahme verschiedener physikalischer Geräte bestimmt, sondern auch für den Menschen, der die Kammer steuert ... Die Kammer hat einen großen Vorrat an Stoffen, die bei ihrer Vermischung sofort eine explosive Masse bilden.

Diese Stoffe explodieren geregelt und gleichmäßig an dem dafür bestimmten Ort und fließen in Form heißer Gase durch Röhren, die sich zum Ende hin erweitern, ähnlich wie ein Sprachrohr oder ein Musikinstrument ... An dem engen Ende des Rohres findet die Vermischung der explosiven Stoffe statt: dort bilden sich die komprimierten und glühenden Gase.

An seinem anderen, ausgeweiteten Ende werden sie durch den Trichter mit enormer Relativgeschwindigkeit nach außen abgestoßen, wobei sie sich stark verdünnen und dadurch abkühlen.<sup>78</sup>

Abbildung 29 zeigt, welchen Raum der flüssige Wasserstoff (als Brennstoff) und flüssige Sauerstoff (als Oxydator) einnehmen. Der Ort, an dem sie zusammengebracht werden, die Brennkammer, ist durch den Buchstaben A gekennzeichnet. Die Wände der Düse sind von einem Mantel mit einer in ihm zur Kühlung schnell zirkulierenden Brennstoffkomponente umgeben. Zur Steuerung des Fluges der Rakete in den oberen dünnen Schichten der Atmosphäre empfahl Ziolkowski zwei Verfahren: Steuerruder aus Graphit, die nahe dem Düsenende im Gasstrahl angeordnet sind, oder ein Drehen des Trichterendes (ein Drehen der Triebwerksdüse). Beide Methoden gestatten es, den Strahl der heißen Gase aus der Richtung der Raketenachse abzu lenken und eine Kraft zu erzeugen, die senkrecht zur Flugrichtung wirkt, die Steuerkraft. Es ist festzustellen, dass die genannten Vorschläge Ziolkowskis in der modernen Raketentechnik weithin angewendet und weiterentwickelt wurden.

Alle uns bekannten Flüssigkeitsraketenriebwerke sind mit einer zwangsläufigen Kühlung der Wände von Brennkammer und Düse durch eine der Treibstoffkomponenten konstruiert. Die Kühlung ermöglicht hinreichend dünne Wände, auch für einige Minuten hoher Temperaturen (bis zu 3500-4000°C) darauf einwirken. Ohne Kühlung brennt eine solche Kammer in 2 bis 3 Sekunden durch.

Die von Ziolkowski vorgeschlagenen Strahlruder werden sowohl in der Sowjetunion wie auch in anderen Ländern für die Steuerung von Raketen unterschiedlicher Klassen eingesetzt. Wenn die vom Triebwerk entwickelte Rückstoßkraft das 1,5- bis 3fache der Schwerkraft ausmacht, dann sind in den ersten Sekunden des Fluges, in denen die Geschwindigkeit der Rakete noch nicht groß ist, Luftruder selbst in den dichten Atmosphärenschichten uneffektiv, und der richtige Raketenflug wird mit Hilfe der Strahlruder gesichert.

Gewöhnlich sind im Strahl des Rückstoßtriebwerks vier Graphitruder angebracht, und zwar in zwei zueinander senkrechten Ebenen. Durch einen Ausschlag des einen Paares lässt sich die Flugrichtung in der Vertikalebene ändern, durch einen Ausschlag des anderen Paares in der Horizontalebene.

Die Wirkung der Strahlruder ist also analog der Wirkung der Höhen- und Seitenruder bei Flugzeugen und Segelflugzeugen, die den Steigwinkel und den Kurs während des Fluges verändern. Um eine Drehung der Rakete um die eigene Achse aufzuheben, kann ein Strahlruderpaar in verschiedene Richtungen geschwenkt werden; dann wirkt es wie die Querruder beim Flugzeug.

Strahlruder im heißen Gasstrahl vermindern die Rückstoßkraft. Deshalb erweist es sich bei einer verhältnismäßig langdauernden Arbeit eines Raketenriebwerks manchmal als vorteilhafter, entweder das ganze Triebwerk durch einen entsprechenden Automaten zu drehen oder die Rakete mit zusätzlichen (kleiner bemessenen) drehbaren Triebwerken zu versehen. Mit verschiedenen „Programmen“ für die Änderung von Größe und Richtung der Rückstoßkraft kann man eine unendliche Vielfalt von Flugbahnen erhalten.

---

<sup>78</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 73-74.

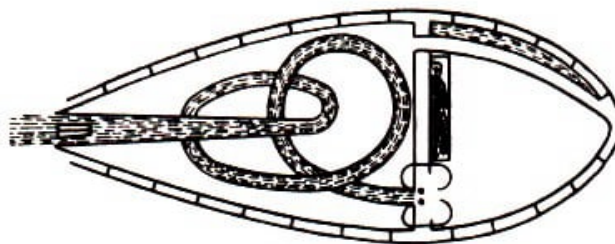


Abb. 30. Ziolkowskis Raketenprojekt von 1914 (mit gewundener Düse). Zeichnung von K. E. Ziolkowski

### Die Rakete von 1914.<sup>79</sup>

Ihre äußeren Umrisse ähneln der Rakete von 1903, aber das „Explosionsrohr“ (d.h. die Düse) des Raketentriebwerks ist komplizierter. Ziolkowski empfiehlt, als Brennstoff Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Kerosin, Benzin, zu verwenden. Der Aufbau dieser Rakete wird wie folgt beschrieben (Abb. 30):

Der Heckteil besteht aus zwei Kammern, die durch eine in der Zeichnung nicht wiedergegebene Scheidewand getrennt sind. Die erste Kammer enthält flüssigen, frei verdunstenden Sauerstoff. Er hat eine sehr niedrige Temperatur und umgibt einen Teil des Explosionsrohres und andere Teile, die einer hohen Temperatur ausgesetzt sind. Die andere Kammer enthält Kohlenwasserstoffe in flüssiger Form.

Zwei schwarze Punkte unten (fast in der Mitte) stellen den Querschnitt von Rohren dar, die dem Explosionsrohr die explosiven Materialien zuführen. Von der Mündung des Explosionsrohres (siehe rings um die Punkte) gehen zwei Zweige mit schnell strömenden Gasen aus, die die flüssigen Explosivelemente mitreißen und in die Mündung hineinstoßen, ähnlich einem Giffard-Injektor oder einer Dampfstrahlpumpe ...

Das Explosionsrohr macht einige Windungen entlang der Rakete in Richtung ihrer Längsachse und dann einige Windungen senkrecht zu dieser Achse. Das hat den Zweck, das Taumeln der Rakete zu vermindern oder ihre Lenkbarkeit zu erleichtern.

Bei diesem Schema einer Rakete kann die Außenhaut des Raketenkörpers durch den flüssigen Sauerstoff gekühlt werden, Ziolkowski hatte sehr wohl die Schwierigkeiten bei der Rückkehr einer Rakete aus dem kosmischen Raum auf die Erde begriffen und rechnete damit, dass die Rakete bei hohen Fluggeschwindigkeiten in den dichten Atmosphärenschichten wie ein Meteorit verbrennen oder zerfallen kann.

Im Bugteil der Rakete ordnete Ziolkowski an: den Vorrat an Gasen, die für die Atmung und die Aufrechterhaltung der normalen Lebenstätigkeit der Passagiere notwendig sind; Vorrichtungen zum Schutz der Lebewesen vor den großen Überbelastungen, die beim Beschleunigen oder Abbremsen der Rakete entstehen; Vorrichtungen zur Steuerung des Fluges; Vorräte an Speisen und Wasser; Stoffe, die das Kohlendioxid, Ausdünstungen und überhaupt alle schädlichen Atemprodukte aufsaugen.

Sehr interessant ist Ziolkowskis Gedanke, Lebewesen und den Menschen vor großen Überbelastungen („verstärkter Schwerkraft“ nach Ziolkowski) durch Eintauchen in eine Flüssigkeit gleicher Dichte zu schützen. Zuerst begegnet man dieser Idee in einer Arbeit Ziolkowskis aus dem Jahre 1891.

Nachfolgend eine kurze Beschreibung des einfachen Versuchs, der uns von der Richtigkeit des Ziolkowskischen Vorschlages für homogene Körper (Körper mit gleichmäßiger Dichte) überzeugt. Nehmen wir eine feine Wachsfigur, die kaum ihr Eigengewicht aushält.

---

<sup>79</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 149-450.

In ein festes Gefäß gießen wir eine Flüssigkeit von derselben Dichte wie das Wachs, und in diese Flüssigkeit tauchen wir die Figur ein. Dann erzeugen wir mit Hilfe einer Zentrifuge eine Überbelastung, die mehrfach die Schwerkraft übersteigt. Das Gefäß kann, wenn es nicht fest genug ist, zerbrechen, aber die Wachsfigur in der Flüssigkeit wird ganz bleiben. Ziolkowski schrieb:

Die Natur benutzt diesen Kunstgriff schon lange, indem sie die Keimlinge der Lebewesen, ihre Gehirne und andere empfindliche Teile in Flüssigkeit bettet. So schützt sie sie vor jeglicher Verletzung. Der Mensch nutzt diesen Gedanken bis jetzt recht wenig.<sup>80</sup>

Zu bemerken ist noch, dass sich für Körper, deren Dichte nicht überall gleich ist (inhomogene Körper), die Überbelastung auch in der Flüssigkeit zeigen wird. Wenn man in die Wachsfigur Bleikörner hineinbringt, dann werden sie bei großen Überbelastungen in die Flüssigkeit austreten. Doch gibt es augenscheinlich keinen Zweifel daran, dass der Mensch in einer Flüssigkeit größere Belastungen aushalten kann als beispielsweise in einem Spezialsessel.



Abb. 31. Ziolkowskis Rakete von 1915, Zeichnung von K. E. Ziolkowski  
Inschrift links oben: flüssiger, frei verdunstender Sauerstoff bei sehr niedriger Temperatur;  
links unten: flüssiger Kohlenwasserstoff; rechts: Menschen, Apparate für die Atmung und  
anderes

### Die Rakete von 1915.

In der Arbeit von J. I. Perelman „Interplanetare Reisen“, die 1915 in Petersburg herauskam, findet man eine Zeichnung und eine Beschreibung einer Rakete, die von Ziolkowski stammen (Abb. 31).

Das Rohr A und die Kammer B aus beständigem, schwerschmelzendem Metall sind innen mit noch schwerer schmelzendem Material, z. B. Wolfram, abgedeckt. C und D sind Pumpen, die flüssigen Sauerstoff und Wasserstoff in die Brennkammer pumpen. Die Rakete hat eine zweite schwer schmelzende Außenhaut.

Zwischen den zwei Außenhäuten ist ein Zwischenraum, in den verdunstender flüssiger Sauerstoff als sehr kaltes Gas strömt. Er verhindert ein übermäßiges Erhitzen der beiden Hüllen durch die Reibung in der Atmosphäre bei hohen Geschwindigkeiten. Der flüssige Sauerstoff und Wasserstoff sind durch dichte Hüllen (in Abb. 31 nicht dargestellt) voneinander getrennt. E ist ein Rohr, das den verdunsteten kalten Sauerstoff zwischen die zwei Hüllen leitet. Er fließt durch die Öffnung K ab.

An der Öffnung A befinden sich (nicht dargestellt) Ruder in zwei zueinander senkrechten Ebenen zur Steuerung der Rakete. Die ausgestoßenen verdünnten und abgekühlten Gase verändern dank dieser Ruder ihre Bewegungsrichtung und drehen damit die Rakete.<sup>81</sup>

### Zusammengesetzte Raketen.

<sup>80</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 170.

<sup>81</sup>N. A. Rynin: K. E. Ziolkowski, sein Leben, seine Arbeiten und Raketen. S. 41.

In den Arbeiten Ziolkowskis, die sich mit zusammengesetzten Raketen oder Raketenzügen befassen, gibt es keine Zeichnungen mit Gesamtansichten der Konstruktionen. Anhand der in den Arbeiten angeführten Beschreibungen lässt sich aber sagen, dass Ziolkowski zwei Typen von Raketenzügen vorschlug. Der erste Typ ähnelt einem Eisenbahnzug, der von der Lokomotive geschoben wird. Man stelle sich zwei Raketen vor, die hintereinander gekoppelt sind (Abb. 32).

Dieser Zug wird zuerst von der unteren, der Schwanzrakete, geschoben (es arbeitet das Triebwerk der ersten Stufe). Nach Verbrauch ihrer Treibstoffvorräte wird die Rakete abgekoppelt und stürzt auf die Erde. Im weiteren beginnt das Triebwerk der zweiten Rakete zu arbeiten. Nach dem restlosen Verbrauch des Treibstoffs hat sie eine ausreichend hohe Geschwindigkeit erreicht.

Ziolkowski wies durch Berechnungen die vorteilhafteste Massenverteilung zwischen den einzelnen Raketen, die in den Zug eingehen, nach.



Abb. 32. Schema einer zweistufigen Rakete mit festem Treibstoff

Als Beispiel seien die Startmassen mehrstufiger Raketen berechnet, deren Ausströmgeschwindigkeit  $u = 2,5 \text{ km/s}$  beträgt; das Verhältnis der Raketenmasse ohne Treibstoff zur Raketenmasse mit Treibstoff sei 1:5. In diesem Fall ist die Geschwindigkeit einer einstufigen Rakete

$$v = 2,5 \text{ km/s} \cdot \ln 5 = 2,5 \text{ km/s} \cdot 1,6 = 4 \text{ km/s}$$

Die Konstruktionsmasse der Rakete ohne Treibstoff betrage 1 t und die Nutzlast ebenfalls 1 t. Folglich braucht man, um der Nutzlast von 1 t eine Geschwindigkeit von 4 km/s zu verleihen, eine Rakete mit der Startmasse 10 t.

Tabelle 1

Maximale Geschwindigkeit im km/s	Anzahl der Stufen	Raketenstartmasse in t für eine Nutzlast
4	4	10
8	2	400
4	3	1000
16	4	10000

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für eine Reihe mehrstufiger Raketen angeführt, wobei gleiche konstruktive Vollkommenheit der aufeinanderfolgenden Stufen angenommen ist.

Aus dieser Tabelle kann man folgende Gesetzmäßigkeit ersehen: Während die maximale Geschwindigkeit, die man mit einer mehrstufigen Rakete erreichen kann, in arithmetischer Reihe wächst, erhöht sich die Gesamtstartmasse in geometrischer Reihe.<sup>82</sup>

Hier ist die grundlegende Bedeutung einer Erhöhung der Ausströmgeschwindigkeit zu unterstreichen, wenn es um vollkommeneren Raketen für interplanetare Flüge geht.

<sup>82</sup>M. Fertregi: Grundlagen der Kosmonautik (russ.). Moskau 1969. S. 137.



Abb. 33. K. E. Ziolkowski im Jahre 1927

Der zweite Typ zusammengesetzter Raketen, den Ziolkowski 1935 vorschlug, wurde von ihm Raketengeschwader genannt und ist wie die Stämme eines Floßes zusammengesetzt. Beim Start beginnen alle vier Triebwerke gemeinsam zu arbeiten. Wenn jedes von ihnen den Treibstoffvorrat zur Hälfte verbraucht hat, leiten zwei Raketen (z.B. die linke und rechte) ihren nichtverbrauchten Treibstoffvorrat in die halbleeren Behälter der verbleibenden zwei Raketen über (Abb. 34) und scheiden aus dem Geschwader aus.

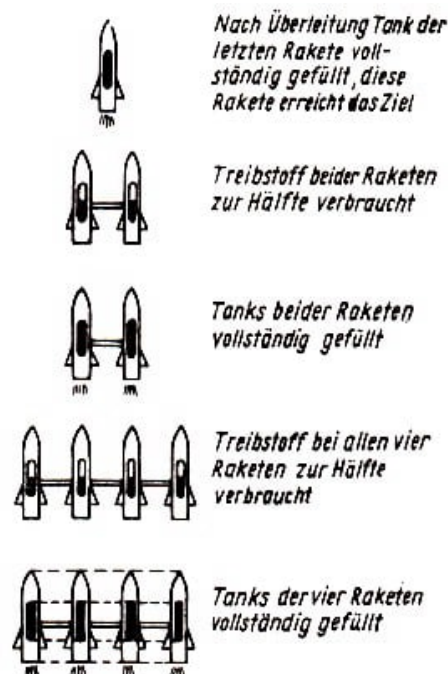


Abb. 34. Schema einer zusammengesetzten Rakete (Raketengeschwader nach K. E. Ziolkowski)

Den Flug setzen zwei Raketen mit vollständig gefüllten Tanks fort. Wenn die Hälfte des Treibstoffs verbraucht ist, leitet die eine Rakete des Geschwaders die verbliebene Hälfte in diejenige Rakete über, die das Reiseziel erreichen soll. Der Vorzug des Geschwaders besteht darin, dass

alle Raketen gleich sind. Die Überleitung der Treibstoffkomponenten während des Fluges ist zwar eine schwierige, aber technisch durchaus lösbare Aufgabe.

Eine sinnvolle Konstruktion für einen Raketenzug zu schaffen, ist heutzutage eines der aktuellsten Probleme, und viele wissenschaftlich-technische Zeitschriften bringen systematisch Beiträge von Wissenschaftlern und Ingenieuren, die sich mit der Entwicklung dieser vom Grundgedanken her großartigen Projekte Ziolkowskis beschäftigen.

### **Eine zusammengesetzte Passagierrakete.**

Diese Rakete beschrieb Ziolkowski in seinem Buch „Außerhalb der Erde“, das 1920 in Kaluga herausgegeben wurde. Er schildert eine Begebenheit, die sich im Jahre 2017 zuträgt, und nennt deshalb die Rakete „Zusammengesetzte Passagierrakete von 2017“. Hier die eingehende Beschreibung dieser Rakete:

Die zusammengesetzte Passagierrakete bestand aus 20 einfachen Raketen, wobei jede einen Vorrat explosiver Stoffe, eine Explosionskammer mit selbsttätigen Injektoren, ein Explosionsrohr und anderes in sich einschloss. Ein mittleres (einundzwanzigstes) Teil jedoch hatte keine Rückstoßeinrichtung und diente als Kabine.

Sie hatte eine Länge von 20 Metern und einen Durchmesser von 4 Metern. Die Länge der ganzen Rakete betrug 100 Meter, der Durchmesser 4 Meter. Ihre Form glich einer gewaltigen Spindel... Die Explosionsrohre waren zu Spiralen gewunden und erweiterten sich allmählich zur Austrittsöffnung. Die Windungen der einen waren quer zur Längsachse der Rakete angeordnet, die der anderen entlang der Achse.

Die Gase, die sich beim Abbrennen in zwei zueinander senkrechten Ebenen drehten, verliehen der Rakete eine außerordentliche Stabilität.<sup>83</sup>) Sie kurvte nicht wie ein schlecht gesteuertes Boot hinüber und herüber, sondern flog wie ein Pfeil. Doch die erweiterten Endungen aller Rohre, die seitlich aus der Rakete austraten, hatten fast alle eine Richtung und waren nach einer Seite gewendet. Die Reihe der Austrittsöffnungen bildete eine Schraubenlinie.

Die Explosionskammern und die Rohre, die deren Verlängerung bildeten, waren aus den Wolfram ähnlichen, überaus schwerschmelzenden und festen Stoffen hergestellt. Alle Explosionsmechanismen wurden von einer verdampfenden Flüssigkeit gekühlt. Sie war einer der Explosivstoffe. Die andere Flüssigkeit befand sich in anderen isolierten Abteilungen. Die äußere Hülle der Rakete bestand aus drei Schichten. Die innerste Schicht war aus festem Metall mit Fenstern aus Quarz, die noch mit einer Schicht gewöhnlichen Glases abgedeckt waren, und hermetisch schließenden Türen.

Die zweite Schicht war schwer schmelzbar und nahezu nicht wärmeleitend. Die dritte, äußerste Schicht, bildete eine sehr schwer schmelzbare, aber ziemlich dünne Metallhülle. Bei einer schnellen Bewegung der Rakete in der Atmosphäre erhitzte sie sich bis zur Weißglut, aber diese Hitze wurde in den Raum abgestrahlt und drang kaum durch die anderen Hüllen ins Innere.

Das verhinderte auch noch ein kaltes Gas, das unaufhörlich zwischen den zwei äußersten Hüllen zirkulierte, indem es durch die poröse, schlecht wärmeleitende mittlere Füllschicht drang. Der Explosionsvorgang konnte mit Hilfe komplizierter Injektoren geregelt werden, ebenso konnte er ein- und ausgeschaltet werden. Dadurch und durch andere Maßnahmen ließ sich der Ablauf des Explosionsvorganges verändern.

Die Temperatur im Inneren der Rakete wurde nach Wunsch mit Hilfe von Hähnen reguliert, die kaltes Gas durch die mittlere Hülle der Rakete hindurchließen. Aus besonderen Reservoiren wurde der zum Atmen benötigte Sauerstoff genommen. Andere Geräte waren zum Aufsaugen der Absonderungen von Haut und Lunge des Menschen bestimmt. All das wurde ebenfalls nach Bedarf reguliert. Es gab Kammern mit Vorräten an Nahrungsmitteln und Wasser. Beim Hinaustreten in den leeren Raum und beim Eintreten in die Atmosphären fremder Planeten wurden besondere Schutzanzüge angezogen. Es gab viele Instrumente und Geräte, die einen allgemeineren oder speziellen Verwendungszweck

---

<sup>83</sup>K. E. Ziolkowski; Den Astronauten. Kaluga 1930. S. 31



hatten. Flüssigkeitsbehälter waren vorhanden, in denen die Reisenden untertauchten, wenn eine relativ hohe Schwerkraft wirkte. Dort wurde durch Rohre geatmet, die in den Luftraum der Rakete führten. Die Flüssigkeit hob das Gewicht der Leute auf, gleichgültig wie groß es in der kurzen Zeit der Beschleunigung war.

Die Leute konnten ihre Glieder vollkommen frei bewegen und spürten nicht einmal ihr Gewicht, das sie auf der Erde haben: sie glichen Schwimmern oder dem Olivenöl im Wein bei dem Experiment von Plato. Diese Leichtigkeit und Bewegungsfreiheit gestattete ihnen, alle Steueranlagen der Rakete einwandfrei zu bedienen, die Temperatur zu überwachen, die Drehkraft, die Bewegungsrichtung usw. Dazu ragten Hebel in die Flüssigkeit. Außerdem gab es einen besonderen automatischen Regler, in dem für einige Minuten die ganze Steuerung des Flugkörpers registriert war. Währenddessen brauchte man die Hebel nicht zu bedienen.

Sie machten alles von ganz allein, wie es ihnen „befohlen“ war. Mitgenommen wurden Vorräte von Samen verschiedener Früchte, Gemüse- und Getreidesorten, um sie in besonderen Orangerien, die im leeren Raum angelegt wurden, anzubauen. Ebenso wurden auch Bauelemente dieser Orangerien bereitgehalten.

Der Rauminhalt der Rakete betrug etwa 800 Kubikmeter. 800 Tonnen Wasser hätten in ihr Platz. Weniger als ein Drittel dieses Fassungsvermögens (240 Tonnen) wurde von den zwei allmählich ab-brennenden Flüssigkeiten belegt. Diese Masse reichte aus, um 50mal der Rakete eine Geschwindigkeit zu verleihen, die groß genug war, um den Flugkörper für immer aus dem Sonnensystem zu entführen, und sie 50mal wieder abzubremesen. Solch eine Explosivkraft hatten diese Treibstoffe. Die Hülle oder der eigentliche Raketenkörper mit allem Zubehör hatte eine Masse von 40 Tonnen. Vorräte, Instrumente, Orangerien machten 30 Tonnen aus, die Menschen und das übrige 10 Tonnen. Der Raum für den Aufenthalt der Menschen, d.h. der mit verdünntem Sauerstoff angefüllte Raum, umfasste etwa 400 Kubikmeter.

Es war vorgesehen, 20 Menschen auf den Weg zu schicken. Auf jeden kam ein Volumen von 20 Kubikmetern, was bei der ständigen Luftreinigung sehr komfortabel war. Alle Abteilungen waren untereinander durch kleinere Durchgänge verbunden. Das durchschnittliche Volumen jeder Sektion betrug etwa 32 Kubikmeter. Doch die Hälfte dieses Volumens nahmen die notwendigen Sachen und Treibstoffkomponenten ein. So verblieben für jede Abteilung 16 Kubikmeter.

Die mittleren Abteilungen waren größer, und jede konnte einem Menschen sehr gut als Unterkunft dienen. Eine Abteilung im dicksten Teil der Rakete hatte eine Länge von 20 Metern und diente als Versammlungsraum. An den Längsseiten waren Fenster angeordnet mit durchsichtigen Glasscheiben, die außen und innen verschließbar waren.<sup>84</sup>

Um den Menschen in der Rakete das gewohnte Empfinden der Schwere und das Gefühl von oben und unten zu vermitteln, lässt Ziolkowski die Rakete sich um ihre Querachse durch den Massenschwerpunkt drehen. Wenn die Rakete beispielsweise in einer Minute eine Umdrehung ausführt, dann ergibt sich an ihren entferntesten Punkten eine Beschleunigung von annähernd einem Zwanzigstel der Erdbeschleunigung.

Geheizt wird die Rakete mittels der Sonnenstrahlen, die durch die Fenster dringen, und auch aus der Erwärmung der Raketenhülle durch die Sonne. Zur Temperaturregelung innerhalb der Rakete sieht Ziolkowski vor, Form und Färbung der Außenfläche der Rakete zu verändern. Mit Hilfe sphärischer Spiegel kann man eine sehr hohe Temperatur erzielen und folglich die Sonnenenergie für metallurgische Arbeiten ausnutzen.

Ziolkowski fertigte zu seinen Raketen keine Projektskizzen oder Vorprojekte an, wie das im modernen ingenieurmäßigen Raketenbau üblich ist. Es kam ihm auf die neuen Ideen an. Sein Hauptaugenmerk richtete Ziolkowski auf wissenschaftlich-technische Berechnungen, die nachwiesen, dass diese Vorschläge realisierbar sind. Die Berechnungen erforderten, die Grundprinzipien einer neuen Wissenschaft - der Raketendynamik - zu schaffen und exakt zu formulieren.

---

<sup>84</sup>K. E. Ziolkowski; Der Weg zu den Sternen. Moskau 1960. S. 140

Im Jahre 1927 erschien in Kaluga Ziolkowskis Arbeit „Der Luftwiderstand und ein Schnellzug“. Sie handelt von einem Luftkissenzug. Konstantin Eduardowitsch erläuterte diese allein auf ihn zurückgehende Idee folgendermaßen:

Die Reibung des Zuges wird durch den Überdruck der Luft zwischen dem Wagenboden und dem ihm dicht anliegenden Bahndamm fast aufgehoben. Zum Fördern der Luft, die unaufhörlich aus den Rändern des Spaltes zwischen Wagen und Fahrbahn strömt, ist Arbeit nötig. Sie wächst mit der Tragkraft des Zuges. So beläuft sich die Tragkraft auf eine Tonne je  $m^2$  Wagengrundfläche, wenn der Überdruck ein zehntel Atmosphäre beträgt. Das ist fünfmal mehr, als für leichte Wagen nötig ist.

Räder und Schmierung sind natürlich nicht notwendig. Der Vorschub ergibt sich daraus, dass die Luft aus den Öffnungen des Wagens nach hinten gepresst wird. Auch hier lassen sich bei ziemlich mäßiger Pumpenleistung hohe Geschwindigkeiten erzielen (sofern der Wagen eine gute stromlinienförmige Gestalt wie ein Vogel oder Fisch hat).<sup>85</sup>

Eine Variante des Schnellzuges von Ziolkowski soll kurz beschrieben werden. Abbildung 35 zeigt den Querschnitt und den Grundriss eines solchen Zuges (die Buchstabenbezeichnungen stimmen weitgehend mit denen in der Arbeit von 1927 überein).

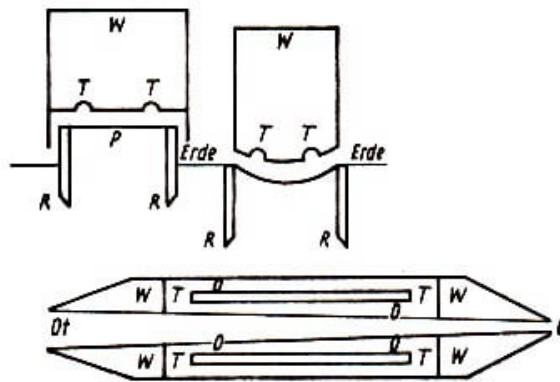


Abb. 35. Zeichnungen K. E. Ziolkowskis zur Erläuterung seiner Idee eines Luftkissenzuges (Inschrift übertragen)

Im Boden des Wagens W sind die halbrunden Rillen TT eingelassen. Der Fahrdamm P bildet mit den Oberkanten der Schienen R eine Ebene. In die Rillen wird Luft gepumpt, die sich in dem engen Spalt zwischen Wagenboden und Fahrdamm ausbreitet. Sie hebt den Wagen einige Millimeter an und strömt über die Ränder des Wagenunterbaus ab. Der Wagenboden ist geriffelt, was das Abfließen des Gases verzögert und folglich die Leistung für das Nachpumpen verringert.

Der Wagen hat damit keine Reibung mehr mit dem Fahrdamm, sondern schwebt auf einer dünnen Luftschicht (Luftkissen) und begegnet nur deren Reibungswiderstand. Die Luft tritt durch die vordere Düse D des Wagens ein, strömt zum Teil durch die ringsum befindlichen Spalten aus sowie durch die hintere Öffnung O oder den Diffusor, erzeugt eine Rückstoßkraft (den Schub) und setzt den Wagen in Bewegung.

Vorn und hinten hat der Wagen Umriss, die den Luftwiderstand verringern. Man kann auch einen Zusatzmotor einführen, der Luft in den Diffusor O pumpt, wodurch sich die Schubkraft im nötigen Rahmen regulieren lässt. Für die hier beschriebene Variante empfiehlt Ziolkowski, seitliche Führungen an die Schienen anzulegen.

<sup>85</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. IV. Moskau 1964.

Ziolkowskis Idee von Luftkissenfahrzeugen erfuhr eine umfassende Entwicklung. In den letzten 20 bis 30 Jahren wurden grundlegende Verbesserungen eingeführt, die es solchen Fahrzeugen erlauben, sich auch auf einer Wasseroberfläche und querfeldein zu bewegen. Die wichtigste Verbesserung besteht darin, dass an der Außenkante des flachen Bodens ein rechteckiger Streifen aus festem (gewöhnlich synthetischem) Gewebe angebracht ist, der ein biegsames Parallelepiped bildet (die „Schürze“).

In dieses Parallelepiped wird die Luft gepumpt, und es entsteht ein Druck, der den Atmosphärendruck etwas übersteigt (um etwa 5%). Die Luft strömt über die Unterkante der „Schürze“ ab. Solche Fahrzeuge werden in der UdSSR genutzt (Gebiet Tjumen).

Ein englisches Luftkissenschiff verkehrt schon viele Jahre auf dem Ärmelkanal und setzt Passagiere und Autos über. Die Länge der Schürze kann Dutzende Zentimeter erreichen (aber nicht Millimeter wie Ziolkowski dachte).

In den Jahren 1926 und 1927 erschienen in Kaluga also zwei bemerkenswerte Arbeiten von Ziolkowski: „Die Erforschung des Weltraums mit Rückstoßgeräten“ (eine Neuauflage der Arbeiten von 1903 und 1911 mit einigen Änderungen und Erweiterungen) und „Der Luftwiderstand und ein Schnellzug“.

Aber der Eigensinn, mit dem Ziolkowski darauf bestand, in den Formeln die lateinischen Buchstaben durch russische zu ersetzen, machte diese Werke unverständlich. Beispielsweise wird die Formel für den aerodynamischen Formwiderstand einer Platte in allen Lehrbüchern und Zeitschriften in folgender Form geschrieben:

$$x = \frac{1}{2} c_x \rho S v^2$$

mit  $x$  - Widerstandskraft,  $\rho$  - Dichte des umgebenden Stoffes,  $S$  - charakteristische Fläche (gewöhnlich die Fläche der Platte),  $v$  - Geschwindigkeit der Platte,  $c_x$  - dimensionsloser Widerstandskoeffizient. Bei Ziolkowski sieht dieselbe Formel so aus:

$$C_{\text{уст}} = \text{Д.И.Ш. П.Л. В.} \frac{C_{\text{R}}^2}{2} K_{\text{R}}$$

und natürlich gab es nur wenige, die sich auf diese unglücklich gewählte Formelschreibweise umstellten.

In den 40er, 50er Jahren nahm man noch an, dass es in der Kalugaer Druckerei keine lateinische Schrift gegeben hat und Ziolkowskis Bezeichnungen aus einer Zwangslage geboren waren. Aber diese Hypothese erwies sich als nicht stichhaltig. Ziolkowski hat aus diesem Anlass folgendes geschrieben:

Ich werde erklären, warum ich in russischen Werken russische Buchstaben in den Formeln verwende. Die Mathematik wird in alle Wissensgebiete eindringen. Formeln enthalten abgekürzte Bezeichnungen von Größen, d.h., sie haben die Bedeutung von Wörtern und nicht selten auch von langen Sätzen. Die Sprache der Formeln sollte ebenso aufgebaut sein wie die gewöhnliche Sprache.

Es wäre nicht schlecht, dafür vom Lateinischen auszugehen, das den meisten Gelehrten bekannt ist. Aber diese Sprache ist tot. In ihr spricht heute niemand und schreibt niemand. Deshalb bleibt sie zurück und kann keine neuen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Begriffe ausdrücken. Welche Sprache nimmt man also?

Eine Sprache für alle Völker hat bislang noch nicht Gestalt angenommen und hat sich nicht hinreichend entwickelt. Französisch ist Russen, Deutschen und anderen unverständlich. Man muss es auch gut können, sonst erfasst man nicht die sehr komplizierten Bezeichnungen der Größen. Einstweilen mag also jedes Volk für Formeln nur seine eigene Sprache und ihr Alphabet nehmen. Wenn sich eine

internationale Sprache entwickelt und herausbildet, dann kann man natürlich sowohl den Text wie auch die Formeln in dieser Sprache schreiben.

Bei uns im Lande vermischte man Russisch mit Französisch. Ist das nicht komisch! Ebenso komisch ist es, verschiedene Alphabete und Sprachen zu mischen, wenn man eine einzige verwenden kann.

Bei einfachen Formeln bereitet diese Unbequemlichkeit keine besonderen Schwierigkeiten, wie z.B. bei Geschwindigkeit ( $v$ ), Zeit ( $t$ ), Länge ( $l$ ) usw. Aber in komplizierten Berechnungen kann es zehnerlei Geschwindigkeiten geben. Sie mit  $v_1, v_2, v_3$  zu bezeichnen ist manchmal sinnlos, weil jede Geschwindigkeit ihre eigene Kennzeichnung hat und mit den Buchstaben des kennzeichnenden Wortes benannt werden muss. Lateinisch bezeichne ich nur den Logarithmus.<sup>86</sup>

Heute wissen wir, dass Ziolkowski schon im 19. Jahrhundert begann, in Formeln russifizierte Bezeichnungen zu verwenden. In Aufsätzen, die er an wissenschaftliche Zeitschriften schickte, war die Formelschreibweise die allgemein übliche, weil Arbeiten mit Ziolkowskis Bezeichnungen niemand gedruckt hätte.

---

<sup>86</sup>K. E. Ziolkowski: Die gesellschaftliche Organisation der Menschheit. Im Eigenverlag erschienen. Kaluga 1928. S. I-II.

## 8 Eine neue Wissenschaft - Die Raketendynamik

Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.  
L. Boltzmann

Die moderne Raketendynamik ist die weitgespannte Wissenschaft von der Bewegung mit Rückstoßtriebwerken ausgestatteter Flugkörper. Die Hauptaufgabe dieser Wissenschaft ist es, die Flugcharakteristika solcher Objekte zu bestimmen, sowohl auf den Abschnitten der Flugbahn, auf denen die Triebwerke arbeiten (der Antriebsbahn oder aktiven Bahn), wie auch auf den Abschnitten mit abgestellten Triebwerken (der Freiflugbahn oder passiven Bahn).

Die Flugcharakteristika eines rückstoßgetriebenen Flugkörpers umfassen die Hauptdaten über die Bewegung des Körperschwerpunktes und eine quantitative Beschreibung der Bewegung des Körpers um seinen Schwerpunkt.

Bei der Projektierung der verschiedenen Raketen ist es sehr wichtig zu wissen, welche Bahn der Raketenschwerpunkt beschreiben wird, welche Geschwindigkeiten und Beschleunigungen die Rakete auf der Antriebsbahn aufweisen wird, und wie die Rakete ihren Treibstoff verbrauchen (verbrennen) muss, damit die Rakete eine größtmögliche Flugweite hat, am vorgegebenen Ziel so schnell wie möglich ankommt und in vorgegebener Höhe die höchste Geschwindigkeit erreicht. In vielen Fällen hängt die Bewegung des Raketenschwerpunktes von zufälligen, geringfügigen Störungen ab, durch die sich eine sogenannte Streuung der Flugbahnen ergibt und folglich ein ungenaues Auftreffen auf das vorgegebene Ziel. Die Theorie der Streuung ist ein wichtiges Kapitel der Raketendynamik.

Die Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich die Rakete um ihren Schwerpunkt bewegt, kennzeichnen ihre dynamische Stabilität und ihre Fähigkeit, auf eine Betätigung der Ruder zu reagieren. Sehr wichtig ist es, die Lenkbarkeit und Manövrierfähigkeit einer Rakete zu untersuchen, die Überbelastungen zu ermitteln, die sich in verschiedenen Flughöhen einstellen, den Einfluss des flüssigen Treibstoffs in den Tanks auf die Stabilisierung und Lenkbarkeit der Rakete zu bestimmen und auch die elastischen Schwingungen der Flügel, Stabilisatoren und des Raketenkörpers zu studieren, die durch die Turbulenz der Luftströmung und Vibrationen des Triebwerkes hervorgerufen werden.

Wir wollen die spezifischen Aufgaben der modernen Raketendynamik darlegen (deren Anfänge auf Ziolkowski zurückgehen) und betrachten dabei die zwei Hauptklassen moderner Raketen: die nichtgelenkten und die gelenkten.

Wohlbekannte Beispiele nichtgelenkter Raketen sind die sowjetischen Pulverraketen aus der Zeit des zweiten Weltkrieges (die „Katjuschas“) oder meteorologische Raketen. Gelenkte Raketen sind z.B. Trägerraketen für Raumschiffe.

In der Argumentation von K. E. Ziolkowski über die Vorzüge von Raketen bei Flügen im Kosmos wird eine Rakete mit einer Kanone unter der Annahme verglichen, die Kanonenkugel sei ein Raumschiff und bei der Rakete sei die Nutzlast eine Pilotenkabine mit Systemen für die Lebenssicherung. Er kommt zu dem Ergebnis:

- eine Rakete ist viel leichter als eine Kanone (wenn man die großen Fluggeschwindigkeiten im Auge hat, wie sich versteht);
- eine Rakete ist billiger als eine Kanone;
- die Beschleunigung einer Rakete kann man regulieren, und folglich kann man die Überbelastungen für die Reisenden (Kosmonauten) in annehmbaren Grenzen halten;
- der Geschwindigkeitsvektor einer Rakete kann nach einem vorgegebenen Programm geändert

werden, die (zu regulierende) Rückstoßkraft kann eine weiche Landung auf einem Himmelskörper ermöglichen, der keine Atmosphäre hat;

- in den dichten Schichten der Erdatmosphäre (beim Start) ist die Geschwindigkeit der Rakete gering, und die Energieverluste beim Überwinden des aerodynamischen Widerstandes können wesentlich kleiner sein als bei einem Geschoss aus einer Kanone. Bei kleinen und mäßigen Geschwindigkeiten erwärmt sich der Raketenkörper nicht.

Die Raketendynamik nichtgelenkter Raketen ist analog der äußeren Ballistik von Artilleriegeschossen. Zuweilen nimmt man an, dass der aktive Flugbahnabschnitt einer nichtgelenkten Rakete einem sehr langen Rohr eines Artilleriegeschützes gleichkommt. Die Raketendynamik nichtgelenkter Raketen besteht genau wie die äußere Ballistik von Artilleriegeschossen aus folgenden drei Hauptteilen: der Theorie der Bewegung des Raketenschwerpunktes, der Theorie der Bewegung der Rakete um ihren Schwerpunkt und der experimentellen Raketendynamik.

Die Raketendynamik gelenkter Raketen steht ihrem Inhalt und den angewandten Untersuchungsmethoden nach der Flugdynamik von Flugzeugen weitaus näher, d.h. einer wohlbekannten Wissenschaft, die schon von N. E. Shukowski begründet wurde. In der Raketendynamik gelenkter Raketen kann man ebenfalls, analog zum Inhalt der wesentlichen Teile der Raketendynamik nichtgelenkter Raketen, die Theorie der Bewegung des Raketenschwerpunktes und die experimentelle Raketendynamik aussondern.

Die Bewegung einer gelenkten Rakete um ihren Schwerpunkt kann man jedoch in der Regel nicht von der Untersuchung der Bewegung des Schwerpunktes selbst losrennen. Die Fragen der dynamischen Stabilität werden durch den Einsatz eines Autopiloten an Bord der Rakete, der vorgegebene Kommandos ausführt, sehr kompliziert. Für gelenkte Zenittraketen, bei denen (häufig) ein Radarleitgerät gleichzeitig sowohl die Rakete wie auch das Ziel auf dem Indikator „sieht“, werden die Kommandos durch Funk auf den Kanälen des Autopiloten übermittelt (Steigung, Taumeln, Neigung).

Der Autopilot für gelenkte Zenittraketen und Raketen zum Schießen von Flugzeugen auf Flugzeuge geht in den Bordapparaturenbestand der Rakete ein und soll einerseits die Rakete gut stabilisieren, indem er sie bei jeder zufälligen Störung (Windböen, Stoßwellen u.a.) in die vorgegebene Lage zurückbringt, und andererseits soll der Autopilot eine hohe Manövrierfähigkeit der Rakete gewährleisten, wenn Kommandos eingehen, d.h., er soll die Lage der Rakete schnell in eine andere ändern können.

K. E. Ziolkowski machte fundamentale Entdeckungen in der Theorie der Bewegung des Raketenschwerpunktes (d.h. in der Theorie der fortschreitenden Bewegung von Raketen). Er verwies zwar in einer Reihe seiner Artikel auch darauf, dass es zweckmäßig sei, zur Stabilisierung einer Rakete bei ihrem Flug im freien Raum Kreiselgeräte zu verwenden, aber mathematische Berechnungen stellte er auf diesem Gebiet offensichtlich nicht an.

Untersucht man die Bewegung des Schwerpunktes einer Rakete, die von der Erdoberfläche aus startet, so muss man folgende Kräfte berücksichtigen, die auf die Rakete im Flug wirken:

- die Schwerkraft, d. h. die Anziehung der Rakete durch die Erde (und manchmal auch die Anziehungskraft des Mondes, der Sonne und anderer Planeten des Sonnensystems);
- aerodynamische Kräfte, bedingt durch das Vorhandensein einer Atmosphäre (Auftriebskraft und Luftwiderstand);
- die Rückstoßkraft.

Betrachten wir die genannten Kräfte etwas näher. Die Wirkungsgesetze der Schwerkraft oder der Anziehungskraft können mathematisch exakt angegeben werden.

Das von Newton entdeckte Gesetz der Schwerkraft lautet: Zwei Teilchen ziehen sich gegenseitig mit einer Kraft an, die auf der geradlinigen Verbindungslinie zwischen ihnen wirkt und sich direkt proportional dem Produkt ihrer Massen und umgekehrt proportional dem Quadrat ihres Abstandes ändert.

Weiter wurde bewiesen, dass die Erde (unter der Voraussetzung, sie ist eine Kugel, und ihre Dichte hängt nur vom Abstand zum Erdmittelpunkt ab) ein außerhalb der Erde befindliches Teilchen (einen Massenpunkt) mit der Masse  $m$  so anzieht, als ob die ganze Masse  $M$  der Erde im Erdmittelpunkt konzentriert wäre. Bezeichnet man den Abstand des Teilchens vom Erdmittelpunkt mit  $R$ , dann hat also die auf dieses Teilchen wirkende Erdanziehungskraft  $F$  die Größe

$$F = \frac{fmM}{R^2}$$

wobei  $f = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gs}^2$  die universelle Gravitationskonstante ist. Bezeichnet man das Produkt  $fM$  mit  $k$ , kann man diese Formel so schreiben:

$$F = \frac{km}{R^2}$$

Eine Rakete, die sich im Schwerfeld der Erde bewegt, können wir als Teilchen auffassen, dessen Masse gleich der Raketenmasse ist. Die Resultierende aus den Anziehungskräften, die auf die einzelnen Teile der Rakete wirken, geht durch den Schwerpunkt der Rakete. An der Erdoberfläche ist diese resultierende Kraft gleich dem Raketengewicht  $P = mg_0$  ( $m$  - Masse der Rakete und  $g_0$  - Erdbeschleunigung an der Erdoberfläche). Der mittlere Wert von  $g_0$  ist  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Der Erdhalbmesser sei  $R_0$ . Dann kann man die Formel für die Anziehungskraft an der Erdoberfläche in folgender Form schreiben:

$$F = \frac{km}{R} = mg_0$$

Daraus ergibt sich  $k = g_0 R_0^2$  und folglich ist die Anziehungskraft auf eine Rakete, die sich im Abstand  $R$  vom Erdmittelpunkt befindet,

$$F = mg_0 \frac{R_0^2}{R^2} = P \frac{R_0^2}{R^2}$$

Diese Formel zeigt, dass eine Rakete, die an der Oberfläche der Erde 1000 kN wiegt, in einer Höhe über der Erdoberfläche, die gleich dem Erdhalbmesser ( $R_0 = 6371 \text{ km}$ ) ist, nur 250 kN wiegt (mit einer Federwaage gemessen) und in einer Entfernung  $R = 5R_0$  d. h. etwa 31855 km vom Erdmittelpunkt, ganze 40 kN.

Das Schwerfeld der Erde lässt sich aus der Sicht der Dynamik durch zwei Geschwindigkeiten kennzeichnen. Die Geschwindigkeit eines Sputniks, der eine Kreisbahn mit einem Radius gleich dem Erdhalbmesser beschreibt, nennt man Minimumkreisbahngeschwindigkeit. Für diese Geschwindigkeit ( $v_1$ ) folgt

$$v_1 = \sqrt{g_0 R_0}$$

Daraus ergibt sich  $v_1 = 7912 \text{ m/s}$  oder annähernd  $8 \text{ km/s}$ . Die Fluchtgeschwindigkeit  $v_2$  erlaubt der Rakete, sich von der Erde ganz zu lösen und zu einem künstlichen Trabanten der Sonne zu werden. Diese Geschwindigkeit wird durch die Formel bestimmt:

$$v_2 = \sqrt{2g_0 R_0}$$

Sie ergibt sich zu  $v_2 = 11189 \text{ m/s}$  oder annähernd  $11,2 \text{ km/s}$ .

Wenn der Flug nahe der Erdoberfläche vor sich geht, dann unterscheidet sich  $R$  nur wenig von  $R_0$ , und die Anziehungskraft kann als konstant angesehen werden, unabhängig von der Höhe. Für Passagierdüsenflugzeuge kann man das immer annehmen.

Die aerodynamischen Kräfte, die beim Flug auf die Rakete wirken, hängen ab von der Form der Rakete, der Dichte der Atmosphäre und der Fluggeschwindigkeit. Für die meisten modernen Raketen, die eine gute Stromlinienform haben, kann man einen verhältnismäßig kleinen Bereich nahe der Schallgeschwindigkeit aussondern, in dem sich die aerodynamischen Kräfte in Abhängigkeit von der Fluggeschwindigkeit nach Gesetzen ändern, die theoretisch noch nicht erfasst sind.

In diesem Bereich werden die aerodynamischen Kräfte für jedes Objekt experimentell im Luftstrom eines Windkanals ermittelt:

Für Fluggeschwindigkeiten unterhalb der Schallgeschwindigkeit (z. B.  $270\text{-}280 \text{ m/s}$ ) und Überschallgeschwindigkeiten (ab  $400 \text{ m/s}$  und höher) wachsen die aerodynamischen Kräfte proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit.

Für Unterschall-Fluggeschwindigkeiten (in der Größenordnung von  $0,5\text{-}0,7$  der Schallgeschwindigkeit) kann man die Kraft des Formwiderstandes darstellen in der Form

$$X = \frac{1}{2} \cdot c_x \rho S v^2$$

mit  $X$  - Formwiderstand in Newton,  $c_x$  - Koeffizient des Formwiderstandes der Rakete (eine dimensionslose Zahl, die sich in Abhängigkeit vom Anstellwinkel ändert),  $\rho$  - Dichte der Atmosphäre in  $\text{kg/m}^3$ ,  $S$  - charakteristische Fläche (Fläche der Flügel bei Flügelraketen oder Querschnittsfläche des Raketenkörpers bei flügellosen Raketen in  $\text{m}^2$ ,  $v$  - Fluggeschwindigkeit in  $\text{m/s}$ .

Für Überschall-Fluggeschwindigkeiten ( $v > 400 \text{ m/s}$ ) bleibt die Struktur der Formel für den Formwiderstand wie zuvor, lediglich der Koeffizient des Formwiderstandes  $c_x^{(1)}$  ist größer als  $c_x$  im Unterschallbereich. Wenn die Rakete horizontal in einer gegebenen Höhe fliegt, bleibt das Produkt  $\frac{1}{2} c_x \rho S$  konstant, und der Formwiderstand kann im Unterschallbereich bzw. Überschallbereich mathematisch in der Form

$$X = k_1 v^2 \quad \text{bzw.} \quad X = k_2 v^2$$

dargestellt werden, wobei gilt  $k_2 > k_1$ .

Die Auftriebskraft kann man mathematisch folgendermaßen darstellen:

$$Y = \frac{1}{2} c_y \rho S v^2$$

mit  $c_y$  - Koeffizient der Auftriebskraft (eine dimensionslose Zahl, die sich in Abhängigkeit vom Anstellwinkel ändert),  $Y$  - Auftriebskraft in Newton.  $\rho, S, v$  haben dieselbe Bedeutung wie in der Formel für den Formwiderstand.<sup>87</sup>

Um einen mathematischen Ausdruck für die Rückstoßkraft zu erhalten, muss man das Theorem über die Impulsänderung eines mechanischen Systems pro Zeiteinheit (in einer Sekunde)

<sup>87</sup>Genauer kann man über die Dynamik der Flugzeuge lesen in: Autorenkollektiv unter der Leitung von Heinz A. F. Schmidt: Transpress-Lexikon Luftfahrt. 3., stark überarb. und erg. Aufl. Berlin 1975.  
Heinz Mielke: Transpress-Lexikon Raumfahrt. 5., stark überarb. und verb. Aufl. Berlin 1978.



benutzen. Dieses Theorem besagt: Die Impulsänderung eines mechanischen Punktesystems pro Zeiteinheit ist gleich der Resultierenden aller äußeren Kräfte, die auf das System wirken. Man stelle sich die Kammer eines Rückstoßtriebwerkes in einer horizontalen Ebene angeordnet vor.

Wenn das Triebwerk arbeitet, werden die Produkte der chemischen Verbrennungsreaktion mit einer gewissen Geschwindigkeit  $u_1$  aus der Düse ausgestoßen. Die Druckkraft ( $F$ ) des Kammerbodens auf die Stützen C und D (Abb. 36) ist mit der Rückstoßkraft identisch. Durch die Düsenmündung mit der Fläche  $A_s$  sollen pro Sekunde in  $\dot{m}$  kg heiße Gase ausgestoßen werden. Der pro Sekunde ausgestoßene Impuls ist dann  $\dot{m}u$  (in  $\text{kgm/s}^2$ ). Die Resultierende aller äußeren Kräfte, die auf die Triebwerkskammer wirken, kann man folgendermaßen berechnen.

Der Druck im Strahl der durch eine Flächeneinheit der Düsenmündung ausströmenden Gase sei  $p_s$ , der atmosphärische Druck außerhalb des Strahles  $p_a$ . Die Gesamtdruckkraft ergibt sich dann zu  $A_s(p_s - p_a)$ . Auf Grund des Theorems von der Impulsänderung erhalten wir

$$\dot{m}u = F - A_s(p_s - p_a)$$

und daraus

$$F = \dot{m}u + A_s(p_s - p_a) = \dot{m} \left[ u + \frac{A_s(p_s - p_a)}{m} \right]$$

Der in eckigen Klammern stehende Ausdruck wird als effektive Ausströmgeschwindigkeit bezeichnet und mit dem Formelzeichen  $u_e$  benannt. Die Rückstoßkraft oder der Schub ist also gleich der je Sekunde verbrauchten Treibstoffmasse, multipliziert mit der effektiven Ausströmgeschwindigkeit des Strahls. Bei konstantem Massenausstoß ist die effektive Ausströmgeschwindigkeit nur von der Flughöhe, d.h. vom äußeren Luftdruck abhängig. Den Triebwerkschub beim Verbrennen von einem Kilogramm Treibstoffgemisch je Sekunde bezeichnet man als spezifischen Schub.

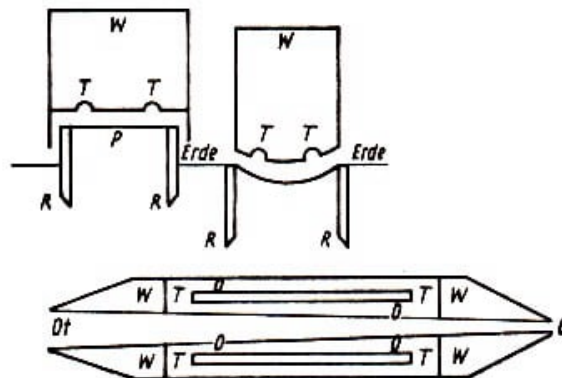


Abb. 36.

Je besser der Raketentreibstoff und je vollkommener die Triebwerkskonstruktion, desto größer ist der spezifische Schub. Gute moderne Flüssigkeitsraketenantriebe haben im luftleeren Raum einen spezifischen Schub in der Größenordnung von 350 und sogar 400 kp je kg Treibstoff und Sekunde.

In der Theorie der Rückstoßtriebwerke wird nachgewiesen, dass  $u_e$  eine Funktion der Gastemperatur in der Brennkammer, der Eigenschaften der Gase (Molekulargewicht und Verhältnis der Wärmekapazitäten) und des Verhältnisses der Düsenmündungsfläche zur Fläche des kritischen (gewöhnlich des geringsten) Düsenquerschnitts darstellt.

In den letzten 10-bis 15 Jahren fanden Raketentriebwerke mit festem Treibstoff immer breitere

Anwendung. Sie haben folgende Vorzüge:

- große Zuverlässigkeit infolge der einfachen Konstruktion;
- für längere Zeit lagerbar und damit ständig einsatzbereit
- lassen sehr große (kurzzeitige) Schubkräfte erzielen;
- Gefahrlosigkeit in der Handhabung, da der Treibstoff keine giftigen Stoffe enthält;
- große Dichte des Treibstoffs 1,5-2,2 g/cm<sup>3</sup>).

Die wichtigsten Nachteile der Feststofftriebwerke sind der (im Vergleich zu Flüssigkeitstriebwerken) geringere spezifische Schub, die durch die Abmessungen der Brennkammer begrenzte Treibstoffmenge und die (heute bereits bewältigten) Schwierigkeiten beim Regulieren der Wirkungsrichtung der Rückstoßkraft.

Ziolkowski löste in seinen Arbeiten die wichtigsten Probleme der Raketendynamik des geradlinigen Fluges.

Das erste Problem Ziolkowskis wird unter der Voraussetzung gelöst, dass Gravitationskräfte und aerodynamische Kräfte keine Rolle spielen. Man kommt dann zur Ziolkowski-Formel für die Geschwindigkeit einer Rakete.

Diese Formel zeigt die theoretischen Möglichkeiten, eine Bewegung durch Rückstoß zu vermitteln, ohne dabei die Geschwindigkeitsverluste zu beachten, die durch Schwerkraft und Luftwiderstand (beim vertikalen Aufstieg einer Rakete von der Erdoberfläche) bedingt sind.

Bei dem zweiten Problem der Raketendynamik, das K. E. Ziolkowski gelöst hat, wird der geradlinige Aufstieg einer Rakete unter Berücksichtigung der Schwerkraft untersucht. Vorausgesetzt, die Antriebsbahn ist im Vergleich zum Erdhalbmesser nicht groß, kann man das Schwerfeld als homogen und die Erdbeschleunigung als konstant gleich ihrem Wert an der Erdoberfläche ansehen. In diesem Fall wird die Geschwindigkeit der Rakete auf der aktiven Bahn nach der Formel

$$v = v_1 - v_2$$

bestimmt mit  $v_1$  - Geschwindigkeit nach der Ziolkowski-Formel ohne Berücksichtigung der Schwerkraft und des Luftwiderstandes und  $v_2$  - Geschwindigkeit, die durch die Wirkung der Schwerkraft „aufgezehrt“ (oder abgezogen) wird.

Wie aus den Anfangsgründen der Physik bekannt, ist  $v_2 = gt$  mit  $g$  - Erdbeschleunigung und  $t$  - Flugzeit vom Augenblick des Starts an gerechnet. Damit ist

$$v = u_e \ln \frac{M_0}{M} - gt$$

Der interessante Fall des senkrechten Aufstiegs einer Rakete tritt ein, wenn die Rückstoßkraft der Raketenmasse proportional ist. Dann ändert sich nämlich die Masse der Rakete auf der Antriebsbahn exponentiell:

$$M = M_0 e^{-at}$$

so dass die von der Rückstoßkraft hervorgerufene Beschleunigung konstant gleich  $au_e$  ist. In einem homogenen Schwerfeld bewegt sich die Rakete auf einer Flugbahn mit der konstanten Beschleunigung  $(au_e - g)$ . Je geringer der Parameter  $a$ , um so geringer ist offensichtlich auch die Rückstoßkraft und um so größer die Brenndauer des Treibstoffvorrats. Je größer  $a$  ist, desto größer ist die Rückstoßkraft, desto stärker arbeitet das Triebwerk, desto kürzer ist die Flugzeit auf der aktiven Bahn.

Natürlich ist nun zu überlegen, wie man den Parameter  $a$  am besten festlegt. Diese beste oder

optimale Wahl der Größe  $a$  (d.h. der Größe der Rückstoßkraft) wird gewöhnlich als optimale Programmierung der Größe der Rückstoßkraft bezeichnet. Die Auswahl eines optimalen  $a$  hängt von den konkreten Anforderungen an einige summarische Flugcharakteristika der Rakete ab. So kann man beispielsweise den optimalen Wert von  $a$  suchen, bei dem die Gipfelhöhe der Raketenflugbahn (bestehend aus der aktiven und der passiven Bahn) bei gegebenem Treibstoffvorrat am größten ist. Die Lösung dieser Aufgabe zeigt, dass man die größte Gipfelhöhe erhält, wenn der gesamte Treibstoffvorrat mit einem Schlag und mit der Geschwindigkeit  $u$  ausgestoßen wird (augenblickliche Verbrennung). In diesem Fall ist

$$H_{\max} = v_z^2/2g$$

mit  $v_z = u \ln(M_0/M_k)$  - Geschwindigkeit, die nach der Ziolkowski-Formel bestimmt wurde. Das angeführte Resultat bestätigt folgende einfache physikalische Überlegung.

In der Tat übersteigt die Rückstoßkraft, wenn der Ausstoß des gesamten Treibstoffvorrates in sehr kurzer Zeit erfolgt, die Schwerkraft um ein Vielfaches, und letztere kann einfach vernachlässigt werden. Dann aber wird die Geschwindigkeit nach der Ziolkowski-Formel bestimmt, und die gesamte Flugbahn ist eine passive Bahn. Diese Freiflugbahn durchfliegt die Rakete in einem homogenen Schwerfeld, und die Steighöhe kann nach der Formel von Galilei  $H = v_0^2/2g$  (in unserem Fall ist  $v_0 = v_z$ ) bestimmt werden.

Man kann auch nach dem optimalen Wert von  $a$  fragen, der zu einer maximalen Höhe der aktiven Bahn führt. Es ergibt sich, dass sie bei gegebenem Treibstoffvorrat dann erreicht wird, wenn die durch die Rückstoßkraft bewirkte Beschleunigung genau doppelt so groß ist wie die Schwerkraftbeschleunigung. Die Länge der Antriebsbahn ist in diesem Fall

$$L_{akt} v_z^2/8g$$

und die gesamte Steighöhe ist

$$H_2 = v_z^2/4g$$

Die Verlängerung der aktiven Flugbahn (oder anders ausgedrückt, eine Verringerung der Rückstoßkraft) führt also zu einem wesentlichen Verlust an der Höhe, bis zu der die Rakete über die Erdoberfläche aufsteigt. Praktisch besagt diese Schlussfolgerung: wenn die Rakete in der Startphase auf eine beträchtliche Höhe (von etwa 80 bis 100 km) gestiegen ist, wo die Widerstandskraft vernachlässigbar klein ist, dann ist der in der Rakete verbliebene Treibstoffvorrat schnell zu verbrauchen, wenn man eine maximale Flugweite erreichen will.

Das Verhältnis  $au_e/g = n$  stellt die durch die Rückstoßkraft bedingte Überbelastung dar. Die Gipfelhöhe hängt ganz einfach mit der Überbelastung und  $H_{\max}$  zusammen:

$$H_n = H_{\max} \frac{n-1}{n}$$

Diese Formel zeigt, dass man bei der Überbelastung  $n = 2$  wegen des sehr langsamen Treibstoffverbrauchs die Hälfte der möglichen Steighöhe einbüßt. Bei  $n = 4$  verliert man 25 % und bei  $n = 50$  nur ganze 2 %.

Bei einer Verlängerung der Brenndauer muss man nämlich die Rakete längere Zeit im Schwerfeld halten; die Überwindung der Schwerkraft erfordert den Verbrauch von Treibstoff.

Ziolkowski betrachtete in seinen Arbeiten auch das Problem des vertikalen Aufstiegs einer Rakete in einem Widerstand leistenden Medium (der Atmosphäre), wobei er alle drei Kräfte

beachtete: die Rückstoßkraft, die Schwerkraft und den Formwiderstand. In diesem komplizierteren Fall kann man die Formel für die Geschwindigkeit der Rakete auf der aktiven Flugbahn in folgender Form schreiben:

$$v = v_1 - v_2 - v_3$$

mit  $v_1$  - Geschwindigkeit nach der Ziolkowski-Formel, gleich  $u \ln(M_0/M)$ ,  $v_2$  - Geschwindigkeit, die durch die Wirkung der Schwerkraft verloren geht, gleich  $gt$ ,  $v_3$  - Geschwindigkeit, die durch die Wirkung des Formwiderstandes verloren geht. Die Berechnung von  $v_3$  ist mit wesentlichen mathematischen Schwierigkeiten verbunden.

Hier ist zu vermerken, dass in den ersten Jahrzehnte des 20. Jh. die Kenntnisse über die Widerstandskräfte bei hohen (Überschall-) Geschwindigkeiten äußerst begrenzt waren und die elementaren Berechnungen, die Konstantin Eduardowitsch anstellte, um  $v_3$  zu bestimmen, heutzutage als erste (grobe) Näherung angesehen werden können.

Zu den wesentlichen Fortschritten, die K. E. Ziolkowski in der Raketendynamik erzielte, gehören seine Berechnungen der Flugcharakteristika mehrstufiger Raketen.

Von besonderem Interesse ist der Fall des Raketenzuges, bei dem der Geschwindigkeitszuwachs von Stufe zu Stufe jeweils gleich ist. In diesem Fall wachsen die Massen der aufeinanderfolgenden Raketen, die zum Zug zusammengestellt werden, in geometrischer Reihe. Erst nach Ziolkowskis Tod wurde streng mathematisch bewiesen, dass eine solche optimale Mehrstufenrakete eine maximale Flughöhe (oder Flugweite) gewährleistet.

Stellt man in Rechnung, dass mit einer Vergrößerung der Startmasse einer Rakete Rückstoßkraft und Gewicht im Verhältnis zu einer charakteristischen Länge des Flugkörpers in der dritten Potenz anwachsen, der Formwiderstand aber nur in der zweiten, kann man bei Vorentwürfen die Flugcharakteristika großer Raketen mit hinreichender Genauigkeit bestimmen, wenn man nur Schwerkraft und Rückstoßkraft berücksichtigt. Deshalb hat Ziolkowskis zweites Problem, der Flug im homogenen Gravitationsfeld, besonders große Bedeutung erlangt.

In der modernen Raketendynamik erweisen sich die hier behandelten Ziolkowskischen Probleme als die einfachsten, weil dabei die Bahn des Raketenschwerpunkts als geradlinig angenommen und der Einfluss von Lenksystemen überhaupt nicht in Erwägung gezogen wird.

Die komplizierteren Bewegungen gelenkter Raketen erforderten natürlich die Weiterentwicklung der Ideen von K. E. Ziolkowski. Aber die Entwicklung der Methoden der Raketendynamik beweist, wie tiefgründig und bedeutsam die Untersuchungen Konstantin Eduardowitschs waren; sie gaben die hauptsächlichen Eigenheiten der Raketenbewegung richtig wieder.

In seinen letzten Lebensjahren arbeitete Ziolkowski viel an der Schaffung einer Theorie für den Flug rückstoßgetriebener Flugzeuge. In seinem Artikel „Das rückstoßgetriebene Flugzeug“ (1930) erläutert er ausführlich die Vorzüge und Nachteile eines rückstoßgetriebenen Flugzeuges gegenüber dem Propellerflugzeug. Ziolkowski verwies auf den großen Brennstoffverbrauch in einem Rückstoßtriebwerk als einen wesentlichen Nachteil; er schrieb:

Unser rückstoßgetriebenes Flugzeug verbraucht 5mal soviel wie ein gewöhnliches. Aber es fliegt auch zweimal so schnell, wo die Dichte der Atmosphäre nur noch ein Viertel beträgt. Dort ist es also nur noch 2,5mal so aufwendig.

Noch höher, wo die Luft 25mal dünner ist, fliegt es 5mal so schnell und nutzt die Energie also ebenso gut wie ein Propellerflugzeug. In einer Höhe, in der das Medium 100mal dünner ist, ist seine Geschwindigkeit zehnmal so groß, und es bringt gegenüber dem gewöhnlichen Flugzeug zweifachen Nutzen.

Dieser Artikel Ziolkowskis schließt mit bemerkenswerten Worten, die von einem tiefen Ver-

ständnis der Gesetze der Technik zeugen:

Der Ära der Propellerflugzeuge muss die Ära der rückstoßgetriebenen Flugzeuge oder der Stratosphärenflugzeuge folgen.<sup>88</sup>

Diese Zeilen wurden 10 Jahre vor dem ersten Start des ersten in der Sowjetunion gebauten rückstoßgetriebenen Flugzeuges geschrieben.

In den Artikeln „Ein Raketenflugzeug“ und „Ein halbrückstoßgetriebenes Stratosphärenflugzeug“ stellt Ziolkowski die Theorie der Bewegung eines Flugzeuges mit Flüssigkeitsrückstoßtriebwerk dar und entwickelt ausführlich die Idee eines Flugzeuges mit Propeller-Turbinen-Luftstrahl-Triebwerk.

Zur Charakterisierung seiner Arbeiten über das Flugwesen, die Raketentechnik und die Weltraumfahrt schrieb Ziolkowski:

Der Wert meiner Arbeiten besteht hauptsächlich in Berechnungen und daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen. In technischer Hinsicht habe ich fast nichts getan. Hier bedarf es einer langen Reihe von Versuchen, Anlagen und Lehren. Dieser praktische Weg gibt uns auch die technische Lösung der Frage. Der lange Weg experimenteller Arbeit ist unvermeidlich.<sup>89</sup>

In diesem Kapitel wurden kurz die Grundrichtungen der tiefgründigen theoretischen Untersuchungen Ziolkowskis über die Raketendynamik dargelegt. Das Verdienst Konstantin Eduardowitschs besteht darin, dass er völlig neue Erscheinungen einer genauen mathematischen Analyse und ingenieurmäßigen Berechnung unterwarf.

Tausende und Millionen Menschen beobachteten bei Feuerwerken und Illuminationen Pulverraketen, aber vor Ziolkowski hat niemand zahlenmäßige Schlüsse über die Gesetze der Raketenbewegung gezogen.

Die Raketendynamik ist eine Wissenschaft des 20. Jahrhunderts. Die Grundprinzipien dieser Wissenschaft sind in hohem Maße das Werk von K. E. Ziolkowski.

---

<sup>88</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 337, 338

<sup>89</sup>K. E. Ziolkowski: Rückstoßgetriebene Flugkörper. Moskau 1964

## 9 Arbeiten zur Theorie interplanetarer Reisen

Was für ein großes menschliches Glück ist es, neue Ergebnisse zu finden.  
L. Pasteur

Die moderne Theorie der Bewegung von Raketen, Raumflugkörpern und strahlgetriebenen Flugkörpern hat einen hohen Vollkommenheitsgrad erreicht. Heutzutage können Wissenschaftler und Ingenieure die erwünschten Flugbahnen mit großer Genauigkeit berechnen, sie während des Bewegungsablaufs korrigieren und einen riesigen Informationsfluss sowohl über Prozesse innerhalb des Raumschiffs wie auch über die Eigenschaften des kosmischen Raums erhalten. Eine ökonomisch vorteilhafte Anwendung von Satelliten für die Volkswirtschaft in großem Stil wird gegenwärtig Wirklichkeit.

Es genügt wohl der Hinweis, dass sowjetische Satelliten erfolgreich als Relaisstationen für Fernsehübertragungen über große Entfernungen dienen und stabile Funkverbindungen auf vielen Kanälen mit weit entfernten Gebieten ermöglichen.

Die weltweite Nutzung der Raumflugtechnik war der größte Traum Ziolkowskis. All seine schöpferische Energie richtete er darauf, die Menschheit ein bisschen voranzubringen und zuverlässige technische Mittel zu schaffen, um die oberen Atmosphärenschichten, den ganzen sonnennahen Raum und all die mächtige Energie der Sonne in den Griff zu bekommen. Ziolkowski schrieb:

Zur Erforschung der Atmosphäre schlage ich ein Rückstoßgerät vor, d.h. eine Art Rakete, aber eine große Rakete besonderer Bauart. Der Gedanke ist nicht neu, diesbezügliche Berechnungen erbringen jedoch so bemerkenswerte Ergebnisse, dass man darüber nicht schweigen kann. Diese meine Arbeit<sup>90</sup> befasst sich bei weitem nicht mit allen Seiten der Angelegenheit und entscheidet durchaus nicht über ihre Realisierbarkeit von der praktischen Seite her.

Aber in ferner Zukunft wird sich schon der Nebel lichten und werden sich dermaßen verführerische, und bedeutungsvolle Perspektiven abzeichnen, dass davon heute schwerlich jemand träumt.

Die Frage, wie interplanetare Flüge zu verwirklichen sind, interessierte Ziolkowski von Anbeginn seiner selbständigen wissenschaftlichen Forschungen. Naive jugendliche Träume, systematische Analysen der Vorgänge bei einfachsten mechanischen Erscheinungen in einem kräftefreien Raum (im freien Raum nach Ziolkowski), dann die sorgfältige mathematische Ausarbeitung der Idee von der Rückstoßbewegung mit eingehender zahlenmäßiger Analyse geradliniger Bewegungen und schließlich die Theorie über den Flug einer mehrstufigen Rakete, einer Rakete von eindrucksvoller Größe und zugeschnitten auf die Beförderung von Menschen - das waren in konsequenter Reihenfolge die Etappen des schöpferischen Suchens von Konstantin Eduardowitsch.

Sie bereiteten den wissenschaftlichen Boden für das Entstehen einer neuen wissenschaftlichen Disziplin vor, der Raumfahrt oder Kosmonautik bzw. Astronautik.

Ein Himmelschiff muss raketenartig sein, sagte Ziolkowski. Das Grundprinzip ist für alle Besatzungen und Schiffe dasselbe: Sie stoßen nach einer Seite irgendeine Masse weg und bewegen sich dadurch nach der entgegengesetzten Seite. Ein Dampfer stößt Wasser weg, ein Luftschiff und ein Flugzeug Luft, Mensch und Pferd lassen den Erdball hinter sich.

Eine Rakete schließt die Stoffe zum Abstoßen in sich mit ein. Das sind Treibstoffkomponenten: Brennstoff und Oxydator. Um eine Bewegung hervorzurufen, braucht die Rakete kein äußeres Medium (keine äußere Stütze).

---

<sup>90</sup>E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 69-99

In der Leere erhöht eine Rakete ihre Geschwindigkeit schneller, weil kein Luftwiderstand vorliegt.

Offensichtlich muss ein Gerät zur Bewegung im leeren Raum raketenartig sein, d.h. nicht nur Energie, sondern auch Stützmasse in sich enthalten.

Die Rückstoßkraft, die sich durch die Arbeit eines Rückstoßtriebwerkes entwickelt, kann für beliebige Ortsveränderungen im Raum genutzt werden. Der Raketenkörper ist in der Lage, sich von der Erde zu entfernen, zwischen den Planeten, zwischen den Sternen umherzuschweifen, Planeten, deren Trabanten, Ringe und andere Himmelskörper aufzusuchen, auf die Erde zurückzukehren. Es muss nur genug Energie enthaltendes explosives Material vorhanden sein.<sup>91</sup>

Die Bewegung einer Rakete im Raum folgt den Gesetzen der Himmelsmechanik. Eine Rakete für Raumflüge stellt einen Planeten dar, dessen Bahn, vom Menschen bestimmt wird. Da bei den Planeten des Sonnensystems die dichten Atmosphärenschichten sich auf geringe Höhen konzentrieren (im Vergleich zum Radius des jeweiligen Planeten), braucht man beim Studium der Raketenbewegung zwischen den Planeten in den meisten Fällen nur die Schwerkraft zu beachten.

Für das Studium der Bewegung künstlicher Erdtrabanten und von Mondraketen braucht man unter bestimmten Umständen nur das durch die Masse der Erde erzeugte Schwerfeld in Rechnung zu stellen.

Betrachten wir die Bewegung einer Rakete im Schwerfeld der Erde etwas näher. In der theoretischen Mechanik wird bewiesen, dass mit bestimmten Einschränkungen die Bewegung der Rakete (als Körper mit konstanter Masse, wenn das Triebwerk nicht arbeitet), den Keplerschen Gesetzen unterworfen ist. Sie besagen:

1. Gesetz. Die Planetenbahnen stellen Ellipsen dar, in deren einem Brennpunkt sich die Sonne befindet.
2. Gesetz. Der Radiusvektor, der den Mittelpunkt der Sonne mit dem Mittelpunkt eines Planeten verbindet, überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.
3. Gesetz. Die Quadrate der Umlaufzeiten der Planeten sind proportional den Kuben der großen Halbachsen ihrer Bahnen.

Beim Studium der Raketenbewegung im Schwerfeld der Erde spielt der Erdmittelpunkt dieselbe Rolle wie der Mittelpunkt der Sonne für die Bewegung der Planeten des Sonnensystems. Die Planeten des Sonnensystems sind Trabanten der Sonne. Raketen, die sich im Schwerfeld der Erde bewegen, sind in vielen Fällen Trabanten der Erde (auf Russisch: Sputniks).

Die Himmelsmechanik zeigte, dass die Form der Umlaufbahn (die Form der Flugbahn) eines Satelliten wesentlich von der Größe und Richtung der Anfangsgeschwindigkeit abhängt, desgleichen der Abstand vom Anziehungsmittelpunkt in dem Augenblick, da diese Anfangsgeschwindigkeit erreicht wird. Die Anfangsgeschwindigkeit einer Rakete ist die Geschwindigkeit am Ende der aktiven Flugbahn (die Brennschlussgeschwindigkeit).

Die Rakete habe die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$ ; sie schließe mit dem örtlichen Horizont den Winkel  $\alpha$  ein. Dann wird sie unter der Wirkung der Erdanziehungskraft eine Flugbahn beschreiben, deren Aussehen von  $v_0$  und  $\alpha$  abhängt.

Allgemein kann man sagen, dass die Flugbahn entweder eine Ellipse, eine Parabel oder eine

---

<sup>91</sup>Ebenda, S. 172.

Hyperbel ist. Dabei ist die Flugbahn der Rakete eine Ellipse (oder ein Kreis), wenn die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  kleiner ist als 11,2 km/s. Ist die Anfangsgeschwindigkeit  $v_0 = 11,2$  km/s, dann ist die Raketenflugbahn eine Parabel. Ist  $v_0$  größer als 11,2 km/s, dann ist die Flugbahn eine Hyperbel.

Die Geschwindigkeit  $v_0 = 11,2$  km/s wird als Fluchtgeschwindigkeit oder parabolische Geschwindigkeit bezeichnet. Die geometrische Gestalt einer Parabel oder Hyperbel zeigt, dass bei  $v_0 > 11,2$  km/s die Rakete nicht zur Erde zurückkehrt, sondern sich von ihr entfernt und in die Anziehungsbereiche anderer Planeten oder der Sonne gelangt. Bei elliptischen Flugbahnen kehrt die Rakete entweder zur Erde zurück oder wird zum Erdtrabant.

Ellipsen sind geschlossene Kurven, Parabeln und Hyperbeln haben dagegen, wie man in der Mathematik sagt, unendlich ferne Punkte und sind nicht geschlossen.

Für die Gesamtheit aller elliptischen Bahnen kann man verhältnismäßig einfach den günstigsten Winkel  $\alpha$  und die geringste Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$ , bestimmen; die eine vorgegebene Flugweite auf der Erdoberfläche gewähren. In Tabelle 2 werden Ergebnisse solcher Berechnungen angeführt und die Dauer des Fluges auf der Bahn sowie die maximale Entfernung  $H$  der Rakete von der Erdoberfläche angegeben (Zahlen abgerundet).

Tabelle 2  
Hauptkennwerte optimaler elliptische Bahnen im Schwerefeld der Erde

Flugweite km	Anfangsge- geschwindigkeit m/s	Günstigster Abschuss- winkel $\alpha$	Maximale Höhe Höhe $H$ über der Erdoberfläche		Flugzeit	
			$H$ in km		min	s
1100	3270	42°30'	266		8	23
3350	5100	37°30'	720		15	57
5600	6100	32°30'	1050		22	6
7800	6750	27°30'	1250		27	39
8900	7000	25°00'	1300		29	58
12250	7500	17°30'	1250		36	7
15600	7800	10°00'	900		40	13

Die Weite von 10000 km entspricht einem Viertel des Erdumfangs. In Abb. 37 ist diese Bahn maßstabsgerecht eingezeichnet (bei einem Abschuss vom Äquator zum Pol).

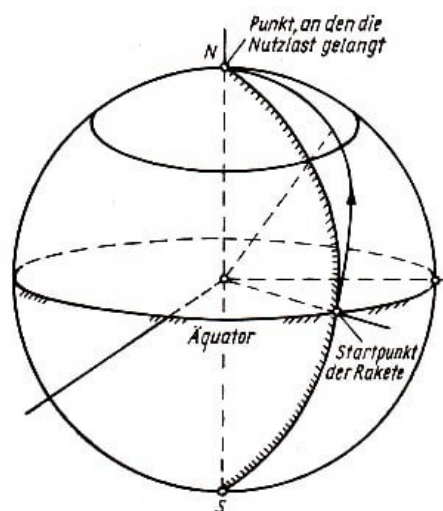


Abb. 37. Optimale elliptische Flugbahn einer interkontinentalen Rakete mit einer Flugweite von 10000 km (Einfluss der Atmosphäre nicht berücksichtigt)



Von besonderem Interesse sind Kreisbahnen und Ellipsenbahnen von Erdtrabanten. Die Grundformeln dafür wurden bereits im vorigen Abschnitt angegeben. Die durch die Schwerkraft bedingte Beschleunigung nimmt mit der Höhe ab nach der Regel

$$g = g_0 \frac{R_0^2}{(R_0 + H)^2}$$

mit  $H$  - Höhe über der Erdoberfläche. Die Geschwindigkeit eines Erdtrabanten auf einer Kreisbahn in der Höhe  $H$  ergibt sich, indem man gleichsetzt Zentrifugalkraft und Anziehungskraft:

$$m \frac{v^2}{(R_0 + H)} = m \frac{g_0 R_0^2}{(R_0 + H)^2}$$

woraus folgt:

$$v = \sqrt{g_0 R_0} \sqrt{\frac{R_0}{R_0 + H}} = 7912 \sqrt{\frac{R_0}{R_0 + H}} \text{ m/s}$$

Mit dieser Formel lässt sich die Geschwindigkeit des Satelliten in beliebiger Höhe  $H$  über der Erdoberfläche finden. Kennt man die Länge des Kreishalbmessers  $(R_0 + H)$ , ist auch die Dauer  $T$  eines Umlaufs des Satelliten um die Erde leicht zu ermitteln:

$$T = \frac{2\pi(R_0 + H)}{v} = 84 \text{ min } 26 \text{ s} \cdot \left(\frac{R_0 + H}{R_0}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Diese Formel bestätigt das dritte Keplersche Gesetz. Die Formeln zur Bestimmung von  $v$  und  $T$  zeigen, dass sich mit zunehmender Höhe die Umlaufzeit eines Satelliten vergrößert, während sich die Umlaufgeschwindigkeit verringert.

Tabelle 3

Höhe des Sputniks über der Erdober- fläche km	Geschwindigkeit des Sputniks m/s	Umlaufzeit des Sputniks			Vom Sputnik aus sichtbarer Anteil der Erdoberfläche %
		Std.	Min.	s	
0	7912	1	24	26	0
200	7791	1	28	26	1,5
400	7675	1	32	30	3
1000	7356	1	45	02	7
3000	6525	2	30	31	16
6000	5679	3	48	18	25

In Tabelle 3 werden Geschwindigkeiten von Erdtrabanten angegeben, die in verschiedenen Höhen auf Kreisbahnen umlaufen, sowie ihre Umlaufzeiten und die Größe (in Prozent) des vom Sputnik aus sichtbaren Teiles der Erdoberfläche.

Die erste Zeile dieser Tabelle hat rein theoretische Bedeutung, da man an der Erdoberfläche den Luftwiderstand nicht vernachlässigen darf.

Aus der Formel für  $T$  kann man die Höhe  $H$  finden, bei der die Umlaufzeit des künstlichen Erdtrabanten gleich 24 Stunden ist. Es ergibt sich  $H = 35810$  km. In diesem Fall sind 42,6 % der Erdoberfläche sichtbar.

In der modernen Astronomie sind die Halbmesser der Planeten unseres Sonnensystems und die Gravitationsbeschleunigung an der Oberfläche dieser Planeten wohl bekannt. Deshalb kann man mit den oben angeführten Formeln für einen beliebigen Planeten die Geschwindigkeiten von Satelliten, ihre Umlaufzeiten und ebenso die entsprechenden parabolischen Geschwindigkeiten leicht ausrechnen. In Tabelle 4 werden die Geschwindigkeiten von Satelliten bei  $H = 0$  und die Fluchtgeschwindigkeiten für die Planeten des Sonnensystems angegeben.

Tabelle 4

Planet	Fluchtgeschwindigkeit m/s	Minimalkreisbahngeschwindigkeit m/s
Merkur	4282	3028
Venus	10351	7319
Erde	11189*)	7912
Mars	5038	3562
Jupiter	59686*)	42205
Saturn	35495*)	25100
Uranus	21648	15308
Neptun	22810	16129

\*) am Äquator

Die Ära der kosmischen Flüge begann auf unserem Planeten mit dem Erreichen der Minimumkreisbahngeschwindigkeit, die etwa 8 km/s beträgt. In die Ära der interplanetaren Flüge traten wir, nachdem die Fluchtgeschwindigkeit erreicht worden war. Die sowjetischen Raketenbauer erreichten als erste in der Welt sowohl die Minimumkreisbahngeschwindigkeit wie auch die Fluchtgeschwindigkeit.

Wie sind so hohe Geschwindigkeiten zu erreichen? Die Antwort auf diese Frage gibt die Ziolkowski-Formel. Wie schon gezeigt, leiten sich aus der Ziolkowski-Formel zwei Wege ab, um hohe Fluggeschwindigkeiten zu erzielen:

1. Erhöhung der Relativgeschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen;
2. Erhöhung des Verhältnisses der Raketenstartmasse zur Masse der Rakete ohne Treibstoff;

Einer sorgfältigen Analyse unterzog Ziolkowski Methoden, höhere Relativgeschwindigkeiten der ausgestoßenen Teilchen zu erzielen. Wenn die Triebwerkskonstruktion Zweckmäßig gewählt ist, dann ist eine Erhöhung der Ausströmgeschwindigkeit eine Sache der Treibstoffkomponenten. Konstantin Eduardowitsch befasste sich viel mit der Untersuchung von Treibstoffen für Rückstoßtriebwerke. Er erarbeitete die Grundforderungen, von denen sich bis heute Wissenschaftler und Ingenieure bei der Wahl der Treibstoffe leiten lassen. Nachstehend das Ergebnis seiner Ermittlungen, wie er es in den letzten Lebensjahren formuliert hat:

Die Elemente der explosiven Stoffe für einen Rückstoßantrieb müssen die folgenden Eigenschaften besitzen:

1. Je Einheit ihrer Masse müssen sie beim Brennen eine maximale Arbeit abgeben.
2. Bei der Verbindung müssen sie Gase bilden oder flüchtige Flüssigkeiten, die sich bei Erwärmung in Dämpfe verwandeln.
3. Beim Brennen müssen sie eine möglichst niedrige Temperatur entwickeln, damit die Brennkammer nicht verbrennt oder schmilzt.
4. Sie dürfen nicht viel Raum beanspruchen, d.h., sie müssen eine große Dichte haben.
5. Sie müssen flüssig und leicht zu mischen sein. Die Anwendung von Pulvern aber ist kompliziert.
6. Sie können auch gasförmig sein, müssen aber eine hohe kritische Temperatur und einen niedrigen kritischen Druck haben, damit sie bequem in verflüssigter Form anzuwenden sind.

Verflüssigte Gase sind im allgemeinen unvorteilhaft wegen ihrer niedrigen Temperatur, weil sie zu ihrer Erwärmung Wärme absorbieren. Deshalb ist ihre Anwendung mit Verlusten durch das Verdampfen und mit Explosionsgefahr verbunden. Teure und chemisch instabile oder schwierig zu gewinnende Produkte taugen ebenfalls nicht.<sup>92</sup>

<sup>92</sup>E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 374.

Tabelle 5

Treibstoffpaar Oxydator + Brennstoff	Druck in der Brennkammer km/cm <sup>2</sup>	Massenverhältnis Oxydator/ Brennstoff $I_S$	Spezifischer Schub $T$ in K	Absolute Temperatur m/s	Effektive Ausström- geschwindigkeit (gerundet)	Dichte der Treibstoff- mischung
fl. O + Benzin	21	2,5	242	3020	2380	0,95
fl. O + Hydrazin	21	0,5	259	2482	2540	1,05
fl. O + Kerosin	21	2,2	248	3077	2440	1,01
fl. O + Methylalkohol	21	4,25	238	2860	2340	0,895
fl. Fluor + Hydrazin	21	1,9	299	4165	2940	1,31
HNO <sub>3</sub> + Anilin	21	3,0	221	2770	2170	1,37
HNO <sub>3</sub> + C <sub>5</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	21	1,9	214	2770	2100	1,37
fl. O + fl. H	35	3,5	364	2482	3570	0,26

Werte nach G. P. Sutton: Rocket Propulsion Elements. New York 1956.

Ziolkowski musterte eine große Zahl verschiedener Oxydatoren und Brennstoffe und suchte für die praktische Verwendung die besten von ihnen aus. Für Rückstoßtriebwerke empfahl er insbesondere folgende Treibstoffpaare:

flüssiger Wasserstoff und flüssiger Sauerstoff,  
Kerosin und flüssiger Sauerstoff,  
Alkohol und flüssiger Sauerstoff,  
Methan und flüssiger Sauerstoff.

In Arbeiten über Oxydatoren für Flüssigkeitsrückstoßtriebwerke verwies Ziolkowski (mittels Berechnungen) auf die Möglichkeit, die Ausströmgeschwindigkeit noch mehr zu erhöhen, indem Ozon als Oxydator verwendet wird.<sup>93</sup>

In Tabelle 5 werden die Hauptkennziffern einiger Treibstoffpaare (Brennstoff und Oxydator) angegeben, die bereits in Rückstoßtriebwerken verwendet wurden oder sich in der Entwicklung befinden. Man muss im Auge behalten, dass die Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsprodukte mit der Erhöhung des Drucks in der Kammer des Rückstoßtriebwerks wächst. Mit der Erhöhung des Drucks steigt zugleich die Temperatur an. Es ist nicht schwer zu verstehen, dass eine Druckerhöhung nur in bestimmten Grenzen von Vorteil ist, weil das Gewicht des Triebwerks und die mit der Kühlung seiner Wände verbundenen Schwierigkeiten damit zunehmen.

Außerdem tritt bei hohen Temperaturen Dissoziation auf (die Moleküle zerfallen in einfachere Moleküle oder Atome). Die Dissoziation vermindert gewöhnlich die Treibstoffwirkung.

Um abzuschätzen, welche Möglichkeiten die moderne Chemie maximal bietet, nehmen wir  $u_e = 4000$  m/s an. Dann folgt aus der Ziolkowski-Formel (ohne die Verluste zu berücksichtigen, die sich durch das Überwinden der Schwerkraft und des Luftwiderstandes ergeben), dass, um die Minimumkreisbahngeschwindigkeit zu erreichen,

$$\ln \frac{M_0}{M_1} = \frac{v_1}{u_e} \approx \frac{8000}{4000} = 2$$

sein muss. Nach der Tafel der natürlichen Logarithmen ergibt sich

$$M_0/M_1 = 7,4 \quad \text{oder} \quad M_1 = M_0/7,4$$

d.h., die Leermasse der Rakete (ohne Treibstoff) darf etwa 14% ihrer Startmasse betragen. Eine solche einstufige Rakete zu schaffen ist möglich, und folglich können in der Perspektive künstliche Erdtrabanten mit Hilfe einstufiger Raketen gestartet werden.

<sup>93</sup>Ozon ist giftig, führt bei einer Reihe von flüssigen und festen Brennstoffen zur Selbstentzündung, ist nicht beständig und höchst explosiv. Deshalb haben Ziolkowskis Berechnungen vorläufig rein theoretische Bedeutung.

Für die Fluchtgeschwindigkeit ergibt die Ziolkowski-Formel bei  $u_e = 4000$  m/s

$$\ln \frac{M_0}{M_1} = \frac{v_{\max}}{u_e} \approx \frac{11200}{4000} = 2,8$$

Aus der Tafel der natürlichen Logarithmen findet man

$$M_0/M_1 = 16,5 \quad \text{oder} \quad M_1 = M_0/16,5$$

d.h., die Leermasse der Rakete (ohne Treibstoff) darf etwa 6% ihrer Startmasse betragen. Eine solche einstufige Rakete mit den heutzutage bekannten Konstruktionsmaterialien zu schaffen ist äußerst schwierig (und bei begrenzter Startmasse einfach unmöglich). Ganz neue Möglichkeiten würden sich den Konstrukteuren eröffnen, wenn es den Chemikern gelänge, höhere Ausströmgeschwindigkeiten zu erzielen.

Mehrstufige Raketen, wie sie von Ziolkowski im Jahre 1929 vorgeschlagen wurden, bieten eine reale Grundlage, um diese beiden kosmischen Geschwindigkeiten bei ziemlich bescheidenen bereits erreichten Ausströmgeschwindigkeiten zu erzielen.

Hier einige Daten, die K. E. Ziolkowski 1934-1935 für Raketengeschwader fand.

Angenommen, man hat eine große Anzahl völlig gleichartiger Raketen mit einem Massenverhältnis  $M_0/M_1 = 5$ . Die effektive Ausströmgeschwindigkeit der ausgestoßenen Teilchen  $u_e$  sei bei allen Raketen des Geschwaders einheitlich gleich 3000 m/s angenommen.

Mit Hilfe eines Geschwaders dieser Raketen können wir durch Umfüllen der Treibstoffvorräte höchste Geschwindigkeiten erreichen, die eine Rakete allein nicht erzielen kann. Das Umfüllen beispielsweise von Benzin aus einem Flugzeug in ein anderes ist nicht nur möglich, sondern es ist schon geschehen.<sup>94</sup>

Wendet man die Ziolkowski-Formel konsequent an; dann erhält man folgende Zahlenwerte<sup>95</sup>

Zahl der Raketen im Geschwader	1	2	4	8	16	32	64
Geschwindigkeit der letzten Rakete nach Verbrauch des gesamten Treibstoffs in m/s	4827	6361	7895	9429	10962	12497	14031

Als erster begründete also Ziolkowski wissenschaftlich die Möglichkeit, mit mehrstufigen Raketen kosmische Geschwindigkeiten zu erreichen, und bewies streng mathematisch die Realisierbarkeit interplanetarer Flüge.

50 Jahre ist es her, dass der Schöpfer der Theorie interplanetarer Flüge, K. E. Ziolkowski, seine unvergängliche Arbeit („Kosmische Raketenzüge“, 1929) veröffentlichte, und die seitdem gesammelte wissenschaftlich-technische Erfahrung bestätigte die Richtigkeit seiner Ideen.

Nachstehend einige Gedanken Konstantin Eduardowitschs über Raketenflüge:

Zuerst kann man mit einer Rakete rund um die Erde fliegen, dann kann man diese oder jene Bahn in bezug auf die Sonne beschreiben, zu einem beliebigen Planeten gelangen, sich der Sonne nähern und von ihr entfernen, auf sie stürzen oder sie ganz verlassen, zu einem Kometen werden, der viele Jahrtausende in der Finsternis zwischen den Sternen umherirrt, bis er sich einem von ihnen nähert, der für die Reisenden oder ihre Nachkommen zu einer neuen Sonne wird.

Man wird rund um die Sonne interplanetare Basen schaffen und als Material dafür im Raum herumirrende Asteroiden verwenden (kleine Planeten, die es in großer Zahl in unserem Sonnensystem gibt - A.K.). Rückstoßgeräte werden den Menschen unermessliche Räume erobern und Sonnenenergie

<sup>94</sup>K. E. Ziolkowski; Gesammelte Werke, Bd. II. S. 424

<sup>95</sup>Ebenda, S. 426.

liefern, zweimilliardenmal mehr als die, die auf der Erde zur Verfügung steht.

Hier der Plan zur Eroberung des Weltraumes, den Ziolkowski entworfen und leidenschaftlich verfochten hat:

Gewöhnlich geht man vom Bekannten zum Unbekannten: von der Nadel zur Nähmaschine, vom Messer zum Fleischwolf, vom Dreschflegel zur Dreschmaschine, von der Pferdekutsche zum Automobil, vom Kahn zum Schiff. So gedenken wir auch überzugehen vom Flugzeug zum Rückstoßgerät, um das Sonnensystem zu erobern.

Wir sprachen schon davon, dass eine Rakete, die zunächst ja unvermeidlich in der Luft fliegt, gewisse Züge von einem Flugzeug haben muss, aber wir haben schon bewiesen, dass dabei Räder, Luftschrauben, Motor, Gasdurchlässigkeit der Kabine untauglich, Flügel lästig sind. All das hindert es, eine Geschwindigkeit von mehr als 200 m/s oder 720 km/h zu erreichen, Ein Flugzeug ist für Zwecke des Lufttransports nicht geeignet<sup>96</sup>, aber nach und nach wird es brauchbar für kosmische Reisen.

Hat denn ein Flugzeug, das in einer Höhe von 12 km fliegt, nicht schon 70-80 % der ganzen Atmosphäre überwunden und nähert es sich nicht der Sphäre des reinen Äthers, der die Erde umgibt? Helfen wir ihm also, noch mehr zu schaffen. Hier im groben Entwicklungsstufen des Flugwesens, die zu Höherem führen:

1. Es wird ein Raketenflugzeug mit Flügeln und gewöhnlichen Steuerorganen hergestellt. Aber der Benzinmotor wird durch ein Explosionsrohr (d.h. durch ein Rückstoßtriebwerk - A.K.) ersetzt, in das durch einen schwachen Motor explosive Stoffe gepumpt werden. Eine Luftschraube gibt es nicht. Es gibt einen Vorrat an explosiven Materialien, und es bleibt die Kabine für den Piloten, die mit irgend etwas Durchsichtigem zum Schutz vor dem Gegenwind geschlossen ist, denn die Geschwindigkeit eines solchen Apparates ist größer als die eines Flugzeugs.

Dieses Gerät wird durch die Rückstoßkraft des Explosionsvorgangs auf Kufen und geschmierten Schienen vorangetrieben (bei einer geringeren Geschwindigkeit können die Räder verbleiben). Dann erhebt es sich in die Luft, erreicht die Höchstgeschwindigkeit, verliert den ganzen Vorrat an explosiven Stoffen und fängt, leichter geworden, an zu segeln wie ein gewöhnliches oder ein motorloses Flugzeug, um gefahrlos auf den Boden herabzusinken.

Die Menge der explosiven Stoffe und die Stärke der Explosion muss man allmählich vergrößern, ebenso die Höchstgeschwindigkeit, die Flugweite und vor allem die Flughöhe, In Anbetracht der Luftdurchlässigkeit der Besatzungskabine in diesem Flugzeug kann die Höhe natürlich nicht größer sein als die bekannte Rekordhöhe. 5 km sind auch genug. Das Ziel dieser Versuche ist die Steuerung des Flugzeuges (bei bedeutenden Geschwindigkeiten), des Explosionsrohres und des Segelns.

2. Die Flügel der folgenden Flugzeuge sind allmählich zu verkleinern, die Motorkraft und die Geschwindigkeit zu vergrößern. Man wird nicht umhin können, mit Hilfe der früher beschriebenen Mittel schon vor dem Explosionsvorgang eine gewisse Anfangsgeschwindigkeit zu erreichen.

3. Der Rumpf der weiteren Flugzeuge muss gasundurchlässig gemacht und mit Sauerstoff gefüllt werden, mit Vorrichtungen zum Aufsaugen des Kohlendioxides, Ammoniaks und anderen Ausscheidungsprodukten des Menschen. Das Ziel ist, bis zu einer beliebigen Luftverdünnung zu gelangen. Die Höhe kann 12 Kilometer weit übersteigen. Wegen der hohen Geschwindigkeit kann die Landung der Sicherheit halber auf das Wasser erfolgen. Der dichte Rumpf lässt die Rakete nicht untergehen.

4. Es werden die von mir beschriebenen Ruder übernommen, die im leeren Raum und in stark verdünnter Luft, wohin der Flugkörper fliegt, ausgezeichnet wirken. Gestartet wird ein flügelloses Flugzeug mit doppeltem Rumpf, das mit Sauerstoff angefüllt und hermetisch abgeschlossen ist und gute Gleitflugeigenschaften hat. Damit es sich in die Luft erhebt, bedarf es einer hohen Anfangsgeschwindigkeit und deshalb auch vollkommenerer Startvorrichtungen.

---

<sup>96</sup>Die heutige Zivilluftfahrt bestätigt diese Voraussage Ziolkowskis nicht.

Zusätzliche Geschwindigkeit gibt ihm die Möglichkeit, sich immer höher und höher zu erheben. Die Zentrifugalkraft kann sich bereits bemerkbar machen und die Arbeit für die Fortbewegung vermindern.

5. Die Geschwindigkeit wächst auf 8 km/s, die Zentrifugalkraft hebt die Schwere völlig auf, und die Rakete kommt erstmals über die Grenzen der Atmosphäre hinaus. Dort fliegt sie, soweit Sauerstoff und Lebensmittel reichen, und kehrt auf einer spiralförmigen Bahn zur Erde zurück, bremst sich in der Luft ab und segelt ohne Explosionsvorgang.

6. Danach kann man einen einfachen Rumpf statt des doppelten verwenden. Die Flüge über die Atmosphäre hinaus werden wiederholt. Die Rückstoßgeräte entfernen sich immer mehr und mehr von der Lufthülle der Erde und halten sich immer länger im Äther auf. Und doch kehren sie zurück, weil sie nur einen begrenzten Vorrat an Nahrung und Sauerstoff haben.

7. Es werden Versuche gemacht, das Kohlendioxid und andere menschliche Ausscheidungen mit Hilfe ausgesuchter, kleinwüchsiger Pflanzen, die gleichzeitig Nahrungsstoffe bieten, zu beseitigen. Daran wird viel gearbeitet, und Erfolge werden sich langsam einstellen.

8. Es werden Äther-Skaphander (Kleidung) hergestellt, um gefahrlos aus der Rakete in den Äther hinaustreten zu können.

9. Um Sauerstoff und Nahrung zu erhalten und die Luft in der Rakete zu reinigen, erdenkt man sich besondere Räume für Pflanzen. All dies wird in zusammengelegtem Zustand von Raketen in den Äther getragen und dort entfaltet und vereinigt. Der Mensch wird von der Erde weitgehend unabhängig, weil er die Mittel zum Leben selbständig gewinnt.

10. Rund um die Erde werden geräumige Siedlungen eingerichtet.

11. Die Sonnenenergie wird nicht nur für die Ernährung und die Bequemlichkeiten (den Komfort) des Lebens genutzt, sondern auch für die Fortbewegung im Sonnensystem.

12. Im Asteroidengürtel und an anderen Orten des Sonnensystems, wo sich nur kleinere Himmelskörper finden, werden Kolonien gegründet.

13. Die Industrie entwickelt sich und die Zahl der Kolonien wird größer.

14. Individuelle Vollkommenheit (der Persönlichkeit, des einzelnen Menschen) und gesellschaftliche (sozialistische) Vollkommenheit werden erreicht.

15. Die Bevölkerung des Sonnensystems wird hunderttausendmillionenmal größer als die jetzige der Erde. Es wird die Grenze erreicht, jenseits der eine Ansiedlung im Milchstraßensystem unausbleiblich ist.

16. Die Sonne beginnt zu erlöschen. Die verbliebene Bevölkerung des Sonnensystems zieht sich zu einer anderen Sonne zurück, zu früher weggeflogenen Brüdern.<sup>97</sup>

Der ungeheure Ideenreichtum der Arbeiten von Ziolkowski, der im Laufe von mehr als 35 Jahren folgerichtig und systematisch die wichtigsten Probleme von Theorie und Technik der Rückstoßbewegung erforscht hat, unterstreicht seine unbestreitbare Priorität bei der Begründung neuer Wissenschaften: der Raketendynamik und Kosmonautik.

Ab 1903 erscheinen Ziolkowskis Artikel und Bücher über die Raketendynamik und Astronautik im Druck. Studiert man diese Untersuchungen und vergleicht sie mit späteren ausländischen Arbeiten, so kann man sich leicht überzeugen, dass gerade in Russland die theoretischen Grund-

---

<sup>97</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 258-260.

lagen für das Berechnen der Bewegung aller Rückstoßapparate geschaffen wurden.

Nichtsdestoweniger traf Ziolkowskis Arbeiten, die vor der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution geschrieben wurden, das Geschick vieler Entdeckungen und Erfindungen, die im zaristischen Russland gemacht wurden.

Einige Forscher aus verschiedenen Ländern begannen sich Ziolkowskis Ideen teilweise oder gänzlich anzueignen. 1913 erschien in Frankreich eine Arbeit des Ingenieurs R. Esnault-Pelterie „Erwägungen über die Ergebnisse einer unbegrenzten Gewichtsminderung von Motoren“, in der einige Formeln der Raketendynamik angeführt wurden, die Ziolkowski schon gefunden hatte. Der Name Ziolkowskis wurde in diesem Artikel nicht einmal erwähnt, obwohl Esnault-Pelterie, als er 1913 Petersburg besuchte, Konstantin Eduardowitschs Arbeiten zu sehen bekam.

Im Jahre 1919 schrieb und veröffentlichte der amerikanische Professor R. Goddard eine Arbeit über die geradlinige Raketenbewegung, in der wiederum die Ziolkowski-Formel angeführt und die Aufgabe, ein optimales Regime für einen vertikalen Raketenanstieg zu Suchen, gestellt wird. Goddard schenkte den Ergebnissen Ziolkowskis nicht eine Zeile, obwohl zu jener Zeit drei Arbeiten von Konstantin Eduardowitsch herauskamen.

Der deutsche Gelehrte H. Oberth popularisierte 1923 in großem Stil die Idee einer Kosmosrakete, aber in seinem Buch „Die Rakete zu den Planetenräumen“ hielt er es auch nicht für nötig, Ziolkowskis Berechnungen und Projekte anzuführen, obwohl sie dem, was Oberth veröffentlichte, in vielen Fällen sehr nahe kamen.

Nur dank einer ausgedehnten Kampagne in der sowjetischen Presse und Erklärungen einer Reihe angesehener sowjetischer Wissenschaftler war Oberth genötigt, in privaten Briefen an Ziolkowski dessen Priorität bei der Entwicklung von Raketen für kosmische Flüge anzuerkennen. Hier einige Auszüge aus diesen Briefen:

Ich bedauere nur, dass ich nicht eher als im Jahre 1925 von Ihnen gehört habe. Ich wäre sicher in meinen eigenen Arbeiten heute bedeutend weiter und wäre ohne diese vielen vergeblichen Mühen ausgekommen, wenn ich Ihre ausgezeichneten Arbeiten gekannt hätte ... Ich hoffe, dass Ihnen die Erfüllung Ihrer hohen Ziele beschieden ist. Sie haben das Feuer angezündet, und wir lassen es nicht erlöschen, sondern setzen alle Kräfte ein, damit der größte Menschheitstraum in Erfüllung geht .... Ich sende Ihnen mein neues Buch und wäre sehr froh, wenn ich dafür Ihre letzten Arbeiten erhielte.<sup>98</sup>

Es ist allerdings festzustellen, dass in der dritten Auflage von Oberths Buch „Die Rakete zu den Planetenräumen“ (1929) wieder keine Verweise auf Ziolkowskis Arbeiten enthalten waren und sein Name lediglich in einer Fußnote genannt wird.

Gewisse Wissenschaftler in kapitalistischen Ländern fahren bis heute fort, die Arbeiten des hervorragenden Gelehrten, Erfinders und Denkers zu verschweigen. Als Begründer einer Theorie weitreichender und kosmischer Raketen nennt man Goddard, Oberth, v. Braun und andere; der Name Ziolkowskis, der mehr als ein halbes Jahrhundert vorher die Hauptberechnungsformeln fand und eine Reihe hervorragender Ideen für die Konstruktion von Raketen dieses Typs vorlegte, wird bewusst nicht erwähnt.

Einige Arbeiten Ziolkowskis zur Theorie der Rückstoßbewegung wurden in den 20er Jahren von deutschen technischen Zeitschriften in Kurzfassung abgedruckt.

Es ist zu hoffen, dass, nachdem die Akademie der Wissenschaften der UdSSR die Hauptarbeiten Ziolkowskis über rückstoßgetriebene Flugkörper herausgegeben hat, ausländische Autoren die Möglichkeit haben, Ziolkowski im Originaltext zu lesen und folglich auch seine schöpferische Eigenständigkeit und die Bedeutung seiner Werke für die moderne Raketentechnik abzuschätzen.

In einer Reihe seiner Artikel malt Ziolkowski farbenprächtige Bilder vom Flug kosmischer Raketen und den Erscheinungen, die Passagiere interplanetarer Raumschiffe beobachten werden:

---

<sup>98</sup>Die Originalbriefe von Oberth wurden im Ziolkowski-Fond der Akademie der Wissenschaften der UdSSR aufbewahrt.



Abb. 38. J. A. Gagarin (1934-1968) und S. P. Koroljow. (1907-1966)

Nachdem wir uns auf die Reise gemacht haben, werden wir höchst seltsame, ganz wunderbare, unerwartete Empfindungen verspüren, mit deren Beschreibung wir beginnen.

Das Zeichen ist gegeben; der Explosionsvorgang beginnt, begleitet von ohrenbetäubendem Lärm. Die Rakete erzittert und fliegt ab. Wir spüren, dass wir furchtbar schwer geworden sind. Die vier Pud meines Gewichts wurden zu 40 Pud, Ich fiel zu Boden, brach mir alle Knochen, bin vielleicht sogar tot; dann wäre es schon aus mit den Beobachtungen! Es gibt Mittel, eine solche schreckliche Schwere zu ertragen, aber sozusagen eingepackt oder auch in einer Flüssigkeit (darüber später). .

In eine Flüssigkeit eingetaucht, wären wir auch nicht gerade zu Beobachtungen geneigt. Wie dem auch sei, die Schwere in der Rakete wächst anscheinend auf das Zehnfache. Federwaagen oder Dynamometer würden das anzeigen (ein Pfund Gold an ihren Haken würde sich in 10 Pfund verwandeln); die Schwingungen eines Pendels wären dreimal so schnell, Körper fielen schneller, Tropfen hätten einen zehnmal kleineren Durchmesser.<sup>99</sup>

Die Erscheinungen einer größeren Schwere lassen sich nur auf der aktiven Flugbahn beobachten. Wenn die Rakete die Fluchtgeschwindigkeit (11,2 km/s) erreicht, kann man das Triebwerk abstellen und die Bewegung auf Kosten der gewonnenen Geschwindigkeit fortsetzen. In großen Höhen (mehr als 100 km) wirkt auf die Rakete und ihre Begleiter nur die Schwerkraft.

Die höllische Schwere, die wir erdulden, wird anhalten, solange der Explosionsvorgang und der damit verbundene Lärm nicht aufhören. Dann, wenn Todesstille eintritt, verschwindet die Schwere genauso in einem Augenblick, wie sie aufgetreten ist. Wir haben uns jetzt über die Grenzen der Atmosphäre erhoben in eine Höhe von 575 km. Die Schwere hat nicht nur nachgelassen, sie ist spurlos verschwunden: Wir verspüren keinerlei Erdanziehung, an die wir gewöhnt sind wie an die Luft, die für uns aber nicht so nötig ist wie letztere.

575 km - das ist sehr wenig, das ist fast an der Erdoberfläche, und die Schwere müsste sich nur ganz unbedeutend verringert haben. So ist es auch. Doch wir haben es mit relativen Erscheinungen zu tun, und für sie existiert die Schwere nicht.

Die Erdanziehungskraft wirkt gleichermaßen auf die Rakete und die darin befindlichen Körper. Deshalb gibt es keine Unterschiede in der Bewegung der Rakete und darin untergebrachter Körper. Ein und derselbe Strom, ein und dieselbe Kraft trägt sie dahin, und für die Rakete gibt es gleichsam keine Schwere.

Davon werden wir durch viele Anzeichen überzeugt. Alle Gegenstände, die nicht an der Rakete befestigt sind, verlassen ihren Platz und schweben in der Luft, ohne etwas zu berühren, und wenn

---

<sup>99</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 116-117



sie sich doch berühren, so üben sie keinen Druck aufeinander oder auf die Unterlage aus. Auch wir selbst berühren den Boden nicht und nehmen eine beliebige Lage und Richtung ein: stehen auf dem Boden und auch auf der Decke und auf den Wänden, stehen senkrecht und schräg, schwimmen in der Mitte der Rakete wie Fische, aber ohne Kraftaufwand und ohne an etwas zu rühren. Nicht ein Gegenstand lastet auf einem anderen, wenn man sie nicht aufeinander drückt.

Das Wasser fließt nicht aus der Karaffe, ein Pendel schwingt nicht, sondern hängt zur Seite. Eine Riesenmasse, an eine Federwaage gehängt, verursacht keine Dehnung der Feder, und diese zeigt immer Null an. Eine Balkenwaage erweist sich ebenfalls als nutzlos:

Ihr Waagenbalken nimmt jede Stellung ein, gleichgültig und unabhängig davon, ob die Lasten in den Waagschalen gleich oder ungleich sind. Gold kann man nach Gewicht verkaufen. Mit gewöhnlichen, irdischen Mitteln lässt sich eine Masse nicht bestimmen.

Öl, das man mit einiger Mühe aus der Flasche geschüttelt hat (weil der Druck und die Elastizität der Luft, die wir in der Rakete atmen, dabei hinderlich sind), nimmt die Form einer schwappenden Kugel an. Nach einigen Minuten hören die Schwingungen auf; und wir haben eine flüssige Kugel von vorzüglicher Genauigkeit, Zerlegen wir sie in Teile, erhalten wir eine Gruppe von kleineren Kugeln unterschiedlicher Größe. All das zieht sich nach verschiedenen Seiten hin, kriecht über die Wände und benetzt sie.

Ein Quecksilberbarometer steigt bis obenhin.

Ein Doppelknie-Syphon leitet kein Wasser weiter.

Ein vorsichtig von der Hand gelassener Gegenstand fällt nicht herunter, sondern bewegt sich, wenn man ihn anstößt, geradlinig und gleichmäßig, bis er an eine Wand stößt oder auf irgendeine andere Sache, um dann von neuem in Bewegung zu kommen, wenn auch mit geringerer Geschwindigkeit. Im allgemeinen wird er sich die ganze Zeit über wie ein Brummkreisel drehen. Es ist sogar schwierig, einen Körper anzustoßen, ohne ihn in Drehung zu versetzen.

Wir fühlen uns wohl, leicht, wie auf dem weichesten Federbett, doch das Blut steigt uns etwas in den Kopf. Für Vollblütige ist das schädlich.<sup>100</sup>

Wir sind in der Lage, zu beobachten und zu überlegen. Ungeachtet dessen, dass die starke Hand der Erde den Aufstieg des Flugkörpers mit furchtbarer Kraft ununterbrochen hemmt (die Erdanziehungskraft setzt nicht einen Augenblick aus), empfinden wir in der Rakete dasselbe wie auf einem Planeten; dessen Schwerkraft durch irgendein Wunder verschwunden oder durch die Zentrifugalkraft kompensiert ist.

Alles ist so still und ruhig. Öffnen wir alle Fensterläden und schauen auf allen sechs Seiten durch das dicke Glas. Wir sehen zwei Himmel, zwei Halbkugeln, die zusammen eine Sphäre ergeben, in deren Zentrum wir uns gewissermaßen befinden. Wir sind wie im Inneren eines Balles, der aus zwei verschiedenen hellen Hälften besteht. Die eine Hälfte - die schwarze - mit den Sternen und der Sonne, die andere - die gelbliche - mit einer Vielzahl heller und dunkler Flecken und mit ausgedehnten, nicht sehr hellen Flächen. Das ist die Erde, die uns nicht konvex gewölbt wie eine Kugel erscheint, sondern nach den Gesetzen der Perspektive konkav wie eine Kugelschale, in deren Inneres wir blicken.

Im März flogen wir zur Mittagszeit vom Äquator ab, und die Erde nahm deshalb fast den halben Himmel ein. Wären wir am Abend oder Morgen losgeflogen, hätten wir gesehen, dass sie in Gestalt einer gigantischen Sichel ein Viertel des Himmels bedeckt. Um Mitternacht hätten wir nur eine Zone oder einen Ring gesehen, der in purpurnem Licht strahlt - dem Licht der Morgenröte - und den Himmel in zwei gleiche Teile teilt: die eine Hälfte ohne Sterne, fast schwarz, ein bisschen ins Rötliche spielend; die andere schwarz wie Ruß, übersät mit einer unzähligen Menge vergleichsweise sehr heller,

---

<sup>100</sup>Die langdauernden Kosmosflüge von heute zeigen, dass der Prozess der Gewöhnung an den Zustand der Schwerelosigkeit relativ gefahrlos und schnell (2-4 Tage) verläuft, dass aber im Organismus (wenn es kein durchdachtes System physischen Trainings gibt) wesentliche physiologische Veränderungen vor sich gehen (das Volumen des Herzens und gewisser Muskeln verringert sich, das Kalzium löst sich aus dem Gewebe). Die Gewöhnung an die Schwerkraft nach einem langen Flug erfordert ebenfalls Zeit.

aber nicht flimmernder Sterne.

In dem Maße wie wir uns von der Erdoberfläche entfernen und in die Höhe steigen, wird die Zone immer kleiner und kleiner, dafür jedoch immer heller und heller. Die Erdkugel, ob in dieser Gestalt oder in Gestalt einer Sichel oder Schale, verkleinert sich gleichsam, während wir einen (absolut) immer größeren Teil ihrer Oberfläche überschauen. Da bietet sie sich uns dar wie eine gewaltige Schüssel, die sich, nach und nach kleiner werdend, in ein Schüsselchen verwandelt.

... Oben und unten gibt es in der Rakete eigentlich nicht, weil es keine relative Schwere gibt und ein losgelassener Körper nicht zu irgendeiner Wand der Rakete strebt. Dennoch bleiben subjektive Empfindungen von oben und unten. Wir fühlen oben und unten, nur ändern sich deren Orte mit der Veränderung unserer Körperlage im Raum. Auf der Seite, wo unser Kopf ist, sehen wir oben, und wo die Beine sind, unten. Wenn wir also den Kopf unserem Planeten zudrehen, dünkt er uns in der Höhe zu stehen. Wenden wir ihm die Beine zu, versenken wir ihn im Abgrund, weil er uns unten zu sein scheint. Ein großartiges und zuerst erschreckendes Bild. Dann aber gewöhnt man sich daran und verliert wirklich die Begriffe von unten und oben.<sup>101</sup>

Welchen Nutzen hat nun die Menschheit davon, dass sie von den Weiten des kosmischen Raumes Besitz ergreift? Ziolkowski betrachtet dabei die Sonnenenergie als die Hauptsache. Die Erde erhält nach seinen Berechnungen nur den zweimilliardstel Teil dieser Energie. Das ist sehr wenig. In seiner Arbeit über die Theorie interplanetarer Raketen schreibt er:

Doch wie schön wird dafür das Erreichte sein. Die Eroberung des Sonnensystems bietet nicht nur Energie und Leben, die zweimilliardenmal so reich sein werden wie irdische Energie und irdisches Leben, sondern auch eine größere Weite des Raumes. Auf der Erde gebietet der Mensch sozusagen nur über zwei Dimensionen, die ritte dagegen ist begrenzt, d.h., eine Ausbreitung nach oben und unten ist einstweilen fast unmöglich. Dann aber gewinnt der Mensch drei Dimensionen.

Und das Fehlen von Schwerkraft und die jungfräulichen Sonnenstrahlen und die beliebige Temperatur, die in den Anlagen nur durch die Kraft der Sonnenstrahlen zu erzielen ist, und nichts, das eine Fortbewegung nach allen sechs Seiten aufhält, und die Erkenntnis des Weltalls ... Wir können hier nicht alle Wohltaten und Vorteile aus einer Eroberung des Sonnensystems würdigen. Manches teile ich in meinem Werk „Außerhalb der Erde“ mit.<sup>102</sup>

Der Plan zur weiteren Ausbeutung der Sonnenenergie wird wahrscheinlich folgendermaßen aussehen. Die Menschheit schickt ihre Flugkörper auf einen der Asteroiden und macht ihn zur Basis für ihre anfänglichen Arbeiten. Sie nutzt das Material des kleinen Planetoiden und zerlegt ihn oder nimmt ihn bis zu seinem Zentrum auseinander, um ihre Anlagen zu schaffen, die einen ersten Ring um die Sonne darstellen. Dieser Ring, übervoll vom Leben vernünftiger Wesen, besteht aus beweglichen Teilen und ähnelt dem Saturnring.

Nachdem auch noch andere winzige Asteroiden zerlegt und verwertet wurden, bildet im gesäuberten, d.h. von Asteroiden freien Raum noch eine Reihe von Ringen irgendwo zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter eine vernünftige Grundlage für menschliche Zwecke.<sup>103</sup>

Interplanetare Reisen eröffnen unbegrenzte Forschungsmöglichkeiten. Das Riesenlaboratorium der Natur wird zugänglich gemacht, und die in ihr vor sich gehenden Erscheinungen werden einfacher und zuverlässiger enträtselt. Den Skeptikern sagt Ziolkowski:

... Noch vor nicht allzu langer Zeit galt der Gedanke, man könne die Zusammensetzung der Himmelskörper ermitteln, selbst bei berühmten Gelehrten als unvernünftig. Jetzt ist diese Zeit vorbei. Der Gedanke, das Weltall eingehender und unmittelbarer studieren zu können, erscheint gegenwärtig

---

<sup>101</sup>K. E.: Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II, S. 117-119.

<sup>102</sup>K. E. Ziolkowski: Rückstoßgetriebene Flugapparate. Moskau 1964, S. 314-315. Die Arbeit „Außerhalb der Erde“ wurde veröffentlicht in K. Z. Ziolkowski: Der Weg zu den Sternen. Moskau 1960. S. 117-247.

<sup>103</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II. S. 427.

noch fremder. Mit den Beinen auf Asteroiden stehen, mit der Hand einen Stein vom Mond aufheben, bewegliche Stationen im Äther des Weltraumes bauen, lebende Ringe um Erde, Mond und Sonne bilden, den Mars aus einem Abstand von einigen Dutzend Werst beobachten, auf seinen Trabanten oder ihm selbst landen - das wären Hirngespinnste!

Erst in dem Augenblick aber, da man Rückstoßgeräte anwendet, beginnt eine neue große Ära in der Astronomie: die Epoche des eingehenderen Himmelsstudiums. Die Ehrfurcht gebietende gewaltige Schwerkraft schreckt uns dann nicht mehr, als angebracht ist.

Eine Kanonenkugel, die mit einer Geschwindigkeit von 2 km/s herausfliegt, erscheint uns nicht bestaunenswert. Warum aber muss uns ein Flugkörper, der mit einer Geschwindigkeit von 16 km/s fliegt und sich auf immer vom Sonnensystem in die Bodenlosigkeit des Weltalls entfernt, die Anziehungskraft der Erde, der Sonne und ihres ganzen Systems überwindet - warum muss er uns in Schrecken versetzen? Unterscheiden sich die Zahlen 2 und 16 etwa so stark! Die eine ist nur 8mal so groß wie die andere.

Wenn die Einheit der Geschwindigkeit möglich ist, warum ist dann eine Geschwindigkeit von 8 Einheiten nicht möglich? Schreitet nicht alles voran und bewegt sich vorwärts, dazu überraschend schnell? Lange schien unseren Großvätern eine Fortbewegungsgeschwindigkeit von 10 Werst unwahrscheinlich, eine harte Nuss zu sein, aber heute fährt ein Automobil 100-200 Werst in der Stunde, d.h. 20mal schneller, als man zu Zeit Newtons fuhr. Lange erschien es befremdlich, eine andere Kraft zu nutzen außer den Muskeln, Wind und Wasser!<sup>104</sup>

Sowjetische Wissenschaftler, Ingenieure und Arbeiter eröffneten mit dem Start des ersten künstlichen Erdtrabanten am 4. Oktober 1957 die Epoche der direkten Erforschung der Himmelskörper und des kosmischen Raumes.

Die weitere wissenschaftliche Bearbeitung der großartigen Gedanken Ziolkowskis, die Untersuchung verschiedener Aspekte des Problems interplanetarer Flüge, das Studium der Lebenstätigkeit von Mensch und Tier im kosmischen Raum - das sind edle Aufgaben der sowjetischen Wissenschaft.

---

<sup>104</sup>Ebenda, S. 137

## 10 Ein großer Wissenschaftler

Die gesamte Geschichte der Wissenschaft beweist bei jedem Schritt, dass einzelne Persönlichkeiten mit ihren Behauptungen mehr recht hatten als ganze Korporationen von Gelehrten oder Hunderte und Tausende von Forschern, die an den herrschenden Ansichten festhielten.

W. I. Wernadski

Die ersten Jahre nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution (bis 1921) waren für Ziolkowski sehr schwer. Manchmal hungerte er geradezu. Aber Konstantin Eduardowitschs Stimmung änderte sich einschneidend. In seiner Autobiographie vermerkt er:

Die Revolution begrüßte ich mit Freude und Hoffnung. Die Schulen wurden umgestaltet, und ich kam in die sowjetische Arbeitsschule als Physiklehrer. Es tröstete mich sehr, dass es keine Zensuren und Prüfungen gab, dass die Beziehungen zu den Schülern brüderlich waren und dass Hader und Feindseligkeit zwischen den Klassen abgeschafft waren. Dann trug man mir den Unterricht in Astronomie und Chemie an, und ich übernahm das gern.<sup>105</sup>

Als K. E. Ziolkowski erfuhr, dass in Moskau eine Sozialistische Akademie für Gesellschaftswissenschaften<sup>106</sup> gebildet worden war, sandte er am 30. Juli 1918 seine Autobiographie dorthin und schlug ein Forschungsthema vor unter dem weitläufigen Titel „Die sozialistische Ordnung der Menschheit“.

Die Akademie nahm Ziolkowskis Vorschlag an, und am 25. August 1918 ernannte sie ihn zum Mitglied mit einem Monatsgehalt von 300 Rubel.

Konstantin Eduardowitsch dankte der Akademie und bat um die Erlaubnis, in Kaluga zu arbeiten und als Dienstreisender geführt zu werden. Um den 12. November wurde das Thema wesentlich erweitert, und der Inhalt in Gestalt folgender fünf Teile formuliert:

1. Grundlagen der Moral, 2. Der Reichtum des Weltalls, 3. Der moderne Mensch und seine Eigenschaften, 4. Die ideale Gesellschaftsordnung, 5. Vergangenheit und Zukunft der Menschheit.<sup>107</sup>

Ziolkowski arbeitete mit Begeisterung. Ein erfreuliches Ereignis war für ihn seine Wahl (am 5. Juni 1919) zum Ehrenmitglied der Russischen Gesellschaft der Freunde der Weltkunde (ROLM). Der Vorsitzende der ROLM, N. A. Morosow, schrieb Ziolkowski, dass diese Wahl ein Zeichen der Hochachtung sei

vor Ihren wissenschaftlichen Verdiensten ... Sie haben kühne und wissenschaftlich begründete Ideen entwickelt über interplanetare Verbindungen und Geräte, die nach dem Raketenprinzip gebaut sind.<sup>108</sup>

Die Kalugaer Natur- und Heimatkundegesellschaft begrüßte Ziolkowskis Wahl in die ROLM ebenfalls. Er schrieb der Gesellschaft, dass er sich jetzt nicht mehr einsam fühlt. Die Gesellschaft half 1920, seine wissenschaftlich-phantastische Erzählung „Außerhalb der Erde“ herauszugeben.

---

<sup>105</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>106</sup>Die Sozialistische Akademie für Gesellschaftswissenschaften wurde im Juni 1918 gebildet. 1923 wurde sie in die Kommunistische Akademie umgewandelt. 1936 wurden die Hauptinstitute der Kommunistischen Akademie in die Akademie der Wissenschaften der UdSSR übergeleitet.

<sup>107</sup>Ziolkowski gab dem Thema einen neuen Titel: „Allgemeinmenschliche Verfassung“. Siehe S. I. Samotlowitsch: Der Bürger des Weltalls. Kaluga 1969. S. 94.

<sup>108</sup>Ebenda, S. 96.

K. E. Ziolkowskis Lebens- und -Arbeitsbedingungen änderten sich grundlegend, als ihm durch Erlass des Rates der Volkskommissare der RSFSR eine personengebundene Rente zuerkannt wurde, Dieser Erlass hat folgenden Wortlaut:

RSFSR, Rat der Volkskommissare  
Moskau, Kreml, 10.11.1921, Nr. a 16085

Der Rat der Volkskommissare hat auf seiner Sitzung am 9. November 1921 die Zuerkennung einer erhöhten lebenslangen Rente an Gen. K. E. Ziolkowski geprüft und daraufhin beschlossen: In Anbetracht besonderer Verdienste als Gelehrter und Erfinder, als Spezialist des Flugwesens K. E. Ziolkowski eine Rente auf Lebenszeit zuzuerkennen.

Die Kommission zur Verbesserung der Lebenslage der Wissenschaftler übernahm die Fürsorge für Ziolkowski und sicherte ihm in jener schwierigsten und angespanntesten Periode des Bürgerkrieges zufriedenstellende Lebensbedingungen.

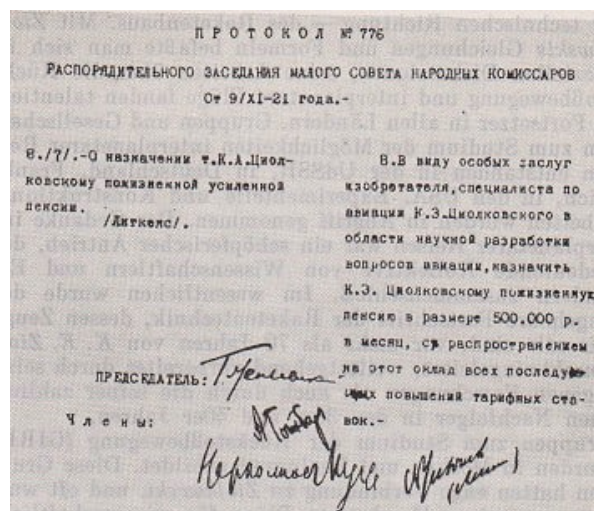


Abb. 39. Protokoll des Rates der Volkskommissare vom 9.11.1921 über eine Pension von 500 Rubel für Ziolkowski

Regierungsstellen und gesellschaftliche Organisationen begannen, Ziolkowski bei der Herausgabe seiner Arbeiten Hilfe zu erweisen. In den Jahren 1917-1935 wurden viermal so viele Artikel, Broschüren und Bücher von ihm herausgegeben wie in der ganzen vorangegangenen Periode. In den sieben Jahren von 1925 bis 1932 wurden rund 60 Arbeiten Ziolkowskis veröffentlicht. Sie betrafen Physik, Astronomie, Mechanik und Philosophie.

Die ständige Aufmerksamkeit der Kommunistischen Partei und der Sowjetregierung für seine wissenschaftliche Forschungsarbeit förderten die allgemeine Popularität und Anerkennung seiner Arbeiten. Ziolkowski wurde in der ganzen wissenschaftlich-technischen Welt bekannt. In der Presse und in ausländischen Zeitschriften begannen Übersetzungen seiner Artikel zu erscheinen. Die Koryphäen der Raketentheorie in der ganzen Welt studierten und erörterten Ziolkowskis Untersuchungen systematisch. Er wurde zum anerkannten Haupt einer neuen technischen Richtung - des Raketenbaus.

Mit Ziolkowskis Gleichungen und Formeln befasste man sich in speziellen Diskussionen, seine Arbeiten über die Rückstoßbewegung und interplanetare Flüge fanden talentierte Fortsetzer in allen Ländern. Gruppen und Gesellschaften zum Studium der Möglichkeiten interplanetarer Reisen entstanden in der UdSSR, in Deutschland, Frankreich, in den USA.

Experimentelle und Konstruktionsarbeiten wurden in Angriff genommen. Der Gedanke interplanetarer Reisen war ein schöpferischer Antrieb, der bedeutende Kollektive von Wissenschaftlern

und Erfindern zusammenschloss. Im wesentlichen wurde der ungeheure Fortschritt der Raketentechnik, dessen Zeuge wir alle sind, vor mehr als 70 Jahren von K. E. Ziolkowski eingeleitet, weitestgehend vorbereitet durch seine eigenen Forschungen als auch durch die seiner zahlreichen Nachfolger in den 30er und 40er Jahren.

Gruppen zum Studium der Rückstoßbewegung (GIRD) wurden in Moskau und Leningrad gebildet. Diese Gruppen hatten enge Verbindung zu Ziolkowski, und oft wurden von seiner Hand erste Pläne für wissenschaftlich-technische Untersuchungen in der Raketentechnik geschrieben. Kollektive von Wissenschaftlern, Erfindern und Technikern arbeiteten seine reiche ideelle Hinterlassenschaft durch, halfen erste Muster von Rückstoßapparaten zu schaffen.

In den Jahren 1930-1931 konstruierte einer von Ziolkowskis Nachfolgern, der bekannte Raketentechniker F. A. Zander das erste Rückstoßtriebwerk OR-1. Es arbeitete mit Benzin und gasförmigem Sauerstoff bei einem Schub bis 5kp.

Danach entwickelte Zander das Rückstoßtriebwerk OR-2 für Benzin und flüssigen Sauerstoff mit einem Schub bis 50 kp. Dieses Triebwerk wurde 1932 in der Moskauer Gruppe zum Studium der Rückstoßbewegung gebaut und durchlief nach vorbereitenden Arbeiten erfolgreich die Betriebserprobungen.

Die in den GIRD vereinigten Ingenieure und Wissenschaftler wurden zu jenem führenden Kern der sowjetischen Raketentechnik, der dafür sorgte, dass die schwierigen Aufgaben des modernen Raketenbaus und der Kosmonautik gelöst wurden.

Ziolkowski fühlte sich nicht mehr einsam. In besonderem Maße charakteristisch für seine neue Stimmung ist der bekannte Brief an J. W. Stalin, den er am 13. September 1935, wenige Tage vor seinem Tode absandte. Nachfolgend einige Auszüge aus diesem Brief:

Mein ganzes Leben lang träumte ich davon, mit meinen Arbeiten die Menschheit wenigstens etwas voranzubringen. Bis zur Revolution konnte mein Traum nicht verwirklicht werden.

Erst der Oktober brachte den Arbeiten eines Autodidakten Anerkennung, erst die Sowjetmacht und die Partei ... erwiesen mir wirksame Hilfe. Ich fühlte die Liebe der Volksmassen, und das gab mir die Kraft, die Arbeit fortzusetzen, obwohl ich schon krank war. Jetzt jedoch lässt es die Krankheit nicht zu, das begonnene Werk abzuschließen.

Alle meine Arbeiten über das Flugwesen, das Fliegen mit Raketen und den interplanetaren Verkehr übergebe ich der Partei der Bolschewiki und der Sowjetmacht - den wahren Führern beim Fortschritt der menschlichen Kultur. Ich bin gewiss, dass sie diese Arbeiten mit Erfolg zu Ende führen. Mit ganzer Seele und allen Gedanken der Ihre, mit einem letzten aufrichtigen Gruß, für immer Ihr  
K. Ziolkowski

In Stalins Antwort wurde Ziolkowski ein berühmter Wissenschaftler genannt. Der kranke Konstantin Eduardowitsch war durch das Antworttelegramm außerordentlich ergriffen und erfreut. Stalin schrieb:

An den berühmten Wissenschaftler K. E. Ziolkowski.

Nehmen Sie meinen Dank entgegen für den Brief, der so voller Vertrauen in die Partei der Bolschewiki und die Sowjetmacht ist; Ich wünsche Ihnen Gesundheit und weitere fruchtbringende Arbeit zum Nutzen der Werktätigen.

Ich reiche Ihnen die Hand,

J. Stalin

Die Große Sozialistische Oktoberrevolution war eine mächtige Triebkraft. Den 60jährigen Ziolkowski ermutigte sie zu schöpferischer Arbeit. Sein Talent offenbarte sich in all seiner Kraft und all seinem Glanz. Seine Zeitgenossen anerkannten in ihm den Initiator eines neuen Bereiches menschlichen Wissens. Den Raketenflug haben viele auch vor Ziolkowski beobachtet. Wie

schon erwähnt, wurden die ersten Feuerwerksraketen vor mehr als drei Jahrtausenden in China hergestellt. Und doch könnte niemand von den Raketenmachern und Millionen Zuschauern die neue Wissenschaft des Raketenfluges schaffen.

Mehr noch, wie wir schon gezeigt haben, waren Pulverraketen im Laufe fast des ganzen 19. Jh. Gegenstand der Aufmerksamkeit eines bedeutsamen Kreises führender Militärexperten, und dennoch gab es bis zu den Arbeiten von Ziolkowski keine Theorie der Rückstoßbewegung.

Galilei entnahm der alltäglichen Erscheinung, dass Körper fallen, die dabei geltenden einfachen Gesetze der gleichmäßig beschleunigten oder verzögerten Bewegung. Genauso entdeckte Ziolkowski auf dem neuen Gebiet der Raketenbewegung die Gesetzmäßigkeiten, die dieser neuen Klasse von Bewegungen im Prinzip zugrunde liegen. Das Leben von K. E. Ziolkowski ist das Leben eines Mittellosen, aber auch eines Rastlosen und - wir, wagen es zu sagen - eines Optimisten in der wissenschaftlichen Forschung. Hier sein Lebensprinzip:

Wir wissen wenig. Uns erwartet eine Unzahl von Entdeckungen und Weisheiten (Hervorhebung - A.K.). Wir werden leben, um sie zu gewinnen und im Weltall zu herrschen wie andere Unsterbliche.<sup>109</sup>

In diesem Zusammenhang sei vermerkt, dass für viele westliche Wissenschaftler unserer Tage die pessimistischen Äußerungen des Nobelpreisträgers Prof. R. Feynman (USA) kennzeichnend sind:

Wir haben ungewöhnliches Glück gehabt, dass wir in einem Jahrhundert leben, wo es noch möglich ist, Entdeckungen zu machen, Das ist wie die Entdeckung Amerikas, das für immer entdeckt wurde. Das Jahrhundert, in dem wir leben, ist ein Jahrhundert der Entdeckung grundlegender Naturgesetze, und diese Zeit wird niemals mehr wiederkommen. Diese wundervolle Zeit ist eine Zeit der Erregung und Begeisterung, doch ihr Ende wird kommen.

Und weiter behauptet Feynman:

Es kommt eine Zeit der Entartung der Ideen, eine Entartung, wie die der geographische Entdecker kennt, der feststellt, dass auf Seinen Spuren die Horden der Touristen angerückt sind.<sup>110</sup>

Wir haben diese Äußerungen Feynmans angeführt, um den Optimismus Ziolkowskis noch deutlicher herauszustellen, der unter unvergleichlich schwierigeren Bedingungen lebte.

Die ganze Größe von Ziolkowskis Talent, seine ganze schöpferische Eigenständigkeit und Originalität offenbart sich auch in vollem Glanz insbesondere in der Theorie der Raketenbewegung, wo sehr viele Gelehrte nichts Beachtenswertes sahen. Unter den Bedingungen des ökonomischen und technischen Entwicklungsstandes in Russland am Ende des 19. und am Anfang des 20. Jahrhunderts die ganze Bedeutung der Untersuchung des Fluges von Raketen als Körper mit veränderlicher Masse erkennen zu können ist schon eine herausragende Leistung.

Doch unter den Bedingungen des zaristischen Russlands fanden Ziolkowskis progressive Ideen kaum Unterstützung. Eine höchst bezeichnende Episode, die das Verhältnis der hochgestellten Beamten des Kriegsministeriums zur Entwicklung des russischen wissenschaftlich-technischen Denkens enthüllt, waren die Vorgänge um die erfinderischen Vorschläge des Österreicher D. Schwarz.

Anfang 1892 teilte der militärische Vertreter der russischen Regierung in Österreich, Oberst Sujew, dem Kriegsministerium mit, dass der Österreicher David Schwarz, von Beruf Förster,

---

<sup>109</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>110</sup>R. Feynman: Character of physical laws. Nobel-Vortrag am 11.12.1965. In: Nobel Lecture. Stockholm 1966, S. 174

einen lenkbaren Luftballon aus Metall erfunden hat und vorschlägt, ihn in Russland zu bauen. Die ungefähre Summe der Ausgaben wurde auf 10000 Rubel veranschlagt.

Und hier geht nun etwas höchst Merkwürdiges vor sich.

Ohne das Projekt durchzusehen und zu studieren, ohne es mit dem im Kriegsministerium wohlbekannten Vorschlag von Ziolkowski irgendwie zu vergleichen, stimmte Kriegsminister Wannowski zu, das Geld anzuweisen und Schwarz nach Russland einzuladen.

Während man Ziolkowski einige Dutzend Rubel für den Bau von Modellen abgeschlagen hatte, erhielt Schwarz sofort 10000 Rubel für die Ausarbeitung eines völlig unbekanntes Projektes.

Später stellte sich heraus, dass Schwarz vorschlug, ein Ganzmetallluftschiff mit einem Gerippe und einer Hülle aus Aluminium (in jenen Jahren ein sehr teures Metall) zu bauen, und dass die bereitgestellte Summe nicht ausreichte. Die Anweisungen für Schwarz wurden erhöht, und die Arbeiten für den Bau gingen im Laufe der Jahre 1893-1894 vonstatten.

Das Luftschiff wurde gebaut. Da aber das Projekt theoretisch nicht durchgearbeitet war, und man das Verhalten der Metallhülle beim Füllen der Ballons aus Seidenstoff mit Gas nicht im voraus zu analysieren vermochte, wurde der Luftschiffkörper beim probeweisen Füllen der Ballons stark deformiert.

Schwarz erklärte, dass an allem die schlechten russischen Ballons schuld seien und forderte nochmals 10000 Rubel, um neue Ballons im Ausland in Auftrag zu geben. Auch dieses Geld wurde ausgegeben, wonach Schwarz ins Ausland fuhr und nicht mehr nach Russland zurückkehrte.

An das Projekt von Ziolkowski, in einer 1892 erschienenen Arbeit theoretisch ausführlich begründet, erinnerte sich niemand, obwohl Ziolkowski mit allen ihm verfügbaren Mitteln weiter darum kämpfte, dass der Bau des Ganzmetallluftschiffes nach seinem Projekt verwirklicht wurde.

Als Ziolkowski Angaben über das Luftschiff von Schwarz erhielt, studierte er sie eingehend, fertigte Modelle an und ermittelte die aerodynamischen Kennwerte dieses Luftschiffs, indem er es dem Luftstrom in seinem Windkanal aussetzte. Eine vergleichende Analyse bewies die Vorzüge des Luftschiffs von Ziolkowski. Aber diese experimentellen Arbeiten Ziolkowskis beachtete keiner der Vertreter des Kriegsministeriums.

Ziolkowskis Arbeiten über die Theorie der Rückstoßbewegung galten als phantastisches Gedankenspiel. Irgendeine praktische Bedeutung sprach man ihnen ab. Nach dem Sieg der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution wurden in der Sowjetunion die günstigsten Voraussetzungen dafür geschaffen, dass sich eine fortschrittliche Wissenschaft entwickelt, die materielle und geistige Kultur des Volkes allgemein gehoben wird und wächst.

Es kam die Zeit, von der M. W. Lomonossow träumte, da „die Wissenschaften den Künsten den Weg weisen, die Künste die Entstehung von Wissenschaften beschleunigen“<sup>111</sup>.

Dank der Entwicklung wissenschaftlicher Methoden zum Analysieren beobachtbarer Prozesse, dank der Anhäufung von Wissen, der Entdeckung neuer Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten erkennen wir die Welt um uns und arbeiten zielbewusst Maßnahmen zur Einwirkung auf die Natur aus, erforschen sie und ergreifen Besitz von ihr, vervollkommen sie, machen die erkannten objektiven Naturgesetze dem Volk und Vaterland dienlich.

Die volle Gewissheit, dass die fortschrittliche Wissenschaft eines sozialistischen Landes zu einer objektiven Erkenntnis der Prozesse in Natur und Technik gelangt, bildet den Hauptwesenszug,

---

<sup>111</sup>Unter Künsten ist hier die Gesamtheit der praktischen Fertigkeiten in Industrie, Baukunst und Handwerk zu verstehen.



den Ausgangsgedanken des wissenschaftlich-technischen Fortschritts. Der dialektische Materialismus, der die fortschrittliche Weltanschauung darstellt, geht davon aus, dass die Welt und ihre Gesetzmäßigkeiten völlig erkennbar sind, dass unsere Kenntnisse über die Naturgesetze, durch Erfahrung und Praxis geprüft, zuverlässige Kenntnisse sind, als objektive Wahrheiten zu werten sind, dass es keine unerkennbaren Dinge gibt, aber Dinge, die noch nicht erkannt sind und die mit den Kräften der Wissenschaft und Praxis noch enthüllt und erkannt werden.

Unter den Bedingungen der Sowjetmacht wurden die Wissenschaft und ihre Methoden zum Hauptwerkzeug einer bewussten, planmäßigen Leitung der ökonomischen Entwicklung. Mit Hilfe der Wissenschaft erkennen wir nicht nur die objektiven Gesetze der Außenwelt, sondern gestalten sie auch um, während wir die materiell-technische Basis der kommunistischen Gesellschaft errichten.

Jede neue Entdeckung, jede neue Erfindung, jede neue Konstruktion erweitern den Bereich wissenschaftlicher Erkenntnis. Die Wissenschaft ist unerschöpflich in ihren Quellen und grenzenlos in ihren Ausmaßen. Wir glauben, dass Ziolkowskis Gewissheit von der Objektivität der von ihm entdeckten Wahrheiten, seine Gewissheit, dass seine Arbeiten zur Grundlage einer ganz großen technischen Umwandlung werden, die Quelle des Optimismus war, den sich Konstantin Eduardowitsch sein ganzes Leben lang erhielt.

Wie arbeitete dieser große Mensch? Studiert man aufmerksam seine Werke wie auch Aussagen seiner Freunde, Verwandten und Bekannten, so lassen sich gewisse Einzelheiten seiner schöpferischen Arbeit erkennen.

Nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution unterrichtete er verhältnismäßig wenig, und ab November 1921 lenkte er alle Kräfte fast gänzlich auf neue wissenschaftliche Ermittlungen.

Er war stets gesammelt und konzentriert. Klarheit, Zielstrebigkeit und systematisches Wirken waren die Hauptkennzeichen seines Lebens. Müßiggang und Nichtstun liebte Ziolkowski nicht. Ein einfacher Wechsel in der Arbeit war seine Erholung. Seine Beschäftigungen an einem ganz gewöhnlichen Tag, als er nicht mehr unterrichtete, sahen ungefähr so aus.

Um 8 Uhr morgens stand er auf, obwohl er schon etwas früher aufzuwachen pflegte. Gewöhnlich sang er leise vor sich hin Motive, die nur ihm bekannt waren, ohne Worte. Das war eine charakteristische Angewohnheit Ziolkowskis. In seiner Autobiographie schrieb er:

Wenn ich nicht beschäftigt war, gewöhnlich bei Spaziergängen, habe ich immer gesungen. Ich sang keine Lieder, sondern wie ein Vogel, ohne Worte. Worte hätten eine Vorstellung von meinen Gedanken gegeben, und das wollte ich nicht. Ich sang auch morgens und nachts. Das war Erholung für den Geist.

Die Motive waren von der Stimmung abhängig. Die Stimmung aber rührte aus Gefühlen, Eindrücken und oft aus der Lektüre. Auch jetzt singe ich fast jeden Tag, am Morgen wie vor dem Schlafengehen, wenn auch die Stimme schon heiser ist und die Melodien einförmig wurden. Ich habe das nie für irgend jemand gemacht, und niemand hat mich je gehört. Ich mache das nur für mich. Das war und ist ebenso ein Bedürfnis. Unklare Gedanken und Empfindungen lösten Töne aus. Die Laune zu singen überkam mich, wie ich mich erinnere, mit 19 Jahren.<sup>112</sup>

Um neun saß er schon über seiner Arbeit. Im Arbeitszimmer war es immer geräumig und hell. Ziolkowski saß nicht gerne am Tisch. Gewöhnlich schrieb er in einem tiefen Sessel, ein Stück Sperrholz über die Knie gelegt. Während er mit der linken Hand die losen Papierblätter festhielt, schrieb er mit schwungvoller, großer Schrift seine Gedanken nieder. Das Haar umrahmte silbern seine hohe, mächtige Stirn.

---

<sup>112</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

In Kaluga, in dem Haus, in dem Ziolkowski mehr als 25 Jahre lebte, ist heute ein Museum eingerichtet. In den Jahren der deutsch-faschistischen Okkupation gingen viele Ausstellungsstücke verloren, aber dennoch haben die Mitarbeiter des Museums das Haus, wie es zu Lebzeiten des Gelehrten war, so gut wie möglich wieder eingerichtet.

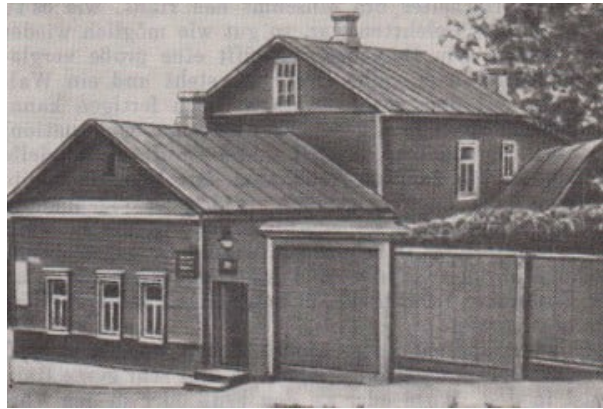


Abb. 40. Das Haus von K. E. Ziolkowskis in Kaluga (heute Museum)



Abb. 41. K. E. Ziolkowskis Arbeitszimmer

Die Besucher verblüfft eine große verglaste Veranda, in der eine Drehbank steht und ein Walzenwerk, mit dem man gewelltes Blech fertigen kann. Wiederhergestellt (nach der faschistischen Okkupation) und im Erdgeschoss ausgestellt sind die Luftschiffmodelle und der funktionsfähige Windkanal. Die Veranda diente Ziolkowski als Forschungslabor, in dem er eigenhändig die ersten Muster aller seiner Anlagen und Geräte herstellte. Zu Hause fertigte er eine große Zahl Demonstrationsmodelle für den Physik- und Mathematikunterricht an der Borowsker Lehranstalt und der Lehranstalt der Kalugaer Eparchie.

Nach vierstündiger angespannter Arbeit machte er sich zu einem Spaziergang auf, Ziolkowski fuhr sehr gerne Rad, meist in den Wald oder an den Fluss oder in den Vorstadtpark von Kaluga. Dabei legte er Tag für Tag 7-10 km zurück.

Nachdem er vom Spaziergang zurückgekehrt war, aß er zu Mittag, ruhte sich etwas aus und arbeitete, in seinem Sessel sitzend, wiederum drei bis vier Stunden. Abends empfing er Besucher. Um die Gesprächspartner besser zu hören, konstruierte und baute er sich ein Hörrohr in Form eines langgestreckten Kegels.

Konstantin Eduardowitsch las sehr viel. Seine Lieblingsautoren waren Tschekow, Gorki und Mamin-Sibirjak. Die Lektüre ihrer Werke beschloss oft seinen Arbeitstag und war ihm eine gewisse Erholung. Diese tägliche Arbeitsdisziplin zügelte und lenkte das schöpferische Streben seiner begeisterungsfähigen, leidenschaftlichen Natur. Er verstand es, sich zu konzentrieren. Die Gedanken und Ideen, von denen sein begabter Kopf übersprudelte, bewahrten ihm den

Optimismus in den schwierigsten Augenblicken des Lebens.

Manchmal gab er sich völlig seinen Leidenschaften hin, Dann musste alles zurückstehen, und die Gezieltheit der Bemühungen ergab einen solch außerordentlichen Schwung und eine solche Kraft der Gedanken, dass jeder aufmerksame Leser seiner Werke davon überwältigt wird. Solche schöpferischen Höhenflüge hatte Ziolkowski, als er an dem Projekt des lenkbaren Ganzmetall-Aerostaten (Luftschiffs) arbeitete, am Flugzeugprojekt, an der Theorie des Raketenfluges und an der philosophischen Arbeit „Der Monismus des Weltalls“.



Abb. 42. K. E. Ziolkowski bei einem Ausflug

Als Experimentator und Erfinder begeisterte er sich auch an technischen Neuheiten. Der Kalgauer Ingenieur A. W. Assonow, der Konstantin Eduardowitsch gut kannte, schrieb über ihn:

Das war nach dem Umzug in das Häuschen am Bergrand. Über die Werkstätten von Wereintinow kaufte er für 80 Rubel ein sehr altes Motorrad. Für die Zündung befestigte er einen Kasten mit selbst hergestellten Trockenelementen hinter dem Sitz auf einem speziell hergerichteten Gestell und beschloss, sich auf die Reise zu begeben.

Die Begeisterung für das Motorrad war so groß, dass alle sonstigen Angelegenheiten und Arbeiten zur Seite geschoben wurden. Er träumte von irgendeinem neuen Vergaser, einem Zündmagneten usw. Aus diesem Anlass schrieb er mir: „Ich treibe mich mit dem Motorrad schrecklich herum, möchte mich aber zusammennehmen und ernsthaft beschäftigen.“

In allen seinen Unternehmungen und Leidenschaften ist das unbändige Bestreben sichtbar, den ganzen Untersuchungsweg vom Anfang bis zum logischen Ende selbständig zurückzulegen. Während er an verschiedenen wissenschaftlichen oder technischen, literarischen oder philosophischen Problemen arbeitete, dachte er immer an die Menschen, an das sozialistische Vaterland, an das allgemeine menschliche Glück.

Mehr als alles interessierte mich, was den Leiden der Menschheit ein Ende setzen könnte, ihr Macht, Reichtum, Wissen und Gesundheit verleiht,

schrieb Ziolkowski 1935. Für seine Verdienste um das Sowjetland wurde Ziolkowski 1932 mit dem Orden des Roten Arbeitsbanners ausgezeichnet, den ihm M. I. Kalinin überreichte.

Mit dem Gefühl höchster Ehrerbietung beglückwünsche ich Sie, Held der Arbeit,

telegrafierte der große russische Schriftsteller Maxim Gorki zu Konstantin Eduardowitschs 75. Geburtstag nach Kaluga.

Der Umfang seines wissenschaftlichen Gesichtskreises lässt sich teilweise durch die Titel seiner Artikel umreißen, die in der Periode von 1916 bis 1930 geschrieben wurden. Etwa ein Sechstel der in diesen Jahren veröffentlichten Arbeiten sei hier aufgeführt:

„Kummer und Genie“ (Kaluga 1916),

„Außerhalb der Erde“ (phantastische Erzählung, veröffentlicht 1918 in der Zeitschrift „Natur und Menschen“);

„Der Monismus des Weltalls“ (Kaluga 1925),

„Der Urgrund des Kosmos“ (Kaluga 1925),

„Die Erforschung des Weltraumes mit Rückstoßgeräten“ (Kaluga 1926),

„Meine Schreibmaschine“ (Kaluga 1928),

„Verstand und Leidenschaften“ (Kaluga 1928),

„Die Pflanze der Zukunft“ (Kaluga 1929),

„Den Kosmonauten“ (Kaluga 1930),

„Das rückstoßgetriebene Flugzeug“ (Kaluga 1930),

„Vom Flugzeug zum Sternenschiff“ (Kaluga 1930),

„Wissenschaftliche Ethik“ (Kaluga 1930).



Abb. 43. K. E. Ziolkowski im Jahre 1931

Wie der bekannte Orientalist I. D. Kratschkowski mit Recht bemerkte, muss man einen Menschen gar nicht unbedingt direkt kennen, um ihn gut zu verstehen: Bücher, Briefe und Fotografien enthüllen ihn nicht schlechter, manchmal vielleicht sogar ungezwungener, als persönlicher Umgang. Kleinere Zitate aus grundlegenden Arbeiten und Briefen Konstantin Eduardowitschs lassen einen großen originellen Geist und menschlichen Adel erkennen, Zielstrebigkeit und Bessenseheit bei wissenschaftlichem Suchen.

Ziolkowski sagte:

... Es ist schwierig, das Schicksal irgendeines Gedankens oder irgendeiner Entdeckung vorauszusehen: wird sie verwirklicht und im Laufe welcher Zeit (sind dazu Jahrzehnte oder Jahrhunderte nötig), wie wird sie verwirklicht, in welcher Form, wozu wird sie führen, wie sehr wird sie das Leben der Menschheit verändern und verbessern, ob sie unsere Ansichten und unsere Wissenschaft revolutioniert.

... Wieviel falsche Entdeckungen gab es, hinter denen wahrheitsliebende und maßgebliche Leute standen? Und ... - wie vieles wurde missachtet, aus dem hinterher etwas Großes geworden ist?

... Erst unsere Sowjetmacht hat sich mir gegenüber menschlich verhalten. Die neue und wahre Heimat schuf mir die Voraussetzungen, zu leben und zu arbeiten.

Im Jahre 1932 schickte mir die größte kapitalistische Gesellschaft für Metallluftschiffe einen Brief und bat, nähere Angaben über meine Luftschiffe zu machen. Ich habe nicht geantwortet, ich betrachte meine Kenntnisse als Eigentum der UdSSR.

Ich bin stolz auf mein Land, ja, stolz! Komsomolzen und Jugendliche, lernt noch mehr, macht es mit Freude, und vergesst nicht für eine einzige Stunde die Zukunft unserer Heimat.

... Es gibt wirklich Sachen und Dinge, die nicht zeitgemäß sind, aber sie erledigen sich von selbst ohne jede Nachhilfe. Gleichzeitig ist bekannt, dass alle großen Vorhaben sich als unzeitgemäß erwiesen. Sie wurden zwar nicht untersagt, fanden aber doch keine Gegenliebe oder gingen nur langsam voran mit großen Anstrengungen und Opfern. So haben sich Eisenbahnen als unzeitgemäß erwiesen. Kommissionen von bekannten Gelehrten und Fachleuten fanden sie nicht nur unaktuell, sondern sogar schädlich und verderblich, beispielsweise für die Gesundheit. Ein Dampfer galt als Spielzeug.

... Das Radio ist eines der modernen Wunder. Glücklicherweise seid Ihr (Ziolkowski wendet sich an junge Techniker - A.K.), dass Ihr Euch mit etwas befasst. Mit der Zeit werden sich die kurzen Radiowellen über die Atmosphäre hinaus verbreiten und die Grundlage für den himmlischen Nachrichtenverkehr sein.

... Wie viele Genies unter uns Menschen gab es zu den verschiedenen Zeiten, brachten auf Erden die Menschheit voran auf dem Weg zu Wissen und Glück. In jedem Augenblick irdischen Lebens finden sich solche ungewöhnlichen, für die Erde kostbaren Menschen. Wie viele von ihnen sind vergessen durch menschliche Unkenntnis, wie viele blieben unerkannt und kamen um, ohne ihre wohltätigen Eigenschaften gezeigt zu haben. Die künftige Ordnung auf der Erde wird dieses Unglück beseitigen, diesen unermesslichen Verlust für die Menschheit, und an der Spitze der Verwaltung werden tatsächlich die nützlichsten, vollkommensten Leute stehen.

... Wir müssen tapfer sein und dürfen wegen Misserfolgen unser Wirken nicht einstellen. Man muss deren Ursachen suchen und sie beseitigen.

1912 schrieb er in einem Brief an B. N. Worobjow (einem bekannten Sammler der wissenschaftlichen Hinterlassenschaft von K. E. Ziolkowski): .

Sie sehen, dass ... mein Leben ausschließlich aus Arbeit besteht, dass ich immer noch hoffe, von Nutzen zu sein, selbst noch nach dem Tode.

... Meine Arbeit befasst sich bei weitem nicht mit allen Seiten der Angelegenheit und entscheidet durchaus nicht über ihre praktische Seite in bezug auf die Ausführbarkeit. Doch in ferner Zukunft wird sich der Nebel lichten und werden sich dermaßen verführerische und bedeutungsvolle Perspektiven abzeichnen, dass davon heute schwerlich einer träumt.

... Freude macht gutmütig.

... Neue Ideen muss man unterstützen, bis sie verwirklicht werden oder bis ihre völlige Haltlosigkeit, Schädlichkeit oder Unbrauchbarkeit aufgeklärt wird. Nicht viele haben solchen Mut, aber das ist eine sehr wertvolle menschliche Eigenschaft.

An Tagen schlechter Stimmung schrieb Ziolkowski seinen Anhängern und Freunden bittere (pessimistische) Worte:

... Alter und Arbeit vermittelten mir Wissen; Erfahrung und Vorsicht, aber raubten den Enthusiasmus und den Glauben an jedwede Theorie bis zu ihrer Prüfung im Leben.

... In diesem Jahr (1927) habe ich mein 70. Jahr vollendet. Mit mir geht es schnell bergab. Ich bin schrecklich matt geworden, verliere den Mut und habe nachgelassen im Drang zu leben und zu arbeiten.

Schon den jungen Ziolkowski begeisterte die Möglichkeit kosmischer Reisen, die Überwindung der Erdanziehungskraft. Ziolkowski träumte viel, dachte nach, berechnete, konstruierte. Er sagte:

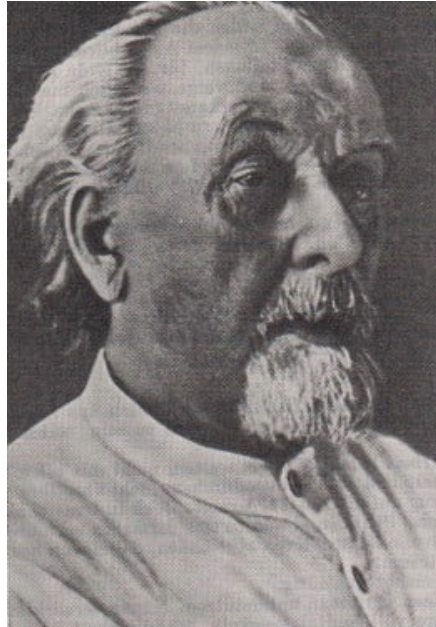


Abb. 44. Ziolkowski im Jahre 1933

... Der Planet ist die Wiege des Verstandes, aber man kann nicht ewig in der Wiege leben.

... Die Menschheit wird nicht ewig auf der Erde bleiben, sondern auf der Jagd nach Licht und Raum zuerst schüchtern über die Grenzen der Atmosphäre hinausdringen und sich dann den ganzen Raum um die Sonne erobern.

... Je mehr ich gearbeitet habe, desto mehr habe ich verschiedene Schwierigkeiten und Hemmnisse gefunden. Bis in die jüngste Zeit habe ich vorausgesetzt, dass Hunderte von Jahren nötig sind, um Flüge mit astronomischen Geschwindigkeiten (im Bereich von 8-17 km/s) zu verwirklichen. Das wurde durch jene schwachen Resultate bestätigt, die man bei uns und im Ausland erhielt. Aber die pausenlose Arbeit in der letzten Zeit hat diese meine pessimistischen Auffassungen erschüttert: Man hat Verfahren gefunden, die schon nach Jahrzehnten erstaunliche Ergebnisse bringen werden.

Die Aufmerksamkeit, die unsere Sowjetregierung der Entwicklung der Industrie in der UdSSR und jeder Art von wissenschaftlicher Forschung beimisst, wird, hoffe ich, diese meine Hoffnung rechtfertigen und bestätigen.

... All das, wovon ich spreche, ist ein schwacher Versuch, die Zukunft von Luftfahrt, Luftschiffahrt und Raketen vorzusehen. Von einem bin ich fest überzeugt - der Vorrang wird der Sowjetunion gehören. Die kapitalistischen Länder arbeiten ebenfalls an diesen Fragen, aber die kapitalistische Ordnung behindert alles Neue. Nur in der Sowjetunion haben wir eine mächtige Luftfahrtindustrie, eine Vielzahl wissenschaftlicher Einrichtungen, gesellschaftliches Interesse für Fragen der Luftfahrt und eine ganz besondere Liebe aller Werktätigen zu ihrer Heimat, die den Erfolg unserer Vorhaben sicherstellt.

... Unsere Jugend muss noch mehr lernen, sich möglichst viel Wissen aneignen und selbständig arbeiten - sonst werdet Ihr der Heimat nichts geben können. Wir müssen unsere Zukunft verstehen und die Zukunft unserer Erfinder. Wir müssen im Namen unserer ruhmreichen Heimat arbeiten. Ihr, junge Freunde, müsst stolz sein auf die Heimat, genauso wie ich, ein alter Mann, stolz auf sie bin.

... Ich wünsche Euch ein frohes, reiches Leben, Ihr alle erlebt eine glückliche Zeit und werdet in unserer sozialistischen Heimat noch glücklicheren Tagen entgegengehen.

Im Jahre 1928 schrieb er:<sup>113</sup>

Seien wir mutig. Die Strafe der Autoritäten werden wir nicht fürchten, auch wenn sie Jahrtausende alt sind. Wir werden ihnen gern folgen, wenn sie vom Standpunkt zweifelsfreier Kenntnisse zu wahren, wenn auch von ihnen nicht bewiesenen Schlüssen gekommen sind. "

Wie können wir schuldig sein, wenn wir unserer Vernunft folgen?

Was kann es denn Höheres geben als sie? Natürlich sind Wesen mit höherer Vernunft als wir möglich. Aber wo sind sie? Sie kommen uns nicht zu Hilfe. Wenn sie kommen, dann werden wir sie anhören. Jetzt haben wir nur die Hinweise unserer begabteren Mitmenschen. Die Vernunft des Himmels schweigt aber.

Im Laufe der Jahrtausende wird sich die Wissenschaft ausbreiten, vervollkommen, und der Mensch selbst wird sich zum Besseren wandeln. Doch so lange das nicht ist, muss man sich mit dem Vorhandenen begnügen. Unsere Schlussfolgerungen sind sicher unvollständig, sogar fehlerhaft. Aber was denn tun, wenn wir jetzt nicht das haben, was in hundert, tausend oder einer Million Jahren sein wird und uns richtigere Schlüsse liefern wird!

Aus einem Brief an die Erfinder-Vereinigung (vom 29. 10. 1927):

Die Ehre geht mir über alles, selbst über den Erfolg.

... Mein ganzes Leben lang bin ich begierig auf Erfolge und Fortschritte. Eben deshalb verstehen nur die Bolschewiki mich. Ich bin der Partei und der Sowjetregierung unendlich dankbar.

Seit 1939 studierte der Verfasser dieses Buches alles, was von Ziolkowski veröffentlicht worden ist, und machte sich eingehend mit dem Archiv Konstantin Eduardowitschs vertraut, das von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR aufbewahrt wird. Wir möchten einige Gedanken äußern über die Originalität und Eigenständigkeit des Schaffens dieses hervorragenden Wissenschaftlers, Denkers und Menschen.

Gewiss war er ein Enzyklopädist und arbeitete erfolgreich auf vielen Gebieten von Wissenschaft und Technik: Flugwesen, Raketentechnik, Astronomie, Weltraumfahrt, Biologie, Philosophie und Soziologie. In einer der Varianten seiner Autobiographie („Skizzen aus meinem Leben“) schrieb Ziolkowski:

Ich suchte in einem fort, suchte selbständig, ging von einer schwierigen und ernsthaften Frage zu einer anderen, noch schwierigeren und wichtigeren über. Meine Gedanken und meine Phantasie wurden nur von der Wissenschaft beherrscht.<sup>114</sup>

Konstantin Eduardowitsch war ein ungestümer Träumer. Sein Geist sprudelte über vor lauter Gedankenfülle. Er dachte über den noch ungenutzten, kolossalen Teil der Sonnenenergie nach, über die Gesetze der Raketenbewegung, über den Bau großartiger Ganzmetallluftschiffe und über Flugzeuge mit guter Stromlinienform, über neue Formen des Staatsaufbaus, über künstliche Inseln zwischen den Planeten, bewohnt von den mutigen Nachkommen derer, die unseren Planeten bereits in einen blühenden Garten verwandelt haben, über eine neue internationale Wissenschaftssprache anstelle des mittelalterlichen Lateins und über eine Vielzahl anderer Fragen.

Strenge mathematische Analyse und obligatorische quantitative Einschätzung - die Zahl - bändigten diese Flüge der Phantasie.

---

<sup>113</sup>K. E. Ziolkowski: Die Liebe zu sich selbst oder der wahre Egoismus. Kaluga 1928 im Eigenverlag des Autors. S. 4

<sup>114</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. XV.

Leitgedanke seines Forschens war die wissenschaftliche Berechnung, die dem Traum, der Phantasie, dem Märchen nachfolgte.

Er bemühte sich, seinen Zeitgenossen neue, unbekannte Wege wissenschaftlichen Forschens zu zeigen, neue unentdeckte Welten, neue menschliche Beziehungen, ein anderes Leben. Er beunruhigte die Gemüter, rief auf, Großes zu schaffen, indem er die Lust weckte, nachzudenken, zu forschen und etwas zu vollbringen. Er war groß in seinen Erfolgen, aber auch in seinen Irrtümern.

Er war bezaubernd in seinem leidenschaftlichen Glauben an die Kraft der Vernunft, die Kraft der Wissenschaft, die Kraft des unbändigen menschlichen Strebens zu Besserem.

Er lernte, indem er schuf. Mitunter fand er auf dornigen Wegen, was andere schon früher entdeckt hatten, aber das betrübte den Gelehrten keineswegs, sondern überzeugte ihn lediglich von der Richtigkeit der gewählten Methode. Unaufhaltsam zog ihn der Prozess intellektuellen Schaffens voran. Die Schaffensfreude erwärmte und nährte seine Vorstellungskraft.

Viele Gelehrte verstanden ihn nicht. Er veröffentlichte seine Artikel in Zeitschriften, die selten die Aufmerksamkeit der offiziell anerkannten Wissenschaftler auf sich zogen. Mehr bekannt war er bei Ingenieuren und Erfindern, Leuten, die ein Gefühl hatten für Neues und Überraschendes. Ende des 19. Jh. und während des ersten Viertels des 20. Jh. war der eigentliche Gegenstand seiner hauptsächlichsten Untersuchungen für die Mehrheit der Gelehrten unaktuell.

Unter „allgemeiner Zustimmung“ wurden die Pulverkampfraketen in den 80er Jahren des 19. Jh. zu Grabe getragen. Trägen und kalten Geistern schien es, dass Ziolkowski über etwas schreibt, das unerfüllbar, durch den Gang der Geschichte bereits überholt ist. Form und Stil seiner Artikel reizten oft die Pedanten. Neue, russifizierte Bezeichnungen, die von Ziolkowski in den aus der Schulzeit gewohnten Formeln verwendet wurden, erachtete man als eine Grille des aussterbenden Slawophilentums.

Das Fehlen von Verweisen auf die veröffentlichten Ergebnisse von Vorgängern bezeichnete man als Dünkel und Spiel mit der Genialität.

Das traurige Schicksal fast aller seiner in der Zeit vor der Revolution gemachten Entdeckungen weckte in seinem Gemüt einen Proteststurm. In Gedanken durchblätterte er das große Buch der Wissenschaftsgeschichte und verglich seine Entdeckungen mit denen großer Naturwissenschaftler und Techniker. Viele Vergleiche und Analogien imponierten ihm.

Im Vorwort zu seiner Arbeit „Eine Rakete in den kosmischen Raum“ sagt er:

Lamarck schrieb ein Buch, worin er die allmähliche Entwicklung der Lebewesen von niederen Organismen zum Menschen analysiert und nachweist. Die französische Akademie mit dem berühmten Cuvier an der Spitze verspottete dieses Buch und stellte Lamarck als Esel hin.

Galilei wurde verhört, in den Kerker gesperrt und gezwungen, seiner Lehre von der Drehung der Erde schmäählich abzuschwören. Nur dadurch rettete er sich vor dem Flammentod.

Kepler saß im Gefängnis. Bruno wurde verbrannt wegen der Lehre, dass es viele Welten gibt. Die französische Akademie lehnte Darwin ab, die russische Mendelejew. Kolumbus wurde in Ketten gelegt, nachdem er Amerika entdeckt hatte. Mayer brachte man unter dem Spott der Gelehrten ins Irrenhaus. Der Chemiker Lavoisier wurde hingerichtet. Copernicus erhielt auf dem Sterbelager seine gedruckten Werke.

Mendelejews Arbeiten lenkten erst Jahrzehnte nach ihrem Erscheinen die Aufmerksamkeit auf sich. Galvani, der die dynamische Elektrizität entdeckt hat, wurde ausgelacht.

Der Erfinder des Buchdrucks, Gutenberg, starb in Armut ebenso wie (vor kurzem) auch der Erfinder der Kühlmaschine Kasimir Pelier. Fulton wurde von Napoleon selbst verschmäht. Die um der Wahrheit willen Verbrannten und Gehängten sind nicht zu zählen. Die Geschichte ist übervoll mit Fakten dieser Art. Und warum war es den Akademikern, Gelehrten und Professionellen beschieden,



eine solch klägliche Rolle als Tilger der Wahrheit, ja als deren Bestrafer zu spielen?

Nach 1917 kritisierte Ziolkowski scharf die Blindheit der vorrevolutionären akademischen Wissenschaft gegenüber Neuem, ihre Anhänglichkeit an das, was schon hinfällig wird, aber amtlichen Segen hat.

Er verstand, dass er in den ersten Reihen jener stand, die Großes in die Wege geleitet haben, und er wollte allen die Augen öffnen für jene Schätze, die sich tagtäglich seinen geistigen Blicken darboten.

Manchmal formulierte er seine Gedanken als geniale Offenbarung. In der bekannten philosophischen Arbeit: „Der Monismus des Weltalls“<sup>115</sup>, erschienen 1925, schrieb er:

Meine Jahre schwinden dahin, und ich fürchte, dass Ihr aus diesem Leben gehen werdet mit Kummer im Herzen, ohne von mir erfahren zu haben (aus einer reinen Quelle des Wissens), dass eine ununterbrochene Freude auf Euch wartet ... Ich möchte Euch vom Weltall begeistern, vom Schicksal, das alle erwartet, und von der wunderschönen Geschichte der Vergangenheit und Zukunft eines jeden Atoms.

Das Schaffen Konstantin Eduardowitschs verlief unter Bedingungen, die selbst für die Zeiten im zaristischen Russland sehr schwer waren. Ein elendes Gehalt. Eine große Familie. Eine enge und unbequeme Wohnung. Not und Unterernährung.

Nahezu völliges Unverständnis der Mitbürger. Brände und Überschwemmungen vernichteten mehrfach Manuskripte und Berechnungen. Weder in Borowsk noch in Kaluga hatte er die nötige wissenschaftliche Literatur. Von wissenschaftlichen Zeitschriften konnte er nur träumen. Die groben Spötteleien der Spießbürger in der russischen Provinz waren für den Gelehrten eine einzigartige „Ermunterung“.

Schwerlich förderten die Sticheleien der Lehrerkollegen, die gern bereit waren, an der kleinsten methodischen Neuerung herumzunörgeln, seine Arbeitsproduktivität. Alle waren unzufrieden darüber, dass ein Armer wie Ziolkowski aus eigenen Mitteln wissenschaftliche Beiträge druckt und unentgeltlich versendet. Der Verfasser glaubt, dass die Taubheit die Größe dieses Menschen vor dem Schlamm des „loyalen und dickfelligen“ Kleinbürgertums rettete.

Den Inhalt seiner wissenschaftlichen Artikel verstanden im vorrevolutionären Kaluga höchstens 10-15 Personen.

In einem Schreiben an den Leningrader Professor N. A. Rynin (1926) charakterisierte Ziolkowski die Bedingungen seines wissenschaftlichen Schaffens vor der Revolution:

Bücher gab es damals allgemein wenig und für mich ganz besonders. Deshalb musste ich mehr selbständig denken und oft Irrwege gehen. Nicht selten erfand und entdeckte ich längst Bekanntes. Ich lernte, indem ich schaffte, wenn auch oft erfolglos und mit Verzögerungen. Dafür habe ich mich daran gewöhnt, nachzudenken und kritisch an alles heranzugehen. Im übrigen glaube ich, die Eigenständigkeit liegt in meiner Natur. Die Taubheit aber und die unfreiwillige Abkapselung von der Gesellschaft haben meine Selbständigkeit nur ausgedehnt.

Die mathematischen Verfahren des 20. Jh. beherrschte er nicht in allen Einzelheiten. Der in seinen Arbeiten verwendete mathematische Apparat ist sehr einfach und für jeden verständlich, der den üblichen Hochschullehrstoff beherrscht. Doch er sah und erahnte das Wesen vieler Erscheinungen, wobei er nicht davor zurückschreckte, sich auch einmal zu irren, wenn er versuchte, neue Gesetzmäßigkeiten zu entdecken.<sup>116</sup>

---

<sup>115</sup>Ziolkowski betonte, dass „Der Monismus des Weltalls“ ein auf die exakten Wissenschaften gegründeter Versuch ist, das Schicksal allen Lebens zu bestimmen (Archiv der AdW der UdSSR, f. 555, op. 2, dl. 10.

<sup>116</sup>Konstantin Eduardowitsch bemerkte zu Recht: „Die einfache Ausdrucksweise einiger meiner Arbeiten: Stellt

Mathematische Verfahren und Symbolik, das ist so etwas wie Notenschrift oder die Regeln des Versbaus. Wenn auch man gut erklären kann, welche Akkorde und Akkordfolgen in Haydns und Mozarts Menuetten stecken, braucht man noch nicht selbst solche Musikstücke schreiben zu können. Man kann den Bau und die Rhythmik der Verse von Puschkin, Blok und Jessenin vielfältig erörtern, aber sich zu seinem Kummer überzeugen, dass nicht darin die echte Poesie liegt.

Es kann jemand all die wunderbaren mathematischen Entdeckungen auswendig wiedergeben, ohne sie auf die einfachste Sache anwenden zu können. In unserem Bewusstsein gibt es einen gewissen unmerklichen logischen Sprung, wenn wir von Bekanntem zu Unbekanntem fortschreiten, wenn uns die Werke der großen Vorgänger nicht hindern, in dieser Welt Neues, noch Unentdecktes zu sehen.

Das Schwierigste in der wahren wissenschaftlichen Erziehung besteht eben darin, dass der Lernende nicht dem Zauber des Bekannten, der oft befähigteren Vorgänger verfällt, sondern sich eine eigene schöpferische Auffassung von der Wirklichkeit bewahrt.

Ziolkowski liebte es nicht, das Vorgehen seiner Vorgänger im Detail zu verfolgen. Gewöhnlich erfasste er das „Rosinchen“ des Neuen in einer beliebigen wissenschaftlichen Arbeit, und Beweise dachte er sich selbst aus. Deshalb legte Ziolkowski auch altbekannte wissenschaftliche Erkenntnisse auf eigene, überraschende, neue Art dar.

Er verstand zu träumen und die „verführerischen und gewichtigen Perspektiven“ der Raketentechnik zu sehen. Er ist klug und präzise in seinen Formulierungen und Schlussfolgerungen, er gibt Denkanstöße und findet den Zugang zum Allerbesten im menschlichen Herzen, wenn er neue Probleme aufwirft.

Im Vorwort zu seiner Arbeit „Die Pflanze der Zukunft“ kennzeichnet Ziolkowski seine Schaffensweise so:

Warum erwähne ich oft nicht die Quellen und setze den Lesern nicht die Weisheit enzyklopädischer Wörterbücher vor? Deswegen, weil das den Umfang der Arbeiten schrecklich vergrößert, den Leser verwirrt und ermüdet, ihn veranlasst, das Buch aus der Hand zu legen. Zeit und Kräfte sind so knapp! Mein Ziel ist es, auf kleinem und zuträglichem Raum viel zu geben. Ich brenne vor Verlangen, allen Menschen vernünftige und belebende Gedanken mitzuteilen (Hervorhebung - A.K.). Außerdem arbeite ich selbständig und neu, nur die Grundlagen sind wissenschaftlich, alt und bekannt.

Eine Vielzahl von Namen, Meinungen und Daten stört die Hauptsache, sich die Wahrheit zu eigen zu machen. Diese Daten, Namen und gegensätzlichen Meinungen sind eine Angelegenheit der historischen Wissenschaften. Ich suche aus allem Material das heraus, was ich für das wahrscheinlichste halte. Das Zusammentragen erfordert natürlich eine andere Darstellung. Meine Arbeiten sind kein Sammelsurium.<sup>117</sup>

Natürlich wollte er eine Veröffentlichung seiner Arbeiten und erstrebte eine sachliche Erörterung seiner Werke. Aber für sich selbst erkannte er nur das Urteil des Volkes an. Und darum schrieb er wiederholt:

Ich möchte nur dem vorgefassten Urteil der Fachleute entgehen, die Arbeiten für untauglich erklären, weil diese der Zeit vorausseilen (Hervorhebung - A.K.) oder wegen der allgemein menschlichen Schwäche: nichts Originelles anzuerkennen, was mit eingebürgerten und bereits verfestigten Gedankengängen nicht übereinstimmt.

Überhaupt möchte ich nach dem Erscheinen meiner Arbeiten von jeglichem Urteil und jeglicher Kontrolle außer der gesellschaftlichen verschont bleiben. Wenn die Manuskripte nicht herausgegeben werden, dann können sie nach meinem Tode (ich bin 65) leicht verlorengehen. Außerdem gibt mir

---

ihren besonderen Wert dar“ (Archiv der AdW der, UdSSR, f. 555, op. 2, d. 17).

<sup>117</sup>K. E. Ziolkowski: Die Pflanze der Zukunft. Kaluga 1929. S. 1

ihre Veröffentlichung den Mut, die übrigen Arbeiten und Erfindungen zu vollenden. Der Staat wird durch dieses kleine Opfer nicht ärmer, denn solche wie mich gibt es nicht viele.<sup>118</sup>

Konstantin Eduardowitsch begriff sehr wohl die Bedeutung und die Originalität seiner Arbeiten. Leidenschaftlich gern hätte er sie veröffentlicht gehabt. Aber er wollte sie nicht dem Gutachten von Fachleuten unterwerfen, er wollte nicht, dass irgend jemand seine Arbeiten redigiert oder rezensiert. Er schreibt:

Wie schade, dass ich nicht die Möglichkeit habe, meine Werke herauszugeben. Die einzige Rettung für diese Arbeiten ist ihre sofortige, wenn auch schrittweise Herausgabe hier in Kaluga unter meiner eigenen Aufsicht. Ich werde niemals einwilligen, die Manuskripte dem Urteil mittelmäßiger Leute auszusetzen.

Ich brauche das Urteil des Volkes. Geraten meine Werke an Professionelle, werden sie abgelehnt oder gehen einfach verloren. Durchschnittsmenschen, auch wenn sie gelehrt sind, können, wie die Geschichte zeigt, nicht Richter über schöpferische Arbeiten sein. Nur durch ihre Herausgabe, nach hartem Kampf, werden sich nach einiger Zeit im Volke verständnisvolle Leser finden, die ihnen auch eine gerechte Würdigung zuteil werden lassen und von ihnen Gebrauch machen. Und darüber vergehen Jahrhunderte, ja Jahrtausende.

... Ich habe Entdeckungen auf vielen Wissensgebieten gemacht, unter anderm in der Lehre vom Atombau; wer kann da Richter sein? Andere meiner Arbeiten eilen auch der heutigen Zeit voraus. Rettet sie, wenn Ihr Euch Gutes wünscht! Wozu schlimme Irrtümer wiederholen, die in der Geschichte der Entdeckungen und Erfindungen beschrieben sind! Man muss diese Lehren beachten und die Wahrheit nicht noch mehr mit Füßen treten.<sup>119</sup>

Man kann mathematische Verfahren lehren. Von anderen Geschaffenes erlernen, dazu gehört nur Geduld. Aber man kann schwerlich jemandem beibringen, Großes zu schaffen. Der Nutzen auch der besten wissenschaftlichen Schule besteht darin, dass sie die Möglichkeit vermittelt, die guten natürlichen Gaben wachzurufen und zu vervollkommen. Aber keine wissenschaftliche Schule kann unzureichende Fähigkeiten ersetzen, kann Beobachtungsgabe und Scharfsinn herausbilden, wenn sie nicht da sind.

K. E. Ziolkowski hatte hervorragende Fähigkeiten, einen ungewöhnlich scharfen Blick für Dinge der Natur und Technik, eine ungeheure Willenskraft und Geduld. Seine Arbeiten zur Raketendynamik und zur Theorie des interplanetaren Verkehrs waren die ersten streng wissenschaftlichen Untersuchungen darüber in der internationalen wissenschaftlich-technischen Literatur.

Die mathematischen Formeln und Berechnungen darin verdecken nicht die tiefgründigen und klaren Gedanken, die originell und deutlich formuliert sind. Die Zeit, der strenge und erbarungslose Richter, offenbart und bekräftigt nur die Großartigkeit der Ideen, die Eigentümlichkeit des Schaffens und die große Klugheit beim Eindringen in neue Gesetzmäßigkeiten und Erscheinungen der Natur, die diesen Werken K. E. Ziolkowskis eigentümlich sind.

---

<sup>118</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. IV. S. 430.

<sup>119</sup>K. E. Ziolkowski: Eine Rakete in den kosmischen Raum. Kaluga 1924. S. V-VI

## 11 Anhang: Der ideale Gelehrte nach den Auffassungen von K. E. Ziolkowski

Das Buch der Sterne lag offen vor ihm und mit ihm sprachen des Meeres Wellen.  
E. A. Baratynski

<sup>120</sup>1. Die vorliegende Skizze verfolgt einen ganz praktischen Zweck. Der Autor möchte durch eine Analyse von Äußerungen Konstantin Eduardowitschs Züge des Wissenschaftlers von heute heraus Schälen.

Ziolkowskis Gedanken über die schöpferische wissenschaftliche Arbeit werden durch den gesamten Entwicklungsgang der Wissenschaft bestätigt und stimmen in einer Reihe von Fällen mit Äußerungen bedeutender Wissenschaftler - Zeitgenossen von K. E. Ziolkowski - fast wörtlich überein.

Hauptaufgabe eines Hochschullehrers ist es, zu untersuchen, ob ein junger Student später seinem Land Ruhm bringen kann. Mit der Analyse begabter Gelehrter hat sich der Verfasser viele Jahre befasst.

Es ist bekannt, dass die Zahl der mit wissenschaftlicher Arbeit beschäftigten Menschen in den fortgeschrittenen Ländern der Welt ständig wächst. Das bedeutet, dass ein immer größerer Teil der Bevölkerung mit wissenschaftlichen Forschungen und der Ausbildung wissenschaftlicher Kader beschäftigt ist. Deshalb ist es für den Staat wichtig, eine Methodik zur Auswahl begabter Leute für die Wissenschaft zu entwickeln und selbstverständlich auch in unseren wissenschaftlichen Einrichtungen ein solches intellektuelles Klima zu schaffen, das einen hohen Nutzeffekt der schöpferischen Tätigkeit gewährleistet.

Um aber die Diagnostik für die Auswahl künftiger Gelehrter in der Praxis richtig auszuführen, ist es notwendig, die Grundzüge eines echten Wissenschaftlers zu ermitteln, oder zumindest die verstandesmäßigen und charakterlichen Eigenschaften eines Menschen zu umreißen, der fähig ist, neue Richtungen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zu schaffen. Wenn wir das Bild eines idealen Wissenschaftlers zeichnen, werden wir weitgehend Äußerungen Konstantin Eduardowitschs nutzen (aus Veröffentlichungen und Handschriften) über die Grundzüge schöpferisch denkender Persönlichkeiten, die er als „Förderer des Fortschritts“ bezeichnete.

2. Während der Arbeit an dieser Skizze las der Autor eine Reihe Monographien und Bücher großer Wissenschaftler (hauptsächlich Physiker) des 19. und 20. Jahrhunderts, die sich mit psychologischen Fragen wissenschaftlich-technischen Schaffens befassen.<sup>121</sup> Sie enthalten markante Aussagen über die bestimmenden Züge einer Gelehrtenpersönlichkeit, über seinen Charakter, seine Gefühle und Leidenschaften.

Dabei ist höchst bemerkenswert, dass die Beschreibungen des idealen Gelehrten in den Hauptpunkten übereinstimmen, die Formulierungen der charakteristischen Eigentümlichkeiten eines echten Wissenschaftlers unterscheiden sich nur im Ausdruck, aber nicht im Wesentlichen.

---

<sup>120</sup>Diesem Beitrag liegt ein Vortrag des Autors zugrunde, der am 15. September 1970 in Kaluga beim 5. Ziolkowski-Kolleg gehalten wurde. Eine ausführliche Fassung (russisch) dieses Vortrages findet sich in dem Sammelband „Istorija i metodologija jestestwennych nauk“, Nr. 14, Moskau 1974.

<sup>121</sup>Das waren unter anderem folgende russische Ausgaben:

Albert Einstein: Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten. Bd. IV. Moskau 1967;

Louis de Broglie: Auf den Pfaden der Wissenschaft. Moskau 1962;

Hermann Hesse: Das Glasperlenspiel. Moskau 1969;

R. Feynman: Der Charakter physikalischer Gesetze. Moskau 1968;

Niels Bohr: Leben und Schaffen. Sammelband. Moskau 1967.

Ich werde in dieser Skizze eine größere Anzahl von Äußerungen K. E. Ziolkowskis und Albert Einsteins anführen, wiederhole aber, dass unter allen genannten Wissenschaftlern eine seltene Einmütigkeit besteht.

Im Jahre 1928 gab Konstantin Eduardowitsch in Kaluga die kleine Broschüre „Förderer des Fortschritts“ heraus. Dort schrieb er:



Abb. 45. Ziolkowski-Denkmal in Kaluga

Förderer des Fortschritts - das sind Leute, die die ganze Menschheit und alles Leben zu Glück, Freude und Erkenntnis führen (S.12)

Ziolkowski stellte eine Reihe von Kategorien dieser Förderer des Fortschritts auf:

- unter ihnen sind Leute, die die Menschheit zu einem Ganzen formieren,
- Erfinder von Maschinen, die die herzustellenden Erzeugnisse verbessern, den Aufwand an Arbeit verringern und diese erleichtern,
- Erfinder von Maschinen zur Nutzung der Naturkräfte,
- Leute, die Naturgesetze entdecken, die Geheimnisse des Weltalls, die Eigenschaften der Materie enthüllen, den Kosmos als komplizierten Automaten, der selbst seine Vervollkommnung erzeugt, erklären.

Konstantin Eduardowitsch betrachtete diese Kategorien als die „wertvollsten“ für die Menschheit. Die letzte Kategorie war die Mehrzahl der beamteten Wissenschaftler und Hochschullehrer. Ziolkowski charakterisierte sie so:

Zu den Förderern des Fortschritts gehören auch jene, die empfänglich sind für große Entdeckungen, die andere gemacht haben, sich mit ihnen vertraut machen und sie popularisieren.<sup>122</sup>

Zum Vergleich eine Aussage Albert Einsteins aus seinem Artikel „Zum 200. Todestag Isaac

---

<sup>122</sup>K. E. Ziolkowski: Förderer- des Fortschritts, im Eigenverlag erschienen. Kaluga 1928. S. 12.

Newtons“.<sup>123</sup> Er stellt fest, dass unter den Menschen, für die wir uns begeistern und die wir achten, mehr oder weniger deutlich folgende Typen zu unterscheiden sind:

- Menschen, die durch das Werk ihres Geistes das äußere Leben der Generationen sichern, verbessern und bereichern. Hierher gehören in erster Linie die Entdecker und Erfinder auf den Gebieten der Medizin, der Technik, der sozialen und wirtschaftlichen Organisation.
- Menschen, welche der menschlichen Gemeinschaft zu einer höheren Stufe des Erlebens, Schauens, ethischen Seins und Begreifens verhelfen, dadurch höchste Lebenswerte schaffen. Sie umfassen die großen Künstler, ethischen Pfadfinder und Denker. Das ist nach Einstein der höchste Typ.

Es ist erstaunlich, wie zwei Koryphäen der Wissenschaft, die in ganz unterschiedlichen sozial-ökonomischen Verhältnissen lebten, im wesentlichen ein und denselben Wissenschaftlertyp als den höchsten herausstellen. Sowohl für Ziolkowski wie für Einstein ist der höchste Typ des Wissenschaftlers der Denker. Sowohl Ziolkowski wie Einstein zählten sich zweifellos gerade zu dieser höchsten Kategorie.

Wenden wir uns beispielsweise der wissenschaftlich-phantastischen Erzählung Ziolkowskis „Außerhalb der Erde“<sup>124</sup> zu. Die Haupthelden der Erzählung, „deren einzige Freude die Wissenschaft war“, sind: Galilei, Helmholtz, Newton, Laplace, Franklin und Iwanow.

Iwanow steht sicher für Ziolkowski, sowohl den Ideen nach (auf dem Gebiet der Raketendynamik und der Raumfahrt) als auch nach der Art, seine Gedanken auszudrücken. Ziolkowski gibt folgende kurze Selbstcharakteristik:

Iwanow war ein großer Phantast, allerdings mit gewaltigen Erkenntnissen. Vor allem war er ein Denker, und häufiger als andere warf er jene eigenartigen Fragen auf, von denen wir eine (die kosmische Rakete - A.K.) bereits in unserer Gesellschaft erörtert haben.

Albert Einstein hob in einer Reihe von Äußerungen wiederholt folgende Eigenschaft eines echten Wissenschaftlers hervor:

Die Hauptsache im Leben eines Menschen meiner Art besteht darin, was er denkt und wie er denkt.

In einem Brief an Max Born bekräftigte Einstein:

Was der Einzelne tun kann, ist nur ein sauberes Beispiel geben und den Mut zu haben, ethische Überzeugungen in der Gesellschaft von Cynikern ernsthaft zu vertreten. Seit langem habe ich danach mich demgemäß zu verhalten (mit wechselndem Erfolg).<sup>125</sup>

Einstein glaubte, dass die moralische Qualität eines Wissenschaftlers größere Bedeutung hat für eine gegebene Generation und den ganzen Gang der Geschichte als rein intellektuelle Erfolge. Für Einstein ist das Ideal des Wissenschaftlers von heute der Denker, der die Menschheit auf eine höhere Stufe der Erkenntnis der Naturgesetze hochhebt (die Menschheit wenigstens ein bisschen voranbringt nach Ziolkowski). Einstein schrieb:

Höchste Aufgabe des Physikers ist also das Aufsuchen jener allgemeinsten elementaren Gesetze, aus denen durch reine Deduktion das Weltbild zu gewinnen ist.<sup>126</sup>

In der Welt von heute, wo es Gruppierungen von Staaten mit unterschiedlicher Gesellschaftsord-

---

<sup>123</sup>A, Einstein: Zum 200. Todestag Isaac Newtons, Nord und Süd 50 (1927) D. 36

<sup>124</sup>K. E. Ziolkowski: Der Weg zu den Sternen. Moskau 1960.

<sup>125</sup>Briefwechsel Albert Einstein - Max Born. Hrsg. von Max Born. Hamburg 1977. S. 13.

<sup>126</sup>A. Einstein: Mein Weltbild. Frankfurt 1955. S. 139

nung, unterschiedlicher sozialer Struktur, unterschiedlichen Ideologien und unterschiedlichen Vorstellungen vom idealen, schöpferischen Wissenschaftler gibt, ist natürlich die Weltanschauung eines Denkers, sein Verhältnis zu philosophischen Strömungen und Aussagen äußerst wichtig. Wir glauben, dass der echte Gelehrte ein bewusst auftretender (parteilicher) Materialist sein muss.

Wie Lenin schrieb, schließt der Materialismus sozusagen Parteilichkeit in sich ein, da er dazu verpflichtet, bei jeder Bewertung eines Ereignisses direkt und offen den Standpunkt einer bestimmten Gesellschaftsgruppe einzunehmen.<sup>127</sup>

Für die Wissenschaftler unserer Tage, die Augenzeugen und Teilnehmer des ideologischen Kampfes der zwei Systeme sind, sei an W. I. Lenins bemerkenswerte Worte aus seinem Artikel „Über die Bedeutung des streitbaren Materialismus“ erinnert,

dass sich ohne eine gediegene philosophische Grundlage keine Naturwissenschaft, kein Materialismus im Kampf gegen den Ansturm der bürgerlichen Ideen und gegen die Wiederherstellung der bürgerlichen Weltanschauung behaupten kann. Um diesen Kampf bestehen und mit vollem Erfolg zu Ende führen zu können, muss der Naturforscher ein moderner Materialist, bewusster Anhänger des von Marx vertretenen Materialismus sein, das heißt, er muss dialektischer Materialist sein.<sup>128</sup>

Zweifellos wird der Kampf der Ideologien auf dem Gebiet der Natur- (und natürlich auch der anderen) Wissenschaften zum Sieg der Materialisten führen, die über die dialektische Methode verfügen, aber unter der (unbedingten) Voraussetzung, dass der Wissenschaftler sein Fach, sein wissenschaftliches Forschungsgebiet gründlich beherrscht.

Für junge Wissenschaftler ist der dialektische Materialismus nicht nur das wichtigste Element der modernen Kultur, sondern auch ein treuer Wegweiser bei der Wahl der Richtung konkreter naturwissenschaftlicher Untersuchungen.

3. Verweilen wir kurz bei den Motiven wissenschaftlichen Schaffens. Wahrhafte Motive sind die innerliche Wahrheit eines Gelehrten, und mitunter sind diese Motive so tief verborgen (manchmal auch so glaubwürdig maskiert), dass sie auch für einen ganz scharfsinnigen Beobachter nicht sichtbar werden.

Wozu arbeite ich? Das ist die wichtigste Frage für einen Wissenschaftler, und die Antwort darauf bestimmt oft die Produktivität und Qualität seiner Arbeit. Ist ein schöpferischer Mensch fest überzeugt von der Notwendigkeit und Nützlichkeit seines Tuns für den wissenschaftlichen Fortschritt, das Gedeihen der Industrie, den Wohlstand des Volkes und die Macht des Vaterlandes, so trägt das dazu bei, die Grundlagen einer sozialistischen intellektuellen Moral zu formieren. Die Kommunistische Partei der Sowjetunion bringt schöpferischer Arbeit auf allen Gebieten der Wissenschaft, Kultur, Industrie und Landschaft hohe Wertschätzung entgegen.

Leider gibt es eine Kategorie von Intelligenzlern, bei denen die Wahl des Wissenschaftlerberufs von höchst egoistischen Motiven diktiert wurde.

Diese Kategorie von Leuten in der Wissenschaft nennt Einstein Utilitaristen (oder Pragmatiker). Sie suchen sich eine wissenschaftliche Berufstätigkeit aus, sofern dies gewinnbringend ist. Nach Beobachtungen des Verfassers hören die Pragmatiker unter den Wissenschaftlern, nachdem sie hoch genug gestiegen sind, nachdem sie den akademischen Grad eines Doktors oder eines Kandidaten der Wissenschaften erhalten haben, gewöhnlich auf, sich für schwierige aktuelle Probleme der Wissenschaft zu interessieren, und richten alle Aufmerksamkeit auf ein gutes Leben, auf Verwaltungsarbeit und leichten zusätzlichen Verdienst.

---

<sup>127</sup>W. I. Lenin: Werke, Bd. 1. Berlin 1961. S. 414

<sup>128</sup>W. I. Lenin: Werke, Bd. 33. Berlin 1962. S. 219

Die Denker aber, d. h. der höchste Rang der Gelehrten, werden von gänzlich anderen moralischen Idealen geleitet. Sie arbeiten für das Vaterland, die Menschheit, für künftige Generationen; für das Glück der Menschen.

Liest man den Briefwechsel zwischen dem berühmten Philosophen und Denker Denis Diderot und dem Bildhauer Falconet (der das Denkmal Peters I. in Petersburg geschaffen hat), in dem es hauptsächlich um die Motive wissenschaftlichen und künstlerischen Wirkens geht, so erfasst man, wie diffizil und vielseitig diese Frage ist.

Diderot beweist scharfsinnig, streng logisch und gehaltvoll, welche wesentliche Triebkraft für das Schaffen das Bestreben des Wissenschaftlers und Künstlers ist, für die Jahrhunderte zu leben, das Streben, dann noch weiterzuleben, wenn die Friedhofswürmer schon nichts mehr von ihm übriggelassen haben. Nur eine kleine Kostprobe aus Diderot:

Das Tier lebt nur im gegebenen Augenblick, es blickt nicht über seine Grenzen hinaus. Der Mensch lebt in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft in der Vergangenheit, um sich zu bilden... in der Zukunft, um sich berühmt zu machen, vor sich und seinen Nächsten.<sup>129</sup>

Das Bestreben zu träumen, Pläne zu machen und Prognosen, für die Menschen durch seine Taten auch nach dem Tode zu leben, liegt in der menschlichen Natur. Erinnern wir uns an Puschkins stolze Worte:

Nein ganz vergeh' ich nicht -im heil'gen Klang der Saiten  
Lebt unverweslich, wenn der Leib zerfiel, mein Geist.

Das Streben, seinen Namen zu verewigen, ist etwas Großes. "Es ist natürlich bei einem großen Menschen; das ist ein Teil seines Besitztums, den er nicht verleugnen kann, ohne der menschlichen Art damit seine gröbliche Missachtung zu bezeugen", schreibt Diderot.<sup>130</sup>

„Die Überzeugung, dass kommende Jahrhunderte sich auch für mich interessieren werden, dass mich die Nachkommen als einen zählen, der seinem Jahrhundert Ruhm verlieh, wäre mir, gestehe ich, unvergleichlich angenehmer als alle Achtung zu Lebzeiten, als alles Lob von heute“, betont Diderot.<sup>131</sup>

„Nach uns die Sintflut“ - das ist eine Losung von Leuten, die nur Interesse für das eigene Wohl zeigen und völlige Gleichgültigkeit für das, was danach kommt.

Diderot schreibt, dass diese Losung „niemals ein großer Monarch oder ein verdienter Minister oder ein guter Vater aussprechen wird. Die niederste und verächtlichste Nation wäre jene, wo diese Losung zur ständigen Verhaltensregel gemacht würde.“<sup>132</sup>

Ziolkowski wollte in der Zukunft leben. Er hielt schöpferische Arbeit für „den Urquell von allem“ und war innerlich überzeugt, dass er fortleben wird:

Das Hauptmotiv meines Lebens war: etwas Nützliches für die Menschen tun, das Leben nicht umsonst verstreichen lassen, die Menschheit wenigstens ein bisschen voranbringen. Eben deshalb interessierte ich mich für Dinge, die mir weder Brot noch Macht einbrachten. Aber ich hoffe, dass meine Arbeiten vielleicht bald, vielleicht auch erst in ferner Zukunft der Menschheit Berge von Brot und ungeheure Macht bringen.<sup>133</sup>

Ziolkowski war sich über die Bedeutung seiner hauptsächlichsten Arbeiten für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt völlig im klaren. Er sah „die verlockenden und bedeutsamen Perspektiven“ der Entwicklung von Raketentechnik und Raumfahrt. Er wusste, dass die experimentelle

---

<sup>129</sup>D. Diderot: Gesammelte Werke (russ.), Bd. IX. Moskau, Leningrad 1940. S. 239

<sup>130</sup>Ebenda, S. 256

<sup>131</sup>Ebenda, S. 292.

<sup>132</sup>Ebenda, S. 339

<sup>133</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. IV. S. 429



Aerodynamik ein absolut unabdingbares Element für eine erfolgreiche Entwicklung von Luftfahrt und Luftschiffahrt war.

Schon an der Wende des 19. zum 20. Jahrhundert schrieb er, dass „diese Sache so groß, so überaus groß ist wie der Ozean“<sup>134</sup>. Indem er die Theorie der mehrstufigen Raketen ausarbeitete, bahnte er der Menschheit einen zuverlässigen Weg für die Eroberung des Kosmos und für Reisen zu anderen Planeten.

Er machte Entwürfe für die Konstruktion rückstoßgetriebener Flugzeuge und stellte fest, dass „auf die Ära der Propellerflugzeuge die Ära der Düsenflugzeuge oder Stratosphärenflugzeuge folgen muss“<sup>135</sup>. Mit seinen Arbeiten nahm er die Idee, Transportmittel auf Luftkissen zu schaffen, vorweg.

Und all dies für die Menschen, für die Menschheit, für künftige Generationen. Er betrachtete seine Arbeiten als das Wichtigste in seinem schöpferischen Leben. „Wichtig war und wird immer nur das sein, was zum Wohle nicht eines einzelnen Menschen, sondern aller Menschen nötig ist“, sagte Lew Tolstoi.

Die Gleichgültigkeit und das Unverständnis der Zeitgenossen bekümmerten Ziolkowski deshalb außerordentlich. Er hatte sehr wohl begriffen, dass er in den ersten Reihen jener stand, die den Grundstein zu Großem gelegt haben, und er hätte gern eine Armee von Schülern und Nachfolgern gehabt. In einem Brief an A. I. Iwanowski vom Juli 1928 schrieb Konstantin Eduardowitsch:

Wie schrecklich, Großes zu tun und unverstanden zu sein ... Nehmen wir nur die Arbeit „Die Entstehung des Sonnensystems“; ... Niemand hat sie analysiert. Wie muss sich mein Herz allein deswegen quälen.<sup>136</sup>

Für Wissenschaftler vom Typ des Denkers ist also Hauptmotiv des Schaffens, bestimmende Triebkraft, die Sorge um das Glück der Menschen, die Überzeugung, dass die von ihnen gewiesenen Wege der Entwicklung von Wissenschaft und Technik die ganze Menschheit zumindest etwas voranbewegen zum Besseren.

4. Der psychologische Zustand eines Gelehrten vor der Geburt einer neuen Idee wird von allen bedeutenden Wissenschaftlern des 19. und 20. Jh. als Zustand eines innerlichen Glühens definiert (als „heimliches Fieber“ nach Alexander Blok), eines Verliebtseins in ein gegebenes Problem, und manchmal ist das ein Zustand des Geheimnisumwittert-und-in-sich-gekehrt-Seins. Hier einige solcher Aussagen:

Bei Ziolkowski:

Das ganze Leben loderte ich im Feuer meiner Ideen. Alles übrige hielt ich für viel zu bedeutungslos.<sup>137</sup> Überhaupt habe ich seit frühester Kindheit einen schlimmen, hitzigen, aufbrausenden Charakter. Und dann noch Taubheit, Armut, Demütigung, inneres Unbefriedigtsein und gleichzeitig feuriges, bis zum Wahnsinn leidenschaftliches Streben nach Wahrheit, nach der Wissenschaft, nach dem Wohl der Menschheit, das Bestreben, nützlich zu sein ... deswegen die völlige Vernachlässigung der üblichen menschlichen Pflichten. Das Wohl der Familie und der Nächsten setzte ich hinten an. Alles für etwas Höheres.<sup>138</sup>

Wir sind überzeugt, dass der Geburt einer großen Idee, die neue Wege erschließt, unbedingt

---

<sup>134</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. I. S. 200

<sup>135</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. II, S. 338

<sup>136</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte Werke, Bd. V.

<sup>137</sup>Ebenda.

<sup>138</sup>Ebenda.

lange, geduldige Arbeit vorausgeht. Gerade systematische Arbeit schafft im menschlichen Organismus günstige Voraussetzungen für das Entstehen neuer Gedanken. Schöpferische Spannkraft künstlich (durch Reizmittel) hervorzurufen ist unmöglich.

In einem Brief vom 8. September 1913 an die Redaktion der Zeitschrift „Priroda i ljudi“ (Natur und Menschen) charakterisierte Ziolkowski sein Leben bis dahin folgendermaßen:

Ich war 33 Jahre Lehrer und bin es noch heute. Leben und Kräfte wurden aufgezehrt von der Mühe um ein Stück Brot, für höheres Streben aber blieb wenig Zeit und noch weniger Energie (Konstantin Eduardowitsch hätte sich völlig der Wissenschaft gewidmet - A.K.). Meine Arbeit als Lehrer wurde und wird dürftig bezahlt, aber ich habe sie dennoch gern ... Das Liebste, das mich ein Leben lang beschäftigt hat, habe ich noch nicht drucken lassen.<sup>139</sup>

In einem Brief vom 12. Oktober 1919 an die Gesellschaft für Naturkunde des Kreises Kaluga schrieb Konstantin Eduardowitsch:

Vor allem und über allem: meine unvollendeten Arbeiten. Wenn es mir noch beschieden ist zu leben, dann muss ich all meine Kraft auf das verwenden, was ich, vielleicht irrtümlich, als ungeheuer wichtig für die Menschheit erachte und was ich noch nicht ausgedrückt habe. Solange ich das nicht von mir gegeben habe, werde ich leiden.

Hier Worte von Albert Einstein:

Der Gefühlszustand, der zu solchen Leistungen befähigt,... (eine beharrliche, geduldige, die „prästabilierte Harmonie“ dynamischer Prozesse intuitiv erfassende Arbeit)... ist dem des Religiösen<sup>140</sup> oder Verliebten ähnlich; das tägliche Streben entspringt keinem Vorsatz oder Programm, sondern einem unmittelbaren Bedürfnis<sup>141</sup>

Einstein unterstreicht, dass diese Gefühle die stärksten und edelsten Triebfedern wissenschaftlichen Forschens sind. Der Mensch hat so viel Verstand, dass er die Gesetze der Natur enthüllen kann. Als oberste Aufgabe der Physik erachtet es Einstein, für die Menschheit gerade die allgemeinsten und elementarsten Gesetze zu entdecken, aus denen man logisch das Weltbild ableiten könnte.

Der Denker stößt auf die Idee oder ein System von Ideen, - die es gestatten, „nach Möglichkeit die beobachteten Fakten einfach miteinander zu verbinden“.

Führen wir noch ein Zeugnis an, eine Äußerung des zeitgenössischen amerikanischen Physikers R. Feynman:

Mein Gedanke schien mir so logisch und so elegant zu sein, dass ich mich ohne Besinnung in ihn verliebte.<sup>142</sup>

5. Es sollen noch einige Erwägungen darüber wiedergegeben werden, wie in den exakten Naturwissenschaften die Bearbeitung (Deduktion, streng logische Beweisführung) einer neu entstandenen Idee vor sich geht. Der Bestimmtheit halber verfolgen wir die Formulierung der Beweise in der Raketendynamik. Für einen formal logischen „strengen“ Beweis benutzen wir vereinbarte mathematische Sprachen. Im Laufe der historischen Entwicklung nahmen diese

---

<sup>139</sup> „Nicht drucken lassen“ bezieht sich sicher auf die soziologischen und philosophischen Arbeiten von K. E. Ziolkowski (Gesammelte Werke, Bd. V).

<sup>140</sup> Unter dem Religiösen versteht Einstein den Glauben des Wissenschaftlers an die Existenz allgemeiner und einfacher Naturgesetze und den Glauben an ihre Erkennbarkeit.

<sup>141</sup> A. Einstein: Mein Weltbild, a. a. O. S. 139.

<sup>142</sup> R. Feynman: Character of physical laws. Nobel-Vortrag. vom 11.12.1965. In: Nobel Lecture. Stockholm 1966. S. 174.

Sprachen die Logik realer dynamischer Prozesse in sich auf, d.h. die Logik der Verhältnisse und die Wechselbeziehung aufeinanderfolgender realer Erscheinungen.

W. I. Lenin schrieb in den „Philosophischen Heften“, dass „die Praxis des Menschen sich dadurch, dass sie sich milliardenmale wiederholt, im Bewusstsein des Menschen als logische Figuren einprägt“.<sup>143</sup>

Nehmen wir an, wir haben für den Flug eines Raumschiffes zum Mars die Bahn zu bestimmen. Wir untersuchen dazu logisch und mathematisch die Eigentümlichkeiten und Gesetzmäßigkeiten des Fluges. Zur Lösung kann man drei Verfahren nutzen:

- das analytische (d.h. Formeln aufstellen, die die gesuchte Lösung ergeben);
- das numerische (d.h. Tabellen aufstellen, die es gestatten, die „Biographie“ des Schwerpunkts des Raumschiffes vom Start auf der Erde bis zur weichen Landung auf dem Mars zu klären);
- das graphische (Aufstellen von Monogrammen, Graphiken, Zeichnungen, die einen „alles“ über die formulierte Flugbahnaufgabe wissen lassen).

In der Logik des Beweises gibt es eine Nichteindeutigkeit, und, wie jeder weiß, kann man sogar eine einfache Schulaufgabe auf verschiedene Arten lösen.

Der bedeutende französische Wissenschaftler Louis Poinot (1777-1859), der eine glänzende geometrische Lösung für das Problem der Bewegung eines festen Körpers um einen ruhenden Punkt geliefert hat, hob in seiner Arbeit folgenden bemerkenswerten Gedanken hervor:

Auf keinen Fall darf man annehmen, dass die Wissenschaft vollendet ist, wenn es ihr geglückt ist, etwas auf analytische Formeln zurückzuführen. Nichts befreit uns vom Studium der Erscheinungen an sich (ihres Wesens) und von der Notwendigkeit, sich Rechenschaft abzulegen über jene Ideen, die Gegenstand unserer Spekulationen sind. Wenn uns manchmal nur eine Berechnung zu einer neuen Wahrheit führen kann, so muss man daraus keineswegs schließen, dass der Verstand nichts mehr machen kann; im Gegenteil muss man verstehen, dass eine auf analytischem Wege entdeckte Wahrheit gewiss nicht von diesen künstlichen Verfahren abhängt, mit deren Hilfe wir zu ihr gelangt sind.

Unbedingt muss es irgendeinen ganz einfachen Beweis dieser Wahrheit geben. Ebendieser muss auch den Hauptgegenstand und das Endresultat einer exakten Wissenschaft darstellen.<sup>144</sup>

Die Geschichte der Mechanik kennt bedeutende Wissenschaftler, die die analytische Forschungsmethode ausgezeichnet beherrschten. Das markanteste Beispiel, in der russischen Wissenschaft ist S. A. Tschaplygin (1869-1942). Für ihn waren analytische Aufzeichnungen mit ihrer logischen Abfolge (dem Wechselspiel der Formeln und ihrer Umformungen) offenbar dasselbe wie für einen Musiker das Notenblatt einer sich entwickelnden Melodie.

Man sagt, dass für einen guten Dirigenten, wenn er eine Opernpartitur durchblättert, das Orchester und die Stimmen der Sänger erklingen. Uns scheint, dass analytische Aufzeichnungen für Tschaplygin die ganze Schönheit und Dialektik der (in Natur und Technik) real ablaufenden dynamischen Prozesse ergaben.

Der große russische Gelehrte N. E. Shukowski (1847- 1921) bevorzugte und propagierte die geometrische Untersuchungsmethode. Er dachte in Bildern, wie ein Dichter. Ihn beeindruckte sehr stark der Gedanke von Poinot über die Pflicht des Wissenschaftlers, die Erscheinungen an sich zu studieren. Shukowski schrieb:

---

<sup>143</sup>2 W. I. Lenin: Aus dem philosophischen Nachlass, Berlin 1949

<sup>144</sup>L. Poinot: Théorie nouvelle de la rotation d'un corps. Paris 1834. S. 80, Siehe auch Journal de Lionville, 1851, t. XVI.

... Man kann sagen, dass die mathematische Wahrheit nur dann als völlig ausgearbeitet angesehen werden kann, wenn sie einem jeden aus dem Publikum erläutert werden kann, der sie sich aneignen möchte.<sup>145</sup>

Eine bildhafte, poetische Art zu denken und sich auszudrücken war auch für K. E. Ziolkowski kennzeichnend. Einen neu entstandenen Gedanken bewies er mit den einfachsten mathematischen Mitteln:

Die Einfachheit der Darlegung einiger meiner Arbeiten stellt ihren besonderen Wert dar,<sup>146</sup>

schreibt er in seiner Autobiographie. Konstantin Eduardowitsch verstand sehr wohl, dass unter talentierten Menschen Leute sein können, die mathematische Untersuchungsmethoden nicht beherrschen, aber den ganzen Ablauf des realen dynamischen Prozesses deutlich sehen und deshalb zu großen Entdeckungen und Erfindungen fähig sind.

In einem Brief vom 16. Februar 1933 an einen jungen Techniker aus Leningrad schreibt Ziolkowski, dass es Leute geben kann, die in den Wissenschaften völlig ungebildet, aber große Techniker und Förderer des Fortschritts sind. Das bestätigt die Geschichte der Erfindungen und Entdeckungen.<sup>147</sup>

Wir möchten diesen Gedanken Ziolkowskis belegen durch die Entstehungsgeschichte vieler herausragender russischer Kathedralen und anderer Bauten, die Meisterwerke der Weltarchitektur darstellen. Die Architekten der berühmten Kathedralen von Susdal und Wladimir, dem Moskauer Kreml u. a. kannten sicher nicht die höhere Mathematik, darstellende Geometrie und Festigkeitslehre, begriffen aber intuitiv die dialektische Logik realer Prozesse.

In einer unveröffentlichten Arbeit schrieb Ziolkowski:

Mathematik ist hauptsächlich exaktes Urteilen. Dieses Urteilen kann man aber auch ohne die üblichen mathematischen Formeln ausdrücken. Ein genialer Mensch ist auch bei mathematischer Unkenntnis ein Mathematiker im höchsten Sinne des Wortes.<sup>148</sup>

Seine Art, schöpferisch wissenschaftlich zu arbeiten, charakterisierte Ziolkowski in einem Brief vom 29. März 1934 an den Leiter des RNII so:

Man betrachtet mich als Theoretiker. Das ist nicht ganz richtig. Tatsächlich habe ich mein Leben lang gerechnet, aber ich musste auch eine Menge Versuche anstellen ... In den Feinheiten der mathematischen und anderen Wissenschaften hinkte ich tüchtig nach, aber habe das, was nötig ist: Schaffenskraft und die Fähigkeit, neue Schlussfolgerungen aller Art schnell abzuschätzen.

Wahrscheinlich stimmen alle darin überein, dass es wichtiger ist, neue Entdeckungen zu machen, als sie streng mathematisch zu erklären. Und Ziolkowski hat recht, wenn er schreibt:

Man darf nicht vergessen, dass einer, der einen Fortschritt bewirkt, mehr wert ist als 10 Akademien und 1000 Professoren. Es ist doch unhöflich, darauf hinzuweisen, dass die Wrights Meister im Radfahren waren und Faraday die Arithmetik nicht richtig kannte.<sup>149</sup>

6. Zum Abschluss wollen wir die Grundzüge der Persönlichkeit eines idealen Gelehrten, eines Denkers nennen.

---

<sup>145</sup>N. E. Shukowski: Vollständige gesammelte Werke. Bd. IX, Moskau 1937, S. 186.

<sup>146</sup>Archiv der AdW der UdSSR, f. 555, op. 2, d. 17

<sup>147</sup>Ebenda.

<sup>148</sup>K. E. Ziolkowski: Ethik oder die natürlichen Grundlagen der Moral, 1902-1903, Archiv der AdW der UdSSR, f. 555, d. 372, op. 1, S.21

<sup>149</sup>K. E. Ziolkowski; Gesammelte Werke, Bd. V

I. Ein gutes Gedächtnis. In den Gehirnzellen eines Wissenschaftlers müssen wie auf einem Magnetband die Grundcharakteristika vieler dynamischer Prozesse aufgezeichnet sein. Ohne einen Gedächtnisspeicher alter Ideen ist wissenschaftliche Arbeit unmöglich. Man sollte dabei „Aufzeichnungen“ aus verschiedenen Wissensgebieten im Kopf haben, weil heutzutage (wie schon viele bemerkt haben) Gedanken, die neue Wege in der Wissenschaft einleiten, sehr oft beim Studium von Erscheinungen an der Nahtstelle von zwei, drei bereits völlig ausgebildeten Wissensgebieten geboren werden.

II. Die Fähigkeit, sich zu konzentrieren, einsam nachzudenken.

Denker, d.h. die wertvollste Kategorie von Wissenschaftlern, sind nach Einstein „etwas sonderbare, verschlossene, einsame Kerle“.<sup>150</sup> K. E. Ziolkowski unterstreicht in einem Brief vom 23. September 1932 an G. I. Solodkow, gleichsam Bilanz über sein mehr als 50jähriges Schaffen ziehend:

Vergessen Sie nicht, dass zum Erfolg meiner Arbeit Ruhe und Einsamkeit nötig waren.

Der berühmte französische Physiker Louis de Broglie schreibt:

Auf theoretischem Gebiet ist ganz wesentlich, wie mir scheint, gerade die individuelle Anstrengung, häufig in der Einsamkeit, Die größten Entdeckungen auf diesem Gebiet wurden von kühnen Geistern in der Einsamkeit gemacht. So war es wenigstens in der Vergangenheit, aber mir scheint, alles deutet darauf hin, dass es auch in Zukunft so ist.<sup>151</sup>

Und schließlich hat unser großer Alexander Puschkin den schöpferischen Prozess wie folgt gekennzeichnet:

Und ich vergess' der Welt - und meine Phantasie  
In süßer Stille wiegt mich süß in Traumbewegung,  
Und leise auferwacht in mir die Poesie:  
Die Seele wird bedrängt von lyrischer Erregung  
Und zittert und erklingt, und wie im Schläfe - sie  
Sich zu ergießen strebt endlich in freie Prägung -  
Und unsichtbar ein Schwarm von Gästen mich besucht  
Bekannt von alters her, der Träume reife Frucht.<sup>152</sup>

III. Wissenschaftliche Phantasie (auch wissenschaftlicher Spürsinn, wissenschaftliche Intuition genannt).

Den überaus großen Wert wissenschaftlicher Phantasie im Schaffensprozess hat W. I. Lenin mehrfach herausgestrichen:

Ohne Grund denken sie, dass sie (die Phantasie - A.K.) nur dem Dichter vonnöten ist. Das ist ein dummes Vorurteil. Selbst in der Mathematik ist sie nötig, auch die Entdeckung der Differential- und Integralrechnung wäre ohne Phantasie unmöglich gewesen. Phantasie ist eine Eigenschaft von höchstem Wert.<sup>153</sup>

Wissenschaftliche Phantasie - das ist die Geburt neuer Gedanken, die Feststellung von Wechselbeziehungen zwischen Elementen verschiedener Prozesse. Albert Einstein nennt die wissenschaftliche Phantasie schöpferische Phantasie, weil gerade sie für die nachfolgende logische

---

<sup>150</sup>A. Einstein: Mein Weltbild, a. a. O. S. 137

<sup>151</sup>L. de Broglie: Auf den Pfaden der Wissenschaft (russ.). Moskau 1962, S. 223

<sup>152</sup>Aus dem Gedicht „Herbst“ (1833) von A. S. Puschkin (deutsche Nachdichtung von W. Groeger).

<sup>153</sup>W. I. Lenin: Werke, Bd. 33. Berlin 1973. S. 304.

Analyse Vermutungen, Hypothesen, neue Gedanken hervorbringt.

Die Wissenschaft, im wesentlichen rational in ihren Grundlagen und ihren Methoden nach, kann ihre bemerkenswertesten Errungenschaften nur mittels gefährlicher, unerwarteter Kapriolen des Geistes in die Tat umsetzen, wenn sich die von den schweren Ketten strengen Abwägens befreiten Fähigkeiten zeigen, die man Vorstellungskraft, Intuition, Scharfsinn nennt,

schrrieb Louis de Broglie<sup>154</sup>.

In dem Artikel „Über die Wissenschaft“ betonte Albert Einstein:

Ich glaube an die Intuition und die Begeisterung ... Vorstellungskraft (Phantasie - A. K.) ist wichtiger als Wissen, weil das Wissen beschränkt ist, die Vorstellungskraft aber alles auf der Welt umfasst, den Fortschritt stimuliert und der Ursprung seiner Evolution ist. Genau genommen ist die Vorstellungskraft ein realer Faktor in der wissenschaftlichen Forschung.<sup>155</sup>

IV. Intellektuelle Unabhängigkeit, d.h. Selbständigkeit im wissenschaftlichen Denken ohne Rücksicht auf Autoritäten, ohne Angst davor, was irgendein „höher“ stehender dazu sagen wird. Albert Einstein schrieb in dem Aufsatz „Freiheit und Wissenschaft“, dass „intellektuelle Unabhängigkeit für den Forscher dringendste Notwendigkeit“ ist.<sup>156</sup>

Intellektuelle Unabhängigkeit muss mit völliger innerer Freiheit einhergehen.<sup>157</sup>

Die Entwicklung der Wissenschaft und theoretische Geistesarbeit insgesamt erfordern noch eine Art Freiheit, die man als innere Freiheit kennzeichnen könnte. Das ist eine Freiheit des Geistes, bestehend in der Unabhängigkeit des Denkens von Beschränkungen, die von Autoritäten und sozialen Vorurteilen auferlegt werden, aber auch von schablonenhaften Schlüssen und Gewohnheiten überhaupt. Eine derartige innere Freiheit ist eine seltene Gabe der Natur und ein höchst erwünschtes Ziel für jedes Individuum.<sup>158</sup>

V. Begeisterungsfähigkeit (besser Leidenschaftlichkeit, noch besser Besessenheit) und unerschöpfliche Energie.

Bereits an seinem Lebensabend, in einem Brief vom 15. Juni 1932 schrieb Ziolkowski:

Ich wünsche Erfolg und staune über die Energie und Begeisterung. Ohne sie ist nichts Großes möglich.

Es seien die wohlbekanntesten Worte des großen russischen Gelehrten und Denkers I. P. Pawlow angeführt, der für die Jugend schrieb:

Denkt daran, dass die Wissenschaft vom Menschen sein ganzes Leben fordert. Und wenn ihr zwei Leben hättet, dann wären auch sie euch nicht genug. Die Wissenschaft fordert vom Menschen große Anstrengung und große Leidenschaft. Seid leidenschaftlich in eurer Arbeit und in eurem Suchen!<sup>159</sup>

VI. Hartnäckigkeit (ein starker, unbeugsamer Wille). Und wiederum ist das überzeugendste Beispiel das wissenschaftliche Schaffen von Konstantin Eduardowitsch.

Mehr als 40 Jahre arbeitete er an der Theorie der Rückstoßbewegung und an den Grundlagen der Raumfahrt, ohne bei der offiziellen russischen Wissenschaft Anerkennung zu finden. Nur

---

<sup>154</sup>L. de Broglie: Auf den Pfaden der Wissenschaft, a. a. O. S. 233.

<sup>155</sup>A. Einstein: Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten. (russ.); Bd. IV. Moskau 1967, S. 142.

<sup>156</sup>A. Einstein: Ebenda, S. 239.

<sup>157</sup>„Geh frei den Weg, den frei dein Geist sich ausersehn, Im Herzen pflanze treu, was groß und wahr und schön, Und fordre keinen Lohn, den dein Verdienst erhöhe“, fordert A. S. Puschkin in dem Gedicht „Einem Dichter“ (1830, deutsche Nachdichtung von F. Fiedler).

<sup>158</sup>A. Einstein: Sammlung wissenschaftlicher Arbeiten, a. a. O. Bd. IV. S. 241.

<sup>159</sup>I. P. Pawlow: Ausgewählte Werke. Moskau 1951. S. 51.

einzelne unterstützten ihn. Führen wir noch ein weniger bekanntes Zeugnis für die bewundernswerte Hartnäckigkeit Ziolkowskis an, es betrifft die Veröffentlichung seiner Arbeiten. Er hatte begriffen, dass er in vielem originell war und dass gerade das und die Eigentümlichkeit der Darstellungsweise eine Veröffentlichung und das Verständnis seiner Arbeiten behinderten. Nachstehend einige Zeilen aus seinem Brief an J. I. Perelman, wo er folgende Gründe nennt, die bei der Anerkennung seiner Arbeiten stören:

1. Nicht geschrieben wie üblich, es gibt keinen historischen Überblick über den Gegenstand, keine Verweise auf Autoritäten, keine Literaturhinweise und sonstiges.
2. Kürze, eine Vielfalt von Ideen und Zahlen. Dadurch mühsam zu lesen
3. Die Arbeiten beruhen auf meinen persönlichen Entdeckungen und Berechnungen, die von niemandem nachgeprüft und von der Wissenschaft nicht angenommen worden sind.
4. Offensichtliches Ignorieren allbekannter Hypothesen, die ich als fragwürdig erachte.

VII. Widerwillen gegen das Vermengen von Russisch und Latein (Bezeichnung von Größen mit russischen Buchstaben)<sup>160</sup>

Er verstand alles. Aber er wich keinen Fingerbreit zurück. Bis an sein Lebensende bestand er auf seinem unveräußerlichen Recht eines wahren Wissenschaftlers, ideenreich und originell zu sein.

Zum Abschluss noch ein wunderbarer Gedanke des großen Philosophen Ludwig Feuerbach, der schrieb:

Aber was ist denn das Wesen des Menschen...? Die Vernunft, der Wille, das Herz. Zu einem vollkommenen Menschen gehört die Kraft des Denkens, die Kraft des Willens, die Kraft des Herzens. Die Kraft des Denkens ist das Licht der Erkenntnis, die Kraft des Willens die Energie des Charakters, die Kraft des Herzens die Liebe. Vernunft, Liebe, Willenskraft sind Vollkommenheiten des menschlichen Wesens, ja absolute Wesensvollkommenheiten, Wollen, Lieben, Denken sind die höchsten Kräfte, sind das absolute Wesen des Menschen qua talis (als solchen), als Menschen, und der Grund seines Daseins. Der Mensch ist, um zu denken, um zu lieben, um zu wollen.<sup>161</sup>

Der ideale Denker unterscheidet sich von dem nach Feuerbach vollkommenen Menschen nur dadurch, dass bei ihm sowohl der Verstand wie der Wille wie das Herz auf den Forschungsgegenstand konzentriert sind, auf das Erkunden von Neuem.

Konstantin Eduardowitsch ist für die Jugend ein großes sittliches Ideal des echten Wissenschaftlers und Denkers.

Ziolkowski war eine geniale Persönlichkeit. Dieser Mann gab der russischen und internationalen Wissenschaft soviel originelle, neue Wege einschlagende Gedanken und Entdeckungen, dass sein Name für immer in die Geschichte der Zivilisation eingehen wird.

---

<sup>160</sup>K. E. Ziolkowski: Gesammelte-Werke, Bd. V.

<sup>161</sup>L. Feuerbach: Gesammelte Werke, Bd. V. Berlin 1973. S. 307.