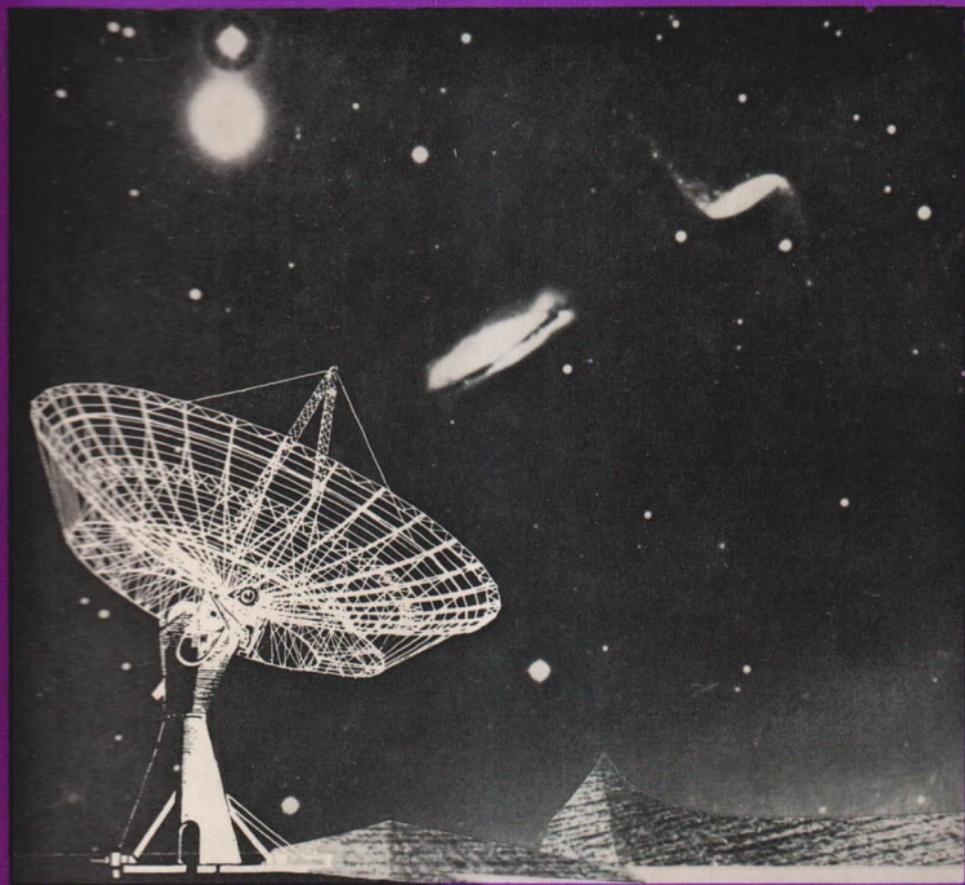


Petrowitsch

SIGNALE AUS DEM ALL







SIGNALE AUS DEM ALL



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Nikolaj Timofejewitsch Petrowitsch

Originalausgabe:

Николай Тимофеевич Петрович

Кто вы?

Москва: Издательство ВЛКСМ «Молодая гвардия» 1970

Deutsche Übersetzung: Margarete Dabisch

Bearbeitung: Ing. Karl-Heinz Rumpf

Beratung: Dr. rer. nat. Gotthard Richter

1. Auflage

VEB Verlag Technik Berlin 1972

VLN 201, Dg.-Nr. 370/83/72

ES 20 K 5

Lektor: Dipl.-Ing. Rolf Fischer

Illustrationen: Alfred Mähler

Typografie: Kurt Hoppe

Schutzumschlag und Einband: Kurt Beckert

Printed in the German Democratic Republic

Gesamtherstellung: IV/10/5 Druckhaus Freiheit Halle

Bestellnummer: VT 2/3/4870

Vorwort zur deutschen Ausgabe

Die Herausgabe eines Buches in einer anderen Sprache ist immer ein besonderes Ereignis für den Autor, wird doch dadurch eine durch die Sprache gesetzte Grenze überschritten und dem Buch der Weg zu neuen Lesern gebahnt.

Ich schreibe diese Zeilen unter dem Eindruck, den die „erste sowjetisch-amerikanische Konferenz über außerirdische Zivilisationen“ (CETI) auf mich gemacht hat, die im September 1971 im astrophysikalischen Observatorium Bjurokan in der Nähe von Jerewan (Armenische SSR) stattfand.

Die Thematik der Konferenz und der Inhalt des vorliegenden Buches stimmen fast völlig überein. Ich möchte deshalb die Ereignisse in Bjurokan kurz umreißen, weil sie die Aussagen des Buches einerseits bestätigen und andererseits aktualisieren. Diejenigen Leser, denen dieses Vorwort jetzt noch nicht viel sagt, möchte ich bitten, es nach der Lektüre des Buches – gewissermaßen als Ergänzung – noch einmal zu lesen.

Die Konferenz zeichnete sich durch eine spannende und sehr lebhaft diskutierte Diskussion aus, die sich eine Woche lang im wesentlichen mit dem Fragenkomplex beschäftigte: „Gibt es noch irgendwo im Weltall vernunftbegabtes Leben, und wenn ja, wie kann man es feststellen, und welche Folgen kann dieser Kontakt für unsere irdische Zivilisation haben?“

An der Lösung dieser Fragen sind fast alle Wissenschaftsgebiete beteiligt, was auch in der Zusammensetzung des Teilnehmerkreises zum Ausdruck kam: Astronomen und Radioastronomen, Physiker und Radiophysiker, Biologen und Biochemiker, Kybernetiker und Nachrichtentechniker, Archäologen und Anthropologen, Linguisten und Logiker, Historiker und Soziologen.

Es gab zwar viele Meinungen zu einzelnen Aspekten des Problems, zum Beispiel zur Abschätzung der Anzahl von außerirdischen Zivilisationen, und es konnte auch keine Einigung über eine allseits zufriedenstellende Definition des vernunftbegabten Lebens und der vernunftbegabten Zivilisation erreicht werden. Trotzdem haben die Konferenzteilnehmer in einem gemeinsamen Beschluß ihren Standpunkt zum ganzen Problemkreis dargelegt und die gegenseitige Abstimmung der Arbeiten vereinbart, die zur Lösung des Problems durchgeführt werden sollen.

Die Frage der Existenz von außerirdischen Zivilisationen wird als ein wichtiges und fundamentales Problem angesehen. Die Entdeckung fremder Zivilisationen durch die Menschen hätte eine außergewöhnlich große philosophische, wissenschaftliche und praktische Bedeutung, und die Herstellung eines Kontaktes

zu anderen Heimstätten der Vernunft könnte das wissenschaftliche und technologische Potential der Menschheit wesentlich anheben und in bedeutendem Maße deren Zukunft bestimmen. Die Versuche zur Herstellung eines Kontaktes mit fremden Zivilisationen verdienen deshalb große Anstrengungen der Menschen.

Weiterhin wird in dem Beschluß gesagt, daß die hervorragenden Entdeckungen der letzten Jahre auf den Gebieten der Astronomie, Biologie, Kybernetik und Radiophysik einen erheblichen Teil des Problems aus der rein gedanklichen Sphäre in die experimentelle und Beobachtungssphäre verschoben haben. Das technologische und wissenschaftliche Potential unseres Planeten reicht schon heute aus für konkrete Forschungen im Rahmen der Suche nach außerirdischen Zivilisationen. Um diese Sucharbeiten möglichst effektiv zu gestalten, ist bereits heute eine weltweite Koordinierung der Arbeiten, die in den einzelnen Ländern durchgeführt werden, zweckmäßig.

Sehr interessant war für mich die Begegnung mit bedeutenden Wissenschaftlern während der Konferenz, deren Namen, Ideen und Forschungen der Leser bei der Lektüre des Buches kennenlernen wird. Hier seien nur einige von ihnen genannt.

Prof. F. D. Drake (USA), der Leiter des ersten Großversuchs für die Suche von Radiosignalen („Project Ozma“), trat auf der Konferenz dafür ein, eine automatische Signalsuche über längere Zeiträume zu organisieren, bei der gleichzeitig mit vielen Antennen und Empfängern auf verschiedenen Wellenlängen gearbeitet werden sollte. Für die Feststellung und Entschlüsselung der Signale schlug Prof. Drake den Einsatz von Computern vor.

Prof. W. S. Troizkij, ein sowjetischer Radioastronom, der die Suche nach Radiosignalen anderer Welten in der UdSSR leitet, berichtete über die Beobachtung von 12 nahen Sternen. Bislang wurden noch keine vernünftigen Signale festgestellt, es wurden aber neue, interessante natürliche Strahlungen registriert.

Prof. F. Dyson (USA), bekannt durch sein Projekt für eine gewaltige Sphäre („Dyson-Sphäre“), richtete die Aufmerksamkeit auf die prinzipielle Möglichkeit der Besiedlung kosmischer Körper von der Art unserer Kometen durch vernunftbegabte Wesen. Sollte das zutreffen, könnte vernunftbegabtes Leben uns wesentlich näher sein, als bisher angenommen wurde.

Dr. N. S. Kardaschew (UdSSR), bekannt durch die Klassifizierung der Zivilisationen nach ihrem Energiepotential, die allgemeine Anerkennung fand und während der Konferenz weitgehend angewendet wurde, sprach über eine ganze Reihe von Ideen. Unter anderem schlug er ein System vor, nach dem Sterne gleichzeitig mit zwei (oder mehr) Empfängern beobachtet werden, die an verschiedenen Punkten der Erde stehen. Die Signale von den Ausgängen dieser Empfänger sollen zur besseren Identifizierung zusammengefaßt und gemeinsam ausgewertet werden.

Prof. S. von Hoerner (USA), der u. a. dadurch hervorgetreten ist, daß er die Anzahl der Zivilisationen auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeitstheorie berechnete, stellte in seinem Vortrag zwei Postulate auf, von denen eine Theorie der außerirdischen Zivilisationen ausgehen müsse:

„Nichts ist einmalig im Universum“,

„Nichts ist ewig im Universum“.

Aus diesen beiden Postulaten geht hervor, daß die Erdbewohner durchaus nicht allein im Universum sind und daß jede Zivilisation nur eine endliche Zeit existiert.

Prof. *I. S. Schklowskij* (UdSSR), der Autor des bekannten Buches „Universum – Leben – Vernunft“, richtete die Aufmerksamkeit auf die Schwierigkeit, die natürlichen Strahlungen kosmischer Körper von künstlich erzeugten zu unterscheiden. Vorläufig gibt es dafür noch keine zuverlässigen Kriterien.

Prof. *C. Townes*, Nobelpreisträger für Physik 1964, sagte, daß er auf einen Kontakt mit Hilfe von elektromagnetischen Schwingungen hoffe, und wies auf den exponentiellen Leistungszuwachs bei den Lasern hin. Wenn deren mittlere Leistung heute einige Dutzend Kilowatt beträgt, so kann sie in naher Zukunft schon einige Megawatt erreichen. Er sähe keine Grenzen, die die Leistung eines Lasers prinzipiell einschränkten. Das heißt, daß hochentwickelte außerirdische Lebewesen den Laserstrahl sehr wohl als Träger für den interstellaren Nachrichtenverkehr benutzen könnten.

Akademienmitglied *W. L. Ginsburg* (UdSSR) sprach als Experte zu einer sehr wichtigen Frage: Sind die auf der Erde entdeckten physikalischen Gesetze auch in beliebigen anderen Teilen des Universums gültig? Wenn diese Frage bejaht werden kann, kann man auch auf eine gewisse Übereinstimmung in der Logik hoffen, und das begründet wiederum die Hoffnung, sich mit den anderen Zivilisationen verständigen zu können. Wie Ginsburg ausführte, ist man allgemein der Ansicht, daß die von der irdischen Wissenschaft festgestellten Gesetze überall gültig sind. Einige Zweifel an ihrer Allgemeingültigkeit gibt es nur noch im Zusammenhang mit den seltenen Fällen von gigantischen Katastrophen im Universum.

An der Konferenz nahm auch der Anthropologe Prof. *R. B. Lee* (USA) teil. Er hatte einige Jahre in Afrika bei den Buschmännern gelebt und deren Gebräuche und Sprache studiert. Seine Erlebnisse dort brachten ihn zu dem Schluß, daß es zwischen der Gehirntätigkeit eines Buschmannes und der eines Menschen aus einem technisch hochentwickelten Land keinerlei merkbare Unterschiede gibt. Auf seinen Vorschlag hin wurde im Beschluß der Konferenz vermerkt, daß die Teilnahme von Vertretern aller Länder an der Kontaktsuche erwünscht ist.

Ich habe in einem Vortrag die Aufmerksamkeit der Konferenzteilnehmer auf die Notwendigkeit der Suche nach superkurzen Impulsen gerichtet. Es kann sein, daß die Superzivilisationen eine Methode für die Erzeugung von Signalen ungeahnt großer Leistung, jedoch in Form von superkurzen Impulsen, gefunden haben (z. B. durch Explosionen). Um Verzerrungen zu vermeiden, die im interstellaren Medium auftreten, könnten sie diesen Impulsen für die Übertragung umgekehrte Vorverzerrungen aufgeprägt haben. Zur Feststellung solcher Impulse benötigt man äußerst breitbandige Empfänger; die bisher für die Suche verwendeten Empfänger reagieren nicht auf solche Impulse.

Das erste große Forum von Wissenschaftlern vieler Disziplinen, der gemein-

same Beschluß und die vorgezeichneten Richtungen für die Forschungen der nächsten Zeit schaffen günstige Voraussetzungen für die Erarbeitung koordinierter nationaler Programme für die Suche nach „vernünftigen“ Signalen. Damit wird eines der schwierigsten Probleme, mit denen sich die Menschheit im Verlauf ihrer Geschichte auseinandergesetzt hat, seiner Lösung ein Stück näher gebracht.

Das vorliegende Buch beschäftigt sich mit dem Problem der außerirdischen Zivilisationen, das keinen denkenden Menschen gleichgültig lassen kann. Ich habe versucht, sowohl gesichertes Wissen als auch Theorien und Hypothesen darzulegen, um dem Leser einen Überblick über den derzeitigen Wissensstand zu vermitteln und ihm zu zeigen, daß der Traum der Menschheit vom Kontakt mit vernunftbegabten Brüdern im Weltall vielleicht einmal Wirklichkeit wird.

Moskau, den 30. Oktober 1971

N. T. Petrowitsch

Inhaltsverzeichnis

Ist das Menschengeschlecht allein?	Sterne, Berge und wir	13
	Wo sind wir?	17
	Sterne – Galaxien – Weltall	
	Wohin führt unser Weg?	25
	Doppler-Effekt – Rotverschiebung – Expansion des Weltalls	
	Oh, sei ein gutes Mädchen	30
	Leuchtkraft – Spektralklassen – Hertzsprung-Russell-Diagramm	
	Sternenschicksale	33
	Hauptreihensterne – Rote Riesen – Weiße Zwerge	
	Dunkelhäutige Begleiter	36
	Doppelsterne – Planeten	
	Zone des Lebens	37
	Günstigste Temperatur für belebte Materie	
	Wasser und Luft	40
	Voraussetzungen für die Entstehung von Leben	
	Weine, meine Geige, weine	40
	Leben in unmittelbarer Nähe des Sonnensystems?	
	Kinder der Finsternis	42
	Leben auf erkalteten Sternen?	
	Wie viele sind es?	43
	Abschätzung der Zahl der Zivilisationen im Weltall	
	Rote Segel der Hoffnung	45
	Zusammenfassung der Schätzwerte verschiedenen Wissenschaftler	
	Direkter menschlicher Kontakt	47
	Grenzen der bemannten Raumfahrt	
	Kontakt durch automatische Stationen	53
	Funkkontakt	53

Im Dschungel der
Schwingungen und Wellen

Wir haben keinen anderen Weg	54
Der Schrei des Neugeborenen	54
Frequenz – Amplitude – Perioden- dauer – Wellenlänge	
Schlitze in der Rüstung	61
Ausbreitung der Wellen – Ionosphäre – Lichtfenster – Radiofenster	
Eine Lawine von Elektronen	65
Entstehung von elektromagnetischer Strahlung – Induzierte Emission – Laser	
Zwei Welten in einer	69
Radioastronomie – Thermische Strahlung und Synchrotronstrahlung – Supernovae – Quasare – 3-K-Strahlung	
Sensation 68	77
Pulsare	
Gedächtnis der Welt	79
Laufzeit von Signalen im Kosmos	

Die Zivilisationen X und Y
suchen einander

Optimist kontra Pessimist	81
Zivilisationen verschiedener Höhe – Energieprobleme – Rückkopplung der Zivilisationen	
Kerben auf der Welle	88
Amplitudenmodulation – Frequenz- modulation	
Feind Nr. 1	92
Thermisches Rauschen – Rausch- temperatur – Quantenrauschen	
Aus voller Kehle	97
Signal-Rausch-Verhältnis	
„Sie liebt mich – sie liebt mich nicht“ . .	98
Antennencharakteristiken	
Hokuspokus	100
Kontinuierliche und diskrete Signale – Pulsmodulation – Redundanz	
Ja – Nein	104
Binärinformationen – Phasenmodu- lation – Differenzphasenumtastung	
Hurra! Es lebe der Kontakt!	107
Abschätzung der Sende- und Empfangs- möglichkeiten	

Ein Goldfisch im Netz

Der Fisch und das Netz	113
Suche nach vernünftigen Signalen – Lei- stung, Frequenz, Bandbreite	
Wellenlänge und Bandbreite	118
Empfänger für vernünftige Signale	

Wir Erdenbürger über uns

Radiostrahlung oder Lichtstrahlung?..	122
Vor- und Nachteile der Laserstrahlung	
Wie demodulieren wir?	124
Plasmodemodulation ohne Bezugssignal? – Differenzphasenumtastung	
Was soll hier die Numismatik?	127
Oszillograf – Spektrograf	
Werden wir den Goldfisch erkennen? Entzifferung vernünftiger Signale	129
Die ersten Fischer	133
„Project Ozma“	
Was wollen wir senden?	136
Was wissen wir über die Entstehung der Erde?	137
Eine bescheidene Tabelle	138
Was ist das, ein Mensch?	140
Gibt es Flecken?	143
Am Zielband	145
Namenverzeichnis	152
Sachwörterverzeichnis	153
Bildnachweis	155

Ist das Menschengeschlecht allein?

Sterne, Berge und wir

Im Wohnheim des Instituts für Nachrichtentechnik, in einem Zimmer mit zwei Betten und einem Stapel Bücher auf dem Fußboden, tobte ein erbitterter Kampf. Die Theoreme von C. Shannon und W. Kotelnikow hatten unsere Sehnsucht nach den Bergen und die sommerliche Moskauer Hitze besiegt. Aber immer wieder drängten sich blinkende Berggipfel und die zauberhafte Schönheit der Gletscher in unser Bewußtsein und verdrängten die Informationstheorie, immer wieder irrten unsere Gedanken ab, und der Wirkungsgrad unserer Arbeit fiel auf Null. Noch im Frühling hatten wir geschworen, den Sommer der Wissenschaft zu opfern, und doch setzte uns jetzt der Kampf zwischen „gut“ und „böse“ sehr zu.

Plötzlich, ohne jede Verabredung, stürzten wir uns beide im gleichen Augenblick auf unsere Rucksäcke, stopften das Notwendigste hinein und machten uns auf den Weg gen Süden.

Tianschan. Die Gletscher des Tujuk-Su versanken langsam im Dämmer der Nacht. Wie eine seltsam geformte Säge ragte der spitzzackige Kamm des Bergmassivs in den Himmel. Am Ende unseres mit Eishaken markierten Weges erreichten wir unser Biwak am Fuße eines Bergkamms auf dem Gletscherfeld. Hier erwarteten uns die Wunder des Komforts – Zelt, Schlafsäcke, Wasser und Konserven.

Wir wollten endlich schlafen, ohne erst lange zu sitzen und über den mühsamen Weg zu sprechen, wollten uns ausstrecken und jeden Muskel entspannen. Die an den rauhen Felswänden aufgeschürften Finger schmerzten. Sie sehnten sich nach Ruhe in der Wärme des Schlafsacks. Wir wollten . . .

Doch, so wie ein kurzer Stoß des Bergwindes ein Streichholz zum Erlöschen bringt, so brachte der Zauber des Himmels all unser „Wir wollten doch eigentlich“ zum Verstummen. Wir konnten uns einfach nicht von diesem unendlichen und rätselhaften Bild losreißen, das uns die Sterne boten. Die kristallklare Bergluft wirkte wie eine gewaltige Linse. Die Sterne schienen zum Greifen nahe zu sein. Der Himmel öffnete sich uns zum ersten Male in seiner ganzen Schönheit.

Uns bestürmten Tausende von Fragen über die Gestirne und die fernen Sternennebel, über andere Welten und möglicherweise vorhandene Brüder der Menschheit im All . . .



Zu unserem Glück gehörte der junge Astronom Kolja zu unserer Gruppe. Wir begannen ihn mit unseren Fragen zu bestürmen. Zuerst antwortete er schläfrig, doch dann brachten wir anscheinend eine Saite in ihm zum Klingen. Sei es, daß er in uns dankbare, nach Wissen dürstende Hörer sah, sei es, daß ihn

der Stolz auf seinen uralten und fesselnden Beruf übermannte – die Schläfrigkeit war plötzlich von ihm gewichen, als hätte eine Hand sie beiseite geschoben. Mit einem letzten, bedauernden Blick auf seinen Schlafsack begann er mit einer erregenden Erzählung. Sein Lehrmaterial war der Himmel selbst, sein Zeigestock waren die Gipfel der Berge. Orientierungspunkte waren die in den Himmel eingeschnittenen Bergkuppen, die Nadeln und Spitzen der Felsen. Wir hörten eine der spannendsten Lektionen unseres Lebens. Unser Lektor hatte weder einen Plan noch ein Konzept. Seine Begeisterung und sein gutes Wissen ersetzten jedoch beides. Kolja ging von einem Gestirn zum anderen, von einem gelösten Rätsel des Himmels zum anderen, noch nicht gelösten Rätsel über und fesselte uns mehr und mehr.

Die elementaren astronomischen Tatsachen, die wir bereits in der Schule gelernt und über die wir noch nie weiter nachgedacht hatten, wurden in diesem Bergplanetarium zu einer aufregenden Offenbarung.

So brachte uns z. B. das, was wir über das Auseinanderlaufen der Galaxien – über dieses zielstrebige und mit der wachsenden Entfernung immer schneller werdende Auseinanderstreben der Sternensysteme – hörten, in einen Zustand völliger Verwirrung. Schließlich könnten die Galaxien doch irgendwann einmal wieder aufeinander zulaufen!

Die ersten Bergspitzen begannen sich schon golden zu färben, als Kolja seine Lektion beendete:

„Ihr habt wahrscheinlich schon von den Zwillingbrüdern *Kastor* und *Pollux* gehört. *Kastor* war ein Sterblicher, *Pollux* ein Unsterblicher. Als *Kastor* starb, gab ihm *Pollux* die Hälfte seiner Unsterblichkeit. So verbrachten die unzertrennlichen Brüder einen Tag im strahlenden Olymp, den anderen im finsternen Totenreich. Eine wahrhafte Freundschaft verband beide; sie wären eine prachtvolle alpine Seilschaft gewesen.

Diesen Brüdern ist am Himmel ein Denkmal gesetzt: das Sternbild Zwillinge – ihnen zu Ehren so genannt. *Kastor* und *Pollux* sind die beiden hellsten Sterne dieses Sternbildes. Die Astronomen des Altertums hielten den Stern *Kastor* für einen Einzelstern. Heute wissen wir, daß *Kastor* aus drei Paaren von Doppelsternen besteht, die eine komplizierte Bahn um ein gemeinsames Schwerkraftzentrum beschreiben. Zwei Paare werden von heißen blauen Riesensternen gebildet. Das dritte Paar besteht aus zwei kalten Zwergsternen von rötlicher Farbe. Die Bewohner ihrer Planeten – falls es sie gäbe, die Planeten und ihre Bewohner – hätten über sich einen Himmel, der durch sechs Sonnen verschiedener Größe und unterschiedlicher Farbe verschönt wäre. Und sie könnten sich in den Strahlen von sechs Sonnen wärmen – wieviel neue Themen für Gedichte und Lieder wären das!“

Solche Lektionen wiederholten sich an mehreren Abenden. Wir machten uns keine Notizen, und doch erinnere ich mich auch heute noch ganz deutlich an den Unterrichtsstoff. Diese Lektionen waren es, die in mir das Interesse an der Astronomie, am kosmischen Funkverkehr, an der Frage nach den Möglichkeiten zur Herstellung eines Kontaktes mit den Bewohnern fremder Welten weckten.



Kolja und ich waren noch während einiger Jahre gemeinsam in den Bergen des Tienschan. In einem Jahr suchten wir zwei Berggipfel, die so angeordnet waren, daß man bei Sonnenaufgang die Sonne genau hinter einem der Berggipfel aufsteigen sah. Das brauchte Kolja für die Überprüfung irgendeiner neuen Hypothese. In einem anderen Jahr beschäftigte er sich mit der Messung der Menge kosmischen Staubes, der auf die Berghöhen gefallen war. Wir, seine Kameraden, wurden dazu mit Büchsen ausgerüstet, in die wir den Höhengschnee sammelten. Wenn wir in schwierige Situationen gerieten, vergaßen wir manchmal, auf dem Gipfel unsere Büchsen zu füllen. Um Kolja nicht zu verärgern, sammelten wir dann den Schnee irgendwo unten. Unser schlechtes Gewissen beschwichtigten wir damit, daß die Kurven des spezifischen Anteils des Staubes in Abhängigkeit von der Höhe in den von ihm veröffentlichten Arbeiten ohnehin ziemlich gleichförmig verlaufen.

Das alles geschah noch vor der Zeit, in der das russische Wort „Sputnik“ in alle Sprachen der Welt eindrang, bevor die Ketten der irdischen Schwerkraft

erstmal zerbrochen wurden. Damals galt die Herstellung eines Kontaktes mit anderen Zivilisationen als eine phantastische Utopie. Die wenigen Jahre der kosmischen Ära haben inzwischen erstaunliche Früchte getragen. Mehrere in unserem Lande geschaffene Roboter sind bereits bis zur Venus vorgedrungen und haben diese bezaubernde, rätselhafte Unbekannte um ein Interview gebeten.

Sowjetische und amerikanische Kosmonauten wurden häufige Gäste im erdnahen Raum. Ihre Raumschiffe entfernten sich immer weiter von unserem Planeten.

Auf der lockeren, mit Staub bedeckten Oberfläche des Mondes haben bereits die Füße mehrerer kühner Menschen ihre Spuren hinterlassen. Die ersten – Neil Armstrong und Edwin Aldrin – hinterließen beim Verlassen des Mondes eine bescheidene Inschrift: „Hier hat ein Mensch vom Planeten Erde erstmals den Mond betreten. Juli 1969. Wir kamen in friedlicher Absicht und im Namen der gesamten Menschheit.“ Die Träume und Ideen Konstantin Ziolkowskis von der Eroberung des Sonnensystems durch den Menschen beginnen also, Wirklichkeit zu werden.

Der Gedanke, daß wir im Weltall nicht allein sind, ist so alt wie die Menschheit selbst. Aber erst jetzt gibt es Möglichkeiten, diese uns alle beschäftigende Vorstellung zu überprüfen. Grundlagen hierfür sind die Errungenschaften der Funktechnik und die Erfolge der Radioastronomie, die Entwicklung der Informationstheorie und der Kybernetik und nicht zuletzt die kosmischen Flüge der Erdenbewohner.

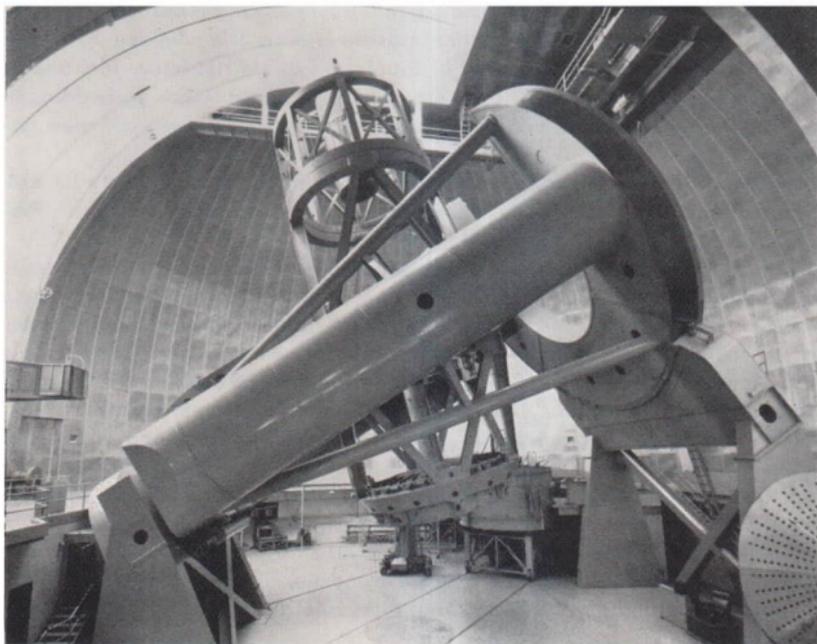
Die Herstellung eines Kontaktes mit fremden Zivilisationen würde ein Meilenstein in der Geschichte der Menschheit sein. Ob und wann solch ein Kontakt zustande kommt, ist ungewiß: heute oder morgen, vielleicht aber auch erst in Dutzenden, Hunderten oder gar Tausenden von Jahren.

Etwas anderes aber ist gewiß: Je intensiver und eingehender die wissenschaftlichen Untersuchungen durchgeführt werden, je mehr sich besonders junge und leidenschaftliche Geister mit dieser Frage beschäftigen, um so schneller wäre die Herstellung dieses Kontaktes möglich. Auch das ist ein Grund dafür, weshalb ich dieses Buch schreibe.

Womit beginnen wir? Natürlich mit einer Analogie! Stellen wir uns vor, daß wir uns plötzlich an einem unbekanntem Punkt in einem fremden Land befinden. Wir wollen dieses Land kennenlernen und einige seiner Geheimnisse lüften. Als erstes nehmen wir eine Karte dieses Landes zur Hand. Mit ihrer Hilfe können wir das Land insgesamt erfassen, seine Gliederung erkennen und, was das wichtigste ist, unseren „Standpunkt“, unsere „Adresse“ bestimmen.

Wo sind wir?

Die Anzahl der mit bloßem Auge sichtbaren Sterne wird gewöhnlich überschätzt. Auch in einer ganz klaren, mondlosen Nacht zählt man nicht mehr als 2 000 bis 3 000 Sterne. Das Zählen wird aber schon wesentlich schwieriger,



Mit solchen riesigen Instrumenten, wie dem berühmten Hale-Teleskop mit dem 5-m-Spiegel auf dem Mount Palomar, lassen sich auch in fernen Sternsystemen noch Einzelobjekte erkennen.

wenn man ein Fernglas zu Hilfe nimmt. Die Anzahl der unterscheidbaren Himmelskörper wächst dann auf mehr als 10 000.

Wenn wir das Fernglas durch ein leistungsfähiges modernes Teleskop und die Augen durch einen hochempfindlichen Film ersetzen, wächst die Anzahl der unterscheidbaren Lichtpunkte am Himmel ins Phantastische. Wir finden 3 000 000 000, also drei Milliarden Sterne.

Solche Zahlen werden gewöhnlich als Potenz der Zahl 10 geschrieben. Anstelle von 100 steht dann 10^2 , und für 50 000 steht $5 \cdot 10^4$. Demnach erhält unsere Zahl 3 000 000 000 die (natürlich nur der Schreibweise nach) bescheidene Form $3 \cdot 10^9$.

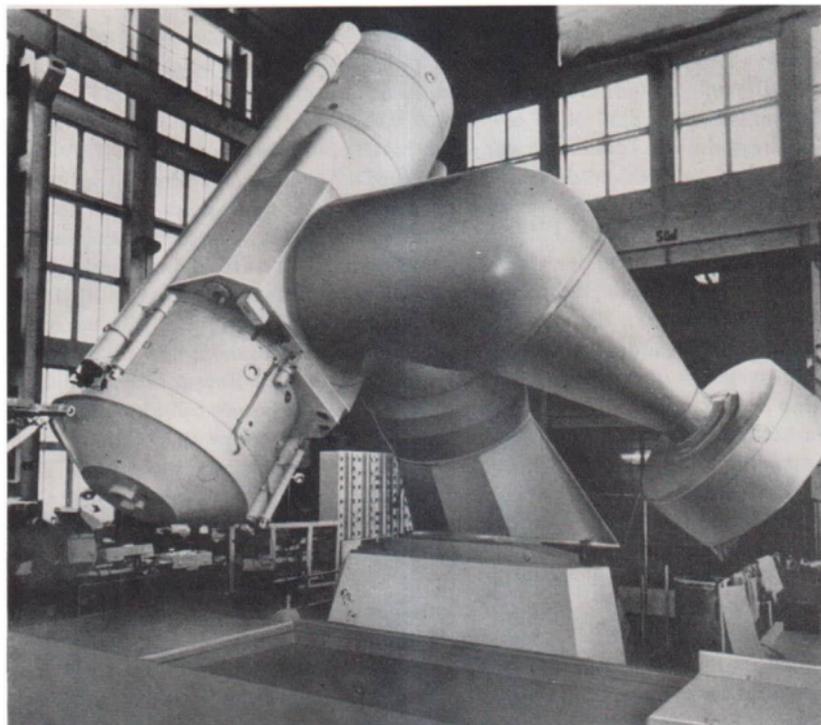
Das ist aber noch nicht alles. Die meisten Sterne sind wegen ihrer großen Entfernung nicht einmal mit dem Teleskop zu erkennen. Sie erscheinen uns lediglich als leuchtende Sternhaufen oder Nebel. Deshalb kann man ihre Gesamtanzahl nur annähernd nach statistischen Methoden ermitteln. Mit deren Hilfe kommen wir auf eine Menge von 10^{21} Sternen im sichtbaren Teil des Weltalls.

Wollten wir jedem dieser Sterne einen Namen oder auch nur eine unpersönliche Nummer geben und diese in einem Buch zusammenfassen, so müßte

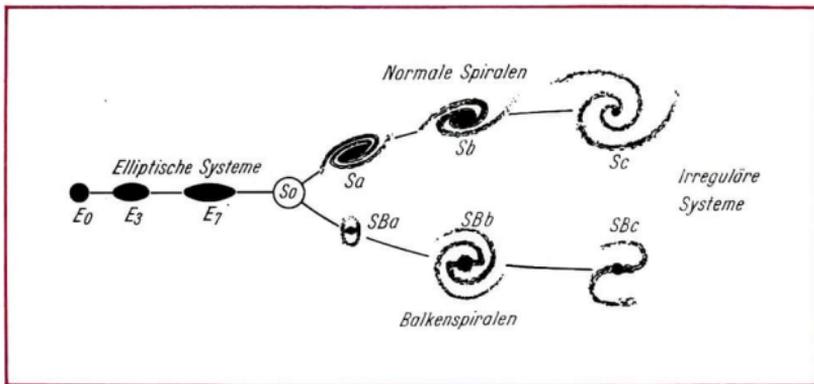
dieses Buch mehr Seiten enthalten als alle Bücher, die auf unserem Planeten in der gesamten Menschheitsgeschichte gedruckt wurden. Meyers achtbändiges Lexikon mit seinen mehr als 7 500 Seiten sähe neben diesem kosmischen Adreßbuch aus wie ein Sandkorn neben dem höchsten Berggipfel der Erde – dem Mount Everest.

Diese gewaltige Anzahl von Sternen übersteigt einfach unsere Vorstellungskraft. Dennoch ist die wichtigste Eigenschaft des Weltalls seine Leere. Auf jeden Kubikzentimeter Materie kommen 10^{80} Kubikzentimeter fast leeren Raumes. Die Weite des Weltalls ist gigantisch. Das Licht, das die von der Erde am weitesten entfernten bekannten Sterne und Sternenhaufen ausstrahlen, erreicht unsere Teleskope erst nach Milliarden Jahren.

Aus den gewaltigen Entfernungen, die die Sterne voneinander trennen, ergibt sich natürlich die Frage, ob die Sterne irgendwie miteinander im Zusammenhang stehen oder ob sie nur chaotisch im Weltraum verstreute, isolierte Ballungen der Materie sind. Tatsächlich sind die Sterne zu gewaltigen Systemen



Dieses im astrophysikalischen Observatorium Schemacha im Kaukasus aufgestellte 2-m-Teleskop vom VEB Carl Zeiss Jena ermöglicht auch die Verfolgung von Raumstationen auf ihrem Flug zu anderen Himmelskörpern.



Übliche Einteilung der Sternsysteme. Die Indizes bei den elliptischen Systemen sind ein Maß für die Elliptizität.

gruppiert, die als *Galaxien* bezeichnet werden. Beobachtungen und Berechnungen haben ergeben, daß es etwa 10^{10} (10 Milliarden!) solcher Sternsysteme gibt, die unterschiedliche Größe haben. Auch unsere Sonne mit ihrem Planetensystem ist Bestandteil einer solchen Sternengemeinschaft, unserer *Milchstraße* (die Bezeichnung kommt von der wörtlichen Bedeutung des griechischen Wortes „galaxias“ – Milch, milchig). Die riesengroße Anzahl der Galaxien wird offenbar, wenn man Fotoplatten betrachtet, die mit großen Teleskopen, zum Beispiel dem berühmten Mount-Palomar-Teleskop auf S. 18, aufgenommen wurden. Solche Aufnahmen zeigen mitunter mehr extragalaktische (d. h. außerhalb der Milchstraße liegende) Sternsysteme als Sterne unserer eigenen Milchstraße, die gewissermaßen den Vordergrund bilden. Das Bild auf Seite 21 vermittelt einen kleinen Eindruck davon. Darauf ist auch zu erkennen, daß diese fernen Sternsysteme unterschiedliche Formen haben können. Besonders auffällig ist eine Spiralstruktur, die zu der früher üblichen Bezeichnung Spiralnebel geführt hatte. Da die Bezeichnung Nebel aber für die gas- oder staubförmigen Ansammlungen interstellarer Materie – z. B. den Krebsnebel auf Seite 75 – reserviert ist, sollte man lieber exakt von Galaxien sprechen. Nach der Form der Spiralarms gliedern die Astronomen die Galaxien in mehrere Typen: elliptische Systeme, normale Spiralen, Balkenspiralen, irreguläre Systeme. Interessanterweise wissen wir über die Struktur unserer eigenen Galaxis nicht so gut Bescheid wie über die fremden Galaxien. Das liegt einfach daran, daß wir jene von außerhalb betrachten können, während wir unsere Milchstraße nur von innen und praktisch nur von einem Punkt des Raumes aus betrachten können (Beobachtungen von Bord kosmischer Raumschiffe und von verschiedenen Punkten der Erdumlaufbahn ändern daran nichts, da sich dabei unsere Lage innerhalb der Galaxis nur ganz unwesentlich ändert). Hinzu kommt, daß uns der Blick auf die interessantesten Gebiete durch dichte Staubwolken versperrt ist. Trotzdem ist es gelungen, den Aufbau der Galaxis weitgehend zu erkennen.



Vier Galaxien im Sternbild Löwe.

Bevor wir aber etwas Näheres über die Größe und die Gestalt unserer Milchstraße erfahren, müssen wir uns erst noch der Frage zuwenden, wie sich interstellare Entfernungen messen lassen. Irdische Maßstäbe sind hier hoffnungslos zu klein. Der Mensch fand jedoch einen ausgezeichneten Ausweg. Als Maßeinheit für die Entfernung nahm man die Geschwindigkeit des Lichtes. Warum wurde gerade das Licht gewählt? Weil es sich, genauso wie die Radiowelle, mit der in der Natur größtmöglichen Geschwindigkeit – annähernd 300 000 km/s – fortpflanzt. Als Zeiteinheit wurde nicht die Sekunde, nicht die Stunde, nicht der

Tag, sondern – das Jahr gewählt, und so wurde der Weg, den der Lichtstrahl in einem Jahr zurücklegt, zur Maßeinheit der Entfernungen im Kosmos. Diese Maßeinheit nennt man *Lichtjahr*.

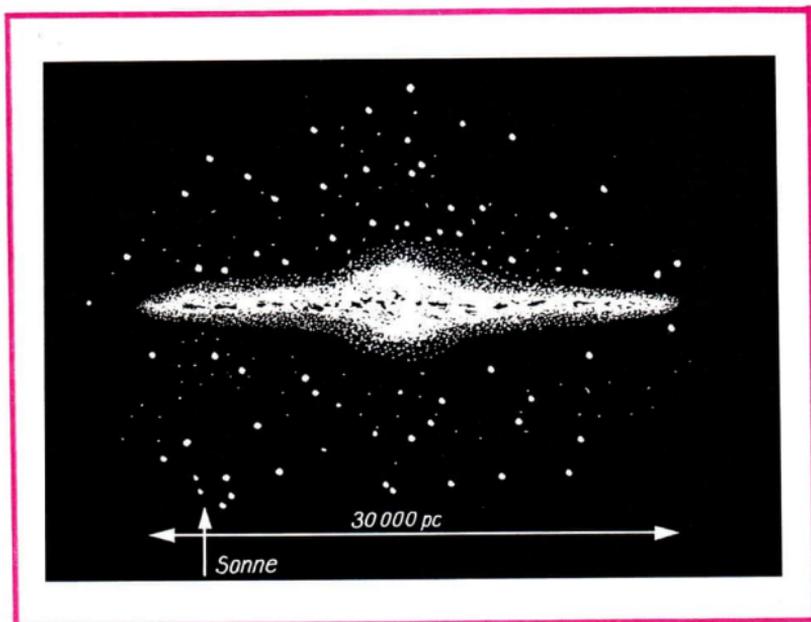
Wenn wir das eine Ende eines „kosmischen Bandmaßes“ mit der Länge eines Lichtjahrs an einem Lichtstrahl oder an einem Quant befestigen könnten, würde das Abwickeln ein ganzes Jahr dauern. Würden wir jedoch das Ende unseres Bandmaßes an einem unserer heutigen Raumschiffe befestigen, das mit der zweiten kosmischen Geschwindigkeit (11,19 km/s) fliegt, so dauerte das Abwickeln des Bandes etwa 27 000 Jahre!

Wenn wir errechnen wollen, wieviel Kilometer ein Lichtjahr hat (denn dies ist ja die auf der Erde übliche Maßeinheit für große Entfernungen), so müssen wir den Weg, den der Lichtstrahl in einer Sekunde durchläuft, mit der Anzahl der Sekunden eines Jahres multiplizieren. Wir finden so, daß ein Lichtjahr $9,5 \cdot 10^{12}$ km lang ist, das sind fast zehntausend Milliarden Kilometer.

Gemessen an der riesengroßen Länge eines Lichtjahrs nehmen sich die Abmessungen unseres Sonnensystems mehr als bescheiden aus. So benötigt das Sonnenlicht nur 8,3 Minuten, bis es die Erde erreicht, und den Weg bis zum Pluto, dem von der Sonne am weitesten entfernten Planeten, legt es in knapp sechs Stunden zurück.

Leider ist das Lichtjahr ein „Maßstab“, den die Astronomen nur sehr schwer handhaben können. Mit ihren Teleskopen lassen sich viel einfacher die Winkel messen, unter denen das Licht der Sterne auf der Erde eintrifft. Wenn wir von zwei Standorten aus, deren Entfernung wir kennen und die wir als Basislänge bezeichnen wollen, den jeweiligen Einfallswinkel des Lichtes eines Sternes messen und derart die Parallaxe bestimmen, so können wir seine Entfernung mit Hilfe von trigonometrischen Methoden berechnen. Unsere Erde ist aber viel zu klein, um auf ihr zwei Standorte mit einer für die Messung der Einfallswinkel ausreichenden Basislänge zu finden. Deswegen nehmen die Astronomen die Messung von verschiedenen Punkten der Erdbahn aus vor. Da nun die Entfernungsmessung zu einer Messung der Parallaxe, also eines kleinen Winkels in der Größe von Sekunden geworden ist, hat man eine besondere Maßeinheit, die Parallaxensekunde oder kurz *Parsec* (pc), geschaffen. Ein Stern hat die Entfernung 1 pc, wenn, von ihm aus gesehen, die Entfernung Erde–Sonne unter dem Winkel $1''$ erscheint. Nun wollen wir uns noch eine Vorstellung verschaffen, in welcher Beziehung das Parsec zu den uns bereits bekannten Längeneinheiten steht: $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lichtjahre} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ km}$. Die Astronomen rechnen auch mit Kiloparsec und Megaparsec, wobei gilt: $1 \text{ Mpc} = 1000 \text{ kpc} = 1000000 \text{ pc}$.

Nun zurück zu unserer Milchstraße. Sie ist eine gewaltige, stark abgeplattete diskusförmige Scheibe mit einem zentralen Kern und dürfte zum Typ Sb oder Sc der normalen Spiralen im Bildfeld auf Seite 20 gehören. Ihr Durchmesser beträgt etwa 100 000 Lichtjahre oder 30 kpc, ihre Dicke im Kern etwa 5 kpc. Der größte Teil der Masse der Milchstraße ist in den etwa 100 Milliarden Sternen konzentriert; nur etwa 2% macht die interstellare Materie aus, die hauptsächlich aus Wasserstoff besteht. Die Spirale ist umgeben von einem



Unsere Milchstraße, wie sie sich wahrscheinlich einem Beobachter darbietet, der von außerhalb auf die Hauptebene blickt.

etwa kugelförmigen System, dem galaktischen Halo, der nur sehr wenige Sterne und Sternhaufen enthält. Das ganze System rotiert. Für unsere Sonne, die sich ziemlich weitab vom Zentrum zwischen zwei Spiralarmen befindet, dauert ein Umlauf um den Kern etwa 250 Millionen Jahre.

Die uns am nächsten liegende Galaxis – der Andromedanebel – ist von uns „nur“ etwas mehr als 1 Million Lichtjahre oder 0,3 Mpc entfernt. Nach ihrer Schönheit und Größe erweist sie sich der schönen Tochter der Kassiopeia würdig, deren Namen sie trägt. Wie alle Schönen kommt die Andromeda natürlich nicht ohne Verehrer in ihrer Umgebung aus. Zu ihnen gehören vier wesentlich kleinere Sternensysteme in ihrer Nähe. Der Struktur nach ist der Andromedanebel ebenfalls eine Sternenspirale, der unseren ähnlich, jedoch größer in ihren Abmessungen.

Man kann die Galaxien mit gewaltigen Städten vergleichen, die durch große Entfernungen voneinander getrennt sind. Innerhalb des Gebietes der „Städte“ wächst die Dichte der Materie wesentlich an. Mehrere benachbarte „Städte“ bilden größere Einheiten. So vereint sich z. B. unsere Galaxis mit dem Andromedanebel, den beiden Magellanschen Wolken und 14 weiteren Galaxien zur sogenannten *Lokalen Gruppe* der Galaxien. Alle Galaxien bilden in ihrer Gesamtheit das Universum.



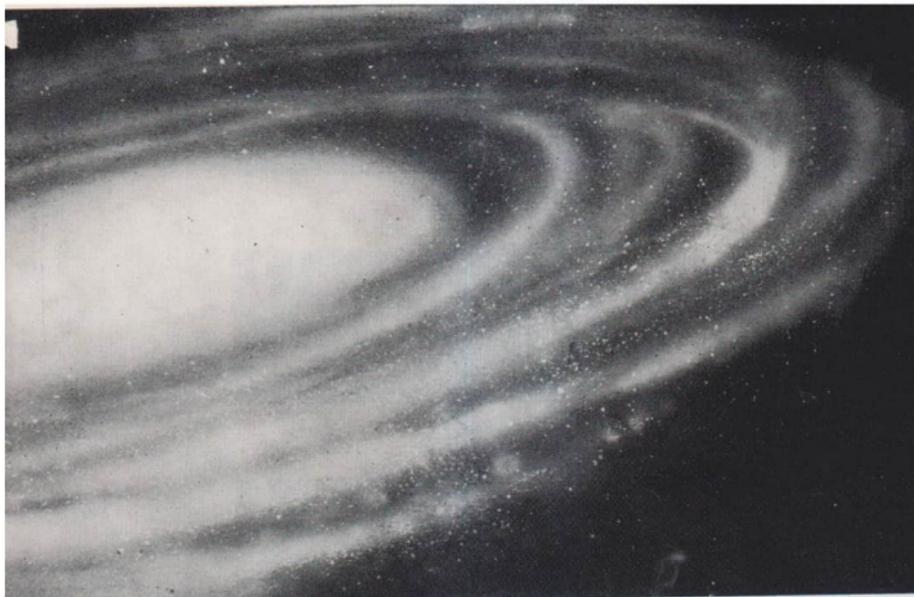
Irgendwo am Rande der Milchstraße, innerhalb der äußersten Windungen dieser Spirale, befindet sich unser Sonnensystem mit der Erde, die wir Erdenbürger einstmals ganz naiv für den Mittelpunkt des Weltgebäudes gehalten haben.

Zum Schluß dieses Abschnitts wollen wir, lieber Leser, gemeinsam die Adresse eines Bewohners unserer Erde zusammenstellen. Nehmen wir an, daß der Brief aus einem Gebiet des Universums kommt, das außerhalb unserer Lokalen Gruppe liegt. Sein Empfänger soll die erste Kosmonautin unseres Sonnensystems sein, deren Name zusammen mit dem Namen *Juri Gagarins* sicherlich einmal weit über die Grenzen unserer Erde hinaus bekannt sein wird.

Dies wäre dann die umfangreiche Anschrift:

Galaxienhaufen:	Lokale Gruppe
Galaxis:	Milchstraße
Stern:	Sonne
Planet:	Erde
Staat:	UdSSR
Stadt:	Moskau
Adressat:	<i>Tereschkowa, Valentina</i>

Das bis jetzt gezeichnete Abbild der uns umgebenden Welt kann als „statisch“ bezeichnet werden. Tatsächlich befinden sich aber alle Galaxien in einer zielgerichteten Bewegung.



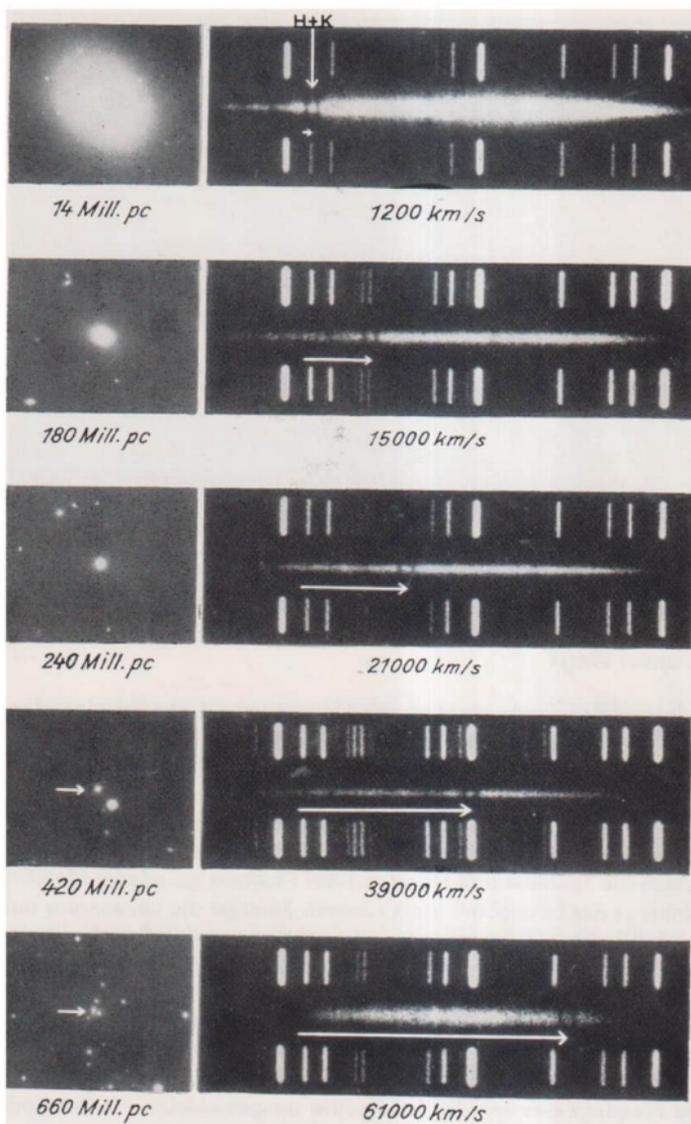
Wohin führt unser Weg?

Eine der fundamentalen Erscheinungen des Universums ist das Auseinanderstreben der Galaxien. Dieses erstaunliche Phänomen wurde bei der Untersuchung des Spektrums verschiedener Galaxien entdeckt und mit Hilfe des *Doppler-Effekts* erklärt.

Den Doppler-Effekt kennen wir alle aus dem täglichen Leben. Wenn wir an einer Bahnstranke stehen und eine pfeifende Lokomotive an uns vorbeifährt, so hören wir, daß die Tonhöhe (die Frequenz) des Pfeiftons gerade im Moment des Vorüberfahrens der Lokomotive stark absinkt. Solange die Lokomotive auf uns zufährt, erhöht sich die Geschwindigkeit, mit der der Schall auf uns zutreibt, um die Geschwindigkeit der Lokomotive, und der von uns wahrgenommene Ton ist höher als der von der Lokomotive ausgesendete. Wenn aber die Lokomotive von uns wegfährt, verringert sich die Geschwindigkeit, mit der der Schall uns erreicht, um die Geschwindigkeit der Lokomotive, und der von uns wahrgenommene Ton ist tiefer als der von der Lokomotive ausgesendete.

Wenn wir die Frequenz des von der Lokomotive ausgesendeten Pfeiftons mit f_P , die Geschwindigkeit der Lokomotive mit v_L , die Frequenz des von uns wahrgenommenen Pfeiftons mit f_W und die Schallgeschwindigkeit mit v_S bezeichnen, dann können wir die Geschwindigkeit der Lokomotive unter der Voraussetzung, daß sie direkt auf uns zufährt oder sich direkt von uns entfernt, nach

$$v_L = v_S \left(\frac{f_W - f_P}{f_P} \right)$$



Rechts im Bild sind die Spektren von fünf extragalaktischen Sternsystemen dargestellt. Der Pfeil bezeichnet die Verschiebung der Kalziumlinien H und K gegenüber dem jeweils ober- und unterhalb aufgenommenen irdischen Vergleichsspektrum. Aus dieser Verschiebung läßt sich die jeweilige Radialgeschwindigkeit ermitteln, die ebenfalls angegeben ist. Links sind Aufnahmen der beobachteten Objekte mit Angabe der Entfernung in Mpc zu sehen.

errechnen. Wenn z. B. $f_P = 500$ Hz und $f_W = 450$ Hz betragen, so ist bei einer Schallgeschwindigkeit $v_S = 1\,200$ km/h die Geschwindigkeit, mit der sich die Lokomotive von uns fortbewegt,

$$v_L = 1\,200 \left(\frac{500 - 450}{500} \right) \\ = 120 \text{ km/h.}$$

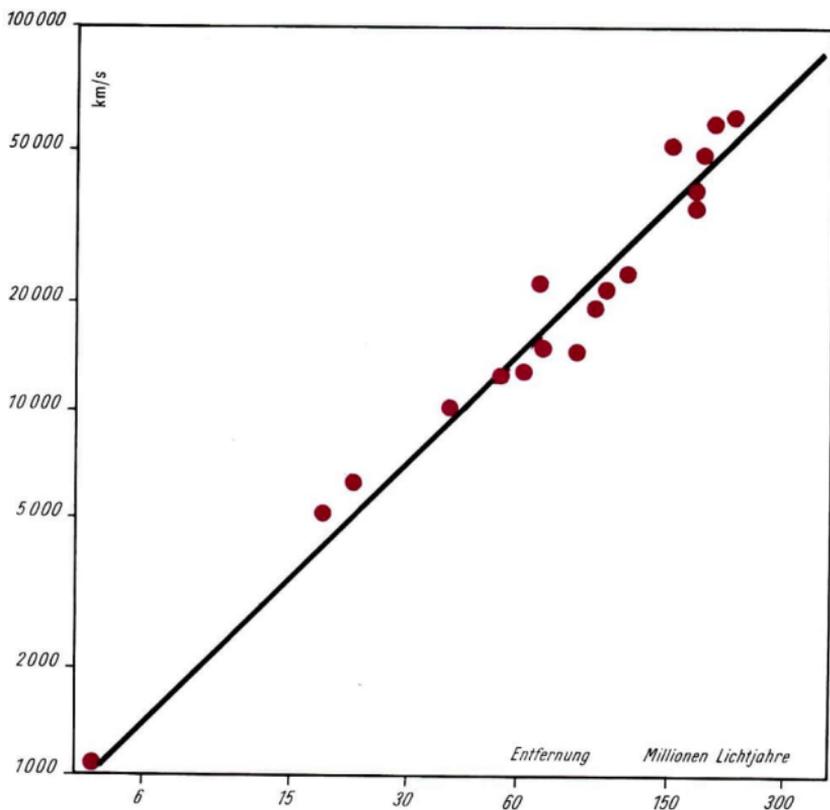
Dieser Effekt der Veränderung der Frequenz bei einer Bewegung der Schwingungsquelle tritt auch bei Lichtwellen auf. Erinnern wir uns noch an einen Versuch, den *Isaak Newton* als erster durchgeführt hat. Gewöhnliches weißes Licht wird, wenn es ein Glasprisma durchläuft, in die einzelnen Farben des Spektrums zerlegt. Am schwächsten wird der Rotanteil gebrochen, am stärksten der violette. Dazwischen liegen Orange, Gelb, Grün und Blau.

Bei der Untersuchung des Spektrums verschiedener Galaxien wurde nun eine erstaunliche Tatsache festgestellt: Die Spektrallinien der Sternspektren sind gegenüber irdischen Vergleichsspektren nach der roten Seite verschoben. Diese *Rotverschiebung* ist bei den verschiedenen Galaxien unterschiedlich. Sie wurde lediglich bei einigen der uns am nächsten liegenden Galaxien nicht beobachtet. Nach vielen Diskussionen und sorgfältigen Messungen konnte diese Erscheinung mit dem Doppler-Effekt erklärt werden. Die Galaxien entfernen sich von uns, und deshalb sind die Frequenzen der von uns empfangenen Lichtschwingungen niedriger als die von solchen, die auf der Erde erzeugt werden. Das Spektrum ist also zur roten Seite verschoben. Würden sich die Galaxien uns nähern (über diese „schreckliche“ Perspektive werden wir später noch einmal sprechen), so wären die Spektren zur violetten Seite hin verschoben.

Die Messung der Rotverschiebung führte zu einer zweiten erstaunlichen Entdeckung. Je größer die Entfernung r zwischen uns und der betrachteten Galaxis ist, um so mehr ist ihr Spektrum nach der roten Seite verschoben. Zwischen der Entfernung r zur Galaxis und der Geschwindigkeit v , mit der sich die Galaxis entfernt, wurde eine direkte Proportionalität festgestellt. Wenn eine Galaxis von uns tausendmal so weit entfernt ist wie eine andere, so ist auch die Geschwindigkeit, mit der sie sich von uns entfernt, um das Tausendfache größer.

Demnach kann man also entweder die Geschwindigkeit, mit der sich eine beliebige Galaxis von uns weg bewegt, aus ihrer Entfernung oder ihre Entfernung aus der Geschwindigkeit sehr einfach ermitteln. Man braucht nur ihre Entfernung oder ihre Geschwindigkeit sowie einen für alle Galaxien konstanten Koeffizienten in die Rechnung einzusetzen und erhält den gesuchten Wert. Dieser Koeffizient, dessen Ermittlung recht schwierig war, wird mit H bezeichnet – dem Anfangsbuchstaben des Namens des amerikanischen Astronomen *Edwin Hubble*, der im Jahr 1929 das Gesetz des Auseinanderlaufens der Galaxien entdeckte. H wird deshalb allgemein als *Hubble-Konstante* bezeichnet. Aus dem Gesetz des Auseinanderlaufens der Galaxien folgt, daß es irgendwann einmal (wann, läßt sich mit Hilfe der Hubble-Konstante H errechnen) einen Anfang für dieses Auseinanderlaufen gegeben haben muß.

Einer Hypothese zufolge sind alle sichtbaren Galaxien aus einer Plasmawolke mit einer unwahrscheinlich hohen Temperatur, Dichte und Strahlung, die auf



Proportionalität zwischen Entfernung und Geschwindigkeit der Galaxien (Hubble-Effekt).

einem relativ geringen Raum konzentriert war, hervorgegangen. Man spricht vom heißen *Universum*. Diese Wolke riß durch eine Explosion auseinander, und dies führte zu dem heute beobachteten Auseinanderlaufen der Galaxien.

Wir wollen versuchen, den Zeitpunkt dieser historischen Explosion zu bestimmen. Ohne uns weiter mit den sehr interessanten Methoden zur Ermittlung der Hubble-Konstante und der Geschichte ihrer Messung zu beschäftigen, führen wir hier den heute als richtig angesehenen Wert an:

$$H = 75 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}.$$

Die *Fluchtgeschwindigkeit* v der Galaxien errechnet man nach

$$v = H r.$$

Hier ist r die Entfernung der betrachteten Galaxis in Mpc.

In erster Näherung wollen wir annehmen, daß sich seit dem Zeitpunkt der explosionsartigen Bildung der Galaxien an diesem Sachverhalt nichts Wesentliches geändert hat. Nun können wir errechnen, wann die Explosion stattgefunden hat.

Das Resultat: Seit 15 Milliarden ($15 \cdot 10^9$) Jahren streben die Galaxien voneinander fort, die Explosion erfolgte also vor $15 \cdot 10^9$ Jahren.

Die von uns errechnete Zeit für die Existenz des Weltalls – $15 \cdot 10^9$ Jahre – findet auf unserem Planeten eine erstaunliche Bestätigung. Der Zerfall radioaktiven Urans und dessen Umwandlung in Blei wirkt wie eine natürliche Uhr, mit der man große Zeitabschnitte messen kann. Die Auswertung des Uran- und Bleigehalts in den Mineralien ermöglicht es, das Alter der Erde abzuschätzen. Die sich dabei ergebende Zahl ist zwar kleiner als das Alter des Weltalls, liegt jedoch in der gleichen Größenordnung.

Die Tatsache, daß alle Galaxien vom irdischen Beobachter weglaufen, bedeutet jedoch keineswegs, daß wir irgendeine zentrale Stellung im Weltall einnehmen. Das kann man sich leicht veranschaulichen, indem man einen Luftballon aufbläst. Ein Beobachter, der sich in einem beliebigen Punkt auf der Hülle befindet, würde bemerken, daß sich mit der Erhöhung des Druckes alle übrigen Punkte der Hülle von ihm entfernen, und zwar um so schneller, je weiter sie von ihm entfernt sind.

Außer der bis jetzt betrachteten allgemeinen Bewegung der Galaxien hat jede Galaxis noch eine eigene, individuelle Bewegung: von uns fort, zu uns hin oder in jede beliebige andere Richtung. Deshalb nähern sich uns einige der uns näher liegenden Galaxien, anstatt sich zu entfernen. Ihre individuelle, zu uns gerichtete Geschwindigkeit ist größer als die allgemeine Geschwindigkeit des Auseinanderlaufens (die ja bei geringen Entfernungen ebenfalls gering ist). So nähert sich z. B. der Andromedanebel unserer Galaxis mit einer Geschwindigkeit von 143 km/s.

Warum ist die Feststellung, daß sich die Galaxien voneinander entfernen, im ersten Moment so erregend? Dafür gibt es zwei Gründe: Erstens wissen wir, daß der Himmel uns praktisch den gleichen Anblick bietet, den er bereits beim Bau der ägyptischen Pyramiden oder bei den Kämpfen des *Spartacus* geboten hat. Zweitens ist die Geschwindigkeit des Auseinanderlaufens der Galaxien für irdische Maßstäbe groß; sie ist um Größenordnungen höher als die Geschwindigkeit der Raketen, die die gewaltige Kraft der Erdanziehung überwinden. Und gerade das ist das Verwirrende – die Galaxien laufen mit großer Geschwindigkeit auseinander, und dennoch bleibt das Himmelsbild so, wie es bereits seit Urzeiten gewesen ist! Dieses Rätsel ist schnell gelöst. Unser irdisches Denken kommt nicht immer mit den gewaltigen Zeiträumen und Entfernungen im Universum zurecht. In dieser gigantischen Arena ändert das Auseinanderlaufen der Galaxien den Abstand zwischen ihnen in dem kleinen Intervall der Existenz unserer Zivilisation so wenig, daß die uns vorangegangenen Generationen und wir gar keine Möglichkeit hatten, die Veränderungen zu bemerken.

Erstaunlich ist, daß wir den Radius des Weltalls leicht bestimmen können. Nach der Explosionstheorie streben die Galaxien etwa mit der Geschwindigkeit, die ihnen im Moment der Explosion verliehen wurde, auseinander. Diejenigen Galaxien, die damals die höchste Geschwindigkeit verliehen bekamen, sind heute am weitesten von uns entfernt. Die Geschwindigkeit selbst der „schnellsten“ Galaxien kann aber prinzipiell die Lichtgeschwindigkeit nicht überschreiten.

Deshalb legen wir unserer Berechnung diese Geschwindigkeit zugrunde. Wenn wir sie mit der Zeitdauer multiplizieren, die seit dem Zeitpunkt der Explosion vergangen ist, erhalten wir die gesuchte Größe. Wir wollen sie Radius der Welt nennen. Er beträgt etwa 13 Milliarden Lichtjahre oder $12,3 \cdot 10^{22}$ km. Das sind also die äußersten Entfernungen, aus denen man Licht- oder Funksignale erwarten kann!

Die Theorie der Entstehung des Universums durch eine Explosion steht bei weitem nicht allein. So operiert z. B. die Theorie des „pulsierenden“ Universums mit dem Begriff der Krümmung des Raumes. Sie basiert auf der allgemeinen Relativitätstheorie und setzt eine gleichmäßige Verteilung der Massen im Raum voraus. Die Analyse der Schwerkäfte in einem solchen System führt zu der Schlußfolgerung, daß sich das Universum in keinem „statischen“ Zustand befinden kann. Es muß sich entweder erweitern oder zusammenziehen. Gegenwärtig befindet sich demnach das Universum in einer Phase der Erweiterung.

So sehr uns diese Theorien auch fesseln mögen, selbst wenn sie uns spannender als die Abenteuer von Sherlock Holmes erscheinen, so müssen wir uns doch hier damit zufriedengeben, nur eine flüchtige Bekanntschaft mit dem allgemeinen Weltbild gemacht zu haben. Nun soll uns unser Weg zu den Sternen, die Planeten mit vernunftbegabten Bewohnern haben könnten, führen. Aber wie können wir sie aus der großen Masse der Sterne herausfinden? Bevor wir diese Aufgabe lösen, müssen wir uns etwas näher mit dem „Lebensweg“ der Sterne beschäftigen.

Oh, sei ein gutes Mädchen

Was sind Sterne? Sterne sind selbstleuchtende Himmelskörper mit kugelförmiger Gestalt, die aus sehr heißen Gasen bestehen. Sie sind Brüder und Schwestern unseres nächsten Sternes – der Sonne. Da sie sehr weit von uns entfernt sind, sehen sie wie mild leuchtende blaue Feuer aus. Ihre Entfernung beträgt das Hunderttausendfache, Millionen- oder sogar Milliardenfache der Entfernung Sonne – Erde. In den Sternen gehen komplizierte und vielfältige Prozesse vor sich. Man hat jedoch festgestellt, daß zwei einfache Parameter die Grundeigenschaften der Sterne kennzeichnen: die *Temperatur* T der Sternoberfläche und der *Durchmesser* D . Der erste Parameter bestimmt die Energiemenge, die von einer bestimmten Oberfläche ausgestrahlt wird (sie ist proportional der vierten Potenz der Temperatur). Der zweite Parameter bestimmt die Oberfläche des Sternes. Mit Hilfe dieser beiden Parameter kann man die von einem Stern ausgestrahlte Energie L leicht finden. Sie wird als *Leuchtkraft* bezeichnet.

Die Größe T ist von Stern zu Stern sehr verschieden. Sie liegt zwischen 1000 K und 50000 K ($K = \text{Kelvin} = ^\circ\text{C} + 273$; bei so hohen Temperaturen, wie sie in den Sternen auftreten, kann der Unterschied zwischen K und $^\circ\text{C}$ vernachlässigt werden).

Unsere geliebte und wohl von allen Dichtern besungene Sonne hat folgende Parameter: Temperatur 6000 K; Durchmesser 700000 km. 150 Millionen Kilometer trennen unseren Planeten von der Sonne, und selbst in dieser großen

Entfernung besitzen ihre Strahlen eine Kraft, die wahre Wunder vollbringt. Der Aufgang der Sonne oder ihr Auftauchen hinter Regenwolken erfüllt die Bewohner der Erde mit Energie und Freude.

Uns interessieren jedoch die Begleiter, die Planeten, der anderen Sonnen. Betrachten wir den nächtlichen Himmel. Die gesamte Himmelssphäre zeigt die achtundachtzig altbekannten Sternbilder mit ihren charakteristischen hellen Sternen. Jedes Sternbild besitzt seinen eigenen Namen. Welche Vielfalt von Bezeichnungen gibt es da! Auf den Tierbestand wäre so mancher Zoodirektor stolz: Delphin, Drache, Kranich, Giraffe, Fliegender Fisch, Eidechse und sogar Pegasus und Phönix. Jedes Sternbild ist gegen seine Nachbarn abgegrenzt. Dadurch ist die gesamte Himmelssphäre in achtundachtzig Abschnitte eingeteilt. Die Sternkarten im Einband dieses Buches vermitteln einen Eindruck von der Einteilung der Himmelssphäre.

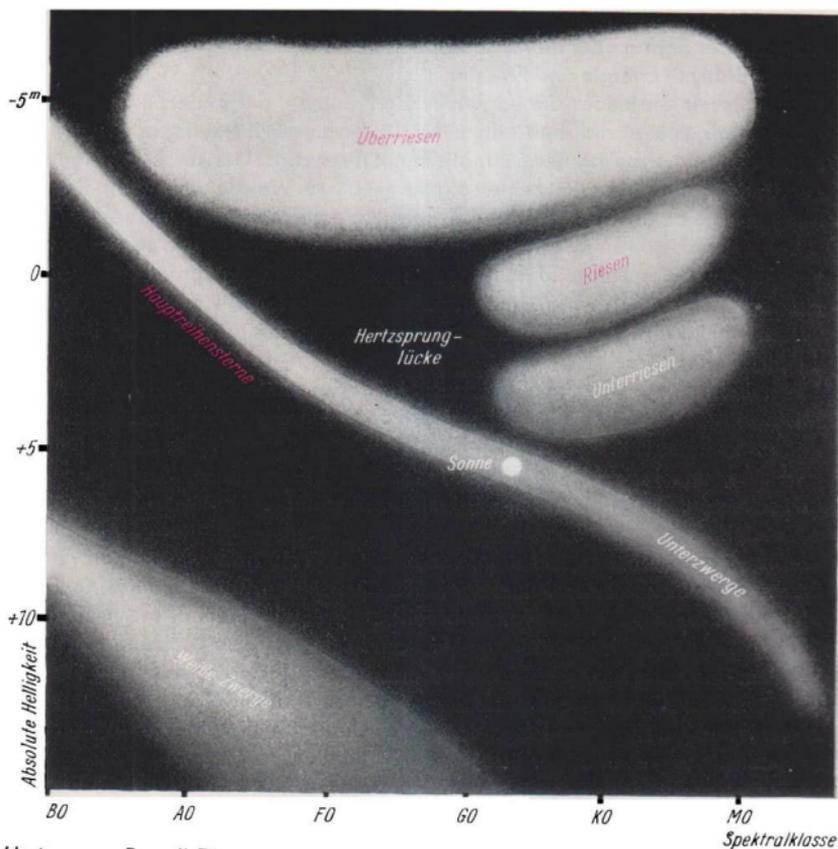
Die hellen Sterne eines jeden Sternbilds werden durch Buchstaben des griechischen Alphabets und die hellsten sogar mit einer eigenen Bezeichnung benannt. So heißt z. B. der Polarstern im Sternbild Kleiner Bär α Ursae Minoris, und einer unserer nächsten Sterne ist der τ Ceti (Sternbild Walfisch). Die für uns etwas dunkleren Sterne werden mit Buchstaben des lateinischen Alphabets oder mit Ziffern bezeichnet.

Wenn wir die Sterne beobachten, sehen wir, daß sie in verschiedenen Farben leuchten. So leuchtet der Sirius, der hellste Stern an unserem Himmel (α Canis Majoris, Sternbild Großer Hund), bläulich. Der Stern Aldebaran im Sternbild Stier (α Tauri) strahlt ein rötliches Licht aus. Ein gelbliches Leuchten sehen wir bei dem uns nahe liegenden Stern α Centauri. Die Sonne strahlt ebenfalls gelbes Licht aus. Warum strahlen die Sterne so unterschiedlich?

Untersuchungen haben gezeigt, daß weder Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung noch in der Struktur der äußeren Gashülle einen wesentlichen Einfluß auf das sichtbare Licht haben. Entscheidend ist allein die Temperatur des Sternes; nur sie bestimmt, mit welcher Farbe dieser oder jener Stern leuchtet. Wenn wir z. B. ein Stück Eisen erhitzen, wird es zunächst rot leuchten, danach gelb, und schließlich bringen wir es bis zur „Weißglut“.

Nach dem Charakter des ausgestrahlten Spektrums werden die Sterne in *Spektralklassen* eingeteilt. Die Reihenfolge der wichtigsten Klassen läßt sich leicht merken, wenn man sich einer Eselsbrücke bedient, beispielsweise des englischen Satzes „*Oh, be a fine girl, kiss me!*“ („Oh, sei ein gutes Mädchen, küß mich!“). Diese Spektralklassen entsprechen gleichzeitig einer Farb- und Temperaturskala.

Spektralklasse	Farbe	Mittlere Temperatur in K
O	hellblau	30 000
B	bläulich	20 000
A	weiß	10 000
F	gelblich	8 000
G	gelb	6 000
K	orange	4 500
M	rot	3 000



Hertzsprung-Russell-Diagramm.

Der kleine helle Kreis bezeichnet die Lage der Sonne.

Die Astronomen unterteilen die Spektralklassen noch dezimal und sprechen dann von A0, A1 usw. Unsere Sonne gehört zur Spektralklasse G1.

Eine der größten Errungenschaften der Astronomie des 20. Jahrhunderts, die mit der Entdeckung des periodischen Systems der Elemente durch *Mendelejew* verglichen wird, ist die Entdeckung bestimmter Zusammenhänge zwischen der Leuchtkraft der Sterne und ihrer Spektralklasse. Diese Zusammenhänge kann man in ein Diagramm eintragen, dessen wissenschaftliche Grundlagen von *E. Hertzsprung* und *H. N. Russell* geschaffen wurden.

90% aller Sterne lassen sich in eine diagonal verlaufende Reihe dieses Diagramms einordnen. Deshalb wird diese Reihe als *Hauptreihe* bezeichnet. In der Hauptreihe finden wir eine annähernd direkte Proportionalität zwischen der Temperatur und der Masse und eine umgekehrte Proportionalität zwischen der Temperatur (oder Masse) und dem Lebensalter der Sterne.

Außer der Hauptreihe sehen wir in diesem Diagramm noch andere Ordnungen: *Überriesen*, *rote Riesen* und *weiße Zwerge*. Unsere Sonne liegt im zentralen Teil der Hauptreihe (Klasse G). Im Evolutionsprozeß durchlaufen die Sterne innerhalb des Hertzsprung-Russell-Diagramms einen komplizierten Weg, der die grundlegenden Änderungen ihrer Struktur zeigt. Der Stern bleibt die meiste Zeit in der Hauptreihe. Was hier vor sich geht, werden wir im nächsten Abschnitt sehen. Zunächst wollen wir jedoch erst etwas ausruhen. Wir löschen das Licht im Zimmer, öffnen das Fenster und erfreuen uns an den Sternen. Dabei wollen wir daran denken, daß dieses wundersame Chaos ferner und naher, schwach und stark leuchtender Sterne in unserem Diagramm zu einem einzigen gewaltigen Fluß vereint ist – zur Hauptreihe. Wir selbst befinden uns irgendwo in ihrer Mitte.

Sternenschicksale

Die Sterne bilden sich durch Kondensation von Wolken aus gas- oder staubförmiger interstellarer Materie. Beobachtungen haben gezeigt, daß sich dieser Prozeß auch heute noch im Universum abspielt.

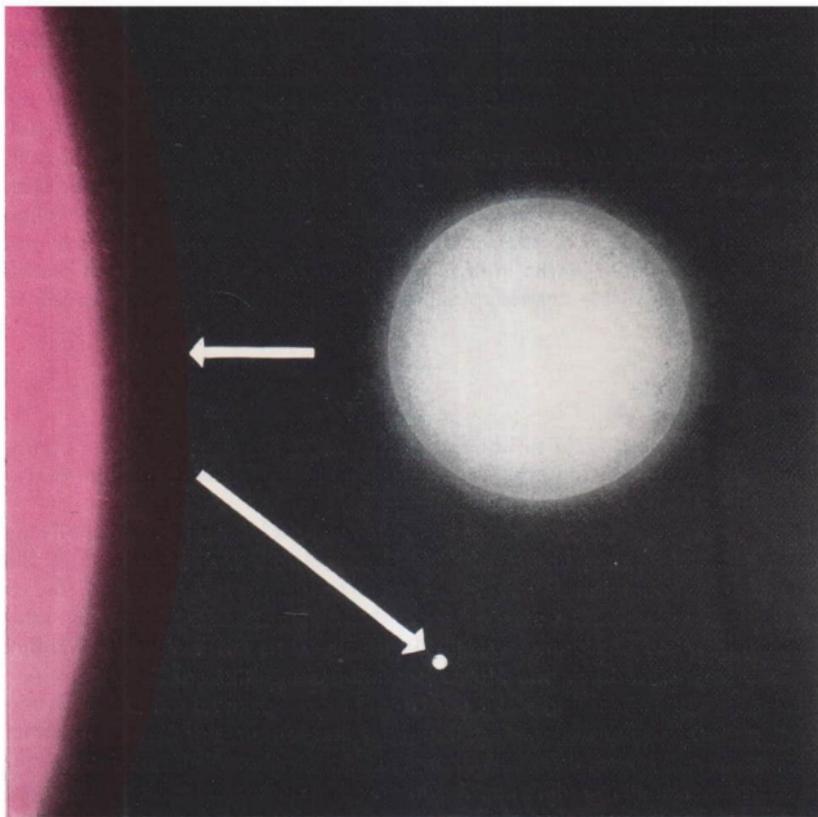
Unter der Wirkung der Schwerkraft bildet sich aus der Wolke relativ schnell eine verhältnismäßig dichte, undurchsichtige Gaskugel, die noch nicht leuchtet. Sie wird aber weiterhin dichter und dichter. Dabei steigt ihre Temperatur an, und es entsteht der sogenannte *Protostern* – ein schwach leuchtender Körper. Die Protosterne liegen im Hertzsprung-Russell-Diagramm rechts von der Hauptreihe. Ihre genaue Lage wird durch ihre Masse bestimmt (siehe Bild auf Seite 32).

Im Verlauf der Entwicklung steigt der Druck in der Gaskugel an. Dieser Druckanstieg führt zu einer weiteren Erhöhung der Temperatur. Der Stern wandert im Diagramm weiter nach links in Richtung zur Hauptreihe. Wenn die Temperatur im Sterninneren einige Millionen Kelvin erreicht hat, kommt es dort zu thermonuklearen Reaktionen. Nun bleiben die Temperatur und der Druck konstant; der Stern wird stationär, und wir finden ihn in der Hauptreihe. Damit ist die erste Etappe der Evolution eines Sternes beendet. Die Zeitdauer der Verdichtung des Protosterns ist, wie die Astronomen sagen, relativ kurz – in der Größenordnung einiger zehn Millionen Jahre.

Nun beginnt der für unser Thema interessanteste zweite Abschnitt der Evolution. Die Temperatur und Leuchtkraft eines Sternes in der Hauptreihe bleiben über längere Zeit annähernd konstant. Damit sind günstige Bedingungen für die Entstehung und Entwicklung von Leben auf etwa vorhandenen Planeten dieses Sternes vorhanden.

Infolge der nuklearen Verbrennung des Wasserstoffs im Zentrum des Sternes, d. h. infolge der Umwandlung des Wasserstoffs in Helium, wandert der Stern in der Hauptreihe etwas nach rechts. Die Verbrennung des Wasserstoffs geht dabei um so schneller vor sich, je größer die Masse des Sternes ist. Die zweite Etappe der Evolution wird abgeschlossen, wenn nicht mehr als 1% Wasserstoff im zentralen Teil des Sternes verblieben ist. Sein Kern besteht nun aus Helium.

Für Sterne mit einer Masse, die der Masse der Sonne nahekommt, verläuft die



Entwicklung eines Hauptreihensterns von etwa Sonnenmasse zu einem roten Riesen und weiter zu einem weißen Zwerg.

nun beginnende dritte Etappe folgendermaßen: Mit der Vergrößerung des Heliumkerns wachsen auch Radius und Leuchtkraft des Sternes. Der Radius kann sich auf das Zehnfache vergrößern. Nun wird der Stern zu einem roten Riesen oder zu einem Überriesen. Bei einer Temperatur von etwa 30 Millionen Kelvin verbrennt der gesamte restliche Wasserstoff im inneren Teil des Sternes. Eine weitere Erhöhung der Temperatur auf 100 bis 140 Millionen Kelvin führt zum Ausbrennen des Heliums oder zur thermonuklearen Heliumreaktion (Umwandlung von Helium in Kohlenstoff). Das Heliumstadium der Verbrennung ist wesentlich kürzer als das Wasserstoffstadium. Die Erweiterung der Hülle führt dazu, daß die äußeren Schichten durch die eigene Anziehungskraft des Sternes nicht mehr gehalten werden können und sich von ihm entfernen.

Hierbei macht der Kern keinerlei wesentliche Veränderungen durch und bildet den typischen weißen Zwergstern (der fast keinen Wasserstoff enthält). Die

Dichte der Materie in seinem Zentrum erreicht Hunderte und sogar Tausende Kilogramm je Kubikzentimeter. Zum Vergleich: Eisen hat unter irdischen Bedingungen eine Dichte von 7,86 Gramm je Kubikzentimeter. Die Außentemperatur des Sternes liegt in der Größenordnung von einigen tausend Kelvin, im Inneren herrscht eine Temperatur von einigen Millionen Kelvin. Schließlich hört der weiße Zwergstern nach dem Erkalten zu leuchten auf und wird zu einem schwarzen Zwergstern.

Da der Lebensweg eines Sternes stark von der Masse und vom Typ des Sternes abhängt, kann dieser kurze Abriss nur grob schematisch sein. Er hilft uns jedoch bei der Abschätzung der möglichen Existenzdauer von Zivilisationen. Es ist erregend, zu sehen, wie es dem menschlichen Geist gelingt, Licht in das Dunkel der Entstehung und des Lebensweges von unvorstellbar weit entfernten Himmelskörpern zu bringen. Faszinierend sind die gigantischen Zeit- und Raummaßstäbe des „Sternentheaters“, dessen Zuschauer wir sind.

Nun ergeben sich einige interessante Fragen:

- In welcher Etappe der Evolution befindet sich unsere Sonne?
- Wann wird die Sonne merklich erkalten?
- Wann wird die Sonne zum roten Riesen?
- Wird dann alles Leben auf der Erde vernichtet?

Um den Leser zu beruhigen, soll gleich gesagt werden, daß der irdischen Zivilisation in den nächsten Milliarden Jahren seitens der Sonne keine Gefahr droht. Diese Behauptung soll nun durch einige Zahlen erhärtet werden.

Die uns am meisten interessierende Größe ist die Zeitdauer des Verweilens der Sonne in der Hauptreihe oder die Zeitdauer des Intervalls, in dessen Verlauf sich die Sonne in einem konstanten Temperaturbereich befindet.

Die Verweilzeit der Sterne in der Hauptreihe wird nach den gegenwärtigen Erkenntnissen folgendermaßen geschätzt:

Masse des Sternes in Einheiten der Sonnenmasse	Lebenszeit in der Hauptreihe Jahre
17,0 M	$8 \cdot 10^6$
6,3 M	$8 \cdot 10^7$
1,0 M	$13 \cdot 10^9$
0,54 M	$70 \cdot 10^9$

Wir Menschen sollten uns darüber freuen, daß unsere Sonne die Masse 1 M hat und nicht etwa 20 M. Im zweiten Fall würde sie so gewaltige Energien ausstrahlen, daß ihre Vorräte an Wasserstoff innerhalb weniger zehn Millionen Jahre verbraucht wären. Und wenn sich unter diesen Umständen auf einem Planeten Leben gebildet hätte, wäre es in der kurzen Zeit des Verweilens des Sternes in der Hauptreihe nicht einmal dazu gekommen, seine Wiege zu verlassen.

Durch Untersuchungen der Erdkruste wurde festgestellt, daß das Alter der Erde etwa 5 Milliarden Jahre beträgt. Die Sonne kann offensichtlich nicht jünger sein als die Erde. Man schätzt ihr Alter ebenfalls auf rund 5 Milliarden Jahre.

Diese 5 Milliarden Jahre hat die Sonne bereits in der Hauptreihe zugebracht, etwa 8 Milliarden Jahre stehen ihr noch bevor. Demnach ist erst etwas mehr als $\frac{1}{3}$ der Zeit, die die Sonne in der Hauptreihe verbleiben kann, abgelaufen. Erst in etwa 8 Milliarden Jahren beginnt die Umwandlung unseres Lichtspenders in einen roten Riesen und sein Abgang aus der Hauptreihe. Dann wird sich der Sonnendurchmesser wahrscheinlich um mehr als eine Größenordnung erhöhen, und die Leuchtkraft wird um mehr als zwei Größenordnungen zunehmen. Die heute vorhandenen Bedingungen für die Existenz lebender Materie auf der Erde werden dann gestört. Die hochentwickelte Technik dieser Periode dürfte aber bereits in der Lage sein, die für das Leben erforderlichen Bedingungen künstlich zu schaffen oder die Erdbewohner auf Planeten jüngerer Sterne der Hauptreihe zu evakuieren. Da die Übergangsperiode unseres Sternes zum roten Riesen mehrere hundert Millionen Jahre dauern wird, stände dafür genügend Zeit zur Verfügung.

Wir alle lieben unsere Sonne. Viele Generationen von Erdenbürgern haben sie als Gottheit verehrt, haben ihr Opfer gebracht und Hymnen auf sie gedichtet. Da wir bis zum Abschied von der Sonne noch so unvorstellbar viel Zeit haben, gibt es noch keinen Grund dafür, uns bereits gegenwärtig mit den drei letzten Stufen des „Sterbens der Sonne“ (roter Riese → weißer Zwerg → schwarzer Zwerg) zu beschäftigen.

Dunkelhäutige Begleiter

Die hohe Temperatur der Sterne macht natürlich jegliches organische Leben auf ihnen unmöglich. Eine Ausnahme könnten höchstens die schwarzen Zwergsterne bilden. Das ist jedoch eine spezielle Frage, die wir etwas später behandeln werden. Während des Verweilens eines Sternes in der Hauptreihe ist seine Temperatur über lange Zeit konstant. Auf einem oder einigen seiner dunkelhäutigen Begleiter, also seiner Planeten – sofern er welche besitzt –, können dann günstige Bedingungen für die Entstehung des Lebens vorhanden sein.

Hier steckt nun auch die Grundfrage unseres Problems: Haben auch andere Sterne Planeten, und – wenn ja – wieviel Sterne mit Planeten gibt es?

Die schwache Leuchtkraft und die kleinen Abmessungen der Planeten machen die direkte Beobachtung von Planeten fremder Sterne beim heutigen Stand der Technik unmöglich. Es gibt aber einige Umwege, um Planeten entdecken zu können. Einer dieser Umwege hängt mit den Doppelsternen zusammen.

Ein *Doppelstern* besteht aus zwei zu einem einheitlichen System verbundenen Sternen, die sich um ein gemeinsames Massezentrum drehen. Wäre die Erde Planet eines solchen Systems, hätten wir zwei Sonnen. Möglicherweise würden wir Menschen dann gar keinen Schlaf kennen und wüßten nicht, was süße Träume sind.

Sehr anschaulich hat der Astronom *B. A. Woronzow-Weljaminow* die Doppelsterne beschrieben: Unter den Doppelsternen begegnen wir solchen Paaren, die uns an Zwillinge erinnern, so sehr ähneln sich die einzelnen Komponenten der Sterne. Man begegnet aber auch Sternpaaren, die dem seltsamen unzertrenn-

lichen Paar Elefant und Maus ähnlich sind. Der Elefant ist gewöhnlich ein großer, hell wirkender, jedoch kalter und roter Stern und die Maus – sein Sputnik – ein kleiner, schwach leuchtender, jedoch heißer und hellblauer Stern.

Stellen Sie sich vor, daß wir Bewohner eines Planeten sind, der einen solchen Doppelstern umkreist. Welch sonderbare Dinge könnten wir dann am Himmel sehen: Am Horizont steigt eine gewaltige rote Sonnenscheibe empor, die hundertmal größer ist als unsere Sonne. Dann geht noch eine kleine hellblaue Sonne auf, die allmählich hinter dem breiten Rücken ihrer Gvatterin verschwindet, um dann plötzlich auf der anderen Seite wieder hervorzukommen. Einem Tag, der übergossen ist von rotem Licht, folgt anstelle der Nacht ein blauer Tag. Vielleicht steht auch manchmal die blaue Sonne vor der roten Sonne und leuchtet wie ein blaues bengalisches Feuer vor einem roten Hintergrund.

Doppelsterne treten recht häufig auf; mehr als die Hälfte der sichtbaren Sterne sind Doppelsterne. Die Bahnen der Sterne mancher Sternpaare weichen ein klein wenig von den berechenbaren Bahnen um das gemeinsame Schwerkraftzentrum ab. Diese Störungen sind offensichtlich auf einen dritten, nicht sichtbaren Körper zurückzuführen, dessen Masse im Vergleich zu der der beiden Sterne klein ist und etwa in der Größenordnung eines großen Planeten (etwa des Jupiter) liegt. So wurden z. B. beim Doppelstern 61 Cygni (Sternbild Schwan) ein Planet mit einer Masse von 0,01 Sonnenmassen und beim Barnardstern im Sternbild Ophiuchus (Schlangenträger) ein Planetensystem aus mindestens zwei oder drei Planeten entdeckt. Danach wurden noch bei elf anderen Doppelsternen Planeten gefunden. Die Untersuchung der Doppelsterne und Planeten hat gezeigt, daß es möglicherweise keinen prinzipiellen Unterschied zwischen der Entstehung von Doppelsternen und Planetensystemen gibt. Da die Doppelsterne im Kosmos weit verbreitet sind, können auch die Planetensysteme keine seltene Ausnahme bilden. Unsere Sonne mit ihren neun Planeten ist also nur ein Stern von vielen im Milchstraßensystem und keinesfalls etwas Besonderes. Sterne mit Planetensystemen sind offenbar im Weltall eine verbreitete Erscheinung. Allerdings befinden sich bei weitem nicht alle Planetenumlaufbahnen innerhalb des Gebietes, in dem die für die Entstehung und Entwicklung von Leben erforderlichen Temperaturbedingungen herrschen.

Zone des Lebens

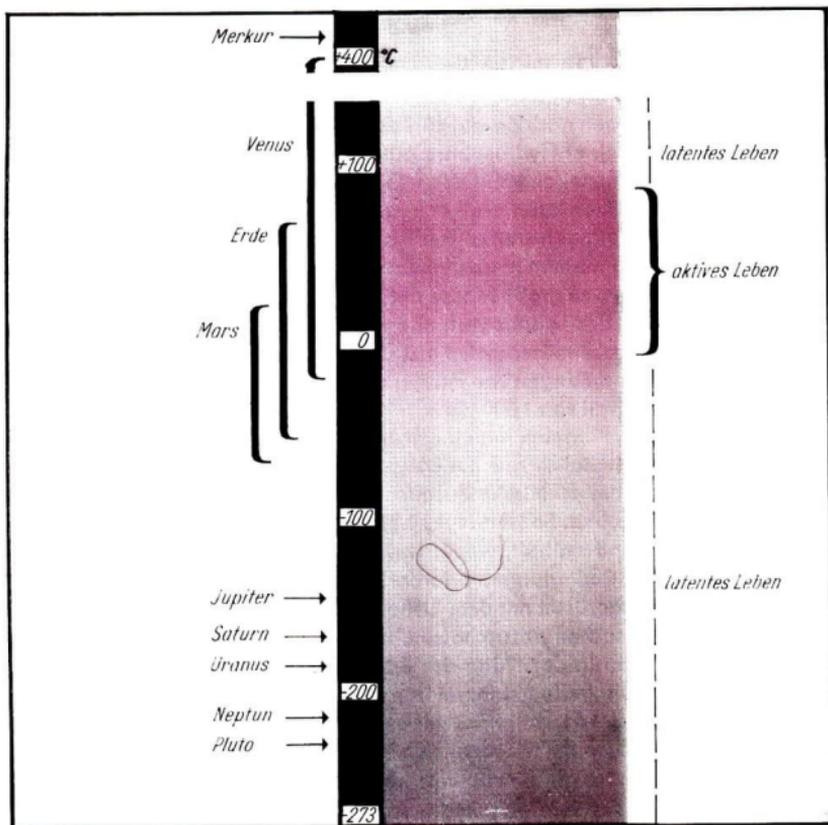
Der lebende Organismus ist ein kompliziertes und empfindliches System. Er ist weder bei sehr hohen noch bei sehr niedrigen Temperaturen lebensfähig. Alle irdischen Lebewesen enthalten Eiweiß als lebensnotwendige Substanz. Dieses ist (von Extremen abgesehen) nur in einem relativ engen Temperaturbereich – etwa zwischen -25°C und $+60^{\circ}\text{C}$ – beständig. Ob es aber noch völlig andere Lebensvorgänge gibt, die nicht an Eiweiße gebunden sind, und in welchen Temperaturbereichen diese existenzfähig sind, ist unbekannt. Rund um jeden Stern kann man eine Zone finden, in der die Temperaturbedingungen erfüllt sind, die das Leben fordert. Je größer die Masse eines Sternes ist, um so höher ist seine Temperatur (wir wollen hier aus den vorhin dargelegten



Gründen nur die Sterne der Hauptreihe betrachten), und um so größer ist die Zone, die man als Zone des Lebens bezeichnet. Diese Zone hat einen um so größeren Abstand von ihrem Stern und eine um so größere Dicke, je größer dessen Masse ist. Es ist wie bei einem Lagerfeuer: Je stärker es brennt, um so weiter entfernen wir uns von ihm, und um so größer ist die Zone, in der wir die Wärme als angenehm empfinden.

Su-Shu-Huang, ein in Amerika lebender Gelehrter, hat viele mit der Zone des Lebens in Zusammenhang stehende Fragen eingehend untersucht. Nach seinen Berechnungen gehören Sterne mit großer Masse nur so kurze Zeit zur Hauptreihe (obwohl es sich dabei um Millionen Jahre handelt), daß auf ihren Planeten keine belebte Materie entstehen und sich weiterentwickeln kann. Andererseits haben Sterne des unteren Zweiges der Hauptreihe eine so geringe Masse und folglich eine so geringe Temperatur, daß sich wohl kaum die Umlaufbahnen von Planeten innerhalb ihrer schmalen Lebenszone befinden werden.

In unserem Sonnensystem fallen die Umlaufbahnen der Venus, der Erde und



In unserem Sonnensystem liegen nur die Bahnen von Erde, Mars und Venus ganz oder teilweise in der Zone des aktiven Lebens.

des Mars in die Zone des Lebens. Die Umlaufbahn der Venus liegt etwa an der inneren und die des Mars in der Nähe der äußeren Grenze.

Huang fand in der Hauptreihe eine Gruppe von Sternen mit den größten Chancen für die Entstehung und Entwicklung des Lebens, und zwar Sterne der mittleren Größe der drei Spektralklassen F, G und K (siehe das Bild auf Seite 32). Da diese Sterne eine ziemlich große Lebenszone haben, liegen die Umlaufbahnen eines Teiles ihrer Planeten wahrscheinlich innerhalb dieser Zone. Interessant ist, daß unsere Sonne, ein Stern der Spektralklasse G, genau im Zentrum dieser Gruppe liegt. Außerdem liegt die Umlaufbahn des Planeten Erde im mittleren Teil der Zone des Lebens der Sonne. Das Vorhandensein eines bestimmten Temperaturbereichs ist eine notwendige Bedingung für das Leben, jedoch bei weitem nicht die einzige. Die uns heute bekannten Formen der lebenden Materie können ohne Wasser und Luft nicht existieren.

Wasser und Luft

Der wahrscheinlichste Ort für die Entstehung des Lebens ist der Ozean; dort gibt es sowohl die „Nährbrühe“ als auch den Schutz vor harten Strahlen aus dem Weltraum – wir kommen noch darauf zurück.

Das Vorhandensein einer Hydrosphäre auf dem Planeten ist also eine der Bedingungen für das Entstehen von Leben. Damit der Planet das Wasser auf seiner Oberfläche festhalten kann, muß er eine ausreichende Größe haben.

Die gleichen Überlegungen treffen auch auf die Atmosphäre zu. Bei einer zu geringen Masse des Planeten kann eine Lufthülle nicht existieren – sie verfliegt. Andererseits kann eine zu große Masse des Planeten wegen der großen Schwerkraft die Entstehung des Lebens verhindern. Planeten mit einer sehr geringen oder sehr großen Masse müssen also aus unseren Betrachtungen ausgeschlossen werden. Die Berechnungen von Huang zeigen, daß der Radius der bewohnten Planeten im Intervall von 1 000 bis 20 000 km liegen muß. Sie bedeuten aber keineswegs, daß alle Planeten mit einem solchen Radius bewohnt sein müssen, sondern sie weisen lediglich auf die Möglichkeit der Existenz von Leben hin. Außerdem hat auch die chemische Zusammensetzung der Planeten Einfluß auf die Entstehung von Leben. So ist das Erscheinen von Leben auf einem Planeten, der keinen Kohlenstoff enthält, wenig wahrscheinlich. Für das Entstehen von Leben sind also viele Bedingungen erforderlich.

Jetzt können wir, ausgerüstet mit dem bisherigen Wissen, einen weiteren Schritt tun: Wir können versuchen abzuschätzen, wie oft die Voraussetzungen für die Entstehung von Leben in der Nähe der Erde gegeben sind. Beginnen wir mit der nächsten Umgebung. Zuerst markieren wir einen Bereich mit einem Radius von, sagen wir einmal, 16 Lichtjahren um unser Sonnensystem (die Zahl ist willkürlich gewählt). Nun wollen wir versuchen, die Wahrscheinlichkeit festzustellen, mit der in dieser Sphäre die für die Entwicklung des Lebens erforderlichen Bedingungen erfüllt sind.

Weine, meine Geige, weine . . .

Die Autoren utopischer Romane haben schon längst alle näheren Himmelskörper – den Mond, den Mars, die Venus, den Saturn usw. – mit vernunftbegabten Bewohnern bevölkert, deren Aussehen meist mit mehr oder weniger großen Variationen von den Erdenbürgern entlehnt wurde. Wir müssen an dieser Stelle, so traurig es auch sein mag, den Mythos einer so engen Nachbarschaft mit Bewohnern fremder Welten zunichte machen. Und mit Recht kann man darüber traurig sein. Genauso wie es den einzelnen Menschen zu den anderen Menschen hinzieht, genauso zieht es offensichtlich auch jede Zivilisation, wenn sie ein bestimmtes Entwicklungsniveau erreicht hat, zu anderen Zivilisationen, zum Kontakt mit ihnen.

Heute erwartet wohl niemand mehr ernsthaft, irgendwo innerhalb der Grenzen unseres Sonnensystems vernunftbegabte Lebewesen zu finden. Allerdings ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß man z. B. auf dem Mars Spuren erlo-

schener Zivilisationen findet. Aber das steht bereits auf einem anderen Blatt, das gehört in das Gebiet einer Wissenschaft der Zukunft – der kosmischen Archäologie.

Untersuchungen des Planeten Venus haben gezeigt, daß auch dort kaum Leben zu finden sein wird. Die Temperatur der Oberfläche liegt bei etwa 475 °C, und der Druck der fast nur aus Kohlendioxid bestehenden Atmosphäre beträgt das 90fache des Luftdrucks an der Erdoberfläche. Es wären bestenfalls Mikroorganismen denkbar, die in einer Zone von etwa 50 km Höhe, in der erträgliche Temperatur- und Druckverhältnisse herrschen, in einer Art Suspension schweben. Wir müssen deshalb unseren Blick auf die nächsten Sterne, die Nachbarn der Sonne, richten.

Su-Shu-Huang hat, nachdem er eine „kleine“ Zone mit einem Radius von 16 Lichtjahren um das Sonnensystem analysiert hat, folgendes festgestellt: In der abgesteckten Sphäre hat man bis jetzt 47 Sterne gefunden. Davon sind vier – α Centauri, Sirius, Prokion und Atair – mit dem bloßen Auge gut sichtbar; weitere sechs Sterne kann man ohne astronomisches Fernrohr kaum erkennen, und die übrigen 37 Sterne kann man nur durch ein Teleskop sehen.

Der uns am nächsten liegende Stern α Centauri, der einen Abstand von 4,3 Lichtjahren von uns hat, kann kaum eine „Lebenszone“ haben, denn er ist ein Dreifachstern. Man kann sich keine Planetenumlaufbahn um drei Sonnen vorstellen, bei der die Temperaturen auf den Planeten genügend konstant bleiben.

Sirius und Prokion sind Doppelsterne und müssen aus den eben genannten Gründen auch aus unserer Betrachtung gestrichen werden.

Wenn man die Zwergsterne der Spektralklasse M ausschließt, die zuwenig Wärme abgeben (Huang räumt ein, daß diese Sterne in günstigen Fällen Planeten mit Umlaufbahnen von sehr kleinem Radius innerhalb der Lebenszone haben können, hält dies jedoch für wenig wahrscheinlich), so bleiben lediglich zwei Sterne „auf Verdacht“: ϵ Eridani und τ Ceti. Die Sternbilder, zu denen diese Sterne gehören, sind im Einband des Buches zu sehen. Beide Sterne sind 11 Lichtjahre von uns entfernt. Ihre Helligkeit ist annähernd dreimal geringer als die der Sonne.

Bereits vor der Veröffentlichung der Arbeiten Huangs haben mehrere Astronomen darauf hingewiesen, daß der Stern τ Ceti der Sonne ähnlich ist und bewohnte Planeten haben könnte. Die ersten Experimente zur Suche nach Signalen von Bewohnern fremder Welten begannen deshalb mit diesem Stern (siehe Seite 133).

Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins von Leben innerhalb des Radius von 16 Lichtjahren ist also sehr gering, jedoch keineswegs gleich Null. Die Wahrscheinlichkeit, Leben anzutreffen, ist wesentlich höher, wenn man den Radius auf einige hundert Lichtjahre erhöht, weil dann die Anzahl der Sterne stark anwächst.

Aber – es gibt noch einen kühnen Gedanken, der möglicherweise die hier dargelegten Überlegungen wesentlich ändert. Außer den „Kindern der Sonne“ oder „Kindern ihres Sternes“ könnten möglicherweise auch „Kinder der Finsternis“ oder „Kinder ohne Stern“ existieren.

Kinder der Finsternis

Im Jahr 1962 stellte der englische Astronom *H. Shapley* eine Hypothese über die Möglichkeit der Existenz von Leben auf erkalteten Sternen auf. Diese Körper nehmen eine Zwischenstellung zwischen den Sternen und den Planeten ein. Shapley meint, daß solche Sterne im Weltall sehr häufig vorkommen. Sie bewegen sich auf selbständigen Bahnen – im Gegensatz zu den Planeten, die lediglich Begleiter ihrer leuchtenden Sterne sind. In der näheren Umgebung unseres Sonnensystems gibt es offensichtlich keine erkalteten Sterne; denn man hat bis jetzt keine Gravitationswirkung solcher Sterne auf die Umlaufbahnen der Planeten festgestellt. Bei einer bestimmten Masse eines solchen Körpers kann ein Gleichgewicht zwischen der von ihm in den Weltraum abgegebenen Energie und der ihm aus dem Inneren des Körpers zugeführten Energie eintreten. In einer solchen Situation wird die Rinde des Körpers fest, und das Wasser auf seiner Oberfläche ist flüssig. Nach Meinung Shapleys müßte die Größe solcher Körper die Größe des Jupiter wenigstens um das Zehnfache überschreiten. Er meint ferner, daß auf solchen Körpern Bedingungen für das Entstehen von Leben gegeben sein könnten.

„Welch seltsame Organismen können sich beim Fehlen der Sonnenstrahlung entwickeln!“ ruft Shapley aus. „Sie kennen kein natürliches Licht von ihrer Sonne. Sie sind in der Tat ‚Kinder der Finsternis‘.

Es gibt ja auch auf der Erde Geschöpfe, die die Finsternis dem Licht vorziehen. Ein weithin bekanntes und doch bei weitem nicht das einzige Beispiel dafür sind die Fledermäuse. Die Anwendung der Echolotung erlaubt es ihnen sogar, sich nachts besser zu orientieren, als es viele andere Lebewesen tagsüber zu tun vermögen. Ein zweites Beispiel sind Meeresbewohner, die in großen Tiefen leben, in denen die Beleuchtungsstärke äußerst gering ist.

Die gewaltige Schwerkraft auf der Oberfläche solcher dunklen Inseln im Weltall könnte jedoch die Entwicklung von Leben so erschweren, so daß es nur in Meeren und Ozeanen zu finden wäre.

Mit der weiteren Entwicklung der Infrarotastronomie und der Radioastronomie könnten möglicherweise schon bald solche Körper gefunden werden.“

Zum Schluß seiner Arbeit schreibt *Shapley*, daß das nächste Leben außerhalb der Grenzen unseres Sonnensystems möglicherweise nicht auf einem Planeten, der sich um einen Stern bewegt, sondern auf einem dieser einsamen Wanderer im Kosmos gefunden werden könnte. Da diese Idee Shapleys bis jetzt noch nicht wissenschaftlich bestätigt werden konnte, werden wir sie bei den nachfolgenden Betrachtungen nicht berücksichtigen. Wir würden sehr gern an diese Idee glauben, da sie unsere Aussichten, fremdes Leben im Weltraum zu finden, erhöhen würde. Deswegen wollen wir sie als nicht genutzte Reserve betrachten. Anschließend werden wir die Wände unseres „kleinen und engen“ Raumes von 16 Lichtjahren Radius durchbrechen, in dem wir so wenig Möglichkeiten für die Feststellung außerirdischer Zivilisation gefunden haben. Wir werden uns in die kosmischen Weiten begeben und versuchen, unsere Betrachtungen in ganz großem Maßstab fortzusetzen.

Wie viele sind es?

Kann man auf der Grundlage der genannten astronomischen und astrophysikalischen Daten und mit Hilfe logischer Überlegungen die mögliche Anzahl der Zivilisationen quantitativ einschätzen, kann man also eine Antwort auf die Frage „Wie viele könnten es sein?“ finden? Mit dieser Aufgabe haben sich schon Wissenschaftler in vielen Ländern beschäftigt, und alle kamen zu dem Schluß, daß wir im Kosmos nicht allein sind. Allerdings – die quantitativen Einschätzungen waren unterschiedlich. Wir wollen diese interessanten Überlegungen kennenlernen und die erhaltenen Zahlen näher betrachten. Die beiden sowjetischen Wissenschaftler *W. G. Fessenkow* und *A. I. Oparin* faßten die Ergebnisse ihrer Untersuchungen über die Verbreitung von Leben im Weltall wie folgt zusammen:

Die Gesamtanzahl der Sterne sei A . Aus diesen werden die Einzelsterne mit annähernd kreisrunden Planetenumlaufbahnen ausgewählt (solche Umlaufbahnen gewährleisten einen konstanten Temperaturbereich für die Planeten). Man erhält nun etwa $A/10$ Sterne. Wenn man nun die sehr jungen und die sehr alten Sterne ausschließt, für die die Wahrscheinlichkeit der Existenz von Leben sehr gering ist, bleiben $A/100$ Sterne übrig. Nimmt man an, daß nur bei einem von zehn Sternen Umlaufbahnen von Planeten innerhalb der „Zone des Lebens“ liegen, erhält man $A/1000$. Nun muß noch die Masse der Planeten berücksichtigt werden. Hier gibt es eine strenge Bedingung: Für die Entstehung und Entwicklung von Leben darf der Planet weder eine zu geringe noch eine zu große Masse haben. Man kann annehmen, daß diese Bedingungen nur von 1% der vorher bereits ausgewählten Sterne erfüllt wird. Es bleibt nur noch $A/100\,000$. Wenn man weitere noch unbekannte Faktoren berücksichtigen will, muß man noch eine Größenordnung abstreichen. Wir erhalten nun $A/1\,000\,000$.

Das wäre also unsere Schlußziffer – von einer Million Sternen, die wir unter die Lupe nehmen, wird durchschnittlich nur einer belebte Planeten haben. Aber die Anzahl der Sterne ist ja unwahrscheinlich groß. Allein in unserer Galaxis gibt es mehr als 100 Milliarden. Folglich liegt die zu erwartende Anzahl bewohnter Planeten in unserer Galaxis in der Größenordnung von 100 000. Hier wird man sich der Worte *Friedrich Engels'* erinnern: „Das Weltall muß ein gigantisches Reservoir von Leben sein.“

Der in den USA lebende deutsche Wissenschaftler *S. v. Hoerner* schätzte die Anzahl der Zivilisationen auf der Grundlage der Wahrscheinlichkeitstheorie ab. Dieses Vorgehen ist sehr interessant, wenn auch einige strittige und subjektive Annahmen gemacht werden.

S. v. Hoerner führt eine neue wichtige Größe T – die Zeitdauer der Existenz einer technisch entwickelten Zivilisation oder die Zeitdauer ihrer *technischen Ära* – ein. Als Beginn der technischen Ära könnte man z. B. den Zeitpunkt annehmen, in dem die Beherrschung der Funkwellen beginnt. Interessante Berechnungen, die wir hier leider auslassen müssen, ergaben, daß die Größe T eng mit der Anzahl der Sterne, die gleichzeitig eine technisch entwickelte Zivilisation

sation haben, mit dem mittleren Abstand zwischen diesen Sternen und mit der Möglichkeit der Herstellung eines Kontaktes zwischen diesen Zivilisationen zusammenhängt.

Je größer T ist, um so größer ist die Anzahl der Zivilisationen, die sich zeitlich „überdecken“, um so größer ist also die Anzahl der Zivilisationen, die zu jedem beliebigen Zeitpunkt gleichzeitig existieren können.

Zur Abschätzung von T führt v. Hoerner fünf Hypothesen für die Entwicklung von Zivilisationen ein und ordnet jeder eine bestimmte Wahrscheinlichkeit für ihre Richtigkeit zu.

Die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des „günstigen“ Ereignisses kann definiert werden als das Verhältnis der Anzahl der günstigen Fälle zur Anzahl aller möglichen Fälle.

Wir wollen uns das an einem Beispiel deutlich machen. Von hundert populärwissenschaftlichen Büchern haben nur fünf Anklang und die Bewertung „spannend“ gefunden. Nehmen wir nun das erste beste von diesen hundert Büchern zur Hand, dann beträgt die Wahrscheinlichkeit, daß wir uns spannend unterhalten können:

$$P = \frac{\text{günstige Fälle}}{\text{mögliche Fälle}} = \frac{5 \text{ Bücher}}{100 \text{ Bücher}} = 0,05 = 5\%.$$

Die Wahrscheinlichkeit, spannend unterhalten zu werden, ist also äußerst gering. Dieses Beispiel hat den Autor des vorliegenden Buches sehr traurig gestimmt.

Erste Hypothese. Das gesamte Leben auf dem Planeten stirbt als Ergebnis irgendeiner kosmischen Katastrophe, einer starken äußeren Strahlung o. dgl. aus. Ihr wird die Wahrscheinlichkeit 0,05 zugeordnet. Von 100 Gesellschaften vernunftbegabter Geschöpfe sterben also bei 5 sowohl die Zivilisation als auch das Leben selbst aus.

Zweite Hypothese. Nur das vernunftbegabte Leben stirbt aus. Das könnte eine Rückentwicklung des Menschen bedeuten, die Selbstvernichtung als Ergebnis von Kriegen usw. v. Hoerner ordnet dieser Hypothese die Wahrscheinlichkeit 0,6 zu. Das heißt, daß mehr als die Hälfte aller Zivilisationen so tragisch endet.

Dritte Hypothese. Die vernunftbegabten Geschöpfe entarten. Offensichtlich ist hier sowohl die physische als auch die geistige Entartung gemeint. Ihr wird die Wahrscheinlichkeit 0,15 zugeordnet.

Vierte Hypothese. Die Geschöpfe verlieren das Interesse an der Technik. Das wäre die Absage an jeglichen Fortschritt. Ein solcher Zustand ist aber nicht konstant. Viel eher würde er eine Rückkehr zur Vergangenheit bedeuten – Höhlen, Steinäxte, Götterverehrung usw. Dieser Hypothese wird die Wahrscheinlichkeit 0,2 zugeordnet.

Fünfte Hypothese. Die unbegrenzte Entwicklung – sie hat die Wahrscheinlichkeit 0.

Die Summe der Wahrscheinlichkeiten ist gleich 1 ($0,05 + 0,6 + 0,15 + 0,2 + 0 = 1$). Damit soll gesagt sein, daß die genannten Hypothesen alle möglichen Wege der Entwicklung der Zivilisationen einschließen. Mit solchen Hypothesen

und ihren Wahrscheinlichkeiten, die vom Unglauben an die Kraft des Verstandes durchdrungen sind, kann man natürlich keinesfalls einverstanden sein. Möge sich der Leser vorerst selbst mit dem Pessimismus des Verfassers dieser Hypothesen auseinandersetzen.

Auf der Grundlage dieser fünf Hypothesen über die Entwicklung der Zivilisationen und der angenommenen Wahrscheinlichkeiten berechnet v. Hoerner die mittlere Zeitdauer der Existenz technisch entwickelter Zivilisationen oder die Zeitdauer ihrer technischen Ära. Sie beträgt 6500 Jahre ($T_{\text{mittel}} = 6500$). Vom Zeitpunkt der Beherrschung der Funkwellen existieren die Zivilisationen also im Mittel etwa 6 Jahrtausende. Dieser Zeitraum ist gar nicht einmal so klein, wenn man das stürmisch wachsende Tempo der technischen Entwicklung berücksichtigt.

Weiterhin wird, wobei eine Reihe von strittigen Annahmen zugrunde gelegt worden ist, der Anteil der Sterne mit technisch entwickelten Zivilisationen oder die Wahrscheinlichkeit P ihrer Existenz bestimmt. Diese ist gleich $P = 2,6 \cdot 10^{-7}$ oder 0,00000026. Hierbei wird die Zeitdauer, die vom Zeitpunkt der Entstehung des Sternes bis zur Entstehung einer technisch entwickelten Zivilisation auf einem seiner Planeten vergeht, mit 10^{10} Jahren angenommen.

Bei der Berechnung wird außerdem vorausgesetzt, daß sich beim Eintreffen der zweiten und dritten Hypothese auf ein und demselben Planeten auf den „Trümmern“ einer alten Zivilisation eine neue entwickeln kann.

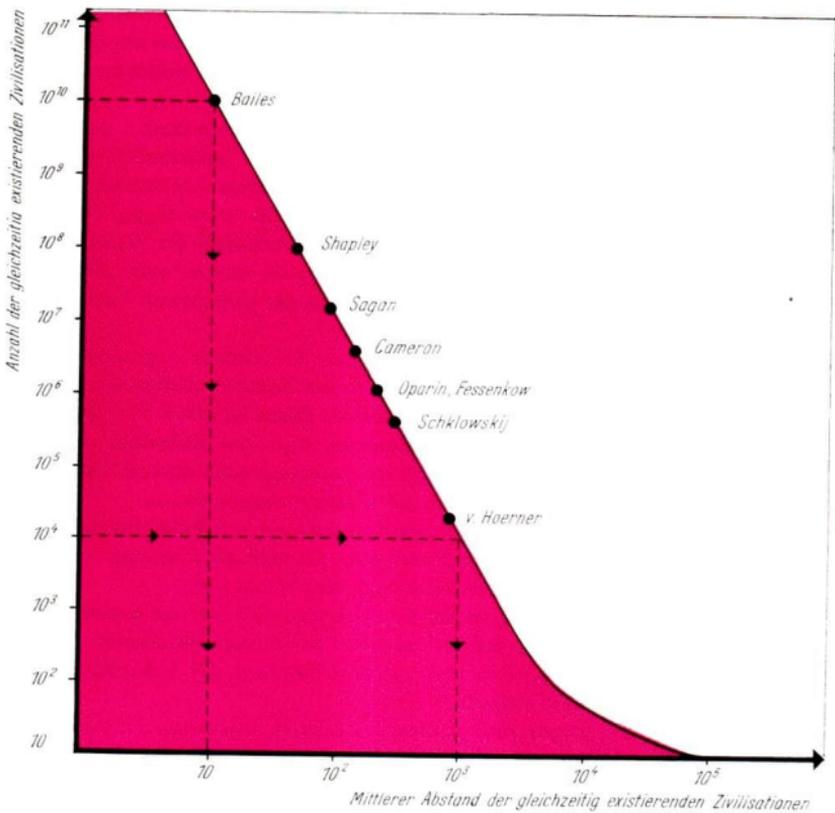
Als Ergebnis seiner Berechnungen zeigt v. Hoerner, daß nur auf einem Planeten von 3 Millionen Sternen vernunftbegabte Lebewesen existieren können. Dabei setzt er den gleichen Entwicklungsstand wie auf der Erde oder einen höheren Entwicklungsstand voraus.

v. Hoerner errechnet sogar den mittleren Abstand zwischen den „vernunftbegabten“ Sternen. Er kommt dabei auf die wenig ermutigende Größenordnung von 1000 Lichtjahren. Da kann man nur noch auf die „Abweichung vom Mittelwert“ hoffen!

Natürlich wird auch die Wahrscheinlichkeit errechnet, mit der man im Kosmos auf eine Zivilisation mit dem gleichen Entwicklungsstand wie dem unseren treffen kann. Sie beträgt nach v. Hoerner 0,005.

Rote Segel der Hoffnung

Wir wollen uns nicht weiter für die Methodik der Abschätzungen anderer Wissenschaftler interessieren, sondern nur die Ergebnisse ihrer Arbeiten betrachten, wobei wir eine von dem australischen Astronomen R. N. Bracewell aufgestellte Grafik benutzen. Der Maßstab an der Ordinate zeigt die Anzahl N der in der Galaxis gleichzeitig existierenden Zivilisationen im gigantischen Bereich von 10 bis 10^{10} . An der Abszisse ist, ausgehend vom bekannten Ausmaß der Galaxis und unter der Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Zivilisationen im All, der mittlere Abstand d zwischen den Zivilisationen in Lichtjahren abgetragen. Durch eine einfache Annäherung, die von der direkten Proportionalität zwischen N und der Zeitdauer der technischen Ära ausgeht,



AbSchätzung der Zahl und der mittleren Entfernung von Zivilisationen innerhalb des Milchstraßensystems durch verschiedene Autoren.

kann man zeigen, daß die Anzahl der gleichzeitig existierenden vernunftbegabten Gesellschaften mit der Erhöhung der Dauer der technischen Ära anwächst.

Damit zeigt die Grafik die Abhängigkeit des mittleren Abstands zwischen den Zivilisationen von der Anzahl der Zivilisationen in unserem Sternensystem. Wir wollen nun zwei Beispiele betrachten:

Erstes Beispiel. Wenn die Anzahl N der Zivilisationen groß ist, z. B. $N = 10^{10}$ (die Zeitdauer der technischen Ära beträgt dann ebenfalls 10^{10} Jahre), erhalten wir nach der Grafik einen mittleren Abstand d zwischen den Zivilisationen von 10 Lichtjahren. Die Zivilisationen liegen also dicht beieinander; ein Kontakt kann leicht hergestellt werden.

Zweites Beispiel. Wenn N klein ist, angenommen 10^4 , ist d groß. Aus der Grafik entnehmen wir $d = 1000$ Lichtjahre. Die Suche nach einer fremden Zivilisation ist jetzt sehr schwierig. Aus Millionen „nichtzivilisierter“ Sterne über gi-

gantische Entfernungen hinweg muß man den „Gesprächspartner“ im All herausfinden. In die Grafik ist die von verschiedenen Wissenschaftlern geschätzte Anzahl der Zivilisationen in der Galaxis eingetragen. Wie man sieht, stammt der optimistischste Schätzwert von *H. Bailes*: $N = 10^{10}$; der pessimistischste stammt von *S. v. Hoerner*: $N = 4 \cdot 10^4$.

Die angegebenen Schätzwerte betreffen unsere Galaxis. Für das ganze sichtbare Weltall müssen sie – in sehr grober Annäherung – mit der Anzahl der Galaxien, also mit 10^{10} , multipliziert werden. Die Schätzwerte der verschiedenen Wissenschaftler weichen um fünf Größenordnungen voneinander ab. Der subjektive Einfluß auf die Schätzwerte ist also sehr groß. Alle Wissenschaftler sind aber der übereinstimmenden Meinung, daß das Menschengeschlecht nicht allein ist in unserem Milchstraßensystem und schon gar nicht im Universum. Aus den vorliegenden Schätzungen lassen sich zwei Schlußfolgerungen ableiten:

1. Die Wahrscheinlichkeit der Existenz vernunftbegabter Lebewesen im Umkreis von etwa zehn Lichtjahren um unser Sonnensystem ist gering, denn die Anzahl der Sterne in diesem Bereich ist klein. Das schließt allerdings keineswegs aus, daß es dennoch innerhalb dieses Raumes vernunftbegabte Lebewesen gibt.
2. In einem Umkreis von 100 bis 1000 Lichtjahren wächst die Anzahl der Sterne stark an, und die Aussichten, vernunftbegabte Lebewesen zu finden, erhöhen sich wesentlich.

Wie soll man nun aber fremde Zivilisationen suchen? Welche Wege gibt es für die Herstellung eines Kontaktes zu den nächsten vernunftbegabten Wesen?

Es gibt drei prinzipielle Möglichkeiten:

- direkter menschlicher Kontakt
- Kontakt durch automatische Stationen
- Funkkontakt.

Einen Kontakt mit Hilfe von Licht – wir wollen ihn als Laserkontakt bezeichnen – wollen wir der dritten Gruppe zuordnen. Auf Seite 122 werden wir den Funkkontakt und den Laserkontakt miteinander vergleichen.

Direkter menschlicher Kontakt

Wenn wir das erste beste phantastische Buch zu einem kosmischen Thema aufschlagen, begegnen wir dort mit sehr großer Wahrscheinlichkeit der folgenden Szene: Ein junger Erdenbürger mit einem klugen männlichen (und meist bärtigen) Gesicht winkt von Bord eines kosmischen Raumschiffs seiner Braut und den übrigen Erdenbewohnern zu und startet entschlossen. Er fliegt zu den Bewohnern eines fernen Sternes, um mit ihnen in direkten Kontakt zu treten. Alles ist äußerst einfach: „Er kam, sah und stellte Kontakt her!“ Der Verwirklichung dieses Traumes stehen jedoch nahezu unüberwindliche Hindernisse entgegen.

Das erste Hindernis sind die unvorstellbar großen Entfernungen. Man kann nur dann versuchen, es zu überwinden, wenn man ein Raumschiff besitzt, das annähernd mit Lichtgeschwindigkeit fliegen kann.



„Fliegende Untertassen“, wie sie viele gesehen haben wollen, dürften ausnahmslos auf Täuschungen beruhen oder ins Reich der Phantasie gehören.

Versuchen wir, zum nächsten Stern – dem α Centauri – mit dem schnellsten bisher von Menschenhand geschaffenen Raumschiff zu fliegen, z. B. mit einem Raumschiff vom Typ „Sojus“ oder „Apollo“, das die zweite kosmische Geschwindigkeit erreicht, die etwa 11,2 km/s beträgt. Die Entfernung Erde– α Centauri beträgt 4,3 Lichtjahre oder $40 \cdot 10^{12}$ km. Zur Überwindung dieser Entfernung benötigen wir eine Flugzeit – ich möchte Sie, lieber Leser, nicht erschrecken – von mehr als 100 000 Jahren. Wir müssen also die Geschwindigkeit unserer Rakete wesentlich erhöhen, und zwar bis in die Nähe der Lichtgeschwindigkeit. Das hat gleichzeitig für die Besatzung einen bemerkenswerten Vorteil: Sie kommt in den Genuß der Einsteinschen Zeitdilatation (Zeitdehnung). Nach der speziellen Relativitätstheorie *Albert Einsteins* läuft die Zeit in einem Raumschiff um so langsamer ab – im Vergleich zu den Daheimgebliebenen –, je näher seine Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit kommt (die es bekanntlich nicht überschreiten kann). Dadurch kann theoretisch ein als Vater gestarteter Raumfahrer nach seiner Rückkehr jünger sein als sein Sohn oder gar seine Enkel. Den Daheimgebliebenen allerdings (und bei längeren Flügen sind das sogar die „Hinterbliebenen“; denn sie sehen ihre Raumfahrer nie mehr wieder, sondern sterben längst vor deren Rückkehr) nützt diese Zeitverzögerung nichts, sie müssen die volle Zeit warten; bei einem Flug bis 10 Lichtjahre Entfernung eben mindestens 20 Jahre (10 hin und 10 zurück).

Diese Zeitangabe ist aber noch unrealistisch, weil ja die Rakete nicht sofort auf Lichtgeschwindigkeit gebracht werden kann, sondern langsam beschleunigt werden muß.

Wie langsam? Nun, jede Beschleunigung hat eine Trägheitskraft auf den beschleunigten Körper zur Folge. In einem scharf anfahrenden (oder auch bremsenden) Auto spürt man das sehr gut. Eine Beschleunigung, die gerade so viel Kraft auf einen Körper ausübt wie die Schwerkraft an der Erdoberfläche, wollen wir 1 G nennen. Für kurze Zeit, einige Minuten, kann der Mensch etwa 10 G aushalten, ohne von seinem eigenen Gewicht zerquetscht zu werden. Für einen längeren Flug darf aber nicht wesentlich über 1 G beschleunigt werden. Die kleinstmögliche Flugzeit ergibt sich dann, wenn die Hälfte des Weges mit 1 G beschleunigt wird und die andere Hälfte dann mit 1 G gebremst (denn am Ziel muß die Geschwindigkeit wieder auf Null sein); dasselbe beim Rückflug. Dann ergeben sich folgende Flugzeiten:

Entfernung in pc	Flugzeit hin und zurück in Jahren	
	für die Besatzung	für die Daheimgebliebenen
10	15	80
150	25	1 000

Der Kosmonaut müßte also für einen Flug zur nächsten Zivilisation mindestens um die 20 Jahre seines Lebens opfern; die Daheimgebliebenen allerdings müßten wenigstens einige Jahrhunderte warten. Manchem mag das annehmbar erscheinen; es kommt aber gleich schlimmer.

Wir müssen uns nun mit zwei grundlegenden Größen der Raketentechnik be-

fassen, dem Geschwindigkeitsverhältnis und dem Massenverhältnis. Das *Geschwindigkeitsverhältnis* v/s ist das Verhältnis der gewünschten Endgeschwindigkeit v zur Strahlgeschwindigkeit s , mit der der Antriebsstrahl der Rakete ausgestoßen wird. Das *Massenverhältnis* M/m gibt das Verhältnis der Startmasse M zur Endmasse m an; die Differenz zwischen M und m ist also die ausgestoßene „Stützmasse“; m enthält außer der eigentlichen Nutzlast auch das Antriebsaggregat, die Brennstofftanks usw. Zwischen beiden Verhältniszahlen besteht eine für alle Raketen (auch für Mehrstufenraketen) gültige Beziehung. Deren mathematische Formel braucht uns nicht zu interessieren, die Tabelle enthält die Zahlenwerte der erforderlichen Massenverhältnisse für einige vorgegebene Geschwindigkeitsverhältnisse.

Geschwindigkeitsverhältnis v/s	Massenverhältnis M/m
1	2,7
2	7,4
5	50
10	$22 \cdot 10^3$
50	$6 \cdot 10^{21}$

Offensichtlich steigt das Massenverhältnis mit steigendem v/s ganz beängstigend an; bei $v/s = 50$ wäre für 1 t Endmasse bereits die ganze Erde als Startmasse erforderlich. Geschwindigkeitsverhältnisse über 10 sind also technisch sinnlos. Nun liegt unsere Endgeschwindigkeit v aber bereits fest, sie muß nahe bei der Lichtgeschwindigkeit von 300 000 km/s liegen. Was stehen uns dann für Strahlgeschwindigkeiten zur Verfügung?

Unsere chemischen Raketenantriebe erreichen spärliche 3 km/s und damit ein völlig sinnloses Geschwindigkeitsverhältnis v/s von 100 000. Durchgreifende Verbesserungen sind auch nicht zu erwarten; das liegt hauptsächlich daran, daß die Geschwindigkeit des Gasstrahls über den Umweg der Erhitzung dieses Gases erreicht wird. Man kann allerdings die Energie auch gleich in eine gerichtete Bewegung des Gases umsetzen, etwa in der *Ionenrakete*, in der Ionen (elektrisch geladene Atome) direkt in einem elektrischen Feld beschleunigt werden. Die erreichbaren Strahlgeschwindigkeiten liegen zwischen 100 und 1 000 km/s. Damit ergeben sich also Geschwindigkeitsverhältnisse um 1 000, die ebenfalls völlig indiskutabel sind.

Der letzte in Betracht kommende Antrieb ist die *Photonenrakete*, die vermutlich als einziger Antrieb für die interstellare Raumfahrt geeignet ist. Photonen sind die „Elementarteilchen“ des Lichtes und bewegen sich daher mit Lichtgeschwindigkeit; v/s ist hier also etwa 1 und kann uns nicht mehr ärgern. Im Prinzip ist die Photonenrakete ein überdimensionaler Scheinwerfer, und der Rückstoß des ausgesandten Lichtstrahls ergibt den Raketenschub. Leider ist dieser Rückstoß recht gering. Ein starker Scheinwerfer von 10 kW ergibt erst 3,5 mg Schub; für einen Schub von 1 g wären bereits etwa 3 MW (1 MW = 1 Megawatt = 10^6 Watt) nötig, und die gesamte gegenwärtige Weltenergieproduktion würde nur für etwa 1 t Schub ausreichen. Außerdem hat heute

niemand eine Ahnung, wie derartige Leistungen in einen gerichteten Lichtstrahl umzusetzen wären. Mancher mag meinen, das könne sich ja noch ändern, und in späteren Zeiten würden sicher leistungsfähigere Energiequellen zur Verfügung stehen.

Deshalb müssen wir nun den Energiebedarf einer solchen Rakete genauer untersuchen. Um einen Schub von 1 g 1 Jahr lang aufrechtzuerhalten, ist nach unseren bisherigen Rechnungen eine Energiemenge von 0,1 TWh (1 TWh = 1 Terawattstunde = 10^{12} Wattstunden) erforderlich. Die „lahmen“ chemischen Brennstoffe lassen wir aus dem Spiel und wenden uns gleich den ergiebigsten Energiequellen zu, die uns bisher bekannt sind, der *Uranspaltung* und der *Wasserstoff-Fusion*. Die nukleare Umwandlung von Wasserstoff zu Helium hatten wir als den für die Strahlung der Sterne verantwortlichen Prozeß kennengelernt. Dieses Prinzip liegt auch der Wasserstoffbombe zugrunde. An der „gebremsten“ Kernfusion arbeiten Wissenschaftler in vielen Ländern der Welt. Dagegen wird die Kernspaltung schon in vielen Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren technisch genutzt. Für die erwähnten 0,1 TWh muß man etwa 1 kg Uran spalten. Der damit erreichte Schub von 1 g reicht aber eben nur aus, um für 1 g Raketenmasse die oben angesetzte Beschleunigung von 1 G zu liefern. Der notwendige Brennstoffvorrat von 1 kg müßte aber selbst auch mitbeschleunigt werden. Also geht es so nicht; Uran ist ebenfalls ein viel zu „lahmer“ Brennstoff. Die Wasserstoff-Fusion ist nicht viel besser, hier wären etwa 100 g für 0,1 TWh nötig.

Bleibt uns nur noch als letzte Hoffnung die völlige *Zerstrahlung* von Materie. Das heißt, daß die Hälfte des Brennstoffs als sogenannte „Antimaterie“ mitgeführt wird, die sich von „normaler“ Materie dadurch unterscheidet, daß die Elementarteilchen entgegengesetzte Ladung tragen, beispielsweise das Proton negative und das Elektron positive Ladung. Beim Zusammentreffen mit normaler Materie wird dann entsprechend der berühmten Einsteinschen Gleichung $E = mc^2$ die gesamte Masse als Energie frei. Einzelne Atome der Antimaterie sind zwar mit großen Teilchenbeschleunigern bereits erzeugt worden, bisher weiß aber niemand, wie größere Mengen hergestellt und vor allem längere Zeit zusammengehalten und transportiert werden könnten. Ein unverbesserlicher Optimist wird aber sicher überzeugt sein, daß sich das noch finden wird. Rechnen wir also weiter.

Um 1 g Nutzlast 1 Jahr lang mit 1 G zu beschleunigen, ist gerade auch etwa 1 g unseres Supertreibstoffs (Materie plus Antimaterie) erforderlich. Soll die Rakete auch im zweiten Jahr noch beschleunigt werden, so ist dafür ein weiteres Gramm nötig. Das müßte aber im ersten Jahr bereits mitbeschleunigt werden: Treibstoffverbrauch im ersten Jahr also 2 g. 1 g Treibstoff für das dritte Jahr bedeutet aber zusammen mit dem Gramm Nutzlast bereits 2 g Treibstoffbedarf im zweiten Jahr und diese 4 g zusammen mit 4 g Treibstoff im ersten Jahr. Und so weiter! Wir sehen bereits das Bildungsgesetz 1, 2, 4, 8... Für jedes weitere Jahr Flugzeit verdoppelt sich die Anfangsmasse. Für 20 Jahre Flugzeit (hier gilt die „Eigenzeit“ des Raumschiffs als Flugdauer) ergibt sich etwa 1 Million für das Verhältnis von Endmasse zu Startmasse.

Aber damit immer noch nicht genug! Außer dem Energiebedarf interessiert auch der *Leistungsbedarf*, also der Energiedurchsatz je Zeiteinheit. Nehmen wir als Endmasse der Rakete 1 t an; denn eine Raumkabine mit Komfort für 20 Jahre ist bestimmt nicht mit einer kleineren Masse denkbar. Das bedeutet nach unserem Modell einen Startschub von 1 Million Tonnen. Um diesen Schub zu erzeugen, müßte in unserer Photonenrakete etwa das Millionenfache der gegenwärtigen Kraftwerkskapazität der ganzen Erde installiert sein.

Das mag noch angehen; offensichtlich phantastisch wird die Rechnung aber, wenn wir die *spezifische Leistung* betrachten. Das ist die Leistung einer Energiequelle, geteilt durch die Masse. Im täglichen Leben ist uns die Wichtigkeit der spezifischen Leistung durchaus geläufig. Ein Automotor hat z. B. eine bestimmte Antriebsleistung. Die Leistung einer Güterzuglokomotive ist zweifellos sehr viel größer. Trotzdem fährt der Güterzug langsamer und mühsamer an als das Auto, weil die Masse noch viel größer ist. Die spezifische Leistung des Güterzugs ist also geringer als die des Autos. (Die spezifische Leistung der Lok allein ist natürlich viel größer als die für den ganzen Zug.)

Kehren wir zu unserer Photonenrakete zurück. Die 3 MW Leistung für 1 g Schub bedeuten also, daß wir für 1 G Beschleunigung eine spezifische Leistung von 3 MW/g benötigen. Das gilt für die gesamte Rakete. Das Antriebsaggregat darf aber nur einen winzigen Bruchteil der Gesamtmasse ausmachen, nämlich weniger als ein Millionstel (wegen des Masseverhältnisses von 1 Million). Das bedeutet für diesen Raketenmotor eine spezifische Leistung von 3 Millionen MW/g. Die Tabelle zeigt einen Vergleich mit anderen Energiequellen. Die erforderliche spezifische Leistung würde z. B. bedeuten, die gesamte gegenwärtige Weltenergieproduktion in einem Kraftwerk von nur 1 g Masse zu erzeugen. Auch bei Verwendung von Mehrstufenraketen lassen sich diese harten Forderungen nur verhältnismäßig wenig mildern.

	Spezifische Leistung in W/g
Sonne	10^{-7}
Automotor	0,5
Supernova	1
Atomreaktor maximal (ohne Strahlenschutz)	100
Für interstellaren Raumflug nötig	$3 \cdot 10^{12}$

Ich muß gestehen, hier versagt mein Optimismus. Bei unserer ganzen Analyse haben wir immer die günstigste Variante weiterverwendet ohne Rücksicht auf die technische Realisierbarkeit. Außerdem haben wir eine Reihe anderer Probleme (z. B. den Zusammenstoß mit Gasatomen und Staub im interstellaren Raum bei Lichtgeschwindigkeit) elegant ignoriert. Wir wollen daher zusammenfassen:

Für uns und unsere Nachkommen besteht jedenfalls bis in sehr ferne Zeiten keine Aussicht auf einen Raumflug zu anderen Zivilisationen. Aber könnten nicht wenigstens Vertreter einer anderen, genügend hoch entwickelten Zivilisation zu uns kommen?

Ja, warum eigentlich nicht?

Allerdings wäre dazu – falls die errechneten Werte überhaupt prinzipiell erreichbar sind – eine sehr hoch entwickelte Zivilisation nötig, und diese wiederum sind sicherlich auch entsprechend selten. Daß sich dann ein Raumschiff ausgerechnet auch noch in unser Planetensystem verirrt, erscheint doch sehr unwahrscheinlich.

Geben wir also unsere Gedanken an einen direkten Raumflugkontakt mit anderen Lebewesen auf. Überlegen wir lieber, ob es nicht noch andere, bessere Kontaktmöglichkeiten gibt.

Kontakt durch automatische Stationen

Im Prinzip gelten hier erst einmal die gleichen Zusammenhänge. Bleibt zu überlegen, ob automatische Stationen nicht einige Erleichterungen gegenüber bemannten Raumschiffen gewähren. Prinzipiell wäre eine Verkürzung der Reisezeit möglich, weil Automaten höhere Beschleunigungen vertragen. Das würde allerdings unsere Energie- und Leistungsbilanzen noch mehr strapazieren und ist daher undiskutabel. Ein beträchtlicher Gewinn wäre dadurch zu erreichen, daß der Automat nicht mehr zurückgeholt wird. Er brauchte nur bis ins fremde Planetensystem zu fliegen und könnte dann von dort aus per Funk Informationen über die Zivilisation senden, die er vorgefunden hat.

Machen wir uns nichts vor; unsere Zahlen über den Antriebsbedarf sind so hoffnungslos riesig, daß auch beim Verzicht auf den Rückflug das Unternehmen noch weit jenseits aller überschaubaren technischen Möglichkeiten liegt und wohl selbst für künftige Generationen und höchste Zivilisationen zumindest einen Kraftakt erster Ordnung darstellen dürfte.

Andererseits, warum sollten wir unbedingt einen eigenen Automaten zu den fremden Lebewesen schicken, damit er uns über Funk Informationen zusendet. Könnten das nicht viel besser die anderen Lebewesen selbst für uns tun?

Funkkontakt

Die elektromagnetische Welle ist der ideale Bote, den wir für den Kontakt zu außerirdischen Zivilisationen so nötig brauchen. Sie bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit, es gibt keine Probleme mit der Beschleunigung und der Bremsung, und sie unterliegt auch nicht der Schwerkraft. Nachteilig ist allein, daß sie keine materiellen Güter transportieren kann. Die einzige Last, mit der man sie beladen kann, ist die Information.

Aber – ist denn das so wenig? Alles menschliche Wissen aus allen Gebieten kann man mit Hilfe von Informationen übertragen. Bei der Schaffung eines galaktischen Funk-„Raumschiffs“ gibt es zwar einige Schwierigkeiten. Diese sind jedoch unvergleichlich geringer als diejenigen, die bei der Herstellung anderer Raumschiffe für direkte Kontakte oder Kontakte mit Hilfe von automatischen Stationen auftreten.

Deshalb werden die folgenden Abschnitte dieses Buches den Funkkontakten gewidmet sein.

Im Dschungel der Schwingungen und Wellen

Wir haben keinen anderen Weg

Wir wollen eine Funkbrücke zu anderen Zivilisationen bauen. Im ersten Abschnitt haben wir erfahren, daß es Partner geben muß, zu denen wir diese Brücke schlagen können. Die erste Voraussetzung – das Vorhandensein von wenigstens zwei Korrespondenten – ist also wahrscheinlich erfüllt. Nun müssen wir den zweiten Schritt tun und einschätzen, ob eine elektromagnetische Welle die unvorstellbar großen Entfernungen im Kosmos überwinden und durch die vielen möglichen Störungen hindurchdringen kann, um einen Gruß von einer Welt zu einer anderen zu überbringen. Auf ihrem Weg durch das Weltall muß die Welle einen Dschungel aus verschiedenartigen Schwingungen und Wellen passieren. Im folgenden wollen wir erkennen, wie sie dieses Dickicht durchdringt. Wir wollen etwas über die ausgewählten Vertreter aus der Welt der Schwingungen erfahren, die diese Aufgabe lösen, und sehen, wie der Funktechniker seine Funkbrücke baut. Diese Funkbrücke wird eine grandiose Schöpfung sein, gemessen sowohl an ihren Maßstäben als auch an den Geheimnissen, die sie uns enträtselt.

Wir können die Konstruktion dieser Brücke nur verstehen, wenn wir uns erst einmal mit einigen Grundlagen beschäftigen. Einen einfacheren Weg können wir nicht finden, wie auch *Ptolemäus I.* keinen einfachen, königlichen Weg zum Verständnis der Geometrie fand, als er das Studium der Grundtheoreme überspringen wollte.

Der Schrei des Neugeborenen

Noch bevor es seine Augen öffnet, erfreut das Neugeborene seine Umwelt durch lautes Schreien. Es weint um das warme Plätzchen, das es verlassen mußte; die Wunder des Komforts der modernen Welt sind ihm noch unbekannt. Wie kommt der Schrei zustande? Die elastischen Stimmbänder vibrieren im Luftstrom aus der Lunge. Die Schwingungen gelangen aus dem Mund in die Umgebung und erreichen schließlich unser Ohr.

Wenn das Kind die Augen öffnet, empfindet es das Licht. Es nimmt die Schwingungen des Lichtes wahr, die von der Sonne oder einer Lampe kommen. Das Kind, das noch keine Vorstellungen von der Umwelt hat und nichts über Schwingungen weiß, kann also bereits Schwingungen aussenden und empfangen.

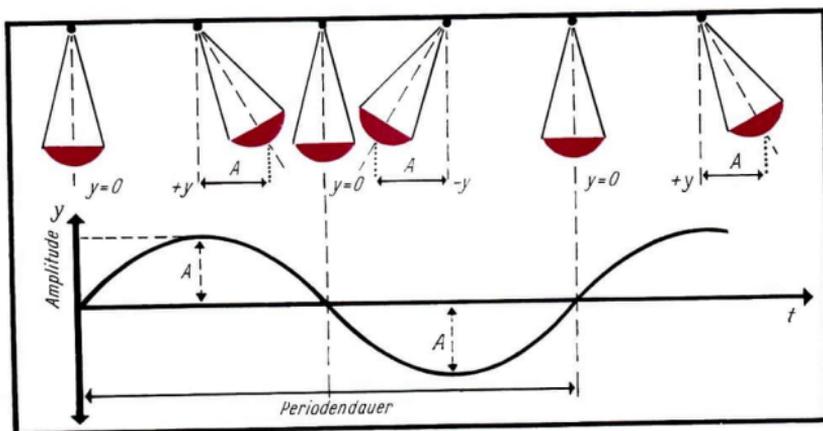
Wenn der junge Erdenbürger größer wird, begegnet er immer neuen Arten von Schwingungen. Wenn er einen Stein ins Wasser wirft, sieht er die auseinanderlaufenden Wellen. Wenn er mit seiner Schaukel in den Himmel fliegt, so weit es nur geht, vollführt er zusammen mit ihr mechanische Schwingungen. Das Klingeln, das das Ende der Schulstunde verkündet, wird vielleicht manchmal in seinen Ohren wie die schönste Musik klingen.

Mit den Wirkungen der elektromagnetischen Schwingungen wird der junge Mensch heutzutage oft früher vertraut als mit seiner Fibel. Das ist ein „Verdienst“ der hochentwickelten Rundfunk- und Fernsehtechnik.

Schließlich hat jeder Mensch einen eigenen Generator, der rhythmisch schwingt – das Herz.

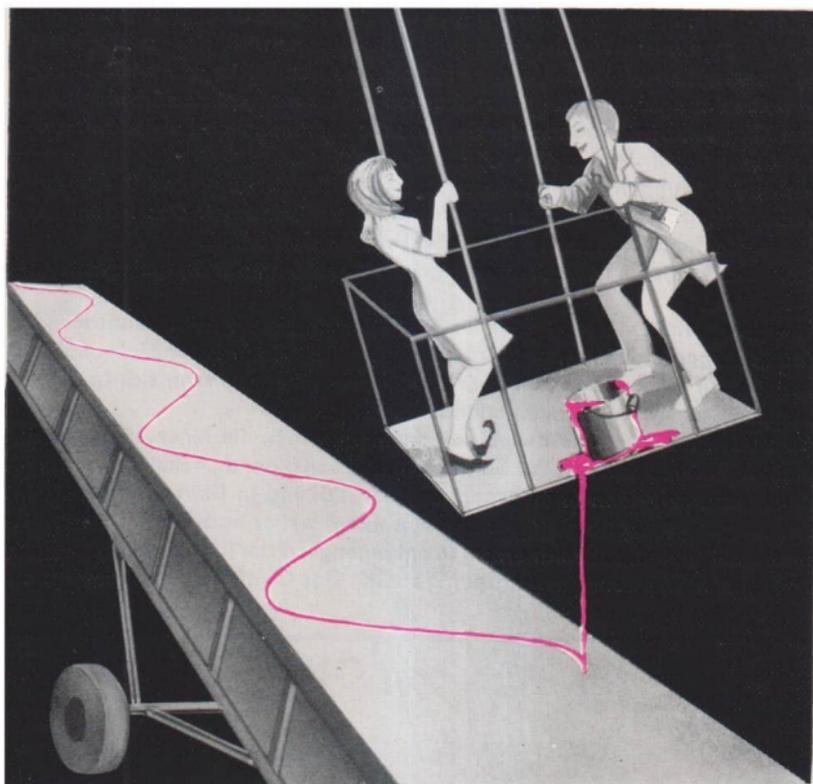
Man könnte noch viele Beispiele für die in der Natur und Technik auftretenden Schwingungen aufzählen – ich glaube aber, daß dafür keine Notwendigkeit besteht. Wir müssen uns nun aber die Frage stellen, wie man sich in diesem Dschungel von Schwingungen orientieren kann.

Wir wollen uns nun eine beliebige Schwingung, z. B. die einer Schaukel, ansehen. Zunächst schwingt die Schaukel nach rechts, dann kommt sie zum Stillstand, setzt sich dann in entgegengesetzter Richtung in Bewegung und kehrt zum Ausgangspunkt zurück. Sie schwingt gleich weiter nach links, kommt wieder zum Stillstand, setzt sich erneut in entgegengesetzter Richtung in Bewegung und kehrt wieder zum Ausgangspunkt zurück. Das Ganze ist eine Schwingung.



Wenn der junge Erdenbürger schaukelt, führt er also mit seiner Schaukel – einem Pendel – einfache periodische Schwingungen aus. Wenn die Schaukelseile lang an einem hohen Ast befestigt sind, schwingt die Schaukel langsam – sind die Seile kurz und an einem niedrigen Ast befestigt, so schwingt die Schaukel schnell.

Besonders anschaulich ist die grafische Aufzeichnung einer Schwingung. Als ich einmal an einem Bauplatz vorbeiging, sah ich, wie solch eine Schwingung

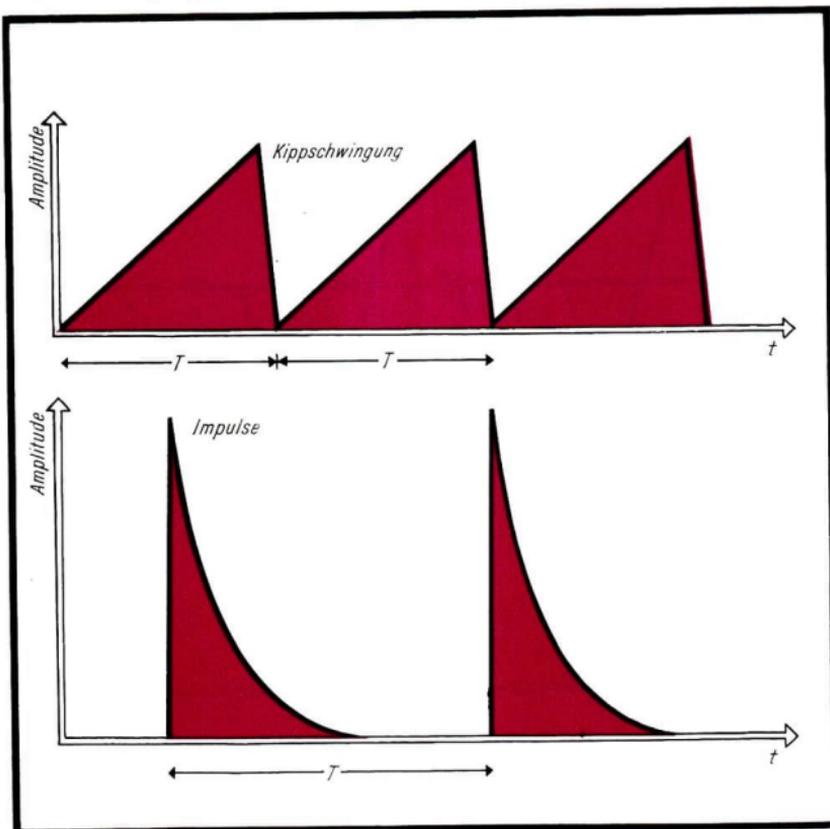


auf einem Förderband aufgezeichnet wurde. Ein Blick nach oben verrät ihre Entstehung. Ein Maler, der seiner charmanten Helferin eine Freude machen wollte, schaukelte sie auf seinem hängenden Gerüst wie auf einer Schaukel. Vom Gerüst tropfte übergelaufene Farbe auf das laufende Förderband und markierte dort die Stellung der Schaukel in Abhängigkeit von der Zeit. Auf dem Förderband war eine wellenförmige Kurve entstanden, die den wohlklingenden Namen Sinusschwingung trägt. Die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit Sekunde ist der wichtigste Maßstab in der Welt der Schwingungen. Der Name des Maßstabs ist *Frequenz*, und die Maßeinheit der Frequenz ist das Hertz (Hz). Eine Schwingung in der Sekunde ist also 1 Hz. Wenn sehr viele Schwingungen in einer jeden Sekunde ausgeführt werden, benutzen wir auch die Maßeinheiten Kilohertz (kHz) und Megahertz (MHz), für die $1 \text{ MHz} = 1\,000 \text{ kHz} = 1\,000\,000 \text{ Hz}$ gilt.

Die maximale Abweichung des Pendels (z. B. unserer Schaukel) von der Nulllage wird als *Amplitude* der Schwingung bezeichnet. Je stärker das Pendel hin- und herschwingt, um so größer ist die Amplitude der Schwingung.

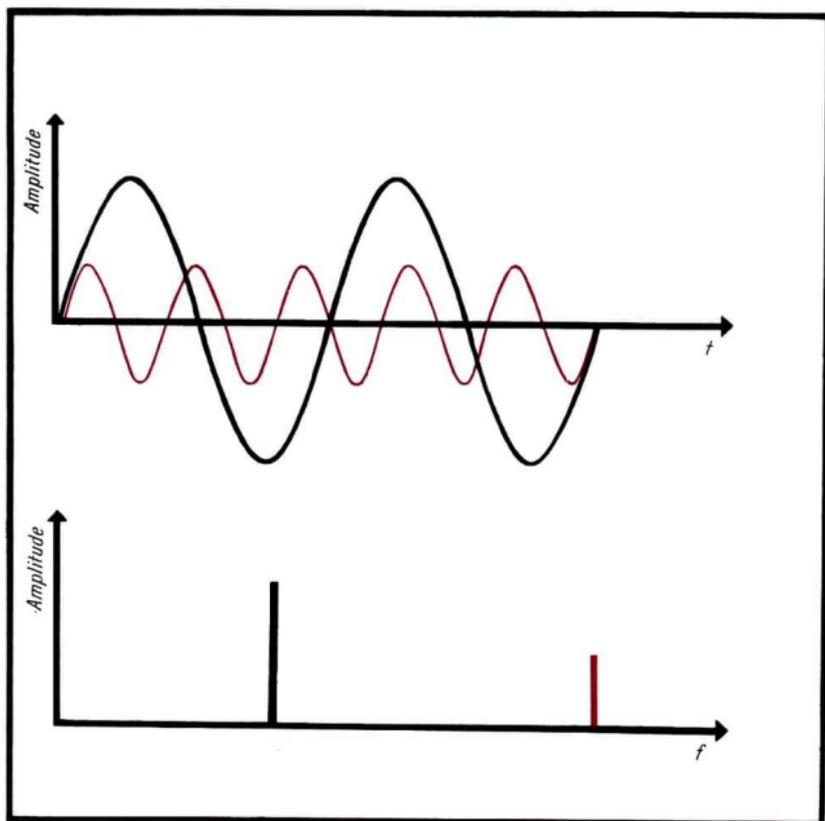
Oft ist es wichtig, auch die Zeitdauer zu kennen, in der eine Schwingung abläuft. Wenn man die Zeit (also die Sekunde) durch die Frequenz (in Hertz oder Schwingungen je Sekunde) teilt, erhält man diese Größe: Sie heißt *Periodendauer*. Einer Frequenz von 50 Hz entspricht also eine Periodendauer von 0,02 s und einer Frequenz von 0,1 Hz eine solche von 10 s.

Es gibt auch Schwingungen, die nicht sinusförmig verlaufen. So läuft z. B. der Elektronenstrahl einer Fernsehröhre beim Schreiben des Fernsehbildes relativ langsam von links nach rechts und schreibt eine Zeile des Bildes. Dann springt er schnell zurück und schreibt – etwas tiefer – die nächste Zeile usw. Er führt also eine sägezahnförmige Schwingung aus – eine Schwingung, die ihrer Form nach tatsächlich den Zähnen eines Sägeblatts ähnelt. Der Geiser Welikan (auf Kamtschatka) stößt jeweils 4 Minuten lang einen Strahl heißen Wassers aus, dann folgt eine längere Pause von 2 Stunden 55 Minuten. Die Amplitude (die Höhe des Wasserstrahles über der Erdoberfläche) beträgt 40 Meter. Dieses Verhalten wird als *Impulsbetrieb* bezeichnet, die dazugehörige Schwingung als *Impulsschwingung*.



Wir haben vorstehend erfahren, wie man den Verlauf von Schwingungsvorgängen in Abhängigkeit von der Zeit darstellt. Wenn man die Lage oder den Zustand des schwingenden Körpers zu verschiedenen Zeitpunkten betrachtet, kann man die Frequenz und Form der Schwingungen leicht feststellen. Besonders anschaulich ist eine grafische Aufzeichnung.

Wenn man mehrere Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen grafisch darstellen will, kann man sie auch in Abhängigkeit von der Frequenz (und nicht von der Zeit, wie im ersten Fall) auftragen. Dabei wird jede Schwingung als vertikale Linie dargestellt, deren Höhe proportional der Amplitude ist. Diese Darstellungsform nennt man *Spektraldarstellung*. Zwei Saiten mögen gleichzeitig schwingen, eine mit der Frequenz $f_1 = 200$ Hz und die andere mit der Frequenz $f_2 = 500$ Hz. Die Amplitude der Schwingungen der ersten Saite betrage 2 mm, die der zweiten 1 mm. Der zeitliche Verlauf und das Spektrum dieser Schwingungen sind im folgenden Bild gezeigt.



Darstellung zweier Sinusschwingungen in Abhängigkeit von der Zeit und der Frequenz

Vielfältig ist die Art der Schwingungen, die wir kennen: mechanische und elektrische Schwingungen, Lichtschwingungen usw. Wir sehen unseren Jüngsten, der mit einer Frequenz von weniger als einem Hertz schaukelt, mit Hilfe des Lichtes, dessen Frequenz bei 500 000 000 MHz liegt, und hören seinen Jubelschrei auf einer Frequenz von etwa 1 000 Hz. – Wie vielfältig und interessant ist doch die Welt der Schwingungen!

Was ist eigentlich eine Welle?

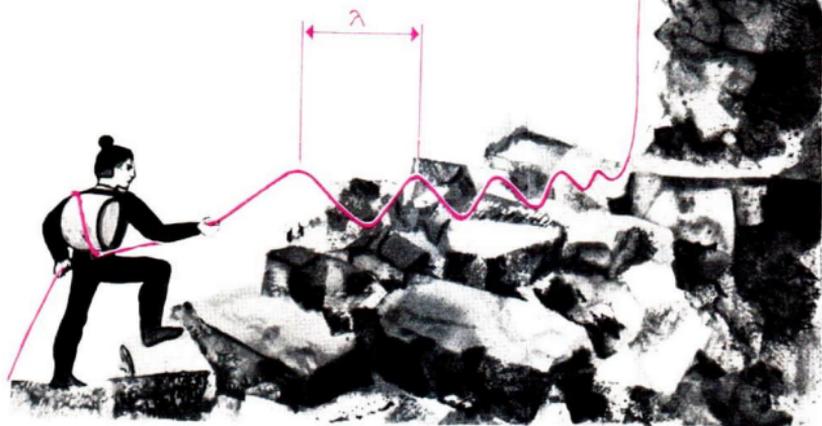
Stehaufmännchen besitzen eine geheimnisvolle Kraft – sie verführen uns immer wieder dazu, sie umzuwerfen, und wir können stundenlang zusehen, wie sie sich immer wieder munter erheben. Nun wollen wir eine Reihe von Stehaufmännchen nebeneinander stellen. Wenn wir das erste Stehaufmännchen anstoßen, beginnt es zu schwingen und gibt den Stoß an das zweite weiter. Nun schwingt auch das zweite und stößt das dritte an usw. Nach einer Weile werden wir feststellen, daß jetzt vielleicht die Stehaufmännchen Nr. 10, 11 und 12 schwingen, während die ersten, von denen die Störung (der Anstoß) ausgegangen ist, wieder zur Ruhe gekommen sind. Mit der Übertragung der Energie an ihre Nachbarn haben sie ihre Schuldigkeit getan.



Unser einfaches Modell zeigt uns, wie sich eine Schwingung als Welle im Raum fortpflanzt.

Die Quelle einer Schwingung ist immer von irgendeinem materiellen Medium umgeben. Sie gibt die Schwingungen unmittelbar an die nächstliegenden Teilchen des Mediums weiter. Diese wiederum geben den Anstoß an ihre Nachbarn ab, die bereits weiter von der Quelle entfernt sind, und so fort. Es entstehen also Wellen, die sich im jeweiligen Medium weiterverbreiten. Die Teilchen des Mediums sind lediglich die „Stehaufmännchen“ – Zwischenstationen. Jedes von ihnen schwingt in einem eigenen kleinen Mikrobezirk.

Wenn man ein Seil von seinem einen Ende aus in Schwingungen versetzt, laufen über die gesamte Länge des Seiles Wellen. Die Schwingung wird von einem Element des Seiles zum anderen übertragen. Wenn sich z. B. ein Bergsteigerseil irgendwo verfangen hat, braucht man es nur in Schwingungen mit der richtigen Amplitude zu versetzen, und es gelingt, das Seil zu befreien.



Die einzelnen Teilchen des jeweiligen Mediums wandern also nicht mit der Welle; nur der Anstoß wird weitergegeben. Das ist der Grund dafür, daß die Licht- und Radiowellen ohne jede Schwierigkeit die Schwerkraft überwinden können. Und dies ist eine weitere Voraussetzung für den Funkkontakt. Wir wissen von unserem Rundfunkempfänger, daß es Langwellen, Mittelwellen, Kurzwellen und Ultrakurzwellen gibt. Ihre Länge bezeichnet man mit dem Buchstaben λ (Lambda).

Was ist λ ? – Ein junges Paar, das in den Meereswellen badete, wollte gern gemeinsam auf dem gleichen Wellenkamm schwimmen. Das Mädchen war jedoch immer wieder auf dem Kamm der benachbarten Welle. Der Abstand zwischen den beiden war gleich λ . λ ist also der Abstand von Wellenkamm zu Wellenkamm oder der Weg, den die Welle während einer Schwingungsperiode durchläuft. Dieser Abstand λ wird als *Wellenlänge* bezeichnet.

Die Errechnung von λ ist einfach: Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schwingungen im jeweiligen Medium braucht nur mit der Periodendauer multipliziert

zu werden. Bei gegebenem Medium wird die Wellenlänge immer kürzer, wenn die Frequenz höher wird.

Für Funkwellen liegt λ zwischen einigen tausend Metern und einigen Millimetern. Lichtwellen durchlaufen in einer Schwingungsperiode nur etwa ein Millionstel Zentimeter, und für Gammastrahlen muß dieser Wert noch einmal durch eine Million geteilt werden.

Funkwellen gehören heute zu den Selbstverständlichkeiten unseres Alltags, und doch sind erst hundert Jahre vergangen, seit der englische Gelehrte *James Clerk Maxwell* die Theorie von der Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Felder schuf. Aus dieser Theorie zog er die für die damalige Zeit (1873) unglaubliche Schlußfolgerung, daß man Funkwellen erzeugen kann, die sich über große Entfernungen hinweg ausbreiten.

Mehr noch, diese Theorie gestattete, die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser bis dahin nur auf dem Papier und in der Vorstellung des Gelehrten existierenden Wellen vorauszusagen. Schließlich lüftete diese Theorie auch das Geheimnis des Lichtes. Sie bewies seine elektromagnetische Natur.

15 Jahre später wurde die Möglichkeit der Erzeugung von Funkwellen durch Versuche bestätigt, die der hervorragende deutsche Physiker *Heinrich Hertz* durchgeführt hat. Er glaubte aber eigenartigerweise nicht daran, daß die Funkwellen eine Zukunft hätten. Erst *Alexander Stepanowitsch Popow* gelang es, die Wellen Maxwells für die Informationsübertragung zu nutzen. Das war acht Jahre nach den Versuchen von Hertz, im Jahre 1895.

Wie weit kann sich eine Schwingung im günstigsten Fall ausbreiten? Theoretisch unendlich weit, genau gesagt, sie erreicht unendlich weit entfernte Punkte mit einer unendlich kleinen Amplitude. Wir wissen jedoch aus Erfahrung, daß es für jegliche Art von Schwingungen (Schallwellen, Lichtwellen, Funkwellen) eine größte Entfernung gibt, nach deren Überschreiten man sie nicht mehr feststellen kann.

Woran liegt das? Spielt uns hier die Theorie einen Streich? Eine Antwort auf diese Frage wollen wir jetzt suchen.

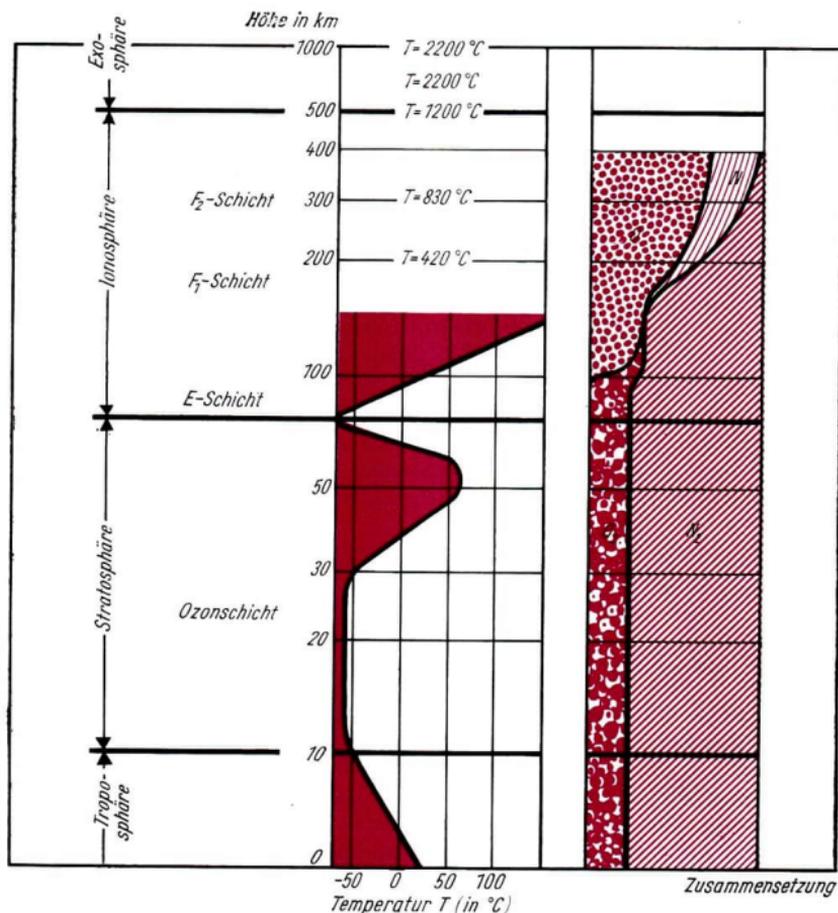
Schlitze in der Rüstung

Es ist an der Zeit, zu fragen, welche Wellen die Grenzen der Erde verlassen und somit Botschafter unserer Zivilisation werden und welche Wellen aus dem Kosmos bei uns eintreffen und eine Nachricht von Bewohnern fremder Welten bringen können. Wir können von vornherein alle nicht elektromagnetischen Wellen (mechanische Wellen, Schallwellen, Ultraschallwellen) aus unserer Untersuchung ausschalten, weil sie sich nur in einem Medium ausbreiten können, das der Luft, dem Wasser, einem Metall o. dgl. ähnlich ist. Leider können aber auch nicht alle elektromagnetischen Wellen für den interstellaren Funkverkehr verwendet werden. Unser Planet durchläuft seinen Weg durch den kalten kosmischen Raum, eingehüllt in eine gewaltige dreischichtige Gashülle. Die erste Schicht erstreckt sich bis in eine Höhe von 10 km über der Erdoberfläche. Sie wird als *Troposphäre* bezeichnet. Die zweite – viermal höher als die erste – ist die

Stratosphäre. Zum Schluß kommt die mit einigen hundert Kilometern mächtigste Schicht, die Ionosphäre.

Und nur dank dieser Hülle fallen uns nicht fortwährend ungezählte Meteoriten auf den Kopf: Sie verbrennen in der Atmosphäre. Ohne diese Hülle gäbe es auf der Erde keine Menschen, Tiere, Bäume, Rosen – sie absorbiert die starken ultravioletten Strahlen und die Röntgenstrahlen, die aus dem Kosmos zur Erde gelangen, und schützt so alles Leben.

Glücklicherweise werden aber nicht alle Strahlungen, die die Erde erreichen,



Einteilung der Erdatmosphäre sowie Verlauf der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung in Abhängigkeit von der Höhe über der Erdoberfläche. Die Ionosphäre hat eine Schichtstruktur und wird allgemein in die D-Schicht (hier nicht eingezeichnet), die E-Schicht sowie die F₁- und die F₂-Schicht unterteilt.

absorbiert. In dem breiten Spektrum der Strahlungen gibt es zwei „Fenster“. Durch das eine können Funkwellen hindurchdringen, durch das andere das Licht. Diese beiden Fenster verbinden uns mit dem Weltall. Durch das Lichtfenster tritt das Sonnenlicht und das Licht der Sterne ein, und wir können in das Weltall hinausblicken. Auch die Astronomen benutzen dieses Fenster. Ihre Werkzeuge sind das Auge, das Teleskop und die Fotoplatte. Durch das Radiofenster gelangen dem Auge unsichtbare Ausstrahlungen von anderen Himmelskörpern zu uns, die wir mit Hilfe der Radioastronomie wahrnehmen. Hier sind die Werkzeuge Radioteleskope, Funkempfänger, Oszillografen usw.

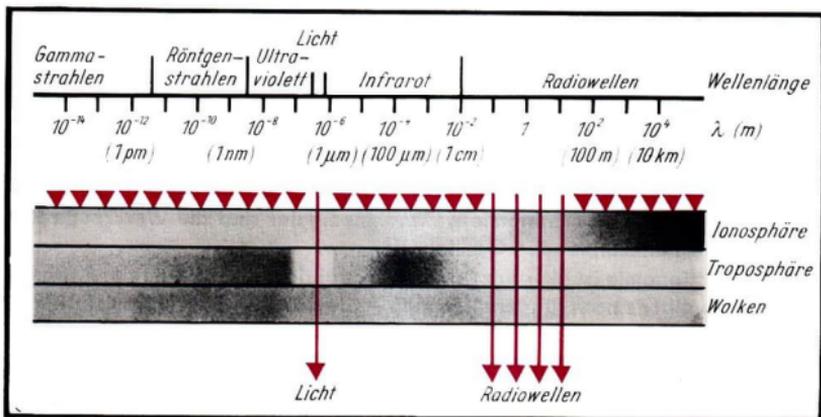
Die Radioastronomie ist ein ganz junges Reis auf dem alten Baum der Astronomie. Freilich gibt es noch jüngere Knospen – die Röntgen-, die Ultraviolett-, die Infrarot- und die Neutrinoastronomie. Wir wollen uns aber nicht weiter mit der Vielfalt der Astronomie beschäftigen, sondern gleich wieder zu unseren Fenstern zurückkehren.

Durch das Radiofenster dringen bei weitem nicht alle Funkwellen hindurch. Die Langwellen mit Wellenlängen von etwa 10 000 m bis herab zu 1 000 m – das entspricht dem Frequenzbereich von 30 kHz bis 300 kHz – breiten sich entlang der Erdoberfläche aus und folgen der Erdkrümmung. In den Kosmos gelangen sie nicht. Für den Funkverkehr mit Himmelskörpern sind sie folglich ungeeignet.

Die Mittelwellen ($\lambda = 1\,000\text{ m}$ bis 100 m bzw. $f = 300\text{ kHz}$ bis 3 MHz) und Kurzwellen ($\lambda = 100\text{ m}$ bis 10 m bzw. $f = 3\text{ MHz}$ bis 30 MHz) können meist die dritte Schicht – die *Ionosphäre* – nicht überwinden. Die aus dem Weltall kommenden und auf die Ionosphäre auftreffenden ultravioletten Strahlen ionisieren die dort vorhandenen Gasatome. Das Wesen dieses Vorgangs besteht darin, daß von den Gasatomen ein oder mehrere Elektronen losgerissen werden. Die Atome verwandeln sich in positiv aufgeladene Ionen. Der Grad der Ionisierung wird durch die Anzahl freier, von den Atomen getrennter Elektronen gemessen. In der Troposphäre, in der wir leben, gibt es unter „natürlichen“ Bedingungen nur sehr wenige freie Elektronen. In der Ionosphäre ist ihre Anzahl sehr groß: In einem Kubikzentimeter findet man bis zu 1 Million freie Elektronen! Diese vielköpfige Armee sich chaotisch bewegender freier Elektronen bildet eine unüberwindbare elektrische Barriere. Sie läßt die Mittel- und Kurzwellen nicht passieren und reflektiert sie, wie ein Spiegel, zur Erde.

Gegen Wellen mit Längen von 10 m und darunter ($f > 30\text{ MHz}$) ist diese Barriere jedoch machtlos. Diese Wellen können die Barriere durchdringen und die Erde verlassen oder aus dem Weltraum zu uns gelangen. Woran liegt das? Solange die Wellenlänge größer als 10 m ist, wirkt in der Ionosphäre ein elektromagnetisches Feld, das als Gegenfeld bezeichnet wird, auf die Wellen ein. Die Wechselwirkung zwischen dem ankommenden Feld und dem Gegenfeld führt zur Reflexion der Radiowellen. Bei Frequenzen über 30 MHz, also bei Wellen mit Längen unter 10 m, verschwindet das Gegenfeld. Diese Wellen können frei in den Kosmos entweichen.

Die Natur hat aber auch für sehr kurze Wellen eine Barriere aufgebaut. Es hat sich herausgestellt, daß die untere Schicht der Lufthülle der Erde – die Troposphäre – Wellen mit einer Länge von etwa 1 cm, also einer Frequenz von etwa



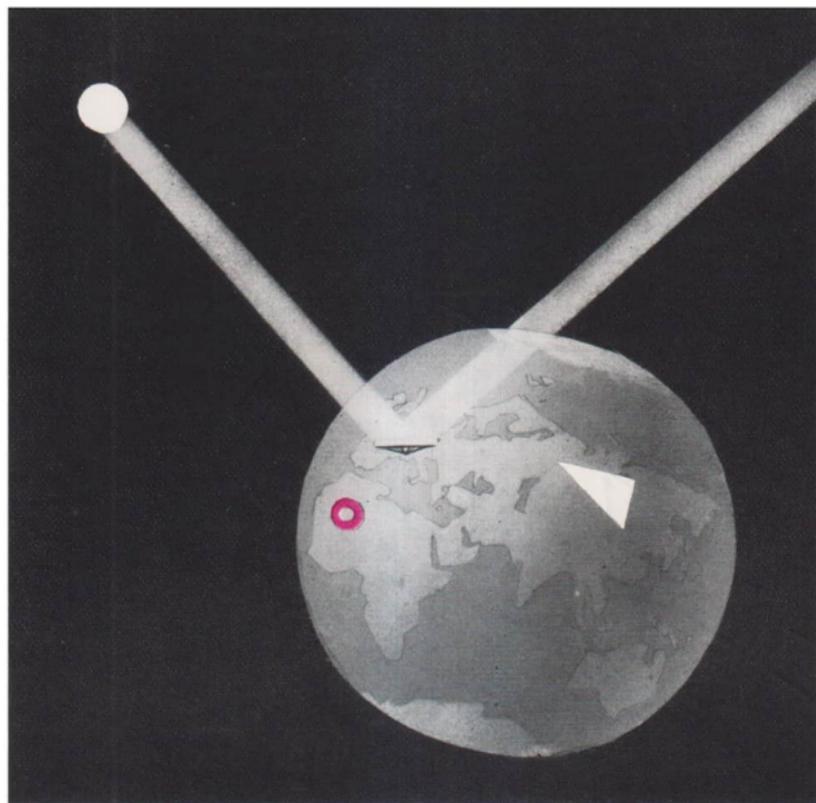
Infolge der unterschiedlichen Absorption der elektromagnetischen Strahlung verschiedener Wellenlänge in den einzelnen Atmosphärenschichten kommen das Lichtfenster und das Radiofenster zustande.

30 000 MHz, stark dämpft, vor allem durch Wassertropfchen, Wasserdampf Schneeflocken usw. Diese Wellen erreichen nicht einmal die Ionosphäre. Die Erdbewohner haben also ein ziemlich großes Radiofenster zum Kosmos. Das Lichtfenster hat dagegen kleinere Abmessungen. Es läßt nur Licht mit einer Wellenlänge von 0,40 bis 0,75 μm durch. Sowohl das Radiofenster als auch das Lichtfenster sind von beiden Seiten gleichermaßen gut durchlässig. So wie ein Fenster tagsüber die Sonnenstrahlen von außen in das Zimmer läßt, läßt es nachts das helle Licht der künstlichen Beleuchtung aus dem Fenster nach außen dringen. Alle elektromagnetischen Schwingungen, die durch die Hülle zu uns gelangen, können auch für die Ausstrahlung von Signalen in den Kosmos verwendet werden.

Wir wollen uns jetzt aber dem zweiten Fenster – dem Lichtfenster – zuwenden. Durch dieses Lichtfenster ergießt sich bereits seit Milliarden von Jahren die segensreiche Energie der Sonne auf die Erde. Wir finden sie in der Steinkohle und im Erdöl; durch sie ist der Flieder gewachsen und der Mensch geworden. Dieser Lichtstrom ist so gewaltig, daß man tagsüber normalerweise keine anderen Himmelskörper wahrnehmen kann.

Erst wenn der Arbeitstag unserer gewaltigen Himmelsleuchte beendet ist, erlöschen ihre Strahlen, und es leuchten unzählbare weitentfernte Sonnen am Himmel auf.

Im vergangenen Jahrhundert entstanden erstmals Projekte, nach denen optisch wahrnehmbare Signale zu den möglicherweise existierenden Bewohnern von Mond und Mars gesendet werden sollten. So empfahl z. B. der Mathematiker *Friedrich Gauss*, in der sibirischen Taiga ein gigantisches Dreieck zu roden und mit Weizen zu besäen. Der Wiener Astronom *Littrow* schlug vor, in der Sahara gewaltige Kanäle zu graben, die eine riesige geometrische Figur darstellen



Bereits im vorigen Jahrhundert wurde vorgeschlagen, Kunde vom menschlichen Leben zum Mond und Mars zu senden.

sollten. Diese Kanäle sollten mit Wasser gefüllt, mit Petroleum begossen und eines nachts angezündet werden. In Frankreich hatte man vorgeschlagen, einen gigantischen Spiegel aufzubauen und damit Sonnenstrahlen zum Mars zu reflektieren. Bessere Lösungen konnte man zu jener Zeit noch nicht finden. Heute haben wir die Möglichkeit, sehr starke Impulse durch das Lichtfenster nach außen zu senden. Wir haben unsere eigene Sonne erfunden.

Eine Lawine von Elektronen

Die Sonne der Erdenbürger heißt *Laser* (nach den ersten Buchstaben der vollständigen englischen Bezeichnung: *Light Amplifier by Stimulated Emission of Radiation* – Verstärkung des Lichtes durch zwangsweise gerichtete Strahlung). Der Laser ist ein Generator für elektromagnetische Lichtschwingungen. Was ist

Schale vom Kern entfernt ist, um so größere Energie hat das Elektron. Jeder Schale entspricht damit eine bestimmte energetische Potenz des Elektrons.

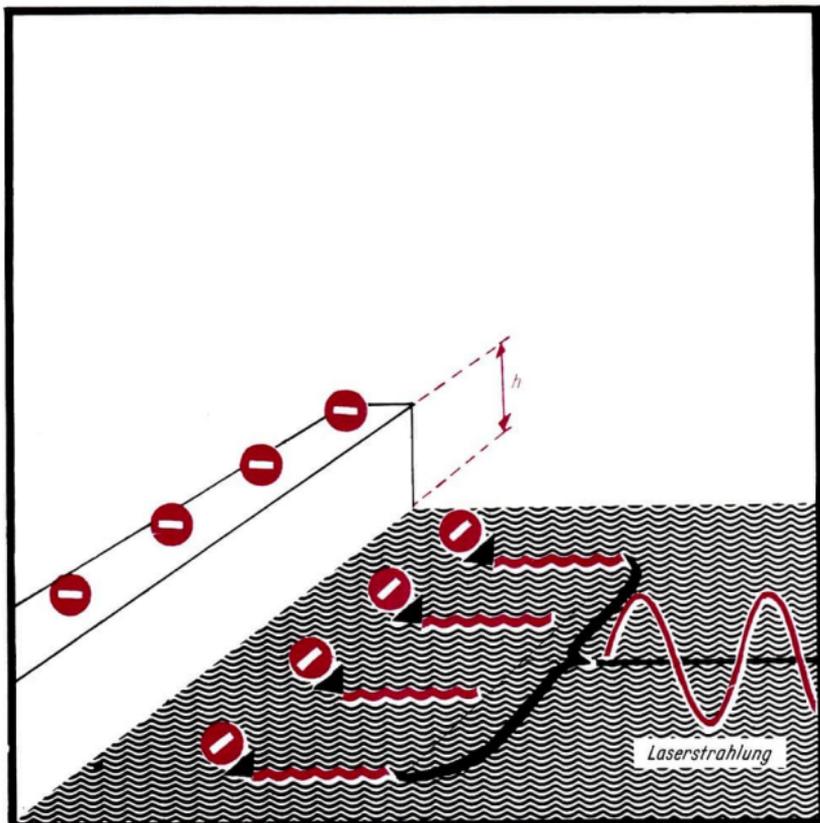
Unter der Einwirkung äußerer Kräfte, z. B. beim Zusammenstoß mit anderen Atomen, kann ein Elektron von einer Schale auf die andere überwechseln. Dabei darf aber das Gesetz von der Erhaltung der Energie, das auch im Mikrokosmos gilt, nicht gestört werden. Beim Übergang auf eine vom Atomkern weiter entfernte Schale muß dem Elektron soviel Anregungsenergie zugeführt werden, wie der Energiedifferenz zwischen den beiden Schalen entspricht. Beim Übergang auf eine dem Atomkern näher liegende Schale gibt das Elektron Energie ab, und zwar soviel, wie der Energiedifferenz zwischen den beiden Schalen entspricht.

Das Elektron ist, wie alle materiellen Körper, bemüht, die Lage mit dem minimalen energetischen Potential einzunehmen, d. h. auf die dem Atomkern nächstliegende Schale überzugehen, wenn dort noch ein Platz frei ist, ähnlich wie ein in die Luft geworfener Stein nach unten fällt oder wie das Wasser bergab fließt. Durch Energiezufuhr können die Elektronen eines Atoms von den weiter innen liegenden Schalen auf die äußeren Schalen gezwungen werden. Danach springen sie wieder auf eine innere Schale zurück. Ein Elektron, das auf eine dem Atomkern nähere Schale „springt“, kann seine Energie nur in Form von elektromagnetischen Schwingungen abstrahlen. Die Frequenz dieser Schwingungen hängt lediglich von der Energiedifferenz der beiden Schalen und nicht von der Struktur des Atoms ab. Bei einer großen Energiedifferenz zwischen den Schalen werden die energiereichen Röntgenstrahlen abgestrahlt und bei kleineren Sprüngen Lichtwellen. Bei noch kleinerer Energiedifferenz entstehen schließlich Funkwellen.

Jedes beliebige Atom kann Elektronen auf seinen äußeren Schalen besitzen, auch wenn auf seinen inneren Schalen noch Platz vorhanden ist. Wenn die Elektronen auf weiter innen liegende Schalen übergehen, werden, wie bereits erwähnt, elektromagnetische Schwingungen ausgestrahlt. Ein Atom besitzt viele mögliche (oder erlaubte) Schalen. Je nachdem, von welcher der außenliegenden Schalen auf welche der weiter innen liegenden Schalen die Elektronen springen, werden Lichtstrahlen einer ganz bestimmten Frequenz, also einer ganz bestimmten Farbe, ausgestrahlt. Da sich diese Vorgänge in vielen Atomen und zwischen unterschiedlichen Schalen abspielen, vermischen sich die Farben und ergeben z. B. Sonnenlicht oder gewöhnliches weißes Licht. Das weiße Licht ist also ein Gemisch aller Farben von Dunkelrot bis Violett (daher bezeichnet man in der Funktechnik ein chaotisches Gemisch von Schwingungen aller Frequenzen als „weißes Rauschen“).

Dieses Prinzip der Lichterzeugung durch Elektronen, die von einem höheren Energieniveau auf ein anderes, niedrigeres springen, ist auch die Grundlage für den Laser, jedoch in einer wesentlichen Abwandlung.

Bei einem Laser springen die Elektronen nicht irgendwann von irgendeiner weiter außen liegenden Schale auf irgendeine weiter innen liegende Schale, sondern immer im gleichen Takt von der gleichen außenliegenden auf die gleiche innenliegende, also genau gleichzeitig oder synchron. Die durch diese gleich-



Beim Laser wird dafür gesorgt, daß alle Elektronen gleichzeitig von einem Niveau auf dasselbe niedrigere Niveau springen. Das Laserlicht ist deshalb monochromatisch und kohärent.

zeitigen und gleich großen Sprünge entstehenden Schwingungen werden als synchrone, phasengleiche oder auch *kohärente* Schwingungen bezeichnet.

In unserem Beispiel mit den gleichzeitig von einer Schale des Atoms auf die andere springenden Elektronen ist also die Phasenverschiebung gleich Null. Deshalb erfolgt eine einfache Summierung der Schwingungen, die von den einzelnen Elektronen ausgestrahlt werden. Dadurch kann der Laser einen sehr starken Lichtimpuls abgeben. Da alle Elektronen von ein und derselben energetischen Stufe abspringen, werden auch Schwingungen ein und derselben Frequenz ausgestrahlt. Deshalb gibt der Laser kein weißes Licht, sondern monochromatisches (einfarbiges) ab; je nach Größe der Sprünge strahlt er rotes, grünes oder andersfarbendes Licht aus.

Damit der Laser einwandfrei arbeiten kann, wird ein Medium aus Atomen mit

vielen Elektronen auf den äußeren Schalen und freien Plätzen auf den inneren Schalen benötigt. Dieses Medium kann ein fester Stoff, eine Flüssigkeit oder ein Gas sein. Für den gleichzeitigen, nicht zufälligen Übergang der Elektronen von den äußeren Schalen auf die inneren braucht man eine synchronisierende Kraft. Das kann z. B. Licht mit der Wellenlänge sein, die der Energiedifferenz zwischen den Schalen entspricht. Beleuchtet man damit unser Medium, so veranlaßt der Strahl die Elektronen, synchron miteinander auf die niedrige Schale zu springen. Dabei strahlen alle Licht mit der gleichen Wellenlänge aus. Dieser Lichtstrahl kann aber wesentlich stärker als der anregende sein.

Der beschriebene Effekt ist nichts anderes als die Verstärkung von Licht. Wenn man nun einen solchen Verstärker mit einer Rückkopplung versieht, also einen Teil der verstärkten Welle zur Beleuchtung des Mediums benutzt, so erhalten wir einen Generator für Lichtschwingungen. Und den nennen wir „Laser“.

Vom Standpunkt unserer Aufgabe der Kontaktaufnahme mit fremden Zivilisationen besitzt der Laser drei wertvolle Eigenschaften:

1. Man kann einen Lichtstrom mit einer viel größeren Leistung als mit jeder anderen irdischen Lichtquelle erzeugen.
2. Laserstrahlen lassen sich sehr stark bündeln. So beleuchtet z. B. ein Laserstrahl, der auf den Mond gerichtet wird, ein Gebiet, dessen Durchmesser nicht mehr als 40 km beträgt.
3. Die im Vergleich zu Radiowellen außerordentlich hohe Frequenz des Laserstrahls gestattet eine Informationsmenge zu übertragen, die millionenmal größer sein kann als die in Funkkanälen übertragene. Und das ist, wie wir später sehen werden, für unsere Aufgabe wesentlich.

Die heutigen Laser erzeugen Schwingungen im Wellenbereich von 300 bis $0,3 \mu\text{m}$; die ausgestrahlte Leistung erreicht bei kontinuierlichem Betrieb einige zehn Watt, bei Impulsbetrieb viele Megawatt.

Diese Leistungen erlauben bereits, mit einem Laserstrahl durch das Lichtfenster bis zum Mond vorzudringen, und der zum Mond gesendete Strahl wird von diesem zur Erde reflektiert. Auf diese Weise läßt sich z. B. die Entfernung des Mondes sehr genau bestimmen.

Dabei steht unsere künstliche Sonne, der Laser, erst am Anfang der Entwicklung. Zukünftig wird der Laser ein ernsthafter Konkurrent der Funkwellen im interstellaren Verkehr (und nicht nur dort) sein.

Zwei Welten in einer

Jahrtausendlang war das Lichtfenster für die Erdbewohner die einzige Möglichkeit, Informationen aus den unendlichen Weiten des Kosmos zu empfangen. Jahrtausendlang haben Astronomen an diesem Fenster ununterbrochen Wache gehalten. Und dann wurde plötzlich ein zweites Fenster aufgestoßen – das Radiofenster. Durch dieses Fenster sehen die Menschen ein neues, erstaunliches Bild.

Die ersten Funksignale aus dem Kosmos wurden von dem amerikanischen Funktechniker G. Jansky empfangen. Er untersuchte die Störungen, die beim iridi-

schen Funkbetrieb auf der Wellenlänge 15 m auftreten, und stieß dabei auf eine neue Erscheinung.

In seiner ersten Veröffentlichung (1932) lesen wir:

„Die Messungen . . . weisen auf das Vorhandensein dreier gesonderter Gruppen von Rauschstörungen hin: Gruppe 1 – Rauschen von örtlichen Gewittern; Gruppe 2 – Rauschen von entfernten Gewittern; Gruppe 3 – ständiges Rauschen unbekannter Herkunft.

Die Richtung, aus der die letztgenannten Rauschstörungen eintreffen, ändert sich im Verlauf des Tages kontinuierlich, wobei sie während 24 Stunden eine fast vollständige Umdrehung macht. Es gibt Hinweise darauf, daß die Quelle dieses Rauschens in irgendeiner Weise mit der Sonne in Verbindung steht.“

Später stellte sich heraus, daß Jansky in diesem Fall unsere Sonne irrtümlich in Verdacht hatte. Die Rauschquelle war millionenmal weiter entfernt. Die Störungen kamen aus dem Zentrum der Milchstraße, und die von dort eintreffenden Funkwellen sind kräftiger als die optischen.

Die Arbeiten Janskys wurden nicht sehr beachtet. Nur der amerikanische Funkingenieur G. Reber baute aus eigenen Mitteln neben seinem Haus eine Parabolantenne und führte eine Reihe von Beobachtungen durch. Er entdeckte u. a. im Jahr 1940 die Radiostrahlung der Sonne.

Die Forschungen Rebers zogen die Aufmerksamkeit der Astronomen auf sich. Der zweite Weltkrieg setzte diesen Arbeiten jedoch vorerst ein Ende.

In England wurde der Betrieb einer Funkortungsanlage für Fernaufklärung vom 26. bis zum 28. Februar 1942 durch sehr starke Störungen unterbrochen. Zuerst war man der Meinung, daß diese Störungen vom Gegner hervorgerufen worden wären. Eine Analyse zeigte jedoch, daß diese Störungen das Ergebnis der gigantischen Sonneneruption waren, die am 28. Februar 1942 optisch registriert worden war.

Die eigentliche Entwicklung der *Radioastronomie* begann in den Jahren nach 1945. Seitdem ist man bereits zu vielen überraschenden Ergebnissen gekommen. Es wurde festgestellt, daß viele kosmische Objekte – die Sonne, verschiedene Sterne, viele Nebel, einzelne Gebiete der Galaxis, interstellares Gas, der Mond usw. – Quellen für Funkstrahlungen sind.

Es werden zwei Arten von Radiostrahlungen unterschieden – die thermische und die nichtthermische.

Die *thermische Strahlung* entsteht durch die Wärmebewegung der geladenen Teilchen. Dabei entsteht ein breites Spektrum mit einem Maximum bei einer bestimmten Frequenz. Die Lage (und auch die Höhe) dieses Maximums auf der Frequenzachse hängt von der Temperatur ab. Mit steigender Temperatur verschiebt es sich nach kürzeren Wellenlängen hin. Bei Temperaturen von etwa 5000 K liegt es im sichtbaren Teil des Spektrums, bei noch höheren Temperaturen, wie sie auf manchen Fixsternen vorkommen, im ultravioletten Bereich und bei Körpertemperatur im langwelligen Infrarot. Ist die Temperatur noch niedriger, dann liegt das Maximum im Radiofrequenzbereich.

Die *nichtthermische Radiostrahlung* entsteht z. B. durch gigantische elektrische Entladungen. Sie wird auch von Teilchenströmen ausgelöst, die von den Sternen

Solche schwenkbaren Reflektoren, wie der 36-m-Spiegel des Heinrich-Hertz-Instituts in Berlin-Adlershof, sammeln die Radiostrahlung und konzentrieren sie auf die eigentliche Antenne im Brennpunkt des Parabolspiegels.



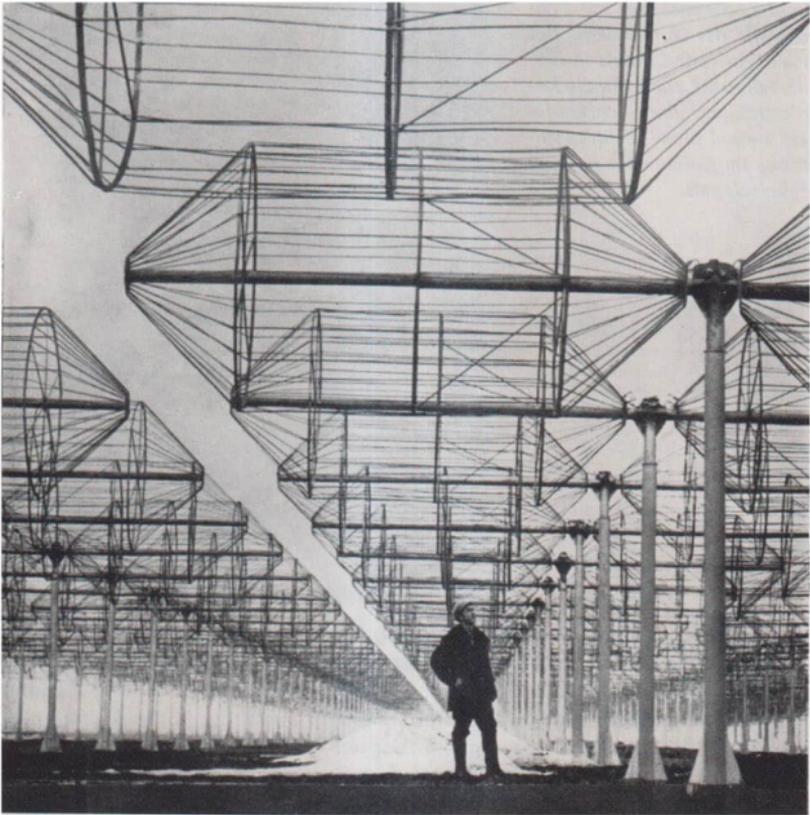
ausgesendet werden. Wenn die Bewegung dieser Teilchenströme durch Magnetfelder beeinflusst wird und sich die Teilchen an den Magnetfeldlinien radial nach außen bewegen, entsteht eine Strahlung, die *Synchrotronstrahlung* genannt wird. Die Energieverteilung der nichtthermischen Strahlung im Spektrum unterscheidet sich wesentlich von der thermischen Strahlung: Sie kann im Radiobereich maximal sein und wird im optischen Bereich fast nicht beobachtet.

Welche Erkenntnisse hat die Radioastronomie bisher gebracht? Die Radioastronomie hat uns ein (bis jetzt freilich noch nicht vollständiges) Bild vom Radiokosmos vermittelt. Durch dieses Bild wird nicht nur das optische Bild ergänzt, es hat auch einen selbständigen Wert. Es wurden Objekte festgestellt, die optisch überhaupt nicht sichtbar sind.

Ein Vorzug der Radiowellen ist es, daß sie im kosmischen Raum in bestimmten Fällen viel weniger als optische Wellen bedämpft werden. So sind z. B. die Anhäufungen interstellaren Staubes für die Radiowellen durchlässig, für Lichtwellen jedoch undurchlässig. Die Radioastronomie hat also die Grenzen des uns zugänglichen Weltalls erweitert.

Was finden wir auf der Karte des Radiokosmos?

Das erste ist eine Radiostrahlung, ein Rauschen, welches kontinuierlich über den gesamten Himmel verteilt ist. Es wird im Meter- und Dezimeterwellenbereich beobachtet. Die Intensität dieser Radiostrahlung ändert sich mit der Beobachtungsfrequenz und von Abschnitt zu Abschnitt des Himmels. Es wurden verschiedene Hypothesen aufgestellt, die den Ursprung dieser Strahlung erklären sollen. Eine ihrer Komponenten wird mit den hellen Nebeln in Verbindung ge-



Das Radioteleskop von Charkow ist ein Beispiel für eine starre Bauart. Es besteht aus einer großen Anzahl von Breitbanddipolen, die in Form eines großen Kreuzes angeordnet sind.

bracht. Eine andere Komponente, die gleichmäßig über den Himmel verteilt ist, entsteht offensichtlich als Synchrotronstrahlung von schnell bewegten Elektronen in interstellaren Magnetfeldern.

Aus der kontinuierlichen Radiostrahlung, dem kosmischen Rauschen, lassen sich einzelne (nach dem Ursprung), diskrete Radioquellen aussondern. Man hat bereits annähernd 10 000 solcher Radioquellen am Himmel festgestellt. Davon wurde jedoch nur ein kleiner Teil untersucht.

Im Sonnensystem hat unser Stern natürlich die stärkste Ausstrahlung. Auch hier gibt es zwei Arten: die ungestörte thermische Radiostrahlung der ruhigen Sonne und die veränderlichen Störstrahlungen. Es wurden auch Radiostrahlungen von Merkur, Venus, Mars, Saturn und Jupiter beobachtet.

Die stärkste diskrete Radioquelle außerhalb der Grenzen unseres Sonnen-

systems befindet sich im Sternbild Cassiopeia. Sie wird als Cassiopeia A bezeichnet. Ihre Ausstrahlung ist fast genauso intensiv wie die ungestörte Radiostrahlung der ruhigen Sonne. Der Leser möge diese Gleichheit nicht allzu gleichgültig zur Kenntnis nehmen; denn diese zweite Radioquelle hat von der Erde eine Entfernung, die Hunderte Millionen Mal größer ist als die Entfernung zur Sonne. Das Licht der Sonne gelangt innerhalb von ungefähr 8 Minuten zu uns, und von der Cassiopeia braucht es 10 000 Jahre! Obwohl die Intensität indirekt proportional zum Quadrat der Entfernung abnimmt, registrieren unsere Geräte eine annähernd gleiche Intensität der Strahlung beider Quellen.

Nur um die Hälfte bleibt die Intensität der Radioquelle Cygnus A im Sternbild Schwan hinter Cassiopeia A zurück. Und das ist noch erstaunlicher, denn Cygnus A ist eine sog. Radiogalaxis in einer Entfernung von 700 Millionen Lichtjahren. Wenn unsere Augen nicht auf Lichtquellen, sondern auf Radiowellen reagieren würden (schließlich haben sie die gleiche Natur – beides sind elektromagnetische Schwingungen), könnten wir gleichzeitig drei Sonnen mit fast gleicher Helligkeit sehen.

Nach der Intensität an dritter Stelle steht eine Radioquelle im Sternbild Stier, der Crab- oder Krebsnebel. Dieser junge Nebel hat eine erstaunliche, faszinierende Geschichte.

Im Jahr 1054 strahlte ein gewaltig heller Stern auf, der sogar tagsüber sichtbar war. Dieser Stern leuchtete fast ein halbes Jahr und erlosch dann. Diese Tatsache und die annähernde Lage des Sternes am Himmel fand man in chinesischen und japanischen Geschichtsbüchern. Die Lage dieses Sternes stimmt mit



Der große Cygnusbogen im Sternbild Schwan. Die nebelartigen Filamente sind die Reste einer Supernova, die vor ungefähr 100 000 Jahren explodierte.

der heute beobachteten Lage des Krebsnebels überein. Beobachtungen haben gezeigt, daß sich der Krebsnebel mit der kolossalen Geschwindigkeit von mehr als 1000 km/s nach allen Seiten ausbreitet. Wenn man die Geschwindigkeit kennt, kann man leicht ausrechnen, daß dieser Nebel vor annähernd 900 Jahren mit seiner Expansion begann (das stimmt erstaunlich gut mit den Aufzeichnungen in den alten Geschichtsbüchern überein, nicht wahr?). Hieraus kam man zu der glaubhaften Hypothese, daß der Krebsnebel durch eine grandiose Katastrophe entstand, die vor 900 ± 5000 Jahren stattgefunden hat. Die „bescheidene“ Zugabe von 5000 Jahren kommt durch die Laufzeit des Lichtes auf der Strecke Krebsnebel–Erde zustande. Solche superstarken Eruptionen haben die Bezeichnung *Supernovae* erhalten (kleinere Eruptionen werden als *Novae* bezeichnet).

In unserem Sternsystem – in der Milchstraße – sind solche Erscheinungen sehr selten. In den letzten tausend Jahren wurden nur drei *Supernovae* beobachtet, und zwar in den Jahren 1054, 1572 und 1604. Genauso wie die *Supernova* von 1054 sind die beiden nachfolgenden gleichfalls starke Radioquellen.

Der sowjetische Astrophysiker *I. S. Schklowskij* hat die Radioquellen, die infolge des Aufleuchtens von *Supernovae* entstanden sind, als Radionebel bezeichnet. (Ich finde, daß der Begriff „Radionebel“ in doppelter Hinsicht gelungen ist: Er gibt die Natur der auseinanderlaufenden Reste der *Supernova* sehr gut wieder und erinnert gleichzeitig daran, daß bei weitem noch nicht alle Prozesse der superstarken Radiostrahlung geklärt sind.)

Außerhalb der Grenzen unserer Milchstraße wurden Radioquellen u. a. in den Galaxien Andromedanebel und Magellansche Wolken festgestellt. Außerdem wurden sogenannte *Radiogalaxien* gefunden. Dies sind Systeme, deren Radiostrahlung die Radiostrahlung gewöhnlicher „normaler“ Galaxien um ein vielfaches überschreitet. Unsere Galaxis gehört auch in diesem Sinne zu den durchaus normalen Sternsystemen.

Die aufgezählten Quellen strahlen Funkwellen in einem breiten kontinuierlichen Frequenzspektrum aus. Es gibt aber auch sehr schmalbandige Radiostrahlung. Ein bewundernswürdiges Ergebnis der Radioastronomie war die Entdeckung der schmalen Linien der Radiostrahlung aus der Galaxis. Eine Quelle solcher Strahlung ist der Wasserstoff, das im Weltall am weitesten verbreitete Element. Wir hatten uns schon damit beschäftigt, daß ein Elektron beim Übergang von einer äußeren Schale auf eine innere Schale eines Atoms elektromagnetische Schwingungen abstrahlt. Wenn sich das Elektron eines Wasserstoffatoms bereits auf der niedrigsten Schale befindet, so kann sein Drehimpuls dem des Kernes gleichgerichtet oder entgegengerichtet sein. Beim „Umklappen“ des Elektrons aus der antiparallelen in die parallele Drehimpuls Lage wird eine geringe Energiemenge frei, die gerade 21 cm Wellenlänge entspricht. Die Strahlung eines einzelnen Atoms ist äußerst gering. Es klappen jedoch so viele Elektronen gleichzeitig um, daß die summierte Strahlung von irdischen Radioteleskopen einwandfrei aufgenommen werden kann. Diese Entdeckung gab uns ein neues Mittel für die Untersuchung des Kosmos in die Hand. Mehr noch, da der Wasserstoff überall im Weltall vorhanden ist, muß jede hochentwickelte Zivilisation diese Radio-



Der Krebsnebel im Sternbild Stier, eine der stärksten Radioquellen, ist der Rest einer im Jahre 1054 explodierten Supernova, der sich mit großer Geschwindigkeit ausdehnt. Die obere Aufnahme, die mit einem dunkelroten Filter gemacht wurde, läßt die Feinstruktur des Nebels hervortreten, die auf der Aufnahme im gelbroten Licht (unten) nicht sichtbar ist.

strahlung kennen und dieses für alle Welten einheitliche Standardmaß der Frequenz beherrschen. Damit entstand der Gedanke, daß man gerade auf dieser Wellenlänge „vernünftige“ Signale suchen müsse. Deshalb hat die erste Anlage für die Suche nach Signalen von fremden Zivilisationen auf unserem Planeten auf eben dieser Wellenlänge 21 cm gearbeitet. Später wurden auch Linien von Radiostrahlungen in anderen Wellenbereichen entdeckt: 18 cm, 5 cm usw.

Die letzten Jahre sind durch die Entdeckung neuer rätselhafter Objekte im Radiokosmos gekennzeichnet – der *quasistellaren Radioquellen*. Sie haben den kurzen Namen *Quasar* erhalten. Als Quelle von Radiostrahlungen sind sie sehr leistungsstark; optisch konnten sie nur als ganz kleine sternförmige Objekte identifiziert werden. Die Quasare befinden sich irgendwo an den Grenzen des gegenwärtig von uns beobachteten Teiles des Weltalls und entfernen sich folglich sehr schnell von uns. So ist z. B. der Quasar 3 C-9 zehn Milliarden Lichtjahre (!) von uns entfernt und bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 240 000 km/s von uns weg. (Wie Sie sehen, beträgt diese Geschwindigkeit 80 % der Lichtgeschwindigkeit!) Das uns von diesem Quasar erreichende Licht hat seine Quelle verlassen, als das Sonnensystem noch nicht existierte. Nach einer der Hypothesen ist ein Quasar ein gigantischer Superstern, der Kern einer neu entstehenden Galaxis. Sein Durchmesser ist einige Male größer als der Durchmesser der Erdumlaufbahn, die Masse beträgt das Millionenfache der Sonnenmasse (die bis jetzt bekannten Sterne haben nach Durchmesser und Masse die Sonne höchstens um das Hundertfache überflügelt). Die Natur der Quasare wurde bis jetzt noch nicht enträtselt. Ihre Beobachtung hat uns aber bereits heute einen tieferen Blick in die „ferne Vergangenheit“ des Weltalls gestattet. Ist das nun die äußerste Möglichkeit des Eindringens der Menschen in die Vergangenheit unserer Welt?

Keinesfalls! Mit Hilfe der Radioastronomie gelang es, sogenannte kosmische Wärmestrahlungsrelikte zu entdecken. Wir kennen Relikte auch von lebenden Organismen – Pflanzen und Tieren –, die aus fernen geologischen Epochen fast ohne Veränderung bis zur heutigen Zeit erhalten geblieben sind, wie z. B. der Komodo-Waran, ein Gigant aus der Familie der Echsen. Er wurde auf der Insel Komodo, östlich von Java, entdeckt. Seine Länge: 3,5 m, seine Masse: annähernd 100 kg.

Was sind nun aber Relikte elektromagnetischer Schwingungen? Warum sind sie ein Relikt ferner Epochen des Kosmos? Wir wollen uns an das Modell des heißen Weltalls erinnern, von dem im ersten Hauptabschnitt die Rede war. Ohne daß wir es in unserem Alltagsleben bemerken, strebt das Weltall auseinander. Vor dieser Epoche des Auseinanderstrebens besaß die Materie eine unvorstellbar hohe Dichte und Temperatur und sandte eine thermische Strahlung aus, deren Maximum vermutlich im ultravioletten Spektralbereich lag. Nach der Theorie des heißen Universums müßte diese Strahlung heute noch gewissermaßen am „Rand“ des Kosmos festzustellen sein, der einem frühen Stadium des expandierenden Weltalls entspricht. Wegen der überaus großen Entfernung und Geschwindigkeit muß allerdings der Doppler-Effekt berücksichtigt werden. Die Rotverschiebung wäre in diesem Falle so groß, daß das

Strahlungsmaximum bei sehr viel längeren Wellen zu suchen wäre, die einer sehr viel geringeren Temperatur entsprechen.

Eine solche, vor vielen Milliarden Jahren entstandene Strahlung wurde nun tatsächlich im Jahre 1963 gefunden. Die Messung der Temperatur dieser Strahlung ergab 3 K. Auf diesen Wert hat sie sich durch den Doppler-Effekt „abgekühlt“. Die Theorie des Modells des „heißen“ Universums sagte einen Wert in eben dieser Größenordnung voraus. Die Entdeckung der 3-K-Strahlung hat die Hypothese unterstützt, daß der Epoche der Erweiterung des Universums eine Epoche hoher Dichte vorausgegangen sein muß. Solche erstaunlichen Ausblicke in die Vergangenheit des Weltalls hat uns der Blick durch das Radiofenster bereits eröffnet.

Schließlich brachte uns das Jahr 1968 einen neuen Triumph der Radioastronomie: Es wurde eine neue Art der Radiostrahlung entdeckt. Dieses Ereignis hat die Gemüter der Mitbürger auf unserem Planeten so sehr erregt, daß es durchaus gerechtfertigt ist, ihm einen gesonderten Abschnitt zu widmen.

Sensation 68

Über Jahrzehnte gaben die Radioteleskope, die die Radiostrahlung aus dem Weltall empfangen, an ihrem Ausgang lediglich kontinuierliche, gezackte Kurven ab, die stark an die Aufzeichnung des Wärmerauschens eines Empfängers erinnern. Man stellte fest, daß die Himmelskörper kontinuierliche elektromagnetische Schwingungen ausstrahlen, deren Intensität sich unter der Wirkung einiger Faktoren nach einem komplizierten Gesetz langsam ändert. Da trat im Juli 1967 ein unerwartetes Ereignis ein: G. Jewish und Jocelyn Bell am Observatorium der Universität Cambridge empfingen mit Hilfe einer komplizierten Antenne auf der Wellenlänge 3,5 m periodische Impulse. Sie hatten eine Radioquelle gefunden, die in einer neuen Betriebsart „arbeitete“: Sie strahlt eine bestimmte Zeit lang, dann hört die Strahlung auf, und die Pause dauert länger als die Zeitdauer der Strahlung. Dann beginnt die Strahlung von neuem, es gibt wieder eine Pause usw.

Die Entdeckung wurde ein halbes Jahr lang als strengstes Geheimnis gehütet, und ihre Richtigkeit wurde erst einmal sorgfältig überprüft. Die erste Veröffentlichung erschien im Februar 1968 in der englischen Zeitschrift „Nature“. Die Nachricht von dieser Entdeckung lief mit Blitzgeschwindigkeit durch die Tagespresse der ganzen Welt. Erbitterte Diskussionen um die Natur der *Pulsare* – diesen Namen hatte man der neuen Erscheinung gegeben – wurden geführt, und es gab zunächst erst einmal viele mehr oder weniger sachverständige Meinungen.

Einige Journalisten beherrschte ein Gedanke, der ihnen die Nachtruhe raubte: „Das sind Signale vernunftbegabter Wesen!“ Sie gaben diesen vernunftbegabten Wesen sogar einen Namen – little green men „grüne Menschlein“.

In den Signalen wurden zwar keine sinnvollen Elemente festgestellt – offensichtlich waren es einfach nur periodische Impulse –, man konnte aber immerhin annehmen, daß diese Signale z. B. kosmische Funkfeuer auf irgendeinem

Himmelskörper seien. Vermutungen, daß die Impulsquelle ein Raumschiff sei, bestätigten sich nicht, denn die Koordinaten der Strahlungsquelle blieben unverändert.

Bald wurden noch einige ähnliche Radioquellen entdeckt. Und so traurig es auch sein mag, die Hypothese, daß die Signale von vernunftbegabten Wesen stammen, mußte durch realistischere Hypothesen über ihre Entstehung auf natürlichem Weg abgelöst werden.

Erstaunlich ist bei vielen Pulsaren die sehr hohe Konstanz der Wiederholungsperioden der gesendeten Impulse. Man ermittelte z. B. für die vier nachfolgend genannten Pulsare:

Bezeichnung des Pulsars	Impulsperiode	Abweichung
PSR 1919	1,33730113 s	$\pm 7 \cdot 10^{-8}$ s
PSR 0834	1,27379 s	$\pm 8 \cdot 10^{-5}$ s
PSR 1133	1,18790928 s	$\pm 1,5 \cdot 10^{-7}$ s
PSR 0950	0,25306457 s	$\pm 5 \cdot 10^{-7}$ s

Diese Daten zeigen, daß die Konstanz der Impulsperiode in der gleichen Größenordnung liegt wie die Konstanz der Erdumdrehung, also wie die Genauigkeit unserer Sonnenzeit.

Die von den Pulsaren erzeugten Impulse haben ein breites Frequenzspektrum. Je größer der Abstand zweier Frequenzen aus diesem Spektrum ist, um so unterschiedlicher ist ihre Laufzeit im interstellaren Raum. Die niedrigeren Frequenzen haben gegenüber den höheren eine längere Laufzeit. Messungen haben gezeigt, daß die Laufzeitdifferenzen in der Größenordnung einiger Sekunden liegen. Wenn man die mittlere Dichte der Elektronen im interstellaren Raum kennt (durch sie kommen die Laufzeitdifferenzen zustande), kann man die Entfernung der Pulsare bestimmen. Dabei hat sich gezeigt, daß diese seltensamen Strahlungsquellen in unserer Galaxis verstreut sind. Ihr Abstand von der Sonne liegt (nach ersten vorläufigen Ergebnissen) zwischen einigen hundert und einigen tausend Lichtjahren.

So ist z. B. der Pulsar PSR 0834 etwa 360 Lichtjahre von uns entfernt. Die Radiostrahlung hat ihn also bereits verlassen, als die Erdbewohner weder etwas von der Elektrotechnik noch von der Radiotechnik und noch weniger von der Radioastronomie ahnten. In den 360 Jahren, in denen die Radiostrahlung vom Pulsar PSR 0834 zur Erde unterwegs war, haben die Bewohner unseres Planeten sehr viel gelernt.

Natürlich wurde versucht, die Pulsare mit sichtbaren Objekten zu identifizieren. Bisher gelang es aber nur, den Pulsar NP 0532 im Krebsnebel einwandfrei mit einem optisch sichtbaren Stern, nämlich dem Zentralstern im Krebsnebel, zu identifizieren. In dem Takt, in dem die Radioimpulse ausgestrahlt werden, ändert sich auch die Lichtstrahlung des Sternes: Der Stern blinkt uns periodisch zu!

Die Wissenschaft steht vor der interessanten Aufgabe, die entdeckte Erscheinung zu erklären. Vor der Entdeckung der Pulsare hatten die Astronomen weder im optischen Bereich noch in irgendwelchen anderen Bereichen solche

Impulsstrahlungen beobachtet. In den Pulsaren findet also irgendein für uns Menschen noch rätselhafter Strahlungsprozeß statt. Diese Sphinxen am Himmel ziehen die Blicke der Wissenschaftler vieler Länder magisch an.

Es wurde natürlich versucht, eine Erklärung für diesen Strahlungsprozeß zu finden. Nach einer der ersten Hypothesen ist ein Pulsar ein erlöschender weißer Zwerg, der Radialschwingungen ausführt. Diese Schwingungen wirken auf das den Stern umgebende Plasma ein und erzeugen derart starke Impulssignale. Die große Konstanz der Impulsperiode kann hierbei sehr gut durch die große Masse des schwingenden Körpers erklärt werden. Diese Hypothese wurde aber sehr schnell durch andere überholt.

Nach der gegenwärtig am häufigsten vertretenen Hypothese sind Pulsare Neutronensterne, die außerordentlich starke Magnetfelder haben. Sie drehen sich sehr schnell, und ihre kleinen Abmessungen (ihr Radius kann einige Kilometer betragen) erlauben eine Drehperiode, die gleich der Impulsperiode der Pulsare ist. Wahrscheinlich stoßen sie ionisiertes Gas aus, das sich an den Magnetfeldlinien radial nach außen bewegt. So entsteht eine Synchrotronstrahlung, deren Intensität periodisch mit der Drehung schwankt. Es sei bemerkt, daß die Existenz der Neutronensterne bisher nur theoretisch begründet wurde. Mathematische Theorien gibt es allerdings bis jetzt noch nicht.

Gedächtnis der Welt

Durch das Radiofenster dringen Strahlungen in großer Vielfalt zu uns. Die Quellen dieser Schwingungen und Wellen sind über das gesamte vom Menschen bis jetzt erforschte Weltall verstreut. Die Radiostrahlung bringt uns reiche Informationen über den Aufbau des Weltraums, über Prozesse, die sich gegenwärtig abspielen, und über solche, die in längst vergangenen Zeiten abliefen.

Wir müssen uns stets darüber im klaren sein, daß das Bild des Weltalls, das wir im Lichtfenster oder im Radiofenster erblicken, keinesfalls eine Momentaufnahme ist. Wir blicken zwar zu einem bestimmten Zeitpunkt von unserem Planeten Erde in das All. Unser Blick führt uns aber in die Vergangenheit zurück, und zwar um so mehr, je weiter das betrachtete Objekt von uns entfernt ist. Das Bild, das wir sehen, kann man mit einem Querschnitt durch die Erdrinde, bei dem wir gleichzeitig die Schichten (oft mit Resten aus der Tier- und Pflanzenwelt) verschiedener geologischer Epochen beobachten können, vergleichen. Je tiefer eine Schicht liegt, um so ältere Zeugen geologischer Epochen der Erde bewahrt sie.

Die Strahlen des uns nach der Sonne nächstgelegenen Sternes – α Centauri – brauchen 4 Jahre und 3 Monate bis zu uns. Bis zu den am weitesten von uns entfernten Sternen unseres Milchstraßensystems sind es etwa 100 000 Lichtjahre. Von Ereignissen, die sich auf einer der uns am nächsten liegenden Galaxien – dem Andromedanebel – abspielen, erfahren wir erst nach mehr als 2 Millionen Jahren. Von den am weitesten von uns entfernten Objekten, die bis heute festgestellt wurden – den Quasaren –, trifft die Radiostrahlung

erst etwa 10 Milliarden Jahre nach ihrem Start bei uns ein. Die unvorstellbaren Weiten des Weltalls sind also Speicher mit einer gigantischen Speicherzeit, die direkt proportional den Entfernungen ist. Sie sind das Gedächtnis der Natur!

Bei irdischen Vorhaben verzögern wir hin und wieder Signale mit Hilfe von besonderen Laufzeitgliedern. Allerdings sind die erreichbaren Verzögerungszeiten äußerst gering – Sekunden oder sogar nur Bruchteile davon.

Dagegen verfügt das Gedächtnis der Natur über mehr Möglichkeiten: Es gibt Laufzeiten von etwa einer Sekunde (Mond–Erde) bis zu etwa zehn Milliarden Jahren. Für unser Problem – das der Herstellung eines Funkkontaktes mit fremden Zivilisationen – hat das Vorhandensein dieser gigantischen Laufzeiten im Weltall wesentliche Bedeutung. Wie wir bereits gesehen haben, verlangt die Herstellung solch eines Kontaktes eine zeitliche Überschneidung des Bestehens der Zivilisationen. Die Zeitdauer der Existenz von Zivilisationen ist aber durch viele Faktoren begrenzt.

Wenn aber die eine oder andere Zivilisation mit hohem Entwicklungsstand versucht hat, sich mit Hilfe von Radiowellen einen Partner zu suchen, dann müssen auch noch lange nach ihrem Untergang die Signale irgendwo unterwegs sein. Es besteht also die Möglichkeit, sie doch noch aufzunehmen und zu entziffern. Möglicherweise findet man nicht nur Rufzeichen, sondern auch Gedanken und Erfahrungen der „grünen Menschlein“, die sie abgesendet haben.

Die Zivilisationen X und Y suchen einander

Optimist kontra Pessimist

(Beginn eines Streitgesprächs)

Pessimist (P): „Stimmt es, daß du eine Gruppe von Astronomen, Physikern und Mathematikern bildest, um Funkkontakte mit außerirdischen Zivilisationen zu suchen?“

Optimist (O): „Ja.“

P: „Mich zieht es wie mit einem Magneten zu euch hin, aber ich habe noch Zweifel. Verschwendet ihr nicht ergebnislos eure ‚besten Jahre‘? Was wollt ihr eigentlich machen?“

O: „Wir wollen eine Funkbrücke zu außerirdischen Zivilisationen durch den Kosmos schlagen. Die Brücke besteht aus Formeln, Grafiken, Rechnungen usw. Der Brückenpfeiler auf der Erde besteht aus Eisen: superleistungsfähige Sender, gigantische Antennen, die unser Alphabet zu fremden Planeten ausstrahlen sollen, und fast rauschlose Empfänger.“

P: „Aber gibt es denn auf der anderen Seite der Brücke im Kosmos irgend jemanden, der den zweiten Brückenpfeiler baut?“

O: „Irgendwo auf fernen Planeten im Weltall muß es Leben geben. Der Mensch hat doch schon so viel gelernt: Er beherrscht die Radiowellen, hat gelernt, sie zu senden und empfangen, er hat die Kybernetik entwickelt. . . Dieser Entwicklungsgang führt uns direkt zum Funkkontakt. Was hindert uns noch, ihn herzustellen? Was hindert uns am Bau der Funkbrücke?“

P: „Und wenn wir nun doch die einzigen vernunftbegabten Geschöpfe der Natur sind?“

O: „Bitte, sei nicht so überheblich, du Vertreter des irdischen Geschlechts! Im sichtbaren Teil des Weltalls zählen wir Milliarden mal Millionen Sterne. Zu vielen von ihnen gehören, angeschmiedet durch die Ketten der Schwerkraft, eigene Planeten. Das sind wiederum Milliarden. Und du meinst, daß sich nur auf einem einzigen Planeten vernunftbegabte Wesen entwickeln konnten? Bist du wirklich so ein ungläubiger Thomas? Du mußt doch zugeben, daß die Wahrscheinlichkeitstheorie auch für das Weltall zutrifft!“

P: „Nun, nehmen wir einmal an, daß ich das alles anerkenne.“

O: „Dann mußt du doch auch zugeben, daß sich die Bedingungen für die Entstehung von vernunftbegabtem Leben bei einer so unvorstellbar

großen, unsere Vorstellungskraft übersteigenden Anzahl von „Versuchen“ der Natur oftmals wiederholen müssen. Und dann denke weiterhin daran, daß die Natur ihre Versuche nicht nur einmal, sondern fortwährend seit Milliarden von Jahren macht. Die Sterne und ihre Planeten entstehen, sie entwickeln sich, sie gehen zugrunde, dann entstehen neue usw. Und das vergrößert die Vielfalt der Bedingungen für die Entstehung des Lebens.“

P: „Ich ergebe mich! Wir haben einmal gelernt, daß das Eintreffen eines unwahrscheinlichen Einzelereignisses ziemlich wahrscheinlich werden kann, wenn die Anzahl der Versuche sehr groß ist.

Aber schließlich kann es ja sein, daß die vernunftbegabten Wesen einer fremden Zivilisation die Radiowellen noch gar nicht kennen. Möglicherweise haben sie gerade erst jetzt das Ohmsche Gesetz entdeckt: Der Strom ist proportional der Spannung und umgekehrt proportional dem Widerstand. Für sie sind die Funkwellen vielleicht das, was ein Lichtstrahl für einen Blinden ist.“

O: „Natürlich kann man eine Funkbrücke nur dann aufbauen, wenn auf beiden Seiten des trennenden Abgrunds Brückenpfeiler errichtet werden. Aber woher hast du eigentlich deine Hypothese? Etwa aus deinem Skeptizismus?

Sag mal, ist eigentlich das Alter der vielen Sterne annähernd gleich?“

P: „Nein, natürlich nicht, es unterscheidet sich um Millionen und Milliarden Jahre.“

O: „Was folgt daraus?“

P: „Ich soll also die Schlußfolgerung ziehen, daß sich das Alter der verschiedenen Zivilisationen ebenfalls um Millionen und Milliarden Jahre unterscheiden kann?“

O: „Natürlich!“

P: „Aber die Zeitdauer der Existenz einer jeden Zivilisation ist doch begrenzt!“

O: „Wodurch?“

P: „Na, zumindest doch durch innerplanetarische Kriege.“

O: „Damit kommen doch vernunftbegabte Geschöpfe zurecht. Auch unsere junge Zivilisation wird sich an Kriege bald nur noch wie an einen Alptraum der Menschheit erinnern.“

P: „Na, und wie steht es mit der moralischen Ermüdung: Alle Probleme werden gelöst sein, Geheimnisse wird es nicht mehr geben, nur noch Sehnsucht und Langeweile . . .“

O: „Daran glaubst du doch selbst nicht. Das sind doch fremde Worte, die du da wiederholst. Glaubst du wirklich, daß einmal der Tag kommt, an dem wir das gesamte Weltall wie unsere eigene Tasche kennen? Du mußt außerdem bedenken, daß die Menschheit die Grenzen der Erkenntnis des Weltalls immer mehr erweitern wird.“

P: „Du hast recht. Ist denn aber deiner Meinung nach die Zeitdauer der Existenz der Zivilisationen durch nichts begrenzt?“

O: „Doch, sie ist begrenzt. Erstens durch die Ermüdung, das Absterben der

Sonnen und zweitens durch die Veränderung der Existenzbedingungen – starke Erhöhung der Strahlung, Veränderung des Klimas, ähnlich den Eiszeiten auf der Erde, usw. Drittens kann es zu kosmischen Katastrophen – zum Zusammenstoß von Himmelskörpern – kommen.“

P: „Na siehst du, das habe ich doch auch gesagt...“

O: „Warte doch ab. Die Lebenszeit der Sterne wird nach Milliarden Jahren gemessen. In dieser Zeit kann eine Zivilisation einen so hohen Stand der Technik erreichen, daß sie durchaus die Bewohner ihres Planeten auf andere Planeten umsiedeln kann.

Was dagegen die kosmischen Katastrophen betrifft, so ist deren Wahrscheinlichkeit verschwindend gering!“

P: „Auf welchen Entwicklungsstand außerirdischer Zivilisationen sollte man sich denn dann orientieren?“

O: „Sag mal, hast du schon einmal davon gehört, daß der sowjetische Astronom N. S. Kardaschew die existierenden Zivilisationen in drei Gruppen eingeteilt hat?“

P: „Wie kann man denn etwas in Gruppen teilen, wovon man noch gar keine Vorstellung hat?“

O: „Du wirst schon sehen, daß es möglich ist. Vorläufig haben wir freilich nur ein Exemplar einer Zivilisation als Anschauungsmaterial, wofür du allerdings, schon wegen deiner Skepsis, nicht gerade das beste Beispiel bist. Du weißt doch, was ein Exponent und was exponentielles Anwachsen ist?“

P: „Eine Exponentialfunktion ist doch die bekannte Relation $y = e^x$. Wenn x positiv ist und anwächst, wächst auch y exponentiell sehr stark an. Wenn ich mich nicht irre, wächst die Bevölkerungsdichte unserer Erde nach diesem Gesetz in Abhängigkeit von der Zeit an.“

O: „Stimmt genau. Auch die Energiemenge, die in jeder Sekunde von der Menschheit benötigt wird, wächst nach diesem Gesetz von Jahr zu Jahr. In den letzten 60 Jahren betrug dieser Zuwachs 3 bis 4% je Jahr.“

P: „Na und?“

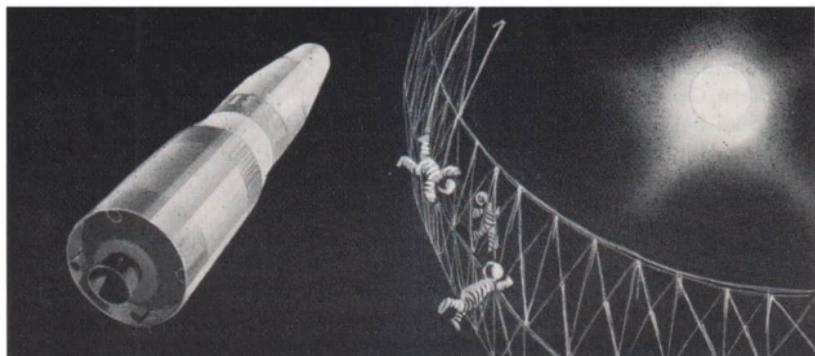
O: „Auch zukünftig wird der Energiebedarf der Menschheit ständig weiter anwachsen. Allerdings dürfen wir uns nicht vorstellen, daß er in das Unermessliche wächst, denn sowohl die Methoden der Energieerzeugung als auch die zur Ausnutzung der Energie werden immer vollkommener. Leider können wir aber nicht prognostizieren, welche neuen Methoden man finden und wann dies sein wird.“

P: „Kannst du das nicht an einem Beispiel erläutern?“

O: „Ja, gern! Vor wenigen Jahrzehnten entstanden die ersten elektronischen Computer, die noch relativ langsam arbeiteten und Anschlußleistungen von 100 kW und mehr hatten. Damals war der Transistor noch nicht erfunden. Niemand hätte zu dieser Zeit, als man das neue Bauelement noch nicht kannte, prognostizieren können, daß es bald viel leistungsfähigere Computer, die nur einen Bruchteil der Anschlußleistung benötigen, auf der Basis von Transistoren geben würde.“

P: „Welche Schlußfolgerung ziehst du daraus?“

- O: „Wir können uns heute nur vorstellen, daß der Energiebedarf der Menschheit ständig weiterwächst. Wir können auch vermuten, daß es eines Tages einen Umschlag in eine neue Qualität gibt – allerdings können wir dies nicht prognostizieren, weil uns noch jede Vorstellung fehlt, wie diese neue Qualität aussehen könnte. Und so bleibt uns jetzt nur übrig, von dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse auszugehen und mit einer späteren Korrektur unserer Vorstellungen zu rechnen.“
- P: „Und zu welchem Ergebnis kommt man, wenn man von unseren gegenwärtigen Erkenntnissen ausgeht?“
- O: Na, wenn man den jährlichen Zuwachs des Energiebedarfs lediglich mit 1% annimmt, dann benötigt die Menschheit in weniger als 3000 Jahren je Sekunde etwa soviel Energie, wie die Sonne je Sekunde an Energie abgibt! Und in etwa 5000 Jahren wäre der Energiebedarf auf einen Wert angestiegen, der der Energieabstrahlung von mehr als 100 Millionen Sonnen entspräche. Das ist nun mal die Logik der Entwicklung unserer Zivilisation. Sie gilt sicherlich auch für andere Zivilisationen. Man kann sich einfach keine Zivilisation vorstellen, in der der Energiebedarf nicht auch derartig ansteigen würde.“
- P: „Und was hat dein Kardaschew nun vorgeschlagen?“
- O: „Er hat die Zivilisationen in drei Gruppen aufgeteilt.
Die erste Gruppe: Der technische Stand der Zivilisationen ist ähnlich dem heutigen Stand auf der Erde. Der Energiebedarf beträgt ungefähr $4 \cdot 10^{19}$ erg/s = $4 \cdot 10^{12}$ W.
Die zweite Gruppe: Zivilisationen mit einem Energiebedarf, der der von ihrer Sonne ausgestrahlten Energiemenge nahekommt. Das sind ungefähr $4 \cdot 10^{33}$ erg/s = $4 \cdot 10^{26}$ W.
Und nun die dritte Gruppe: Zivilisationen, die Energie im Maßstab ihrer gesamten Galaxis benötigen. Der Energiebedarf wäre ungefähr $4 \cdot 10^{44}$ erg/s = $4 \cdot 10^{37}$ W.“
- P: „Wie könnte man denn die Energie eines Sternes gewinnen?“
- O: „Zum Beispiel mit einer ‚Dyson-Sphäre‘.“
- P: „Wer ist denn dieser Dyson?“
- O: „Dyson ist ein amerikanischer Wissenschaftler, Professor an der Princeton-Universität. Er hat Überlegungen angestellt, wie man die gesamte von einem Stern abgestrahlte Energie nutzen kann. Wenn uns auch seine Gedankengänge sehr phantastisch erscheinen, vermitteln sie uns doch ein Bild von den von uns noch zu lösenden Problemen.“
- P: „Erzähl man ein bißchen mehr!“
- O: „Aber gern. Was meinst du, was kann die Vorwärtsbewegung einer hochentwickelten Zivilisation einschränken?“
- P: „Das kann ich mir nicht vorstellen.“
- O: „Das ist die Begrenztheit der Materie und der Energie, die der Planet einer solchen Superzivilisation bietet. Schließlich fördern wir bereits gegenwärtig einen Kubikkilometer Erz im Jahr. Und was wird morgen sein? Auch hier gilt das Gesetz des exponentiellen Anwachsens!“



- P: „Das heißt, daß die Zivilisation zum Aussterben verurteilt ist?“
- O: „Du siehst schon wieder zu schwarz. Dyson meint, daß man auch dann noch mit Verstand Energie und Materie gewinnen kann.“
- P: „Und wie?“
- O: „Stell dir vor, daß man rund um die Sonne eine gigantische Sphäre mit einem Radius von vielen Millionen Kilometern baut. Dann wäre die gesamte von der Sonne in den unendlichen Kosmos ausgestrahlte Energie nur in dieser Sphäre konzentriert, und damit würde sie den Erbauern dieser Sphäre gehören.“
- P: „Und woraus baut man eine solche Sphäre? Etwa aus Plastikfolie?“
- O: „Warum nicht? Das Gerüst dieser Sphäre könnte man z. B. aus Standardbausteinen montieren – aus Stahlstäben mit einer Länge von 1 m und einem Durchmesser von 1 cm.“
- P: ???
- O: „Aus zwölf solcher Bausteine wird ein Oktaeder zusammengeschweißt. Viele solcher Oktaeder bilden dann die nächstgrößere Einheit, und aus zwölf solchen Einheiten wird ein noch größerer Körper gebaut usw.“
- P: „Dafür braucht man doch eine Unmenge Material?“
- O: „Ja sicher! Für die Realisierung dieses Planes könnte man unsere gute alte Erde ganz und gar aufbrauchen. Die Erdbewohner müßten dann zu einem neuen Wohnort – und zwar auf die Sphäre – umsiedeln. Man könnte allerdings die Erde auch als ein teures Andenken aufbewahren – sie ist ja immerhin die Wiege der Menschheit – und anstelle der Erde einen der anderen Planeten verarbeiten.“
- P: „Was denn, sollen wir dort Bergwerke eröffnen?“
- O: „Nein. Dyson hat eine andere Methode vorgeschlagen. Die Materie soll sich selbst vom Planeten losreißen. Die Erbauer der Dyson-Sphäre brauchen sie dann nur noch einzufangen. Mehr noch, Dyson ist der Meinung, daß wir uns auch die Sterne untertan machen können. Im äußersten Notfall könnte man auch ihnen einen Teil Materie entnehmen. Man muß sie nur schön darum bitten!“

P: „Machst du Witze?“

O: „Nein, durchaus nicht. Lies mal bei Dyson nach. Er zeigt, wie man das prinzipiell machen könnte. Man muß dabei freilich berücksichtigen, daß diese Operation ziemlich riskant ist und daß man das Leben der Menschen bei dieser Aktion natürlich irgendwie schützen müßte. Aber das ist eine Aufgabe für die Physiker und Mathematiker der fernen Zukunft. Das sind Ideen, was?“

P: „Einfach hinreißend!“

O: „Und du hattest Angst, daß wir in der Zukunft keine Arbeit mehr haben könnten.“

P: „Die Montage einer solchen Sphäre wird nicht einfach sein!“

O: „Kleinigkeit! Der erste Schritt ist bereits getan. Denk nur an das Koppungsmanöver der Sojus-Raumschiffe. Und wir kennen schon die ersten kosmischen Monteure und Schweißer: Die Kosmonauten *E. Chrunow*, *A. Jelisejew* und *W. Wolkow*.

Besteht denn ein prinzipieller Unterschied darin, was man koppelt und schweißt – Raumschiffe oder Oktaeder?“

P: „Ich glaube nicht. Aber nehmen wir einmal an, die Zivilisation Y (X wollen wir für uns selbst lassen, schließlich steht X an erster Stelle des bekannten Trios X, Y, Z) hat eine solche Sphäre gebaut. Sie hat damit die drohende Gefahr des Energiemangels auf ihrem Planeten weit von sich geschoben. Wie kann sie aber mit einer solchen Sphäre Signale abgeben? Wie wird sie den Kontakt suchen?“

O: „Ach, das ist ganz einfach! Man braucht das Gehäuse der Sphäre nur mit einem Werkstoff mit elektrisch steuerbarer Transparenz zu überziehen und dann entweder in das gesamte Weltall oder in eine bestimmte gewünschte Richtung (das wäre ökonomischer) zu blinken.“

P: „Du hast alles so überzeugend beschrieben, als hättest du bereits gesehen, wie nicht nur einige, sondern sogar einige Dutzend solcher Sphären blinken!“

O: „Aber nicht doch, ich habe bis jetzt nicht einmal eine einzige gesehen!“

P: „Sicherlich gibt es auch eine Theorie, die dafür eine logische Erklärung findet?“

O: „Eine solche Theorie gibt es nicht. Es kann aber mehrere Ursachen dafür geben, daß es diese Sphären noch nicht gibt. So können z. B. die uns am nächsten liegenden Zivilisationen diesen technischen Stand noch nicht erreicht haben, und andere, die ihn bereits erreicht haben, sind vielleicht zu weit von uns entfernt. Schließlich ist es möglich, daß sie auch ganz andere Wege gefunden haben.“

P: „Kann man daraus nicht auch schlußfolgern, daß unsere Funkbrücke zu diesen Zivilisationen genauso ungewiß ist? Sollte man dieses Projekt nicht vielleicht doch noch ein wenig verschieben?“

O: „Im Gegenteil! Da sie uns keine Blinkzeichen mit ihrer Sonne geben, heißt das, daß wir sie im Funkbereich suchen müssen!“

P: „Warum? Ich sehe darin keine Logik.“

- O: „Nun, weil es viel, viel leichter ist, einen leistungsfähigen Funksender aufzubauen, als einen Stern abzuschirmen und mit ihm zu blinken wie mit einer Taschenlampe!“
- P: „Ja, und welchen Entwicklungsstand der Technik werden diese Wesen denn haben?“
- O: „Der Entwicklungsstand wird sicherlich von unserem abweichen. Einige Zivilisationen haben vielleicht noch nicht einmal ihren Maxwell, Hertz oder Popow (diese Sorte hatte Kardaschew vernachlässigt; er hatte ihnen keine besondere Gruppe zugeteilt). Andere haben diese Etappe vielleicht schon vor Hunderten von Jahren durchlaufen. Es muß aber auch Superzivilisationen geben, die zur zweiten oder dritten Gruppe gehören. Sie verfügen über gigantische Energiereserven und haben sicherlich bereits schon lange ihren Teil der Funkbrücke aufgebaut. Sie steht vielleicht schon irgendwo im Kosmos bereit und wartet nur noch auf uns!“
- P: „Aber warum hören wir sie dann nicht?“
- O: „Das habe ich doch schon gesagt: Wir brauchen eine Apparatur, die dem letzten Stand der Erkenntnisse von Radioastronomie, Funktechnik und Kybernetik entspricht. Wir brauchen einen ständigen Abhördienst für den Himmel, eine sorgfältige Arbeit von seiten der Erdbewohner und, natürlich, Glaube an den Erfolg. Wir brauchen . . .“
- P: „Das heißt also, daß du für den Empirismus bei der Suche bist? Und ich hatte gehofft . . .“
- O: „Laß mich doch erst einmal ausreden!“
- P: „Ich sag' ja schon gar nichts mehr. Ich bin ganz Ohr!“
- O: „Parallel zum Experiment muß eine Theorie für den Funkverkehr zwischen den Zivilisationen entwickelt werden: Wo soll man suchen, wie soll man suchen, wie läßt sich ein vernünftiges Signal herausfinden, wie wird die fremde „Handschrift“ zu verstehen sein, wie . . . Nur der Zusammenklang von Theorie und Praxis sichert die Enträtselung des größten Naturgeheimnisses.“
- P: „Also hast du anscheinend die Absicht, die aktive Tätigkeit auf die Superzivilisationen abzuwälzen, und wir Menschen sollen schweigen und mit angehaltenem Atem lauschen? Was wäre, wenn alle so denken würden?“
- O: „Nein, ich bin ja auch gegen das Schweigen. Man muß rufen, soweit unsere Stimme in die Weiten des Weltalls reicht: ‚Hallooo! Wir sind hier! Wer seid ihr?‘ Möglicherweise wird man uns auch hören.“
- P: „Ich zweifle, daß unser ‚Hallooo!‘ auch nur bis zu den uns nächstliegenden Sternen dringt. Und wenn es sie erreicht, wann werden wir da eine Antwort bekommen?“
- O: „Sehr schnell werden wir eine Antwort nicht erhalten. Im günstigsten Fall nach zehn Jahren, wahrscheinlich aber erst wesentlich später.“
- P: „Siehst du! Welchen Sinn hat es dann, eine Funkbrücke zu bauen?“
- O: „Kennst du die zweite Grundidee von Kardaschew?“
- P: „Hat er etwa eine Methode gefunden, um schneller zu einer Antwort zu gelangen?“

- O: „Nein, das ist schlechterdings unmöglich.“
- P: „Was denn dann?“
- O: „Er ist der Meinung, daß jede hochentwickelte Zivilisation die Situation begreifen wird und, ohne auf Antwort zu warten, Informationen über sich selbst senden wird: sozialer Aufbau, Kenntnis der Naturgesetze, Stand der Technik, Geheimnisse der Kunst . . .“
- P: „Wie? Sie wird also gleichermaßen wie aus einem Füllhorn all ihre Geheimnisse über uns ergießen? Sogar, ohne zu wissen, ob auch nur ein Korn auf günstigen Boden fällt?“
- O: „Natürlich! Sie wird sogar noch weitergehen. Sie wird wissen, daß sich ein fruchtbarer Boden bestimmt findet und daß man Vernunft säen muß . . . Mehr noch, vielleicht ist die Informationsübertragung von den Fortgeschrittenen zu den Späterkommenden („Rückkopplung der Zivilisationen“) bereits ein gigantischer beschleunigender Faktor in der Entwicklung der Vernunft im Universum, mindestens kann sie es aber werden!“
- P: „Solch ein gewaltiger Strom von Informationen würde mir glatt die Sprache verschlagen! Jedoch – wir werden diesen Informationsstrom entweder gar nicht feststellen oder in ihm schwimmen, ohne irgend etwas zu verstehen, oder wir erwischen den Schwanz des letzten Geheimnisses, welches uns ohne die vorausgegangenen unverständlich bleiben muß.“
- O: „Ach was, es wird natürlich auch ein ganz einfaches ‚Hallooo!‘ dabei sein, und wir werden auch Signale für ein Fernstudium ihres Alphabets finden. Und dann erst werden die Geheimnisse über uns ausgeschüttet. Und alles wird viele Male wiederholt werden. Bestimmt noch öfter als manche alten Filme in unserem irdischen Fernsehen! Wir werden es schließlich mit einer Vernunft zu tun haben, die der unseren weit überlegen ist!“
- P: „Trotz allem – ich kann jedenfalls nicht an diesen gigantischen Informationsfluß glauben, ich glaub’ es einfach nicht . . .“
- O: „Ach was, du ungläubiger Thomas! Wenn du wirklich ernsthaft bei dieser Aufgabe mitmachen willst, dann müssen wir uns jetzt den Zahlen und Berechnungen für unsere Funkbrücke zuwenden. Nur so läßt sich dein Unglaube besiegen.“
- P: „Einverstanden!“
- O: „Nehmen wir an, die Zivilisationen X und Y versuchen, miteinander in Verbindung zu treten. Man kann die erforderliche Leistung ausrechnen . . .“
- Hier wollen wir die Streitenden erst einmal verlassen, denn wir müssen uns noch einige Kenntnisse aneignen, um das weitere Gespräch zu verstehen.

Kerben auf der Welle

„Ich, die elektromagnetische Welle, habe die und die Frequenz, die und die Amplitude und Phase. Die Quelle, die mich geschickt hat, befindet sich in jener Richtung. Welcher Art diese Quelle ist, ob natürlich oder künstlich, und warum sie mich ausgesendet hat, weiß ich nicht . . .“

Das ist die knappe Information, die uns eine Funkwelle gibt, wenn wir sie ganz eindringlich befragen.

Allerdings, ein wenig hat uns die Welle aus lauter Bescheidenheit noch verheimlicht. So kann man feststellen, ob sich die Quelle bewegt oder nicht und gegebenenfalls ob zu uns hin oder von uns weg. Weiterhin kann man, wenn man die Polarisationssebene der ankommenden Welle ermittelt, einige Schlußfolgerungen über den Charakter der Quelle ziehen.

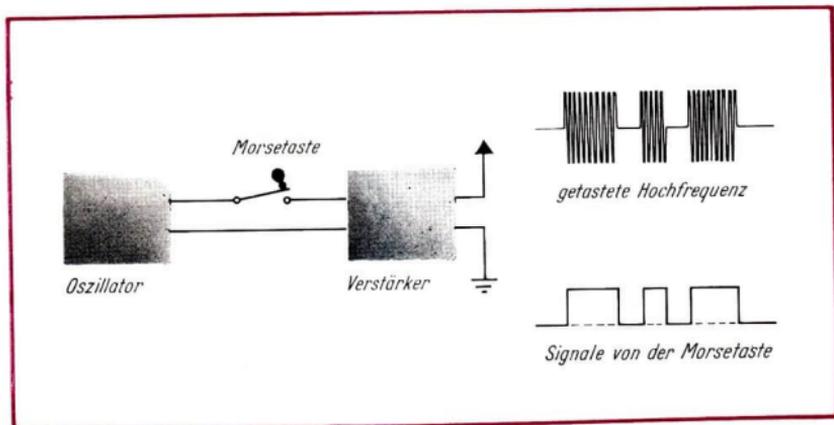
Schließlich weisen Änderungen der Amplitude, der Frequenz bzw. der Phase der Welle auf irgendwelche Änderungen hin, die entweder in der Quelle selbst oder in ihrer Umgebung vor sich gehen.

Wie kann man nun eine Welle veranlassen, eine inhaltsreichere Information, also z. B. Telegrafie-, Telefonie- oder Fernsehsignale, zu übertragen? Wie können wir in die Welle Kerben oder Merkzeichen einprägen?

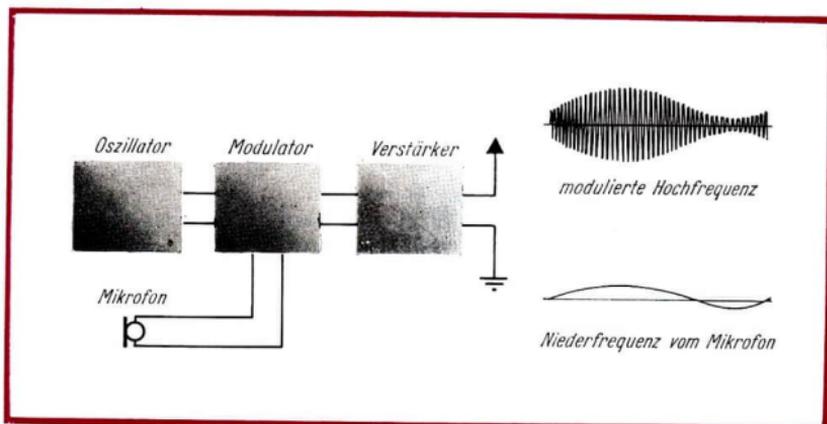
Der erste, der mit Hilfe ganz grober Kerben in eine Welle ein Telegramm übermittelte, war A. S. Popow. Das erste aller Funktelegramme („Heinrich Hertz“) wurde mit Hilfe des Morsealphabets übertragen. Während des Andauerns der Punkte und Striche der Morsebuchstaben wurde die Welle ausgestrahlt, und in den Pausen fehlte die Ausstrahlung.

Wenn wir in ein einfaches Kohlemikrofon sprechen, so veranlassen wir mit den Schallschwingungen unserer Sprache eine Membran zum Mitschwingen. Die Membran preßt das hinter ihr befindliche Kohlepulver mehr oder weniger stark zusammen. Damit ändern sich der Widerstand des Kohlepulvers und die Stärke des Stromes, der durch das Mikrofon fließt. So wird die Sprache in ein elektrisches Signal umgewandelt, das sich in eine Welle „einkerben“ läßt.

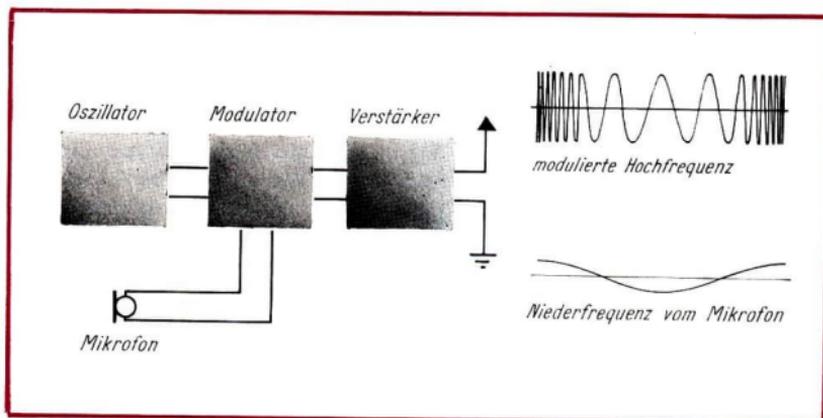
Bei der Übertragung eines Fernsehsignals muß nicht nur das komplizierte Bildsignal der Welle eingepreßt werden. Auch die Synchronisierimpulse müssen übertragen werden, damit der Elektronenstrahl das zu übertragende Bild richtig wiedergeben kann.



Prinzip der Hochfrequenzastung.



Prinzip der Amplitudenmodulation.



Prinzip der Frequenzmodulation.

Je mehr Informationen das zu übertragende Signal enthält, um so komplizierter wird es, und um so gewissenhafter müssen die „Einkerbungen“ in die Welle gemacht werden.

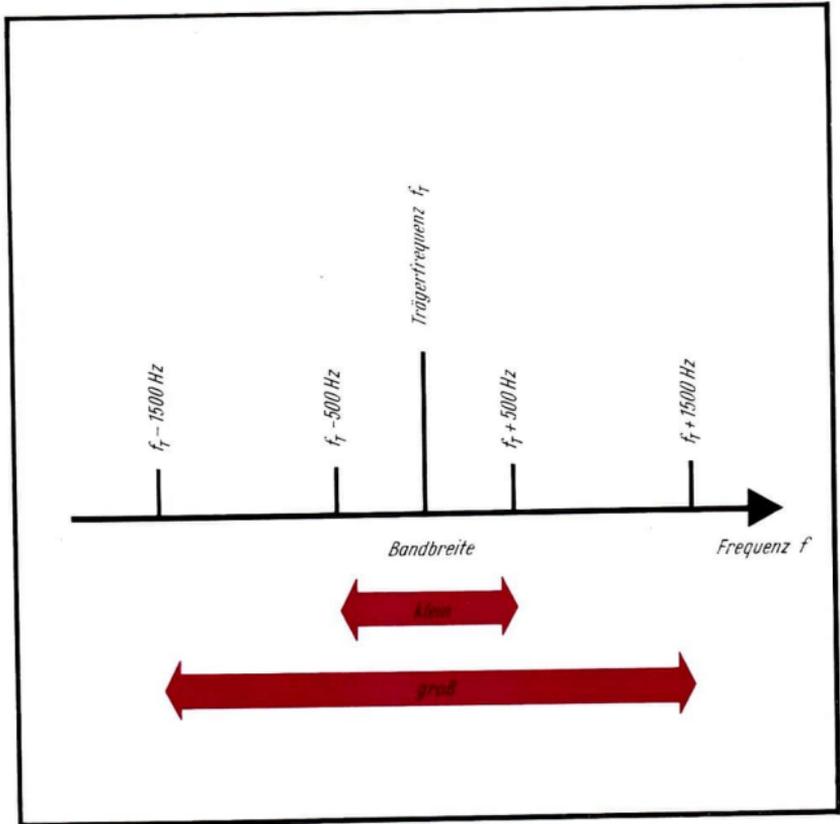
Das Wort „Einkerbungen“ erinnert uns an das Kerbholz aus vergangenen Zeiten, in das Informationen eingekerbt wurden. Wir wollen uns nun aber der Terminologie bedienen, die auch die Fachleute verwenden. Deshalb werden wir nachfolgend nur noch von der *Modulation*, dem Modulieren einer Welle sprechen. Wenn wir die Amplitude einer Welle durch das zu übertragende Signal beeinflussen, sprechen wir von *Amplitudenmodulation*. Beeinflusst das zu übertragende Signal die Frequenz der Welle, so erhalten wir eine *Frequenzmodulation*. Bei der Amplitudenmodulation bleibt die Frequenz der

Welle und bei der Frequenzmodulation die Amplitude der Welle unverändert. Wir haben bereits gesehen, daß jede beliebige Welle sowohl nach der Zeit als auch nach der Frequenz dargestellt werden kann. Das erinnert an die zwei Seiten einer Medaille.

Die Bilder auf der Seite 90 haben gezeigt, wie sich die Form einer modulierten Welle in der Zeit ändert. Was geht aber dabei auf der anderen Seite der Medaille vor sich?

Die sinusförmige Welle (oder Sinusschwingung) ist, wenn wir sie in Abhängigkeit von der Frequenz darstellen, ein Wunder an Schlantheit. Wenn sie nicht moduliert ist, sieht sie wie eine unendlich dünne Linie auf der Frequenzachse aus.

Sobald wir aber beginnen, Kerben in die Welle einzuprägen – Verzeihung, sie zu modulieren –, beginnt sie sich auf die benachbarten Frequenzen aus-



Mit dem Umfang der Information steigt die Bandbreite, die wir zu ihrer Übertragung benötigen.

zudehnen. Das muß auch so sein; denn eine komplizierte Schwingung, mit der wir die Welle modulieren, enthält ja nichts anderes als viele Schwingungen mit unterschiedlichen Frequenzen, Amplituden und Phasen. Da unsere Welle diese Schwingungen mit sich in die Weiten des Raumes trägt, wollen wir sie auch *Trägerfrequenz* oder kurz *Träger* nennen.

Durch die Modulation haben wir unserer schlanken Welle leider die Figur vollständig verdorben! Aus dem Ideal der Schlankheit wurde ein dicker Tolpatsch, und je umfangreicher die Information ist, die wir übertragen wollen, um so dicker wird er, und um so größer muß auch das dem Träger zugeordnete Frequenzband sein. Der Empfänger muß eine ausreichende *Bandbreite* für den Empfang einer solchen Information besitzen. Je mehr Informationen in einer bestimmten Zeit übertragen werden sollen, um so größer muß die Bandbreite des Empfängers sein. Und je größer die Bandbreite ist, um so mehr Störungen können leider auch in den Empfänger eindringen. Für uns wird es nun aber langsam Zeit, zum vollständigen Nachrichtenübertragungssystem überzugehen, d. h. zur Gesamtheit aller Elemente, die die Übertragung einer Information von einem Punkt des Raumes zu einem anderen ermöglichen.

Ein Nachrichtensystem, das auch die Zivilisationen X und Y miteinander verbinden kann, arbeitet (vereinfacht) folgendermaßen:

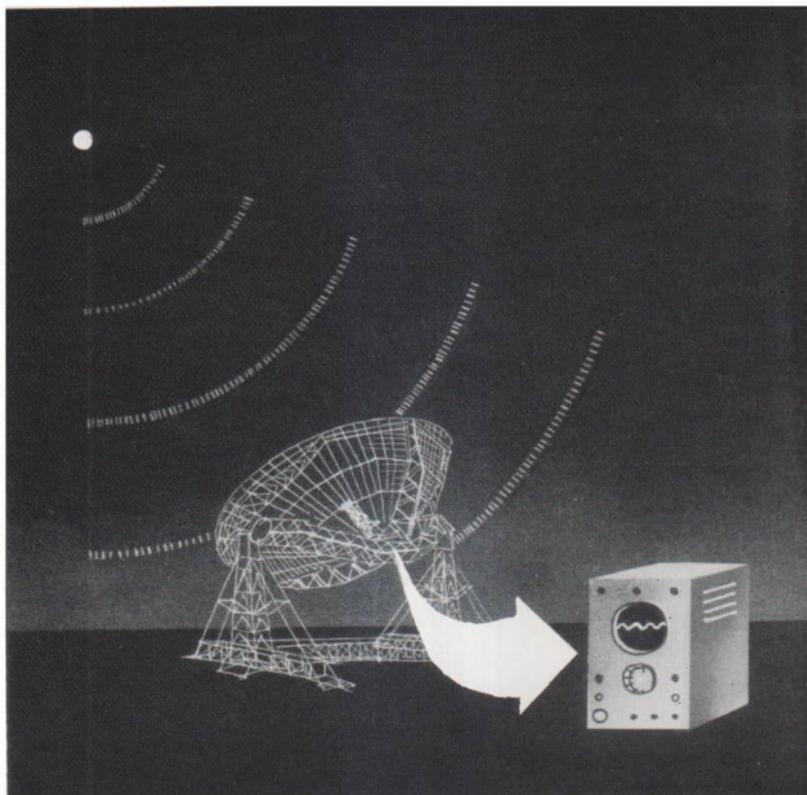
Die Informationen, die gesendet werden sollen, werden dem Sender zugeleitet. In ihm wird die Trägerfrequenz erzeugt, die mit der Information moduliert werden soll. Nach der Verstärkung des Frequenzgemisches bis zu der erforderlichen (oder maximal möglichen) Leistung wird die Schwingung von einer Antenne abgestrahlt. Die Welle erreicht, nachdem sie die Weiten des Weltalls durchlaufen hat, die Empfangsantenne. Der Empfänger verstärkt das aufgenommene Frequenzgemisch und entnimmt dem Träger die Information. Dieser Prozeß wird als *Demodulation* bezeichnet.

Nun stehen die gesendeten Informationen zur Verfügung. In unserem Nachrichtenübertragungssystem fehlt jedoch leider noch etwas: ein böser Feind, der das Signal auf seinem ganzen Weg verfolgt und ihm empfindliche Schläge versetzt.

Feind Nr. 1

Es ist naheliegend, zu fragen, über welche Entfernungen Nachrichtenverbindungen hergestellt werden können. Nun, jede Welle breitet sich theoretisch unendlich weit aus. Genau gesagt: Eine Welle erreicht unendlich entfernte Punkte mit einer unendlich kleinen Amplitude. Aus Erfahrung wissen wir jedoch, daß es für jede Schwingung (Schall, Licht, Rundfunkwellen) eine größte Entfernung gibt, nach deren Überschreiten man sie nicht mehr wahrnehmen kann. Woran liegt das? Trügt uns hier etwa die Theorie?

Wenn wir die Theorie mit der Praxis aussöhnen wollen, müssen wir beachten, daß es im Ausbreitungsmedium der Wellen eine chaotische Wärmebewegung der Moleküle gibt, die sich im Empfänger als *Rauschen* auswirkt. Außerdem hat jeder Empfänger einen eigenen Rauschpegel. (Davon kann man sich ganz



einfach überzeugen. Man schaltet einen Rundfunkempfänger ein, zieht den Antennenstecker heraus und stellt den Lautstärksteller auf maximale Lautstärke: Nun hört man ein Rauschen, welches dem Rauschen eines Spirituskochers ähnlich ist. Das ist das Eigenrauschen des Empfängers.) Beim Funkempfang verbinden sich das Rauschen, das im Ausbreitungsmedium der Wellen entsteht, und das Rauschen des Empfängers. Dadurch wird die Reichweite einer jeden Nachrichtenübertragung begrenzt.

Wenn die Amplitude des Nutzsignals die gleiche Größe hat wie die des Rauschpegels oder sogar kleiner wird, geht das schwankende Schiffchen des Signals im brausenden Meer der Störungen unter. Ich meine, daß der ständige Kampf um die Vergrößerung der Reichweite unserer Welle im Chaos des Rauschens ein wesentlicher Teil der Geschichte der Radiotechnik ist. Dieser Zweikampf mit dem Störteufel Rauschen, der auch heute noch geführt wird, ist vergleichbar mit dem jahrtausendealten Kampf der Menschheit mit den Unbilden des Meeres.



Das Rauschen setzt der Reichweite des Funkverkehrs eine Grenze. Es ist der Feind Nr. 1 aller Nachrichtenübertragungssysteme. Das Rauschen finden wir auch auf unserem Weg zum Funkkontakt. Wir wollen es deswegen näher kennenlernen.

Nehmen wir ein beliebiges Stückchen Metall – ein Blech, eine Leitung, einen Draht oder den Glühfaden einer Glühlampe. All diese Dinge sind ausgezeichnete elektrische Rauschgeneratoren. Das Rauschen wird hervorgerufen durch die Wärmebewegung elektrischer Ladungen. Deswegen nennen wir es *Wärmerauschen*.

Die sich in einer ständigen chaotischen Bewegung befindlichen elektrischen Ladungen rufen am Ende eines jeden Leiters eine Rauschspannung hervor. Schließlich ist ja der elektrische Strom auch nichts anderes als die Bewegung geladener Teilchen. Die Frequenzbandbreite des Rauschens ist sehr groß. Das Rauschen überdeckt den gesamten Funkbereich. Mehr noch, seine Intensität ist über den gesamten Frequenzbereich gleich.

Man spricht deshalb in Analogie zum weißen Licht, das ein Gemisch aller möglichen Farben (also Frequenzen) ist, vom *weißen Rauschen*. Wegen der gleichen Intensität des Rauschens im gesamten Frequenzbereich wird der Rauschpegel eines Leiters um so größer, je größer die Frequenzbandbreite ist, in der wir das Rauschen messen.

Jeder beliebige Leiter in einem Funkempfänger, ob Antenne, Verbindungskabel, Spule oder Widerstand, ist also ein Rauschgenerator. Am gefährlichsten ist das Wärmerauschen der Elemente des Empfängers vor dem Eingang der ersten Verstärkerstufe, weil das Signal dort noch sehr schwach ist.

H. Nyquist hat schon vor langer Zeit bewiesen, daß die Rauschspannung größer wird, wenn die Temperatur und der elektrische Widerstand des Leiters anwachsen. Es gibt also einen anscheinend ganz einfachen Weg, um all diese Rauschgeneratoren unwirksam zu machen. Man braucht sie nur bis zur Temperatur des absoluten Nullpunktes, d. h. auf 0 Kelvin = -273°C , abzukühlen. Dann hört die Wärmebewegung der Teilchen auf, und das Rauschen verschwindet. Es gelang jedoch bisher noch nicht, diese Idee technisch in vollem Umfang zu realisieren.

Eine zweite gefährliche Rauschquelle sind die Verstärkerstufen selbst. In ihnen werden elektronische Bauelemente, Röhren oder Halbleiterbauelemente, verwendet. Die Verstärkung wird dadurch erreicht, daß ein schwaches Signal einen stärkeren Fluß von Ladungsträgern steuert. Der Wasserhahn ist ein grobes Modell eines solchen Verstärkers – durch einen geringen Kraftaufwand am Ventil steuern wir einen starken Wasserstrahl.

Das ganze Unglück liegt nun darin, daß der Fluß der Ladungsträger in den Röhren bzw. Halbleiterbauelementen nicht genau konstant ist. Er schwankt nach einem Zufallsgesetz um den eingestellten Mittelwert. Deswegen ist auch die Größe des verstärkten Signals nicht ganz konstant. Das verstärkte Signal ist also mit einem Rauschen behaftet, das dem Wärmerauschen ähnlich ist und das häufig als *Schroteffekt* bezeichnet wird.

Das Wärmerauschen und das Rauschen der Verstärkerbauelemente summieren sich zum resultierenden Rauschen des Empfängers. Es ist wegen der vielen vorhandenen Rauschquellen sehr schwierig, den Zweikampf zwischen Signal und Störung zu analysieren. Deswegen ersetzt man in Gedanken den realen Empfänger durch einen idealen Empfänger, in dem kein Rauschen auftritt. An den Eingang dieses Wunderempfängers wird ein Rauschgenerator geschaltet. Dessen Leistung wird so gewählt, daß er in dem rauschlosen Empfänger ein Rauschen erzeugt, das dem Rauschen des realen Empfängers entspricht. Dieses Verfahren ist durchaus zulässig, denn an dem Verhältnis zwischen „gut“ und „böse“ ändert sich dadurch nichts. Jahrzehntlang hat man die Rauschspannung eines Empfängers in Mikrovolt angegeben. Inzwischen erkannte man, daß es günstiger ist, das Rauschen in Kelvin zu messen. In der technischen Charakteristik eines Empfängers steht dann z. B. Rauschtemperatur 50 K.

Was bedeutet der Begriff *Rauschtemperatur*? Gibt es denn ein heißes und ein kaltes Rauschen? Kann man das Rauschen eines Empfängers mit dem Thermometer messen?

Wir haben bereits erfahren, daß die Rauschspannung eines Leiters bzw. Widerstands von der Temperatur und von seinem Widerstandswert abhängig ist. Wenn wir an den Eingang eines Empfängers einen Widerstand schalten, so ruft dieser im Empfänger ein Rauschen hervor; er ist also ein Rauschgenerator. Den Widerstandswert wählen wir so groß, daß er gleich dem Widerstand des Empfängereingangs ist. Wenn sich nun die Temperatur ändert, ändert sich auch die Rauschspannung, die am Widerstand und damit am Empfängereingang liegt. Zu jedem Rauschspannungswert gehört also (bei konstantem Widerstandswert) eine bestimmte Temperatur. Mit der Angabe der Rauschtemperatur geben wir also die Stärke des Rauschens an.

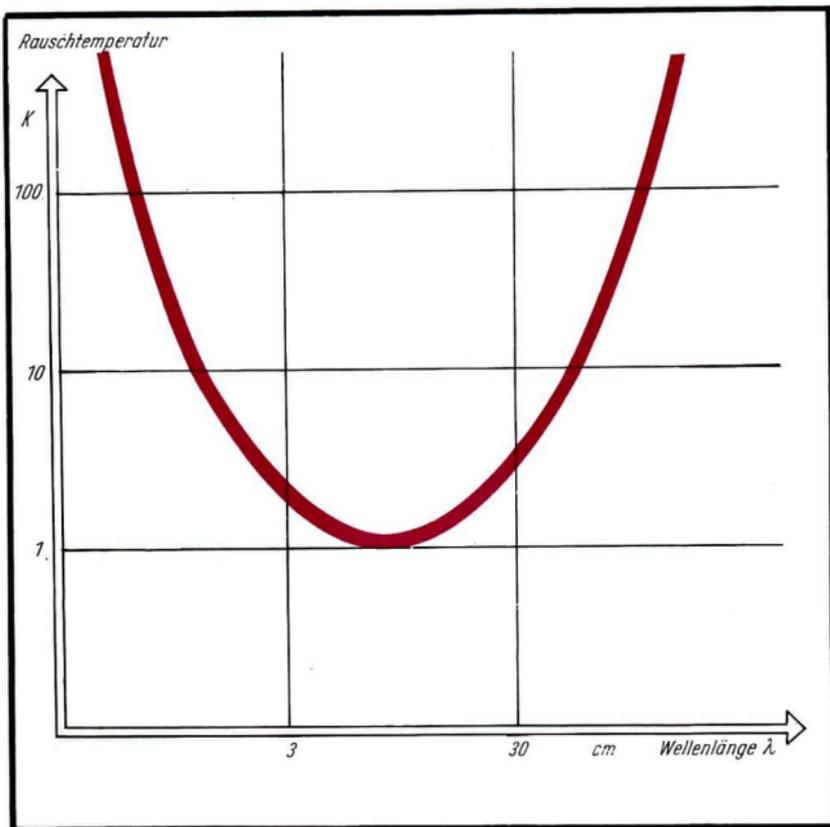
Der erbitterte Kampf um die Verringerung der Rauschtemperatur der Empfänger war in den letzten Jahren sehr erfolgreich. Es gelang, Empfänger zu entwickeln, bei denen das „Thermometer“ nicht mehr 1 500 bis 2 000 K, sondern nur noch 20 bis 50 K zeigt. Dieser gewaltige Fortschritt wurde vor allem durch das Kühlen der Eingangsstufe des Empfängers auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt erreicht.

Die äußeren Feinde der Nachrichtenübertragung im All sind vor allem die Wärme- und Synchrotronstrahlung der Himmelskörper der Milchstraße und der anderen Galaxien. Dieses Rauschen hat ein kontinuierliches Spektrum, dessen Amplitude mit kürzer werdender Wellenlänge abnimmt. Es erreicht ein Maximum, wenn man das Radioteleskop auf das Zentrum der Galaxis richtet (dort ist das Magnetfeld am stärksten und die Dichte der Elektronen am größten), und es erreicht ein Minimum, wenn man das Teleskop auf die Pole der Galaxis richtet.

Wenn man den Einfluß der von den Himmelskörpern hervorgerufenen Störungen verringern möchte, muß man mit sehr kurzen Wellen arbeiten. Die Verringerung der Wellenlänge führt aber leider zum Auftreten einer neuen Art des Rauschens – dem *Quantenrauschen*, das auf Grund der diskreten Struktur der Strahlungsflüsse entsteht. Die Strahlungsquanten kommen dann gewissermaßen einzeln an, so daß kein ungestörter Empfang mehr möglich ist. Außerdem tritt bei Wellenlängen unter 3 cm ein atmosphärisches Rauschen auf, das man allerdings ausschalten kann, wenn man die Empfangsgeräte außerhalb der Atmosphäre betreibt, z. B. in Satelliten.

Da das Rauschen der Himmelskörper mit kürzer werdender Wellenlänge abnimmt, das Quantenrauschen dagegen zunimmt, muß es eine Wellenlänge geben, bei der das Rauschen ein Minimum hat. Wenn wir ein Radioteleskop auf das Zentrum der Galaxis richten und den Rauschpegel in Abhängigkeit von der Frequenz messen (auch hier benutzen wir das Kelvin als Maßeinheit), dann erhalten wir eine Kurve, wie sie das Bild zeigt. Hätten wir unser Teleskop auf den Pol der Galaxis gerichtet, so würde das Minimum der Kurve noch tiefer liegen. Die Kurve zeigt, daß die Rauschtemperatur im Wellenbereich von 3 bis 10 cm am niedrigsten ist; sie beträgt dort nur einige Kelvin. Wir Erdenbürger haben wieder einmal ausgesprochenes Glück; denn das Minimum paßt ganz genau in das Radiofenster unseres Planeten.

Das Nachrichtenübertragungssystem, das wir auf Seite 92 betrachtet haben, ist



Da das kosmische Rauschen mit kürzer werdender Wellenlänge weniger in Erscheinung tritt, das Quantenrauschen dagegen zunimmt, zeigt die Rauschtemperatur bei etwa 10 cm Wellenlänge ein deutliches Minimum.

also noch nicht vollständig. Man muß auch noch den Einfluß des Rauschens berücksichtigen, am einfachsten durch Rauschgeneratoren, die man in das Blockschaltbild einfügt.

Aus voller Kehle

Kann man das Rauschen nicht einfach übertönen, also mit roher Gewalt unwirksam machen? Man kann es – allerdings nur bei sehr geringen Entfernungen zwischen Sender und Empfänger. Wir wissen vom Rundfunkempfang, daß wir die Ortssender sehr gut hören. Der Empfang von weit entfernten Stationen ist aber schlecht und durch Störungen stark beeinträchtigt.

Wenn wir ein Signal einwandfrei aufnehmen wollen, muß es kräftiger sein als die Störungen. Um wieviel kräftiger es sein muß, hängt von der Art der Modulation, der Übertragungsgeschwindigkeit, den zulässigen Fehlern usw. ab. Ganz allgemein kann man sagen, daß ein Signal zehn- bis tausendmal stärker als die Störungen sein muß.

Die Leistung, die von der Antenne eines Empfängers aufgenommen wird (gleichgültig, ob ein Signal oder eine Störung empfangen wird), wird mit zunehmender Entfernung von der Quelle schwächer. Nicht jeder weiß, daß die Leistung sehr schnell abnimmt – proportional zum Quadrat der Entfernung. Wenn also die zu überbrückende Entfernung verdoppelt wird, verringert sich die vom Empfänger aufgenommene Leistung auf ein Viertel. Verhundertfacht man die zu überbrückende Entfernung, so verringert sich die Leistung auf ein Zehntausendstel.

Dieses Gesetz läßt sich leicht beweisen. Wir stellen eine Kerze in die Mitte einer Kugel und beleuchten mit ihr die Innenfläche A der Kugel, die wir nach $A = 4 \pi r^2$ berechnen können. Die Formel zeigt, daß die Innenfläche A der Kugel proportional mit dem Quadrat des Radius r wächst. Das Licht der Kerze muß ja die gesamte Innenfläche der Kugel beleuchten, und deren Oberfläche wächst mit r^2 . Was für das Licht in der Kugel gilt, gilt auch für die Radiostrahlung im Raum.

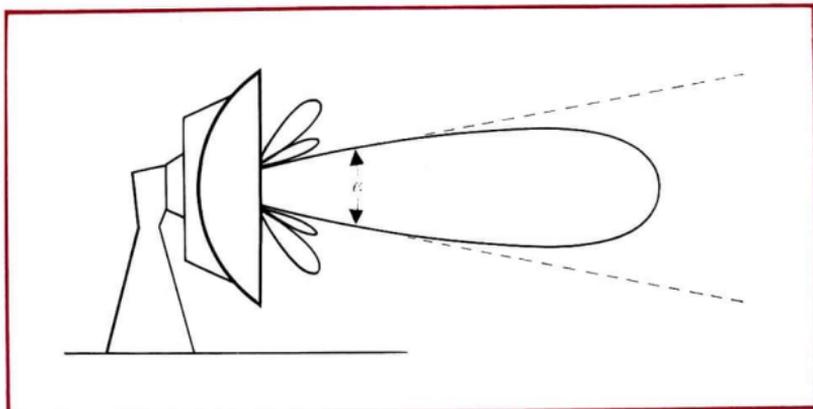
Das Gesetz, nach dem die Intensität der Wellen mit dem Quadrat der zu überbrückenden Entfernung abnimmt, ist ein Hemmnis auf unserem Weg zum Funkkontakt. Wir können uns höchstens damit trösten, daß die Intensität mit r^2 und nicht mit r^3 abnimmt. Ich erinnere mich da an den Dialog zweier Studenten, die beim plötzlichen Bremsen des Zuges mit den Köpfen zusammenstießen: „Hätte nicht Newton für die kinetische Energie nur einfach $mv/2$ anstelle von $mv^2/2$ schreiben können?“ – „Du solltest lieber dankbar sein für die 2 im Nenner, schließlich wird durch sie der blaue Fleck um die Hälfte kleiner!“

Man hat auf unserem Planeten bereits Sender gebaut, die im Wellenbereich des Radiofensters einige zehn Megawatt Leistung bei Impulsbetrieb und einige zehn Kilowatt Leistung bei kontinuierlichem Betrieb erzeugen. Diese Leistungen genügen aber noch nicht, um die Störungen im Kosmos einfach zu übertönen. Wir müssen also außerdem versuchen, das Verhältnis Signal/Störung beim Empfang zu verbessern. Auch das Signal selbst darf nur wenig empfindlich gegenüber Störungen sein.

„Sie liebt mich – sie liebt mich nicht“

Wenn wir die von unserem Sender erzeugte Welle nicht gleichmäßig in den Raum strahlen (also nicht die gesamte Innenfläche der Kugel beleuchten), sondern in eine bestimmte Richtung konzentrieren, können wir die Reichweite des Senders beträchtlich erhöhen. Das Licht können wir mit Scheinwerfern bündeln, und die Radiostrahlung bündeln wir mit Richtantennen.

Die Entwicklung von Antennen mit guter Richtwirkung ist eine schwierige und interessante mathematische und konstruktive Aufgabe. Die Antenne muß die nach allen Seiten laufenden Wellen sammeln und als schmales Bündel in eine



Das Bild zeigt schematisch einen Schnitt durch die Charakteristik einer Parabolantenne. Das Ganze muß man sich räumlich vorstellen. Eingezeichnet ist der wichtige Öffnungswinkel α der Hauptkeule.

bestimmte Richtung abstrahlen. Die Charakteristiken der Antennen zeigen, in welche Richtungen die Energie des Senders vorzugsweise abgestrahlt wird. Sie sehen wie Blütenblätter aus. Es gibt aber einen Unterschied zur Blüte; denn eines der Blütenblätter ist besonders groß. Und in die Richtung dieses großen Blütenblatts werden die Wellen vorzugsweise gesendet. Die kleinen Blätter sind Nebenprodukte, die entstehen, weil man doch nicht alle Wellen erfassen und in die gewünschte Richtung bringen kann.

Wenn man an den Blütenblättern des Richtstrahldiagramms seine Aussichten in der Liebe abzählt und gerade bis zu dem großen Blütenblatt kommt – Welch ein Glück hat man dann zu erwarten! Leider sind die Antennenfachleute wenig poetisch veranlagt und bezeichnen die Blütenblätter einfach als – Keulen. Schade, nicht wahr?

Je schmäler die Hauptkeule ist (je kleiner also der Winkel α ist) und je kleiner die Flächen der Nebenkeulen sind, um so größer ist die Reichweite.

Der Winkel α hängt vom Verhältnis Durchmesser des Reflektors der Antenne zu Wellenlänge ab. Je größer dieses Verhältnis ist, um so schmäler ist die Hauptkeule. Man hat bereits Antennen gebaut, die für Zentimeterwellen bestimmt sind und deren Durchmesser bei 100 m liegt. Mit solchen Antennen gelingt es, Hauptkeulen zu erzielen, deren Breite Bruchteile eines Winkelgrads beträgt. Bezogen auf die Richtung der Hauptkeule ergibt sich ein gewaltiger Gewinn – so groß, als ob man die Sendeleistung auf mehr als das Zehntausendfache erhöht hätte. Leider gilt aber das Gesetz der quadratischen Abnahme der Intensität der Welle mit der Entfernung auch für die Richtantenne.

Kann man die Reichweite einer Antenne noch weiter steigern, indem man den Antennendurchmesser immer mehr vergrößert? Bedauerlicherweise sind auch hier Grenzen gesetzt; denn trotz der Vergrößerung der Antennenabmessungen

darf die Genauigkeit der Oberflächenbearbeitung des Reflektors nicht abnehmen. Wenn man den Durchmesser der Antenne erhöht, die relative Genauigkeit des Reflektors aber nicht, dann fallen die Wellen nicht genau zusammen, sie summieren sich also nicht, und die Hauptkeule wird nicht schmaler. Der Reflektor wird zwar größer, aber er verzerrt.

Die Genauigkeit der Bearbeitung liegt bei den bereits realisierten Antennendurchmessern schon fast an der Grenze des Möglichen. Sie wird u. a. von den unvermeidlichen Temperaturschwankungen, der Feuchtigkeit und der Alterung des Werkstoffs gesetzt.

Die Überlegungen, die wir über die Sendeantennen angestellt haben, gelten natürlich auch für die Empfangsantennen. Je größer die Antenne ist, um so mehr Radiostrahlung sammelt sie, und um so größer ist die Leistung des Signals am Empfängereingang.

Gigantische Antennen auf beiden Seiten der miteinander korrespondierenden Planeten sind also ein unvermeidliches Attribut eines interstellaren Nachrichtenübertragungssystems.

Hokuspokus

Der Mensch nimmt ununterbrochen vielfältige Informationen aus seiner Umgebung auf, Informationen über kontinuierlich, stetig ablaufende Ereignisse und Informationen über diskrete, unstetige Ereignisse.



Wir befinden uns als Zuschauer auf einem Sportplatz. Das Fußballspiel hat gerade angefangen. Wenn wir den Ball, die Spieler, die Tore verfolgen, nehmen wir eine komplizierte *kontinuierliche*, stetige Information über den Spielverlauf auf.

Der Schiedsrichter pfeift. Das ist ein typisches Beispiel für eine *diskrete*, unstetige Information. Sie kann nur zwei Werte annehmen: Entweder pfeift der Schiedsrichter oder er pfeift nicht – ja oder nein. Eine solche zweiwertige Information wird als *Binärinformation* bezeichnet. Und jetzt wird ein Tor geschossen! Das ist ein weiteres Beispiel für eine diskrete binäre Information – entweder ist der Ball im Tor oder nicht.



Im Verlauf des Spieles erscheinen an der Anzeigetafel Zahlen für die Anzahl der geschossenen Tore. Auch hier finden wir eine diskrete Information, jedoch diesmal keine binäre. Die Anzahl der Elemente, aus der die Information zusammengesetzt wird, ist gleich 10. Die Information wird deshalb als *dezimale* Information bezeichnet.

Jede Information kann mit Hilfe von Wandlern (Fernsehkamera, Mikrofon, Telegrafengerät usw.) in ein elektrisches Signal umgewandelt werden. Natürlich gibt es auch zwei Arten von elektrischen Signalen – kontinuierliche und diskrete. Ein Beispiel für ein kompliziertes kontinuierliches Signal ist das Fernsehsignal. Man könnte es z. B. mit der Kompliziertheit des Umrisses der Preobraschenski-Kirche in Kishi vergleichen, die, wie wir wissen, von genialen Händen lediglich aus Holz und ohne einen einzigen Nagel erbaut wurde. Das einfachste Binärsignal – ja/nein – läßt sich z. B. mit den Zinnen einer Burgmauer vergleichen.

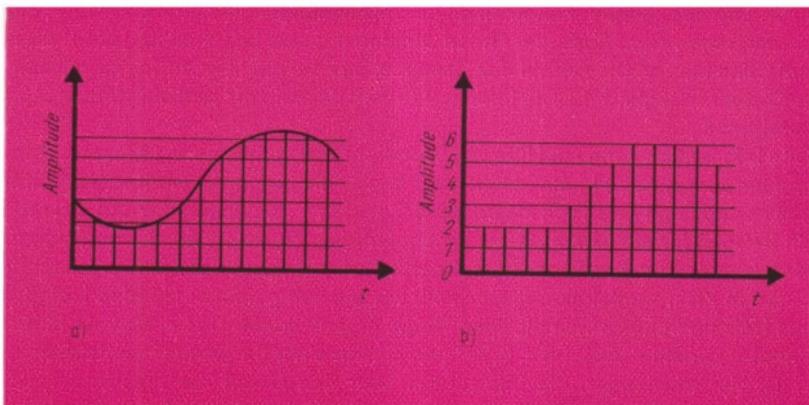
Es ist viel schwieriger, die Information über den Umriss der Preobraschenski-Kirche als die über den Umriss einer Burgmauer über einen Nachrichtenkanal zu übertragen. Es gibt aber einen Weg, um die erste Information genauso einfach übertragbar zu machen wie die zweite. Dieses Zauberkunststück müssen wir in drei Schritten ausführen.

Erster Schritt. Aus dem Signal muß alles Überflüssige, was keine Information trägt, entfernt werden. Deswegen übertragen wir nicht mehr das gesamte Signal, sondern entnehmen ihm in bestimmten Zeitabständen „Proben“. Alles übrige wird fortgelassen. Die verbleibenden „Proben“ bewahren, so eigenartig das auf den ersten Blick auch aussehen mag, die gesamte Information des ursprünglichen kontinuierlichen Signals.

Einem kontinuierlichen Sprachsignal mit der Bandbreite 300 bis 3 000 Hz muß man z. B. 6 000 „Proben“ je Sekunde entnehmen. Nach diesen „Proben“, die die Form von Impulsen haben, kann das ursprüngliche Signal mit absoluter Genauigkeit wiederhergestellt werden. Alle mit der „Probenentnahme“ aus Signalen zusammenhängenden Fragen hat *Kotel'nikow* mit seinem „Abtasttheorem“ beantwortet.

Zweiter Schritt. Die Amplituden der entnommenen „Proben“, also die der entstandenen Impulse, können – zwischen einem Minimalwert und einem Maximalwert – jeden beliebigen Wert annehmen. Wir wollen nun nicht mehr den genauen Wert wissen, sondern ihn abrunden. Dazu legen wir eine begrenzte Anzahl von Standardwerten fest und ermitteln, welchem der Standardwerte der jeweilige Impuls am nächsten kommt. Diese Standardwerte werden übertragen. Je größer ihre Anzahl ist, um so genauer wird das Signal übertragen. So kann man z. B. ein Sprachsignal in 127 Standardwerte aufteilen. Das aus den abgerundeten Impulsen wiederhergestellte Sprachsignal unterscheidet sich dann praktisch nicht vom ursprünglichen Signal.

Warum darf man sich auf die Übertragung eines abgerundeten Standardwerts der Impulsamplitude anstelle des genauen Wertes einlassen? Der Informationsempfänger (Ohr, Auge, Relais u. ä.) ist nicht in der Lage, beliebig kleine Amplitudendifferenzen zu erkennen. Wenn man also ausreichend viele Standardwerte festlegt, bemerkt er die kleinen Abweichungen nicht.



Bei der Pulskodemodulation wird zunächst das kontinuierliche Signal quantisiert (a), dann werden die so entstandenen „Proben“ ab- bzw. aufgerundet (b). Nicht eingezeichnet ist die kodierte Übertragung der – in unserem Beispiel sieben – Impulsamplituden.

Dritter Schritt. Wir nummerieren die Standardwerte durch – in unserem Beispiel hat der kleinste die Nummer 1 und der größte die Nummer 127. Nun übertragen wir nicht mehr die Impulse, sondern einfach die entsprechenden Nummern. Es ist zweckmäßig, diese Nummern nicht im Dezimalsystem, sondern im Binärsystem anzugeben. Dadurch wird es möglich, jede beliebige Nummer durch eine Gruppe von 7 Ja-Nein-Schritten darzustellen.

Nach diesen drei Schritten hat unser kompliziertes und häufig auch sehr empfindliches ursprüngliches Signal die Form eines Binärsignals angenommen. Dieses Verfahren ist unter dem Namen *Pulskodemodulation* (PCM) bekannt geworden.

Damit hätten wir unser Zauberstück hinter uns gebracht. Sie, lieber Leser, werden nun aber sicher fragen, wie es möglich ist, ein Signal so zu vereinfachen und dabei doch den Informationsumfang beizubehalten. Nun, wir bekommen nirgendwo in der Technik etwas geschenkt. Alles, was wir, bezogen auf die Zeitachse, vereinfacht haben, müssen wir an anderer Stelle bezahlen. Wir sehen auf der Frequenzachse, daß die Bandbreite unseres Signals um weit mehr als eine Größenordnung gewachsen ist. In dem Kanal, der zur Übertragung des einen PCM-Signals erforderlich ist, könnte man also mehr als zehn Signale in der ursprünglichen kontinuierlichen Form übertragen. Dafür haben wir aber jetzt ein grobes, bequemes Signal zur Verfügung, das gut zur Weiterverarbeitung in einem Computer geeignet ist. Man kann mit ihm noch viele andere Kunststückchen machen, aber darauf kommen wir später zurück. Hier sei lediglich noch vermerkt, daß man jede beliebige Information in ein ganz einfaches diskretes Signal, auch in das allereinfachste – das Binärsignal – verwandeln kann.

Etwas einfacheres als ein Binärsignal mit seinen beiden Werten ja und

nein gibt es nicht. Eine ununterbrochene Wiederholung von ja, ja, ja oder nein, nein, nein enthält keinerlei Information. Informationen kann man erst dann übermitteln, wenn es die beiden Werte ja und nein gibt.

Wie wird die Information moduliert?

Im Rundfunk werden die Informationen von Anfang an, also seit einem halben Jahrhundert, der Amplitude der Radiowelle aufgebürdet. Bald kam auch die Frequenzmodulation dazu. Später tauchte eine neue, genial einfache Idee auf. Wenn man aus der kontinuierlichen Radiowelle kurze Abschnitte herausschneidet (so wie man aus einem Papierband viele schmale Schnipsel ausschneiden kann), entstehen Impulse. Es gibt viele Möglichkeiten, die Impulse zu modulieren. Ein Impuls hat viele Parameter, und alle können verändert werden: die Amplitude, die Breite, die Frequenz, die Phase, die wechselseitige Anordnung usw. Damit entstand die große Familie der *Impulsmodulationsarten*.

In der letzten Zeit wurde unerwartet noch ein neuer Informationsträger gefunden: das Rauschen. Ja, ausgerechnet der Feind aller Nachrichtenübertragungssysteme! Das erstaunlichste ist aber, daß gerade das Rauschen einen maximalen Informationsfluß ermöglicht. Das wurde vom Schöpfer der Informationstheorie, *Claude Shannon*, glänzend bewiesen.

Wie kann man das Rauschen veranlassen, Informationen zu übertragen? Schließlich ändern sich alle seine Parameter, die Amplitude, die Frequenz und die Phase, chaotisch. Da gibt es nichts, was beständig wäre, keinen konstanten Parameter, den man mit der Information modulieren könnte. Das ist alles richtig. Und dennoch gibt es einen konstanten Parameter – das ist das Chaos selbst. Und dieses Chaos muß man steuern!

Verdeutlichen wir uns dies mit einem einfachen Beispiel: Am Sende- und am Empfangsort werden je zwei Rauschgeneratoren aufgestellt, die unterschiedliche Rauschspektren erzeugen. Wenn wir das Zeichen „Ja“ senden wollen, schalten wir den ersten Generator mit dem einen Rauschspektrum ein. Soll „Nein“ gesendet werden, dann schalten wir den zweiten Generator mit dem anderen Rauschspektrum ein. Am Empfangsort braucht dann das ankommende Rauschen nur mit dem Rauschen der beiden vorhandenen Rauschgeneratoren verglichen und entschieden zu werden, was übertragen wurde – ja oder nein.

Hier haben wir nur die wichtigsten Modulationsverfahren betrachtet; inzwischen sind so viele neue entwickelt worden, daß es kaum noch möglich ist, sie alle zusammenzustellen und zu klassifizieren. Wir wollen uns hier mit dem zufriedengeben, was wir bereits kennengelernt haben. Nun wollen wir der Einfachheit halber nur zwei Signalarten untersuchen: die kontinuierliche harmonische Schwingung (also einen Träger ohne Modulation) und Binärsignale.

Wie wir bereits gesehen haben, kann man jede beliebige Information in eine Binärinformation verwandeln. Dann ist die Übertragung am einfachsten und am wenigsten gegen Störungen anfällig. Deshalb ist die Verwendung von Binärinformationen auch im interstellaren Nachrichtenverkehr zweckmäßig. Die Modulation von Binärinformationen werden wir im folgenden Abschnitt behandeln.

Wir wollen uns jetzt einem in der Radiotechnik in den letzten Jahren sehr aktuell gewordenen Begriff zuwenden, dem Begriff der *Redundanz*.

Was ist Redundanz? Redundanz heißt Weitschweifigkeit. Sie ist so etwas wie das fünfte Rad, das die Kraftfahrer als Ersatzrad mit sich führen.

Eine bestimmte Informationsmenge kann bei Vorhandensein einer bestimmten Bandbreite Δf des Übertragungskanals in einer bestimmten minimalen Zeitdauer Δt übertragen – nicht schneller. Es ist zwar möglich, die Werte Δt und Δf zu verändern. Ihr Produkt muß jedoch bei der Übertragung ein und derselben Information konstant bleiben. So kann man z. B. die Übertragungszeitdauer verdreifachen und die Bandbreite auf ein Drittel reduzieren:

$$3 \Delta t \frac{\Delta f}{3} = \Delta t \Delta f = \text{const.}$$

Wenn wir eine Information mehrfach übertragen (wir sind dann weitschweifig), steigt die Wahrscheinlichkeit, daß sie richtig aufgenommen wird. Übertragen wir sie z. B. fünfmal hintereinander, dann benötigen wir nicht die Zeitdauer Δt , sondern die Zeitdauer $5 \Delta t$ zu ihrer Übermittlung. Wir arbeiten also mit zeitlicher Redundanz. Übertragen wir die Information in fünf Kanälen auf fünf Trägerfrequenzen parallel, dann benötigen wir zwar nur die Zeitdauer Δt , aber die Bandbreite $5 \Delta f$. Für die Übertragung sind fünf Sender erforderlich. Wir arbeiten also mit Frequenzredundanz.

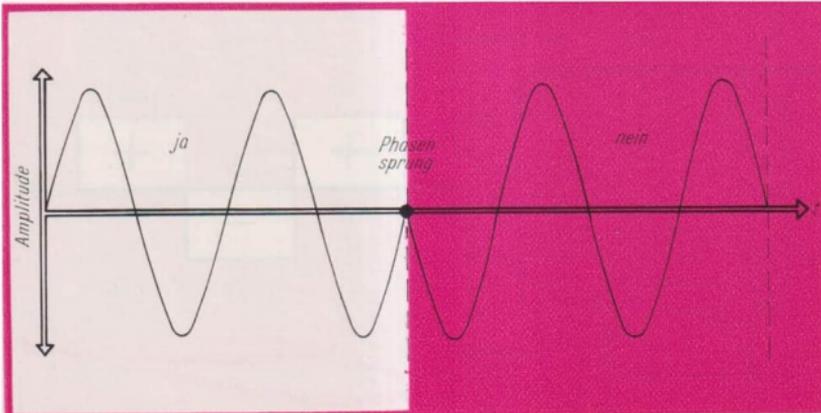
In der Praxis werden die Informationen höchstens einmal wiederholt. Es gibt jedoch auch sehr ökonomische Verfahren, die nur wenig Redundanz erfordern. Man fügt den Zeichen, die die Information tragen, einige zusätzliche, redundante Zeichen hinzu. Und diese zusätzlichen Zeichen vollbringen geradezu Wunder: Sie können uns am Empfangsort verraten, welche der Zeichen durch Störungen verfälscht sind; mehr noch, sie verraten uns auch, welches Zeichen tatsächlich gesendet wurde und berichtigen den Fehler automatisch.

Die unvorstellbaren Weiten, die beim interstellaren Nachrichtenverkehr zu überbrücken sind, und die Tatsache, daß der Partner vorläufig noch unbekannt ist, verlangen eine sehr große Redundanz für die Signale dieser Nachrichtenübertragungssysteme.

Ja – Nein

Es gibt viele Verfahren für die Übertragung von Binärinformationen mit Hilfe von Radiowellen. Welches ist nun das beste zur Lösung unserer Aufgabe? Die Auswahl hängt einzig und allein von der Unempfindlichkeit gegenüber dem Rauschen ab. Bereits in den Jahren nach 1930 haben die sowjetischen Wissenschaftler *A. Pistolkorski* und *W. Siforow* gezeigt, daß die Binärinformationen dann am widerstandsfähigsten gegen das Rauschen sind, wenn sie in der Phase des Signals versteckt sind und wenn die Phase um 180° springt.

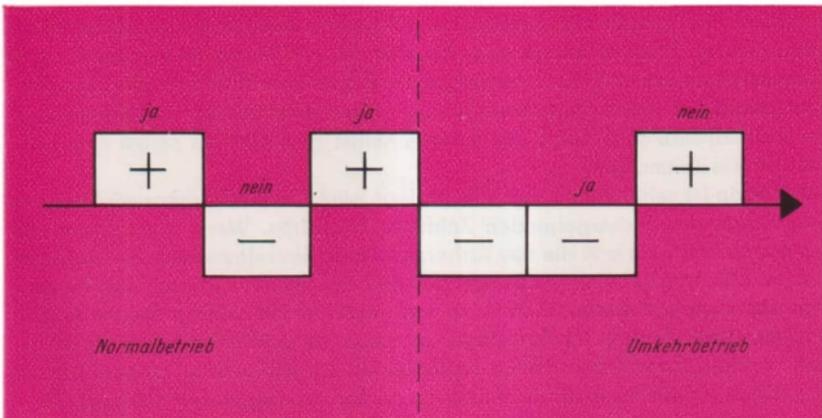
Lange Zeit konnten die gewonnenen Erkenntnisse nicht angewendet werden, weil es keinen geeigneten Empfänger gab, der die beiden Phasenlagen deutlich unterscheiden konnte. Bei der einen Phasenlage muß er am Ausgang „Ja“ sagen und bei der anderen „Nein“. Die Phasenlage ist aber eine Größe, die



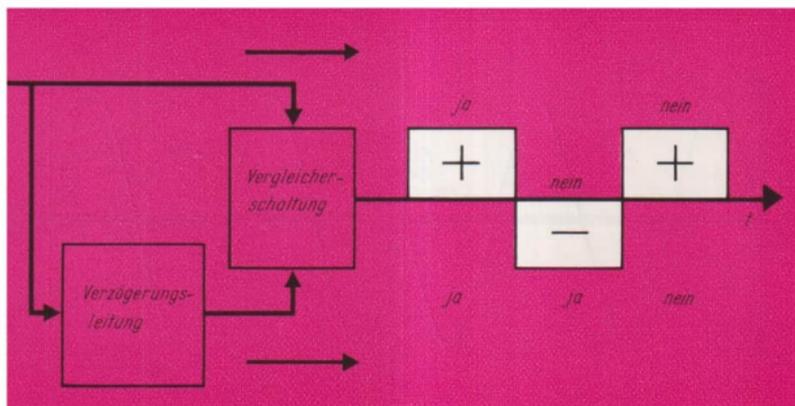
Phasenmodulation und Phasensprung um 180°.

durch die Lage des Zeichens in der Zeit bestimmt wird. Verschieben wir eine Sinusschwingung in der Zeit, so ändern wir ihre Phasenlage.

Ein vereinfachtes Modell eines Nachrichtenübertragungssystems mit Phasenmodulation kann man sich folgendermaßen vorstellen: Am Sender- und am Empfangsort befinden sich Uhren, die unter Berücksichtigung der Laufzeit der Radiowelle zwischen dem Sender und dem Empfänger synchron laufen. Nun werden im Sekundentakt, gesteuert von der zu übermittelnden Nachricht, Zeichen gesendet oder Pausen gemacht. Es sei vereinbart, daß die Zeichen, die zu den geradzahligen Sekunden gesendet und empfangen werden, „Ja“ bedeuten und



Links im Bild ist die „klassische“ Betriebsart dargestellt: + bedeutet „ja“, und - bedeutet „nein“; rechts im Bild ist zu sehen, daß gleichbleibende Phasenlage „ja“ und ein Phasensprung „nein“ bedeuten.



Die eintreffenden Signale werden dem Vergleichsblock direkt und über die Verzögerungsleitung zugeleitet. Oben ist die Wertigkeit („ja“ – „nein“) des direkten und unten die des verzögerten Signals dargestellt.

diejenigen, die zu den ungeradzahigen Sekunden auftreten, immer „Nein“. In der Praxis benötigt man natürlich Uhren, die es gestatten, die Zeichen nicht im Sekundenrhythmus, sondern im Rhythmus von Mikrosekunden auszuwerten. In der Patentliteratur findet man viele scharfsinnige Vorschläge für Phasens Empfänger; jedoch, nicht ein einziger arbeitet einwandfrei. Endlich gelang der mathematische Beweis, daß ein Phasens Empfänger, der mit den „klassischen“ Phasensignalen arbeiten soll, nicht funktionieren kann. Es war schade um die Zeit und die Kräfte, die vergeudet worden sind.

Einmal, als ich irgendwo lange warten mußte, malte ich Phasensignale auf einen Zeitungsrand. Plötzlich sah ich ganz deutlich, wie auf einer Filmleinwand, neue Phasensignale vor mir, die die Mängel der bisherigen nicht besaßen. Die Zeichen benötigten keine synchronlaufenden Uhren beim Sender und Empfänger. Der Zeitmaßstab wird durch die Zeichen selbst gebildet; sie selbst sind ausgezeichnete Zeitmarken.

Das Prinzip ist sehr einfach: Die Phasenlage eines jeden Zeichens wird mit der Phasenlage des vorhergehenden Zeichens verglichen. Wenn die Phasenlage des neuen Zeichens und die des vorhergehenden übereinstimmen, so bedeutet dies Ja. Stimmt aber die Phasenlage des neuen Zeichens nicht mit der Phasenlage des vorhergehenden überein, so bedeutet dies Nein. Nach diesem Prinzip muß ein jedes Zeichen im Empfänger so lange gespeichert werden, bis es mit dem nachfolgenden verglichen ist. Jedes Zeichen trägt also eine Information und ist gleichzeitig die Basis für die Auswertung des nachfolgenden Zeichens.

Ich war erstaunt über die Einfachheit dieses Verfahrens und suchte nach einem Fehler in meinen Überlegungen. Aber schon bald gab es keinen Zweifel mehr – alles klappte! Und doch vergingen noch drei Jahre, bis das erste Nachrichtenübertragungssystem nach diesem Prinzip fertig war.

Heute wird das beschriebene Verfahren der *Differenzphasenumtastung* überall dort verwendet, wo es auf äußerste Sicherheit der Übertragung ankommt. Deswegen ist es auch für den interstellaren Nachrichtenverkehr von Interesse.

Hurra! Es lebe der Kontakt!

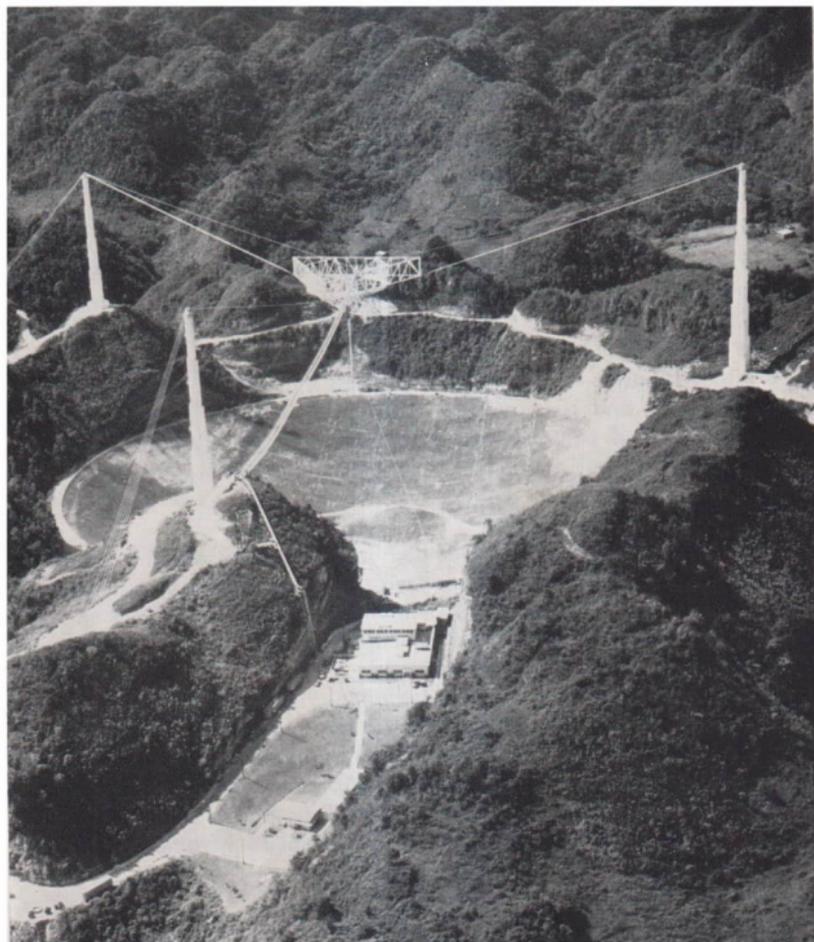
(Ende des Streitgesprächs)

- O: „Nehmen wir einmal an, daß die Zivilisationen X und Y versuchen, miteinander Kontakt herzustellen. Wie, meinst du, könnte man die erforderliche Leistung des Senders errechnen?“
- P: „Sie hängt doch von vielen Größen ab, die wir uns aus den Fingern saugen müssen!“
- O: „Nimm nur die Finger wieder aus dem Mund. Wir wollen versuchen, dieses Nachrichtensystem logisch zu modellieren, indem wir uns auf die Theorie und Praxis der Erdbewohner stützen.“
- P: „Aber schließlich ist doch ihre Technik . . .“
- O: „Hör doch auf. Die Technik auf dem fremden Planeten kann anders sein, aber die Gesetze, verstehst du, die Gesetze sind doch die gleichen. Sag mal, wovon hängt die maximale Reichweite des Funkverkehrs ab?“
- P: „Ich versuche mich zu erinnern. Erstens – von der Leistung P des Senders. Zweitens – von den Durchmessern D_1 und D_2 der Sende- und der Empfangsantenne. Drittens – von der Rauschtemperatur T am Eingang des Empfängers. Viertens – von der Wellenlänge λ (sie bestimmt den Einfluß der äußeren Störungen). – Ich glaube, das wäre alles!“
- O: „Du siehst den Wald vor lauter Bäumen nicht. Wenn du nun hundert Telegramme in einer Stunde oder ein Telegramm in vierundzwanzig Stunden sendest – brauchst du denn da die gleiche Leistung?“
- P: „Nein, natürlich nicht. Je größer die Arbeitsgeschwindigkeit ist, um so breiter muß die Bandbreite Δf des Empfängers sein, um so mehr Rauschen nimmt er auf, und um so größer muß die Leistung des Senders sein, um die Störungen zu übertönen.“
- O: „Das stimmt. Aber das ist noch nicht alles. Die Reichweite hängt auch davon ab, um wieviel wir die Störungen übertönen müssen. Und das seinerseits wird bestimmt durch das Verfahren, nach dem die Information auf den Träger moduliert wird. Schließlich sollen ja die Informationen den Zweikampf mit dem Rauschen am Empfängereingang gewinnen. Je störfester ein Übertragungsverfahren ist, um so geringer muß die Leistung sein, die für den Sieg erforderlich ist.“
- P: „Na klar!“
- O: „Nehmen wir also an, die Zivilisation X habe von der Zivilisation Y einen Abstand von r Lichtjahren. Rechne mal bitte aus, welche Leistung wir für den Funkverkehr brauchen.“
- P: „Aber ich habe doch noch nicht eine einzige Zahl!“
- O: „Ich möchte wetten, daß du bereits alle Zahlen in deinem Kopf hast. Auf welcher Wellenlänge haben wir die wenigsten Störungen in der Galaxis?“

- P: „Sie erreichen ihr Minimum ungefähr bei Wellen zwischen 3 cm und 30 cm.“
 O: „Richtig! Welchen Antennendurchmesser hat man in diesem Wellenbereich erreicht?“
 P: „Etwa 100 m.“
 O: „Na siehst du, du weißt doch alles sehr gut. Nun kommst du allein weiter. Streng mal dein Köpfchen ein bißchen an. Hier hast du einen Rechenstab und Papier. Ich werde einstweilen mal in den neuen Zeitschriften blättern. Nebenbei kannst du ja einmal abschätzen, wieviel Sterne in der Sphäre mit dem Radius r liegen, angenommen, die Dichte der Sterne in dieser Sphäre sei gleich der in der Umgebung unseres Sonnensystems.“
 P: „Fertig! Hier sind die Formeln, und hier sind die Ergebnisse.“

Entfernung r in Lichtjahren	Anzahl der Sterne in der Sphäre mit dem Radius r	Erforderliche Senderleistung in Kilowatt
4,3	1	20
10	12	100
16	47	250
100	10 000	10 000
1 000	10 000 000	1 000 000

- O: „Wie bist du darauf gekommen?“
 P: „Ich habe angenommen, daß beide Zivilisationen ein Niveau ähnlich dem unseren haben. Daher kann man annehmen: Durchmesser der Antennen $D = 100$ m, Wellenlänge $\lambda = 10$ cm, Rauschtemperatur $T = 10$ K, minimales Signal-Rausch-Verhältnis $N = 10$.“
 O: „Und die Bandbreite des Empfängers?“
 P: „Die habe ich mit 10 Hz angenommen.“
 O: „Und was ist das für ein Signal, das du damit aufnehmen kannst?“
 P: „Entweder die ununterbrochene Ausstrahlung eines sinusförmigen Trägers ohne jede Modulation oder mit einer sehr langsamen Modulation – einige Zeichen in der Sekunde!“
 O: „Und welche Leistung braucht man?“
 P: „Bis zu den nächsten Sternen einige zehn Kilowatt; zu den weit entfernten benötigt man Millionen Kilowatt.“
 O: „Na siehst du, du hast selbst bewiesen, daß wir bereits heute unser ‚Hallo‘ bis zu den nächsten hundert Sternen rufen können. Sender mit einer solchen Leistung sind in dem interessierenden Wellenbereich schon fast real.“
 P: „Es mag schon sein, daß wir ‚Hallo‘ rufen können, wie steht es aber mit einer inhaltsreicheren Information?“
 O: „Und zwar?“
 P: „Nehmen wir einmal an, in Form diskreter Binärsignale. Es ist doch sehr zweckmäßig, gerade diese störteste Methode anzuwenden. Wenn wir die Übertragungsgeschwindigkeit gegenüber der in der Rechnung angenommenen auf das Hundertfache steigern wollen, müssen wir auch die Leistung



Mit 305 m Durchmesser ist der Radiospiegel von Arecibo auf Puerto Rico der derzeit größte der Welt. Der schüsselförmige Reflektor liegt in einem Talkessel und ist mit einem feinmaschigen Drahtnetz ausgelegt. Durch Verschieben der Primärantenne, die an drei 120 m hohen Stahlbetontürmen hängt, ist in geringen Grenzen eine Änderung der Empfangsrichtung möglich.

des Senders auf das Hundertfache erhöhen. Und hundert Zeichen in der Sekunde gelten auf unserem Planeten als mittlere Telegrafiergeschwindigkeit. Wie sieht es denn hier mit der Idee von Kardaschew aus?"

- O: „Wir haben noch einige Reserven. Hast du z. B. schon einmal von der einzigartigen Antenne auf Puerto Rico gehört? Sie hat einen Durchmesser von

300 m. Eine derartige Antenne benötigt ein Hundertstel der sonst erforderlichen Sendeleistung. Ferner können wir auch den Wert von N senken, wenn wir die Differenzphasenumtastung benutzen und fehlerkorrigierende Codes verwenden. Außerdem kann man die Leistung mehrerer Sender im Raum summieren . . .“

- P: „Und trotzdem können wir keinen Sender bauen, der alle Errungenschaften unserer Zivilisation in kurzer Zeit herunterrasselt. Soweit reicht es denn doch noch nicht!“
- O: „Was nennst du einen kurzen Zeitabschnitt?“
- P: „Na, sagen wir einmal, ein paar Tage oder Wochen. Dabei reichen nicht einmal Jahre oder Jahrzehnte aus, um alle Informationen auszusenden!“
- O: „Ja, allerdings!“
- P: „Na siehst du. Gibt es da eine Hoffnung?“
- O: „Halt! Wir hatten doch angenommen, daß X und Y Zivilisationen ähnlich der irdischen sind. Nehmen wir an, daß wir X sind. Der Entwicklungsstand von Y kann doch schon viel weiter fortgeschritten sein! Y kann doch schon eine Superzivilisation sein, die über märchenhafte Energiereserven verfügt!“
- P: „Na und?“
- O: „Nun, in unsere Rechnung gehen doch auch die technischen Möglichkeiten von X und Y ein. Vielleicht können wir schon etwas mehr als nur den einfachen Ruf ‚Hallo‘ empfangen, vielleicht können wir einen reichen Informationsfluß von solchen Zivilisationen aufnehmen.“
- P: „Du hattest Zahlen versprochen!“
- O: „Aber bitte! Nehmen wir die Berechnungen von N. Kardaschew. Wenn sich die Superzivilisation Y entschlossen hat, uns, den unbekanntem Bürgern der Zivilisation X , einen gewaltigen Informationsfluß zu senden, der ungefähr gleich dem Inhalt aller 10^8 Bücher ist, die seit Bestehen der Menschheit herausgegeben wurden, so muß sie uns im Mittel je Buch 10^6 Binäreinheiten senden. Kann man soviel Weisheit innerhalb einiger Tage übertragen?“
- P: „Niemals!“
- O: „Nun, rechne doch mal nach.“
- P: „Ich will es versuchen. Also, die Gesamtanzahl der Binäreinheiten beträgt $10^6 \cdot 10^8 = 10^{14}$. Ein Tag hat rund 10^5 Sekunden. Wenn man die gesamten Informationen an einem Tag senden will, so muß man in einer Sekunde $10^{14} \cdot 10^{-5} = 10^9$ Zeichen übertragen. Das heißt also, daß man in jeder Sekunde eine Milliarde mal Ja oder Nein rufen muß. Erlauben das überhaupt die Naturgesetze, die bei den Ypsilonern und bei uns gelten?“
- O: „Laß dich doch von den Riesenzahlen nicht so sehr beeindrucken. Rechne doch mal weiter. Welche Bandbreite braucht denn der Empfänger, wenn er diese Informationen aufnehmen soll?“
- P: „Man kann grob annehmen, daß die Bandbreite etwa gleich der Anzahl der Zeichen je Sekunde sein muß. Man würde also einen Empfänger mit der unerhört großen Bandbreite von 1 000 MHz benötigen.“

- O: „Du willst mir doch jetzt nicht etwa mit den Gesetzen kommen, nach denen das Ganze unmöglich ist?“
- P: „Nein. Aber . . .“
- O: „Aber wir sind schon weit über das Ziel hinaus! In einem Wald von 10^{14} Binäreinheiten würde sich sicherlich auch jede Superzivilisation verlaufen. Da ist viel zuviel Redundanz dabei. Wir brauchen ja tatsächlich nur ein Millionstel dieser Informationen zu übertragen.“
- P: „Trotzdem werden gigantische Leistungen gebraucht.“
- O: „Ja, aber darauf werden dir die Superzivilisationen antworten. Berechnungen zeigen, daß die hochentwickelten Zivilisationen nicht nur ihr ‚Hallo‘ in das gesamte Weltall rufen, sondern auch ihre wichtigsten Erkenntnisse an die jüngeren Zivilisationen weitergeben können. Natürlich nur dann, wenn diese den Sumpf ihrer Zweifel verlassen und wenigstens ihre Empfänger einschalten, auch wenn diese noch primitiv sind. Aber wir haben genug Zeit verloren. Machst du mit? Für deine Entscheidung brauchst du nur eine Binäreinheit – ja oder nein.“
- P: „Ja! Aber . . .“
- O: „Ich habe nur um eine Binäreinheit gebeten!“
- P: „Dieses ‚Aber‘ bezieht sich doch schon auf die Aufgabe, die ich lösen soll.“
- O: „Dann ist es etwas anderes.“
- P: „Mich hat es schon immer mehr zum Abstrakten hingezogen. Eine Zeitlang habe ich zwar zwischen Mathematik und Physik gestanden. Dann bin ich aber zur Mathematik zurückgekehrt.“
- O: „Na ausgezeichnet! Wir brauchen ein mathematisches Modell von wenigstens zwei Zivilisationen, den Zivilisationen X und Y, die sich so beharrlich suchen.“
- P: „Aber . . .“
- O: „Du wirst das erste Modell einer solchen Kontaktsuche aufstellen. Stell dir vor, daß zwei Rechenmaschinen miteinander spielen.“
- P: „Spielen sie Skat?“
- O: „Lästern! Ihr Spiel wird tausendmal interessanter sein. Die Maschinen sind voneinander getrennt. Ihre einzige Verbindung besteht über ein Modell des interstellaren Raumes.“
- P: „Mathematisch?“
- O: „Von mir aus mathematisch oder physikalisch. Das spielt prinzipiell keine Rolle.“
- P: „Ja, und dann?“
- O: „Die eine wird Signale ausstrahlen. Sie ruft. Sie ändert die Wellenlänge, die Richtung der Strahlung, die Modulationsverfahren usw. Sie sendet Signale zum Erlernen ihrer Sprache, Informationen . . .“
- P: „Und X wird inzwischen . . .“
- O: „Warte doch! In den kosmischen Weiten wird das Signal immer schwächer, immer schlechter. Ja, und das Rauschen kommt dann auch noch dazu. Und das alles kommt nun – vielleicht – bei der Maschine X an.“
- P: „Ihre Aufgabe ist es, ein vernünftiges Signal zu suchen, es aufzunehmen

und zu speichern, die Sprache zu erlernen und die übertragene Schrift zu enträtseln. Stimmt's?"

O: „Genauso ist es.“

P: „Und weiter?"

O: „Dann vergleichen wir das gesendete kosmische Telegramm mit dem empfangenen. Wenn wir die Bedingungen für X und Y variieren, dann können wir Hunderte von Varianten durchspielen und kommen so immer näher und näher zur Enträtselung des Geheimnisses . . .“

P: „Begriffen!“

O: „Machst du mit?"

P: „Ja!“

O und P gemeinsam: „Hurra, es lebe der Kontakt!“

Wir, lieber Leser, die wir keineswegs zu einer Superzivilisation gehören, müssen gegenwärtig unsere ganze Aufmerksamkeit auf den Empfang von Informationen von Zivilisationen richten, die uns bereits ein Stück voraus sind. Deshalb ist im folgenden Hauptabschnitt von der Suche nach „vernünftigen“ Signalen unter unseren irdischen Bedingungen die Rede.

Ein Goldfisch im Netz

Wir sind zu der Schlußfolgerung gekommen, daß unsere Stimme noch nicht in die entfernten Weiten des Universums dringt, sie ist noch zu schwach. Wir sind arm an Energie und haben keine ausreichend leistungsfähigen Sender. Außerdem haben wir Erdbewohner es noch nicht geschafft, all unsere Kraft zur Lösung dieser Aufgabe zu vereinen. Wird sich das später einmal ändern?

Natürlich! Schließlich setzen uns die Naturgesetze keine Grenzen. Aber wahrscheinlich gibt es auch Welten, in denen unsere irdischen Probleme – sowohl die technischen als auch die sozialen – bereits gelöst sind. Und wahrscheinlich geben uns die Bewohner dieser Welten schon längst Nachricht von sich. Wir hören sie nur darum nicht, weil wir mit unseren eigenen irdischen Angelegenheiten zu sehr beschäftigt sind.

Warum suchen wir nicht die Boten der fremden Welten? Sie kommen ja sicher nicht mit leeren Händen, sondern bringen uns wahrscheinlich wertvolle Informationen von den Wundern ihrer Zivilisation. Es gibt nur eine Schlußfolgerung. Wir müssen all unsere Kraft aufwenden, um diese Signale zu suchen und zu empfangen. Das steht schon heute durchaus in unserer Kraft.

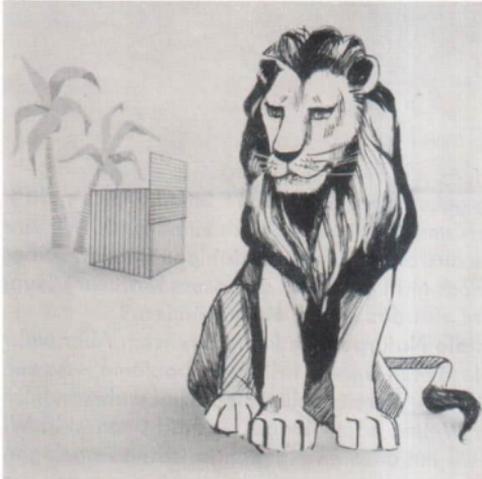
Die ersten einfachen Einrichtungen für den Empfang von Radiosignalen wurden bereits geschaffen. Sie werden in vielen Ländern von den Radioastronomen zur Beobachtung der Radiostrahlung der Sterne verwendet. Nun muß nur noch die koordinierte Suche nach „vernünftigen“ Signalen auf unserem gesamten Planeten organisiert werden. Wir wollen hoffen, daß das in den nächsten Jahren erreicht wird.

Der Fisch und das Netz

Die Suche nach vernünftigen Signalen erinnert an die Suche nach einem seltenen goldenen Fischlein im Ozean, in den Millionen Fischschwärmen. Aber die Mühe lohnt sich; denn wir wollen ein Fischlein fangen, das zu uns sprechen wird. Seine Sprache wird uns zwar fremd, aber auf alle Fälle vernünftig sein. Und das verbindet es mit uns. Aber der Sternenozean ist groß und unser irdisches Netz so klein. Fische gibt es viele, aber goldene nur einen auf eine Million. Wie finden wir sie?

Man kann natürlich auf die Wahrscheinlichkeitstheorie vertrauen, das Netz im Ozean versenken und warten. Schließlich gibt es eine von Null unterschiedliche Wahrscheinlichkeit dafür, daß das goldene Fischlein von selbst in das

Netz schwimmt. Man kann ja auch irgendwo in der Wüste einen Käfig aufstellen, die Tür weit öffnen und geduldig darauf warten, daß ein Löwe hineinspaziert.



Wie lange man auf den Fang warten muß – Sekunden oder Jahrhunderte –, darauf gibt die Wahrscheinlichkeitstheorie leider keine Antwort. Diese passive Fangmethode verspricht keinen schnellen Erfolg. Deswegen wollen wir schnellere und aktivere Suchmethoden finden.

Zunächst begrenzen wir den Raum, in dem wir suchen wollen, und stecken um unsere Sonne eine gigantische Sphäre mit den Radius r ab. Je größer der Radius dieser Sphäre ist, je mehr Sterne sich also in ihr befinden, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit dafür, eine Heimstätte des Verstandes zu finden.

Nun wollen wir die Suche nach vernünftigen Signalen organisieren. Die Zivilisation, die die Signale einer anderen sucht, wollen wir X-Zivilisation und ihre Bewohner die Ikse nennen. In unserem Fall sind also wir Erdbewohner die Ikse; denn schließlich sind wir ja vorläufig noch namenlos für die anderen Bewohner des Kosmos. Diejenigen, die bereits in das Universum hinausrufen, wollen wir als Ypsiloner bezeichnen.

Die Ikse, die so wenig Energie besitzen, daß sie nur hören können, haben ihre Empfangseinrichtungen im Zentrum der Sphäre aufgestellt und suchen beharrlich die Signale der Ypsiloner. Wo in dieser Sphäre die Ypsiloner mit ihrer großen Energie wohnen, ist uns Iksen bis jetzt unbekannt. Welche Aussichten haben wir, in der von uns beobachteten Sphäre auf ein vernünftiges Signal zu treffen? Wir haben uns im ersten Hauptabschnitt mit dieser Frage beschäftigt und wollen hier davon ausgehen, daß auf 10^6 Sterne lediglich ein Stern mit einer entwickelten Zivilisation auf einem seiner Planeten entfällt. Die Gesamtanzahl der Sterne im Milchstraßensystem ist gleich 10^{11} . Demnach beträgt die Anzahl der Sterne mit „zivilisierten“ Planeten 10^5 .

Wenn man den Umfang unseres Milchstraßensystems kennt und annimmt, daß diese Sterne gleichmäßig in der gesamten Galaxis verteilt sind, kann man den mittleren Abstand zwischen ihnen bestimmen. Die Rechnung ergibt einen mittleren Abstand in der Größenordnung von 1 000 Lichtjahren.

Man kann einwenden, daß all diese Überlegungen ja nur Mittelwerte sind, typisch für die Wahrscheinlichkeitstheorie, die mit Massenerscheinungen operiert. Uns interessiert aber bei unserer Suche nicht das Gesamtbild, sondern erst einmal der Kontakt mit einer einzigen uns nahe liegenden Zivilisation. Wir wissen aber leider nicht, ob der Abstand bis zur nächsten Zivilisation wesentlich größer oder wesentlich kleiner als der Mittelwert ist.

Wir wollen bei unserer Suche die Hypothese, daß auch die „Kinder der Finsternis“, also die Bewohner erkalteter, nichtleuchtender Sterne, Signale senden könnten, nicht berücksichtigen; denn sonst müßten wir nicht nur die Sterne, sondern auch den dunklen Raum zwischen ihnen erforschen. Das würde zwar unsere Aussichten auf Erfolg erhöhen, aber die Suche sehr komplizieren. Deswegen und wegen der Strittigkeit dieser Hypothese wollen wir vorläufig nur die leuchtenden Sterne untersuchen.

Die Entfernung bis zu dem uns am nächsten gelegenen Stern, dem α Centauri, beträgt 4,3 Lichtjahre. In einem Umkreis von 16 Lichtjahren finden wir 47 Sterne. Wenn wir bei unserer Suche bis in eine Entfernung von 100 Lichtjahren vordringen, vergrößert sich die Anzahl der Sterne auf 10 000. Eine Sphäre mit dem Radius von 1 000 Lichtjahren enthält etwa 10^7 Sterne. Es ist undenkbar, jeden Stern gesondert zu beobachten. Man kann die zu untersuchende Sphäre lediglich in Sektoren einteilen und dann der Reihe nach einen jeden Stern eines jeden Sektors „abhören“.

Wenn es auf einem Planeten dieser Sterne eine Zivilisation gibt, dann wissen die vernunftbegabten Geschöpfe sicherlich, daß man sich am besten bemerkbar macht, wenn man „Hallo!“ gleichzeitig in alle Richtungen ruft. Sie wissen sicher auch, daß man dazu eine Antenne verwenden muß, die die Energie gleichmäßig nach allen Seiten ausstrahlt. Nur dann füllen die Wellen, die das goldene Fischlein tragen, den gesamten Raum, und nur dann kann jede Zivilisation, die sich irgendwo im Raum befindet (also auch wir), das Fischlein fangen. Sie wissen natürlich auch, daß die gleichmäßige Ausstrahlung des Signals gegenüber der Ausstrahlung durch eine Richtantenne mit einem Durchmesser von 100 m zu einer Leistungsverringerung auf ein Zehntausendstel am Empfangsort führt. Ihnen ist auch bekannt, daß sich dann die Störungen sehr stark auswirken können.

Sie können sich nur dann den Luxus leisten, gleichzeitig in alle Richtungen zu rufen, wenn ihre Entwicklung den Stand einer Superzivilisation erreicht hat. Warum sollten sie dann nicht einen Teil der ihnen zur Verfügung stehenden Energie für eine so gute Sache wie den Funkkontakt zu ihren (jüngeren) Brüdern opfern und ihnen eine idelle Hilfe erweisen (unter anderem also auch uns, den Erdbewohnern)?

Was aber machen die Zivilisationen, die ihre Energie vorläufig noch hauptsächlich aus Kohle, Erdöl und Uran gewinnen? Ihnen bleibt nur übrig, mit stark

bündelnden Richtantennen Funkgrüße *nacheinander* an die umgebenden Sterne zu senden. Das goldene Fischlein kann nur dann in unser irdisches Netz geraten, wenn die Ypsiloner ihre Richtantenne auf unsere Sonne und damit auch auf unsere Erde ausrichten.

Wie können wir nun erraten, von welchem Stern, wann und wie lange Signale zu uns gesendet werden? O weh, all dies ist unbekannt. Aber glücklicherweise kann uns die irdische Logik ein wenig helfen. Sicher sind nicht nur die physikalischen Gesetze im Universum einheitlich; auch die Logik denkender Wesen verschiedener Welten muß einander ähnlich sein. Die Ypsiloner könnten sich überlegen, daß man die Sendung der Signale nicht sehr schnell von einem Stern zum anderen umschalten darf, damit die Ikse das Signal nicht übersehen und damit sie außerdem erkennen können, daß es sich um eine Sendung von anderen vernunftbegabten Lebewesen handelt. Sie dürfen aber auch nicht allzulange bei jedem Stern verweilen, weil sonst der Zeitaufwand für die gesamte Sendung zu groß wird. Die Ypsiloner müssen also weiter überlegen und einen Kompromiß finden. Sie können annehmen, daß die Ikse in einer Million Ja-Nein-Zeichen Spuren von Verstand entdecken könnten. Der Anfangszeitpunkt der Sendung ist jedoch für die Ikse zufällig. Deshalb kann es sein, daß sie nicht alle Zeichen empfangen, sondern nur den letzten Teil. Deshalb senden die Ypsiloner zu jedem Stern hundert Millionen Zeichen.

Jetzt muß noch die Zeitdauer eines Ja-Nein-Elementarzeichens festgelegt werden. Das ist sehr wichtig, weil sich die Sendezeit für jeden Stern aus der Zeitdauer eines Zeichens und der Gesamtanzahl der Zeichen ergibt. Wenn 1 Zeichen je Sekunde gesendet wird, dann benötigt man für die Sendung von 10^8 Zeichen etwa 1 000 Tage. Bei solch einer langsamen Sendung ist es günstig, daß die Bandbreite des Empfängers nur 1 Hz zu betragen braucht. Das würde den Ikxen die Aussonderung der empfangenen Signale aus dem Chaos der Störungen erleichtern. Nachteilig ist aber der sehr große Zeitaufwand. Wenn die Ypsiloner ihr „Hallo!“ gleichzeitig mit 100 Sendern zu 100 Sternen rufen, benötigen sie für das Ausstrahlen der Sendung zu 10^7 Sternen (die sich in einem Umkreis von 1 000 Lichtjahren befinden) etwa 300 000 Jahre. Diese Zeitdauer ist unannehmbar, selbst dann, wenn die Lebensdauer der Ypsiloner unser irdisches Lebensalter überschreitet.

Ein Ausweg läßt sich nur finden, indem man die Übertragungsgeschwindigkeit erhöht. Man muß also schneller senden. Die Zeitdauer eines Zeichens darf nicht 1 s, sondern nur ein Millionstel davon, d. h. $1 \mu\text{s}$, betragen. Solche kurzen Zeichen werden von uns Erdbewohnern in Funkortungsanlagen, Richtfunkstrecken und elektronischen Rechenmaschinen häufig verwendet. Die Empfänger der Ikse können diese kurzen Zeichen nur dann aufnehmen, wenn ihre Bandbreite nicht 1 Hz, sondern 1 000 000 Hz, also 1 MHz beträgt. Glücklicherweise wächst dabei die Störspannung im Empfänger nicht auf das Millionfache, sondern nur um die Quadratwurzel dieser Größe, also auf das Tausendfache an.

Bei dieser hohen Übertragungsgeschwindigkeit benötigen die Ypsiloner nicht 300 000 Jahre, sondern nur noch 4 Monate, um jeweils 10^8 Zeichen mit 100 Sendern zu 10^7 Sternen zu senden. Das ist aber bereits die andere Grenze. Die

Ikse, die Tag und Nacht an ihren Empfängern zubringen, können leicht das goldene Fischlein verpassen; denn sie haben nur alle 4 Monate 100 s lang die Möglichkeit, die Sendung aufzunehmen. Und 100 s sind sehr wenig, gemessen an dem Zeitabschnitt von 4 Monaten. Was ist zu tun?

Möglicherweise beschließen die Ypsiloner, die Anzahl der bestrahlten Sterne wesentlich zu verringern. Sie sondern diejenigen Sterne aus, auf deren Planeten das Entstehen von Leben wenig wahrscheinlich ist, also die Sterne, die nicht im mittleren Teil der Hauptreihe liegen, Doppel- und Dreifachsterne, Sterne, die keine Planeten haben, Sterne . . . (die drei Pünktchen beziehen sich auf die vielen Merkmale, die den Ypsilonern bereits bekannt und uns noch unbekannt sind). Wenn durch diese Maßnahme die Anzahl der in Betracht kommenden Sterne auf ein Hundertstel verringert wird, bleiben von den 10^7 Sternen nur noch 100 000 übrig.

Die Ypsiloner werden möglicherweise zu der folgenden Kompromißlösung kommen: Die Signale werden gleichzeitig von 100 Sendern abgestrahlt. Jedem Sender werden 1 000 Sterne zugeordnet. Wenn jeder der 1 000 Sterne einmal im Jahr erreicht werden soll, stehen für jeden Stern jährlich etwas 8 Stunden Sendezeit zur Verfügung.

Das goldene Fischlein kann also einmal im Jahr im Verlauf von etwa 8 Stunden in unser Netz schwimmen.

Wenn wir irgendwann einmal während eines Jahres unsere irdische Empfangseinrichtung 8 Stunden lang einschalten und voraussetzen, daß unsere Antenne auf die Ypsiloner gerichtet und der Empfänger auf ihre Sendefrequenz abgestimmt ist, dann ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß das goldene Fischlein in unser Netz schwimmt, gleich ein Tausendstel ($P = 0,001$). Der irdische Funker kann also, wenn er tausendmal seinen Empfänger acht Stunden lang einschaltet, im Mittel einmal auf ein Signal von den Ypsilonern treffen.

Sehr gut sieht es also mit unserer Sache nicht aus. Aber wir sind ja von einer gigantischen Sphäre mit einem Radius von 1 000 Lichtjahren ausgegangen. Möglicherweise sind die Ypsiloner tatsächlich gerade 1 000 Lichtjahre von uns entfernt. Vielleicht haben wir Erdenbürger aber wieder einmal Glück gehabt, und sie sind uns doch näher – vielleicht sind sie nur 100 Lichtjahre entfernt?

Die Ypsiloner, diese klugen Geschöpfe, die die Wahrscheinlichkeitstheorie besser als wir Erdenbürger beherrschen, kennen natürlich die Bedeutung der Mittelwerte besser als wir. Deshalb werden sie ihre Signale zuerst zu den näheren Sternen senden und erst dann allmählich den Radius der Sphäre vergrößern. Die Anzahl der Sterne, die wir in einem bestimmten Umkreis finden, ist der dritten Potenz des Radius direkt proportional. In einem Umkreis von 1 000 Lichtjahren sind 10^7 Sterne vorhanden. Beträgt der Radius nur 100 Lichtjahre, so ist nur noch mit 10^4 Sternen zu rechnen. Die Situation ist also bedeutend einfacher geworden. Wenn nun die Ypsiloner wieder die Sterne auswählen, auf deren Planeten sie vernunftbegabtes Leben vermuten, können sie die Anzahl der zu betrachtenden Sterne noch einmal auf ein Hundertstel verringern. Jetzt ist es möglich geworden, jedem der 100 Sterne einen eigenen Sender zuzuordnen.

Wenn den Ypsilonern der Aufwand von 100 Sendern zu groß ist, können sie die Anzahl auch auf 10 verringern und zu jedem Stern einmal im Jahr einen Monat lang ihre Signale senden. Das bietet den Iksen die zu großen Hoffnungen berechtigende Wahrscheinlichkeit $P = 0,1$, bei zufälligen Beobachtungen Signale aufzufangen. Einer der Sterne, auf deren Planeten die Ypsiloner vernunftbegabtes Leben vermuten, kann durchaus auch unsere Sonne sein. Dann wird einer der Sender auch auf unseren Stern und seine Planeten gerichtet werden. Den Rest müssen wir Ikse selbst besorgen; wir müssen also mit unserem Netz das goldene Fischlein fangen.

Wir haben gesehen, daß wir sowohl Signale von Superzivilisationen als auch solche von Zivilisationen, die unseren Entwicklungsstand nicht wesentlich überschritten haben, suchen müssen. Die Angehörigen der Superzivilisationen können es sich erlauben, die Signale gleichzeitig zu allen sie umgebenden Sternen zu senden und einen gigantischen Energie- und Informationsfluß über Jahre, Jahrzehnte und Jahrhunderte aufrechtzuerhalten. Wir brauchen also unsere Antenne nur auf den Stern einer Superzivilisation zu richten und das vernünftige Signal zu suchen. Wenn die Bewohner anderer Planeten ihre Sendungen zu uns periodisch ausstrahlen, müssen wir Ikse etwas weniger sein und wenigstens erst einmal eine Sendung auffangen.

Wir Erdbewohner werden zunächst nach den Ergebnissen unserer astronomischen und radioastronomischen Beobachtungen diejenigen Sterne auswählen, auf deren Planeten wir vernunftbegabtes Lebens vermuten. Dann müssen wir unsere Antennen auf die nächstgelegenen von ihnen richten. Das sind nicht sehr viele, und wir können die Suche bereits beginnen, selbst wenn nur eine einzige Funkempfangseinrichtung zur Verfügung steht.

Läßt sich die Stimme der Vernunft von diesen Sternen nicht hören, so müssen wir den Radius der betrachteten Sphäre allmählich erweitern, zunächst auf Hunderte und, wenn uns auch dann ein Mißerfolg beschieden ist, auf Tausende von Lichtjahren. Hierfür müssen wir natürlich die Anzahl der Empfangseinrichtungen vergrößern. Das ist ohne weiteres möglich; denn im Gegensatz zu den Sendeeinrichtungen gibt es hier keine Grenzen, die uns durch die Energie-reserven auf unserer Erde gesetzt werden. Trotzdem ist die Untersuchung der Sterne im Umkreis von Tausenden von Lichtjahren eine Aufgabe, die die vereinte Anstrengung der gesamten Menschheit erfordert.

Ob es uns gelingen wird, eine aufgenommene Sendung auch zu entschlüsseln, ist bereits eine andere Frage, mit der wir uns in den folgenden Abschnitten beschäftigen werden.

Wellenlänge und Bandbreite

Wenn das goldene Fischlein endlich in den Bereich unserer Antenne geraten ist, haben wir es noch immer nicht gefangen. Zunächst muß unser Empfänger genau auf die Welle abgestimmt sein, auf der die Y-Zivilisation sendet. Außerdem darf die Bandbreite des Empfängers nicht schmaler als die Bandbreite des Signals sein. Nur bei Erfüllung dieser Forderungen kann der Empfänger das

goldene Fischlein fangen, und nur dann haben wir die Hoffnung, das goldene Fischlein aus allem, was wir gefangen haben, herauszufinden.

Leider können uns die Ypsiloner vor der Herstellung des ersten Kontaktes nicht mitteilen: „Sie hören uns auf der Wellenlänge λ , Bandbreite Δf !“ Wir müssen uns also ganz und gar auf unser Fingerspitzengefühl verlassen. Schließlich hat im zweiten Weltkrieg auch die Funkaufklärung der Alliierten Funksignale aufgefangen, die vom Oberkommando der Faschisten an die U-Boote in allen Ozeanen gesendet wurden. Diese Signale waren sehr kurz, jede Sendung wurde auf einer anderen Wellenlänge abgestrahlt, und die Sendezeiten änderten sich regellos. Und trotzdem wurden die Signale aufgefangen.

Solch eine Aufgabe ist freilich leichter zu lösen als die der Suche nach Signalen von anderen Welten. Der Stand der Technik war auf beiden Seiten annähernd gleich. Außerdem lieferte die Aufklärung vor Beginn des Sendens des Gegners immer irgendwelche Angaben. Aber wir haben schließlich auch unsere irdische „Aufklärung“ – die Wissenschaft, die uns irgend etwas über die Zivilisation der Ypsiloner voraussagen kann. Die vernunftbegabten Wesen der verschiedenen Welten lernen in ihren Schulen ein und dieselben physikalischen Gesetze. Wir wollen nun sehen, ob unsere „Aufklärung“ aus diesem Umstand etwas über die wahrscheinliche Arbeitswelle der Ypsiloner ableiten kann.

Wir haben bereits erfahren, daß die Störungen, die aus dem Kosmos kommen, im Wellenlängenbereich 3 bis 30 cm ein Minimum erreichen. Es ist zu vermuten, daß die Ypsiloner in diesem Wellenbereich senden werden; denn in ihm sind die Aussichten, gehört zu werden, am größten. Außerdem hat die Natur den Bewohnern des Weltalls Standards für die Frequenz geschenkt, z. B. die Strahlung des Wasserstoffs auf 21 cm Wellenlänge und die der OH-Moleküle auf 18 cm Wellenlänge.

Die amerikanischen Wissenschaftler *G. Cocconi* und *P. Morrison* haben den vielversprechenden Gedanken geäußert, daß die Signale gerade auf diesen Wellenlängen zu finden sein müßten. Sie meinen, daß jede Zivilisation mit unserem oder einem höheren Entwicklungsstand diese Frequenzen kennt und weiß, daß sie überall im Universum auftreten und sehr zeitstabil sind. Deswegen mußte der Gedanke, die interstellaren Sender und Empfänger auf diese Frequenzen abzustimmen, naheliegend sein.

Was hat uns unsere „Aufklärung“ zur Wahl der Bandbreite zu sagen? Am einfachsten ist die Ausstrahlung harmonischer Schwingungen (z. B. auf einer Welle des Naturstandards) ohne jegliche Modulation. Eine solche Schwingung kann z. B. der Generator einer Atomuhr mit einer erstaunlich hohen Frequenzstabilität erzeugen. Seine Frequenz ändert sich im Verlauf von Jahren lediglich um Bruchteile eines Hertz. Das Problem der Frequenzstabilität gab es bereits zur Zeit von *A. S. Popow*. Seitdem wurden viele scharfsinnige Verfahren zur Erhöhung der Frequenzstabilität gefunden. Kein Verfahren konnte jedoch völlig befriedigen. Erst nachdem man erkannt hatte, daß ein Elektron beim Sprung von einem höheren auf ein niedrigeres Energieniveau eine Welle mit sehr stabiler Frequenz ausstrahlt, gelang es, Frequenzen mit höchster Stabilität zu erzeugen. Man braucht die Elektronen „nur“ zu veranlassen zu springen und muß lernen,

diese Strahlungsenergie von den Atomen abzuleiten. Wir Erdbewohner beherrschen das bereits bei einigen Atomen. Die Ypsiloner, die uns vielleicht schon weit voraus sind, müßten dieses Problem längst gelöst haben.

Könnten die Ikse solch eine künstliche Strahlung nicht als natürliche Strahlung interpretieren? Nein, denn alle natürlichen Strahlungen haben ein breites Spektrum. Auch die Strahlungen auf der Wellenlänge natürlicher Standards sind stark verwaschen und haben eine Bandbreite von einigen zehntausend Hertz. Eine künstlich erzeugte Schwingung ohne Modulation ist dagegen sehr schmalbandig. Deswegen müssen zunächst die der natürlichen Standards mit 21, 18 . . . cm, sowie mit $21/2$, $18/2$. . . cm Wellenlänge untersucht werden. Hierfür wird ein Empfänger mit einer sehr geringen Bandbreite in der Größenordnung von einigen Hertz oder einigen zehn Hertz benötigt. Ein solcher Empfänger kann auch Signale mit einer langsamen Modulation empfangen. Die Anzahl der Ja-Nein-Zeichen in einer Sekunde darf etwa gleich der Bandbreite sein. Wenn wir mit einem Empfänger von 10 Hz Bandbreite ein Signal mit einer höheren Übertragungsgeschwindigkeit, z. B. 100 Zeichen je Sekunde, empfangen, so erleben wir ein Fiasko. Jedes Zeichen löst in den Schwingkreisen des Empfängers Einschwing- und Ausschwingvorgänge aus. Wenn die Ausschwingvorgänge bis zum Eintreffen des folgenden Zeichens fast abgeklungen sind, stören sich die Zeichen gegenseitig nicht. Anderenfalls steht es schlecht, weil jedes Zeichen mit dem vorausgehenden „ineinanderfließen“ würde. Kann man denn die Zeichen nicht veranlassen, bis zum Eintreffen der nachfolgenden Zeichen abzuklingen? Natürlich kann man das, jedoch nur durch die Vergrößerung der Bandbreite des Empfängers. Je rascher die Zeichen aufeinander folgen, um so größer muß also die Bandbreite sein.

Wir wollen uns eine Folge von rechteckförmigen Zeichen vorstellen. Wenn die Bandbreite des Empfängers richtig gewählt ist, können die Rechteckimpulse den Empfänger nahezu unverändert passieren. Ist aber die Bandbreite zu klein, so werden die Impulse verformt. Sie wachsen langsam an und klingen langsam ab, um so mehr, je schneller die Impulse aufeinander folgen und je schmaler die Bandbreite ist.

Wir wissen noch nicht, welche zeitliche Breite die von den Ypsilonern ausgesendeten Zeichen haben werden und welche Bandbreite wir wählen müssen. Deswegen müssen wir entweder mehrere Empfänger mit unterschiedlicher Bandbreite oder einen Empfänger mit regelbarer Bandbreite zur Suche verwenden. Wenn mehrere Empfänger vorhanden sind, kann man diese parallel betreiben. Bei nur einem Empfänger muß man die Bandbreite oft ändern.

Anstelle mehrerer Empfänger mit unterschiedlicher Bandbreite kann man auch einen einzigen Empfänger verwenden, an dessen Ausgang einige Filter mit verschiedener Bandbreite geschaltet sind. In diesem Fall können die Beobachtungen gleichzeitig an allen Ausgängen durchgeführt werden.

Bei den Betrachtungen haben wir stillschweigend vorausgesetzt, daß sich der Abstand zwischen den Zivilisationen X und Y nicht ändert. Wie wir bereits gesehen haben, befinden sich aber alle Himmelskörper in einer relativen Bewegung. Deshalb dürfen wir den Doppler-Effekt, mit dem wir uns bereits beschäftigt ha-

ben, keinesfalls vernachlässigen. Wenn sich die Himmelskörper mit den Zivilisationen X und Y einander nähern, wird die Frequenz des empfangenen Signals höher als die des gesendeten sein; beim Licht sprechen wir von der Violettverschiebung. Entfernen sich die Himmelskörper voneinander, so wird die Frequenz des empfangenen Signals niedriger als die des gesendeten sein; beim Licht sprechen wir von der Rotverschiebung.

Heißt das, daß ein Empfänger mit einer Bandbreite von einigen zehn Hertz nicht verwendbar ist? Nein, das heißt es nicht. Wir müssen streng zwischen der relativen Bewegung der Himmelskörper aufeinander zu oder voneinander weg (die zu Frequenzverschiebungen führt, wobei die Frequenz höher oder tiefer geworden ist, aber konstant bleibt) und relativen Geschwindigkeitsänderungen (die zu Frequenzänderungen führt) unterscheiden. Vor nennenswerten Frequenzänderungen schützt uns die große Masse der Himmelskörper. Deshalb wird sich die Frequenz nur sehr langsam ändern. Der Funker oder ein Automat sind also durchaus in der Lage, von Zeit zu Zeit den Empfänger nachzustimmen, sofern dies überhaupt erforderlich ist. Wenn wir jedoch ein Signal auf der Welle λ suchen, dann müssen wir wegen der möglichen Doppler-Verschiebungen auch die Umgebung $\lambda \pm \Delta \lambda$ dieser Welle sorgfältig absuchen.

Wir haben bereits gesehen, daß wir sowohl Empfänger mit kleiner Bandbreite als auch solche mit großer Bandbreite zur Suche benötigen. Die energiearmen Bewohner des Kosmos, die eine Entwicklungsstufe erreicht haben, die der unseren ähnlich ist, stellen sich eine nur bescheidene Aufgabe: Sie wollen lediglich allen Zivilisationen im näheren Umkreis ein Lebenszeichen von sich geben, ihnen mitteilen, daß sie da sind. Sie werden schmalbandige oder sogar nur harmonische Signale senden; zu mehr wird es nicht reichen. Diese Signale müssen wir mit schmalbandigen Geräten auffangen.

Die Energiekönige des Kosmos aber werden uns mit einem gewaltigen Informationsstrom überschwemmen, zu dessen Empfang Geräte mit einer sehr großen Bandbreite erforderlich sind. Aber auch sie werden sicherlich zeitweise einfache harmonische Schwingungen, möglicherweise mit langsamer Modulation, senden. Das bietet uns die Möglichkeit, sie auch mit schmalbandigen Empfängern und über größere Distanzen festzustellen.

Für unsere Suche rüsten wir uns also mit einem Empfänger aus, der sowohl schmalbandige als auch breitbandige Signale aufnehmen kann; der Betriebswellenbereich muß im Bereich des Minimums der kosmischen Störungen liegen. Wir untersuchen zuerst unter Berücksichtigung des Doppler-Effektes die Bereiche der natürlichen Frequenzstandards als die für solche Signale wahrscheinlichsten Bereiche, danach wird der restliche Bereich untersucht. Das alles wird keine einfache Arbeit sein. Wann mag es uns gelingen, aus dem Riesenozean des Weltalls das goldene Fischlein zu fangen?

Radiostrahlung oder Lichtstrahlung?

Kann es nicht sein, daß uns die Ypsiloner ihre Signale nicht mit Radiowellen, sondern mit den Lichtwellen eines Lasers senden? Müssen wir unser Netz etwa nicht in den Ozean der Radiowellen, sondern in den der Lichtwellen versenken? Das Licht kann, wie wir bereits festgestellt haben, sehr viel mehr Informationen transportieren als die Radiowelle. Ein schmales, fast parallel verlaufendes Bündel kohärenten Lichtes kann beliebige Weiten im Kosmos überbrücken. War es nicht so?

Die Quelle der kohärenten Strahlung im Laser, z. B. ein Kristall, hat leider nicht unendlich kleine, sondern endliche Abmessungen. Man kann aber, so beweist es die Optik, nur die Strahlung einer punktförmigen Quelle zu einem exakt parallelen Bündel vereinigen. Je größer aber die Leistung des Strahles sein soll, um so größer müssen die Abmessungen der Strahlungsquelle sein. Deswegen müssen wir die Hoffnung, von einem großen Laser ein absolut paralleles Strahlenbündel zu erhalten, das seine Energie nicht im Raum verstreut, endgültig begraben. Trotzdem läßt sich aber die Laserstrahlung sehr viel besser als die Radiostrahlung bündeln. Das Licht eines Lasers läßt sich zu einem Bündel von einigen zehn Winkelsekunden zusammenfassen. Werden optische Linsen verwendet, kann man sogar einige Winkelsekunden erreichen. Die Hauptkeule eines Antennendiagramms im Zentimeterwellenbereich ist dagegen im günstigsten Fall etwa ein Grad breit. Ein Laserstrahl läßt sich also etwa dreihundertmal besser als ein Radiostrahl bündeln.

Wie steht es aber mit dem Einfluß der Störungen auf das Lasersignal? Sagen wir es ungeschminkt: viel schlechter als im Radiobereich. Die Ypsiloner, die uns einen Lichtgruß und eine Information senden wollen, leben unter den wohlthätigen Strahlen ihres Sternes, ihrer Y-Sonne. Und diese ist eine gigantische Lichtquelle, die die Lichtsignale nicht nur sehr stark stört, sondern wahrscheinlich sogar völlig überdeckt. Die Sterne strahlen ihr Licht in alle Richtungen (sie haben ja genügend Energie), und sie strahlen im gesamten Lichtspektrum – von Infrarot bis Ultraviolett.

Wohin und auf welcher Wellenlänge der Laser auch immer strahlt, neben seinen Strahlen werden immer die Strahlen des heimischen Sternes vorhanden sein, und unser irdischer Empfänger wird von ihnen geblendet werden. Er wird das schwache künstliche Signal genausowenig empfangen, wie wir am Tag, geblendet vom Sonnenlicht, die Sterne sehen können.

Da sind die „Kinder der Finsternis“, die Bewohner der schwarzen Zwerge, besser dran. Sie kennen keine Lichtstörungen. Wie wir bereits gesehen haben, ist es jedoch äußerst fraglich, ob sie überhaupt existieren.

Die Ypsiloner haben aber dennoch Möglichkeiten, die Störungen zu überlisten. Im Spektrum der Strahlung eines jeden Sternes gibt es Absorptionslinien, also „Lücken“, in denen keine Strahlung emittiert wird, weil die mächtige Gaskorona des Sternes die Strahlung auf einigen Frequenzen selbst absorbiert. In diese Lücken könnte die Laserstrahlung gelegt werden. Da ihr Spektrum wesentlich schmäler als die Absorptionslinie ist, fließt sie mit den Randstrahlungen nicht

zusammen. Der Empfänger einer solchen Strahlung muß ein Lichtfilter besitzen, das nur Licht mit der Frequenz der Absorptionslinie durchläßt und die Strahlung der benachbarten Abschnitte des Spektrums absorbiert. Leider ist die Entwicklung solcher Filter noch nicht abgeschlossen. Außerdem wissen wir, daß jeder Empfänger rauscht. Von diesem bitteren Los sind auch die Empfänger des kohärenten Laserlichtes nicht verschont.

Ein verbreiteter Empfänger für Lichtschwingungen ist der *Fotovervielfacher*. In ihm wird mit Hilfe einer Fotokatode durch den eintreffenden Lichtstrahl ein Elektronenstrom ausgelöst, der dann von Sekundäremissionselektrode zu Sekundäremissionselektrode (sie werden als Dynoden bezeichnet) bis zur Anode wandert. Jede Dynode gibt mehr Elektronen ab, als im eintreffenden Strahl enthalten sind. Das Ganze ergibt eine gewaltige Vervielfachung der Energie des Eingangssignals. Es ist naheliegend, zu versuchen, mit solch einem Gerät Signale von fremden Zivilisationen aufzunehmen.

Leider ist der Fotovervielfacher nicht frei von Mängeln. Auch wenn kein Licht auf ihn trifft, wird er von einem Strom durchflossen, der als Dunkelstrom bezeichnet wird. Dieser Dunkelstrom wird im wesentlichen durch das Eigenrauschen des Fotovervielfachers ausgelöst. Es ist wesentlich stärker als das Eigenrauschen von Empfängern für Radiostrahlung. Der Betrieb von Laserempfängern wird auch durch galaktische Störungen wesentlich erschwert. Die Milliarden leuchtender Sterne wirken auch auf den Empfänger ein.

Die Leistungen der Laser, die auf unserem Planeten bisher erzeugt wurden, sind noch nicht sehr groß. Sie betragen nur einige zehn Watt im kontinuierlichen Betrieb, sind also viel kleiner als die Leistungen, die im Radiobereich erzeugt werden.

Was hat für uns die größere Perspektive, die Suche im Gebiet der Lichtstrahlung oder im Gebiet der Radiostrahlung? Nach unserem irdischen Stand der Technik können wir mit der Lichtstrahlung noch keine sehr großen kosmischen Entfernungen überbrücken. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß die Ypsiloner bereits in der Lage sind, so leistungsstarke Bündel kohärenten Lichtes zu erzeugen und zu steuern, daß wir sie mit unserer zur Zeit vorhandenen Technik bereits empfangen können.

Es gibt noch einen Umstand, der die Nachrichtenverbindung über Licht erschwert; das ist – die starke Richtwirkung. Einerseits hilft sie uns, die Energie zu konzentrieren; andererseits erschwert sie das Zielen. So hat z. B. die Erdumlaufbahn, von den nächsten Sternen aus gesehen, einen Durchmesser von einer Winkelsekunde. Das ist annähernd der Strahlungswinkel des Lasers. Wenn die Ypsiloner ihren Strahl auf das Sonnensystem gerichtet haben, erfassen sie also nicht alle Planeten. Mit einem gerichteten Radiostrahl würden dagegen alle Planeten unseres Sternes gleichzeitig erfaßt.

Es zeigt sich, daß es gegenwärtig sinnvoller ist, die Verbindung mit fremden Zivilisationen mit Hilfe von Radiosignalen zu suchen. Man sollte allerdings die Lichtstrahlung nicht völlig vergessen.

Wie demodulieren wir?

Nehmen wir an, daß wir endlich ein Signal empfangen haben und daß die Bandbreite des Empfängers ausreicht, um das Signal in seine einzelnen Elemente aufzulösen. Nehmen wir weiterhin an, daß die Störungen nicht allzu groß sind, so daß sich das Signal zuverlässig aussondern läßt. Nun müssen wir noch feststellen, auf welche Weise die Ypsiloner ihre Informationen auf die Trägerschwingung moduliert haben. Erst dann können wir das Signal demodulieren, also der Trägerschwingung das Nutzsignal entnehmen.

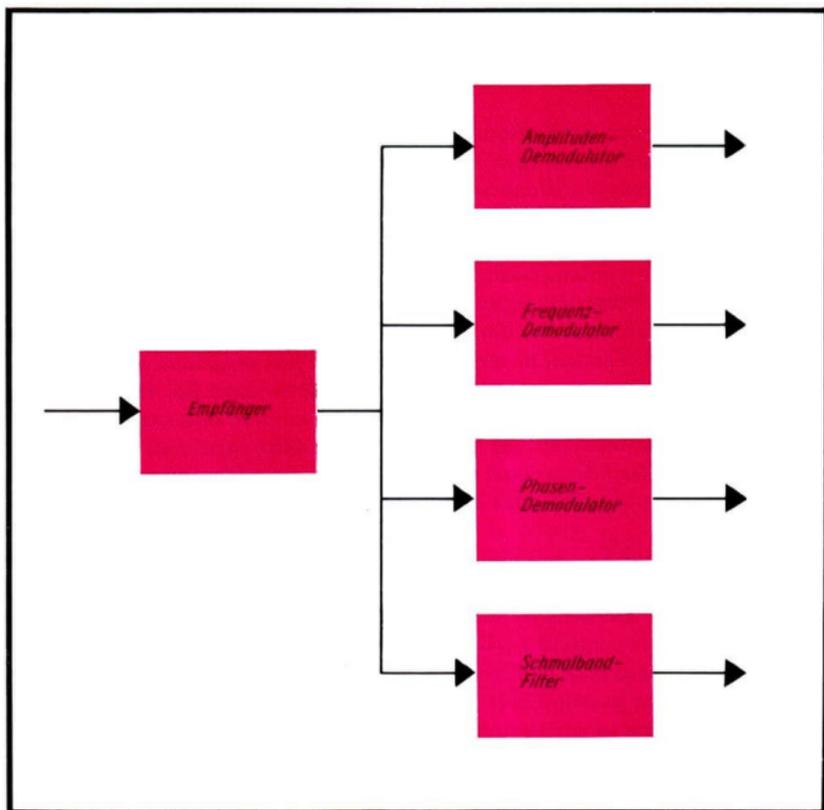
Wahrscheinlich senden uns die Ypsiloner binär verschlüsselte Informationen – also ganz einfache Ja-Nein-Signale. Wir wissen bereits, daß wir mit einer von vier Modulationsarten rechnen müssen, mit der Amplitudenmodulation, der Frequenzmodulation, der Phasenmodulation oder der Impulsmodulation. Die Demodulatorstufe unseres Empfängers muß also auf alle vier Modulationsarten eingerichtet sein. Da wir für jede Modulationsart einen besonderen Demodulator benötigen, wird der Empfänger recht kompliziert. Vorteilhaft ist aber, daß jeder Demodulator seinen eigenen Ausgang hat, so daß wir gleichzeitig an allen Ausgängen nach dem Signal suchen können.

Die Demodulation von amplituden- und frequenzmodulierten Schwingungen ist ziemlich einfach; man kann ohne weiteres die üblichen Demodulatoren verwenden. Wie steht es aber mit der Phasen- und der Impulsmodulation? Solch ein Signal kann man nur dann demodulieren, wenn von vornherein einige technische Angaben vorhanden sind; man muß also das *Bezugssignal* kennen.

Wir wollen hierzu ein Beispiel betrachten. Ein Detektiv sucht im Trubel eines Bahnhofs zwei ihm unbekannt Personen. Als Bezugssignal dienen ihm die Fotografien der gesuchten Personen. Er vergleicht die Fotografien mit den Gesichtern der Menschen, die ihm begegnen, und versucht so, die von ihm gesuchten Personen zu finden. Die vielen Menschen, die er trifft, sind so etwas wie äußere Störungen; sie erschweren seine Suche. Es gibt aber auch andere Störungen, z. B. Veränderungen in der Kleidung, in der Frisur oder das Anlegen einer Maske. Mit „Adlerblicken“, wie es in den Kriminalromanen heißt, vergleicht der Detektiv die Gesichter der Vorübergehenden mit den Gesichtern auf der Fotografie und fängt so schnell die Gesuchten. Etwas Ähnliches geht auch im Empfänger vor sich. Er vergleicht das Eingangssignal mit dem Bezugssignal. Wenn das Eingangssignal und das Bezugssignal ähnlich sind, erscheint am Ausgang des Empfängers ein Impuls. Sind sie aber verschieden, so entsteht kein Impuls am Ausgang.

Aber wir haben ja kein Bezugssignal! Wir haben keine Vorstellung, was für ein Bezugssignal die Ypsiloner gewählt haben. Wenn wir auf unserem eigenen Planeten eine Nachrichtenverbindung einrichten wollen, kann die Frage nach dem Bezugssignal auch auftreten, und zwar dann, wenn das Bezugssignal am Empfangsort unbekannt ist (oder dorthin sehr schwer zu übermitteln ist).

Wir Erdbewohner haben aus dieser Situation einen Ausweg gefunden und das Bezugssignal der Welle mitgegeben, die auch die Information trägt. Sie könnten nun einwenden, daß für den Empfang dieses Bezugssignals wieder irgendein



So könnte eine Empfangseinrichtung zur Suche „intelligenter“ Signale aufgebaut sein.

anderes Bezugssignal erforderlich ist. Man kann dieses Problem z. B. so lösen, daß jedes Zeichen, möge es Ja oder Nein bedeuten, als Bezugssignal für den Empfang des nachfolgenden Zeichens dient. Wir haben bereits einen Phasenkanal als Beispiel hierfür betrachtet (siehe hierzu das Bild auf Seite 106). Genauso kann die Übertragung auch bei Veränderung der Wellenform stattfinden. Ein Rauschabschnitt, der mit dem vorangehenden übereinstimmt, trägt das Signal Ja, und das umgekehrte Zeichen, besser gesagt, das „mit Minus multiplizierte“ Zeichen, trägt das Signal Nein. Die Übertragungsmethode, bei der jedes Zeichen gleichzeitig das Bezugssignal für das nachfolgende ist und außerdem auch eine eigene Information trägt, hat die Bezeichnung *Differenzphasenumtastung* erhalten.

Die elementare Idee der Anwendung der Differenzphasenumtastung ist wahrscheinlich auch den vernunftbegabten Geschöpfen, die ihre Signale in den Kosmos schicken, längst gekommen. Schließlich sind sie uns auf dem Wege der Ent-

wicklung des Verstandes ein gutes Stück voraus. Entweder haben sie ihren Weg früher begonnen als wir, oder sie haben die Strecke von der Steinaxt bis zur Beherrschung gewaltiger Informations- und Energieflüsse schneller als wir zurückgelegt.

Vielleicht senden uns die Ypsiloner aber kein Bezugssignal und nehmen an, daß wir klug genug sind, um zu erraten, welches Bezugssignal wir in den Demodulator eingeben müssen. Wenn wir das aber wirklich richtig erraten, dann hilft uns das auch nicht viel weiter. Schließlich ist unser irdisches Signal nicht durch den Kosmos, durch den sich das Signal der Ypsiloner zu uns durchschlagen mußte, übertragen worden. Deshalb wird unser Bezugssignal kaum dem aus dem Kosmos ankommenden Signal ähnlich sein, und deswegen kann es prinzipiell den Veränderungen der Verzerrungen des kosmischen Ankömmlings gar nicht folgen. Die Ähnlichkeit unseres irdischen und des ankommenden Signals geht verloren, und damit geht auch die Störfestigkeit verloren. Bei der Differenzphasenumtastung wird nämlich das vorangehende Zeichen unterwegs genauso verzerrt wie das folgende, und die beiden gleichermaßen verzerrten Zeichen behalten ihre Ähnlichkeit. Deswegen werden uns die Ypsiloner nicht nur die Information, sondern vorsorglich auch das Bezugssignal in der gleichen Welle senden.

Wie wird nun eine solche Information demoduliert? Ganz einfach! Das jeweilige Zeichen wird jeweils für diejenige Zeitdauer gespeichert, die gleich der Dauer eines jeden Zeichens ist. Dadurch kann man jedes Zeichen mit dem jeweils nachfolgenden vergleichen. Dazu unterwirft man sie einer einfachen arithmetischen Operation: Man multipliziert sie.

Die Zeichen werden gewöhnlich in einer Verzögerungsleitung gespeichert. Eine Verzögerungsleitung ist so etwas wie eine Hürdenstrecke aus Röhren und Kondensatoren, die das Signal hindern, sich in seiner normalen Geschwindigkeit fortzupflanzen. Wenn man die Dichte oder die Länge der Hürdenstrecke ändert, kann man die Verzögerungszeit des Signals ändern. Man wählt sie so, daß der (später gestartete) Läufer auf der Geraden und der Läufer auf der Hürdenstrecke an den Eingängen der Multiplikationsschaltung gleichzeitig zum Endspurt ansetzen. Dann geht die Bezugsspannung immer „im Gleichschritt“ mit dem Signal (vgl. Bild auf Seite 106).

Damit steht fest, daß unser Empfänger außer einem Amplituden- und Frequenzdemodulator auch einen Phasendemodulator mit einer Verzögerungsleitung für ein Zeichen und eine Multiplikationsschaltung enthalten muß.

Wir wissen aber nicht, welche Zeitdauer für die Zeichen sich die Ypsiloner ausgedacht haben. Deswegen wissen wir auch nicht, welche Verzögerungszeit wir wählen müssen. Diese Schwierigkeit läßt sich aber leicht überwinden; man verwendet eben eine Verzögerungsleitung mit variabler Verzögerung und probiert verschiedene Varianten aus.

Ein Signal, das nach dem Prinzip der Differenzphasenumtastung übertragen wird, hat eine interessante Eigenschaft: Wenn man die Trägerfrequenz verdoppelt, dann verschwindet die gesamte Information. Wir erhalten eine harmonische Sinusschwingung, die eine verschwindend kleine Bandbreite benötigt. Hieraus

ergibt sich eine einfache Möglichkeit zur Feststellung von phasenmodulierten Signalen. Wir benötigen nur einen Frequenzverdoppler und ein Filter mit sehr kleiner Bandbreite (Bruchteile eines Hertz). Wir brauchen also weder die erforderliche Bandbreite noch die Verzögerungszeit für die Signale zu kennen. Unsere Unkenntnis des Modulationsverfahrens der Ypsiloner kostet uns also einigen Aufwand. Wir benötigen drei Demodulatoren – für Amplituden-, für Frequenz- und für Phasenmodulation. Die vierte Anordnung (Frequenzverdoppler und schmalbandiges Filter) wird als Indikator zur Feststellung von phasenmodulierten Signalen benötigt. Wir benötigen also eine Demodulatorstufe mit vier Ausgängen.

Und nun wollen wir uns der – Numismatik zuwenden!

Was soll hier die Numismatik?

Wir sprachen bereits darüber, daß ein Signal – wie eine Medaille – zwei Seiten hat. Auf der einen Seite ist der zeitliche Verlauf des Signals dargestellt, und auf der anderen Seite finden wir das Frequenzspektrum des Signals.

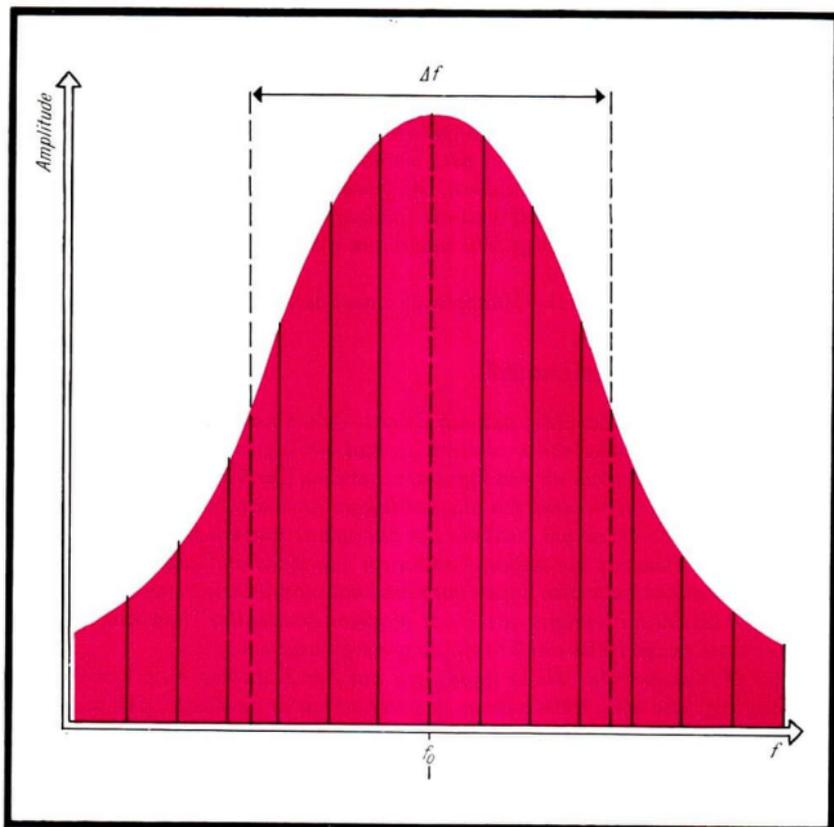
Ob die unbekanntes Wesen, die uns das Signal gesendet haben, Verstand besitzen oder nicht, können wir nicht nur auf der einen, sondern auch auf der anderen Seite der Medaille feststellen. Gehen wir von einer einfachen Sinusschwingung aus. Auf der Zeitachse finden wir eine kontinuierliche harmonische Schwingung. Ihr Spektrum besteht aus einer einzigen vertikalen Linie auf der Frequenzachse, deren Höhe der Schwingungsamplitude entspricht.

Bei der Modulation der Welle finden wir auf der Zeitachse eine komplizierte Schwingung. Wie wir bereits wissen, hat schon *Fourier* bewiesen, daß man jede Schwingung, auch wenn sie noch so kompliziert ist, in einfache harmonische Schwingungen zerlegen kann. Auf der Frequenzachse finden wir nun eine mehr oder weniger große Anzahl von Linien. Auf der einen Seite der Medaille sehen wir also eine komplizierte Schwingung und auf der anderen Seite das Spektrum, also einen Lattenzaun aus vielen einzelnen Sinusschwingungen.

Nun kann man fragen, was denn wirklich vorhanden ist, die komplizierte Schwingung oder das Spektrum. Im vergangenen Jahrhundert löste diese Frage erbitterte Diskussionen unter den Gelehrten aus. Heute wissen wir, daß die beiden Seiten der Medaille zusammengehören. Mit dem Oszilloskop können wir den zeitlichen Verlauf der Schwingungen beobachten und mit dem Spektrographen ihr Spektrum.

Was ist das, ein *Spektrograf*? Wenn ein Empfänger an seinem Ausgang nicht den zeitlichen Verlauf, sondern das Spektrum der Schwingungen zeigen soll, muß man die Frequenzachse in viele schmale Abschnitte aufteilen und so viele Filter verwenden, wie man Abschnitte erhalten will. Jedes dieser Filter muß besonders abgestimmt werden und eine Bandbreite haben, die der gewünschten Breite der Abschnitte entspricht. Schaltet man jetzt eine Elektronenstrahlröhre nacheinander an die Filter an, so sieht man auf dem Bildschirm das Spektrum des Signals.

Mit Spektrographen kann man einen breiten Frequenzbereich überwachen. Auf

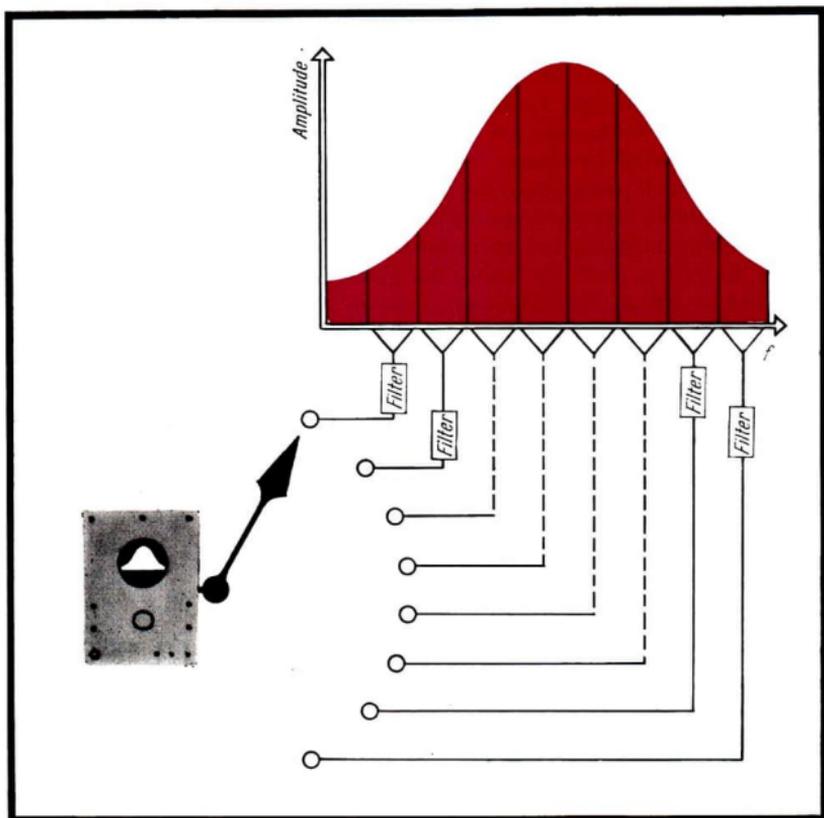


Prinzip der Fourier-Zerlegung.

dem Bildschirm der Elektronenstrahlröhre sieht man das Spektrum aller im überwachten Frequenzbereich arbeitenden Funkstationen. Solche Spektrografen werden auf der Erde z. B. zur Funküberwachung verwendet. Auch für die Suche nach Signalen von fremden Zivilisationen sind sie gut verwendbar.

Der Spektrograf zeigt uns, in welchen Frequenzbereichen die Radiostrahlung aus dem Weltall bei uns eintrifft. Wir erkennen die mittlere Frequenz f_0 einer Strahlung und ihre Bandbreite Δf . Mit diesen Angaben können wir einen Empfänger zum Fang des goldenen Fischleins auf der Frequenz f_0 und mit der Bandbreite Δf bauen. Schließlich können im Spektrum auch Besonderheiten sichtbar werden, die in der natürlichen Radiostrahlung der Himmelskörper nicht auftreten. Und so können wir Spuren des Verstandes, der sie geschaffen hat, finden.

Damit kommen wir zu der Schlußfolgerung, daß unser Empfänger die gleichzeitige Betrachtung beider Seiten der Medaille zulassen muß. An seinem Ausgang muß also sowohl ein Oszillograf als auch ein Spektrograf vorhanden sein.



Ein Spektrograf zerlegt ein Signal, indem er es auf schmalbandige Filter gibt und deren Ausgangsamplituden auf einer Elektronenstrahlröhre aufzeichnet. Ein Spektrograf für Lichtstrahlen ist im Prinzip genauso aufgebaut, nur tritt an die Stelle der vielen Filter ein Prisma und an die Stelle der Elektronenstrahlröhre eine Fotoplatte. Auf diese Weise wurden z. B. die Spektren auf S. 26 gewonnen.

Soweit mir bekannt ist, sind solche Einrichtungen auf der Erde noch nicht gebaut worden. Ihre Entwicklung wäre eine großartige Aufgabe für die Jugend, an der sie ihre Kraft erproben könnte.

Werden wir den Goldfisch erkennen?

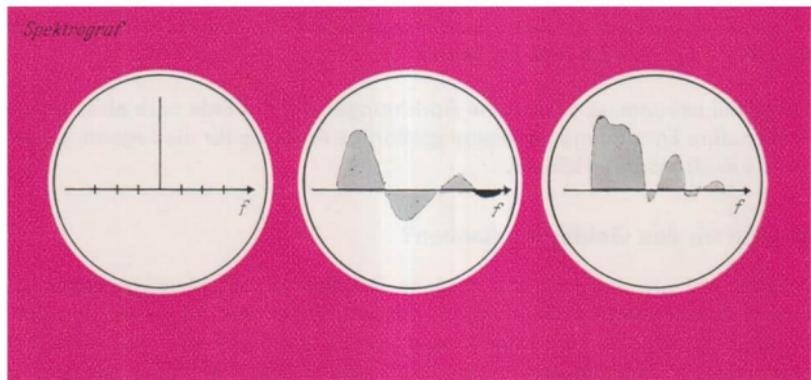
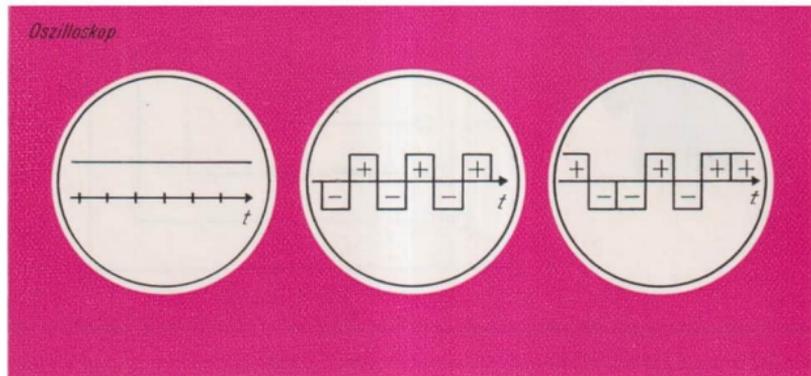
Nehmen wir an, daß uns das goldene Fischlein in das Netz gegangen ist. Unsere Antenne hat es eingefangen; der Empfänger war auf die richtige Wellenlänge abgestimmt, und seine Bandbreite war groß genug, um es passieren zu lassen. Der Demodulator hat das ursprüngliche Signal wiederhergestellt und

– welche Freude – das langerwartete goldene Fischlein erscheint am Empfängerzugang.

Wir dürfen uns aber nicht zu früh freuen. Es wird immer noch von ganzen Schwärmen andersartiger Fische umgeben sein – äußeren und inneren Störungen der verschiedensten Art. Wie sollen wir unter ihnen unser goldenes Fischlein erkennen? Zu diesem Zweck müssen wir beide Seiten der Medaille gleichzeitig visuell beobachten: die Form des Signals in der Zeit und die Form seines Spektrums. Das erste geschieht durch Anschalten eines Oszilloskops an den Empfängerzugang, das zweite durch Anschalten eines Spektrografen.

Setzen wir voraus, daß das Signal der Ypsiloner ausreichend stark bei uns ankommt, so daß es die Störungen „übertönt“. Wenn es die Form einer einfachen harmonischen Schwingung (ohne Modulation) hat, sehen wir auf dem Bildschirm etwas Ähnliches wie auf dem Bild links. Die Ypsiloner können ihre Information aber auch als Binärsignale (Ja-Nein-Folge) senden, dann wird das Bild schon etwas komplizierter (Mitte).

Wird eine sich nicht wiederholende Information durch Binärsignale übertragen,



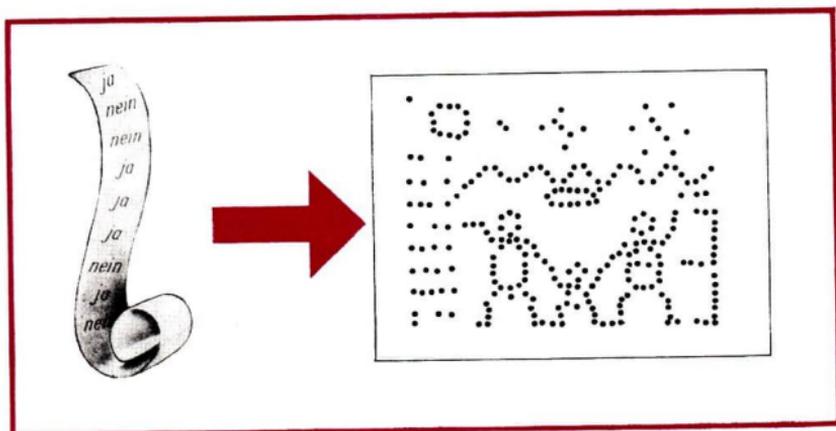
dann wird das Spektralbild kompakt, und auf dem Bildschirm des Oszilloskops sehen wir eine unregelmäßige Ja-Nein-Folge (rechts).

In allen drei Fällen ist das goldene Fischlein festgestellt. Der interessanteste Fall – der dritte – verlangt jedoch eine Decodierung. Das goldene Fischlein muß mit menschlicher Stimme sprechen. Ist das möglich?

Sicher wird das möglich sein! Schließlich haben wir Menschen ja auch die geheimnisvolle Bilderschrift der Mayas, die ägyptischen Hieroglyphen und die Keilschrift der Babylonier entziffert. Allerdings haben sich all diese vergangenen Zivilisationen unter unseren irdischen Bedingungen entwickelt. Und trotzdem mußten viele Gelehrte unserer nachfolgenden, höherentwickelten Zivilisation lange und intensiv an der Enträtselung der Geheimnisse der alten Schriften arbeiten. Wie lange werden wir nun benötigen, um die Signale der klugen Ypsiloner zu entschlüsseln? Wir wissen es nicht; denn wir kennen ja noch nicht einmal die Signale.

Unlängst wurde aber ein zu großen Hoffnungen berechtigendes Experiment durchgeführt. Den Teilnehmern einer radioastronomischen Konferenz in den USA wurde ein Band mit einer regellos erscheinenden Folge von 1271 Binärzeichen (0 und 1) ausgehändigt. Ihnen wurde gesagt, daß dies die Aufzeichnung der Sendung einer uns unbekanntes Zivilisation sei, und sie wurden gebeten, diese Sendung zu decodieren. Viele der Wissenschaftler, die an dem Experiment teilnahmen, fanden des Rätsels Lösung ziemlich schnell.

Hier der Gang ihrer Überlegungen: Die Gesamtanzahl der Binärzeichen kann auch in der Form $41 \times 31 = 1271$ dargestellt werden. Nun drängt sich die Vermutung auf, daß diese Zahlen die Abmessungen eines Fernsehbildes mit 31 Zeilen und 41 Elementen in jeder Zeile (man kann dies Verhältnis auch umgekehrt annehmen) sein könnten. Wenn man nun Zeile für Zeile die Einsen in Form von schwarzen Punkten aufträgt, so ergibt sich ein sehr interessantes Bild, das viele Aussagen enthält. In der Mitte sehen wir drei Wesen, vermutlich eine Familie: Vater und Mutter mit dem Kind in der Mitte. Wahrscheinlich ver-



mehren sich also die Geschöpfe des anderen Planeten genauso wie wir Erdbewohner. In der linken oberen Ecke sehen wir zweifellos ihren Stern. Unter diesem sind von oben nach unten acht Punkte aufgetragen, offenbar soll dies die Anzahl der Planeten des Sternes sein. Links von den Punkten ist die Nummer der Planeten im dualen Zahlensystem angegeben, mit dessen Hilfe man jede beliebige Zahl nur durch Nullen und Einsen ausdrücken kann. Der Vater zeigt mit der Hand auf den Planeten Nr. 4 oder, im Dualzahlensystem geschrieben, Nr. 100. Auf diesem Planeten lebt also die Y-Zivilisation.

Rechts von der Mutter befindet sich eine „Meßlatte“ für die Körpergröße, in deren Mitte, ebenfalls im dualen Zahlensystem, die Zahl 11 (1011) steht. Danach sind die erwachsenen Geschöpfe 11 Einheiten eines bestimmten Maßstabes groß. Den Teilnehmern des Experiments wurde mitgeteilt, daß die Signale auf der Wellenlänge $\lambda = 21$ cm empfangen wurden. Es ist naheliegend, diesen Wert als Einheit des Maßstabes anzunehmen. Demnach sind die Ypsiloner wahrscheinlich im Mittel $21 \times 11 = 231$ cm groß. An der ausgestreckten Hand der Mutter ist weiterhin die Zahl 6 (110) zu sehen. Das kann bedeuten, daß die Ypsiloner Geschöpfe mit sechs Fingern sind. Deshalb ist es wahrscheinlich, daß sie ein Zahlensystem mit der Basis 12 haben. Wir wollen uns hier nicht mit der weiteren Dechiffrierung des Bildes aufhalten; denn wir haben bereits erkannt, daß unser Band mit der regellos erscheinenden Folge von Ja-Nein-Zeichen eine gewaltige Informationsmenge enthält. Wir sehen, daß man selbst mit einer primitiven Darstellung wesentlich mehr Informationen übermitteln kann als mit einem langen geschriebenen Text. Offenbar ist es zweckmäßig, im interstellaren Funkverkehr bildliche Darstellungen zu verwenden. Allerdings – die „Kinder der Finsternis“ können eine solche Methode leider nicht benutzen.

Da die physikalischen Gesetze für alle Zivilisationen gelten, werden die Sendungen wahrscheinlich zunächst die einfachsten physikalischen und mathematischen Zusammenhänge sowie einfache mathematische Operationen enthalten. Die Übertragung von Informationen über die Errungenschaften einer Zivilisation zu einer anderen verlangt einen großen Informationsfluß und natürlich auch eine besondere Sprache. Solch eine Sprache muß eine rein logische Schöpfung ohne komplizierte grammatische Regeln und ohne noch viel kompliziertere Ausnahmen von diesen Regeln sein. Die Einfachheit und die Logik dieser Sprache würde anderen vernunftbegabten Wesen ihr Fernstudium wesentlich erleichtern. 1960 machte der niederländische Mathematiker *H. Freudenthal* einen Vorschlag für eine solche Sprache, die er *Lincos* (lingua cosmica) nannte. Er ging davon aus, daß die Empfänger im Kosmos, von denen er voraussetzt, daß sie mindestens den gleichen Wissensstand haben wie wir, aus häufigen Wiederholungen von Beispielen auf induktivem Wege selbst zu den notwendigen Verallgemeinerungen kommen werden.

Wir dürfen also annehmen, daß es uns gelingen wird, einen empfangenen vernünftigen Text zu dechiffrieren. Bei dieser Arbeit können wir ja auch mit der Hilfe unserer Halbleiterkollegen – der Computer – rechnen. Die Computer werden wir aber nicht nur zur Dechiffrierung der kosmischen Botschaften, sondern auch zur Untersuchung der sicherlich durch Rauschstörungen verstümmelten Si-

gnale benötigen. Wir werden das vermutlich vernünftige Signal aufzeichnen und zur Untersuchung in die Maschine eingeben müssen. Dort wird es dann gemittelt, gefiltert, in seine einfachsten Bestandteile zerlegt und auf vielfältige Art bearbeitet; es wird also nach allen Regeln der modernen Wissenschaft „verhört“, bis es uns seine Geheimnisse preisgibt.

Die ersten Fischer

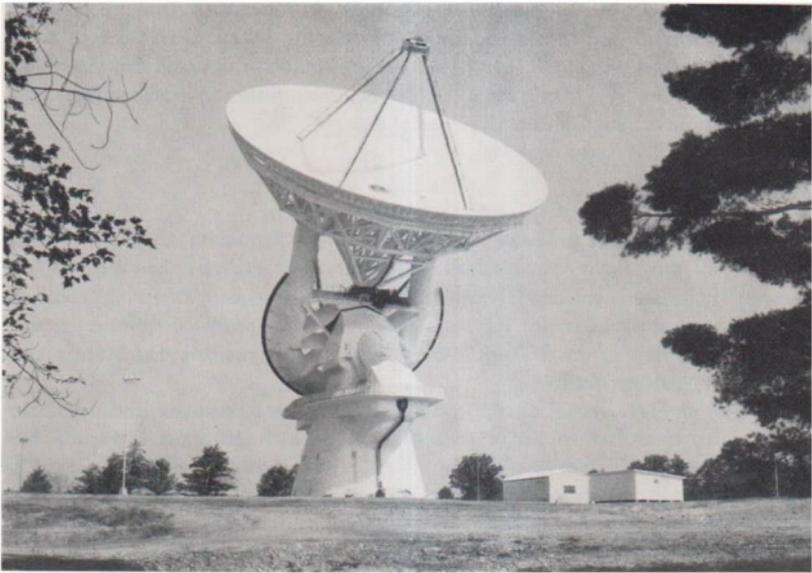
Der erste Versuch, das goldene Fischlein mit einem Funknetz zu fangen, wurde im Jahr 1960 im radioastronomischen Observatorium Green Bank in Westvirginia gemacht. Falls die Historiker irgendwann einmal die genaue Zeit wissen wollen, zu der der erste Versuch der Herstellung eines Funkkontaktes gemacht wurde – hier ist sie: Es war am 8. April 1960, 4.00 Uhr morgens, als der Stern τ Ceti soeben am Horizont erschien.

Der Astronom *F. D. Drake*, der für die Entwicklung der Apparatur und die radioastronomischen Arbeiten verantwortlich war, bezeichnete sein Experiment in Anlehnung an die Bücher des Schriftstellers *L. Frank Baum* als „Project Ozma“ – nach dem König des sagenhaften Landes Oz hinter den dreimal neun Reichen, das von der unpassierbaren Todeswüste umgeben und von phantastischen Geschöpfen bewohnt ist.

Grundlage des Projektes war die Annahme, daß man die Signale auf der Wellenlänge eines „natürlichen kosmischen Standards“ ($\lambda = 21$ cm) suchen müsse. Die Gestirne τ Ceti und ε Eridani galten als das Land, dessen vernunftbegabte Geschöpfe uns möglicherweise Signale senden. Diese beiden Sterne stehen schon längere Zeit auf der Verdachtsliste, denn sie sind unserer Sonne ähnlich und haben möglicherweise auch Planeten.

Die Berechnungen der Erbauer der ersten Funkbrücke gingen davon aus, daß uns die Bewohner der fernen Zivilisation Signale mit geringer Bandbreite und einer Sendeleistung von 1 GW schicken. Wenn ihre Sendeantenne einen Durchmesser von 200 m hätte, so könnten wir die Signale mit einer Antenne von 25 m Durchmesser und einem schmalbandigen Empfänger feststellen. Man verwendete eine Antenne mit einem Reflektordurchmesser von 27 m und einen Spezialempfänger für die Versuche.

In der Antenne befanden sich zwei Trichter, die die ankommenden Strahlen sammelten. Einer dieser Trichter sammelte die Strahlen, die aus einem kleinen Himmelsabschnitt um den untersuchten Stern kamen, in dem man die Umlaufbahnen der um diesen Stern kreisenden Planeten vermutete. Der andere Trichter sammelte die Strahlen aus einem weiter entfernten Nachbarabschnitt des Himmels, in dem man keine Planeten des beobachteten Sternes vermutete. Beide Trichter wurden abwechselnd an den Empfängereingang geschaltet. Das Radioteleskop schaute also, ohne die Stellung der Antenne zu verändern, einmal zum Stern und einmal an ihm vorbei. Der Empfänger nahm also abwechselnd das Rauschen des Himmels und das Rauschen des Himmels mit dem Signal der vernunftbegabten Wesen auf (falls diese nicht vergessen hatten, es zu senden!). Dadurch hatte man die Möglichkeit, das Rauschen und das erhoffte



43-m-Radioteleskop mit äquatorialer Montierung in Green Bank. Mit einem etwas kleineren Gerät dieses Typs wurde 1960 der erste Versuch einer Kontaktaufnahme mit fremden Lebewesen gemacht (Project Ozma).

Gemisch von Signal und Rauschen zu vergleichen. Die Bandbreite des Empfängers war so groß, daß man die Radiostrahlung auf einer Wellenlänge von 21 cm auch unter Berücksichtigung der auf Grund des Doppler-Effektes möglichen Verschiebungen aufnehmen konnte. Am Ausgang des Empfängers befand sich ein Filter mit einer Bandbreite von etwa 100 Hz. Hinter dem Filter waren eine Schreibeinrichtung und ein Lautsprecher angeordnet.

Ein programmgesteuerter Mechanismus ermöglichte die Verfolgung des Sternes τ Ceti mit der Antenne. Die Beobachtungen wurden bis zum Mittag fortgesetzt. Danach ging man zur Beobachtung des Sternes ε Eridani über. Und da geschah das Unwahrscheinliche!

Unerwartet begann das Schreibgerät, Impulse aufzuzeichnen, die sich periodisch wiederholten. Die Erregung der Anwesenden erreichte ihren Höhepunkt. Welch ein Erfolg, gleich am ersten Tag Signale einer fremden Welt zu empfangen! Die Sendung dauerte genau fünf Minuten und hörte dann auf. Nach einiger Zeit begann sie erneut. Als man versuchte, die Quelle der Sendung zu lokalisieren und die Antenne etwas von dem beobachteten Stern ε Eridani weg bewegte, verschwanden die Impulse — nicht! Es stellte sich heraus, daß man eine Sendung empfangen hatte, die auf der Erde ausgestrahlt worden war.

In den Monaten Mai, Juni und Juli 1960 wurden die Beobachtungen systematisch weitergeführt. „Vernünftige“ Signale konnten nicht empfangen werden. Kein

goldenes Fischlein schwamm ins Netz. Vielleicht war die Bandbreite des Empfängers zu klein, vielleicht wurde das Signal auf einer anderen Wellenlänge gesendet oder vom Rauschen überdeckt, vielleicht . . . Dem ersten Schritt werden unweigerlich die nächsten folgen. Auch die Apparaturen werden immer vollkommener werden. Die Durchmesser der Antennen werden wachsen, und man wird neue, verbesserte Methoden für die Aussonderung der Informationen aus dem Rauschen und für ihre Bearbeitung finden.

Lassen wir uns nicht dadurch entmutigen, daß dem Projekt Ozma kein Erfolg beschieden war. Die Wahrscheinlichkeit, gleich beim ersten Versuch mit den beiden nächsten Sternen die Spuren der Ypsiloner zu finden, ist äußerst gering. Unsere Hochachtung gilt der Pioniertat der Schöpfer des Projektes Ozma, die die ersten Schritte auf dem Weg zu den vernunftbegabten Bewohnern anderer Welten taten.

Auch in der Sowjetunion wurde unter der Leitung des Radioastronomen W. S. Troizkij eine Apparatur für die Suche nach Signalen von fernen Zivilisationen entwickelt. Der Empfänger ist im Bereich des Radiofensters abstimmbare. Er hat eine Bandbreite von einigen Megahertz. Die Bandbreite seiner vielen Ausgangsfilter von einigen Hertz bis zu einigen hundert Hertz ist einstellbar.

Mit dieser Apparatur wurden seit 1968 zahlreiche Sterne, die unserer Sonne ähneln, im Dezimeter- und Zentimeterwellenbereich beobachtet. Es wurde nach Strahlungen gesucht, die von außerirdischen Zivilisationen ausgesendet worden sind. Wir wollen diesem Kollektiv von Enthusiasten in Gorki Erfolg bei ihrer aufregenden Suche nach Radiogrüßen aus dem Weltall wünschen.

Wir Erdenbürger über uns

Was wollen wir senden?

In den vorhergehenden Abschnitten haben wir erfahren,

- daß auf den Planeten anderer Sterne höchstwahrscheinlich vernünftige Geschöpfe leben – je größer der Umkreis ist, in dem wir suchen, je mehr Sterne wir also in unsere Suche einbeziehen, um so größer sind unsere Aussichten, fremde Zivilisationen zu finden
- daß der moderne Stand der Technik uns Erdbewohnern gestattet, Radiosignale von sehr weit entfernten Sternen zu empfangen.

Der Tag, an dem Rundfunk und Fernsehen die Kunde von einer Nachricht aus den Tiefen des Weltalls in Windeseile um den ganzen Erdball verbreiten werden, wird sicher kommen – doch wann? Diese Kunde kann uns Menschen heute überraschen, vielleicht morgen oder erst in Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten. Das Datum kann uns weder die Königin der Zufälle, die Wahrscheinlichkeitstheorie, noch die Futurologie voraussagen. Solch ein Ereignis hat es ja auf der Erde noch nie gegeben, und wir wissen nicht, von welchen Zufallsgesetzen es abhängig ist. Irgendwann werden wir uns aber nicht nur an die Erfindung des Radios durch A. S. Popow, sondern auch an den Tag des ersten Funkkontaktes mit fremden Zivilisationen erinnern.

Stellen wir uns vor, daß es uns gelungen sei, eine erste Nachricht von vernunftbegabten Lebewesen eines fernen Sternes zu empfangen. Wird das eine Aufregung auf unserer alten Erde sein! Wohl keiner ihrer Bewohner wird da gleichgültig bleiben.

Aber – wir müssen diese Nachricht nicht nur aufnehmen und entschlüsseln; wir müssen den fernen Bewohnern des Weltalls auch antworten. Wie wird unsere Antwort aussehen? Zunächst müssen wir den Ypsilonern einige Informationen über unser Vokabular, unsere Mathematik, unsere Logik beibringen. Dann kommt das Wichtigste: Wir müssen uns vorstellen und mitteilen, wie wir uns entwickelt haben; wir müssen etwas über unsere sozialen und technischen Eigenschaften sagen. Das alles muß kurz und objektiv sein und in einer den Ypsilonern verständlichen Form dargestellt werden.

Die Klarheit und Verständlichkeit unserer Nachricht ist sehr wichtig; denn die Ypsiloner können ja nicht einfach rückfragen, wenn sie etwas nicht verstanden haben (so wie wir dies am Telefon tun). Die Laufzeit der Signale wird wahrscheinlich Jahrzehnte und möglicherweise sogar Jahrhunderte betragen, und die

Antwort wird Generationen erreichen, die nur noch aus der Geschichte wissen, daß ihre Vorfahren irgendwann einmal begonnen haben, Rufe in das Weltall zu senden.

Der Funker oder der Computer, der den ersten Nachrichtenkanal Erde–Planet des Sternes Y bedient, braucht den Text einer solchen Botschaft. Soweit mir bekannt ist, gibt es eine solche Botschaft bis jetzt noch nicht. Wir wollen uns jetzt einige Gedanken darüber machen, wie eine solche Botschaft aussehen müßte. Vielleicht geben wir damit den Anstoß zur Schaffung einer derartigen Nachricht!

Was wissen wir über die Entstehung unserer Erde?

Der menschliche Gedanke dringt immer tiefer in die Geschichte des sichtbaren Weltalls ein. Er hat längst unsere ferne Vergangenheit, die der Epoche des Auseinanderlaufens der Galaxien vorausging, erreicht. Unsere gewonnenen Erkenntnisse dürfen wir den Ypsilonern nicht vorenthalten; denn wir vermitteln ihnen damit wichtige Einblicke in unseren Wissensstand und vielleicht sogar auch einige Informationen, die für ihre eigenen Forschungen wichtig sind. Fassen wir also zusammen, was wir wissen!

Die wissenschaftliche Disziplin der Kosmologie soll uns Antwort auf die Fragen geben, wie das Weltall entstanden ist, wie es sich entwickelt hat und in welchem Zustand es sich gegenwärtig befindet. Die Kosmologen operieren mit Entfernungen von Milliarden Lichtjahren und mit Zeiträumen von Milliarden Jahren. Sie versäumen keine Gelegenheit, sich selbst ein wenig zu bedauern, weil sie nur ein einziges Exemplar des Universums zur Verfügung haben, mit dem sie nicht einmal experimentieren können. Sie verstehen aber die „Experimente“, die von der Natur selbst in diesem einzigen Exemplar des Universums angestellt werden, ausgezeichnet auszuwerten. Außerdem schaffen sie sich in Gedanken Modelle der Vergangenheit des Universums und vergleichen sie miteinander und mit den Ergebnissen ihrer Forschungen.

Nach einem Modell war in längst vergangenen Zeiten vor dem Beginn des Auseinanderlaufens der Galaxien – also vor etwa 15 Milliarden Jahren – alle Materie als „kaltes“ Gemisch von Atomkernen des Wasserstoffs (Protonen), von Elektronen, Neutronen usw. konzentriert. Nach einem anderen Modell waren die Temperatur dieser Teilchen, ihre Dichte und die Intensität ihrer Strahlung unendlich groß.

Kürzlich fand man nun eine Bestätigung für die Hypothese vom „heißen Universum“. Man fand? Wie kann man finden, was vor 10^{10} Jahren geschehen ist? Nun, man hat Reliktstrahlungen, „lebendige“ Zeugen der fernen Vergangenheit des Universums (über die wir bereits auf Seite 76 gesprochen haben), aufnehmen und auswerten können.

Vor etwa 15 Milliarden Jahren gab es eine gewaltige Explosion des glühenden Konzentrats der Materie. Dieser „Urknall“ war der Beginn des Auseinanderlaufens der Galaxien. Der Radius der immer weiter auseinanderstrebenden Bruchstücke beträgt inzwischen 10 bis 15 Milliarden Lichtjahre. Auf einem dieser Bruchstücke leben wir Erdenbürger.

Unser Stern, der den stolzen Namen Sonne trägt, ist wahrscheinlich in den Katalogen der Geschöpfe fremder Welten unter irgendeiner langweiligen Nummer registriert, die aus uns unbekanntem Zeichen zusammengesetzt ist. Er existiert etwa 5 Milliarden Jahre und hat ungefähr die Hälfte seines Lebenswegs zurückgelegt. Wann und wie die Planeten entstanden sind, ist noch unbekannt; es gibt jedoch mehrere Hypothesen.

Unser Planet hat sich schon stark abgekühlt und ist von einer festen Schale umgeben. An manchen Stellen hat diese Schale Vertiefungen, in denen sich Wasser gesammelt hat. So entstanden die Ozeane. An anderen Stellen haben sich Falten gebildet: Das sind die hochragenden, mit ewigem Schnee und Gletschern bedeckten Berge. Unter der dünnen Schale brodelt aber noch die „heiße“ Vergangenheit. *Haroun Tazieff*, der fast alle noch tätigen Vulkane der Erde besucht hat, nennt seine Reportage nicht zufällig „Pforten der Hölle“. Aus den Vulkanen strömt Lava, und es entweichen Gase. Sie schleudern gewaltige Steinbomben und Asche als Grüße aus dem Erdinneren in ihre Umgebung.

Wie alt ist unser Planet? Offensichtlich sind alle Planeten unseres Sonnensystems jünger als die Sonne. Man hat versucht, das Alter der Erde nach verschiedenen Methoden zu bestimmen, unter anderem auch aus dem radioaktiven Zerfall von Uran und Thorium in Blei. Es ergab sich, daß das Alter der Erde etwa 5 Milliarden Jahre beträgt. In 5 Milliarden Jahren hat sich also eine flammensprühende Kugel in unseren heutigen bewohnten Planeten mit (wie sie selbst meinen, obwohl das nicht immer mit ihren Handlungen übereinstimmt) vernunftbegabten Bewohnern verwandelt.

Eine bescheidene Tabelle?

Was geschah mit der Erde, nachdem sich die äußere feste Hülle gebildet hatte? Die Wissenschaftler haben diesen Teil der Lebensgeschichte unseres Planeten in fünf Abschnitte gegliedert und in einer auf den ersten Blick bescheiden wirkenden Tabelle dargestellt. Bitte schön, hier ist sie:

	Beginn vor
Erdneuzeit (Känozoikum)	70 Millionen Jahren
Erdmittelalter (Mesozoikum)	230 Millionen Jahren
Erdaltertum (Paläozoikum)	570 Millionen Jahren
Erdfrühzeit (Kryptozoikum)	4 000 Millionen Jahren
Erdurzeit (Azoikum)	4 500 Millionen Jahren

Wenn wir mit unseren Augen die Zeilen abwärts wandern, dringen wir immer tiefer in die Vergangenheit unseres Planeten ein.

Beginnen wir mit der untersten Zeile unserer Tabelle, mit der Erdurzeit. In ihr entstand die feste Hülle unserer Erde. Auf der Erdoberfläche gab es sehr wenig Wasser. Allmählich entstand eine Atmosphäre mit geringem Sauerstoffgehalt. Leben in irgendeiner Form konnte damals noch nicht existieren. Die Erde war damals von Gasen und Dampf umgeben – vielleicht sah sie etwa so aus, wie wir heute die Venus sehen.

In der *Erdfrühzeit* begannen die Kontinente zu entstehen, und die Entwicklung der Erdkruste erreichte einen vorläufigen Abschluß. Die Atmosphäre erwärmte sich, und der Kreislauf des Wassers begann. Die ersten Flüsse entstanden. Sie durchdrangen die obere Schicht der Erdkruste und trugen Salze in die entstehenden Ozeane. Schließlich bildete sich jene warme, gesalzene „Nährbrühe“, in der das erstaunlichste und geheimnisvollste Ereignis in der Geschichte unserer Erde stattfand, die Entstehung des Lebens aus der unbelebten Materie. Zunächst wurde das Leben durch Einzeller, Algen und Bakterien repräsentiert. Allmählich entwickelten sich schalenlose Weichtiere, und dann entstanden auch bereits die ersten Schalentiere. Aus dieser Zeit, die mehr als 3 Milliarden Jahre zurückliegt, berichten uns bakterienartige Organismen, die in Kieselschiefer eingeschlossen aufgefunden wurden.

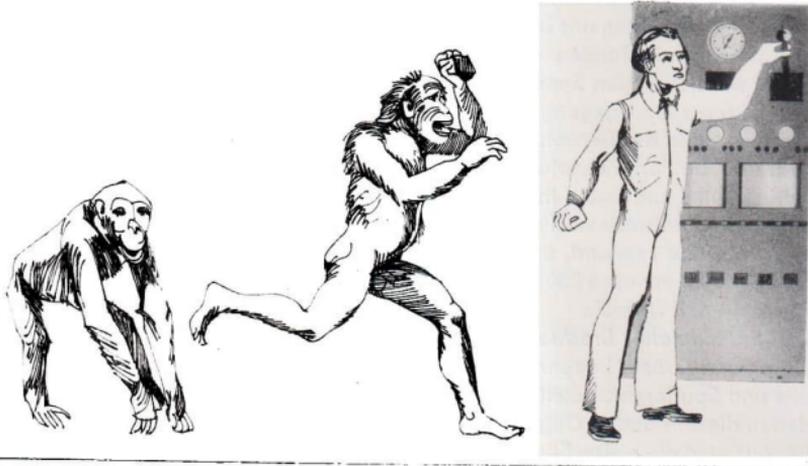
In der nachfolgenden Epoche, dem *Erdaltertum*, entwickelte sich das Leben im Vergleich zur vorangegangenen recht schnell. Das Leben teilte sich in die Pflanzenwelt und in die Tierwelt. Die Bärlapp- und Schachtelhalmgewächse entstanden, und die Farne entwickelten sich. Gegen Ende der Epoche entstanden die Nadelbäume und traten ihre Herrschaft an. Im Wasser traten die ersten Fische auf, und es entstanden die Knochenfische. Amphibien und flügellose Insekten eroberten das Festland, und die Reptilien entwickelten sich. Gegen Ende des Erdaltertums, vor etwa 250 Millionen Jahren, trug die Erde eine reich entwickelte Pflanzen- und Tierwelt.

Das *Erdmittelalter* brachte uns die ersten Blütengewächse. Weiden, Pappeln, Eichen und Gräser begannen das Land zu besiedeln. Die Schildkröten, Krokodile und Saurier entwickelten sich. Auch die Flugsaurier und die Vögel entstanden in dieser Epoche. Gegen Ende des Erdmittelalters starben die Saurier wieder aus, und die ersten Säugetiere kündigten sich an.

Zu Beginn der *Erdneuzeit*, vor etwa 70 Millionen Jahren, existierten bereits viele Blütenpflanzen, z. B. Palmen, Kastanien, Eichen, Zimtbäume und Kampferbäume sowie zahlreiche Nacktsamer, beispielsweise Kiefern, Sumpfpypressen und Mammutbäume. Im Wasser lebten neben den Algen Muscheln, Schnecken und vor allem Knochenfische. Das Land bevölkerten Schildkröten, Eidechsen, Schlangen und Krokodile. Außerdem traten viele Insektenarten und einige Vogelarten auf. Die Säugetiere begannen sich rasch zu entwickeln. Es entstanden z. B. die Beuteltiere, die Unpaarhufer und die Paarhufer sowie die Halbaffen.

Fast die gesamten 4 500 Millionen Jahre der Erdgeschichte sind vergangen, und es verbleibt nur noch die letzte Million Jahre der Erdneuzeit. Damals, vor 1 Million Jahren, existierten ein vielfältiger Pflanzenwuchs und reiches Tierleben auf der Erde. Jetzt erst begann die Epoche, in der sich der Mensch entwickelte. Erst in den letzten 10 000 Jahren bildeten sich die gegenwärtigen Vegetationszonen aus und paßte sich die Tierwelt an diese an. Erst in diesen letzten 10 000 Jahren fand die vorgeschichtliche und historische Entwicklung der Menschheit statt. Und noch keine hundert Jahre sind vergangen, seit A. S. Popow mit der drahtlosen Übermittlung der Worte „Heinrich Hertz“ die Epoche der Radiotechnik einleitete. Welche Schlußfolgerungen ziehen wir aus den fünf Zeilen unserer Tabelle, die wir durch einige skizzenhafte Schlaglichter auf die Entwicklungsgeschichte der

Erde ergänzt haben? Wir haben erkannt, wie langwierig und kompliziert die Bildung lebender Materie ist. Die Natur benötigt hierfür Millionen und Milliarden Jahre. Schneller geht es offenbar prinzipiell nicht, wenn man die Möglichkeit der Übertragung des Lebens von anderen Planeten ausschließt. Auch auf jedem anderen Planeten, auf dem es Leben gibt, muß es wahrscheinlich einen ähnlichen Entwicklungsweg gegeben haben. Die Grundgesetze für die Entwicklung des Lebens gelten offenbar nicht nur auf unserem Planeten, sondern so wie die Gesetze der Physik im gesamten Weltall. In jeder Zivilisation wird es früher oder später einen Darwin geben, der sie erkennt.



Wir wissen außerdem, daß der Weg zum Bewußtsein, zur Vernunft nur über den aktiven Kampf um die Existenz und über die Arbeit führt. Einen einfacheren, einen „königlichen“ Weg gibt es offensichtlich nicht. Für die Arbeit braucht man besondere Organe. Solche Organe in irgendeiner Form müssen auch die Bewohner anderer vernünftiger Gesellschaften besitzen.

Der ständige Existenzkampf und die Arbeit zwingen jede mit Vernunft begabte Gesellschaft zum unaufhörlichen Kampf um den Fortschritt, zur Dienstbarmachung der mächtigen Naturgewalten und zur Erweiterung des Gesichtskreises. Diese Gedanken bestärken auch unsere Hoffnung auf das Vorhandensein von hochentwickelten Zivilisationen im Universum. Hoffen wir auf das Eintreffen einer mit Informationen voll beladenen Radiostrahlung auf unserer alten Mutter Erde!

Was ist das, ein Mensch?

Ich hatte ganz naiv angenommen, daß es leicht wäre, den Ypsilonern zu erklären, was ein Mensch ist. Man muß doch nur die geistigen Produkte der Menschheit auswerten und nachlesen, was die Philosophen, Gelehrten und Schriftstel-

ler in Büchern, Enzyklopädien und alten Manuskripten geschrieben haben. Ich habe Tage und Wochen gelesen. Je höher der Berg des Gelesenen wurde, um so geringer wurde meine Hoffnung, etwas Brauchbares zu finden. Definitionen fand ich viele, aber sie alle erfaßten oft nur einen Wesenszug, eine einzige Seite des Menschen. Und sie alle waren für den irdischen Gebrauch bestimmt. Auf der Erde weiß ja schließlich jeder, was ein Mensch ist. Deswegen ist es offensichtlich gar nicht nötig, dieses Thema von allen Seiten zu erörtern.

Unser potentieller Funkkorrespondent aus der Y-Zivilisation hat aber niemals auch nur einen einzigen Erdenbürger gesehen. Wie erklärt man ihm z. B., daß das Menschengeschlecht aus Milliarden fast gleichartiger menschlicher Geschöpfe besteht, die sich zu großen Kollektiven (Staaten) vereinigen und im wesentlichen nach den in diesen Kollektiven festgelegten Gewohnheiten und Gesetzen leben, und daß andererseits jeder Mensch für sich genommen ein einmaliges Individuum ist. Es gibt auf der Erde keinen Lebenslauf, der dem anderen völlig gleicht. Wie kann man z. B. das Lächeln eines Erdenbürgers beschreiben, das in einem einzigen Augenblick sein Gesicht schön und gut, zärtlich und fröhlich macht?

Ich begriff die Hoffnungslosigkeit meiner Bemühungen, eine allumfassende Beschreibung des Menschen zu finden, die für eine Verwendung „nach außen“, für eine Sendung in den Kosmos geeignet ist. Es bleibt nur übrig, die besten Aussagen des Menschen über sich selbst zusammenzustellen und dabei seine ganze Vielseitigkeit zu erfassen.

Eine der ältesten Aussagen wird *Aristoteles* zugeschrieben. Nach ihr ist der Mensch ein gesellschaftliches Wesen, das instinktiv zum Zusammenleben strebt . . .

Der Mensch ist jedoch nicht das einzige gesellschaftliche Lebewesen auf der Erde.

„Zivilisationen“ gesellschaftlich lebender Insekten gibt es auf der Erde bereits seit Dutzenden und Hunderten Millionen Jahren. Sie haben sich in dieser Zeit erstaunlich wenig verändert. Wir finden bei ihnen viel Elemente, die auch für unsere Zivilisation charakteristisch sind: Bau grandioser und architektonisch komplizierter Gebäude, Bodenbearbeitung und Viehzucht, Sammeln und Vorratshaltung von Nahrungsmitteln, sogar Kriege und Sklaverei.

Es scheint, als wäre alles für den entscheidenden Schritt zum Verstand vorbereitet. Dieser Schritt wurde aber nicht gemacht. Die Evolution ist praktisch stehen geblieben. Liegt das an der geringen Größe der Insekten? Haben sie keinen Unterbringungsraum für ein entwickeltes Gehirn? Wir wissen aber, daß die Evolution die Individuen auch größer werden lassen kann. Das Geheimnis dieses Stillstands der Entwicklung muß von der Wissenschaft noch gelüftet werden. Möglicherweise wurde ein solcher bei uns noch nicht gemachter Schritt auf anderen Planeten, unter anderen Bedingungen doch getan! Lebt dort vielleicht, in unserer Sprache ausgedrückt, eine vernunftbegabte Zivilisation der Insekten? Aber kommen wir auf die Aussage des *Aristoteles* zurück. Sie erfaßt nur eine, wenn auch wesentliche Seite, die dem Menschen und, wie wir sahen, auch anderen Lebewesen eigen ist und zeigt, daß man das Wesen des Menschen außer-

halb seiner gesellschaftlichen Beziehungen, unter denen er sich entwickelte und in denen er lebt, nicht verstehen kann.

Friedrich Engels sagte, daß die Arbeit den Menschen geschaffen hat. Nach einer weiteren Bemerkung von ihm ist die menschliche Hand nicht nur ein Organ zur Arbeit, sondern auch ihr Produkt. Gäbe es keine Arbeit, so wäre die Hand eine Pfote mit Krallen geblieben. Am Beispiel der menschlichen Hand wird derart ein typisches System mit Rückkopplung anschaulich demonstriert. Über diese Rückkopplung entwickelt sich der Mensch durch die Arbeit, und diese Entwicklung befähigt ihn, seine Arbeit noch besser auszuführen.

Die Arbeit ist eine kollektive Angelegenheit. Ihre Koordinierung verlangt einen Informationsaustausch von einem Individuum zum anderen. Es begann mit dem Austausch einfachster akustischer Signale. Danach wandelten sich die Töne allmählich in eine gegliederte Sprache um. Das Alphabet und die Schrift entwickelten sich. Das war ein großer Sprung nach vorn: Die Menschheit bekam ein kollektives Gedächtnis. Die gesammelte Erfahrung konnte fixiert und von Generation zu Generation weitergegeben werden. Wir wissen aber, daß der Informationsaustausch mit Hilfe von Tönen auch in der Tierwelt weit verbreitet ist. So wissen wir z. B., daß sich die Delphine untereinander durch eine nuancenreiche Sprache verständigen. Leider ist es dem Menschen bis jetzt noch nicht gelungen, diese Sprache zu erlernen.

Karl Marx sagte einmal, daß die Biene mit dem Bau ihrer Waben so manchen Architekten beschämen könne. Der schlechteste Architekt unterscheidet sich jedoch von der besten Biene schon dadurch, daß er die Wabe bereits in seinem Kopf hat, bevor sie gebaut ist.

Diese Fähigkeit zur gedanklichen Modellierung des Zukünftigen und des Vergangenen und die Fähigkeit zur Analyse dieses Modells sind unzweifelhaft die grundlegenden Unterschiede zwischen Mensch und Tier. Und diese Unterschiede kamen durch die Arbeit zustande. In einem bestimmten Stadium der Entwicklung wurde das abstrakte Denken für die weitere Vervollkommnung der Produktionsmittel, für den weiteren Fortschritt unentbehrlich.

Öffnen wir die Große Sowjetische Enzyklopädie. Dort finden wir eine Definition, die vieles von dem eben Gesagten in sich vereint: „Der Mensch ist ein gesellschaftliches Wesen, das die höchste Stufe der Entwicklung lebender Organismen auf der Erde darstellt; das fähig ist, Arbeitsmittel zu produzieren, sie bei seiner Einwirkung auf die Umwelt zu benutzen, und das über ein organisiertes Gehirn, über Bewußtsein und eine gegliederte Sprache verfügt.“

Diese Definition erschließt, ungeachtet ihres Reichtums, dennoch nicht alle Geheimnisse des Menschen.

Wo ist die bezaubernde Welt der Kunst, die vom Menschen geschaffen wurde? Wo ist das Geheimnis der Liebe, das nur der Mensch kennt? Wo ist schließlich die Individualität, die jeder Bewohner unseres Planeten besitzt?

Der Bewohner einer fremden Zivilisation, der nur in die Enzyklopädie schaut, muß denken, daß die Erdbewohner unermüdliche Arbeiter auf ihrem Planeten sind – irgendwelche Kopien voneinander, fast so etwas wie eine Serienproduktion biologischer Roboter, die sich nicht voneinander unterscheiden.

Die Philosophen und Gelehrten geben also keine vollständige Antwort auf unsere Frage. Setzen wir unsere Suche bei den Künstlern fort. Sie sind berufene Kenner der vielschichtigen Seele des Menschen. Sollen sie unser Bild vom Erdenbürger ergänzen.

Bei den Schriftstellern finden wir das Lob, welches den Menschen von den Menschen gespendet wird. Welche Vielfalt gibt es hier: Krone der Schöpfung der Natur, Beherrscher der Erde usw. Der Mensch lobt sich aber nicht nur selbst, er verpaßt auch keine Gelegenheit, um über sich selbst zu lachen.

Wenden wir uns einer Kunstgalerie zu. Wir wandern durch das ganze Bauwerk von Etage zu Etage und sind überwältigt. Überall wird ein Begriff verherrlicht, den wir Erdbewohner einfach als Liebe bezeichnen.

Dieses Wort und sein Sinn sind jedem Bewohner der Erde bekannt und verständlich. Dennoch winken gelehrte Männer wortlos ab, wenn von der Definition und einer Analyse dieses magischen Wortes die Rede ist. Es ist wahrscheinlich hoffnungslos, zu versuchen, den Bewohnern fremder Planeten seinen Sinn zu erklären, wenn diesen Ärmsten das Gefühl selbst unbekannt ist. Was ist also die Liebe?

Eine umfassende Beschreibung des Menschen, seiner Entstehung, seiner Individualität und seiner Stellung in der Gesellschaft, die auch für die Ypsiloner verständlich ist, muß also erst noch erarbeitet werden. Ein mir bekannter Philosoph meinte, daß man zur Lösung dieser Aufgabe sogar ein spezielles Institut schaffen müsse, so schwierig sei sie. Tun wir es bald; denn schließlich steht uns ja der Kontakt mit anderen Formen lebender Materie, mit anderen „Produkten“ der Evolution bevor. Der Mensch hat in Wissenschaft und Technik Großartiges geleistet; er hat erkannt, wie das Leben entstanden ist und wie es sich entwickelt hat; er weiß auch, welchen bescheidenen Platz er im Universum einnimmt – jedoch sich selbst hat er erst wenig erkannt.

Gibt es Flecken?

Wir haben gesehen, daß wir Menschen ganz ausgezeichnete Geschöpfe sind. Wir sind Arbeiter und Forscher, erkennen die Naturgesetze immer besser und vervollkommen unermüdlich unsere Arbeitsmittel. Der Mensch hat seit Beginn seiner Entwicklung die Kraft seiner Hände immer mehr vergrößert, und heute erweitert er bereits die Kraft seines Gehirns und läßt viele Probleme von elektronischen Rechenmaschinen lösen. Auf den Wellen der Phantasie gelangt der Mensch in Vergangenheit und Zukunft. Die ihn umgebende Welt spiegelt sich in seinem Bewußtsein wider und schenkt ihm die Welt der Kunst. Von Zeit zu Zeit durchdringt ihn ein erstaunliches Gefühl – die Liebe. Sie erschließt alle in ihm schlummernden Fähigkeiten und erzeugt neue. Jeder Mensch ist ein Individuum; aber er kann nicht außerhalb der Gesellschaft leben, und er arbeitet für ihr Wohlergehen. Alles, was wir Erdenbürger erreicht haben, ist eine Frucht der kollektiven Arbeit vieler Generationen. Die Zukunft wird noch schöner sein, weil . . .

Die Bewohner fremder Planeten könnten nun fragen, ob denn diese idealen

Geschöpfe nicht auch irgendwelche dunklen Flecken oder auch nur Fleckchen haben. Gibt es Flecke auf dem historischen Weg der Entwicklung des Menschengeschlechts? Ohne eine Antwort auf diese Frage wäre das über die Bewohner unseres Planeten bereits Gesagte einseitig. Der Funkkontakt mit Bewohnern fremder Planeten verlangt unbedingt die Beleuchtung sowohl der Licht- als auch der Schattenseiten des Daseins des Menschengeschlechts. Wir haben, wenn auch nur in Umrissen, ein Bild des Erdenbürgers gezeichnet. Nun müssen wir auch ehrlich feststellen, daß es Flecken gibt, große und kleine.

Die großen – das sind die schwarzen Flecken in der Geschichte der Erdbewohner, die den Fortschritt der Menschheit aufhielten und immer noch aufhalten. Die kleinen – das sind die winzigen Fleckchen sowohl am Menschengeschlecht als auch an einzelnen „Individuen“.

Sie brauchen nicht zu erschrecken, lieber Leser. Wir werden uns nicht weiter in eine Analyse dieser Flecken vertiefen. Wir wollen nur zur Bekräftigung unserer Antwort die großen Flecken ein wenig streifen.

Es gab einmal eine Zeit, in der die Menschheit noch fleckenlos war. Der Mensch, der sich aus dem Tierreich aussonderte, kannte weder Religion noch Ausbeutung. Sein Leben war hart, grausam, und das war ganz im Sinne des täglichen und stündlichen Existenzkampfes. Aber es war sicher auch schön.

Lange Zeit war auf dem Planeten Erde die Ausbeutung unbekannt. Im Kampf um die Existenz vereinten sich unsere Vorfahren in Sippen. Diese ersten Kollektive kannten noch keine Parasiten. Hier arbeiteten alle. Alles oder fast alles – Arbeitsmittel, Wohnraum, die erworbene Nahrung – war Eigentum der Sippe und wurde unter allen aufgeteilt.

Aber der Mensch vervollkommnet seine Arbeitsmittel ununterbrochen und erweitert seine Macht über die Natur. Jetzt erzeugt er bereits mehr, als er benötigt. Es kommt zum Tausch, zum „Mein“ und „Dein“. Es entsteht die ökonomische Ungleichheit der Menschen. Die Ausbeutung des Menschen durch den Menschen beginnt. Die Ereignisse entwickeln sich lawinenartig. Die Gesellschaft spaltet sich in Klassen, in Besitzende und Nichtbesitzende, in Arbeitende und solche, die sich die Früchte der Arbeit aneignen, in Herren und Sklaven. Die Besitzenden wenden zur Aufrechterhaltung ihrer Macht Gewalt an. Es entstehen Staaten, Kriege, Gefängnisse. Auch die Religion wird gebraucht. Sie soll die soziale Ungleichheit der Menschen rechtfertigen. Die Religion bestätigt, entgegen der Geschichte, daß alles seit Urzeiten so sei und „von oben“ so gewollt.

Die gesamte Macht auf dem Planeten wird von einer kleinen Gruppe Besitzender an sich gerissen, denen es gelingt, diese Macht Jahrtausende zu halten.

Die Klassenkämpfe dauern auch heute noch an. Vor gar nicht allzu langer Zeit, vor etwa 50 Jahren, wurde dieser schändliche Fleck der Ausbeutung in einem Staat der Erde liquidiert. Seit dieser Zeit haben sich immer mehr Völker an diesen Staat angeschlossen.

Zwei Lager entstanden auf unserem Planeten – das Lager des Sozialismus und das Lager des Kapitalismus.

Aber das Lager der Ausbeuter ist bereits zum Tode verurteilt. Das ist durch die Theorie und die Praxis der Erdenbürger unwiderlegbar bewiesen. Die Ausbeu-

tung erzeugt ihre eigenen Totengräber – die Arbeiterklasse – selbst. Und die Arbeiterklasse wird die Ungleichheit des Menschen beseitigen. Auf unserem Planeten wird ein neues goldenes Zeitalter anbrechen.

Wie ist es in anderen Welten? Durchlaufen die denkenden Wesen überall einen so dornigen Weg zur Freiheit, oder ist das nur bei uns Erdenbewohnern so? Wenn wir den Kontakt mit fremden Welten haben werden, wird auch dieses Geheimnis entschleiert werden.

Am Zielband

Nun sind wir fast am Ende des Buches angelangt und sehen bereits das Zielband. Am Start, als ich begann, dieses Buch zu schreiben, erschien mir alles ganz einfach und leicht. Jedoch, unterwegs gab es so manche Schwierigkeit, und zeitweilig wurde der Weg recht sumpfig oder auch sandig, und ich kam außer Atem. Dann kam mir der Gedanke, ob ich diesen Weg nicht vielleicht doch verlassen sollte. Aber dann halfen meine Freunde. Sie lasen die bis dahin geschriebenen Teile, fragten und machten Bemerkungen zum Text. Über einige Absätze lächelten sie, und manchmal lachten sie sogar schallend. Sie waren mein wichtigster Ansporn auf der ganzen Distanz.

Mut und Atem kehrten zurück; das Laufen wurde wieder leichter, und ich begann mich aus der Gefangenschaft langer und langweiliger Formeln zu lösen, wie sie in wissenschaftlichen Aufsätzen und Büchern üblich sind. Ich begann mich der Trockenheit zu schämen, die in der wissenschaftlichen Literatur gewöhnlich das Zepter führt. Wissenschaftliche Arbeit, die Suche nach Neuem und noch nicht Dagewesenem ist doch schließlich atemberaubende Romantik! Die wissenschaftliche Literatur will aber von dieser Romantik nichts wissen.

Offen wir doch einmal irgendein Lehrbuch. Eigentlich soll es doch den Leser für die Thematik begeistern, ihre Geheimnisse offenbaren, Tatsachen und Gedanken mitteilen. Und wir finden Trockenheit und Langeweile. Die Geschichte wird wie eine Lohnliste dargestellt: Namen – Daten, Daten – Namen . . . Ein in der Erinnerung bleibendes Beispiel oder ein lustiges Bild gelten als Todsünden. Sie werden von den Redakteuren unbarmherzig ausgemerzt, die aufrichtig davon überzeugt sind, daß sie der Wissenschaft einen guten Dienst erweisen, wenn sie sie vom Humor befreien.

Ihnen zum Trotz wollte ich eigentlich einmal ein „Antilehrbuch“ über die Nachrichtentechnik schreiben – bildhaft und amüsant. Aber wer wird es herausgeben?

Je höher der Berg des bereits beschriebenen Papiers wurde, um so mehr Begleiter hatte ich. Da waren die „grünen Menschlein“ – die Bewohner fremder Welten –, nicht zuletzt die Bewohner unserer Erde und natürlich auch die Störteufelchen. Ich habe mich mit ihnen allen angefreundet; seltsamerweise auch mit den Störteufelchen.

Einmal kam eines der Teufelchen ganz frech auf mich zu. Ich weiß gar nicht mehr, ob es im Wachen oder im Träumen war. Wir führten ein fast freundschaftliches Gespräch miteinander. Hier ist es:

- Ich: „Wann werdet ihr Teufel endlich aufhören, unsere irdischen Empfänger mit Rauschen zu verstopfen? Wann gebt ihr uns endlich die Möglichkeit, die Stimme unserer Mitbrüder zu hören?“
- Er: „Ihr helft uns ja selbst, euch zu stören!“
- Ich: „Wie bitte?“
- Er: „Es gab eine Zeit, in der wir dachten, daß es mit uns zu Ende ginge. Die Menschen rüsteten sich immer besser gegen uns und entwickelten starke Richtantennen, schmalbandige Empfänger (durch die wir schwerer hindurchkommen als durch ein Nadelöhr), Schaltungen, die uns aussondern, kompensieren und unterdrücken . . . Wir verloren den Mut. Unsere Poeten dichteten schon unseren Schwanengesang. Aber dann geschah das Wunder! Es war ein Erdenbürger, der uns alle Hoffnung wiedergab.“
- Ich: „Auf der Stelle nennst du seinen Namen!“
- Er: „Das ist doch eine bekannte Persönlichkeit – der sowjetische Radiotechniker *W. A. Kotelnikow*. Er untersuchte das Problem des störungsfreien Radioempfangs und bewies, daß man uns Störungen lediglich teilweise abschwächen, mindern oder kompensieren kann. Aber vollständig abschaffen kann man uns nicht. Das heißt, daß wir Teufel weiterleben!“
- Ich: „Und das habt ihr nicht gewußt?“
- Er: „Natürlich nicht. Wir fanden ja in den irdischen Patentbibliotheken viele Erfindungen, die tödlich für uns sein sollten, so z. B. ‚Empfänger ohne Störungen‘, eine ‚Schaltung für die vollständige Beseitigung von Störungen‘, oder ein ‚Sperrfilter gegen Störungen‘.“
- Ich: „Wer hat denn nach eurer Meinung recht, Kotelnikow oder die Erfinder?“
- Er: „Natürlich Kotelnikow! Es gibt doch immer wieder Erfinder, die von einem phantastischen Glauben an ihre Idee getrieben werden und Verfahren oder Anordnungen patentieren lassen wollen, die den Gesetzen der Physik widersprechen.“
- Ich: „Und nun sonntet ihr euch in eurer Unbesiegbarkeit?“
- Er: „Ja, aber nur kurze Zeit. Dann zerriß wieder ein Mensch die Seile der Schaukel, auf der wir uns süß wiegten.“
- Ich: „Und wer war das?“
- Er: „*Claude Shannon*, der Schöpfer der Informationstheorie.“
- Ich: „Hat er denn Kotelnikow widerlegt?“
- Er: „Keineswegs! Es geschah viel Schlimmeres. Shannon wies nach, daß wir – die Störungen – die besten Träger für Informationen sind.“
- Ich: „Und das hat euch gekränkt?“
- Er: „Natürlich! Bis jetzt ist es uns immer noch gelungen, jede Information zu verzerren oder sogar bis zur Unkenntlichkeit zu verstümmeln. Und nun sollen ausgerechnet wir die Informationen auf unserem Rücken weitertragen und sogar noch die besten Träger sein.“
- Ich: „Aber ihr tragt sie ja nicht!“
- Er: „Wir haben es versucht. Aber der Mensch begann, selbst Störungen zu fabrizieren. Der erste war *W. Hoffmann*. Er bewies, daß man mit einigen Halbleiterbauelementen ganz fabelhaft ein Rauschen synthetisch herstel-

len kann, genauer gesagt: eine Nachahmung – ein Pseudorauschen."

Ich: „Da hattet ihr doch Brüder. Ihr hättet euch doch freuen müssen.“

Er: „Wir denken ja gar nicht daran. Bislang waren wir individuell. Genauso wenig, wie es zwei Menschen gibt, die einander genau gleichen, so gab es bislang auch kein Rauschen, das dem anderen glich.“

Ich: „Und jetzt?“

Er: „Jetzt kann man genausooft, wie man Hoffmann-Schaltungen baut, absolut genaue Kopien des Rauschens erzeugen. Und diese Schaltungen brauchen nicht einmal unbedingt nebeneinander zu stehen; sie können in der gesamten Galaxis vertraut sein, und immer werden die von ihnen erzeugten Rauschsignale absolut genaue Kopien voneinander sein. Unsere schöne Individualität geht flöten.“

Ich: „Ja und?“

Er: „Na, nimm einen solchen Rauschinkubator am Sendepunkt und einen zweiten am Empfangspunkt, und schon sind wir vollständig Sklaven. Da gibt es keinen Ausweg mehr – da müssen wir die Informationslast schleppen. Ganz unbarmherzig. Wird z. B. das Zeichen Ja übertragen, laufen wir auf den Füßen. Wird jedoch das Zeichen Nein übertragen, dreht man uns auf den Kopf (ihr nennt das Multiplikation des Rauschens mit Minus). Da rennt man dann mit dem Kopf nach unten auf den Händen, bis das nächste Ja-Zeichen kommt. Und da soll man nicht gekränkt sein, wenn man so schändlich behandelt wird?“

Ich: „Natürlich. Aber auch die Menschen stehen ja manchmal auf dem Kopf. Zum Beispiel die Clowns im Zirkus oder die Yogas bei ihren Übungen.“

Er: „Das sind doch nur einzelne und außerdem noch Freiwillige. Uns aber droht allen das gleiche Schicksal, und nicht einmal ein frei gewähltes.“

Ich: „Wie ist es also mit unserem Ruf in das Weltall? Werdet ihr gestatten, daß sich die Bewohner verschiedener Welten miteinander verständigen?“

Er: „Ehrlich?“

Ich: „Ja!“

Er: „Es wird uns nicht gelingen, die Verständigung zu verhindern. Die Kraft eurer Stimme wächst. Eure Empfänger werden für uns zu immer komplizierteren Labyrinthen, in denen wir überall anecken und uns nur blaue Flecke holen. Und was sollen wir schließlich machen, wenn wir einen Bruder treffen, der auf seinem Rücken eure Information schleppt? Sollen wir ihn angreifen?“

Ich: „Ihr laßt ihn also durch?“

Er: „Was sollen wir sonst tun? Leider arbeitet die Zeit nicht für uns; denn wir können nur rauschen, rauschen und rauschen. Wir können unsere Technik nicht verbessern; aber der Mensch ist erfinderisch. Er verbessert seine Sendetechnik und seine Empfangstechnik immer mehr, und wir stehen immer an derselben Stelle. Wann werdet ihr aufhören, Neues zu erfinden?“

Ich: „Niemals! So wie die Speise den Hunger des Magens stillt, so stillt die Entdeckung des Unbekannten den Hunger des Verstandes. Und den Hunger muß man doch stillen. Das mußst du doch zugeben.“

Er: „Ja, leider!“

Ich: „Und wie sieht deine Schlußfolgerung aus?“

Er: „Unsere Sache steht schlecht. Wir haben keine Perspektive.“

Ich: „Es wird also einen Radiokontakt geben?“

Er: „Ja, ja, ja! Das wißt ihr doch selbst am besten. Aber jetzt habe ich es eilig.“

Ich: „Wohin willst du?“

Er: „Solange es noch möglich ist, euch zu stören, müssen wir mit all unserer Kraft rauschen, rauschen und rauschen!“

Und weg war er!

Nun wollen wir zu unserem Thema zurückkehren. Wir waren gemeinsam im Kosmos und im Land der Schwingungen und Wellen. Wir haben die Aussichten für den Radiokontakt mit fremden Zivilisationen abgewogen, sind zu den Quellen des Lebens auf unserem Planeten gepilgert und haben versucht, hinter das Wesen der vernunftbegabten Geschöpfe unseres Planeten zu kommen. Was kam dabei heraus? Versuchen wir, es kurz zu formulieren.

Das sichtbare Universum ist ein gigantischer, fast leerer Raum, in dem einzelne Materieanhäufungen zu finden sind. Diese „Städte“ des Universums werden als Galaxien bezeichnet. Ihre „Bewohner“ sind die Sterne, die uns mit ihrem blauen Feuer nachts freundschaftlich zublinsen. Tatsächlich sind die Sterne feuerspeiende Gaskugeln, deren Zahl man auf insgesamt 10^{21} schätzt. Viele von ihnen haben Begleiter – die Planeten. Die Sterne durchlaufen, so wie auch die Bewohner irdischer Städte, den Zyklus Geburt–Entwicklung–Tod. Allerdings gelten ganz andere Maßstäbe: Der Mensch lebt hoch gerechnet hundert Jahre, die Sterne dagegen Milliarden Jahre. Zum Ende ihres Lebens verwandeln sich die Sterne in kleine, sehr dichte kalte Körper – in schwarze Zwerge.

Die Massen der Planeten sind verschwindend klein im Vergleich zu den Massen der Sterne. Deshalb erkalten sie auch viel schneller.

Der Planet bedeckt sich mit einer dicken Rinde, die von innen vom eigenen Feuerkern und von außen durch die Strahlen des Sternes erwärmt wird. Unter günstigen Bedingungen kann eine Situation eintreten, die für die Entstehung von Leben günstig ist. Aber lebende Zellen sind launische Geschöpfe. Für ihre Existenz gelten strenge Bedingungen: Wasser und Luft, nicht zu heiß, nicht zu kalt . . .

Viele Wissenschaftler beschäftigen sich mit den Bedingungen, unter denen Leben entstehen kann. Sie kamen zu verschiedenen Resultaten. Bildet man den Mittelwert, so ergibt sich, daß nur auf einem einzigen Planeten von einer Million Sterne die Bedingungen für die Entstehung von Leben gegeben sind. Da aber allein in unserer Galaxis hundert Milliarden Sterne existieren, muß es hunderttausend Planeten geben, auf denen Leben entstanden sein muß. Hunderttausend Heimstätten von Leben allein in unserer Milchstraße!

Wie aber entsteht aus der toten Materie das Leben? Vorläufig gibt es nur Hypothesen. Nach einer von ihnen ist einzig und allein seine Majestät der Zufall Vater allen Lebens. In einer „warmen, dicken, gesalzenen Nährbrühe“ bildeten

Milliarden und aber Milliarden von Molekülen zufällige Kombinationen. Irgendwann einmal entstand eine Kombination, die in der Lage war, sich selbst zu reproduzieren. Sie gab diese Eigenschaft an die nächste weiter und diese wiederum an die nächste usw.

Es entstand eine erstaunliche, nie endende Entwicklungskette mit eigenen Gesetzen. Die wichtigsten davon sind die des Existenzkampfes und der natürlichen Auslese, der Mutationen oder der Veränderlichkeit der Arten. Im Ergebnis des Wirkens dieser Gesetze wird diese biologische Kette immer komplizierter; sie paßt sich an die sich ändernden Existenzbedingungen an und vervollkommnet ihre Organisation.

Bei den Sternen gibt es, wie bei den Menschen, unterschiedliche Altersstufen; es gibt junge, reife und absterbende Sterne. Das Alter unserer Galaxis beträgt etwa 10 Milliarden Jahre. Unsere Sonne hat etwa ein Drittel ihres Lebens hinter sich. Sie ist etwa 5 Milliarden Jahre alt; die Erde ist mit ihren 4,5 Milliarden Jahren etwas jünger. Die biologische Kette entstand vor ungefähr 3 Milliarden Jahren auf der Erde. In dieser Zeit haben sich unzählige Spielarten des Lebens herausgebildet. Und nur eine davon führte zum Entstehen eines vernunftbegabten Geschöpfes – des Homo sapiens.

Was ist wohl auf den übrigen 100 000 Planeten unserer Galaxis, die Heimstätten von Leben sein können, in dieser Zeit alles geschehen? Zunächst einmal können die Zeitpunkte der Entstehung des Lebens auf den verschiedenen Planeten zufällig fast zusammenfallen; sie können aber auch durch Milliarden Jahre getrennt sein. Außerdem ist die Geschwindigkeit der Evolution auf den Planeten verschiedener Sterne sicherlich unterschiedlich. Sie hängt von vielen Faktoren ab. Einige von ihnen konnten von uns noch gar nicht enträtselt werden. Auch auf unserem Planeten verläuft die Evolution ungleichmäßig und mit einer für verschiedene Arten unterschiedlichen Geschwindigkeit. In wenigen Millionen von Jahren entwickelte sich der Mensch zum vernunftbegabten Lebewesen. Andererseits haben sich die Ammoniten – eine Art von Meeresschnecken – in Milliarden Jahren kaum weiterentwickelt. Die Ameisen sind fast so geblieben, wie sie bereits vor etwa 200 Millionen Jahren waren. Die möglichen Unterschiede im Zeitpunkt der Entstehung des Lebens auf den verschiedenen Planeten und die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Evolution zeigen, daß der Entwicklungsstand stark voneinander abweichen kann. Es kann Planeten geben, auf denen nur die einfachsten lebenden Einzeller zu finden sind, und solche, auf denen Superzivilisationen existieren. Diese Superzivilisationen können bereits so weit sein, daß sie nicht nur ihren eigenen Stern, sondern auch die ihnen benachbarten Sterne beherrschen.

Auf unserem Planeten ist die Vernunft durch die Arbeit entstanden. Durch das in der Natur verbreitete Prinzip der Rückkopplung vervollkommnet sich derjenige, der arbeitet. Danach erhöht sich die Effektivität der Arbeit, das führt zu einer weiteren Vervollkommnung des Arbeitenden usw.

Unter beliebigen Evolutionsbedingungen kann die Vernunft offensichtlich nur als das Ergebnis der Arbeit vieler Generationen entstehen. Im Verlauf der Arbeit bilden sich die Arbeitsorgane aus. Bei uns waren dies zunächst die Hände des

arbeitenden Menschen. Mit der Entwicklung der Vernunft – des Verstandes – wurde die Funktion der Hände deutlich verändert. Bei einer Armee von Geistesarbeitern ist lediglich die Bewegung des Bleistifts auf dem Papier, der Schlag auf die Tasten von Schreib- und Rechenmaschinen, das Verschieben des Läufers auf dem Rechenstab übriggeblieben.

Warum haben sich die Flossen des Delphins nicht in Arbeitsorgane umgewandelt? Wahrscheinlich lag dazu keine zwingende Notwendigkeit im Existenzkampf vor. In den Ozeanen gibt es genug Nahrung. Es genügte der Natur, die Delphine mit einer Ultraschall-Ortungsanlage zum Auffinden der Nahrung auszurüsten, und es mußte sich kein „vernunftbegabter“ Delphin entwickeln.

Diese wenigen Beispiele mögen zeigen, zu welcher unterschiedlichen Arten vernunftbegabter Wesen die Evolution in anderen Welten geführt haben kann. Die Etappen der technischen Entwicklung müssen aber den unseren ähnlich sein; denn überall im Weltall gelten dieselben physikalischen Gesetze. Irgendwann lernen sicher alle Zivilisationen, die Radiowellen, den Weltraumflug, die Kybernetik usw. zu beherrschen.

Wir haben gesehen, daß es drei Wege gibt, um einen Kontakt zwischen den Zivilisationen herzustellen: den direkten Kontakt, den Kontakt mit automatischen Stationen und den Funkkontakt.

Die gigantischen kosmischen Entfernungen und die begrenzte Geschwindigkeit materieller Körper schließen die beiden ersten Formen des Kontaktes nach unserer gegenwärtigen Kenntnis der physikalischen Gesetze und nach dem Stand unserer Technik praktisch aus. So bleibt uns nur der Kontakt durch einen Informationsaustausch mit Hilfe von Radio- und Lichtwellen. Diese Wellen haben natürlich auch ihre Feinde, die Strahlungen der Himmelskörper und des interstellaren Mediums. Aber der menschliche Verstand hat Lücken im kosmischen Rauschen gefunden und Sender mit gewaltiger Leistung geschaffen, dazu Antennen, mit denen man die Wellen in einem schmalen gerichteten Bündel ausstrahlen kann. Weiterhin hat er sinnreiche Verfahren für die Modulation der Nutzinformation auf die Wellen gefunden. Nicht zuletzt hat er gewaltige Empfangsantennen gebaut und Empfänger entwickelt, die das schwache Nutzsinal aus den Störungen aussondern können.

Unsere Betrachtungen haben gezeigt, daß unsere Stimme bereits jetzt bis zu den nächsten zehn, zwölf Sternen dringen kann. Wir können uns nicht nur bemerkbar machen, sondern auch einfache vernünftige Signale senden. Unsere Kraft reicht aber noch nicht aus, eine größere Sphäre mit unseren Signalen zu überstreichen. Deswegen ist die Wahrscheinlichkeit, daß wir mit ihnen fremde Zivilisationen erreichen, nicht allzu groß. Andere Zivilisationen, die uns ein Stück voraus sind, können sicher nicht nur „Hallo!“ rufen, sondern gleich einen Strom von Nutzinformationen senden. Sie können nach allen Seiten und in vielen Wellenbereichen senden, um allen ihre Erfahrungen bei der Meisterung der Naturgesetze zu übermitteln. Das erhöht unsere Aussichten, sie zu hören, gewaltig.

Glücklicherweise erfordert der Empfang von Signalen keine großen Energien. Wir brauchen nur einen regelmäßigen Beobachtungsdienst, dazu die Einrich-

tungen und Antennen, mit denen wir das Signal aus dem Rauschen herausfinden können. Wir brauchen Rechenmaschinen und kybernetische Einrichtungen, die die vernünftigen Signale am Ausgang der Empfänger suchen. Wir müssen natürlich auch eine Theorie des interstellaren Nachrichtenverkehrs entwickeln und versuchen, die Logik vernunftbegabter Geschöpfe verschiedener Entwicklungsstufen im voraus zu erraten. Bereits jetzt sollten wir die Suche, die gegenseitige Belehrung und die Gespräche zweier Zivilisationen mit Hilfe von Computern modellieren. Vielleicht sollte man schon jetzt an einigen Hochschulen Lehrstühle für den interstellaren Verkehr einrichten. Junge Geister, die noch nicht durch die Traditionen irdischer Wissenschaft und Technik vorbelastet sind, können vielleicht die Logik anderer Zivilisationen und Superzivilisationen „erfühlen“. Vielleicht gibt es unter den jungen Lesern dieses Buches einige, die sich für die Suche nach Kontakten zu fremden Zivilisationen begeistern und ihre ganze Kraft für diese Aufgabe einsetzen. Wenn dies so ist, dann ist die Arbeit des Autors an diesem Buch nicht vergebens gewesen.

Namenverzeichnis

- Aldrin, E. 17
Aristoteles 141
Armstrong, N. 17
- Bailes, H. 46, 47
Baum, L. F. 133
Bell, J. 77
Bracewell, R. N. 45
- Cameron 46
Chrunow, E. 86
Coconi, G. 119
- Drake, F. D. 6, 133
Dyson, F. 6, 84
- Einstein, A. 49
Engels, F. 43, 142
- Fessenkow, W. G. 43, 46
Fourier 127
Freudenthal, H. 132
- Gauss, C. F. 64
Ginsburg, W. L. 7
- Hertz, 61
Hertzsprung, E. 32
Hoffmann, W. 146
Hoerner, S. v. 6, 43, 46, 47
Hubble, E. 27
- Jansky, G. 69
Jelisejew, A. 86
Jewish, G. 77
- Kardaschew, N. S. 6, 83, 84, 87, 109
Kotelnikow, W. A. 101, 146
- Lee, R. B. 7
Littrow 64
- Marx, K. 142
Maxwell, J. C. 61
Morrison, P. 119
- Newton, I. 27
Nyquist, H. 95
- Oparin, A. I. 43, 46
- Pistolkorskij, A. 104
Popow, A. S. 61, 89, 119, 136, 139
- Reber, G. 70
Russell, H. N. 32
- Sagan, C. 46
Schklowskij, I. S. 7, 46, 74
Shannon, C. 103, 146
Shapley, H. 42, 46
Siforow, W. 104
Shu-Shu-Huang 38, 41
- Tazief, H. 138
Townes, C. 7
Troizkij, W. S. 6, 135
- Wolkow, W. 86
Woronow-Weljeminow, B. A. 36
- Ziolkowski, K. 17

Sachwörterverzeichnis

- Abtasttheorem 101
Amplitude 56
Amplitudenmodulation 90, 124
Andromedanebel 23, 74
Antennencharakteristik 99
Antimaterie 51
Apollo 49
Ara, technische 43
Atmosphäre 40
Atom 66
- Bandbreite 91, 92
Beschleunigung 49
Bezugssignal 124
- Cassiopeia A 73
Cygnus A 73
Cygnusbogen 73
- Dechiffrierung 131
Demodulation 92
Demodulator 124
Differenzphasen-
umtastung 107, 110, 125
Doppelstern 36
Doppler-Effekt 25, 120
3-K-Strahlung 77
Dyson-Sphäre 6, 84
- Eiweiß 37
Elektron 66
- Endmasse 50
Energiebedarf 84
Erde 38
Erdgeschichte 138
- Filamente 73
Fliegende Untertassen 48
Fluchtgeschwindigkeit 28
Fotovervielfacher 123
Fourier-Zerlegung 128
Frequenz 56
Frequenzmodulation 90, 124
Frequenzverdoppler 127
Funkbrücke 54, 81
Funkkontakt 53
- Galaxis 20
Geschwindigkeits-
verhältnis 50
Grüne Menschlein 77
- Hale-Teleskop 18
Halo 23
Hauptreihe 32
Hertz 56
Hertzsprung-Russell-
Diagramm 32
Hubble-Konstante 27
Hydrosphäre 40
- Impulsmodulation 103, 124
Impulsschwingung 57
- Information
binäre 100
dezimale 101
diskrete 100
kontinuierliche stetige 100
Ionenrakete 50
Ionosphäre 62
- Kippschwingung 57
Krebsnebel 73
Kurzwellen 60
- Langwellen 60
Laser 7, 65, 122
Laufzeit 80
Leben 37, 43
Leistung, spezifische 52
Leuchtkraft 30
Lichtfenster 63
Lichtfilter 123
Lichtgeschwindigkeit 47
Lichtjahr 22
Lincos 132
Little green men 77
Lokale Gruppe 23
- Magellansche Wolken 23, 74
Mars 39, 40
Massenverhältnis 50
Milchstraße 20, 74
Mittelwellen 60
Modulation 90
Mount Palomar 18

- Nachrichtenübertragungssystem 92
 Neutronenstern 79
 Nova 74

 Oszillograf 128, 130
 Ozma 6, 133

 Parsec 22
 Pendel 55
 Periodendauer 57
 Phasenmodulation 105, 124
 Photonenrakete 50
 Planet 36, 43
 Projekt Ozma 6, 133
 Protostern 33
 Pulsar 77
 Pulskodemodulation 101 f.

 Quasar 76

 Radioastronomie 63, 70
 Radiofenster 63
 Radiogalaxis 74
 Radiokosmos 71
 Radionebel 74
 Radioquelle, quasistellare 76
 Radiostrahlung 70
 nichtthermische 70
 thermische 70
 Radioteleskop 72, 109, 134
 Raumfahrt
 bemannte 47
 unbemannte 53

 Raumschiff 47
 Rauschen 92, 146, 147
 kosmisches 97
 Quanten- 96
 Wärme- 94
 weißes 67, 95
 Rauschgenerator 94
 Rauschtemperatur 95
 Redundanz 104
 Reflektor 71
 Richtantenne 98
 Roter Riese 33, 34
 Rotverschiebung 27, 121
 Rückkopplung der Zivilisationen 88

 Schroteffekt 95
 Schwarzer Zwerg 35
 Schwingungen 55
 kohärente 68
 Sinus- 56
 Signal-Rausch-Verhältnis 93
 Sojus 49, 86
 Sonne 30
 ruhige 72
 Spektraldarstellung 58
 Spektralklassen 31
 Spektrograf 127, 129, 130
 Spektrum 26, 127
 Spiralnebel 20
 Startmasse 50
 Stern 17, 30
 Sternbild 31
 Sternsystem 20
 Stratosphäre 62
 Supernova 74
 Stützmasse 50

 Synchrotronstrahlung 71, 79, 96

 Temperatur 30
 Trägerfrequenz 92
 Trägheitskraft 49
 Troposphäre 61

 Überriese 33, 34
 Ultrakurzwellen 60
 Universum 23
 heißes 28
 pulsierendes 30
 Uranspaltung 51
 Urknall 137

 Venus 38, 41
 Vergleichsblock 100
 Verzögerungsleitung 106, 126
 Violettverschiebung 121

 Wahrscheinlichkeit 44
 Wandler 101
 Wärmestrahlung 96
 Wasserstoff-Fusion 51
 Wasserstoffstrahlung 119
 Weißer Zwerg 33, 34
 Wellen 59
 elektromagnetische 61
 Wellenlänge 60
 Weltall 29

 Zeitdehnung 49
 Zeitdilatation 49
 Zerstrahlung 51
 Zivilisationen 43, 45, 46, 82

Bildnachweis

Brockhaus abc Astronomie: 23, 26

Cambridge Research Laboratories, Bedford (USA): 109

VEB Carl Zeiss Jena: 19

Heinrich-Hertz-Institut, Berlin-Adlershof: 71

Kurze, Weltwunder des 20. Jahrhunderts: 72

A. Mähler nach Vorlagen des Autors bzw. des deutschen Bearbeiters: 14, 16, 24/25, 32, 34, 38, 46, 48, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 85, 89, 90 (2), 91, 93, 94, 97, 99, 100, 102, 105 (2), 106, 114, 125, 128, 129, 130 (2), 131, 140

A. Mähler nach Brockhaus abc Astronomie: 62

A. Mähler nach Haber, Der offene Himmel: 28

A. Mähler nach Haber, Unser blauer Planet: 39

A. Mähler nach Krüger/Richter, Radiostrahlung aus dem Weltall: 64

Mount Wilson and Palomar Observatories, Pasadena, California:

18, 21, 73, 75 (2)

National Radio Astronomy Observatory, Green Bank, Virginia: 134

Westphal, Physik: 20