

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 52 (1961)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Weltraumflug und Nachrichtentechnik  
**Autor:** Fleischer, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916851>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Weltraumflug und Nachrichtentechnik

Von H. Fleischer, Darmstadt

621.396.946 : 629.19

Die möglichen Funkverbindungen zu und zwischen künstlichen Erdsatelliten werden dargestellt. Die Abhängigkeit der Umlaufgeschwindigkeit von der Flughöhe wird angegeben ebenso wie die notwendigen Leistungen und Bandbreiten für Nachrichtensatelliten. Zur wirtschaftlichen Ausnutzung von Nachrichtensatelliten wird es notwendig sein, die interkontinentalen Verbindungen an Sammelpunkten zusammenzufassen.

L'auteur décrit les possibilités de liaisons sans fil avec les satellites terrestres artificiels et entre ceux-ci. Il indique la dépendance entre la vitesse de déplacement et l'altitude de l'orbite, ainsi que les puissances et les largeurs de bande nécessaires pour des satellites de télécommunication. Afin de pouvoir utiliser économiquement de tels satellites, les liaisons intercontinentales devront être groupées en certains points.

## 1. Einleitung

Der 12. April 1961 wird in die Geschichte unserer Erde als der Tag eingehen, an dem es zum ersten Male einem Menschen geglückt ist, in den Raum vorzustossen und wohlbehalten wieder auf der Erde zu landen. Der bemannte Weltraumflug hat begonnen. Knapp 4 Jahre sind seit dem Start des ersten unbemannten, künstlichen Erdsatelliten (Sputnik I) vergangen, bis nun der Mensch selbst auch in den Weltraum vorstieß.

Die militärisch geförderte Entwicklung der Raketentechnik war Mitte des vergangenen Jahrzehntes so weit, dem Rufe der Wissenschaft zu folgen und im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres (1957/58) Raketen und künstliche Satelliten zur Erforschung der physikalischen Eigenschaften unserer Erde einzusetzen.

Seit dem ersten gelungenen Start eines künstlichen Erdsatelliten (Sputnik I am 4. Oktober 1957) sind bis Ende 1960 viele Satelliten und Raketen abgeschossen worden. Manche Versuche misslangen. 17 Satelliten verglühten wieder beim Eintauchen in die Erdatmosphäre. Im August 1960 gaben die UdSSR die erste geglückte Rückkehr eines Satelliten zur Erde bekannt. Seither ist dies keine Seltenheit mehr. Grösser als die Zahl der verglühten Satelliten und Trägerraketen ist aber noch die Zahl der die Erde z. Zt. umkreisenden künstlichen Trabanten und Trägerstufen. Nach *Schädlich* [1]<sup>1)</sup> befinden sich noch über 40 Satelliten im Umlauf um die Erde. Viele werden noch Jahre, Jahrzehnte ja vielleicht Jahrhunderte unseren Erdball umkreisen.

Am 13. September 1959 traf eine sowjetische Weltraumsonde den Mond. Je eine sowjetische und eine amerikanische Weltraumsonde umkreisen heute die Sonne und eine weitere Sonde ist auf dem Wege zur Venus.

Gross sind die wissenschaftlichen Ergebnisse, die von den Raumfluggeräten bereits jetzt den Menschen übermittelt wurden. Gross ist der technische Fortschritt auf allen Gebieten. Die Sowjets haben zweifellos Mittel, grössere Schubkräfte zu erzeugen. Die Amerikaner machen aus der Not eine Tugend, in dem sie die Instrumente und Geräte immer weiter verkleinern, immer leichter bauen. Die Miniaturbauweise wurde von der Mikromodulbauweise abgelöst und eine Molekularbauweise ist teilweise in Erprobung.

Den ersten «Nachrichtensatelliten» in Form einer aufgeblasenen Kunststoffhülle (Echo I) schossen die Amerikaner in eine Umlaufbahn um die Erde.

## 2. Übermittlung von Ergebnissen

Die einzige Verbindung von Raumflugkörpern zur Erde ist der Funk. Will man Messwerte speichern und

sie dann wieder erhalten, wenn eine Weltraumkapsel geborgen ist, so braucht man gar keine Nachrichtenverbindungen. Aber man kann eben erst an die Ergebnisse heran, wenn die Instrumente oder Registrierungen wohlbehalten wieder auf der Erde gelandet sind. Die die Erde aber gerade langfristig umkreisenden Satelliten und die Weltraumsonden sollen aber während ihres Fluges laufend Messwerte übermitteln. Sie sollen auch Befehle erhalten, die entweder automatisch oder manuell bestimmte Reaktionen auslösen.

Während die Sowjetunion hauptsächlich Frequenzen bei 20 und 40 MHz für ihre Raumfluggeräte einsetzte, liegen die von den USA benützten Frequenzen über 100 MHz. Diese Frequenzen gehen ungebeugt durch die Ionosphäre hindurch, während bei den 20-MHz- und gegebenenfalls auch bei 40-MHz-Frequenzen die Ionosphäre noch die Einfallsrichtung der Funkwellen fälschen kann, was bei Funkpeilungen bedeutungsvoll ist. Die Ausserordentliche Funkverwaltungskonferenz, Genf 1959, hat für Raumfluggeräte bereits eine Reihe von Frequenzbereichen international vorgesehen [2]. Sie berücksichtigt damit, dass ausser den rein wissenschaftlichen und operativen Funkverbindungen auch Satelliten zur Nachrichtenübertragung eingesetzt werden und dafür breitere Frequenzbereiche zur Verfügung gestellt werden müssen. Voraussichtlich wird sich aber eine weitere Ausserordentliche Internationale Funkverwaltungskonferenz mit diesen Frequenzfragen im Jahre 1963 erneut beschäftigen, wenn genügend Kenntnisse über die möglichen Raumfahrtentwicklungen und die an den Funk zu stellenden Forderungen bekannt sind [3].

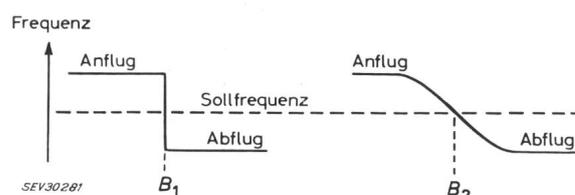


Fig. 1  
Dopplereffekt der Funkausstrahlungen von Raumfluggeräten  
 $B_1$  Standort des Beobachters;  $B_2$  seitlicher Standort des Beobachters

Die auf der Erde gemessenen bzw. empfangenen Frequenzen stimmen infolge des Dopplereffektes (Frequenzverschiebung beim An- bzw. Abflug) nicht mit den ausgestrahlten Frequenzen überein. Die bisher auf der Erde von beweglichen Funkstellen entwickelten Reisegeschwindigkeiten waren jeweils klein gegen die Lichtgeschwindigkeit, so dass der Dopplereffekt bei Funkstellen bisher kaum messbar war. Bei den Satelliten erhält dieser Effekt aber eindeutig feststellbare Wirkungen (Fig. 1). Da man, wie man noch sehen wird, mit schwachen Signalen rechnen muss, ist man versucht, schmalbandige und daher rauscharme

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Empfänger zu benutzen, die aber infolge des Dopplereffektes ein ständiges Nachstimmen erforderten.

Mit den Funkverbindungen von und zu Satelliten beschäftigen sich die führenden Nachrichtentechniker der Welt schon längere Zeit<sup>2)</sup>. General Electric [4] hat z. B. eine kleine Broschüre herausgegeben, in dem

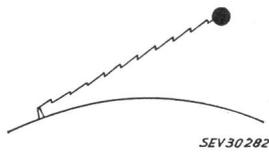


Fig. 2  
Verbindung Erde—Satellit

die möglichen Verbindungen gut dargestellt sind. Dieser Veröffentlichung gemäss kann man die Ergebnisübermittlung zusammenfassen in: Fernmessen, Fernsteuern und Fernsprechen. Dies geschieht z. B. einseitig von der Erde zum Satellit oder umgekehrt (Fig. 2). Eine wechselseitige Verbindung ist dabei gleichfalls möglich, d. h. Erdstation und Satellit arbeiten auf gleicher Frequenz aber nacheinander.

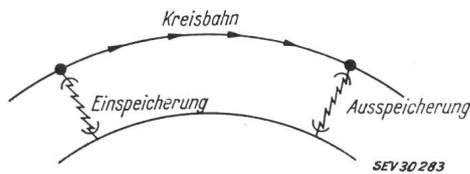


Fig. 3  
Speichersatellit

Eine Gegensprechverbindung wird dagegen beim bemannten Raumflug unerlässlich werden, d. h. Erde — Raumfluggerät und Richtung Raumfluggerät — Erde werden gleichzeitig auf verschiedenen Frequenzen betrieben.

Zur reinen Ergebnisübermittlung kann auch der Speichersatellit (Fig. 3) herangezogen werden, der an einer bestimmten Stelle (auf Erdsignal) einspeichert, dann weiter fliegt und an anderer Stelle (wiederum auf Erdsignal) ausspeichert.

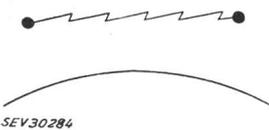


Fig. 4  
Verbindung Satellit—Satellit

Beim bemannten Raumflug wird die Verbindung von Raumfluggerät zu Raumfluggerät (Fig. 4) eine besondere Rolle spielen.

### 3. Nachrichtensatelliten

Ein Nachrichtensatellit soll keine wissenschaftlichen Messergebnisse zur Erde strahlen, sondern soll die von der Erde ausgehenden Nachrichten wieder zur Erde zurücksenden, so dass diese sicher an einem bestimmten anderen Punkt der Erde empfangen werden können. Dabei ist es gleichgültig, ob es sich um feststehende oder bewegliche Objekte auf oder in der Nähe der Erdoberfläche (z. B. Flugzeuge) handelt.

Die Nachrichtensatelliten können dabei passiv (z. B. Echo I) oder aktiv sein. Ein passiver Satellit wirft lediglich die von der Erde auf ihn auftreffenden Funkstrahlen wieder zurück, wobei die rücklaufenden Strahlen nach allen Seiten gestreut werden (Fig. 5).

<sup>2)</sup> Im folgenden werden nur amerikanische Quellen zitiert, weil dem Autor diese Quellen leichter zugänglich waren.

Ein aktiver Nachrichtensatellit enthält im Gegensatz zum passiven Satelliten technische Einrichtungen zum Empfang und Senden von Funksignalen, d. h. Empfangsantennen, Empfänger, Sender, Sendeantennen

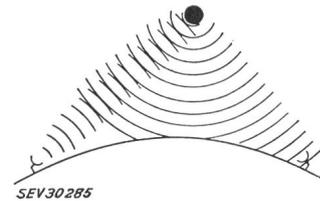


Fig. 5  
Punkt-zu-Punkt-Verbindung  
über passiven  
(Reflektor-)Satelliten

nen und Energieversorgung. Die von den aktiven Satelliten ausgehende Strahlung kann durch die Sendeantenne gerichtet werden (Fig. 6). Selbstverständlich kann auch, wenn die Erdpunkte so weit auseinander

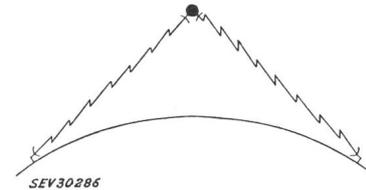


Fig. 6  
Punkt-zu-Punkt-Verbindung  
über aktiven Satelliten

liegen, dass die Verbindung nicht mittels nur eines Satelliten zustande käme, eine Verbindung über mehrere Satelliten aufgebaut werden (Fig. 7). (Rundfunksatelliten sollen später behandelt werden.)

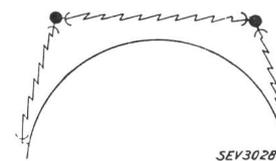


Fig. 7  
Punkt-zu-Punkt-Verbindung über  
mehrere aktive Satelliten

### 4. Umlaufgeschwindigkeit

Die Umlaufgeschwindigkeit der künstlichen Erdsatelliten beträgt bei den meisten z. Zt. im Umlauf befindlichen rund 2 h. Sie ist abhängig von der Höhe der Flugbahn über der Erde und der Anfangsgeschwindigkeit des Satelliten in der Umlaufbahn. Die Bahn ist eine Ellipse mit der Erdferne (Apogäum) und der Erdnähe (Perigäum) (Fig. 8). Fig. 8 zeigt auch deutlich, dass Satelliten, die den Äquator unter 90° überqueren, die Pole überfliegen und damit wäh-

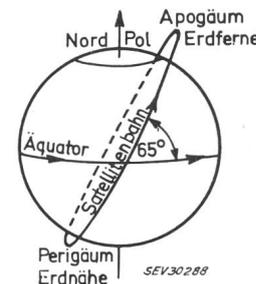


Fig. 8  
Elliptische Bahnen der künstlichen  
Erdsatelliten

rend ihrer Umlaufbahnen jeden Punkt der Erde überqueren. Ist die Bahn jedoch gegen den Äquator z. B. nur um 65° geneigt, so überstreicht der Satellit nur alle Punkte der Erde, die bis zum 65. Breitengrad (Nord bzw. Süd) liegen.

Die Exzentrizität der elliptischen Umlaufbahn ist nicht sehr gross, was Fig. 9 in etwa maßstabgerechter Darstellung der Umläufe der ersten künstlichen Erdsatelliten (I, II) veranschaulicht.

Die Satelliten werden in den oberen Schichten der Lufthülle der Erde (einige Hundert km hoch) bei

jedem Durchgang etwas abgebremst. Dadurch rückt der erdferne Punkt bei jedem Umlauf etwas näher an die Erde heran, während der erdnahe Punkt zunächst fast in gleicher Entfernung liegen bleibt. Je niedriger dieser erdnahe Punkt sich befindet, desto grösser ist die Bremsung des Satelliten. Hat sich das Apogäum so weit an die Erde herangeschoben, dass es fast gleich dem Perigäum ist, so wird der Satellit auf seiner ganzen Umlaufbahn in der Lufthülle abgebremst und wird dann verhältnismässig schnell, innerhalb weniger Umläufe, verglühen, wenn nicht künstlich noch weiter abgebremst und durch Fallschirme abgefangen wird.

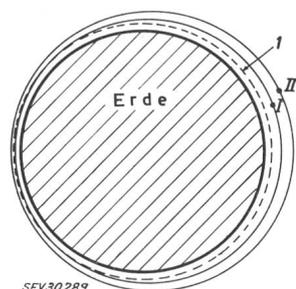


Fig. 9  
Ungefähr maßstabgerechte Zeichnung der elliptischen Umlaufbahnen der ersten künstlichen Erdsatelliten I und II  
I Grenze der Ionosphäre

Der erste Astronaut, Major Gagarin, flog mit einer Geschwindigkeit von etwa 28 000 km/h. Das ist etwa die unterste Geschwindigkeitsgrenze, die für einen Flug um die Erde möglich ist, um das Fluggerät nicht zur Erde fallen, sondern diese umkreisen zu lassen. Es entspricht einer Sekundengeschwindigkeit von etwa 8 km. Soll das Raumfluggerät dagegen in den Welt-raum aus dem Schwerefeld der Erde hinaus fliegen können, muss es eine Geschwindigkeit von über 11 km/s haben. Der Geschwindigkeitsspielraum für Erdsatelliten ist also gar nicht sehr gross.

Aus diesen Geschwindigkeiten ergibt sich, dass ein Raumfluggerät, das die Erde in etwa 300 km Höhe umkreist, eine Umlaufzeit von etwa 1,5 h hat. 300 km Höhe ist etwa die Grenze der dichteren Lufthülle, darunter wird der Satellit stark abgebremst.

Fliegt der Satellit dagegen in einer Höhe von etwa 1500 km, so dass er den ersten van Allenschen Strahlungsgürtel unter sich lässt, den man auch durch Raumfluggeräte erstmalig feststellen konnte, so erreicht der Satellit eine Umlaufzeit von etwa 2,5 h. Diese Umlaufzeit hatte etwa auch der über Europa weithin sichtbare passive Nachrichtensatellit Echo I. Satelliten, die den zweiten van Allenschen Strahlungsgürtel umgehen wollen, müssen etwa 8000 km hoch fliegen und benötigen etwa 5 h für einen Umlauf.

Je höher der Satellit fliegt, desto länger wird seine Umlaufbahn (Tabelle I). Für die Nachrichtentechnik wäre es ideal, einen Satelliten zu haben, der eine Um-

Umlaufzeiten von Erdsatelliten  
(nach Haviland)

Tabelle I

Höhe naut. Meilen	Zeit bis zum nächsten Durchgang (Äquatorialebene) h
257	1,7
620	1,9
1 210	2,3
2 222	3,0
4 000	4,6
7 650	9,7
19 000	97,5
22 300	1)

1) Der Satellit scheint über einem Punkt des Äquators zu stehen.

laufzeit von 24 h besitzt. Dieser Satellit müsste also die Erde in ausserordentlich grossen Höhen (22 300 Meilen) umkreisen. Z. Zt. sind aber Triebwerke noch nicht einsatzbereit, die die Satelliten in diese grossen Höhen tragen können. Solche 24-h-Satelliten würden sich dann ebenso schnell drehen, wie die Erde selbst, d. h. sie würden stets über demselben Punkt

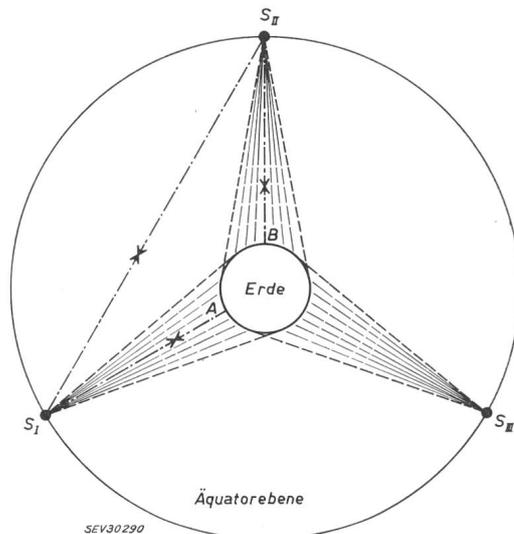


Fig. 10  
Drei 24-h-Umlauf-Satelliten in Äquatorialebene übernehmen Nachrichtenverbindungen aller Punkte der Welt

der Erde stehen, wenn sie eine äquatoriale Umlaufbahn hätten. Jeder Punkt der Erde könnte dann 24-stündig durch Nachrichtenverbindungen über einen oder mehrere Satelliten mit jedem anderen Punkt der Erde verkehren, wenn 3 solcher 24-h-Satelliten in gleicher Umlaufbahn, aber mit 8 h Differenz in die Bahnen geschossen, die Erde umkreisten (Fig. 10).

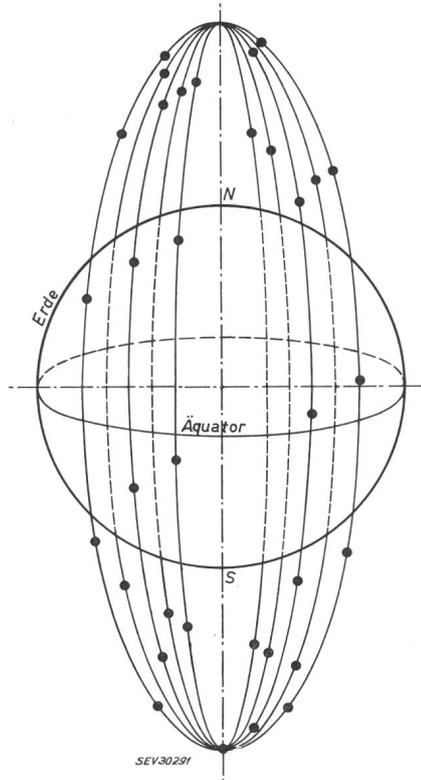


Fig. 11  
Satelliten in mittleren Höhen müssen mehrere fast polare Umlaufebenen haben, um die ganze Erde versorgen zu können

Will man aber Nachrichtensatelliten einsetzen, um einen Punkt-zu-Punkt-Verkehr auf der Erde über Satelliten einzurichten, ehe man diese 24-h-Satelliten hat, so muss man eine grössere Zahl von Satelliten einsetzen, die schnellere Umlaufzeiten haben und relativ zur Erde nicht feststehen. Sie müssen dann möglichst polar umlaufen. Es müssten ausserdem mehrere polare Umlaufbahnen in ziemlich gleichmässigen Abständen um die Erde verteilt werden, um eine weltweite Bedeckung zu erhalten (Fig. 11). Die Zahl der in einer Umlaufbahn notwendigen Satelliten — ebenso wie die Zahl der notwendigen Umlaufbahnen — hängt von der Höhe der Satelliten über der Erde ab.

### 5. Nachrichtenverbindungen

Eine Nachrichtenverbindung wird beurteilt nach der Güte der Verbindung, d. h. nach dem Informationsinhalt, den sie zu übertragen gestattet. Der Nachrichtenfluss ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Bandbreite, der Dämpfung als Funktion der Entfernung und der Frequenz, der Sendeleistung, der Empfängerempfindlichkeit und den Gewinnen der Sende- und Empfangsantennen.

Nach Haviland [5] gilt: für eine Ein-Weg-Übertragung:

$$P_t = G - A_t - A_r - K + S/N + F + B + P_r$$

wobei

- $P_t$  Senderleistung in db über 1 W
- $G$  Freiraumdämpfung zwischen isotropen Antennen in db
- $A_t, A_r$  Gewinn der Sendeantenne bzw. der Empfangsantenne, in db
- $K$  Systemverbesserungsfaktor in db (abhängig von der verwendeten Modulationsart und Sendearart des Übertragungssystems)
- $S/N$  gewünschtes Verhältnis Signal zu Rauschen in db (je ungünstiger dieses Verhältnis wird, desto langsamer wird der Nachrichtenfluss)
- $F$  Fadingfaktor in db
- $N$  Rauschzahl des Empfängers in db
- $B$  Leitungs- und andere Verluste in db
- $P_r$  theoretische Empfängerempfindlichkeit in db

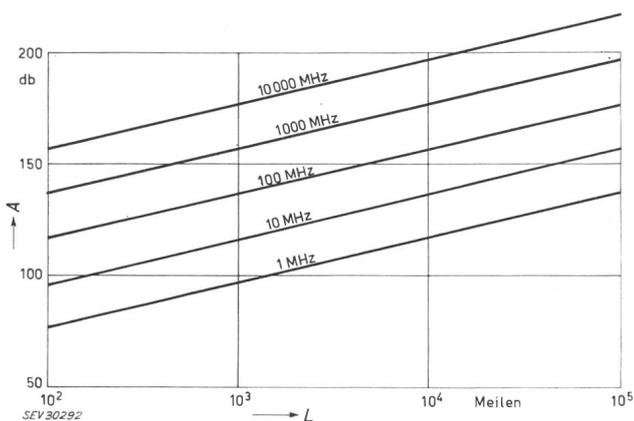


Fig. 12

Freiraumdämpfung  $A$  in Abhängigkeit von der Weglänge  $L$  für verschiedene Frequenzen (nach Haviland [5])

Legt man die Freiraumdämpfung (Fig. 12) zu Grunde, so kann man entweder die notwendige Sendeleistung bei gegebener Bandbreite bzw. bei gewünschtem Nachrichtenfluss berechnen, oder aber bei gegebener

Leistung die Bandbreite bestimmen, mit der noch ein Signal u. U. aufgenommen werden kann, wenn das Raumfluggerät z. B. die Erdanziehung verlassen hat. Für den Fall des Pioneer V<sup>3)</sup> zeigen die durchgerechneten Kurven [6], wie weit noch Empfang von Raumfluggeräten möglich ist (Fig. 13), aber auch

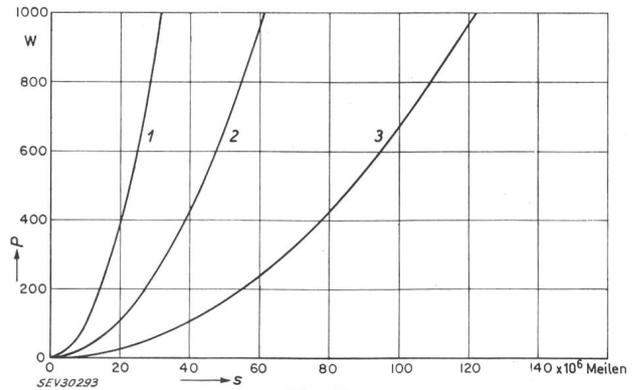


Fig. 13

Notwendige Sendeleistung bei einer Frequenz von 400 MHz und einer Bandbreite von 10 Hz in Abhängigkeit von der Entfernung und des Durchmessers der Parabolantenne der Bodenstation (nach Haviland [6])

Durchmesser der Bodenantenne:

Kurve 1 60 Fuss, Kurve 2 125 Fuss, Kurve 3 250 Fuss

$P$  Sendeleistung;  $s$  Entfernung (in nautischen Meilen)

mit wie wenig Bandbreite man sich in diesen Fällen begnügen muss (Fig. 14). Pioneer V konnte daher auch «nur» bis zu einer Entfernung von rund 40 Millionen Meilen beobachtet werden [6]. Man erkennt aber an den Kurven auch, dass der Empfang auf der Erde mit sehr grossen Parabolantennen oder anderen Antennenausführungen mit entsprechendem Gewinn vorgenommen werden muss. Die Empfangsfeldstärken sind sehr gering; daher müssen die Empfänger auf grösste Empfindlichkeit konstruiert werden.

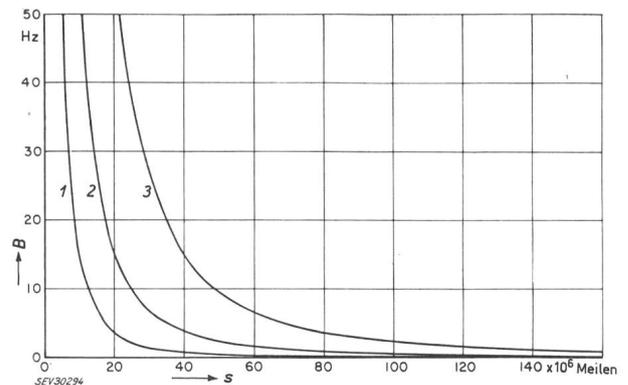


Fig. 14

Noch zu empfangende Bandbreite bei einer Sendeleistung von 150 W und einer Frequenz von 400 MHz in Abhängigkeit von der Entfernung und des Durchmessers der Parabolantenne der Bodenstation (nach Haviland [6])

Durchmesser der Bodenantenne:

Kurve 1 60 Fuss, Kurve 2 125 Fuss, Kurve 3 250 Fuss

$B$  Bandbreite;  $s$  Entfernung (in nautischen Meilen)

Ähnliche Überlegungen gelten natürlich auch für Nachrichtensatelliten, die die Erde in mehr oder weniger grosser Höhe umkreisen. Die Bandbreiten, die übertragen werden müssen, sind dabei jedoch bedeutend grösser und das Signal zu Rauschverhältnis muss

<sup>3)</sup> Pioneer V ist ein Raumfluggerät, das von den USA in eine Umlaufbahn um die Sonne geschossen wurde.

für kommerzielle Verbindungen genügend gross sein. Über die Satelliten will man eine Vielzahl von Gesprächen gleichzeitig übertragen, denn nur dann lohnen sich Verbindungen über Satelliten. Die Bandbreiten müssen dabei aber mehrere MHz betragen.

Echo I ist ein passiver Nachrichtensatellit, d. h. seine metallisierte Hülle wirft die Funkwellen nur zurück, ohne sie zu verstärken oder irgendwie umzusetzen. Die Ausbreitungsdämpfung muss also zweimal überbrückt werden; zu dieser Dämpfung kommen noch die Reflexionsverluste an der Hülle. Es ist verständlich, dass für Nachrichtenverbindungen über passive Satelliten ein sehr grosser Aufwand auf der Sende- und Empfangsseite getrieben werden muss, will man brauchbare Verbindungen herstellen. Ein besseres Verhältnis Nutzsignal zu Rauschen erhält man mit aktiven Nachrichtensatelliten, bei denen das von der Erde gesendete Signal im Satelliten empfangen, verstärkt und frequenzversetzt wieder ausgestrahlt wird. Der Satellit muss dann auch entsprechende Richtantennen besitzen, die das Signal von der Erde empfangen und die in anderer Richtung wieder zur Erde abstrahlen. Diese Antennen müssten auf die entsprechenden Sende- oder Empfangspunkte der Erde eingerichtet sein und während des Umlaufes entsprechend der relativen Ortsänderung des Satelliten mit ihrer Hauptstrahlung gedreht werden, falls es kein 24-h-Satellit in Äquatorebene ist. Dass die erdgebundenen Antennen auch der Bewegung des Satelliten nachgeführt werden müssen, braucht nicht besonders erwähnt zu werden.

Die Nachführung von Satellitenantennen ist aber nur möglich, wenn der Satellit bei seinem Raumflug stabilisiert ist, d. h. seine Lage im Raum festgelegt ist. Dieses Problem ist technisch gelöst. Der Satellit wird relativ zur Sonne in seiner Lage festgehalten und wendet daher der Sonne immer die gleiche Seite zu, so dass er sich bei seinem Fluge um die Erde in Bezug auf diese dreht. Die Antennen des Satelliten müssen sich dann entsprechend seiner Rotation um die Erde um die zur Sonne feste Satellitenachse drehen.

Die Energie für das Nachdrehen der Antenne und für den Sender selbst muss Sonnenbatterien entnommen werden, die sich durch den durch die Sonnenenergie ausgelösten Photoeffekt immer wieder selbst aufladen. Leider ist aber bisher der Wirkungsgrad dieser Photoelektroden noch begrenzt, so dass keine sehr grossen Leistungen in den Satelliten auf diese Weise installiert werden können.

## 6. Rundfunksatelliten

Der Wunsch der Menschen wäre natürlich, nicht nur Rundfunk- und Fernsehprogramme über Satelliten zwischen den Kontinenten auszutauschen und dann über die lokalen Netze zu verbreiten, sondern unmittelbar von Satelliten aus die Bevölkerung ganzer Erdteile mit Rundfunk- und Fernsehprogrammen zu versorgen. Man muss dabei beachten, dass dies zwar theoretisch möglich ist, aber dass wohl auch durch die begrenzte Anzahl der für diese Zwecke verfügbaren Frequenzen das Projekt sicherlich seine Grenzen erhält. Ausserdem kann aber bei jedem einzelnen Rundfunk- und Fernsehteilnehmer keine grosse Antenne errichtet werden, die auch schwache Signale mit genügendem Störabstand aufzunehmen gestattet, sondern es müssen normale, nicht nachführbare An-

tennen mit normalen handelsüblichen Empfängern benützt werden können. Das bedeutet aber, dass die Feldstärke und die Bandbreite, die jetzt den Rundfunk- und Fernsehempfängern angeboten wird, gleich bleiben müsste, auch wenn Nachrichtensatelliten die Programme strahlen sollten.

Die für Fernsehen geforderten Empfangsfeldstärken schwanken je nach örtlichen Verhältnissen (Großstadt, Land, Einfluss industrieller Störungen) zwischen 5 mV/m und 500  $\mu$ V/m. Dies erforderte Sendeleistungen in den Satelliten (Fig. 15), die mit Sonnenbatterien bestimmt nicht herstellbar sein werden. Man muss mit diesen Satelliten also warten, bis die atomare Energieerzeugung so weit entwickelt ist, diese grossen Leistungen in den Satelliten erzeugen zu können.

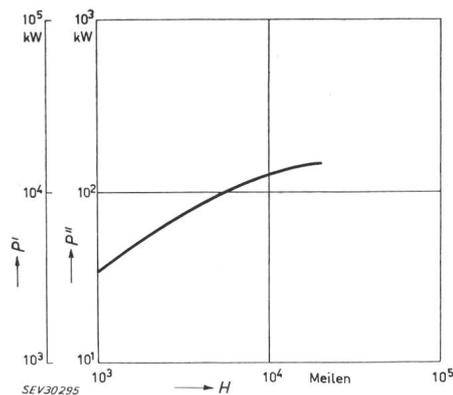


Fig. 15

Notwendige Leistung eines Fernseh-Rundfunk-Satelliten in Abhängigkeit von der Satellitenhöhe für Signale von 5 mV/m und 500  $\mu$ V/m (nach Haviland [5])

$P'$  notwendige Leistung für ein 5-mV/m-Signal;  $P''$  notwendige Leistung für ein 500- $\mu$ V/m-Signal;  $H$  Satellitenhöhe (in nautischen Meilen)

Da die Empfangsantennen der Fernsehteilnehmer nicht der Bewegung der Satelliten nachgeführt werden können, wäre es zweckmässig, 24-h-Satelliten für diese Zwecke einzusetzen. Auch diese Satelliten werden, wie erwähnt, noch nicht sehr bald in ihre Bahnen geschossen werden; es erscheint mindestens zur Zeit unwahrscheinlich, Sender so grosser Leistung unbemannt betreiben zu können. Die bemannte Raumfahrt und bemannte Raumstationen scheinen daher auch noch eine Voraussetzung für die Verwirklichung dieses Fernseh-Rundfunk-Satellitenprojektes zu sein.

## 7. Wirtschaftlichkeit von Nachrichtenverbindungen

Zwischen den einzelnen Kontinenten sind jetzt teilweise Fernspreckabel ausgelegt. Die Erdteile werden weiterhin mit solchen Kabeln verbunden sein. Daher muss man sich die Frage stellen, lohnen sich dann überhaupt Nachrichtenverbindungen Erde—Erde über Satelliten?

Amerikanische Berechnungen [7] sprechen davon, dass in absehbarer Zeit eine grössere Anzahl (etwa 50) Satelliten in etwa polarer Umlaufbahn geschickt werden könnten, die weltweite Nachrichtenverbindungsmöglichkeiten eröffneten, wenn etwa 26 Sende- und Empfangsstationen jeweils paarweise über die Erde verteilt würden. Die Kosten zur Einrichtung eines solchen Systems einschliesslich je einer Fernsehverbindung zwischen den zugehörigen Paaren wird auf etwa 170 Millionen Dollar geschätzt. Diese Kosten können natürlich nicht von einem einzelnen Land oder einer

Betriebsgesellschaft getragen werden; daher ist eine Zusammenarbeit aller interessierten Länder notwendig. Die Gesamtkosten sind zwar sehr hoch, aber auch Fernsprechkabel durch die Ozeane sind ausserordentlich teuer. Die Lebenszeiten der Kabel werden allerdings voraussichtlich länger sein, als die der Satelliten in mittleren Höhen. Dafür können die über die Satelliten verlaufenden Nachrichtenverbindungen aber schätzungsweise 600 Kanäle gleichzeitig und zu allen Teilen der Welt übertragen.

Nach Schätzungen in den USA (Space Technology Laboratories) glaubt man, dass in etwa 3...4 Jahren die ersten aktiven Nachrichtensatelliten die Erde umkreisen können. Dazu ist allerdings noch notwendig, dass die Geräte, die in die aktiven Satelliten mit Leistungen von einigen 100 W eingebaut werden, noch als Langlebenszeitgeräte gezüchtet und erprobt werden. Das technische Gerät in den Satelliten muss doch mindestens so lange halten, wie die Satelliten in ihrer Umlaufbahn verbleiben. Die Lebensdauer der zunächst mit mittleren Flughöhen (4000 Meilen) geplanten Satelliten werden auf etwa 8...10 Jahre geschätzt.

Sollen sich die Projekte aber wirklich lohnen, müssen über die Satellitenverbindungen Vielkanalsprechsysteme geführt werden. Der Verkehr muss dann aber auch die zur Verfügung gestellten Kanäle ausnützen können. Wie die amerikanische Bell-Laboratories [7] allerdings annehmen, dürfte der Bedarf an internationalen Fernsprekanälen sich bald ausserordentlich steigern. Die Gesellschaft schliesst dies daraus: In den USA entspringt bei nur 6% Anteil der Weltbevölkerung z. Zt. etwa 55% des Weltnachrichtenverkehrs. Die für die Wirtschaftlichkeit der Satelliten-Nachrichtenverbindungen notwendige Steigerung des Verkehrs wird bei weiter anhaltender Industrialisierung der weiteren 94% der Weltbevölkerung zwangsläufig erreicht werden.

Soweit bekannt, sind die ersten Vorverhandlungen zwischen einigen europäischen Fernmeldeverwaltungen zur gemeinsamen Ausnützung der über Satelliten möglichen Nachrichtenwege im Gange; denn eine gemeinsame Ausnützung ist, wie erwähnt, wegen der hohen Kosten unvermeidlich und auch eine entsprechende Sammlung des Verkehrs an den etwa 13 paarweise angeordneten Bodenstationen muss zwangsläufig stattfinden, um die vorhandenen Kanäle zu füllen.

## Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

### Die Verringerung der Spanne zwischen Anzug und Abfall von Relais

621.318.5

[Nach R. L. Ives: «Reducing Relay Pull-In Drop-Out Gap». Electronics, Bd. 33(1960), Nr. 4, S. 62...64]

Bei handelsüblichen Relais beträgt das Verhältnis der Spannungen für Anzug und Abfall des Ankers etwa 5 : 3. Ein 6-V-Relais beispielsweise zieht bei etwa 5,5 V an und lässt den Anker bei etwa 3,3 V fallen; die Arbeitsspanne liegt demnach bei 2,2 V. Relais, welche z. B. bei 115 V anziehen und bei 110 V abfallen, sind mit einer Toleranz von 1 V nur schwierig zu bauen.

Es ist versucht worden, niedergespannte Relais bei höheren Spannungen zu betreiben unter Vorschaltung eines nichtlinearen Widerstandes, wie z. B. einer passenden Glühlampe. Man kann hierdurch bezüglich der Arbeitsspanne zwar gewisse Resultate erzielen, doch bewährt sich die Methode nicht. Wegen der zu grossen Spanne zwischen Zünd- und Arbeitsspannung scheidet

### 8. Ausblick

Nicht nur für Nachrichtensatelliten ist eine gemeinsame Erforschung und ein gemeinsamer Betrieb notwendig, sondern allgemein auch für alle anderen Anwendungsgebiete, insbesondere aber für die weitere Weltraumforschung. So fand z. B. vom 8. bis 11. Mai 1961 eine Tagung der Deutschen Gesellschaft für Raketentechnik und Raumfahrt e. V. in Konstanz am Bodensee statt, wo Referate über die möglichen Beiträge der westeuropäischen Länder zur Raumfahrtforschung und -Technik gehalten wurden.

Die Raumfahrt ist im Kommen. Künstliche Erdsatelliten werden in noch grösserer Zahl die Erde umkreisen. Viele Forschungs- und Anwendungsgebiete werden sich dieser Satelliten und der Raumstationen bedienen. Nachrichtensatelliten werden in einigen Jahren den Nachrichtenaustausch zwischen den Völkern der Erde erleichtern und viele Sprechkanäle zwischen den Kontinenten zur Verfügung stellen.

Raumfluggeräte, die bemannt oder unbemannt die Erdanziehung überwinden, müssen mit grösseren Sendegeräten ausgerüstet werden, um in dauernder Funkverbindung mit der Erde bleiben zu können; denn der Pioneer V, den man bisher am weitesten mit Funk verfolgen konnte, konnte gerade noch bei einer Entfernung von 40 Millionen Meilen empfangen werden. Die aufnehmbare Bandbreite war aber dabei so gering geworden, dass nur noch 1 Bit, d. h. ein Telegraphieschritt pro Sekunde (eine Information in einer Sekunde) übertragen werden konnte. Nach dieser Entfernung riss die Funkverbindung ab. Wie weit das sowjetische Raumfluggerät, das in Richtung Venus abgeschossen wurde, noch funkmässig kontrolliert werden kann, ist dem Verfasser unbekannt.

### Literatur

- [1] *Schädlich, A.*: Der Erde-Weltraumfunk rückt näher. Fernmeldepraxis 38(1961)4, S. 134...137.
- [2] *Fleischer, H.*: Geräte und Methoden des Fernmeldetechnischen Zentralamtes zur Messung der Funkausstrahlung künstlicher Erdsatelliten. Fernmeldepraxis 37(1960)24, S. 969...982.
- [3] *Haley, A. G.*: A Basic Program for the 1963 Extraordinary Administrative Radio Conference on Space Communications. General Council, American Rocket Society.
- [4] *Space Communication Primer*. General Electric Company.
- [5] *Haviland, R. P.*: The Communication Satellite. 8. Internationaler Astronautischer Kongress, Barcelona, 6...12. Okt. 1957.
- [6] *The Space Tracking and Navigation Network*. Los Angeles: Space Technology Laboratories Inc.
- [7] *Project Echo Transmits Telephone Messages Via Satellite*. Bell Labor. Rec. 38(1960)9, S. 334...337.

### Adresse des Autors:

Dr.-Ing. H. Fleischer, Oberpostamt im Fernmeldetechnischen Zentralamt der deutschen Bundespost, Rheinstrasse 110, Darmstadt.

auch die Anwendung von Gasentladungsröhren nach Art der bekannten Glimmstabilisatoren für den vorliegenden Zweck.

### Relais mit Zener-Dioden

Die Zenerdiode<sup>1)</sup> hingegen, das Halbleiter-Analogon zur Glimmentladungsröhre, weist keine erhöhte Zündspannung auf; der Einsatz des Zenerstroms erfolgt im Gegenteil sozusagen spontan.

<sup>1)</sup> Zener-Dioden sind Siliziumdioden, die in Sperrichtung gepolt betrieben werden. Zufolge einer hohen Dotierung des Si-Kristalls erfolgt der Zener-Durchbruch in der Regel im Gebiet zwischen 5 und 30 V, je nach Typ bzw. Dotierung. Die individuelle Zenerspannung ist durch den Kristallbau eindeutig festgelegt; jedes Exemplar eines Typs weist eine vom andern etwas unterschiedliche, jedoch zeitlich konstante Zenerspannung auf. Der differentielle (dynamische) Widerstand liegt bei 6...8 V am tiefsten und wächst insbesondere ab etwa 15 V wesentlich stärker als proportional an. Aus diesem Grunde würden z. B. 100-V-Zenerdioden (mit schwachdotiertem Si) sehr schlechte Kennlinien aufweisen. Durch Reihenschaltung von Zenerdioden niedrigerer Spannungen erhält man bessere Eigenschaften, als bei Verwendung einzelner Dioden mit höhern Spannungswerten.