

Sonderdruck für AMSAT-Deutschland e.V. aus „Luft- und Raumfahrt“, Heft 2-81

# UKW-Amateurfunk im Satellitenzeitalter

von Alexander Schoening (DC 7 AS)

*Kaum bemerkt von der Öffentlichkeit und selbst von eingeweihten Kreisen der Raumfahrt, haben sich die Amateurfunker durch zielstrebige Arbeit den Satellitenfunk erobert. Auch für die Zukunft haben sie auf diesem Gebiet interessante Planungen und Absichten.*

Im Jahre 1980 gab es in der Bundesrepublik Deutschland rund 40 000 Amateurfunkstationen. Zur gleichen Zeit waren es in den USA fast zehnmal soviel. Die Gesamtzahl der Amateurfunkstationen in aller Welt dürfte inzwischen die Millionengrenze weit überschritten haben.

Die Betreiber dieser Stationen haben nach Ablegen umfangreicher fachlicher Prüfungen eine Lizenz ihrer Fernmeldeverwaltungen erhalten. Sie sind also nicht zu verwechseln mit den Hobby-Funkern, die sich im 11 m-Citizen-Band als „Jedermann-Funker“ tummeln.

Obwohl also in der Bundesrepublik Deutschland unter je 1500 Bürgern ein lizenziertes Funkamateure zu finden ist, hört die breite Öffentlichkeit nur selten etwas von der Existenz und der Arbeit der Funkamateure. Unsere anscheinend auf spektakuläre Ereignisse spezialisierten Medien berichten darüber nur, wenn Funkamateure beispielsweise den Versand seltener Medikamente in abgelegene Gegenden vermitteln oder wenn sie in Katastrophenfällen kurzfristig als Ersatz für zusammengebrochene öffentliche Kommunikationsmittel einspringen.

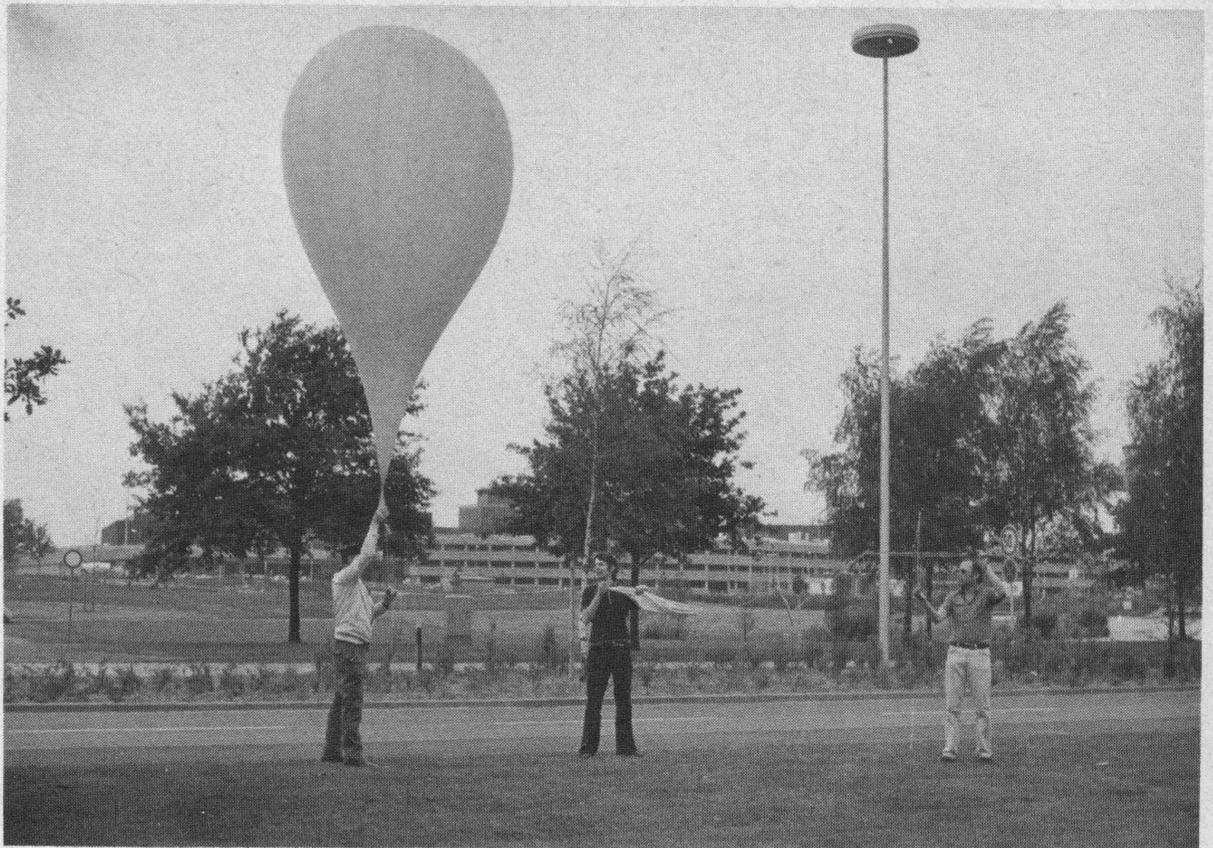
Dabei entsprechen diese Tätigkeiten kaum dem eigentlichen Wesen des Amateurfunks, das in vielen nationalen Gesetzen und in zahlreichen internationalen Verträgen definiert ist. So umreißt beispielsweise die VO-Funk [1]

den Begriff „Amateurfunkdienst“ folgendermaßen: „Ein von Funkamateuren ausgeübter Funkdienst für die eigene Ausbildung, für den Verkehr untereinander und für technische Studien“.

Solche technischen Studien waren während der Anfangszeit des Amateurfunks besonders dem Gebiet der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen gewidmet. So bewies beispielsweise die erste Transatlantik-Amateurfunkverbindung zwischen Léon Deloy (in Nizza/Frankreich) bzw. John Reinartz und Fred Schnell (in Hartford, Conn./USA) im November 1923 die Eignung der 100-m-Welle für den weltweiten Funkverkehr. Spätestens seit diesem Zeitpunkt ist das Überbrücken großer Entfernungen mit den meist relativ geringen zugelassenen Sendeleistungen ein bevorzugtes Arbeitsgebiet der Funkamateure.

Daran änderte sich auch nichts, als die Funkamateure in den letzten Jahrzehnten begannen, auf diejenigen Frequenzbereichen tätig zu werden, denen man gemeinhin nur einen lichtähnlichen Ausbreitungsweg bis zum optischen Horizont (quasioptische Wellen) zusprach. Zunächst wurden spezielle Erscheinungen in der unteren Troposphäre (Inversionen) ausgenutzt, um Weitverbindungen im 2 m- und 70 cm-Amateurband herzustellen. Funkkontakte „via Troposphäre“ über Entfernungen von

Bild 1: Start des ARTOB-Ballons Nr. 54 am 17. Juni 1973 vor dem Flughafen Hannover-Langenhagen (Foto: Schoening).



mehr als 1 000 km auf dem 2 m-Band sind zwar rar und jahreszeitlich bedingt, haben aber heute durchaus keinen Seltenheitswert mehr.

Immer auf der Suche nach weiteren Ausbreitungswegen für den Weitverkehr auf Ultrakurzwellen machten sich die Funkamateure das Polarlicht und die Spuren verdampfender Mikrometeore als natürlichen Reflektor zunutze. Und in neuster Zeit sind auch die gelegentlich auftretenden Anomalien in der Ionosphäre (sporadische E-Schicht) dem UKW-Amateur für die Überbrückung von Entfernungen weit über 1 000 km willkommen.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse und die technischen Daten solcher Überreichweiten-Verbindungen sind auch der wissenschaftlichen Auswertung zugänglich gemacht worden. So konnte beispielsweise Lange-Hesse in seinen frühen Arbeiten über die Rückstreuung ultrakurzer Wellen am Polarlicht [2] auf umfangreiches Beobachtungsmaterial deutscher Funkamateure zurückgreifen. In den letzten Jahren wurde damit begonnen, die Daten der UKW-Funkverbindungen zu sammeln, die durch Reflektionen an der sporadischen E-Schicht zustande kamen. Man hofft, dadurch weitere Aufschlüsse über den Entstehungs-Mechanismus dieser Irregularitäten der Ionosphäre zu erhalten.

Vom Standpunkt des Funkamateurs gesehen, haftet allen erwähnten Ausbreitungswegen ein entscheidender Mangel an: Die dazu erforderlichen „natürlichen Reflektoren“ sind nicht ständig vorhanden, ihr Auftreten ist meist nicht vorhersagbar, und ihre Dauer ist in Extremfällen auf einige Minuten beschränkt.

Kein Wunder also, daß sich die Funkamateure schon bald daranmachten, solchen Nachteile mittels „künstlicher Reflektoren“ für Ultrakurzwellen zu umgehen. Drei Lösungsmöglichkeiten boten sich an, die alle verwirklicht wurden:

- 1) Errichtung von IKW-Relais-Stationen auf hochgelegenen Standorten,
- 2) Ballon-Starts (ähnlich wie bei Wetter-Sonden), mit denen Transponder in großen Höhen geschleppt werden, und
- 3) Amateurfunk-Satelliten mit Transpondern an Bord.

Die entsprechenden Entwicklungen fanden mit zeitlichen Überlappungen und nicht immer in der angegebenen Reihenfolge etwa in den letzten 20 Jahren statt. Sie können – mit Ausnahme der sich stets weiterentwickelnden Technik der Amateurfunk-Satelliten – als abgeschlossen gelten. Dabei haben besonders der Relais- und der Satellitenfunk dazu beigetragen, ein völlig neues Bild des UKW-Amateurfunks zu prägen.

Die zuerst erwähnten Relais-Stationen, die hauptsächlich im 2 m- und 70 cm-Amateurband arbeiten, haben im vergangenen Jahrzehnt die Bundesrepublik Deutschland mit einem dichten Netz überzogen. Es gibt derzeit wohl keinen Ort in Deutschland, von dem aus eine Mobilstation im Kraftfahrzeug nicht über mindestens ein IKW-Relais Funkverkehr abwickeln könnte. Dabei wird der naturgemäß geringe Aktionsradius der Relais (abhängig vom Standort beispielsweise 50 km) durch deren Anzahl und Dichte ausgeglichen.

Eine Normung der Relais-Ansprech- und Sendefrequenz, die von den Amateuren selbst herbeigeführt wurde, hat dazu beigetragen, daß die in vielen Ländern in Ost- und West-Europa bestehenden Relaisfunkstellen auch für ausländische Gäste nutzbar sind. Da die Relais zum überwiegenden Teil für eine bestimmte Empfangs- und Sendefrequenz ausgelegt sind, stehen sie jeweils nur einer sendenden Station zur Verfügung. Dies unterscheidet den Relaisfunk grundsätzlich vom Betrieb über Amateurfunk-Transponder an Ballons und an Bord von Satelliten. Ähnliches gilt auch für die Modulationsarten: Im Relaisfunk wird fast ausschließlich Frequenz-Modulation (FM) angewandt – bei Amateurfunk-Transpondern können hingegen alle Modulationsarten, hauptsächlich Telegrafie (CW) und Einseitenband-Telefonie (SSB), eingesetzt werden.

Die schon erwähnten Starts von Amateurfunk-Transpondern am Ballon erlebten ihre Blütezeit Ende der 60er bis Anfang der 70er Jahre. Treibende Kraft dieser ARTOB-Flüge (**A**mateur **R**adio **T**ransponder **O**n **B**alloon) war der Funkamateur Fritz Herbst (DL 3 YBA) aus Burgdorf bei Hannover. Unter seiner Leitung wurden im angegebenen Zeitraum rund 60 Ballon-Starts durchgeführt.

Die mittfliegenden Transponder nahmen beispielsweise die Sendungen der Bodenstationen im 70 cm-Amateur-

## Glossarium

Die hier in alphabetischer Reihenfolge verzeichneten Begriffe werden nur soweit erläutert, wie es zum Verständnis der benutzten Fachausdrücke erforderlich scheint. Umfassendere und exaktere Definitionen müssen der Fachliteratur entnommen werden.

**Antennengewinn:** Verhältnis der von der Antenne in Hauptstrahlrichtung abgestrahlten Leistung zu der Leistung die ein Kugelstrahler bei gleicher zugeführter Leistung in dieses Richtungssegment abstrahlen würde. Dieses Leistungsverhältnis wird bei Bezug auf den Kugelstrahler in dBi angegeben.

**Bakensender:** Ständig arbeitender Sender (z.B. an Bord von Satelliten), der meist (z.B. zum Zweck der Bahnverfolgung) nur eine Kennung ausstrahlt. Bei Amateurfunk-Satelliten zusätzlich auch zur Übermittlung von Telemetriewerten eingesetzt.

**Digitale Codierung:** In diesem Zusammenhang die Codierung der an Bord des Satelliten gewonnenen, zur Erde abstrahlenden Meßwerte in Form von Morsezeichen oder als Funkfern schreiben.

**Downlink:** Englische Bezeichnung für die „Abwärts“-Funkstrecke vom Satelliten zur Erde.

**Encoder:** Hier eine elektronische Baugruppe, welche Meßwerte in eine für die Funkübertragung geeignete Form (beim Amateurfunk z.B. in Morsezeichen) umwandelt (verschlüsselt).

**ERP = Effective radiated power = Effektive Strahlungsleistung:** Von der Sendeantenne effektiv abgestrahlte Leistung. Sie wird bestimmt aus der Hochfrequenz-Leistung des Senders, vermindert um die Verluste auf dem Speisekabel zwischen Sender und Antenne und erhöht um den Antennengewinn.

**Fototransistor:** Spezielle Bauart des Transistors, der aufgrund seiner fotoelektrischen Eigenschaften als Lichtsensor oder -Indikator eingesetzt wird.

**Modulation:** Bei Telephonie-Sendungen wird der im Sender erzeugten hochfrequenten Schwingung, dem sogen. Träger, eine niederfrequente Schwingung (der eigentliche Informationsinhalt, z.B. Sprache oder Musik) aufgeprägt. Der Vorgang wird mit „Modulation des Trägers“ oder kurz mit „Modulation“ bezeichnet.

**Amplitudenmodulation (AM):** Bei dieser Modulationsart wird die Amplitude der hochfrequenten Trägerschwingung entsprechend der

niederfrequenten, modulierenden Schwingung (Sprache, Musik) verändert. Ausgestrahlt werden ein Träger mit konstanter Frequenz und daneben zwei spiegelbildlich identische Seitenbänder, deren Spektren den eigentlichen Informationsgehalt darstellen. Praktische Anwendung: Mittel- und Langwellen-Rundfunk.

**Einseitenbandmodulation (SSB = Single side band):** Wird als Abart der Amplitudenmodulation im Sender erzeugt, indem der Träger und eines der beiden Seitenbänder unterdrückt, d.h. nicht ausgestrahlt werden. Daraus ergibt sich die Frequenzökonomie des Verfahrens. Praktische Anwendung: Weiterverkehr im Amateurfunk.

**Frequenzmodulation (FM):** Bei diesem Modulationsverfahren wird die Frequenz der Trägerschwingung im Rhythmus der niederfrequenten, modulierenden Schwingung (Sprache, Musik) verändert. Ausgestrahlt wird daher ein Träger mit konstanter Amplitude aber variabler Frequenz. Praktische Anwendung: UKW-Rundfunk.

**Richtcharakteristik:** Eigenschaft bestimmter Antennenbauarten, die ihnen zugeführte Sendeleistung bevorzugt gebündelt in eine Richtung abstrahlen. Mit steigender Bündelung nimmt der Antennengewinn zu. Umgekehrt ergibt sich für den Empfangsfall, daß Signale aus einer bestimmten Richtung stärker aufgenommen werden.

**Transponder:** Eine im Prinzip aus Empfänger und Sender bestehende elektronische Baugruppe an Bord des Satelliten. Die vom Empfangsteil in einem bestimmten Frequenzbereich (z.B. 70cm-Amateurband) aufgenommenen Sendungen von Bodenstationen werden in einen anderen Frequenzbereich (z.B. 2m-Amateurband) umgesetzt und vom Senderteil zur Partnerstation am Boden wieder abgestrahlt. Ein Amateurfunk-Transponder, der die als Beispiel erwähnten Frequenzbereiche benutzt, wird als „70cm/2m-Transponder“ bezeichnet.

**Uplink:** Englische Bezeichnung für die „Aufwärts“-Funkstrecke von der Erde zum Satelliten.

**$\lambda/4$ -Stabantenne:** Einfache Antennenbauform ohne ausgeprägte Richtcharakteristik und nennenswerten Gewinn, bestehend aus einem stabförmigen Strahler, dessen Länge etwa  $1/4$  der vom Sender benutzten Wellenlänge entspricht.

band auf und strahlten sie im 2 m-Band zur Partnerstation wieder ab. Dies brachte manche Vorteile mit sich: Jede im 70 cm-Band gerade sendende Station konnte in ihrem gleichzeitig mitlaufenden 2 m-Empfänger ihre Sendung über den Transponder „zurückhören“. Es war also möglich zu beurteilen, ob das eigene Signal den Transponder überhaupt erreichte, und ob die benutzte Frequenz nicht durch andere Stationen gestört wurde. Ferner war auf diese Weise „Gegensprechen“ möglich: Die Partner konnten einander (wie beim Telefon) jederzeit unterbrechen und Zwischenfragen stellen.

Die bei den ARTOB-Flügen eingesetzten Geräte waren durchweg als „Breitband-Transponder“ ausgelegt. Sie konnten also ein ganzes Bandsegment (von z.B. 100 kHz Breite) erfassen und alle Signale der in diesem Bereich sendenden Stationen umsetzen. Dies bedeutete, daß Dutzende von Amateurfunk-Stationen gleichzeitig und ungestört voneinander Funkverkehr über den Transponder aufnehmen konnten.

Die technische Konzeption der Transponder und die Abwicklung des Funkbetriebs ähneln sich bei Ballonflügen und bei Amateurfunk-Satelliten in vielen Einzelheiten. Die frühen ARTOB-Starts vermittelten also manche Erfahrungen, die den Erbauern und Benutzern von Amateurfunk-Satelliten zugute kamen.

Den Start des ARTOB-Ballons Nr. 54 vor dem Flugplatz Hannover-Langenhagen am 17. Juni 1973 zeigt die Abb. 1. Hier wurde ein 70 cm/2 m-Transponder mit einer Übertragungsbandbreite von 200 kHz und einer Sendeleistung von knapp 1 Watt eingesetzt. Mit seinen Geräten im Gesamtgewicht von etwa 3,9 kg (einschl. Antennen und Fallschirm) erreichte der Ballon in gut 1 1/2 Stunden seine Gipfelhöhe von rund 25 km. Nach dem Platzen des Ballons schwebten die Geräte an einem kleinen Fallschirm zur Erde zurück. Dies dauerte reichlich 20 Minuten. Da der Ballon während seines Fluges über einen Weg von knapp 90 km laufend durch Peilung und Entfernungsmessung verfolgt wurde, konnten die Geräte von einem mobilen Suchtrupp schon bald nach der Landung in wiedergebrauchsfähigem Zustand geborgen werden (Abb. 2).

Der erreichten Gipfelhöhe entsprechend, konnten UKW-Stationen aus 13 europäischen Ländern über den Ballon-Transponder Funkverbindungen abwickeln; darunter einige zwischen der Schweiz und Dänemark, sowie zwischen Österreich und England.

Die Technik des Ballon-Flugs von Transpondern wurde fast ausschließlich in Deutschland gepflegt und ständig verfeinert. Nur in Frankreich erfolgten etwa um die gleiche Zeit einige Ballon-Starts im Rahmen des Projekts „Mirabelle“, während die wenigen Testflüge von Transpondern in den USA meist an Bord von Privatflugzeugen durchgeführt wurden.

In jedem Fall war der Aufwand an Gerät, Personal und Zeit bei den Ballon-Flügen im Verhältnis zur erreichten Flugdauer von wenigen Stunden doch recht hoch. Eine vergrößerte Betriebsdauer bei allerdings noch größerem, aber einmaligem Aufwand konnte nur durch die „künstlichen Reflektoren“ der dritten Gruppe, die Amateurfunk-Satelliten, erreicht werden.

Tatsächlich wurde schon kurz nach dem Start des ersten künstlichen Erdsatelliten SPUTNIK 1 (1957) in der amerikanischen Amateurfunk-Zeitschrift „CQ“, Heft 4/1959, der Start eines 6 m/2 m-Transponders mit einer „noch zur Verfügung zu stellenden“ Trägerrakete angeregt. Ein Jahr



Bild 2: Bergung des Transponders, der zum Kälteschutz in Styropor verpackt war (links), und des Fallschirms (rechts) nach dem ARTOB-Flug (Foto: Schoening).

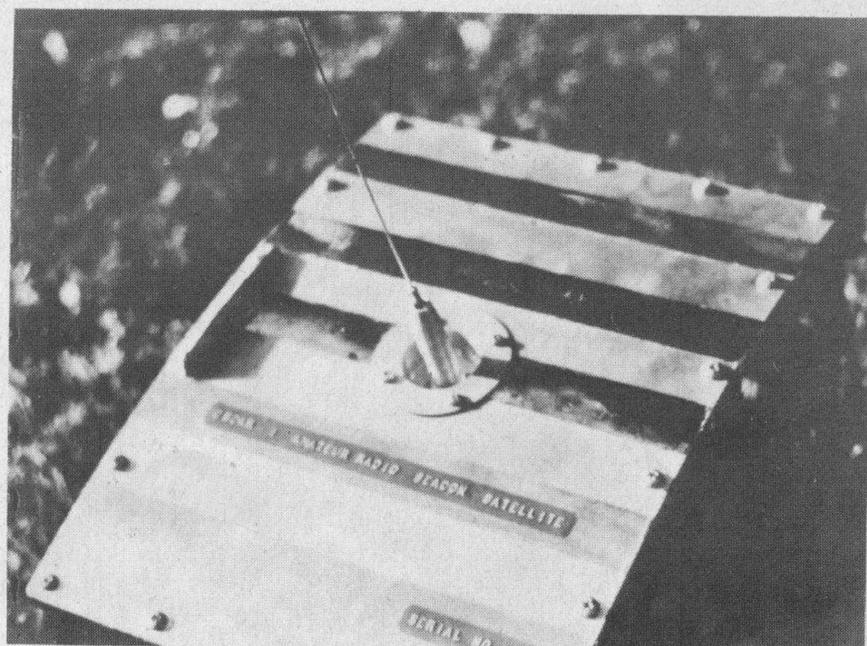
später gründeten dann Funkamateure, die der amerikanischen Raumfahrtindustrie nahestanden, in Sunnyvale (Kalifornien) die OSCAR-Association. Den Namen ihrer Vereinigung leiteten sie aus den Anfangsbuchstaben ihrer selbst gestellten Aufgabe her, nämlich „**O**rbiting **S**atellite **C**arrying **A**mateur **R**adio“.

Und wieder ein Jahr später, am 12. Dezember 1961, wurde OSCAR 1 als erster Amateurfunk-Satellit mit einer Thor-Agena-B-Rakete von der Western Test Range in Vandenberg (Kalifornien) in die Umlaufbahn geschossen. Deren Apogäum lag in etwa 471 km Höhe, während sich das Perigäum sich in etwa 245 km Höhe befand. Dementsprechend ergab sich eine Umlaufzeit von rund 92 Minuten.

OSCAR 1 hatte nur einen sehr einfach aufgebauten Baken-sender an Bord, der bei 146 MHz mit einer Leistung von 0,1 Watt an einer  $\lambda/4$ -Stabantenne arbeitete. Der Sender wurde im Rhythmus der Morsezeichen „hi“ getastet – eine Kennung, die zur Tradition bei Amateurfunk-Satelliten werden sollte. Die Tastgeschwindigkeit war stark temperaturabhängig, so daß sich auf diesem Weg die Temperatur an Bord des Satelliten mit einfachsten Mitteln bestimmen ließ.

Wegen Erschöpfung der Bordbatterien setzte der Baken-sender am Jahresende 1961 aus. Einen Monat später ver-

Bild 3: OSCAR 1, der als erster Amateurfunk-Satellit am 12. Dezember 1961 gestartet wurde (Foto: AMSAT).



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entw.-phase	Name	Start-datum	Betriebs-zeit	Bahnform	Bahnhöhe (km)	Umlaufzeit (min)	Bahnneigung (Grad)	Transponder (MHz)	Baken (MHz)
1	OSCAR 1	12. 12. 61	B = 21 Tage (2. 1. 62)	Ellipse	245/471	91,7	81,2	—	144,983
1	OSCAR 2	2. 6. 62	B = 18 Tage (20. 6. 62)	Ellipse	208/391	90,5	74,2	—	144,993
1	OSCAR 3	9. 3. 65	T = 16 Tage (25. 3. 65)	Kreis	907/941	103,5	70,1	144,1/ 145,9	145,850 145,950
1	OSCAR 4	21. 12. 65	B+T bis März 1966	Ellipse	196/33595	589,5	26,8	144,1/ 431,935	431,925
1	OSCAR 5	23. 1. 70	B (2m) = 23 Tage B (10m) = bis Dez. 1970	Kreis	1435/1481	115,1	101,9	—	144,05 29,45
2	AMSAT-OSCAR 6	15. 10. 72	B+T bis Sommer 77	Kreis	1451/1456	114,9	101,7	145,95/ 29,50	29,45 435,10
2	AMSAT-OSCAR 7	15. 11. 74	noch in Betrieb	Kreis	1450/1461	114,9	101,7	A: 145,90/ 29,45 B: 432,15/ 145,95	A: 29,502 + 435,10 B: 145,972 (2304)
2	AMSAT-OSCAR 8	5. 3. 78	noch in Betrieb	Kreis	883/928	103,2	99,0	A: 145,90/ 29,45 J: 145,95/ 435,15	A: 29,402 J: 435,095
2	RS1/RS2 (UdSSR)	26. 10. 78	siehe Text	Kreis	1688/1724	120,4	82,6	145,90/ 29,380	29,401

Tabelle 1: Hauptdaten bisher gestarteter Amateurfunk-Satelliten.

glühte OSCAR 1 beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre. Während seiner aktiven Lebensdauer fertigten 570 Funkamateure aus 25 Ländern rund 5 200 Empfangsberichte an. Schon der erste OSCAR bot also den Funkamateuren Gelegenheit zu zahlreichen eigenen technischen Studien.

Selbstverständlich war und ist es den Erbauern von Amateurfunk-Satelliten nicht möglich, die immensen Kosten für einen Raketenstart auch nur annähernd selbst zu tragen. OSCAR 1 wurde deshalb (wie alle seine Nachfolger) im „Huckepack“-Verfahren zusammen mit DISCOVERER 36 in die Umlaufbahn gebracht. Man hatte ihm einen „besonders komfortablen“ Platz angewiesen – nämlich eine Aussparung in der gewölbten Außenhaut der Oberstufe, in unmittelbarer Nähe der Treibstoffpumpen des Triebwerks. Der nur 4,5 kg schwere Satellit mit den Abmessungen 30 x 35 x 15 cm hatte deshalb die abenteuerlich gekrümmte Form eines Hohlzylinderausschnitts (Abb.3).

In der Zeit von 1962 bis 1970 wurden unter Führung der OSCAR-Gruppe vier weitere Amateurfunk-Satelliten (OSCAR 2 bis OSCAR 5) gestartet. Die wichtigsten Daten dieser und der folgenden Satelliten sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt. Eine noch ausführlichere Dokumentation ist in [3] zu finden.

Wie der Tabelle 1 zu entnehmen ist, waren auch die Amateurfunk-Satelliten OSCAR 2 und OSCAR 5 lediglich mit Bakensendern für die Telemetrieübermittlung ausgerüstet, während die beiden zeitlich dazwischen gestarteten Satelliten OSCAR 3 und OSCAR 4 jeweils einen Transponder an Bord hatten.

OSCAR 2 unterschied sich von seinem Vorgänger kaum. OSCAR 5 hingegen war mit zwei Bakensendern versehen,

die im 2 m- und 10 m-Amateurband mit Leistungen von 50 bzw. 250 mW gleiche Telemetriewerte ausstrahlten. Außer den Signalen von drei Fototransistoren (mit deren Hilfe die jeweilige räumliche Lage des Satelliten bestimmt werden konnte) wurden vier Telemetriewerte (Batteriespannung und -strom, Gehäuse- und Innentemperatur) gesendet, und zwar als Folge von vier Tönen, deren Höhen sich analog zum Meßwert änderten. Die Beobachter bestimmten die auf den vier Kanälen gesendeten Tonfrequenzen und entnahmen aus Eichkurven die Werte der einzelnen Parameter. Wohl wegen des Zeitaufwands bei der Auswertung und wegen der auftretenden Ungenauigkeiten wurde dieses Verfahren bei späteren Amateurfunk-Satelliten durch eine digitale Codierung ersetzt.

Erstmals bei OSCAR 5 wurde auch ein magnetisches Stabilisierungssystem erprobt. Damit konnte die Spinrate des Satelliten, die anfänglich 4 U/min betragen hatte, innerhalb einer Woche auf etwa 0,1 U/min reduziert werden. Deshalb wurden alle später gestarteten Amateurfunk-Satelliten mit ähnlichen Systemen ausgestattet.

Die Satelliten OSCAR 3 und OSCAR 4 wurden erstmals mit Transpondern ausgerüstet. Der Transponder von OSCAR 3 wurde von den Bodenstationen am Anfang des 2 m-Amateurbandes (144 MHz) angesprochen und sendete am Ende des gleichen Bandes (146 MHz). Da die Uplink- und Downlink-Frequenzbereiche also im gleichen Band lagen, sprachen die Funkamateure von einem „In-Band-Transponder“. Beim Funkbetrieb bestand in diesem Fall die Möglichkeit, daß der Bodenstationssender den gleichzeitig im selben Frequenzbereich mitlaufenden Empfänger stört, „zustopft“, und eine Herabregelung der Empfängerempfindlichkeit bewirkt. Deswegen wurde

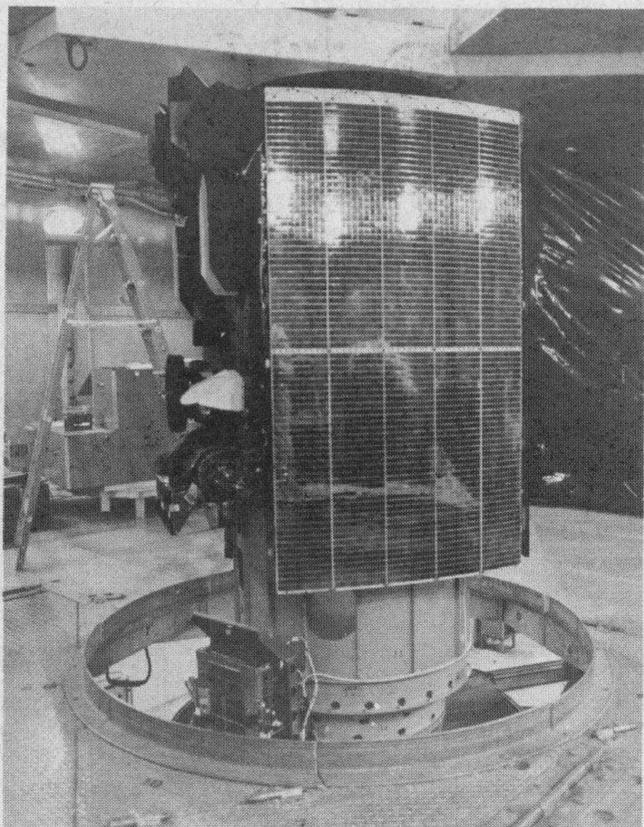


Bild 4: Ein interessanter Größenvergleich: Wetter-Satellit NOAA 2 und (ganz links unten) Amateurfunk-Satellit AMSAT-OSCAR 6 (Foto: NASA).

dieses Transponderkonzept in der Folgezeit nicht mehr verwendet.

Die Transponderfrequenzen von OSCAR 4 hingegen waren – zumindest was den damaligen Stand der Technik bei Amateurfunkstationen betraf – nicht glücklich gewählt. Für den Empfang der Downlink-Signale dieses Satelliten im 70 cm-Band waren damals (1965/1966) noch nicht allzu viele Amateurfunkstationen bereit (besonders, wenn man die Situation weltweit betrachtet). Außerdem lief OSCAR 4 ungewollt und infolge eines Versagens der dritten Stufe der TITAN-IIIC-Rakete auf einer stark elliptischen Bahn um. Auf die damit verbundenen Probleme bei der Bahnverfolgung und bei der Antennen-Nachführung waren wahrscheinlich nur wenige Funkamateure vorbereitet. Ein Fehler in der Bordelektronik des Satelliten sorgte für weitere Schwierigkeiten: Der Transponder war nur etwa alle 10 Minuten für die Dauer von rund 1/2 Minute betriebsbereit.

Wieviele Funkverbindungen trotz dieser Schwierigkeiten über OSCAR 4 zustande kamen, ist nicht bekannt geworden. Über den Transponder von OSCAR 3 wurden während dessen aktiver Lebensdauer von 16 Tagen immerhin 176 Funkverbindungen zwischen Stationen innerhalb der USA und zwischen Europa und den USA abgewickelt – eine Anzahl, die bei heutigen Amateurfunk-Satelliten innerhalb einer Stunde bei weitem überschritten sein dürfte.

Ein weiterer Blick auf die Tabelle 1 zeigt, daß die bisher erwähnten fünf Amateurfunk-Satelliten nur eine kurze Betriebsdauer hatten. In Spalte 4 der Tabelle wird die Dauer bzw. das Ende der Betriebszeiten der Bakensender (B) und der Transponder (T) angegeben. Die Kurzlebigkeit dieser ersten fünf Amateurfunk-Satelliten war hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß sie nicht über Solarzellen verfügten, mit denen die Bordbatterie ausreichend nachgeladen werden konnte.

Als weitere Gemeinsamkeit erkennt man aus der Tabelle 1, daß die ersten fünf Amateurfunk-Satelliten (mit der unge-

wollten Ausnahme bei OSCAR 4) auf recht erdnahen Bahnen umliefen.

- Diese beiden Eigenschaften – kurze aktive Betriebsdauer und erdnahe Bahnen – sind zum Kennzeichen der Entwicklungs-Phase 1 der Amateurfunk-Satelliten geworden, die mit OSCAR 5 ihren Abschluß fand.

Der Beginn der zweiten Phase in der Entwicklung von Amateurfunk-Satelliten fällt zeitlich zusammen mit der Gründung der AMSAT Radio Amateur Satellite Corporation, die im Frühjahr 1969 in Washington D.C./USA er-

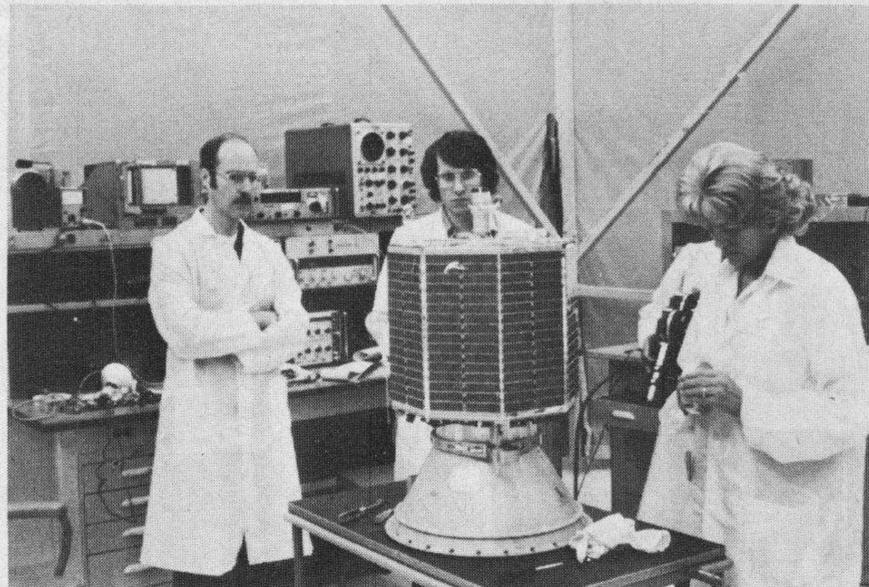
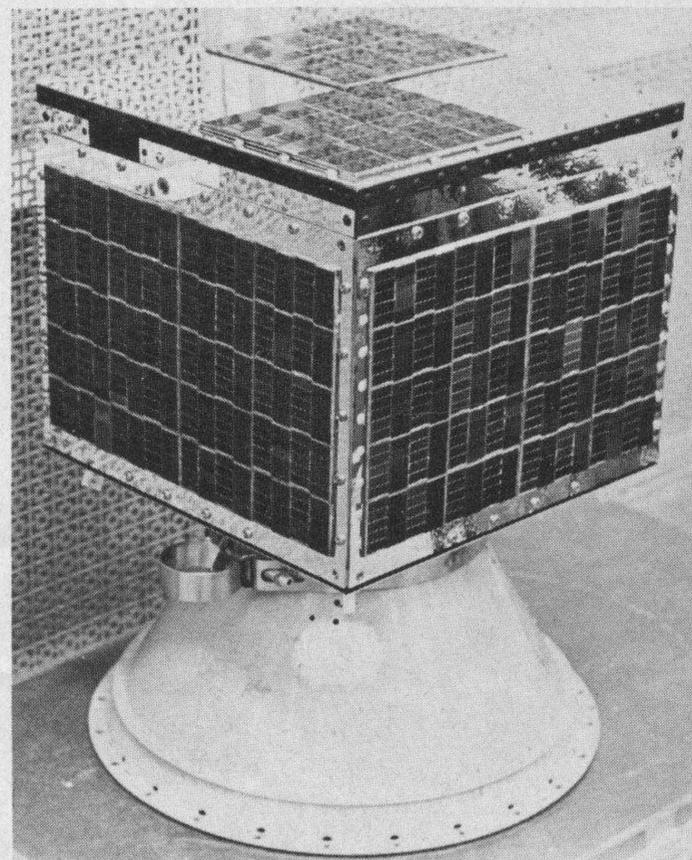


Bild 5: AMSAT-OSCAR 7 während abschließender Testarbeiten bei der AMSAT-USA (Foto: AMSAT).

folgte. Später wurden in vielen Ländern Tochter-Organisationen gleichen Namens gegründet, so z.B. im Jahre 1973 die AMSAT-DEUTSCHLAND e.V. in 3550 Marburg/Lahn. Die AMSAT war verantwortlich für den Bau und den Start der weiteren Amateurfunk-Satelliten, die nun alle den Namen AMSAT-OSCAR erhielten.

Kennzeichnend für diese neue Generation der Amateurfunk-Satelliten, also AMSAT-OSCAR 6, 7 und 8, waren

Bild 6: Amateurfunk-Satellit AMSAT-OSCAR 8 aus dem Jahre 1978 (Foto: AMSAT).



- deren fast sonnensynchrone Kreisbahnen in 900 bzw. 1 500 km Höhe, die sich aus dem gemeinsamen Start mit Wetter-Satelliten ergaben, und
- deren außerordentlich verlängerte aktive Lebensdauer, die durch den Einsatz ausreichender Solarzellenflächen zur Wiederaufladung der NiCd-Bordbatterien gewährleistet wurde.

Wie die Abb. 4, 5 und 6 zeigen, haben diese Amateurfunk-Satelliten ein recht unterschiedliches Aussehen – aber besonders vom Standpunkt des Benutzers gesehen, besaßen sie viele Gemeinsamkeiten, so daß eine zusammenfassende Beschreibung möglich ist.

Alle Satelliten hatten mindestens einen 2 m/10 m-Transponder an Bord. Bei AMSAT-OSCAR 7 kam noch ein weiterer, von AMSAT-DEUTSCHLAND gebauter 70 cm/2 m-Transponder mit einer Sendeleistung von 10 Watt hinzu. Der zweite Transponder für AMSAT-OSCAR 8 (2 m/70 cm) wurde erstmals von der japanischen Tochter-Organisation JAMSAT zugeliefert. Die typische Sendeleistung der Transponder lag bei 1 bis 2 Watt. Die verschiedenen für Sendung und Empfang benutzten Bordantennen hatten keine besondere Richtcharakteristik und wiesen deshalb auch keinen merkbaren Antennengewinn auf. Zum Ansprechen der Transponder genügte in jedem Fall eine Sendeleistung der Bodenstation von weniger als 100 Watt ERP (effektive Strahlungsleistung).

Ferner verfügten alle drei Satelliten der zweiten Entwicklungs-Phase über Kommando-Empfänger, so daß ausgewählte Stationen vom Boden aus beispielsweise die verschiedenen Transponder oder Baken nach einem vorgegebenen Programm in Betrieb setzen bzw. abschalten oder das Ausfahren längerer Teleskop-Antennen nach dem Start befehlen konnten. Auch die Telemetrieübermittlung wurde bei den Phase-2-Satelliten wesentlich verbessert. Dazu war AMSAT-OSCAR 6 erstmals mit einem Telemetrie-Encoder ausgerüstet, der die Werte von Strömen, Spannungen, Leistungen und Temperaturen an 24 verschiedenen Meßstellen mit Morse-Kode (CW) verschlüs-

selte. Jeder Telemetrie-Wert bestand aus drei Ziffern, von denen die erste die Kanalnummer (Meßstelle) angab. Die folgenden beiden Ziffern repräsentieren den eigentlichen Meßwert. Bei AMSAT-OSCAR 7 wurden verbesserte Encoder eingesetzt, so daß neben 24 im Morse-Kode (CW) verschlüsselten Telemetriewerten auch 60 verschiedene Meßdaten als Funkfern schreiben (RTTY) über die Baken-sender ausgestrahlt werden konnten. Bei AMSAT-OSCAR 8 beschränkte man sich dann wieder auf 6 im Morse-Kode verschlüsselte Meßwerte, die erfahrungsgemäß für die Überwachung der Funktionen an Bord ausreichten.

Eine weitere Neuerung bei den Amateurfunk-Satelliten der zweiten Entwicklungs-Phase waren die „Codestore“-Einrichtungen, die bei AMSAT-OSCAR 6 und 7 zum Einsatz kamen. Hierbei handelte es sich um eine Einheit zur Speicherung von kurzen, die Benutzer interessierenden Nachrichten (Bahndaten, Betriebszeiten der Transponder usw.) Sie wurden von speziellen Stationen zum Satelliten gesendet und von diesem solange selbsttätig wiederholt, bis eine neue Nachricht zur Speicherung gesendet wurde. Die im „Codestore“ enthaltenen Informationen (maximal 816 bis bei AMSAT-OSCAR 6) wurden von den Baken-sendern im Morse-Kode (CW) oder als Funkfern schreiben (RTTY) im Wechsel mit den Telemetriewerten ausgestrahlt.

Bei allen Phase-2-Satelliten wurden magnetische Stabilisierungs-Systeme verwendet. Dabei sorgten beispielsweise Stab-Magneten dafür, daß sich eine Achse des Satelliten stets entlang der Richtung der erdmagnetischen Feldlinien ausrichtete.

Wie schon erwähnt, unterschieden sich AMSAT-OSCAR 6, 7 und 8 von ihren Vorgängern auch durch eine wesentlich vergrößerte aktive Lebensdauer. Sie war mit 3 Jahren projektiert und wurde von AMSAT-OSCAR 6 mit rund 4  $\frac{3}{4}$  Jahren Lebensdauer weit übertroffen. Zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses dieses Heftes (März 1981) waren AMSAT-OSCAR 7 rund 6  $\frac{1}{2}$  Jahre nach dem Start und AMSAT-OSCAR 8 rund 3 Jahre nach dem Start noch in Betrieb.

Von ihrer technischen Konzeption her gesehen, haben auch die beiden von der UdSSR am 26. Oktober 1978 gestarteten Amateurfunk-Satelliten „RS 1“ und „RS 2“ die Merkmale der zweiten Entwicklungs-Phase besessen. Diese Satelliten, die auf Kreisbahnen in rund 1700 km Höhe und mit Bahnneigungen von etwa 82,5 Grad die Erde umrundeten, waren ebenfalls mit 2 m/10 m-Transpondern mit einer Ausgangsleistung von etwa 1,5 Watt ausgerüstet. Die Bake bei 29,4 MHz übermittelte 30 Telemetriegruppen im Morse-Kode (CW). Ausführliche technische Angaben über die RS-Satelliten sind in [4] zu finden. Aus bisher nicht genau bekannten Gründen verstummten die Satelliten jedoch schon einige Monate nach dem Start.

Die Bahnhöhe der im letzten Jahrzehnt gestarteten Amateurfunk-Satelliten hat, wie diese Aufstellung zeigt, maximal 1700 km betragen. Dieser Höhe entsprechend konnten über die Transponder an Bord der Satelliten nur Funkkontakte über höchstens 8 500 km Entfernung hergestellt werden. Aus dem gleichen Grund war der Satellit im günstigsten Fall nur für eine knappe halbe Stunde im Zugriffsbereich der Bodenstationen. Danach mußte der nächste Umlauf für weitere Funkkontakte abgewartet werden.

Bild 7: Der sternförmige Amateurfunk-Satellit aus dem AMSAT-Phase-3-Programm am Instrumententräger (CAT) der Ariane L 02 (Foto: AMSAT-DL / DJ5KQ)

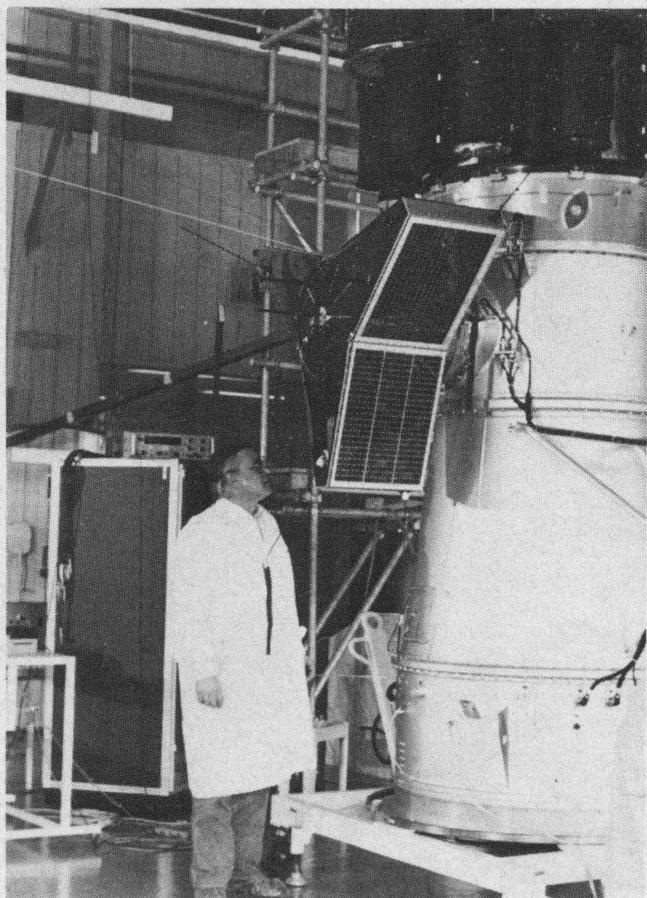
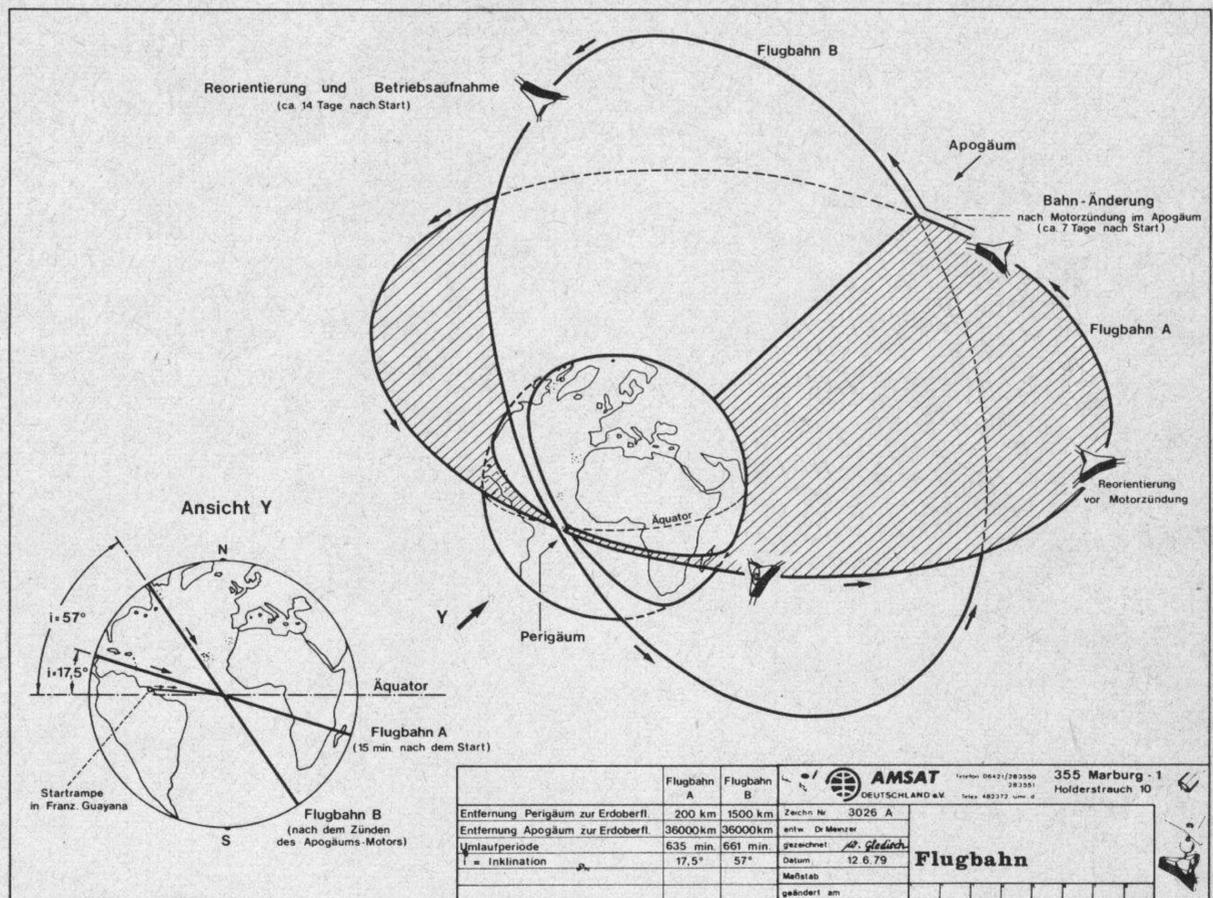


Bild 8: Flugbahnen, die für den ersten Satelliten aus dem AMSAT-Phase-3-Programm vorgesehen waren (Zeichnung: AMSAT-DL/W. Gladisch)



Deshalb schlug Dr. Karl Meinzer, der 1. Vorsitzende von AMSAT-DEUTSCHLAND e.V., schon 1973 vor, einen Amateurfunk-Satelliten auf eine hochelliptische Bahn (Apogäum bei etwa 36 000 km, Umlaufzeit etwa 11 Stunden, ähnlich den Molnya-Nachrichten-Satelliten der UdSSR) zu bringen.

Damit sollte die Entwicklung der Amateurfunk-Satelliten in eine neue, die dritte Phase übergeleitet werden. Deren Kennzeichen: Lange aktive Lebensdauer und Bahnen, die stundenlange Funkkontakte über Entfernungen bis zu 18 000 km ermöglichen.

Ein solcher Satellit, der einmal AMSAT-OSCAR 9 heißen sollte, wurde von AMSAT-DEUTSCHLAND entwickelt und zusammen mit AMSAT-USA gebaut (Abb. 7). Er sollte mit der ARIANE L 02 am 23. Mai 1980 zunächst auf eine fast äquatoriale Transferbahn (Abb. 8, Flugbahn A) gebracht werden und dann mit Hilfe eines eigenen Zusatztriebwerks auf eine zweckentsprechende Bahn (Abb. 8, Flugbahn B) umgelenkt werden. Einzelheiten über dieses Projekt, das auch in technologischer Hinsicht einen Durchbruch bedeutet hätte [5], können der Artikel-Folge in [6] entnommen werden.

Wie schon in dieser Zeitschrift berichtet wurde [7], ist der Start der ARIANE L 02 mißglückt und damit wurde auch der erste, für die Phase-3-Reihe gebaute Amateurfunk-Satellit vernichtet. Die AMSAT beabsichtigt nun, einen Nachfolge-Satelliten gleicher Konzeption im Frühjahr 1982 auf eine ähnliche Umlaufbahn zu bringen. Dann werden weltweite Funkverbindungen, die bisher nur im Kurzwellenbereich abgewickelt werden konnten, auch für den UKW-Amateur möglich.

## Literatur:

- [1] „Vollzugsordnungen für den Funkdienst“, Genf 1959, Deutsche Übersetzung herausgegeben vom Bundesministerium für das Post- und Fernmeldewesen.
- [2] „Deutsche Polarlichtbeobachtungen 1957–1962“, von Dr. Günther Lange-Hesse, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1963.
- [3] „RF-Informationen“, Heft 11/1974, Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH. (Vergriffen, Ansichtsexemplare beim AMSAT-DL-Informationssdienst erhältlich)
- [4] „Die RS-Amateurfunk-Satelliten der UdSSR“, von Alexander Schoening, „cq-DL“ 2/1979, Seiten 59/61.
- [5] „Die digitale Nachrichtentechnik der AMSAT-Phase-III-Satelliten“, von Dr. Karl Meinzer, „cq-DL“, Heft 10/1978, Seiten 447/453.
- [6] „AMSAT-Phase-3-Countdown“, von Alexander Schoening, 5 Folgen in „cq-DL“, Hefte 1/1980 bis 5/1980.
- [7] „ARIANE L 02, Explosion und Absturz nach 108 Sekunden“, von Werner Büdeler, „Luft- und Raumfahrt“, Heft 2/1980, Seiten 56/57.

## Kontaktadressen:

Amateurfunk allgemein:

Deutscher Amateur-Radio-Club e.V., Postfach 1 155, D-3507 Baunatal 1, Telefon: 05 61/49 20 04

Amateur-Satellitenfunk:

AMSAT-DEUTSCHLAND-Informationssdienst, Alexander Schoening, Ludolfinger Weg 50/52, D-1000 Berlin 28, Telefon: 0 30/4 01 44 11.