

# Kommission für Weltraumforschung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **AssociationNews**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden  
Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes  
de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie  
scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di  
Scienze Naturali**

Band (Jahr): **148 (1968)**

PDF erstellt am: **11.09.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

**Kommission für Weltraumforschung  
der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft**

*Präsident:* Prof. Dr. E. STIEFEL

*Sekretär:* Dr. G. PORETTI

*Wissenschaftliche Tagung in Montreux am 7./8. Juni 1968*

Durch den Beitritt zur ESRO (European Space Research Organization) hat die Schweiz ihr Interesse an der Weltraumforschung und Weltraumtechnik bekundet. Im nationalen Bereich entstand damit das Problem, eine bescheidene und unseren Möglichkeiten angepasste wissenschaftliche Aktivität auf diesem Gebiet aufzubauen. Neben dem rein naturwissenschaftlichen Interesse schien es vor allem nötig, über eine Gruppe von Fachleuten zu verfügen, die dank ihren Fachkenntnissen ein gewisses Mitspracherecht der Schweiz in der internationalen Planung sicherstellen. Nur so war zu hoffen, dass die hohen Jahresbeiträge an die ESRO auch der schweizerischen Wissenschaft zugute kommen.

Die Kommission SNG hat sich bemüht, hier einen gangbaren Weg zu finden, der stetig und unbekümmert um das Auf und Ab der internationalen Planung verfolgt werden kann. Sie hat insbesondere im Auftrag der Eidgenössischen Konsultativkommission für Weltraumfragen im Jahre 1966 ein über 5 Jahre laufendes nationales Programm ausgearbeitet und mit wechselndem Erfolg dessen Realisierung versucht. Leider war es nicht möglich, eine gesamtschweizerische wissenschaftliche und administrative Leitung für die Realisierung dieses Programms zu schaffen, wie dies in andern Ländern als einzig erfolgversprechend erkannt wurde. Der Bundesrat hat zwar den Delegierten für Fragen der Atomenergie als exekutive Fachstelle des Bundes für die Raumforschung bezeichnet. Die Finanzierung der einzelnen wissenschaftlichen Projekte hat aber von dem Nationalfonds durch direkten Kontakt mit den einzelnen Wissenschaftlern zu geschehen.

Die wechsellvollen Schicksale der ESRO haben bewirkt, dass die schweizerischen Forscher eher bilaterale Abmachungen suchten, um ihre Experimente in Raumfahrzeugen unterzubringen. Das Institut der Universität Genf (Prof. GOLAY) arbeitet für seine astronomischen Untersuchungen mit Frankreich und den USA zusammen, die Universität Bern (Prof. GEISS) hat enge Kontakte mit der NASA und mit Deutschland, der Unterzeichnete führte im Auftrag der NASA mathematische Untersuchungen durch, und die erste schweizerische Zenitrakete ist in Sardinien gestartet worden.

Die nachfolgenden Zusammenfassungen von Vorträgen an der Tagung in Montreux geben über einige wesentliche erste Ergebnisse schweizeri-

scher Raumforschung Auskunft und sollen beweisen, dass auch ein kleines Land in diesem neuen Bereich nicht beiseite stehen muss.

Wir sind dem Sekretär unserer Kommission, Herrn Dr. PORETTI, für die Organisation der Tagung zu Dank verpflichtet.

Zürich, 18. Oktober 1968

Der Präsident der Kommission:  
E. STIEFEL

### 1. M. GOLAY (Observatoire de Genève) – *L'astronomie spatiale*

La possibilité de pouvoir transporter des récepteurs dans l'espace permet à l'astronome d'aborder enfin l'étude de plusieurs énigmes difficiles. L'extension des moyens offerts maintenant aux astronomes est tellement importante que nous pouvons considérer que l'astronomie sort maintenant de sa préhistoire. Le progrès résulte de l'élimination de trois handicaps fondamentaux:

- 1° Elimination de l'absorption atmosphérique
- 2° Elimination de la turbulence atmosphérique
- 3° Elimination de la luminosité du fond du ciel

Ces trois handicaps étaient causés par l'atmosphère terrestre et disparaissent donc en transportant le télescope au-dessus de la vase atmosphérique.

En éliminant ainsi l'absorption atmosphérique le spectre stellaire devient observable de 912 Å au rayonnement radioélectrique et du rayonnement  $\gamma$  à 32 Å. L'écran, produit par l'hydrogène interstellaire, couvre l'intervalle 32 Å à 912 Å. Cet écran n'existe évidemment pas pour le Soleil. En supposant que la distribution spectrale d'énergie d'une étoile suit grossièrement une loi de PLANCK, la formule élémentaire bien connue qui donne la longueur d'onde du maximum de la distribution,

$$\lambda_{max} [\mu\text{m}] = \frac{2897,5}{T}$$

montre que seules les étoiles de température comprises entre 5000 et 8500° ont ce maximum dans la partie visible du spectre. Or, les températures stellaires sont spécialement comprises entre 1000 et 50000 °K. Donc, pour la plupart des étoiles, la plus grande partie du rayonnement a échappé jusqu'à maintenant à l'observation.

En éliminant la turbulence, cause de la scintillation des étoiles, l'astronome a la possibilité d'utiliser pleinement le pouvoir de séparation de son télescope. Le pouvoir de séparation limité sur Terre à 0,5" d'arc environ est donné dans l'espace par l'expression

$$S'' = \frac{28}{D [\text{cm}]} \cdot \lambda [\mu\text{m}]$$

où  $D$  est le diamètre du télescope. Cet accroissement du pouvoir de résolution permet de détecter de nouvelles galaxies, de nouvelles étoiles multiples, de réduire dans un rapport 10 le temps nécessaire pour établir les mouvements stellaires, donc les distances stellaires.

En éliminant la luminosité du fond du ciel qui résulte de la diffusion atmosphérique, l'astronome peut détecter des étoiles plus faibles. Le gain est d'environ 3 magnitudes (donc étoiles 15 fois plus faibles) ce qui multiplie par 10 le nombre d'étoiles détectables.

L'élimination de ces trois handicaps fondamentaux nous permettra de savoir comment se répartit l'hydrogène moléculaire, si les étoiles très froides existent, si les étoiles neutroniques sont assez nombreuses pour expliquer l'extraordinaire lacune actuelle qui apparaît lorsque nous comparons la masse dynamique de la galaxie avec la masse statistique. Enfin, l'étude des spectres ultraviolet permettra de calculer avec précision l'abondance des divers éléments chimiques dans les étoiles. L'histoire de la formation des éléments chimiques pourra donc être établie, basée ainsi sur des expériences directes. Cette histoire est directement liée à celle de notre galaxie et à celle de l'Univers. L'astronomie spatiale permettra donc de réaliser une magnifique synthèse englobant l'atome, l'étoile et l'Univers.

## 2. EDITH A. MÜLLER (Observatorium Genf) – *Ballonexperimente zur Erforschung des infraroten Sonnenspektrums*

Es sollen hier die wissenschaftlichen Grundgedanken zusammengefasst werden, die uns zu den in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. F. KNEUBÜHL und dessen Mitarbeitern von der ETH geplanten Ballonexperimenten zur Erforschung des infraroten Sonnenspektrums geführt haben. Zu diesem Zwecke werden wir zunächst kurz den Aufbau der Sonnenatmosphäre beschreiben, um danach einige wichtige Punkte hervorzuheben, welche die Ballonexperimente im Infraroten rechtfertigen.

Die Sonnenatmosphäre wird in drei Hauptgebiete aufgeteilt – die Photosphäre, die Chromosphäre und die Korona –, die sich in der Art des Energietransportes, in der physikalischen Struktur und in der geometrischen Ausdehnung unterscheiden. Als eine dünne Schicht von nur einigen hundert Kilometern Höhe begrenzt die *Photosphäre* die Sonnenoberfläche. In ihr wird die im Innern der Sonne erzeugte und an die Oberfläche gelangte Energie im wesentlichen durch Strahlung transportiert. Die Temperatur nimmt nach aussen hin ab. Unterhalb der Oberfläche der Sonne befindet sich die *Konvektionszone*, welche jedoch nicht beobachtbar ist. Ihre Existenz macht sich bemerkbar in der granularen Struktur der Photosphäre und in den verschiedenen Geschwindigkeitsströmungen der atmosphärischen Gase. Die Photosphäre wird von der viel ausgedehnteren *Chromosphäre* umgeben, die eine Höhe von rund 20000 km erreicht. In der Chromosphäre geschieht der Energietransport zu einem grossen Teil durch Dissipation von mechanischer Energie und zu einem kleinen Teil durch Strahlung. Die Temperatur in der Chromosphäre nimmt nach aussen hin zu. Die äusserste und zugleich ausgedehnt-

teste Schicht der Sonnenatmosphäre ist die *Korona*, die bis weit in den interplanetaren Raum hinausreicht. Die Temperatur der Korona beträgt 1 bis 2 Millionen Grad, weshalb sich die Koronamaterie in hochionisiertem Zustand befindet. Die Energie wird durch Konduktion im Koronaplasma transportiert.

Unsere Kenntnisse des exakten Temperaturverlaufes in den einzelnen Atmosphärenschichten der Sonne sind zum Teil noch sehr unsicher. Vor allem herrscht grosse Unklarheit über die Temperaturverteilung in der Übergangsschicht Photosphäre–Chromosphäre, d.h. in der Umgebung des Temperaturminimums, und über den Temperaturanstieg in der Chromosphäre. Nun ist aber gerade die Übergangsschicht Photosphäre–Chromosphäre (kurz T-Schicht) für uns von ganz besonderem Interesse, da hier ein grosser Teil der im Sonnenspektrum beobachtbaren Absorptionslinien entstehen. Diese Linien sind sozusagen die Spuren der in der Sonnenatmosphäre vorhandenen Atome, Ionen und Moleküle, aus denen die Häufigkeiten der einzelnen Elemente bestimmt werden.

Der Grund, weshalb die physikalische Struktur der T-Schicht nur schlecht bekannt ist, hängt mit der Zusammensetzung und der Absorptionsfähigkeit der solaren Materie zusammen. Der kontinuierliche Absorptionskoeffizient als Funktion der Wellenlänge (siehe Abb. 1) wird im wesentlichen von gebunden-freien und frei-freien Übergängen des Wasserstoffatoms und des negativen Wasserstoffions ( $H^-$ ) beherrscht. Gegen kurze Wellenlänge nimmt die Absorption rapid zu, da sich hier

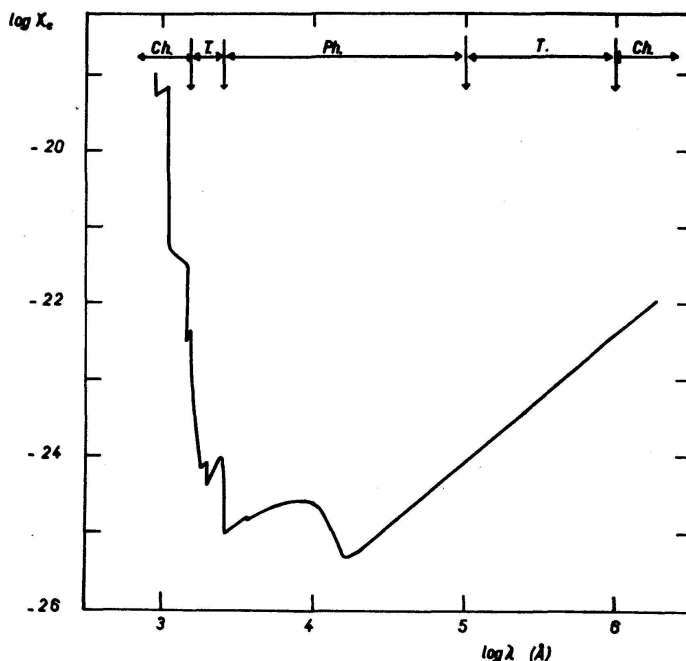


Abbildung 1

Der Verlauf des kontinuierlichen Absorptionskoeffizienten in Abhängigkeit der Wellenlänge  $\lambda$  für die mittleren Zustandsgrössen in der Sonnenatmosphäre

die Grenzkontinua anderer Elemente (z. B. Mg, Al, Si usw.) zu denen des Wasserstoffs überlagern. Im Infrarot nimmt die Absorption mit der Wellenlänge wegen der frei-frei-Übergänge von  $H^-$  stetig zu, doch sehr viel langsamer als im UV. Wie tief wir in die Sonnenatmosphäre hineinsehen können, zeigt uns der Verlauf der Absorptionskurve von Abbildung 1. Im sichtbaren und nahen IR-Wellenlängenbereich können wir zum Teil bis tief in die Photosphäre hineinsehen. Bei etwa 2500 Å und bei etwa 10  $\mu\text{m}$  ( $= 10^5 \text{ Å}$ ) ist die photosphärische Materie völlig undurchsichtig geworden, weshalb wir hier nur noch die T-Schicht sehen können.

Irgendwo in der T-Schicht muss das Temperaturminimum liegen. Im Bereich, in welchem die Temperatur nach aussen hin abnimmt, wird eine Randverdunkelung zu beobachten sein, d. h., die Intensität in der Scheibenmitte wird grösser sein als am Sonnenrand. Nach dem Temperaturminimum, dort wo die Temperatur nach aussen hin wieder zunimmt, ist eine Randerhellung zu erwarten. Auch die Spektrallinien werden vor und nach dem Temperaturminimum anders aussehen, die photosphärischen Absorptionslinien werden sich in chromosphärische Emissionslinien verwandeln.

Im UV kann die T-Schicht nur in einem kurzen Wellenlängenbereich beobachtet werden. Bei etwa 1500 Å ist die Absorption so gross, dass die beobachtete Strahlung nur noch von der Chromosphäre stammt, bei noch kürzeren Wellenlängen nur noch von der Korona. Im IR steht uns ein viel grösserer Wellenlängenbereich zur Verfügung, etwa von 10  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$ , um die T-Schicht zu erforschen. Ein weiterer Vorteil des IR-Spektrums ist der, dass hier nur noch verhältnismässig wenig Spektrallinien zu erwarten sind, so dass das kontinuierliche Sonnenspektrum gut definiert sein wird. Dies ist im UV nicht der Fall, da sich dort die Spektrallinien stark überlagern. Ferner ist im IR der kontinuierliche Absorptionskoeffizient wegen der einfach zu rechnenden frei-frei-Übergänge des  $H^-$  besser bekannt als im UV.

Die T-Schicht kann weder im UV noch im IR von der Erde aus beobachtet werden, da die Erdatmosphäre beide Wellenlängenbereiche fast gänzlich absorbiert. Im IR sind es im wesentlichen die  $H_2O$ - und die  $CO_2$ -Moleküle, die die einfallende Sonnenstrahlung absorbieren. Ballonexperimente, die unsere Instrumente über diese absorbierende Schicht hinaustragen, sollen uns das IR-Spektrum der Sonne von etwa 10  $\mu\text{m}$  bis 100  $\mu\text{m}$  und auch die Intensitätsverteilung über die Sonnenscheibe in verschiedenen IR-Wellenlängen registrieren. Diese Beobachtungen werden es ermöglichen, den Temperaturverlauf in der T-Schicht, also in der Umgebung des Temperaturminimums, herzuleiten.

**3. E. KOPP, H. BALSIGER, P. EBERHARDT, J. GEISS** (Physikalisches Institut der Universität Bern) – *Dichtemessung der oberen Atmosphäre mit Redhead-Manometern*

Im Herbst 1967 wurde in Sardinien das Experiment zur Bestimmung der Dichte und der Temperatur in der Atmosphäre oberhalb 100 km mit einer Zenit-Rakete von der Firma Contraves erfolgreich geflogen.

Die Rakete, die Integration und der Abschuss wurden vollständig von der Firma Contraves finanziert, der wir an dieser Stelle nochmals für ihr Entgegenkommen danken möchten.

Das Experiment bestand aus vier für das Raketenexperiment speziell entwickelten Redhead-Manometern, zwei Hochspannungseinheiten und einer Verstärkereinheit. Um das Entgasungsverhalten studieren zu können, waren zwei der Redhead-Systeme offen; die zwei anderen waren mit einem vakuumdichten, auf Kommando abwerfbaren Deckel versehen und wurden evakuiert. Der Deckel wurde in einer Höhe von etwa 70 km abgeworfen. Ein System war in der Raketenflugrichtung, die drei anderen senkrecht dazu angeordnet (siehe auch H. BALSIGER und E. KOPP: Sciences et Industries spatiales 1/2; 1968). Die Rakete erreichte mit einer Nutzlast von 80 kg die erwartete Gipfelhöhe von 141 km. Durch eine Eigendrehung von  $\frac{1}{3}$  Hz wurde eine gewisse Lagestabilisierung erreicht. Für die Messungen mussten über ein Telemetrikommando die Raketen-

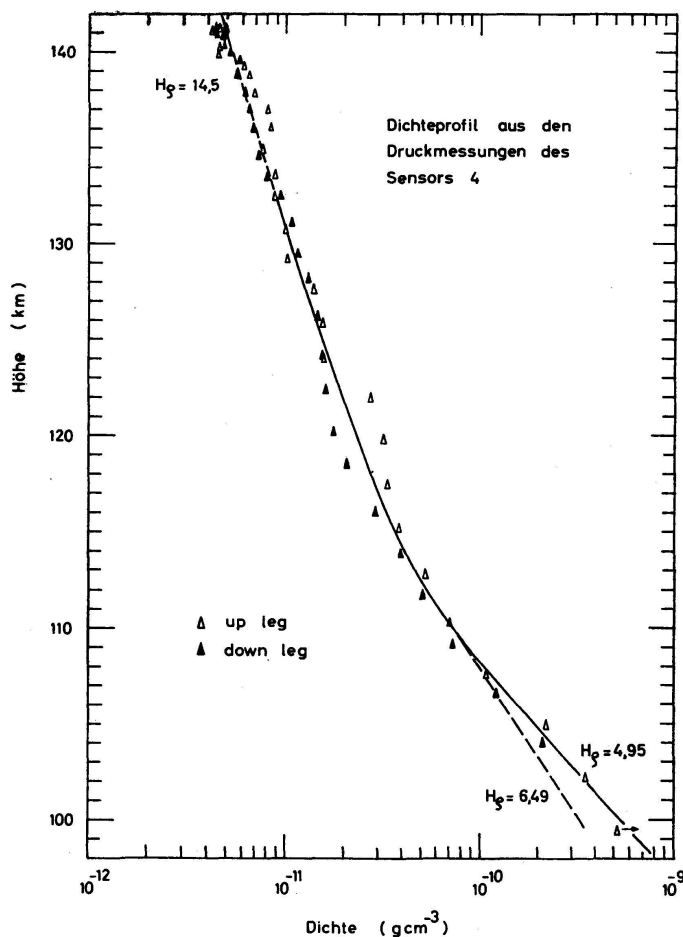


Abbildung 1

Zenit H1; Flug vom 27.10.1967, 16.45 h MEZ. Dichteprofil der oberen Atmosphäre aus den Messdaten eines geschlossenen Redhead-Manometers (Öffnung des Sensors bei 70 km)

spitze über dem vordersten Sensor und die Deckel der zwei geschlossenen Sensorsysteme abgeworfen werden. Die Telemetrieübertragung und die vier Redhead-Manometer haben während des ganzen Fluges störungsfrei funktioniert.

Die für die Berechnung der Aussendichte notwendige Parameterhöhe und Raketengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit sowie die genaue Raketenlänge bezüglich des Raketengeschwindigkeitsvektors wurden von der Firma Contraves berechnet und uns zur Verfügung gestellt.

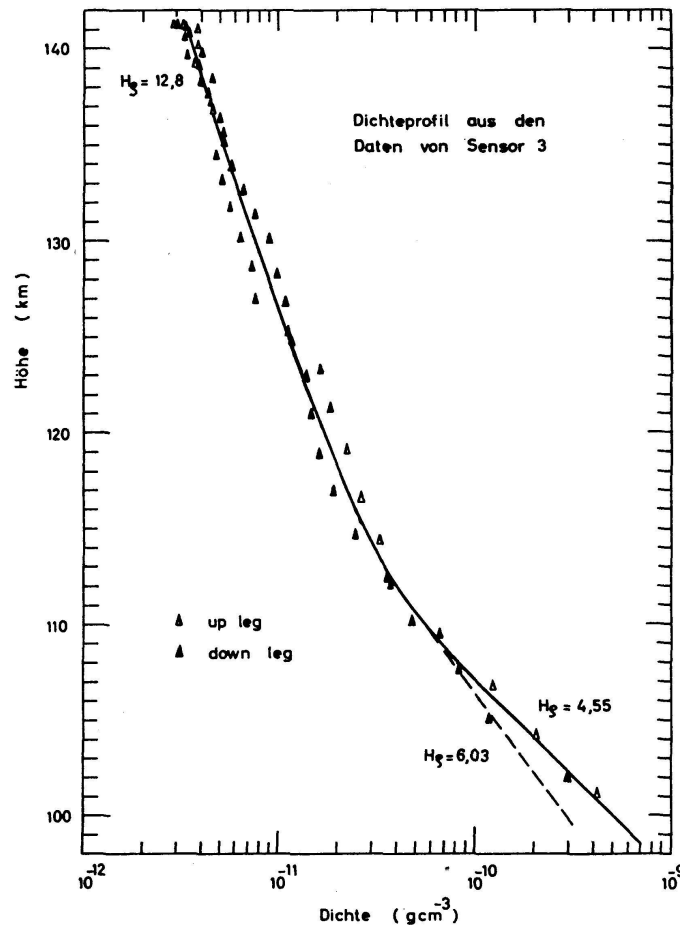


Abbildung 2

Zenit H1; Flug vom 27.10.1967, 16.45 h MEZ. Dichteprofil der oberen Atmosphäre aus den Messdaten eines offenen Redhead-Manometers

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Dichteprofile der Atmosphäre zwischen 100 km und der Gipfelhöhe, wie sie aus den Messungen mit einem offenen und einem geschlossenen Sensor berechnet wurden, gegeben. Aus dem Dichteprofil lässt sich durch Differenzierung die Temperatur der Atmosphäre ermitteln.

Diese Arbeit wurde durch den Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung finanziell unterstützt (Kredite NF 3468, 4040, 4539).



#### 4. H. U. DÜTSCH (Laboratorium für Atmosphärenphysik, ETH Zürich) – *Ozon in der Atmosphäre*

Seit der durch HARTLEY um 1880 gemachten Entdeckung des extremstarken Absorptionsvermögens des Ozons zwischen 2000 und 3000 Å wurde vermutet, dass ein atmosphärisches Vorkommen dieser aktiven Sauerstoffmodifikation den abrupten Abbruch des an der Erdoberfläche beobachteten Sonnenspektrums in der Gegend von 3000 Å verursache. Aber erst 1921 konnten FABRY und BUISSON den gesicherten Nachweis erbringen, dass Ozon allein für die Abschirmung der aktiven UV-Strahlung der Sonne verantwortlich ist; dies trotz dem kleinen atmosphärischen Gesamtgehalt von nur 2–6 mm NTP.

Es besteht heute kaum ein Zweifel darüber, dass Leben in der uns bekannten Form auf der Erde nur ermöglicht wird durch die Filterwirkung des Ozons auf die solare UV-Strahlung, welche auf wesentliche Zellbestandteile zerstörend wirkt. Dennoch hat nicht diese Erkenntnis zur weiteren Erforschung der Ozonschicht angeregt, sondern die bald (durch die Arbeiten von DOBSON) entdeckte Variabilität des Ozongehaltes mit Jahreszeit, geographischer Breite und dem Wetterablauf.

Die Existenz und die merkwürdige Verteilung des Ozons in der Atmosphäre mit einem Maximum in 20 bis 25 km Höhe konnte 1930 von CHAPMAN auf photochemische Vorgänge – Bildung und Zerstörung durch das solare UV und teilweise durch sichtbare Strahlung – zurückgeführt werden. Es zeigte sich aber bald, dass diese Theorie, obschon mittlere vertikale Verteilung und Gesamtgehalt an Ozon richtig wiedergegeben wurden, die Abhängigkeit von der Jahreszeit und der geographischen Breite falsch darstellte; doch liess sich dies dadurch erklären, dass die Einstellzeit des Gleichgewichtes unterhalb von 25 km sehr gross wird (in der Grössenordnung von Jahren), womit die Ozonverteilung in der unteren Stratosphäre nicht mehr direkt photochemisch, sondern durch die Transportwirkung der allgemeinen Zirkulation bestimmt wird. Ozon kann damit als Tracer für Strömungsvorgänge verwendet werden. Das heutige Interesse der Atmosphärenforschung am Ozon ist vor allem durch diese Tatsache bedingt.

Die Gesamt Ozonmessungen genügen aber nicht, um die Tracereigenschaften wirklich auszunützen. Methoden zur routinemässigen Beobachtung der vertikalen Verteilung des Spurengases sind daher in den letzten 20 Jahren entwickelt worden. Indirekte Messungen (vom Boden aus) sind relativ billig, geben aber keine Details. Für direkte Sondierungen mit Hilfe von Ballonen ist neuerdings die elektrochemische Sonde immer stärker in den Vordergrund getreten.

Die Resultate zeigen oberhalb von 25 km den von der Theorie verlangten Anstieg des Ozongehaltes nach niedrigen Breiten, und in dieser Höhe stimmen Beobachtung und Theorie auch in bezug auf die Phase des Jahresganges überein. Viel stärkere – strömungsbedingte – entgegengesetzte Ausschläge in der unteren Stratosphäre bedingen aber das Verhalten des Gesamt Ozons. – Besonders hervorstechend ist ein Anstieg um

fast 50% im Bereiche des Ozonmaximums (etwa 22 km Höhe) vom November zum Februar. Die Maximalwerte zwischen 10 und 20 km folgen mit etwelcher zeitlicher Verzögerung erst im Frühjahr und die Höchstwerte in der unteren Troposphäre sogar erst Anfang des Sommers. Man kann daraus den Schluss ziehen, dass ein wesentlicher Teil des Ozons im Winter (zur Zeit stärkster stratosphärischer Westströmung) aus dem tropischen Quellgebiet nach höheren Breiten transportiert wird und sich dort sukzessiv nach unten verlagert und schliesslich in die Troposphäre übertritt, wo das reaktionsfähige Gas in Bodennähe zerstört wird. Zur Zeit der stratosphärischen Ostströmung im Sommer scheint der polwärts gerichtete Transport unterbunden, während Übertritt in die Troposphäre und bodennahe Zerstörung weitergehen.

Während man also aus den Mittelwerten der vertikalen Ozonverteilung in verschiedenen Breiten und ihrer Variation mit der Jahreszeit zusammen mit der photochemischen Theorie bereits ein recht einleuchtendes Schema des jahreszeitlichen Ozonzyklus aufstellen kann, geben die Einzelmessungen (vor allem mit den ein gutes Auflösungsvermögen aufweisenden chemischen Sonden) Anhaltspunkte über die Art des Transportmechanismus. Vor allem in der unteren Stratosphäre im Winter und Frühjahr ist in der Vertikalen eine sehr unregelmässige Verteilung zu verzeichnen, mit doppelten oder mehrfachen Maxima, getrennt durch teilweise sehr ausgeprägte Minima sowie mit raschen Änderungen von Tag zu Tag. Es zeichnet sich damit eine ausgesprochene Schichtung der Stratosphäre ab, welche durch grossräumige, quasi horizontale Durchmischung in meridionaler Richtung (längs leicht geneigten Flächen) zustande kommt, während die in der Troposphäre ausgeprägte vertikale Turbulenz in diesen höheren Schichten viel kleiner sein muss. Der beobachtete Transport kommt offenbar in erster Linie durch solche Grossaustauschvorgänge zustande; in welchem Masse eine eigentliche Meridionalzirkulation auch dazu beiträgt, lässt sich anhand des noch ungenügenden Messnetzes nicht feststellen.

Auch der Übertritt stratosphärischer Luft in die Troposphäre, der nicht kontinuierlich, sondern schubweise erfolgt, kann anhand der Ozonsondierungen gelegentlich direkt beobachtet werden; der umgekehrte Vorgang des Rücktransportes der Luft (von der Troposphäre in die Stratosphäre) ist auch angedeutet, würde sich aber nur mit Hilfe eines ausgedehnteren Beobachtungsnetzes im Detail verfolgen lassen.

Während man hoffen kann, im Laufe des nächsten Jahrzehnts das Tracerproblem mit Hilfe eines sich ausdehnenden Ozonsondennetzes und auch anhand von vielversprechenden indirekten, aber weltweiten Messungen von Satelliten aus zu lösen, d. h. maximale Information über die Eigenheiten der stratosphärischen Zirkulation zu gewinnen, ist die Erforschung eines anderen Aspektes des Ozonproblems erst gerade im Anlaufen begriffen; nämlich die Untersuchung der Bedeutung dieses Gases für die Dynamik der Stratosphäre, für die es wegen seiner Absorption im UV (und auch im sichtbaren Bereich) und wegen Absorption und Emission im Infrarot eine ausschlaggebende Rolle spielt. Wegen der viel-

fältigen Rückkoppelung: photochemische Vorgänge, Einwirkung der Temperatur auf das Ozongleichgewicht, Ozontransport usw., ist das Problem sehr kompliziert, aber nur seine quantitative Lösung kann schliesslich zu einer befriedigenden Erklärung der stratosphärischen Zirkulationsvorgänge führen und Aufschluss über die Bedeutung allfälliger Schwankungen der UV-Strahlung für die Vorgänge in unserer Atmosphäre geben.

##### 5. M. LEHMANN (Observatorium Genf) – *Photometer zur Messung der Ozonverteilung in der Erdatmosphäre*

Wie Ihnen vielleicht bekannt ist, wurde vor einem Jahr, nämlich am 27. Oktober, die erste schweizerische Höhenforschungsrakete abgeschossen. Diese Rakete, die den Namen Zenit bekommen hatte, besass eine Länge von etwa 5,50 m und erreichte mit einer Nutzlast von etwa 80 kg eine Höhe von etwa 150 km. Diese Nutzlast bestand aus 2 Experimenten, die vom Physikalischen Institut der Universität Bern und dem Observatorium Genf konzipiert und konstruiert wurden.

Das Experiment der Universität Bern, welches in einem anderen Artikel beschrieben wird, diente zur Messung der Totaldichte und der Temperatur der Atmosphäre zwischen 80 und 150 km Höhe.

Unser Experiment befasste sich ebenfalls mit der Erdatmosphäre, war es doch unser Ziel, die Verteilung des Ozons in unserer Erdatmosphäre zu messen. Deren Kenntnis ist für unsere anderen Forschungsaufgaben am Observatorium Genf von äusserster Wichtigkeit, führen wir doch von Ballonen, die eine Höhe von 40 km erreichen, Sternbeobachtungen in einem Wellenlängenbereich von 2000 Å bis ins Sichtbare durch. Deren Strahlung wird durch das Ozon mit einem Absorptionsmaximum bei etwa 2550 Å und einer Halbwertebreite von etwa 400 Å abgeschwächt.

Es ist für uns also von grösstem Interesse, die Ozonverteilung oberhalb 40 km zu kennen, um unsere Sternbeobachtungen entsprechend zu korrigieren.

Zur Messung der vertikalen Verteilung des Ozons in unserer Erdatmosphäre benützten wir den vorhin angedeuteten Umstand, dass vom Ozon unter anderem die elektromagnetische Strahlung bei etwa 2550 Å absorbiert wird. Mit einem mit zwei Filtern ausgerüsteten Photometer messen wir die Sonnenstrahlung, die je nach der Höhe der Rakete einen andern Teil unserer Erdatmosphäre durchquert hat. Mit dem einen Filter messen wir genau in dem Bereich, wo die Ozonabsorption auftritt, d.h., die Sonnenstrahlung wird mehr oder weniger geschwächt sein, abhängig davon, ob die durchquerten Atmosphärenschichten viel oder wenig Ozon enthielten. In dem Wellenbereich, der durch das zweite Filter bestimmt wird, tritt keine Ozonabsorption auf. Diese wurde also als Referenzmessung benutzt, um eventuelle Schwankungen und Unsicherheiten zu eliminieren.

Der Instrumentaufbau umfasste eine Eintrittsblende mit zwei dahinter angeordneten Filtern, die uns die gewünschten Wellenlängenbänder aussondern. Anschliessend wird diese Strahlung von einem Photomulti-

plier in einen proportionalen Strom umgewandelt, dessen Variationen über ein äusserst empfindliches Elektrometer und einen Anpassungsverstärker der Telemetrie zugeführt werden. Am Boden wird dieses Signal auf Magnetband gespeichert, um anschliessend digitalisiert und ausgewertet zu werden.

Bei Raumforschungsexperimenten sind immer ein grosser Teil der Probleme technologischer Art. Müssen doch verschiedene Einflüsse, die unserer normalen Laboratoriumsumgebung nicht entsprechen, besonders berücksichtigt werden.



*Abbildung 1*

In der Hand das Elektrometer mit Photomultiplier. Vorne rechts das Photometergehäuse mit Lichteintrittsspalt

Während des Fluges erreicht zum Beispiel die Raketenhaut einige hundert Grad; jede Temperaturveränderung beeinflusst aber sofort die Sensibilität der Photokathode. Es wurde deshalb versucht, eine möglichst gute Wärmeisolation zwischen Raketenhaut und Instrumenten zu erreichen. Auch die beim Abschuss auftretenden Vibrationen stellen besondere Anforderungen an die Konstruktion der elektronischen Komponenten. Bekanntlich treten nach dem Paschengesetz bei Druckerniedri-

gung zwischen elektrischen Leitern Spannungsüberschläge auf. Um diesen Schwierigkeiten auszuweichen, wurde der Photomultiplier samt Betriebsspannungen in einem druckdichten Gehäusezylinder eingebaut, der während des ganzen Fluges unter Atmosphärendruck bleibt.

Wie aus den Auswertungen beurteilt werden kann, haben während des Fluges sämtliche Komponenten erwartungsgemäss funktioniert.

## 6. G. PORETTI (Radiuminstitut und Strahleninstitut der Universität und des Inselspitals, Bern) – *Bestimmung der Strahlendosen im Weltraum*

### 1. Einleitung

Materialien und biologische Systeme sind im Weltraum einer relativ hohen Strahlenbelastung ausgesetzt. Die Dosimetrie dieser Strahlung setzt die Kenntnis vieler Faktoren voraus, u.a. die Qualität, die Energie und die Intensität der Strahlung, die Absorber, welche das betrachtete Objekt abschirmen, die Lage der Flugbahn, die Umlaufszeit um die Erde usw.

### 2. Die verschiedenen Strahlenarten im Kosmos

Folgende Strahlenarten treffen eine Raumkapsel auf ihrer Flugbahn um die Erde:

- Primäre oder galaktische kosmische Strahlung. Sie besteht zu einem grossen Teil aus relativ schweren Atomkernen (z. B. bis 26% C)
- Solare Strahlung oder «solar wind». Durch die Expansion der vollständig ionisierten Sonnenkorona werden die Erde und alle Planeten von einer Art «solarem Wind» getroffen, der eine Geschwindigkeit von mehr als 400 km/sec aufweist
- Strahlung der irdischen Strahlengürtel. Die geladenen Teilchen des solaren Windes, die vom Magnetfeld der Erde eingefangen werden, bilden einen äusseren und einen inneren Strahlengürtel. Die äussere Zone befindet sich in einer Entfernung von 10000 bis 16000 km, die innere in einem Abstand von etwa 4000 km von der Erde; beide enthalten hauptsächlich Elektronen und sehr energiereiche Protonen
- Protonen aus den «solar flares»

### 3. Strahlenintensität in einem bestimmten Punkt des Weltraumes

Um die voraussichtliche Dosisbelastung der oben erwähnten Strahlenarten auf Menschen und Geräte zu bestimmen, muss man den mittleren Strahlenfluss durch die Satellitenbahn kennen. Berechnungen für elliptische und kreisförmige Bahnen wurden z. B. an Hand von experimentellen, mit dem Satelliten Explorer XV (1963) ermittelten Werten durchgeführt. Pionierarbeit leistete u. a. J. VETTE, der im NASA-Report «Models of the trapped radiation and environment» die Flussverteilung für Elektronen und Protonen des inneren und des äusseren Strahlengürtels sowie die Auswirkung auf Synchronbahnen berechnet hat. Zur Ermittlung der

Flussverteilung von «solar flares» wurden dabei die etwas unsicheren Angaben über den mittleren jährlichen Teilchenfluss benützt.

Die Ergebnisse stimmen gut mit den experimentellen Kontrollen überein, die allerdings vorläufig noch nicht sehr zahlreich sind.

#### *4. Wechselwirkung der verschiedenen Strahlenarten mit der Materie*

Wenn Art und Intensität der auf einer Satellitenbahn vorhandenen Teilchen oder elektromagnetischen Strahlung bekannt sind, kann durch Berücksichtigung der Wechselwirkung derselben mit der Materie die Strahlendosis in einem Punkt der Raumkapsel bestimmt werden. Es ist wesentlich, ob sich der Punkt in schlecht abgeschirmten Gegenständen der Kapseloberfläche (z. B. Sonnenzelle), hinter der Wand im Innern der Kapsel oder in einem biologischen System befindet. Die Frage, wie viele Protonen eine Absorberwand durchdringen, kann z. B. transporttheoretisch beantwortet werden. Komplizierter sind die Prozesse, bei denen Elektronen in Absorbern Energie verlieren. Sie werden im allgemeinen mit Hilfe statistischer Methoden (z. B. Monte-Carlo-Methode) und von Computern bearbeitet.

Um die Rechnung zu vereinfachen, wird im Falle einer Raumkapsel das sogenannte «sectoring»-Verfahren angewendet. Die Kapsel, einschliesslich des Platzes, den der Körper der Astronauten einnimmt, wird in viele Sektoren eingeteilt, die im allgemeinen verschiedene Dicken aufweisen. Bei der Gemini-Kapsel der NASA waren es 720 Sektoren, von denen einige weniger als 1 g Materie je cm<sup>2</sup> Oberfläche enthalten.

Bei den theoretischen und experimentellen Untersuchungen über Abschirmungsfähigkeit von Materialien hat man es auch mit Bedingungen zu tun, die bis vor kurzem mangels praktischer Bedeutung wenig berücksichtigt wurden, z. B. mit Transmission der Strahlung durch leichte Elemente oder Materialien, die aus verschiedenen Bestandteilen zusammengesetzt sind, Elektronenenergien im MeV-Gebiet, Einfallsisotropie der Strahlen usw.

#### *5. Wirkung der Weltraumstrahlen auf biologische Systeme*

Vier Faktoren beeinflussen bekanntlich die Strahlenwirkung auf biologische Systeme: a) die Qualität und Energie der Strahlung, b) die Inhomogenität der Energiedeposition, c) die biologische Variabilität des Systems und d) die biologische Stochastik. Der zweite Faktor macht sich besonders bei schweren Teilchen bemerkbar. Ein solches Teilchen lässt längs seiner Spur im Gewebe einen Zylinder mit ausserordentlich hoher Ionisation zurück («thin-down track»). Man schätzt, dass eine Spur bis zu tausend Zellen trifft; die biologische Wirkung solcher «hits» ist aber wenig bekannt. Aus Experimenten, die mit Beschleunigern durchgeführt wurden, scheint vorläufig hervorzugehen, dass sie für Organismen im Weltraum nicht besonders gefährlich sein dürften.

Die Inhomogenität der Energiedeposition wird von der Mikrodosimetrie berücksichtigt. Man rechnet dabei mit grossen subzellulären Schwan-

kungen des sogenannten «linear energy transfer» (LET), welcher normalerweise als Mittelwert über eine bestimmte Ionisationsstrecke angegeben wird, und erfasst damit die durch eine stark erhöhte lokale Energie-deposition bedingte Zunahme der Strahlendosis in z.B. bestimmten Bereichen einer Zelle.

### 6. Beispiele

a) Beim Gemini-Titan-Flug 4 der NASA konnten die theoretisch ermittelten Werte mit den experimentell gemessenen verglichen werden. Die praktisch kreisförmige Bahn lag 2000 km hoch, und ihre Neigung gegenüber der Äquatorebene betrug  $30^\circ$ . Die hinter etwa 4 mm Al direkt an der Wand gemessenen Werte für Protonen waren: theoretisch 180 mrad/h, experimentell 100 mrad/h.

b) Weitere Messungen, die mit dem OV-1-Satelliten der NASA am 5. Oktober 1965 teilweise im Strahlengürtel ausgeführt wurden, ergaben folgende Werte:

- Protonenstrahlung hinter 8 mm Al, direkt an der Wand des Satelliten 460 mrad/h; Protonenstrahlung ohne Al-Absorber, direkt an der Wand des Satelliten 9400 mrad/h
- Röntgenstrahlung (als Bremsstrahlung) in der Mitte der Kapsel 50 mrad/h

Angesichts der Forderung, bei Weltraumexperimenten das Gewicht der Satelliten und Kapseln so niedrig wie möglich zu halten, sind die exakten Berechnungen der biologisch notwendigen Abschirmungen von grosser Bedeutung.

### 7. M. SCHÜRER (Universität Bern) – *Satellitengeodäsie*

Die vornehmste Aufgabe der Geodäsie besteht in der Bestimmung von Form und Grösse einer idealisierten Erdfigur, des Geoids, das nahezu mit der Oberfläche der Meere übereinstimmt und das wir im selben Niveau durch die Kontinente hindurch fortgesetzt denken müssen. Prinzipiell standen uns bisher zwei Wege zu seiner Bestimmung offen. Auf dem ersten wird in einem Ausgangspunkt senkrecht zum Lot die Tangentialebene an das Geoid gelegt. In dieser geht man nach verschiedenen Richtungen um eine mittels Triangulation gemessene Strecke weiter; in den Endpunkten bestimmt man wieder Lot oder Tangentialebene und so fort, bis schliesslich die ganze in sich geschlossene Fläche gefunden ist. Der zweite Weg benutzt Schweremessungen. Ist auf einer Niveaufläche des Potentials, die die ganze Erdmasse in sich einschliesst, in jedem Punkt der Betrag der Schwerebeschleunigung bekannt, so ist nach einem Satz der Potentialtheorie auch ihre Form und die Form aller andern, die ganze Masse umschliessenden Niveauflächen berechenbar.

Für die beiden Wege bilden nun aber die Meere unüberwindliche Hindernisse. Erst die Verwendung von Satelliten macht die Hauptaufgabe der Geodäsie einer praktischen Lösung zugänglich. Beobachtet man von zwei Stationen A und B aus gleichzeitig die Richtung nach einem Satel-

liten, so legen diese beiden Richtungen die Lage einer Ebene im Raume fest. Wird in derselben Weise noch ein anderer Satellit oder der nämliche zu einer andern Zeit beobachtet, so ist eine zweite Ebene festgelegt. Die Schnittgerade der beiden Ebenen, deren Richtung damit ebenfalls bestimmt ist, geht durch die beiden Punkte *A* und *B*. Da sich die Satelliten in einer Höhe von grössenordnungsmässig 1000 km über der Erde befinden, können sie gleichzeitig von zwei Stationen, die Tausende von Kilometern auseinanderliegen, beobachtet werden. Die Richtung zwischen *A* und *B* kann damit auch über Meere hinweg indirekt bestimmt und eine Triangulation über die ganze Erde durchgeführt werden. Man erhält ein räumliches Netz von Dreiecken, das die Erde umfasst.

Ist die Bahn eines Satelliten aus Bahnbestimmungen bekannt, so kann jeder Punkt auf der Erde durch Rückwärtseinschneiden nach verschiedenen Satellitenpositionen ebenfalls bestimmt werden. Eine dritte, die dynamische Methode entspricht in gewissem Sinne der gravimetrischen Methode der klassischen Geodäsie. Ein Satellit stellt eine Sonde im Gravitationsfeld der Erde dar. Dieses unterscheidet sich vom Schwerfeld nur dadurch, dass das Feld der Zentrifugalbeschleunigung der Rotation wegfällt. Aus den Störungen, die der Satellit erleidet, kann das Gravitationsfeld bestimmt werden.

Wir können nun auf etwa 10 Jahre Tätigkeit in der Satellitengeodäsie zurückblicken. Erste Resultate wurden nach der dynamischen Methode erhalten; sie ergaben bessere Werte für die Abplattung und den Äquatorradius der Erde, die heute zu 1 : 298 25 und 6378 160 m angegeben werden. Es wurde aber auch wie erwartet festgestellt, dass ein Rotationsellipsoid nur eine erste Näherung für das Geoid darstellt. Der Nordpol steht etwa 40 m weiter vom Erdmittelpunkt ab als der Südpol, und der Erdäquator ist eine Ellipse mit der grossen Achse bei etwa 15° westlicher Länge; sie ist rund 200 m länger als die kleine. Aber auch das ist nur eine grobe Beschreibung der recht unregelmässigen Undulationen des Geoids, deren immer genauere Kartierung eine der Hauptaufgaben der Satellitengeodäsie in der Zukunft sein wird.

Im Auftrag der Schweizerischen Geodätischen Kommission ist in der Zweigsternwarte Zimmerwald der Universität Bern eine Beobachtungsstation für Satellitengeodäsie eingerichtet worden. Die Richtungen nach den Satelliten werden mit Hilfe einer Schmidt-Kamera von 40 cm Öffnung photographisch bestimmt. Eine Zeitanlage erlaubt die Festhaltung der Beobachtungsmomente auf etwa 1 msec genau. Aus ersten noch wenig zahlreichen Beobachtungen ergab die Bahnmethode für die Korrekturen der angenommenen Koordinaten in einem erdfesten System mit dem Schwerpunkt der Erde als Ursprung die Werte:  $dx = +11$  m  $dy = -29$  m  $dz = +30$  m. Andererseits ist aus nur drei Paaren simultaner Beobachtungen des Satelliten Geos 1 mit der Smithsonian Station in San Fernando (Spanien) die Richtung San Fernando–Zimmerwald bestimmt worden. Geht man von den gut bekannten Koordinaten von San Fernando aus und nimmt an, dass die Strecke San Fernando–Zimmerwald in ihrer Länge genügend genau aus terrestrischen Messungen bekannt sei, so erhält man



wiederum Verbesserungen der Koordinaten von Zimmerwald auf eine ganz unabhängige Weise mit:  $dx = +18$  m,  $dy = -15$  m,  $dz = +35$  m. Sie stimmen mit den ersten recht gut überein und zeigen, dass man bei mehr Beobachtungen eine Koordinatengenauigkeit von etwa 5 m erwarten kann. Diese Genauigkeit kann wahrscheinlich noch um eine Größenordnung verbessert werden, wenn einmal, wie beabsichtigt, mit Hilfe von Lasern genaue Entfernungsbestimmungen nach Satelliten vorgenommen werden können.

## 8. E. STIEFEL (ETH Zürich) – *Die Renaissance der Himmelsmechanik*

In manchen Zweigen der mathematischen Wissenschaften beobachtet man drei fundamentale Entwicklungsperioden, die wir am Beispiel der *linearen Algebra* illustrieren wollen. Erstens wird eine neue Untersuchungsrichtung erschaffen durch Problemstellungen, die von aussen aus Naturwissenschaft oder Technik kommen (Auflösung linearer Gleichungssysteme, Baustatik). Die zweite Periode ist dann gekennzeichnet durch eine rein theoretische Abklärung der Grundlagen, durch das Erfinden von Formalismen (Determinanten, Matrizen, Vektoren, Tensoren) und durch eine fortschreitende Abstraktion. Eine Abkapselung von der Aussenwelt der Anwendungen ist in dieser Periode notwendig und gerechtfertigt. Wenn aber die Formalismen und die Abstraktion in ihrer inneren Eigengesetzlichkeit immer weitergetrieben werden, ohne die Bewährung in den Anwendungen zu suchen, so konstatiert man Ermüdungserscheinungen, ja mitunter ein steriles Auslaufen.

Es ist ein Glück, wenn eine dritte Periode anschliesst, in der wieder von aussen her neue Probleme auftauchen, die infolge von theoretischen Resultaten aus der zweiten Periode schnell gelöst werden können. Es springt ein Funke über; eine wunderbare Rückkopplung zwischen Mathematik und Naturwissenschaft bringt uns einen wesentlichen Schritt weiter. In der linearen Algebra wurde eine solche Rückkopplung durch die Problemstellungen des *operations research* ausgelöst.

Die *Himmelsmechanik* zeigt dieses Auf und Ab mit seltener Deutlichkeit. Es beginnt mit dem praktischen Bedürfnis des Astronomen nach Positionsberechnung der Gestirne. Zu Beginn der zweiten Periode entwickelt KEPLER die mathematischen Grundgesetze und formuliert vor allem, dass ein Mobil (Planet), das nur der Anziehung durch einen einzigen Zentralkörper (Sonne) unterworfen ist, sich in einer Ebene bewegt, die durch den Zentralkörper geht. Seine Bahnkurve in dieser Ebene ist eine Ellipse (Parabel, Hyperbel), die einen Brennpunkt im Zentralkörper  $Z$  hat. Im unteren Teil unserer Figur ist die genannte Ebene die Zeichenebene. Nach Entdeckung des fundamentalen Gravitationsgesetzes durch NEWTON kommen LAGRANGE, LAPLACE, LEVERRIER zur vollständigen Durcharbeitung des Sonnensystems. Die zweite Periode erreicht ihren Höhepunkt mit den subtilen mathematischen Untersuchungen von POINCARÉ zu Anfang unseres Jahrhunderts und läuft aus mit einer gewissen

Resignation über die Schwierigkeiten des Dreikörperproblems. Die Himmelsmechanik verschwindet aus dem Stundenplan der meisten Hochschulen.

Aber in dieser zweiten Periode hat EULER 1765 eine kleine Untersuchung veröffentlicht, auf die wir näher eingehen müssen. Wir haben in der Figur eine ziemlich «runde» Ellipse gezeichnet, die kleine Achse  $CD$  ist nur wenig kleiner als die grosse  $AB$ , die Exzentrizität ist gering. Wir wollen nun  $A$  festhalten, aber die kleine Achse immer kleiner machen, so dass Ellipsen wachsender Schlankheit entstehen, die  $Z$  in immer schärferer Krümmung umfahren. EULER interessiert sich nur für den Grenzfall, in dem die kleine Achse Null wird. Das Mobil stürzt dann geradlinig von  $A$  aus auf  $Z$  zu, wird an  $Z$  reflektiert und kehrt nach  $A$  zurück, so wie die Pfeile es andeuten. Beim Eintreffen in  $Z$  wird aber die Newtonsche Gravitationskraft und damit die Geschwindigkeit des Mobils unendlich gross; es entsteht eine *Singularität* des Problems. EULER zeigt nun, dass man durch geeignete Transformation der beteiligten mathematischen Variablen die Singularität beseitigen kann.

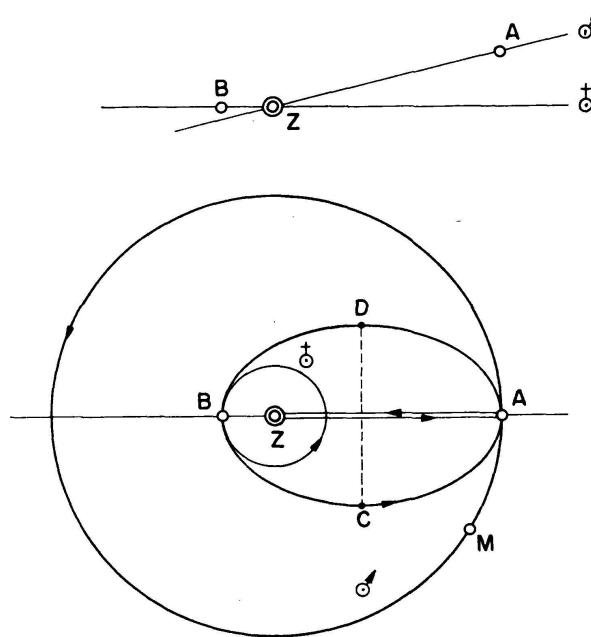


Abbildung 1

Keplerbahn und Transfer Erde-Mars

Die klassischen Himmelsmechaniker der zweiten Periode haben dieser rein «akademischen» Untersuchung EULERS wenig Beachtung geschenkt, denn die Bahnen der Planeten sind sehr rund, die Exzentrizitäten sind sehr klein.

Nun kommt aber die dritte Periode mit den neuen Fragestellungen der *Astronautik*. Die Bahnen unserer Satelliten sind mitunter sehr schlank, d. h. hochexzentrisch.

Das Apogäum  $A$  ist dann weit von der Erde  $Z$  weg, vielleicht halbwegs zum Mond in einer Distanz von 200000 km von  $Z$ . Das Perigäum aber ist sehr nahe, nur einige hundert Kilometer über der Erdoberfläche. Die Bahnellipse ist so schlank, dass fast der Fall der Eulerschen Kollisionsbahn vorliegt und es angezeigt ist, seine Regularisierungsmethode anzuwenden, um sehr grosse Kräfte und Geschwindigkeiten beim Durchlauf von  $B$  zu vermeiden.

Die Methode war von EULER vorgeschlagen und von anderen (LEVICIVITA) weiterentwickelt worden. Sie ist ein schönes Beispiel für die oben erwähnte Rückkopplung und wird auch an der ETH studiert.

Andere neue Fragestellungen der Astronautik betreffen vor allem Probleme der *Optimierung*. Unsere Raketen laufen ja nicht wie die natürlichen Himmelskörper auf Bahnen, die für alle Zeiten zum voraus bestimmt sind, sondern wir können in jedem Moment steuern und wollen so steuern, dass wir die Mission mit minimalem Brennstoffverbrauch durchführen.

Ein kleines Paradoxon aus diesem Problemkreis möge unsere Betrachtungen beschliessen. Zu diesem Zweck werde die Figur wie folgt interpretiert.  $Z$  sei die Sonne, die beiden Kreise seien die Bahnen von Erde und Mars. In erster Annäherung kann man nämlich die Planetenbahnen als Kreise ansehen, die in einer Ebene, genannt *Ekliptik*, liegen. Es soll ein Raumfahrzeug in freiem Flug von der Erde zum Mars geschickt werden. Um 1925 zeigte W. HOHMANN, dass unter allen Kepler-Ellipsen, welche *in der Ekliptik verlaufen*, diejenige den minimalen Anfangsschub benötigt, die wir gezeichnet haben; sie tangiert die beiden Planetenbahnen in  $B$  und  $A$ .

Wenn nun aber berücksichtigt wird, dass die Marsbahn etwas gegen die Ekliptik geneigt ist, so verliert diese Aussage jegliche Bedeutung. Man erkennt dies, indem man in einer Vertikalebene durch  $AB$ , also im Aufriss der Figur zeichnet. Unsere drei Himmelskörper sind dort wieder mit  $Z$ ,  $A$ ,  $B$  bezeichnet. Nach dem oben zitierten fundamentalen Resultat von KEPLER muss eine Bahn, die von  $B$  nach  $A$  führt, in der Ebene  $BAZ$ , also in unserer Vertikalebene liegen. Die Transferbahn geht also beim Start an der Erde senkrecht zur Ekliptik weg, wozu es einen ungeheuren Anfangsschub braucht. Man kann sogar zeigen, dass dieser Schub im Vergleich zu anderen möglichen Transferbahnen maximal ist. Der von HOHMANN vorgeschlagene Transfer existiert also nicht, man muss vielmehr von  $B$  ausgehend die Marsbahn in der Gegend des Punktes  $M$  ansteuern, damit die Bahnellipse nicht zu stark aufgestellt wird.

Die durch die Raumforschung angeregte Renaissance der Himmelsmechanik findet das Interesse vieler junger Wissenschaftler. Die entwickelten Optimierungsmethoden kommen auch den Steuer- und Regelungsproblemen der Technik zugute.