©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Die Bedeutung der Satellitenforschung für die Geophysik.

Von Univ.-Prof. Dr. Max Toperczer, Wien.

Vortrag, gehalten am 4. April 1962.

Die Erforschung der unmittelbaren Umgebung unseres Heimatplaneten, der Erde, steht heute im Mittelpunkt des Tagesinteresses. Diese Tätigkeit als Astro- oder Kosmonautik zu bezeichnen, ist aber eine wohlwollende Übertreibung. Das 20. Jahrhundert ist gekennzeichnet durch die Eroberung der dritten Dimension, die sich zunächst auf die unteren Bereiche der Erdatmosphäre beschränkte, nunmehr aber beginnt, darüber hinaus in die Geosphäre einzudringen.

Unsere Raumfahrt steht in den allerersten Anfängen. Man kann entwicklungsmäßig ihren derzeitigen Zustand etwa mit dem Beginn des Entdekkungszeitalter um die Wende des 15. Jahrhunderts vergleichen, als die Bewohner Europas begannen, die Erdoberfläche zu erforschen. Raumfahrt im eigentlichen Wortsinn hieße freie Beweglichkeit innerhalb der verschiedenen Schwerefelder un-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

seres Planetensystems. Dazu sind aber die heutigen technischen Hilfsmittel noch unzureichend.

Der innerplanetarische Raum wird beherrscht durch die Schwerefelder der Sonne und der einzelnen Himmelskörper des Sonnensystems. Das Schwerefeld der Sonne beherrscht natürlich das gesamte Planetensystem, das dadurch zu einer Einheit zusammengefügt wird. Allein innerhalb eines Umkreises von etwa 1,870.000 km, vom Mittelpunkt der Erde aus gerechnet, überwiegt die Schwerewirkung der Erde die der Sonne, in der Verbindungslinie zum Mond endet wieder der Anziehungsbereich der Erde in einer Entfernung von 346.000 km und wird dann von der Gravitationswirkung des Mondes übertroffen. So ist jedem Himmelskörper des Planetensystems ein bestimmter Wirkungsbereich zugeordnet, in dem seine Anziehungskraft über die der anderen Himmelskörper dominiert.

Abgesehen von wenigen Ausnahmen liegen aber die Bahnen der Forschungssatelliten, die bisher von der Erde aus gestartet wurden, in einer Kugelschale, die etwa 3000 km, also etwa die Hälfte des Erdradius von 6371 km, über die Erdoberfläche hinausreicht.

Natürlich bestehen heute schon technische Möglichkeiten, Satelliten aus dem Anziehungsbereich der Erde zu entfernen, es übersteigt aber die heutigen technischen Möglichkeiten, mit einem Raum-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

schiff zwischen den Schwerebereichen verschiedener Himmelskörper zu navigieren und zur Erde zurückzukehren.

Schon der Energiebedarf für die einfache Überwindung des irdischen Schwerefeldes ist sehr beträchtlich. Um die Masse von 1 kg auf die zur Überwindung der Erdschwere erforderliche Fluchtgeschwindigkeit von rund 11.2 km/sec zu beschleunigen, ist ein Energieaufwand von 11.7 Kilowattstunden notwendig und dafür ist bei den besten chemischen Treibstoffen eine Treibstoffmenge von mindestens 5 kg erforderlich. Diese muß aber teilweise mitbeschleunigt werden. So ergeben sich schließlich sehr kleine Nutzlasten bei anfänglich gewaltigem Raketengewicht, d. h. man muß sich mit einem Massenverhältnis von etwa 1 : 1000 begnügen.

Eine Verbesserung könnte nur die Heranziehung der Atomenergie als Antriebsmittel bringen, oder die Ausnützung anderer physikalischer Möglichkeiten, deren technische Beherrschung heute jedoch noch nicht gegeben ist. So war es bisher nur möglich, verhältnismäßig kleine Flugkörper als künstliche Monde in Umlaufbahnen um die Erde zu bringen. Auch die bemannten Satelliten haben bisher nur geringe Höhen von wenigen hundert Kilometer über die Erdoberfläche erreicht, sind also weit entfernt von einem „Raumflug“ in der vollen Wortbedeutung.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Trotzdem haben die bisherigen Versuche unsere Kenntnisse über die Beschaffenheit und die physikalischen Verhältnisse in der nächsten Umgebung der Erde erweitert und uns zum erstenmal einen Einblick in die Struktur des Raumes um den Erdball gegeben. In erster Linie sind diese Erkenntnisse von großer geophysikalischer Bedeutung. Über die von den unbemannten Satelliten gewonnenen Ergebnisse soll nun ein kurzer Überblick gegeben werden.

Die Entwicklung der Luftfahrt hat zu einer genaueren Erforschung der unteren Atmosphäre geführt, doch konnten Höhen über 40 km mit Hilfe von mit selbsttätigen Geräten ausgerüsteten Ballonen nicht erforscht werden. Unsere Kenntnisse über Aufbau und Zusammensetzung noch höherer Luftschichten wurden zunächst indirekt erschlossen, aus der Ausbreitung des Schalles, der Radiowellen, durch die Beobachtung von Meteoriten und Polarlichtern. Danach mußte die Atmosphäre sich bis zu einer Höhe von etwa 1000 km erstrecken. Erst nach dem zweiten Weltkrieg war es möglich, durch Raketenversuche auch direkte Beobachtungsergebnisse aus den höheren Schichten der Atmosphäre zu gewinnen. Doch geben solche Beobachtungen nur kurze Stichproben, weil die Meßinstrumente die Luftschichten bis zur Gipfelhöhe der Raketenbahn in sehr kurzer Zeit durchmessen und auch während des Abstieges nur relativ kurze

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Zeit in den zu durchforschenden Schichten verweilen. Doch waren diese Versuche geeignet, einen ersten Einblick in die Atmosphärenschichten bis etwa 400 km Höhe zu liefern und außerdem geeignete Instrumente für die Durchführung solcher Messungen zu entwickeln und zu verbessern.

Damit war aber der Bereich der Atmosphäre noch immer nicht überschritten und erst die Satelliten, mit Beobachtungsinstrumenten und der entsprechenden automatischen Nachrichtenübermittlung ausgerüstete künstliche Monde, die die Erde in bestimmten Bahnen umkreisen, waren imstande, uns Beobachtungsergebnisse aus den an die eigentliche Atmosphäre angrenzenden Schichten, die man am einfachsten als Geosphäre bezeichnen kann, zu übermitteln. Die Geosphäre entspricht noch keineswegs den Verhältnissen des interplanetarischen Raums und noch weniger denen des freien Weltraums zwischen den einzelnen Sonnensystemen, sie weicht aber in ihrem Aufbau und ihren physikalischen Eigenschaften doch stark von der eigentlichen Atmosphäre ab. Andrerseits werden gerade ihre Eigenschaften durch ihre Erdnähe, durch das Schwerefeld und das Magnetfeld der Erde bestimmt, sodaß die gewählte Bezeichnung dadurch gerechtfertigt erscheint.

Aus dem Bereich der höchsten Atmosphäre und der Geosphäre vermitteln uns die Satelliten Beobachtungsergebnisse in zweifacher Weise: einmal

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

passiv durch ihre Bahnform und die Art ihrer Fortbewegung und dann aktiv durch die von ihnen getragenen Meßinstrumente.

Wäre der Raum rings um die Erde von einer bestimmten Höhe ab vollständig leer, d. h. frei von materiellen Teilchen, so würde die Bahn eines in Erdnähe kreisenden Satelliten ein Kreis oder eine Ellipse gemäß den Keplerschen Gesetzen der Planetenbewegung sein. Befinden sich aber in der Bahn des Satelliten Materieteilchen, etwa die Gasreste der hohen Atmosphäre, dann wird durch diese die Bahn verändert und die Satellitenbewegung gehemmt, da dieser dauernd, wenn auch wenig, Energie beim Zusammenstoß an diese Teilchen abgeben muß. Infolge dieser Reibungseinflüsse werden nunmehr die Satellitenbahnen keine reinen Kegelschnitte mehr sein, sondern kegelschnittähnliche Spiralen, wobei sich das Perigäum (der erdnächste Punkt der Satellitenbahn) immer mehr der Erde nähert. Damit werden aber auch die Reibungseinflüsse immer größer, da nunmehr der Satellit in seinem erdnächsten Bahnteilen in immer dichtere Schichten gerät und schließlich wird die Reibung so groß, daß der Satellit, ähnlich wie ein Meteor, durch die dabei erzeugte Wärme verglüht.

Da diese Bahnänderungen allein von der Dichte der Materie in den durchlaufenen Schichten abhängt, können aus ihnen auch Aussagen über die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Dichte der höchsten Atmosphäre bzw. der Geosphäre gezogen werden.

Die beobachteten Bahnänderungen erfolgen nicht ganz regelmäßig. Aus den überlagerten Unregelmäßigkeiten können nun weitere Schlüsse auf kurzfristige und längerdauernde Schwankungen der Dichte gezogen werden. Man erhält so einen Einblick in die regelmäßigen Gezeitenschwankungen der hohen Atmosphäre und die solaren Einwirkungen auf Ionosphäre, Exosphäre und die Geosphäre. Außer der Strahlung sendet die Sonne dauernd Ströme von Korpuskeln in den Raum, von denen gewisse Teile durch das Schwerefeld und auch das geomagnetische Feld der Erde eingefangen werden. Da die aktiven Emmissionszentren auf der Sonne die Drehung der Sonne mitmachen, prägt sich der Zusammenhang der unregelmäßigen Dichteänderungen mit der Sonne in der Form aus, daß wir bei ihnen einen 27tägigen Rhythmus, entsprechend der mittleren Rotation der Sonne feststellen können. Die Beobachtungen, die seit Beginn des geophysikalischen Jahres über die Dichteänderungen durchgeführt wurden, haben ergeben, daß diese parallel laufen zur Sonnenaktivität, die hohe Atmosphäre und die Geosphäre sind am massereichsten zur Zeit des Sonnenfleckenmaximums, die geringsten Dichtewerte werden für das nächste Sonnenfleckenminimum 1963 erwartet.

Die Bahn erdnaher Satelliten wird aber auch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

die Massenverteilung in der Erde selbst beeinflußt und damit geben die Bahnformen auch Aufschluß über gewisse geodätische Grundprobleme, nämlich in erster Linie über die Verteilung des Schwerefeldes in der Umgebung der Erde und über die Abplattung der mittleren Erdfigur.

Für den erdnahen Satelliten ist die Erde nicht mit einem Massepunkt identisch, die tatsächliche Ausdehnug der Erde mit ihrer unregelmäßigen Oberfläche und unregelmäßigen Massenverteilung in ihren äußersten Schichten, in den Kontinenten und Ozeanen, muß berücksichtigt werden. Ebenso wie an der Erdoberfläche, wenn auch in geringerem Ausmaß, ist das Schwerefeld in Erdnähe noch mit unregelmäßigen Anteilen behaftet, d. h. es entspricht nicht der Schwereverteilung eines Rotationsellipsoides, das man gewöhnlich als mittlere Figur der Erde verwendet.

Die Wirkung der unregelmäßigen Massenverteilung ist umso größer, je näher die Satellitenbahn der Erdoberfläche verläuft, andrerseits tritt aber dann auch der Einfluß der Luftreibung immer mehr hervor und die ganz verschiedenen Gruppen von Ursachen für die Bahnbeeinflussung lassen sich dann immer schwerer in der richtigen Weise trennen. Man verwendet daher sowohl sogenannte meteorologische Satelliten mit niederer Umlaufbahn (Perigäum zwischen 300 und 400 km Höhe) und geodätische Satelliten mit einem Perigäum

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

über 600 km und stark exzentrischer Bahn, um bei den meteorologischen Satelliten einen möglichst großen Schichtenbereich zu erfassen.

Liegt die Bahn eines Satelliten nicht in der Äquatorebene der Erde, so übt der Äquatorwulst, also der Massenüberschuß der tatsächlichen Erdfigur über die reine Kugelform eine anziehende Wirkung auf die Bahn des Satelliten aus, d. h. im Laufe vieler Umläufe wird die Bahnneigung des Satelliten merklich verkleinert werden, die Bahn wird in die Äquatorebene sozusagen hineingezogen. Diese Wirkung hängt von der Größe des Äquatorwulstes ab, durch den Unterschied der Äquatorachse zur Polarachse der Erde ist aber die Abplattung bestimmt. Aus den Bahnbeobachtungen von geodätischen Satelliten konnte so der bisher genaueste Wert der Abplattung bestimmt werden.

Es gibt also eine ganze Reihe von wichtigen Meßgrößen, die allein aus der Bahnform der Satelliten und ihrem Verhalten während ihrer Umläufe um die Erde bestimmt werden können. Um sie zu erhalten, ist natürlich ein entsprechend eingerichtetes Netz von Beobachtungsstationen erforderlich. Zur Bahnbestimmung muß der Ort des Satelliten zu einem bestimmten Zeitpunkt möglichst genau festgelegt werden. Die Messungen erfolgen entweder optisch-photographisch oder durch Radarbeobachtungen. Hat der Satellit selbst

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

einen Sender, so sind Entfernungsbestimmungen auch mit Messungen der Frequenzänderungen nach dem Dopplerschen Prinzip möglich. Besonders genaue Zeitmessungen sind notwendig, wenn man bedenkt, daß ein Satellit in einer Sekunde schon einen Weg von fast 9 km zurücklegt. Die Beobachtungszeiten, bzw. das Zeitsystem eines solchen weltweiten Beobachtungsnetzes müssen daher auf $^1/_{1000}$ Sekunde genau sein — eine sehr schwierig und nur mit großem Aufwand zu erfüllende Forderung.

Man hat auch daran gedacht, die Satelliten direkt für geodätische Zwecke zu verwenden, um durch direkte Triangulation, wobei der Satellit ein Eckpunkt des verwendeten Dreiecks ist, große Entfernungen, in erster Linie den Abstand der Kontinente voneinander, der bisher direkt nicht gemessen werden konnte, zu überbrücken. Allein die großen Schwierigkeiten der Messung, die mindestens Metergenauigkeit und damit eine noch viel größere Zeitgenauigkeit erfordert als die gewöhnlichen Beobachtungen, haben bisher ein Gelingen solcher Versuche vereitelt.

Ein noch reichhaltigeres Programm an Beobachtungsmöglichkeiten bieten natürlich die aktiven Satelliten, die mit automatisch arbeitenden, u. U. auch fernsteuerbaren Meßeinrichtungen ausgestattet sind. Die moderne Meßtechnik gestattet fast eine jede Meßgröße meist nach ganz verschie-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

denen Verfahren in eine elektrisch meßbare Größe umzuwandeln und elektrische Größen sind leicht fernzuübertragen. Die Satelliten übertragen ihre Nachrichten mittels elektromagnetischer Wellen. Für die Signalgebung kann einmal die Amplitude der Wellen, ferner ihre Frequenz, der Rhythmus der Pausen zwischen den Signalen (was wieder auf eine genaue Zeitmessung hinausläuft) bzw. die Signallängen selbst verwendet werden. Meist enthält ein Satellit mehrere Sender. Die zu übermittelnden Nachrichten werden zunächst auf Magnetbändern gespeichert und dann auf Abruf, d. h. ferngesteuert von einer Bodenstation aus, oder nach einem bestimmten Rhythmus ausgestrahlt. Das hat den Vorteil, daß die eigentlichen Signalsender nur kurzzeitig beansprucht werden und daher mit erhöhter Leistung arbeiten können. In der Zwischenzeit werden Akkumulatoren durch Sonnenbatterien, in denen die Lichtstrahlung der Sonne in elektrischen Strom umgewandelt wird, wieder aufgeladen. Die Speicherung auf Magnetband gestattet die Beobachtungsergebnisse eines Umlaufes um die Erde, also von etwa 80 bis 90 Minuten, in wenigen Sekunden der Bodenstation zu übermitteln.

Ein jeder Satellit ist ein mehr oder weniger umfangreich und vollkommen eingerichtetes Laboratorium, das imstande ist, Luftdichte, bzw. Massendichte, Strahlung, Intensität des Magnetfeldes,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Art und Ladung von Korpuskeln, Temperaturen im Innern des Satelliten, an seiner Außenhülle und in seiner Umgebung, die Größe und Auftreffwucht von Meteoriten zu messen. Eingebaute Fernsehkameras gestatten auch Bilder aus seiner Umgebung fernzuübertragen. Die automatischen Einrichtungen gestatten in den meisten Fällen die Beobachtungen besser auszuführen als dies der menschliche Beobachter mit seiner geringen Reaktionsfähigkeit tun könnte. Bei genügender Größe können auch die Einrichtungen zur Fernsteuerung so weit ausgebaut werden, daß das automatische Laboratorium auch Aufgaben ausführen könnte, die normalerweise menschlicher Steuerung bedürfen, ohne daß der Beobachter sich selbst an Bord des Satelliten zu befinden braucht. Dieses Ziel ist heute allerdings nur in sehr beschränktem Umfang erreicht. Dem automatischen Laboratorium wird aber auch in Zukunft die Hauptlast der Forschung übertragen werden müssen, weil menschliches Leben in der näheren Umgebung der Erde nur unter besonderen Schutzmaßnahmen ungefährdet existieren kann. Für reine Forschungszwecke kann der menschliche Beobachter grundsätzlich entbehrt werden.

Zu den wichtigsten Erkenntnissen, die die Satellitenforschung bisher erbracht hat, gehört die genauere Kenntnis des die Erde umgebenden Korpuskelfeldes. Schon vor Beginn des 20. Jahrhun-

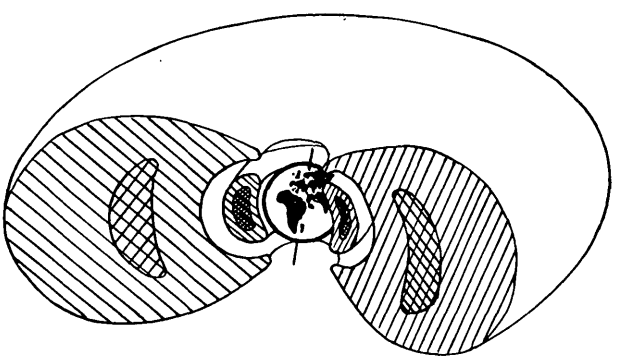
©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

derts wurde aus den erdmagnetischen Beobachtungen die Existenz eines großen, die Erde umgebenden Ringstromsystems erschlossen. Dieser Ringstrom, der in Form eines großen Wulstes, etwa wie ein Autoreifen, die Erde mit der größten Ausdehnung in ihrer Äquatorebene umgibt, muß aus einzelnen geladenen elektrischen Teilchen, aus Ionen und Elektronen bestehen. Denn bewegte elektrische Ladungen sind äquivalent einem Strom, der schließlich auch nur aus einem Korpuskelstrom, geformt und gelenkt durch den metallischen Leiter besteht. Gewisse Eigenschaften des Ringstromsystemes konnten durch theoretische Überlegungen und durch die langjährigen Beobachtungsreihen der magnetischen Observatorien erfaßt werden. Der enge Zusammenhang des irdischen Ringstromsystems mit der Sonnentätigkeit wies auf den größtenteils solaren Ursprung der den Ringstrom bildenden Korpuskel hin.

Allein von der Erdoberfläche aus konnte eine genauere Analyse der Zusammensetzung und des Aufbaues dieses Ringstromsystems nicht gegeben werden. Nur seine Wirkung auf das geomagnetische Feld war bekannt. Hier haben die an Bord der Satelliten befindlichen Strahlungszähler uns genauere Aufschlüsse geliefert. Schon die ersten drei Satelliten, Explorer I und Sputnik I und II entdeckten, daß sich in einem Abstand von 900 bis 1000 km von der Erdoberfläche ein Gebiet inten-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

siver Partikelstrahlung befindet. Weitere speziell ausgerüstete Satelliten zeigten, daß im wesentlichen zwei Strahlungsgürtel vorhanden sind. Von 400 km Höhe an findet alle weitere 100 km etwa eine Verdoppelung der Strahlungsdosis statt. Der untere van Allen-Gürtel erreicht seine größte Intensität in 3500 km Höhe und reicht bis etwa 8000 km — diese Entfernungen beziehen sich auf die Äquatorebene, in denen die Strahlungsgürtel ihre größte Ausdehnung erreichen. Der äußere Strahlungsgürtel reicht von rund 12.000 km bis 56.000 km mit einem Größtwert in etwa 15.000 km Abstand. Von der Form und Ausdehnung dieser Strahlungsgürtel gibt die folgende Abbildung einen schematischen Überblick.



Die Strahlungsgürtel der Erde.

Von besonderer Gefährlichkeit in biologischer Beziehung ist der innere Strahlungsgürtel, in dem

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Teilchendichten von 10.000 bis 100.000 auf den Quadratzentimeter gemessen wurden. Es handelt sich dabei vorwiegend um Protonen, die mit einer Bewegungsenergie von einigen Millionen Elektronenvolt eingefangen und gesteuert durch das Magnetfeld der Erde zwischen den Magnetpolen in Spiralbahnen hin- und herpendeln. Eine gewisse Vorstellung von der gewaltigen Energie dieser Teilchen mag die Tatsache geben, daß die energiereichsten Partikel diesen Weg von über 20.000 km mehrmals in einer Sekunde zurücklegen können.

Im Zentrum des inneren van Allen-Gürtels beträgt die physiologische Intensität dieser Korpuskularstrahlen 4 Röntgen pro Stunde, also 672 Röntgen pro Woche. Die im Höchstfall für einen Menschen zulässige Belastung beträgt indes pro Woche nur 0.3 Röntgen. Geringer, jedoch noch immer biologisch untragbar ist die Strahlung im äußeren Strahlungsgürtel, die vorwiegend durch Elektronen verursacht wird.

Die van-Allenschen Strahlungsgürtel sind daher ein sehr ernsthaftes Hindernis für eine bemannte Raumschiffahrt. Es gibt allerdings ein einfaches Hilfsmittel, ihnen zu entgehen. Da gegen die Magnetpole die magnetischen Kraftlinien konvergieren, zwischen denen die Korpuskel wie in einer Flasche eingesperrt sind, so befindet sich über ihnen ein strahlungsfreier Raum. Ein über den

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Polen möglichst senkrecht startendes Raumschiff entgeht daher der Strahlungsbedrohung.

Allerdings können nun auch bemannte Raumstationen nicht in jenen Abständen um die Erde kreisen, die man ursprünglich für die günstigsten hielt. Erst in einem Abstand von etwa 10.000 km besteht für sie die Möglichkeit, in einem annähernd strahlungssicheren Gebiet eine Dauerbahn um die Erde ziehen zu können. In geringem Abstand von der Erdoberfläche, in dem eine Strahlungsgefährdung ebenfalls noch tragbar ist, wie das Experiment mit der Hündin Laika an Bord des Sputnik II zeigte, ist jedoch der Reibungseinfluß der höchsten Atmosphärenschichten noch so groß, daß dauerhafte Kreisbahnen unmöglich sind. Der erdfernste Bahnpunkt des Sputnik II betrug 1620 km, seine Lebensdauer erreichte 162 Tage, worauf er nach 2368 Erdumkreisungen verglühte. Doch schon nach sechs Tagen erlag das Versuchstier einem Hitzschlag.

Die Richtigkeit der Ansichten über den Zustand und die Ursachen der Strahlungsgürtel konnten überdies durch ein großartiges Experiment, bei dem die Geosphäre selbst der Versuchsraum war, bestätigt werden. Beim Unternehmen ARGUS wurde die direkte Bildung eines künstlichen Strahlungsgürtels versucht und dieser Versuch war durch einen vollen Erfolg gekrönt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Am 27. und 30. August und am 6. September 1958 wurden drei Atomexplosionen in einer Höhe von 480 km durch Raketen ausgelöst. Durch die Explosion wird eine große Zahl geladener Partikel frei, die sich im Magnetfeld der Erde ähnlich verhalten müssen, wie die aus dem interplanetarischen Raum eingefangenen. Tatsächlich zeigte sich auch in der Umgebung des Schiffes, von dem die Bomben gestartet wurden, gleich nach der Explosion ein polarlichtartiges Phänomen und dasselbe trat auch am Gegenpunkt auf der Nordhemisphäre auf. Die Aufzeichnungen des damals die Erde umkreisenden Satelliten Explorer III zeigten auch, daß erwartungsgemäß die der Atombombe entstammenden Korpuskel durch das geomagnetische Feld festgehalten wurden und sich binnen kürzester Zeit zu einem künstlichen Strahlungsgürtel, der die Erde in etwa 10.000 km Abstand umgab, ausgebreitet hatten. Die künstliche Partikelwolke war noch etwa 10 Tage nach ihrer Auslösung nachweisbar. Dieses Experiment, das sozusagen, wenn auch mit Übertreibung, in kosmischen Dimensionen stattgefunden hat, lieferte sehr wertvolle Ergebnisse und Bestätigungen zum Aufbau der Strahlungsgürtel.

Schon in geringer Entfernung umgibt eine elektrisch leitende Schicht, die Ionosphäre, den Erdball. Sie ist von praktischer Bedeutung für die gesamte drahtlose Nachrichtentechnik. Sie wird

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

aufrechterhalten durch das kurzwellige Sonnenlicht, das durch die Moleküle der hohen Atmosphäre absorbiert wird und den Sauerstoff und in höheren Schichten auch den Stickstoff dabei ionisiert. Deshalb ist auch das kurzwellige Ultraviolett am Grund der Atmosphäre verschwunden und damit übt diese eine eminente Schutzwirkung für das organische Leben aus. Denn strahlungsmessende Satelliten haben gezeigt, daß von den Eruptionsgebieten auf der Sonne, den Fackeln, eine sehr harte Ultraviolett- und Röntgenstrahlung stark schwankender Intensität ausgesandt wird, deren ungehindertes Durchdringen bis zur Erdoberfläche für das organische Leben verderbenbringend wäre. Freilich genügen schon gewöhnliche Abschirmungen gegen ihre verderbliche Wirkung, aber wir wären während des Tages ohne die Schutzwirkung der Atmosphäre zu einem termitenähnlichen, lichtscheuen Dasein gezwungen. Natürlich hätte sich aber das Leben auch nicht in der heute vorhandenen Form entwickeln können.

Bisher konnten wir die Ionosphäre und die Vorgänge in ihr nur vom Boden des Luftozeans aus durch Sondierung mit Radiowellen verschiedener Frequenzen untersuchen. Die an Bord von Satelliten befindlichen Sender gestatten nun aber auch, diese ionenführenden Schichten, die sich zwischen etwa 100 und 400 km erstrecken, durch unmittelbare „Durchleuchtung“ zu untersuchen, da ja die

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

von den Satellitensendern ausgestrahlten Wellen immer diese Schichten durchlaufen müssen und dabei einen gewissen, von ihrer jeweiligen Zusammensetzung und der Frequenz des Senders abhängigen Energieverlust erleiden. Auch aus diesen Gründen haben die Satelliten meist mehrere Sender mit verschiedenen Frequenzen. Je höher diese ist, umso geringer wird der Energieverlust beim Durchlaufen der Ionosphäre.

So haben die Satelliten zunächst einmal unsere Kenntnis über den wirklichen Aufbau der Atmosphäre und der Geosphäre geschaffen. Die eigentliche Atmosphäre reicht demnach bis zu etwa 400 km Höhe, bis zum Ende der Ionosphäre. In diesem Höhenbereich ist die Schwerkraft der Erde noch ausreichend, die Gasatome und Moleküle sicher an unseren Planeten zu binden. In diesen Höhen steigt jedoch die Temperatur oder die kinetische Energie der Atome schon infolge der Strahlenabsorption so stark an, daß nunmehr im darüberliegenden Bereich der Exosphäre, die bis etwa 1000 km reicht, ebensoviele Teilchen der Erde verloren gehen, als durch das Schwerefeld der Erde aus dem interplanetarischen Raum wieder eingefangen werden. Diese Schicht ist also eine Austauschzone zwischen terrestrischer und interplanetarer Materie, die sowohl aus dem eigentlichen Weltraum als auch vorwiegend von der Sonne stammt.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

In der darüberliegenden Geosphäre beherrscht in erster Linie das Magnetfeld der Erde das Geschehen. Trotz seiner geringen Stärke im Verhältnis zum Schwerefeld ist es für das Einfangen und Festhalten elektrisch geladener Partikel von größter Bedeutung. Seine Grenzen sind durch Messungen noch nicht genügend erforscht. Man nimmt aber an, daß die Erde auf ihrer Bahn eine Materiewolke ähnlich dem Schweif eines Kometen nach sich zieht, dessen Ausdehnung auf etwa 600.000 km veranschlagt wird.

Aber nur wenige Satelliten haben sich soweit von der Erde entfernt und dies geschah meist unbeabsichtigt als Folge eines Fehlstarts bzw. eines Versagens der Steuereinrichtungen. Nur wenige Satelliten wurden absichtlich auf wirkliche Raumflüge gesandt; zuerst müssen natürlich die physikalischen Verhältnisse in der nahen Umgebung der Erde genau bekannt sein, da diese auf die Nachrichtenübermittlung von Einfluß sind. Allgemein bekannt sind die gelungenen Mondflüge der sowjetischen Satelliten. Der Lunik I verfehlte den Mond um 7500 km, da durch die unerwarteten starken Magnetfelder in den Strahlungsgürteln, die damals noch nicht genügend erforscht waren, die Brennstoffzufuhr nicht ganz der elektronischen Kurssteuerung folgte und damit eine Kursabweichung verursachte. Aber schon acht Monate später erreichte der Lunik II die Mondoberfläche

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

fast genau an der vorhergesagten Stelle. Nur in den ersten 190 Sekunden seines Fluges stand die Trägerrakete unter der Kontrolle der steuernden Bodenstation, von da ab erfolgte der Weiterflug ganz automatisch. In 35 Stunden und 2 Minuten erreichte der Satellit und die Endstufe seiner Trägerrakete mit einer Gesamtmasse von 1521 kg die Mondoberfläche in der Umgebung des Mondkraters Archimedes. Bis zum Aufschlag hatten alle Apparaturen und auch die Sender einwandfrei gearbeitet. Die wichtigsten Beobachtungsergebnisse waren: das Fehlen eines Magnetfeldes in der nächsten Umgebung des Mondes, hingegen das Bestehen einer „Ionosphäre", einer dünnen Schicht ionisierter Partikel in der nächsten Umgebung der Oberfläche, die durch den lichtelektrischen Effekt der dort ungefiltert auftreffenden Sonnenstrahlung aus dem Gestein der Mondoberfläche ausgelöst werden.

Der Satellit Lunik III umkreiste nicht ganz einen Monat später die uns nicht sichtbare Rückseite des Mondes und konnte mit Fernsehkameras Bilder von ihr zur Erde übertragen. Etwa 70% der nicht sichtbaren Rückseite konnten so in einem ersten Überblick sichtbar gemacht werden.

Fernsehkameras tragen auch die amerikanischen Satelliten der Tiros-Gruppe, messen aber auch die Ausstrahlung der Erde in verschiedenen Bereichen des langwelligen Wärmespektrums. Bei allen die-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

sen Satelliten sorgen automatische Steuereinrichtungen dafür, daß die Achse des Satelliten stets parallel zur überflogenen Erdoberfläche liegt. Die Tiros-Satelliten dienen in erster Linie der großräumigen Wetterüberwachung, also meteorologischen Zwecken und haben schon wertvolle Ergebnisse über die Entstehung und Ausbreitung von Wolkenfeldern, sowie von tropischen Wirbelstürmen geliefert. Eine Weitwinkelkamera überblickt ein Gebiet von der Größe Persiens, eine Telekamera gibt ein viel genaueres Bild einer Fläche von 2200 Quadratkilometer, etwa entsprechend der Größe von Luxemburg.

Die Amerikaner starteten mit Explorer VI den ersten beabsichtigten Sonnensatelliten. Ein verbesserter Typ war dann Pionier V. Seine durch Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne in elektrischen Strom gespeisten Batterien gestatten eine Sendeleistung von 150 Watt. Damit kann er noch aus einer Entfernung von 80 Millionen Kilometer brauchbare Signale abgeben. Seine Aufgaben bestehen in der Messung der Magnetfelder interplanetarischer Gas- und Staubwolken, Messung der Intensität der solaren Ultraviolett- und Röntgenbestrahlung und der Häufigkeit und Größe von Kleinstmeteoriten und Staubteilchen. Er umkreist die Sonne als künstlicher Planet in 312 Tagen. Durch Anpeilung seiner Sender kann auch sein genauer Standort ermittelt werden. Man hofft

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

auf diese Art, ähnlich wie bei der Triangulation auf der Erde, den Abstand Sonne—Erde genauer als bisher bestimmen zu können. Das Bestehen von Plasmawolken, zusammengehalten und umgeben von Magnetfeldern, konnte ebenfalls schon durch ihn festgestellt werden.

Im vergangenen Jahr konnten die ersten Menschen zur einfachem oder mehrfachen Umkreisung der Erde gestartet werden. Von Weltraumflügen kann dabei nicht gesprochen werden, da dazu der Abstand von der Erdoberfläche (zwischen 200 und 300 km) viel zu gering ist. Man könnte sie besser als Überstratosphärenflüge kennzeichnen. Doch waren die Flüge insofern von Bedeutung, weil sie der Erprobung bestimmter Aufstiegs- und Rückholtechniken dienten und dabei auch die physiologischen Wirkungen der äußeren Umstände eines Raumfluges, wenn auch nur für kurze Zeit, auf den menschlichen Organismus getestet werden konnte. Bei bemannten Raumstarts muß mit wesentlich geringeren Beschleunigungen als bei unbemannten gearbeitet werden, weil der Mensch im allgemeinen größere Beschleunigungen als die achtfache Erdbeschleunigung auch für kurze Zeit nicht aushalten würde. Ähnliche Schwierigkeiten sind bei der Rückkehr zu überwinden.

Vom wissenschaftlichen Standpunkt ist der bemannte Raumflug bis jetzt kein Fortschritt, da der Mensch in den jetzt noch sehr beengten und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

unbequemen Kabinen und bei der hohen psychischen und physischen Belastung keine wissenschaftlich wertvollen Beobachtungen ausführen kann. Auch für die Steuerung reicht im allgemeinen die Reaktionsfähigkeit des Menschen nicht aus. Er kann nur später automatisch wirkende Robotmechanismen auslösen.

Überblicken wir aber den kurzen Ausschnitt, der hier geboten werden konnte, so wird man doch von der Fülle der Ergebnisse, von den hervorragenden technischen Leistungen, die diese Erfahrungen ermöglicht haben, tief beeindruckt. Vergessen wir nicht, daß es sich hier um erste tastende Versuche an der Grenze des heute technisch Möglichen handelt, daß wir am Beginn einer neuen Zeit stehen und daß es sich hier oft nur um die Abfälle einer heute noch vorwiegend militärisch ausgerichteten Entwicklung handelt. Aber wahrscheinlich werden spätere Geschlechter auch von der Jetztzeit her eine neue Aera rechnen, so wie wir die Neuzeit bei den Entdeckungsfahrten eines Kolumbus beginnen lassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1962

Band/Volume: 102

Autor(en)/Author(s): Toperczer Max

Artikel/Article: Die Bedeutung der Satellitenforschung für die Geophysik. 101-124