Zeitschrift: Burgdorfer Jahrbuch

Herausgeber: Verein Burgdorfer Jahrbuch

Band: 41 (1974)

Artikel: Die Wettersatelliten-Empfangsstation am Kantonalen Technikum Burgdorf

Autor: Menzi, Hans-Ueli

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1076067

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

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

Die Wettersatelliten-Empfangsstation am Kantonalen Technikum Burgdorf

Hans-Ueli Menzi

Vorbemerkung

Schon mancher Burgdorfer mag sich gefragt haben, was es mit der seltsamen spiralförmigen Antenne, die seit 1969 auf dem alten Hauptgebäude steht (Abb. 1), für eine Bewandtnis hat. Nun: die Elektroabteilung des Kantonalen Technikums verfügt über eine Experimentalstation für den Empfang von Wettersatellitensignalen. Die Helixantenne ist das erste Glied in einer Kette von technischen Einrichtungen, welche Bilder wie diejenigen in den Abb. 6–9 erzeugen. Solche Aufnahmen sind ein neuartiges Hilfsmittel für die Arbeit des heutigen Meteorologen.

Die Station am Technikum hat natürlich nicht kommerziellen Charakter, sondern dient zur Ausbildung künftiger Nachrichteningenieure. So sind denn auch im Verlaufe der Jahre die verschiedenen Geräte, die es zum Empfang braucht, von Diplomandengruppen entwickelt und konstruiert worden. Das ganze Gebiet ist derart komplex, daß immer wieder neue Teilaufgaben gestellt werden können. So wird sich noch auf Jahre hinaus Gelegenheit bieten, jeweils während der Diplomausstellung im März die auf den neusten Ausbaustand gebrachte Anlage im Betrieb zu besichtigen.

Die eingangs erwähnte Spezialantenne ist, im Gegensatz zu den meisten andern Einrichtungen, keine Eigenentwicklung. Sie wurde dem Technikum von der Radio Schweiz AG geschenkt und dann für den vorgesehenen Einsatz umgebaut. Es war von Anfang an klar, daß die sperrige Helix nicht durch das Gebäude aufs Dach gebracht werden konnte. Ein Gerüst zu errichten, wäre sehr teuer gekommen. Da der Burgdorfer Wehrdienst damals noch über keine große Drehleiter verfügte, entschloß man sich, der Heliswiss den Auftrag zu geben, die Antenne auf die Arbeitsplattform zu fliegen (Abb. 2).

Im folgenden soll nun versucht werden, die Wirkungsweise von Wettersatelliten und der Empfangsstation am Kantonalen Technikum zu beschreiben. Der mit der Materie nicht vertraute Leser hat dabei gedanklich zwei Hürden zu bewältigen: eine erste umfaßt die raumfahrttechnischen Belange, eine

zweite die Elektronik. Beide Hürden sollten jedoch nicht unüberwindbar sein, wird doch einerseits das Verhalten der Satelliten im Raum anhand von anschaulichen Figuren und ausführlich beschriebenen Beispielen dargestellt, und andrerseits dürfte der tägliche Umgang mit Radio und Television dem Leser helfen, die beschriebenen elektronischen Schaltungen wenigstens ein Stück weit zu verstehen. In einem Anhang sind zudem einige Fachausdrücke definiert.

Einleitung

Am 1. April 1960 startete die NASA – die amerikanische Weltraumbehörde – den ersten Wettersatelliten. Sein Name, TIROS I, gebildet aus den Anfangsbuchstaben «Television and Infra-Red Observation Satellite», deutet seinen Zweck an: Es handelt sich um einen Raumflugkörper mit der Aufgabe, Televisions- und Infrarotbilder der Erdoberfläche herzustellen und diese auf

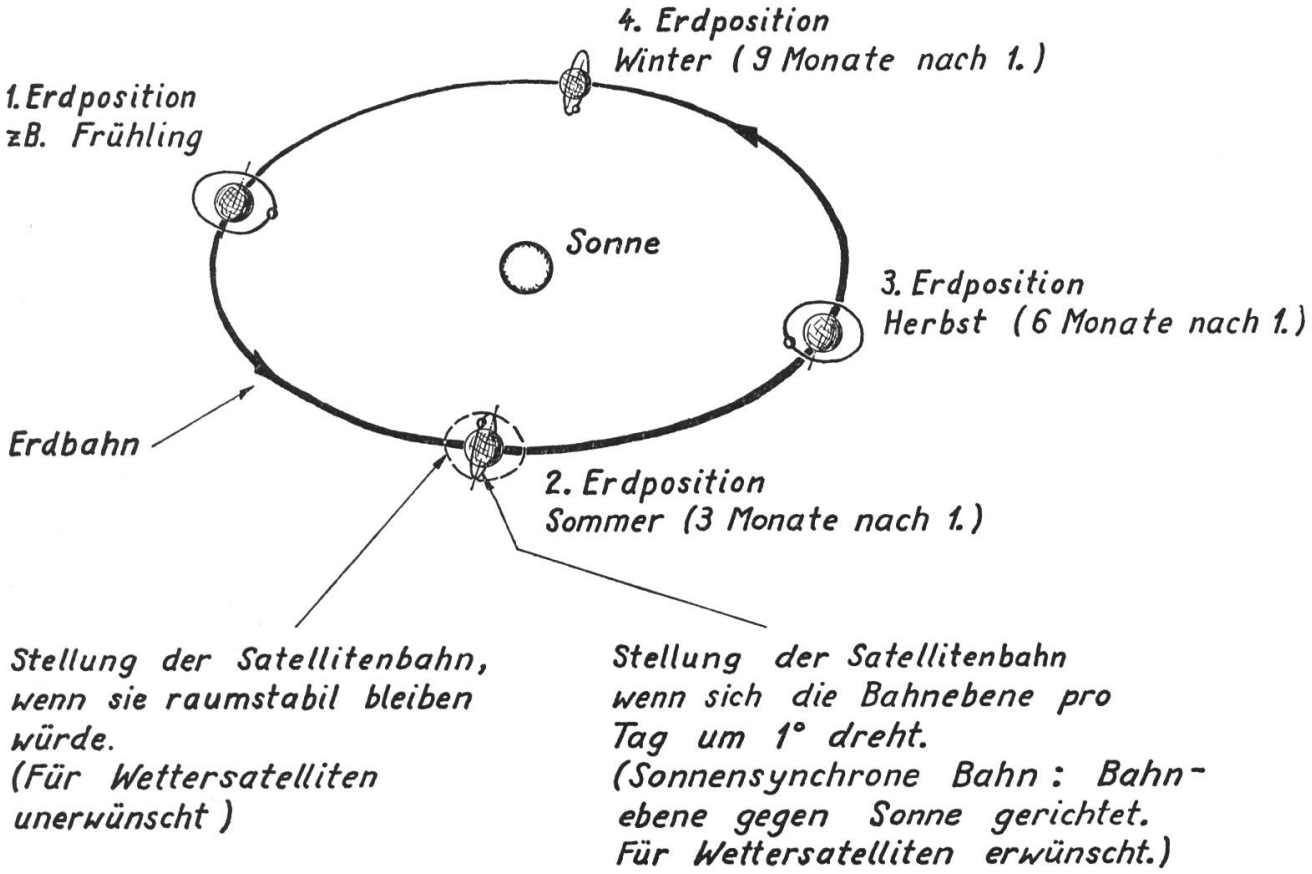

Fig. 1 *Die Bahn der Erde um die Sonne.* Es sind 2 Arten von Satellitenbahnen eingezeichnet: sonnensynchrone sind ausgezogen, raumstabile dagegen gestrichelt.

Abruf an Bodenstationen weiterzuleiten. Mit TIROS I, dessen erfolgreiche Bildübermittlungen weltweite Beachtung fanden, wurde die Brauchbarkeit des Systems bewiesen. Später in Umlauf gebrachte Satelliten der TIROS-Serie nützten die Erfahrungen ihrer Vorgänger geschickt aus, und so entstand im Verlaufe weniger Jahre ein vorzügliches Hilfsmittel für die globale Wetterbeobachtung.
Alle TIROS-Satelliten bis und mit Nr. 7 sandten ihre Informationen nur auf Abruf an speziell eingerichtete Bodenstationen in den USA aus, die dann ihrerseits das Bildmaterial an interessierte Stellen weiterleiteten. Dadurch entstanden zum Teil erhebliche Zeitverzögerungen – für Europa zum Beispiel bis zu 8 Stunden. In TIROS 8 (Start am 21.12.1963) jedoch wurde erstmalig ein weltweit zugängliches Verfahren praktisch ausprobiert, das unter dem Namen APT – automatic picture transmission – bekannt ist, und bei welchem jeder Beobachtungsposten, der mit einer relativ einfachen Empfangsanlage ausgerüstet ist, sofort Wetterbilder ohne Zeitverzug aufzeichnen kann, wenn der Satellit sich gerade im Sichtbereich der Bodenstation befindet.
Im vorliegenden Artikel wird ein Teil des heutigen Wettersatellitensystems aufgrund der Erkenntnisse und Erfahrungen, die bei der Entwicklung der Station in Burgdorf gewonnen wurden, erläutert. Die Satelliten, die für die Uebertragungsversuche zur Verfügung standen (und zum Teil noch stehen), heißen ESSA, ITOS und NOAA.

Umlaufbahn, Aufbau und Arbeitsweise der Satelliten

Ein Satellit kann nur dann die Erdoberfläche, die er überfliegt, photographieren, wenn diese von der Sonne beleuchtet ist. Diese Forderung bedingt, daß der Wettersatellit eine sogenannte sonnensynchrone Bahn beschreibt, worunter man eine Bahn versteht, deren Ebene stets auf die Sonne zu gerichtet ist, wie Fig. 1 zeigt. Wenn die Erde ideale Kugelgestalt hätte, würde die Bahnebene, in welcher der Satellit kreist, raumstabil sein, das heißt, sie würde die Lage, die sie beim Abschuß des Satelliten einnimmt, dauernd behalten. Hätte sie also zum Beispiel die in Fig. 1 für die Erdposition 1 (Frühling) gezeichnete Lage, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Bahnebene, wie für Wettersatelliten erwünscht, zur Sonne zeigt, so würde drei Monate später, im Sommer, die Bahnebene senkrecht auf der Verbindungsgeraden Erde-Sonne stehen, und der Satellit wäre nicht mehr in der Lage, vollbeleuchtete Gegenden der Erde zu photographieren.
Glücklicherweise wirken aber infolge der nicht idealen Kugelgestalt der Erde

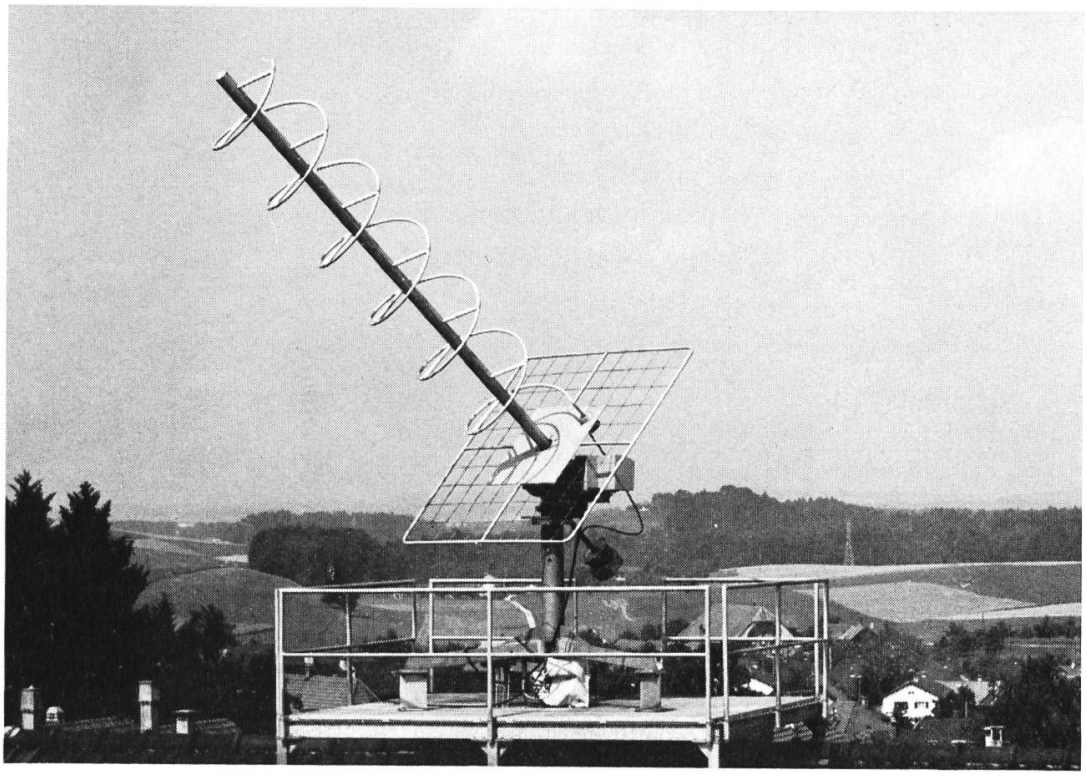

Abb. 1 Die Spiralantenne

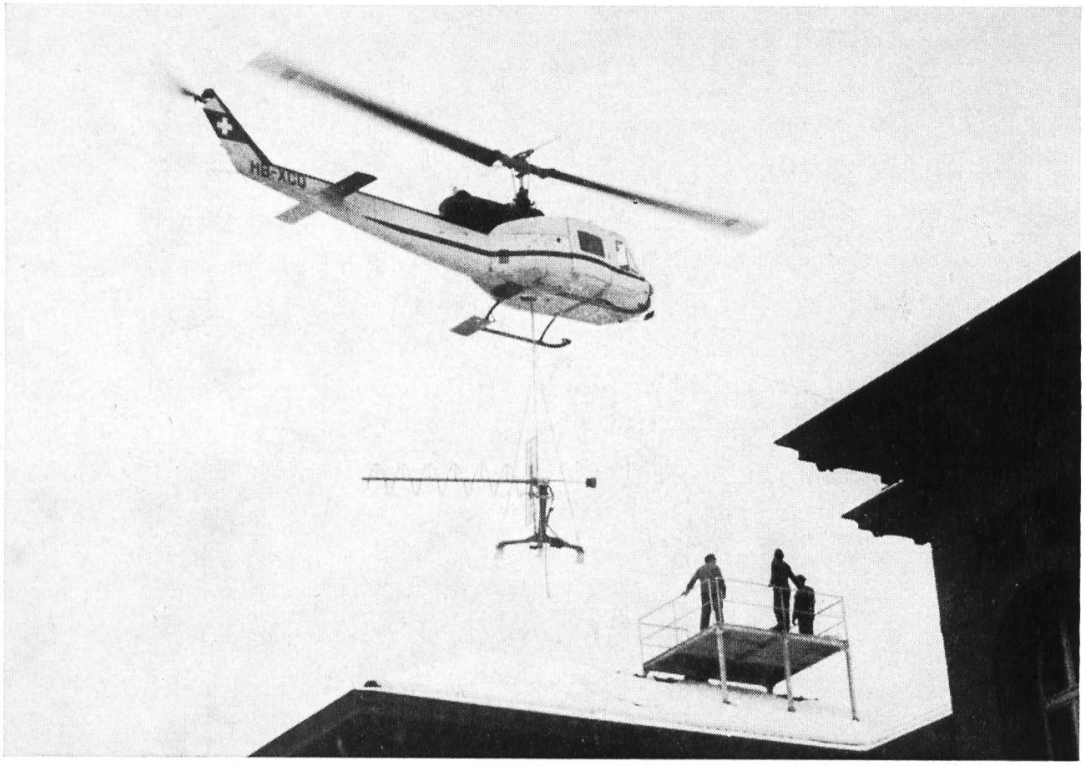

Abb. 2 Die Antenne wird auf das Podest geflogen

Abb. 3 Der Empfänger

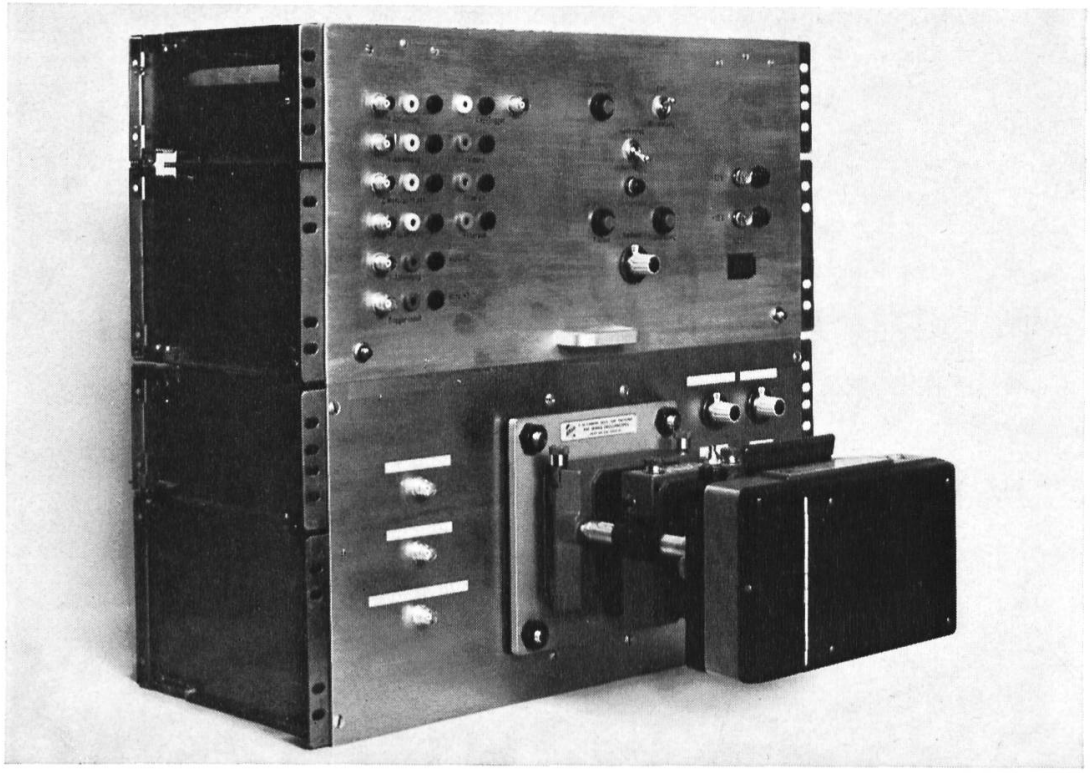

Abb. 4 Die Bildreproduktionseinheit

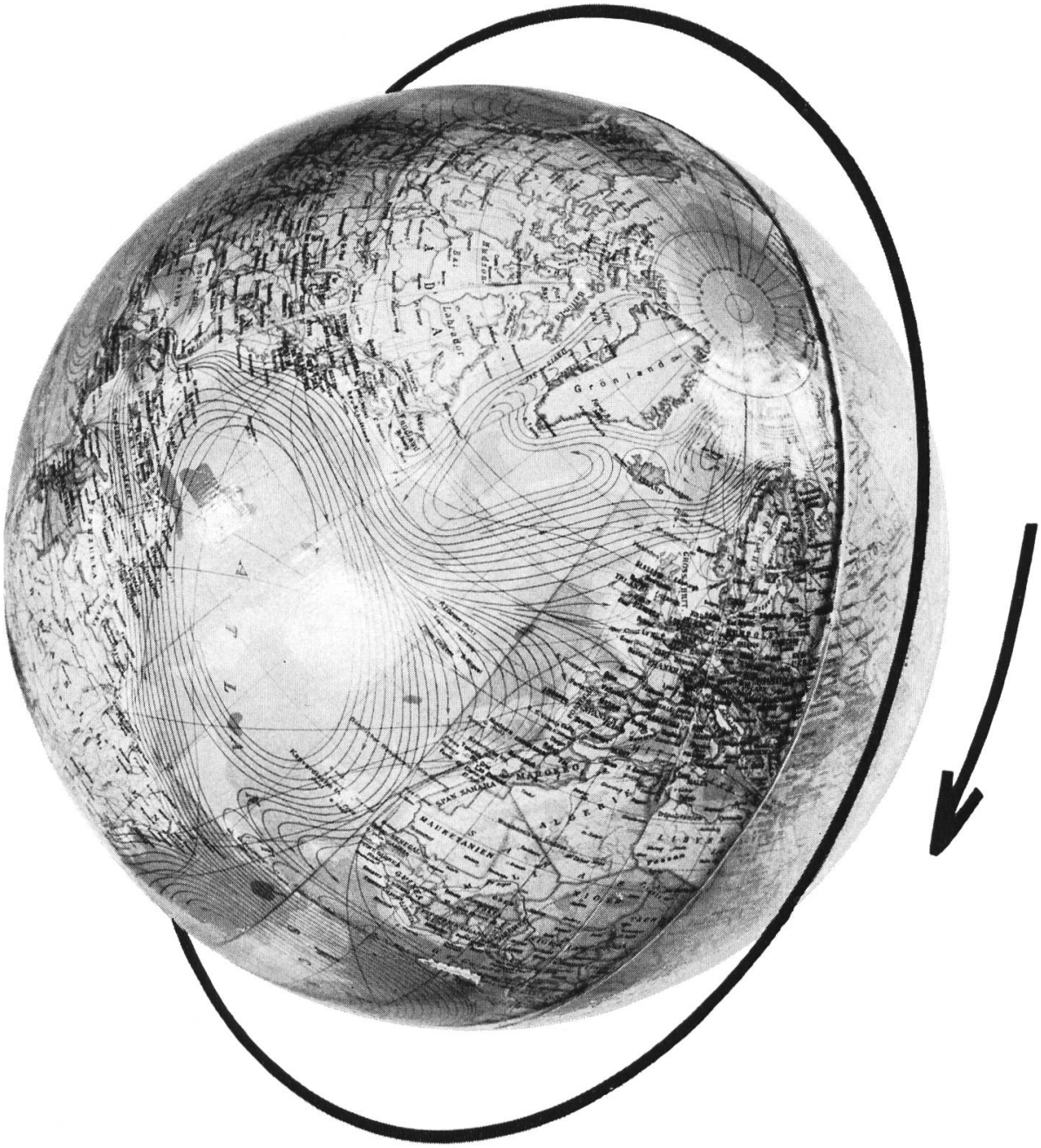

Abb. 5 Ein Globus mit Subsatellitenbahn und Schablone zur Bestimmung des Bildausschnitts

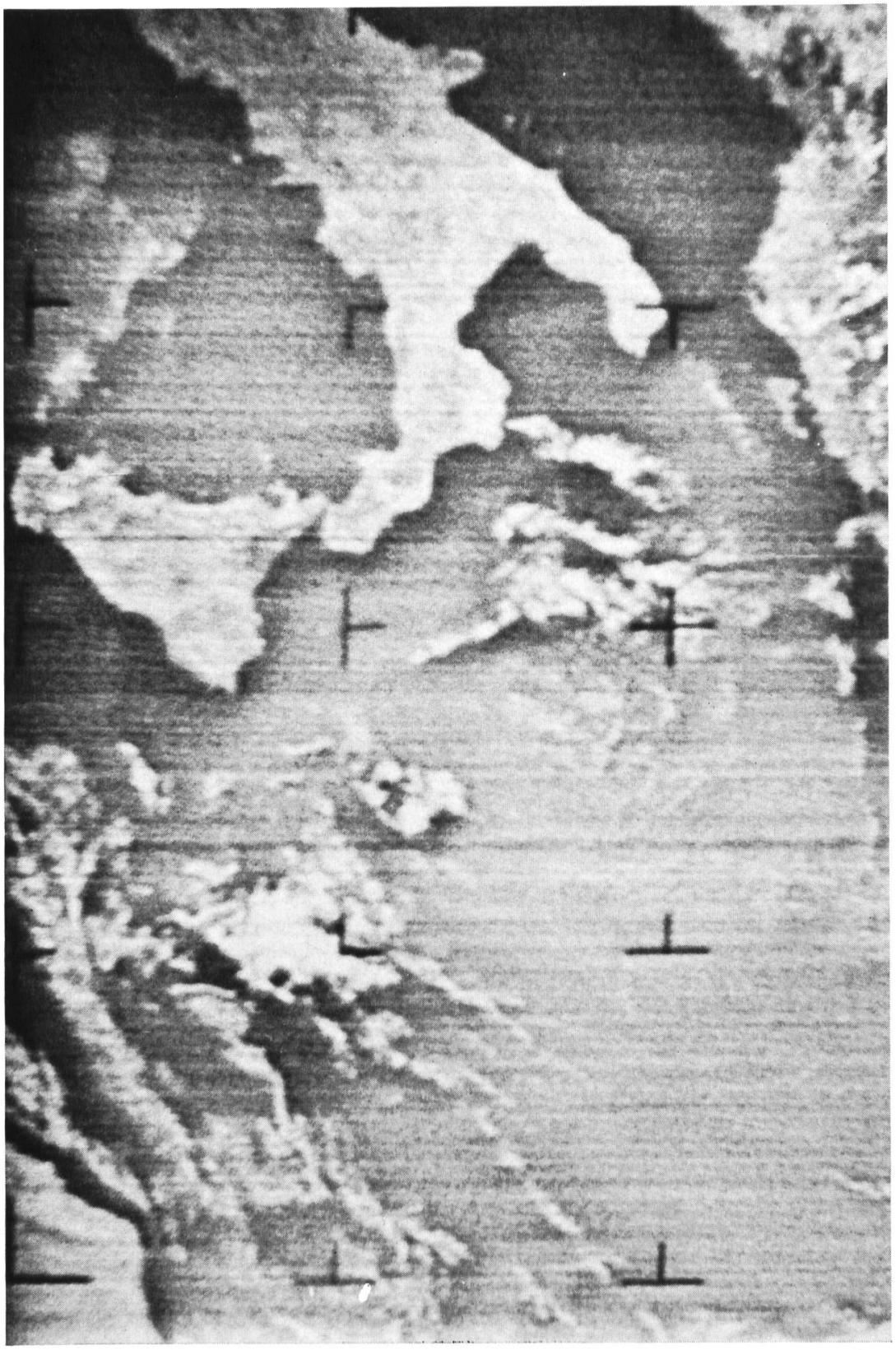

Abb. 6 NIMBUS I, Orbit 74

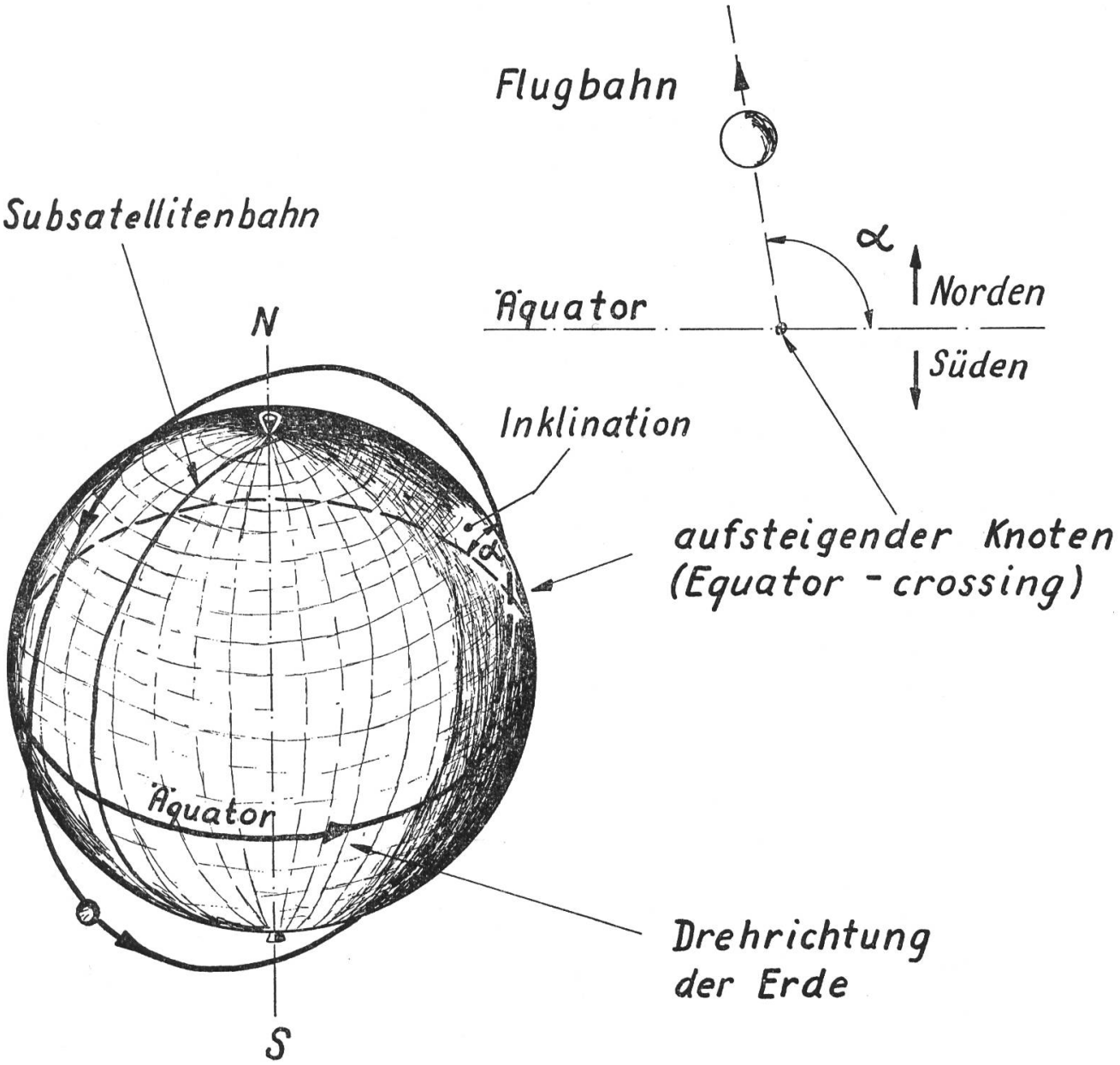

Fig. 2 *Erde und Satellitenbahn* (siehe auch Abb. 5). Die Ebene, in welcher die Satellitenbahn liegt, bildet mit dem Aequator den Winkel Alpha, genannt die Bahnneigung oder die Inklination. Dieser Winkel wird im aufsteigenden Knoten (oder Aequatorkreuzungspunkt) gemessen, dort wo der Satellit, von Süden nach Norden fliegend, den Aequator überquert. Die Satellitenbahnebene, die durch den Erdmittelpunkt geht, schneidet die Erde in der Subsatellitenbahn. (Jede Bahn eines Satelliten — ob Wettersatellit oder irgend einer der unzähligen anderen Satelliten, ob bemannt oder unbemannt, ob mit kreisförmiger oder elliptischer Bahnkurve — liegt in einer Ebene, die stets durch den Erdmittelpunkt geht.) Für einen Beobachter auf der Subsatellitenbahn steht der Satellit im Zenit, wenn die Verbindungslinie Erdmittelpunkt-Beobachter durch den Satelliten geht. Der Erddrehung wegen verschieben sich aufeinanderfolgende aufsteigende Knoten, für ESSA-Satelliten um rund 29 0, siehe auch Fig. 3.

Kräfte auf den Satelliten ein, die dessen Bahnebene verdrehen. Aus unzähligen Messungen mit geodätischen Satelliten kennt man heute die wirkliche Gestalt der Erde so genau, daß man die auf den Satelliten einwirkenden Störkräfte und die daraus resultierenden Wirkungen auf die Flugbahn berechnen kann. Daher weiß man auch, welche Daten einer Satellitenbahn zuzuordnen sind, damit sich diese sonnensynchron verhält. Wählt man zum Beispiel für einen ESSA-Satelliten eine kreisförmige Bahn in einer Höhe von 1450 km, dann muß die Inklination – das heißt der Winkel der Bahnebene zum Aequator (Fig. 2) – auf 102 ° eingestellt werden. Mit diesen beiden gewählten Parametern – Höhe und Inklination – ist eine gewünschte tägliche Bahndrehung von 1 ° verknüpft. Das ist aber gleichbedeutend mit einer jährlichen Drehung um 360 °; die Bahnebene bleibt stets zur Sonne gerichtet, wie Fig. 1 zeigt.

Der Wert der Inklination von 102 ° ist sehr günstig, weil die Bahnebene nahezu durch die beiden Erdpole geht. Man bezeichnet eine solche Bahn als polnah; sie wurde im Wettersatellitenprogramm erstmals mit NIMBUS I – abgeschossen am 28.8.1964 – verwirklicht. Nur Satelliten mit polnahen Bahnen können das Wettergeschehen über dem gesamten Globus erfassen.

Das Einschießen und Verharren in einer sonnensynchronen Bahn ist natürlich nicht absolut zwingend. Ungenaue Plazierung und sekundäre Störkräfte können mit der Zeit Abweichungen vom gewünschten sonnensynchronen Verhalten mit sich bringen. Trotzdem zeigt die Praxis eine genügende Annäherung an das ideale Verhalten der Satellitenbahn während der Lebensdauer des Flugkörpers, die auf nur wenige Jahre veranschlagt wird.

Als Beispiel sei der «langlebige» Satellit ESSA 8 erwähnt, der seit dem 15. Dezember 1968 bis heute (Sommer 1973) mehr als 20 000 mal die Erde umkreist und dabei weit mehr als eine halbe Million Photos zur Erde gefunkt hat. Eine Aufstellung einiger ausgewählter Zenitalbahnen für Burgdorf zeigt die große Bahnstabilität in bezug auf das sonnensynchrone Verhalten, liegen doch die aufgeführten Zeiten für das Ueberfliegen des Zenits innerhalb von nur 38 Minuten für einen Zeitraum von 3⅓ Jahren! (Leider fehlen Informationen für das Jahr 1969, doch sind gerade für die Zeit nach dem Start ähnlich stabile Verhältnisse zu erwarten.)

Datum	Orbitnummer	Zeitpunkt, in dem der Satellit den Zenit von Burgdorf überflog
2. März 1970	5 545	10 Uhr 44 Minuten
11. Juni 1970	6 815	10 Uhr 48 Minuten

8. Oktober 1970	8 309	10 Uhr 55 Minuten
26. Januar 1971	9 690	11 Uhr 00 Minuten
3. März 1971	10 142	11 Uhr 06 Minuten
3. Juni 1971	11 295	11 Uhr 07 Minuten
2. Oktober 1972	17 411	11 Uhr 21 Minuten
26. März 1973	19 608	11 Uhr 23 Minuten
8. Juni 1973	20 535	11 Uhr 22 Minuten

Mit der Höhe von 1450 km ist die Umlaufzeit von 114,7 Minuten verknüpft. Wenn der Satellit für einen Umlauf 114,7 Minuten benötigt, so umkreist er die Erde 12,55 mal pro Tag, oder anders ausgedrückt, der Satellit muß in seiner für einen Tag praktisch raumstabilen Bahn 12,55 mal umlaufen, damit sich die Erde unter dieser Bahn einmal um sich selber dreht.

Jeder Beobachtungsort darf nun, wie Fig. 3 * zeigt, pro Tag drei, gelegentlich auch vier auswertbare Umläufe erwarten: Auf einer ersten Passage fliegt der Satellit, von Norden kommend, östlich am Beobachter vorbei gegen Süden, dann, fast zwei Stunden später, überfliegt er nahezu den Zenit, und wieder zwei Stunden danach passiert er die Empfangsstation westlich. Für jeden Umlauf steht der Satellit bis zu ungefähr 20 Minuten im Sichtbereich der Bodenstation – kürzer für östliche und westliche Passagen, länger für Zenitalbahnen – und sendet dabei ein bis vier Bilder zum Empfänger. Im ganzen können daher für eine gegebene Bodenanlage bis zu einem Dutzend Wetterbilder pro Tag empfangen, ausgewertet und dem örtlichen Wetterdienst zur Verfügung gestellt werden. Fig. 3 zeigt anhand einer modifizierten Mercatorkarte (mit der gestrichelt-gekreuzten Umrandung), in welchem Landausschnitt von der Schweiz aus Bilder zu erwarten sind.

Selbstverständlich überfliegt der Satellit auch nachts den Sichtbereich von Burgdorf, nämlich dann, wenn er Mittagszonen im Pazifik photographiert. Er steigt dann bei uns im Süden über den Horizont und verschwindet im Norden; aufsteigende Knoten liegen jetzt am Aequator im Bereich von Längengraden, die auch durch unsere Regionen gehen. Solche Passagen kann man ebenfalls mit Hilfe der Fig. 3 aufsuchen, wobei jetzt der gestrichelte Teil des Orbits gültig ist und unseren Sichtbereich schneidet. Die Satelliten sind, während sie Nachtpartien überfliegen, nicht etwa untätig, sie stellen vielmehr Infrarotbilder der Erdoberfläche her, die jedoch am Technikum vorläufig noch nicht ausgewertet werden.

* Die Ausführungen in der Legende zur Fig. 3 dienen zur Erläuterung der Berechnungen im Abschnitt «Die Bodenstation»; sie interessieren hier noch nicht.

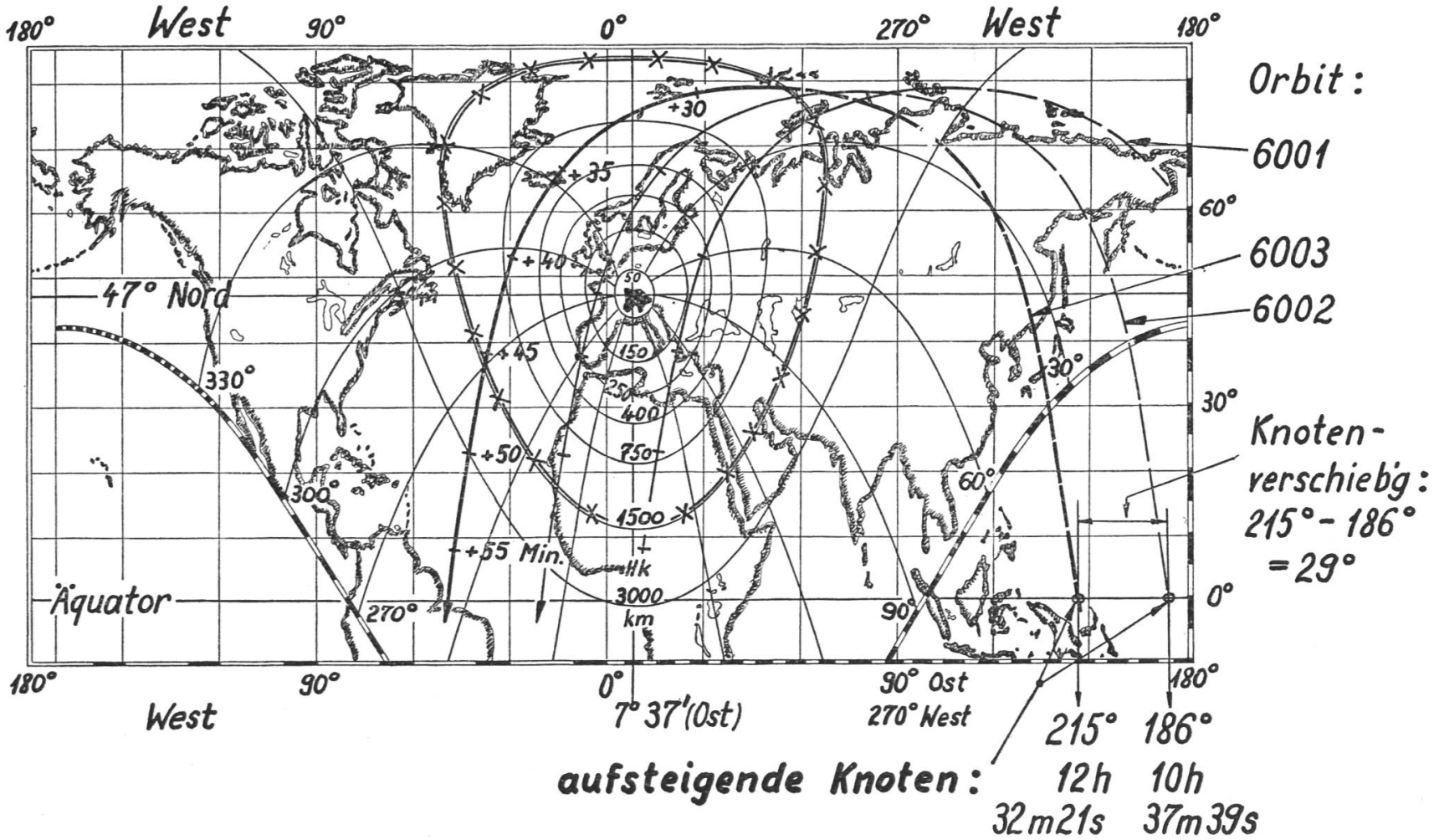
180°
West
90°
0°
270°
West
180°
Orbit:
6001
6003
6002
60°
30°
0°
47° Nord
330°
300°
270°
90°
+30
+35
+40
+45
+50
+55 Min.
50
150
250
400
750
1500
Hk
3000
km
-30°
60°
Äquator
180°
West
90°
0°
7° 37'(Ost)
90° Ost
270° West
180°
Knoten-
verschiebg:
215° - 186°
= 29°
aufsteigende Knoten:
215°
12h
32m21s
186°
10h
37m39s

Fig. 3 Drei Subsatellitenbahnen auf der nördlichen Erdkugel

Für die graphische Berechnung der beiden Einstellwinkel für die Antenne, nämlich das Azimut (Winkel in der Horizontalebene zwischen Norden und Richtung zum Satelliten, über Ost-Süd-West gezählt) und die Elevation (Winkel in der Vertikalebene zwischen Horizont und Richtung zum Satelliten), ist eine modifizierte Mercatorkarte zweckmäßig, die sich durch gerade Längen- und Breitengradlinien und lineare Gradmaßstäbe kennzeichnet. Die in der Figur abgebildete Karte zeigt den nördlichen Teil der Erde. Die für die Winkelbestimmungen nötigen Hilfskurven — eierförmige Kurven um das Zentrum herum und die von diesem wegstrebenden Strahlen — gelten für Burgdorf. (Theoretisch muß also jeder Beobachter eine eigene Karte zeichnen, praktisch jedoch genügt die vorliegende Ausgabe für weite Teil der Schweiz.) Der Sicht-, respektive Empfangsbereich einer Bodenstation in Burgdorf für eine Satellitenbahnhöhe von 1450 km ist durch die gestrichelt-gekreuzte Kurve markiert.

Zum Aufzeichnen einer Subsatellitenbahnkurve (Fig. 2) in die Mercatorkarte veröffentlicht die NASA Daten eines für den betreffenden Satelliten gültigen Referenzorbits. Dieser wird vom Beobachter vorerst auf Transparentpapier gezeichnet, wobei natürlich der Maßstab der vorhandenen Mercatorkarte zu berücksichtigen ist. (Das Papier enthält nur eine Kurve in der Form der in der Figur gezeichneten Orbits — z. B. 6003 — und eine den Aequator repräsentierende horizontale Linie.) Der einmal auf das Transparent gezeichnete Referenzorbit kann praktisch während der ganzen «Lebensdauer» des betreffenden Satelliten gebraucht werden, wenn dieser, was hier zutrifft, auf einer kreisförmigen Bahn rotiert.

Wenn nun in einem konkreten Fall eine Subsatellitenbahn zu zeichnen ist, so legt man das Transparent auf die Karte, und zwar so, daß die Aequatorlinien sich decken und der Anfang des Referenzorbits mit der Länge des aufsteigenden Knotens, die bekannt sein muß, übereinstimmt. Diese betrage zum Beispiel, wie die NASA mitteilt, für den Orbit 6002 des Satelliten ESSA am 7. Januar 1969 186 ⁰ West = 174 ⁰ Ost, sie ist, zusammen mit der Zeit 10 Uhr 37 Min. 39 Sek., zu der dieses Ereignis stattfand, in der Figur rechts unten auf dem Aequator eingetragen. Vom Transparent wird jetzt die Subsatellitenbahn durchgepaust, wie die Kurve mit der Orbitnummer 6002 zeigt. Die Kurve ist für die Flugrichtung Nord-Süd ausgezogen, für die Flugrichtung Süd-Nord jedoch, für welche der Satellit Nachtzonen durchfliegt, gestrichelt.

Das Einzeichnen weiterer Umläufe in die Mercatorkarte ist, wenn einmal der Referenzorbit auf dem Transparent zur Verfügung steht, sehr einfach: Aufeinanderfolgende Umläufe können durch horizontale Parallelverschiebung des Referenzorbits erhalten werden, wobei das Maß dieser Parallelverschiebung, gemessen am Aequator, gleich der Knotenverschiebung ist, wie die Figur mit Orbit 6003 deutlich zeigt. (Die Knotenverschiebung, welche die NASA mitteilt, gibt an, um wieviel Grad sich die Erde während eines Umlaufs dreht; sie beträgt hier rund 29 ⁰.).

Weil die NASA auch die Umlaufzeit eines Satelliten meldet — sie umfaßt hier die Zeitdauer von 114 Min. und 42 Sek. —, ist die Zeit der Aequatorkreuzung für den Orbit 6003 leicht zu berechnen: 10 Uhr 37 Min. 39 Sek. (Aequatorkreuzung für Orbit 6002) plus 114 Min. 42 Sek. gleich 12 Uhr 32 Min. 21 Sek.

Nach Angaben der NASA kann man auf dem Referenzorbit Zeitmarken eintragen, die die Zeitdifferenz angeben zwischen dem Zeitpunkt des aufsteigenden Knotens und der Zeit, zu der der Satellit einen bestimmten Ort überfliegt. Diese Zeitmarken sind für den Orbit 6003 mit Minutenzahlen eingezeichnet, die beiden anderen enthalten nur die Markierungsstriche. Wenn man weiß, daß der ESSA-Satellit im Orbit 6003 den Aequator, von Süden nach Norden fliegend, um 12 Uhr 32 Min. und 21 Sek. kreuzt, dann überfliegt er beispielsweise 36 Min. später, das heißt um 13 Uhr 8 Min. 21 Sek. die Insel Island. Der gesuchte Azimutwinkel, auf den für den genannten Zeitpunkt die Antenne einzustellen ist, kann nun an der fetten, strichpunktierten Linie links unten mit ca. 330 ⁰ abgelesen werden. Für die Bestimmung

des Antennen-Elevationswinkels wird eine hier nicht abgebildete zusätzliche Graphik benötigt, in die der Hk-Wert von rund 500 km aus der Mercatorkarte einzusetzen ist; man liest damit aus der Zusatzgraphik eine Elevation von rund 17 ⁰ ab. (Siehe zum Vergleich auch Fig. 6, die das gleiche Beispiel, jedoch mit dem Computer gerechnet, enthält.)
Der Leser wird jetzt selber folgende Fragen beantworten können:
a) Wann überfliegt der Satellit, von Norden nach Süden fliegend, im Orbit 6002 die Breite 47 ⁰ Nord? (Um ca. 11 Uhr 20 Min.) Auf welchen Azimutwinkel ist die Antenne einzustellen? (Knapp 280 ⁰.) Mit dem Hk-Wert 70 km folgt aus der hier nicht wiedergegebenen Zusatzgrafik ein Elevationswinkel von rund 50 ⁰.
b) Wie a, jedoch für Orbit 6001? (09 Uhr 25 Min., Azimut 82 ⁰, Elevation 40 ⁰.)
Die in der Praxis für die Winkelbestimmung zur Verfügung stehenden Mercatorkarten sind natürlich größer und detailreicher als die hier abgebildete, mit der ja nur das Prinzip erklärt werden soll. Weiter sind auf den Referenzorbits alle 2 Minuten Zeitmarkierungen eingetragen, womit sich die Minutenposition leicht interpolieren läßt.
Die Berechnungen mit dem Computer fallen naturgemäß genauer aus als diejenigen mit der Graphik. So findet man mit den in der Fig. 6 verwendeten Rechnungswerten folgende genauere Lösungen zu den Fragen a und b:
a) 11 Uhr 19 Min. 35 Sek., Azimut 274 ⁰, Elevation 53 ⁰ und zusätzlich die geographische Länge des Subsatellitenpunktes 3,6 ⁰ West (Golf von Biskaya, westlich Nantes).
b) 09 Uhr 24 Min. 53 Sek., Azimut 83,5 ⁰, Elevation 38,3 ⁰, geographische Länge des Subsatellitenpunktes 25,2 ⁰ Ost (Karpaten).

Wie Fig. 4 zeigt, haben Wettersatelliten der ESSA-Serie ein radförmiges Aussehen. Das Rad, auf dessen Umfang Sonnenzellen zur Stromerzeugung montiert sind, rotiert mit 8–12 Umdrehungen pro Minute um eine Drehachse, die senkrecht zur Bahnebene steht (Spinstabilisierung). Auf dem Radumfang sind zwei Kameras montiert. Auf der Radoberfläche sind ferner Infrarotsensoren angebracht, die die Erdoberfläche abtasten und dabei feststellen, wann eine Kamera senkrecht zur Erde zeigt. Ist dies der Fall, so wird der Kameraauslösemechanismus entriegelt. Eine Aufnahme kann allerdings nur dann geschossen werden, wenn das vorherige Bild übertragen worden ist. Die im Satelliten eingebaute Elektronik besorgt die Auslösung der richtig positionierten Kamera.
Die Belichtungsdauer beträgt 40 ms ($^1/_{25}$ Sek.); das Bild wird auf eine lichtempfindliche Schicht von lediglich 1,1 x 1,1 cm² Fläche in einem speziell entwickelten Vidikon (eine Kameraröhre für Television) projiziert und dort als elektrisches Ladungsbild gespeichert. Alsdann tastet ein Elektronenstrahl das im Vidikon gespeicherte Ladungsbild in 200 Sekunden vollständig Zeile um Zeile ab. Die Helligkeitswerte werden in entsprechende Spannungswerte verwandelt. Es entsteht das Bild- oder Videosignal. (Nach der vollständigen Abtastung ist das Ladungsbild gelöscht und das Vidikon ist zur Aufnahme des nächsten Bildes bereit.) Die langsame Abtastung des ganzen Bildes in 200 Sekunden, der eine ebenso lange Uebertragungszeit entspricht, ist typisch für

das APT-System. Der Elektronenstrahl tastet pro Sekunde vier Zeilen ab, das APT-Bild besteht demnach, weil die gesamte Abtastzeit 200 Sekunden beträgt, aus 4x200=800 Zeilen. Als Vergleich sei erwähnt, daß die europäische Television mit 625 Zeilen pro Bild arbeitet. Das ergibt, weil in der

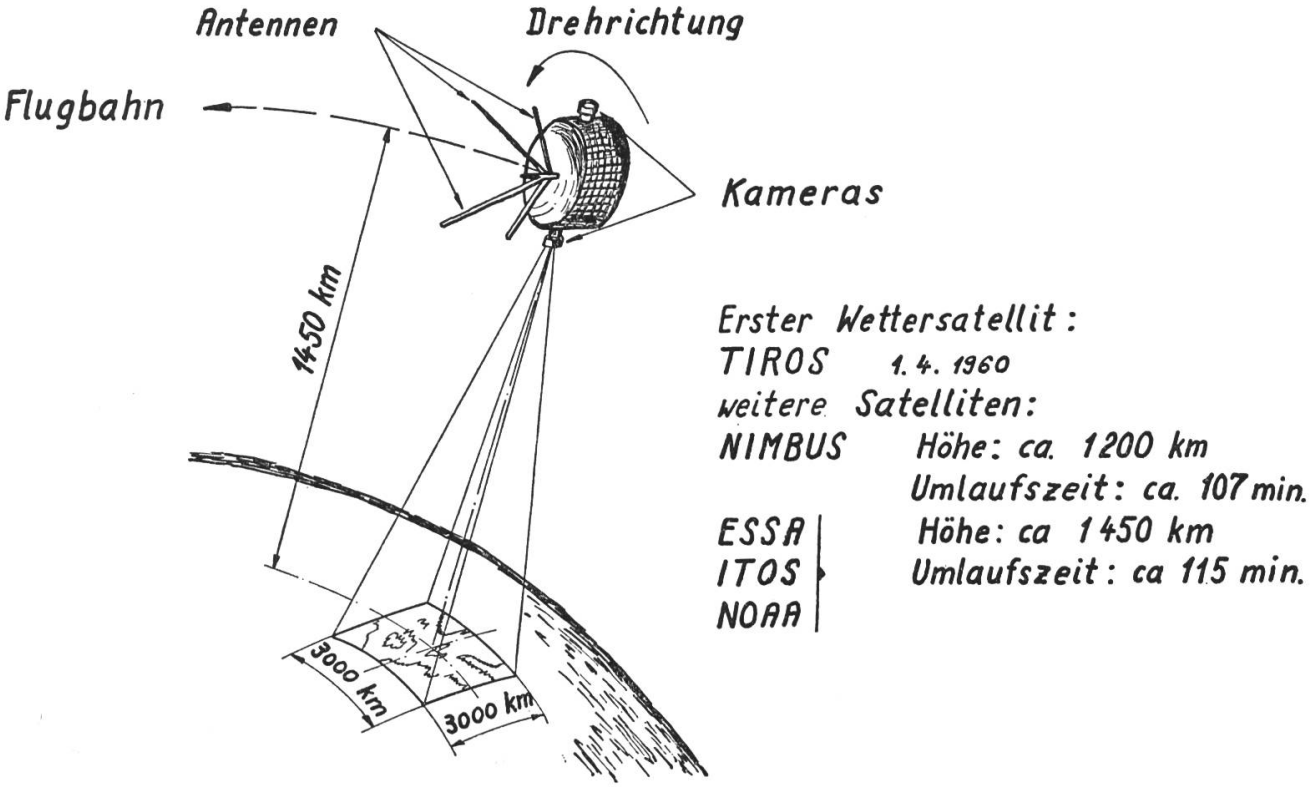

Fig. 4 *Wettersatellit ESSA.* Die nach unten gerichtete Kamera «sieht» die Erde unter einem Winkel $\pm 45^0$ und erfaßt in einer Höhe von 1450 km ein Quadrat von 3000 km Kantenlänge. Das Gewicht des Satelliten beträgt knapp 150 kg.

Sekunde 25 Bilder übertragen werden, eine Zeilenfrequenz von 15 625 Hz (Hertz, Anzahl Schwingungen pro Sekunde), sie liegt also 3900 mal höher als die Zeilenfrequenz von 4 Hz beim APT-System.

Das aus der Abtastung gewonnene Videosignal moduliert * nicht, wie sonst üblich, direkt die Hochfrequenzschwingung des Senders. Beim APT-System wird vielmehr vorerst ein Hilfsträger von 2400 Hz mit dem Videosignal

* Unter Modulation versteht man den Vorgang, einer Trägerschwingung eine Information aufzubürden. Mit der Demodulation bezweckt man das Gegenteil: die Information wird vom Träger abgelöst. Es können verschiedene Größen der Trägerschwingung durch die Information beeinflußt werden: Bei der Amplitudenmodulation (AM) zum Beispiel schwankt die Trägeramplitude im Rhythmus der Information, bei der Frequenzmodulation (FM) schwankt die Frequenz. - Im vorliegenden Fall ist die Information das Bild- oder Videosignal.

amplitudenmoduliert (Fig. 7 zeigt dieses Signal nach der FM-Demodulation im Empfänger). Erst dieses zusammengesetzte Signal, Hilfsträger plus Videosignal, das als Senderinformation anzusehen ist, moduliert den Träger des Satellitensenders. Der Sender mit einer Leistung von 5 Watt und der Trägerfrequenz 137,5 MHz ist frequenzmoduliert. An Details mag noch erwähnt werden: Vor dem Ausstrahlen der eigentlichen Bildinformation werden vom Sender ein 300-Hz-Startton von 3 Sekunden Dauer und 5-Sekunden-Phasenimpulse zur automatischen Einschaltung und zur Synchronisierung des Bildreproduktionsgerätes der Bodenstation ausgestrahlt. Zusätzlich wird am Anfang jeder Zeile ein Synchronimpuls von 12,5 ms Dauer eingetastet.

Die Bodenstation

Für den Empfang der schwachen Signale von Satelliten (die Empfangsleistung beträgt im Mittel 10^{-14} Watt, das heißt ein Hundertstel eines Million mal Millionstel Watt) benötigt die Bodenstation eine Richtantenne (Abb. 1), die dem Flugkörper dauernd nachzuführen ist. Die Bodenstation muß daher zu jeder Zeit die Satellitenposition kennen. Die NASA veröffentlicht periodisch Bulletins, die für einen oder mehrere Umläufe vorhersagen, wann und wo der Satellit, von Süden kommend, den Aequator kreuzt. Es ist dann Aufgabe der Bodenstation, die Information des Bulletins so auszuwerten, daß sie für jeden Zeitpunkt, in welchem sich der Satellit in ihrem Sichtbereich befindet, angeben kann, auf welches Azimut und auf welche Elevation die Antenne einzustellen ist.

Wie aus dem Prinzipschema der Empfangsanlage in Fig. 5 hervorgeht, erfolgen die Berechnungen der Antennenposition aufgrund der NASA-Bulletins entweder mit Hilfe einer Graphik (Fig. 3) oder mit einem Computer (Fig. 6). Zur Erklärung der notwendigen Berechnungen enthalten die Fig. 3 und 6 ausführliche Legenden, bei deren Studium der Leser jedoch nicht mit Formeln gelangweilt werden soll. Es gilt vielmehr zu zeigen, wie man die Lösung der Aufgabe anpackt, welche Größen für die vorliegende Problemstellung entscheidend sind und in welcher Art und Weise sich diese auf die Antenneneinstellung auswirken. Alle verwendeten Begriffe sind definiert. Das Nebeneinanderstellen von Figur und zugehöriger Legende erleichtert das Lesen. Die gesuchten Einstellwinkel für die Antenne sind für beide Berechnungsarten für das gleiche Beispiel – Subsatellitenpunkt auf Island – vollständig durchgerechnet. Mit Fig. 8 sind zudem noch die geographischen Koordinaten dieses

Abb. 7 ESSA 6, Orbit 1400

Abb. 8 ESSA 6, Orbit 1587

Abb. 9 ESSA 6, Orbit 1968

Subsatellitenpunktes gerechnet. Ferner mag die Modellphoto in Abb. 5 wie die Skizze in Fig. 2 für die Vorstellung der räumlichen Gegebenheiten dienlich sein.

Als Resultat der Berechnungen stehen, wie schon gesagt, Positionswinkel für Azimut und Elevation in Minutenabständen zur Verfügung. Die auf dem Dach des Technikums montierte Antenne kann nun, vom Labor aus bedienbar, alle Minuten von Hand auf die neuen Positionswinkel eingestellt werden. Als Variante dieser manuellen Einstellvorrichtung ist eine im Gestell «Antennenpositions-Eingabe» (Fig. 5) eingebaute Automatik in Entwicklung,

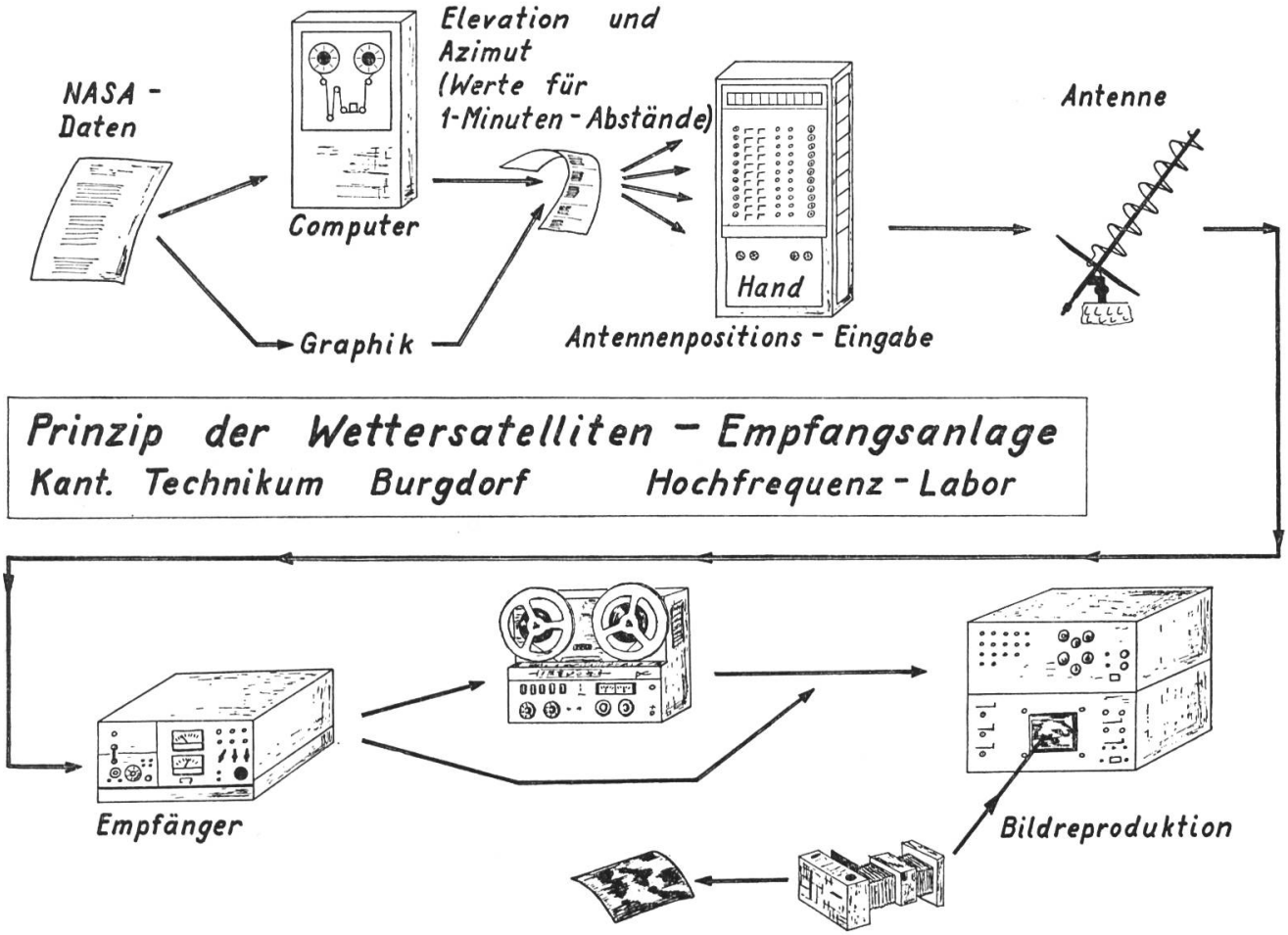

Fig. 5 *Das Prinzipschema der Einrichtungen einer Bodenstation* zeigt, wie vorgängig einer Bildaufnahme die Daten des NASA-Bulletins mit einer Graphik (Fig. 3) oder mit einem Computer (Fig. 6) in Azimut- und Elevationswinkel zur Einstellung der Antenne in Richtung auf den Satelliten umgerechnet werden müssen. Bei der Bildübertragung, die rund alle 4 Minuten erfolgt und pro Bild eine Uebermittlungszeit von 200 Sekunden erfordert, wird die von der Antenne aufgefangene Strahlung im Empfänger verstärkt und demoduliert; die Ausgangssignale steuern, entweder direkt oder via Tonbandgerät, die Bildreproduktionseinrichtung mit aufgesteckter Kamera.

mit der die Antenne nach Vorprogrammierung mit dem Computer selbständig dem Satelliten nachfolgen wird.
Wenn alle Berechnungsresultate für die Antenneneinstellung vorliegen und zum betimmten Zeitpunkt der Satellit über dem Horizont auftaucht, ist der Moment da, wo die elektronischen Einrichtungen ins Spiel kommen: Wie die Fig. 5 zeigt, ist die Antenne mit einem Hochfrequenzkabel mit dem Empfänger (Abb. 3) verbunden, dessen Signale am Ausgang entweder direkt oder über ein Tonbandgerät die Bildreproduktionseinheit speisen.

Die Bildreproduktionseinrichtung

Grundsätzlich besteht zwischen der Bildübertragung bei der Television und beim Wettersatellitensystem kein Unterschied: In beiden Fällen wird das zu übertragende Bild sendeseitig Zeile um Zeile abgetastet; es muß also emp-

---

Figur 6 *Tabelle a*

OR : 5979 TA : SO NO : 5 ST : 14 MI : 39 SE : 33 WL : 245
MN : 114 SK : 42 KU : 28.75 GW : 250 KW : 120 N : 6018

ORBIT	STD	MIN	SEK	WESTL. LAENGE
6	MONTAG			
5988	7	51	51	144
5989	9	46	33	173
5990	11	41	15	201
5991	13	35	57	230
7	DIENSTAG			
6000	6	48	15	129
6001	8	42	57	158
6002	10	37	39	186
6003	12	32	21	215
6004	14	27	3	244
8	MITTWOCH			
6013	7	39	21	143
6014	9	34	3	171
6015	11	28	45	200
6016	13	23	27	229

Tabelle b

ST : 12 MI : 32 SE : 21 KU : 28.75 WL : 215 H : 1450
IN : 102 MN : 114 SK : 42 OR : 6003

OR	STD	MIN	SEK	AZIMUT	ELEVATION
6003	13	1	21	13	2
6003	13	2	21	9	4
6003	13	3	21	4	7
6003	13	4	21	359	10
6003	13	5	21	353	12
6003	13	6	21	346	14
6003	13	7	21	339	16
6003	13	8	21	330	17
6003	13	9	21	322	17
6003	13	10	21	313	17
6003	13	11	21	305	16
6003	13	12	21	298	14
6003	13	13	21	291	12
6003	13	14	21	285	10
6003	13	15	21	279	7
6003	13	16	21	275	5
6003	13	17	21	271	2

Fig. 6 Der Computer rechnet die für die *Einstellung der Antenne* gesuchten Werte für Azimut und Elevation in 2 Schritten: In einem ersten wird, wie aus Tabelle a ersichtlich ist, für eine Anzahl Orbits ausgerechnet, an welcher Stelle und zu welcher Zeit der Satellit den Aequator, von Süden kommend, kreuzt. Die Tabelle b hingegen enthält die im zweiten Schritt gerechneten Azimut- und Elevationswinkel für einen der in a enthaltenen Umläufe.
Am Kopf der Tabelle sind die dem NASA-Bulletin zu entnehmenden Daten aufgeführt, mit denen der Computer zu speisen ist:

Orbitnummer	OR: 5979
Wochentag	TA: Sonntag (SO)
Laufende Nummer des Tages, ab 1. Januar gezählt	NO: 5
Zeit der Aequatorkreuzung	ST: 14 Std.
	MI: 39 Min.
	SE: 33 Sek.
Ort der Aequatorkreuzung	WL: 245 ⁰ West
Umlaufzeit	MN: 114 Min.
	SK: 42 Sek.
Knotenverschiebung; sie gibt an, um wieviel Grad sich die Erde während eines Umlaufs des Satelliten am Aequator dreht (siehe auch Fig. 3)	KU: 28,75 ⁰

Größte und kleinste Länge, für die der Satellit für Burgdorf im Sichtbereich ist, gemessen im Aequatorkreuzungspunkt	GW: 250 ⁰ West KW: 120 ⁰ West
Angabe, bis zu welcher Orbitnummer der Computer die Rechnung durchführen muß	N: 6018

Die Tabelle a enthält auswertbare Umlaufdaten für 3 Tage. Auf jeder Zeile sind links die Orbitnummer, dann die Zeit des aufsteigenden Knotens und rechts die westliche Länge des Aequatorkreuzungspunktes aufgeführt.

Die Programmierung ist sehr einfach: Der Computer erhält den Auftrag, ausgehend von den im Tabellenkopf aufgeführten Werten, fortlaufend die Orbitnummer um je 1 zu erhöhen, zu der Knotendurchlaufzeit je die Umlaufzeit zu addieren und die westliche Länge je um die Knotenverschiebung zu vergrößern. Der Leser mag sich selber von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen, indem er zum Beispiel die Daten des Orbits 6002 aus jenen des Orbits 6001 ausrechnet (siehe auch Fig. 3).

Da der Computer mit den Angaben GW und KW den Sichtbereich von Burgdorf kennt, sind für die Bodenstation in Burgdorf nur die interessierenden Umläufe tabelliert.

Tabelle b enthält die Azimut- und Elevationswinkel in Minutenabständen für den Orbit 6003. Dem Computer ist für diese Berechnungen zu melden, was im Kopf der Tabelle b steht:

Zeit der Aequatorkreuzung (aus Tabelle a)	ST: 12 Std. MI: 32 Min. SE: 21 Sek.
Knotenverschiebung (wie a)	KU: 28,75 ⁰
Ort der Aequatorkreuzung (aus a)	WL: 215 ⁰
Höhe des Satelliten (Fig. 4)	H: 1450 km
Inklination (Fig. 2)	IN: 102 ⁰
Umlaufzeit (wie a)	MN: 114 Min. SK: 42 Sek.
Orbitnummer, für die die Azimut- und Elevationswinkel gesucht sind	OR: 6003

Jetzt sind nach Tabelle b die Einstellwinkel für die Antenne bekannt; diese kann von Minute zu Minute neu eingestellt werden. Auf jeder Zeile sind von links her die Orbitnummer, die Zeit sowie die beiden gesuchten Winkel eingetragen. Die Berechnungen, die der Computer für die in der Tabelle b gesuchten Werte auszuführen hat, sind weit umfangreicher als die für die Tabelle a. Hier sind unter anderem einige trigonometrische Gleichungen zu lösen, gilt es doch, die Kurve des Referenzorbits nach Fig. 3 zeitlich und örtlich richtig zu erfassen. Man beachte, wie im Laufe der Zeit zuerst der Elevationswinkel zunimmt, allerdings nur bis zum Maximum von 17 ⁰; dann wird er wieder kleiner. Die Antenne zeigt vorerst in eine leicht östlich von Norden liegende Richtung und dreht dann über Norden bis nach Westen. Der Satellit bleibt knapp 20 Minuten über dem Horizont.

In Uebereinstimmung mit dem in Fig. 3 erwähnten Beispiel liest man für 13 Uhr 8 Min. und 21 Sek., also für 36 Min. nach der Aequatorkreuzung, ein Azimut von 330 ⁰ und zusätzlich eine Elevation von 17 ⁰ (siehe auch die Berechnung der geographischen Koordinaten des Subsatellitenpunktes für diesen Zeitpunkt in Fig. 8).

Neben den 3 Umläufen 6001 bis 6003, die in Fig. 3 eingezeichnet sind, meldet der Computer mit Tabelle a auch noch die beiden Orbits 6000 und 6004 als den Sichtbereich von Burgdorf schneidend. Für diese beiden Umläufe steigt aber, wie zusätzliche Rechnungen zeigen, der Satellit für eine Dauer von je 11 Minuten nur ganz knapp über den Horizont (die maximale Elevation für den Orbit 6000 beträgt 5 ⁰, für 6004 6 ⁰), so daß eine kommerzielle Bodenstation für diese Bahnstellung auf Bildaufnahmen verzichtet, zumal das Wettergeschehen in so weit entfernt liegenden Gegenden für einen nationalen Wetterdienst kaum von Interesse ist.

Die Landpartien, über denen der Satellit in den Orbits 6000 und 6004 steht, lassen sich aus Fig. 3 leicht abschätzen, wenn man zusätzliche Bahnkurven einzeichnet, die aus den vorhandenen durch Parallelverschiebung um den Betrag der Knotenverschiebung von 29 ° hervorgehen. Für eine Experimentalstation wie die am Technikum ist es jedoch gelegentlich recht reizvoll, gewissermaßen einen Blick hinter die Kulissen werfen zu dürfen! Kommerzielle Bodenstationen aber, die an weitabgelegenen Umläufen wie 6000 und 6004 nicht interessiert sind und vielleicht sogar den Orbit 6003 «verschmähen», lassen diese vom Computer gar nicht erst ausdrucken, was durch das Einlesen von passenden GW- und KW-Werten im Kopf der Tabelle a leicht zu erreichen ist.
Hier ist noch eine Bemerkung zum NASA-Bulletin anzufügen: Die oben dargestellten Berechnungen sind dank der kreisförmigen Satellitenbahn relativ einfach, sie wären für elliptische Bahnformen viel komplizierter. Kommerzielle Satellitenbeobachter erhalten täglich ein NASA-Bulletin via Telex und können damit die Antenne ohne großen Rechenaufwand leicht einstellen. Dank der ständigen Ueberwachung der Satelliten durch die NASA sind Abweichungen vom stabilen Bahnverhalten stets im neuesten Bulletin berücksichtigt. Das Technikum erhält jede Woche neue NASA-Daten und muß, wie oben gezeigt, aus diesen Vorausberechnungen extrapolieren. Dieses Verfahren ist ohne große Fehler statthaft, weil erstens die hier interessierenden Wettersatelliten auf relativ stabilen und praktisch kreisförmigen Bahnen umlaufen und zweitens die Strahlbandbreite der Richtantenne so groß ist, daß Abweichungen im Erfassen des Zieles von einigen Grad keinen wesentlich ins Gewicht fallenden Empfindlichkeitsverlust zur Folge haben.

fangsseitig wieder Zeile um Zeile zusammengesetzt werden. Beim Fernsehen steuert das Videosignal die Intensität des Strahles in der Bildröhre, während zwei Kipposzillatoren dafür sorgen, daß der Strahl einerseits im selben Rhythmus wie die sendeseitige Zeilenabtastung horizontale Linien schreibt, während der Strahl gleichzeitig, wiederum im Gleichschritt mit der Sendeseite, so vertikal nach unten ausgelenkt wird, daß sich Zeile an Zeile reiht. Weil die Bildfolge so hoch ist, nämlich 25 Bilder pro Sekunde, glaubt das Auge infolge seiner Trägheit ein zusammenhängendes Bild zu sehen.
Das Wettersatellitenbild könnte genau so reproduziert werden, nur müßte der Bildschirm, weil die Abtastung hier, wie einleitend gezeigt wurde, 200 Sekunden dauert, jeden Helligkeitswert so lange aufrecht erhalten, bis das ganze Bild aufgebaut ist. Obwohl es heute Bildröhren mit einer entsprechend langen Nachleuchtdauer gibt, kann man davon keinen Gebrauch machen, weil ihr Gradationsumfang viel zu gering ist; sie können wohl helle und dunkle Bildpunkte wiedergeben, jedoch keine Mitteltöne. Aber etwas anderes ist möglich: Man zeichnet das Bild, wie soeben beschrieben, auf dem Bildschirm eines Kathodenstrahloszillographen auf (KO, ein fernsehähnliches Meßgerät zur bildlichen Darstellung von Schwingungen) und befestigt vor der Röhre eine Kamera, deren Verschluß 200 Sekunden lang geöffnet bleibt und so das Zeile um Zeile geschriebene Bild festhält. Diese Methode wurde für die Empfangsanlage in Burgdorf gewählt. Kommerzielle Stationen da-

gegen verfügen über Reproduktionsgeräte, welche eine direkte Bildaufzeichnung ermöglichen.

Fig. 7 zeigt das Prinzipschema und Abb. 4 die Reproduktionseinrichtung: Nach der Verstärkung und der FM-Demodulation im Empfänger gelangt der mit dem Videosignal amplitudenmodulierte Hilfsträger in den AM-Demodulator, dessen Ausgang direkt das für die Intensitätsaussteuerung des Elektronenstrahls in der KO-Röhre nötige Videosignal liefert. Der modulierte Hilfsträger kann aber auch auf einem Tonbandgerät aufgezeichnet werden, wenn man das Wettersatellitenbild elektronisch speichern will. Die beiden mit «Sägezahn» angeschriebenen Blockstufen liefern die für die horizontale (x) respektive vertikale (y) Strahlablenkung nötigen Kippschwingungen. Die Stufe «Synchronisation und Start» sorgt für den Gleichlauf der Zeilen zwischen der Bildabtastung im Satelliten und der Bildaufzeichnung in der Bodenstation. Ein Startsignal, das der Satellit vor Anfang der Bildübertragung aussendet, leitet die Synchronisation ein und öffnet den Kameraverschluß.

Wenn während einer Bildaufnahme der Lautsprecher des Tonbandgerätes

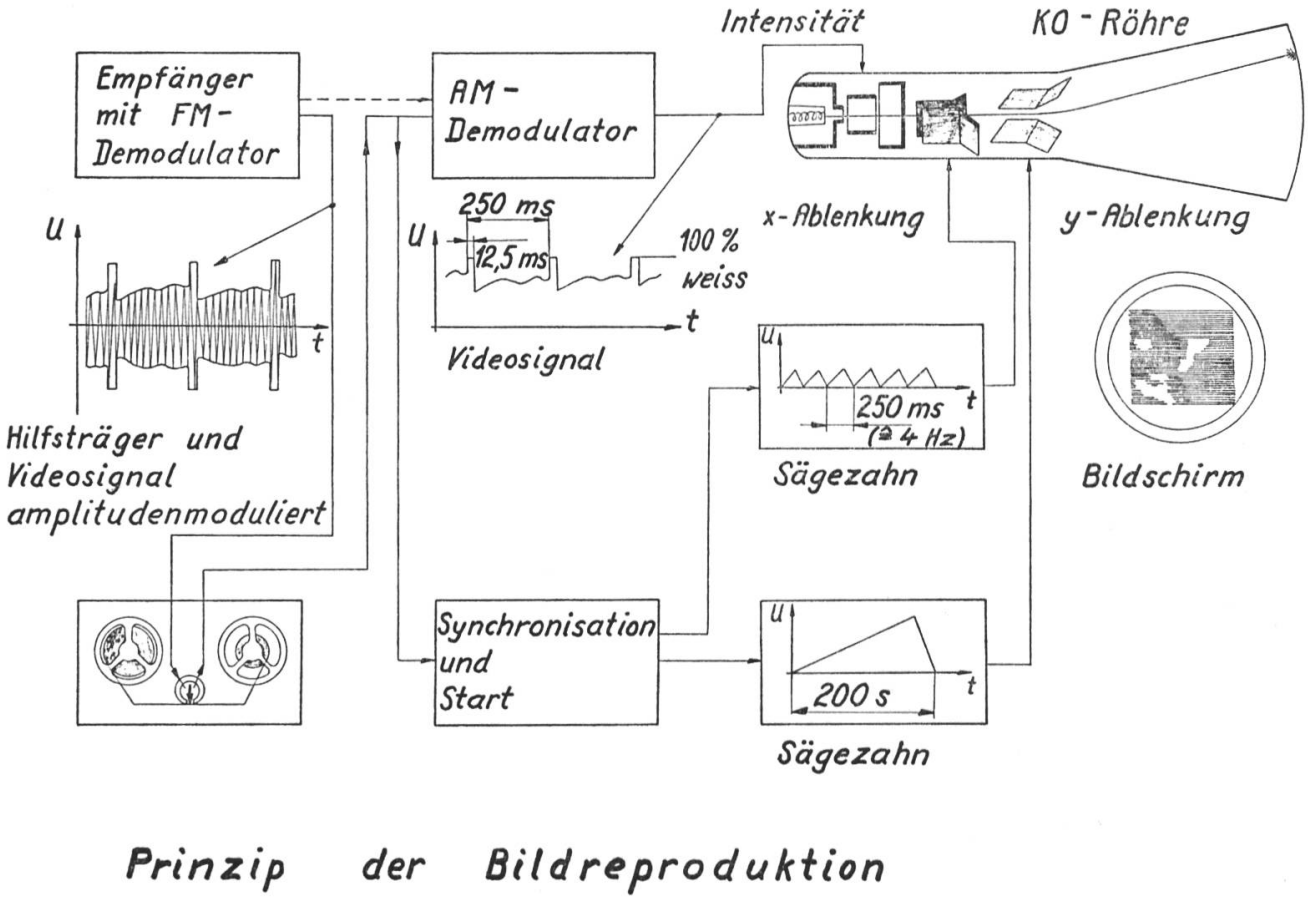

Fig. 7 *Prinzipschema der Reproduktionseinrichtung* (Beschreibung siehe Text).

eingeschaltet ist, so hört man leicht den charakteristischen Ton des Startsignals, das eine Bildübertragung einleitet. Liest man in diesem Moment die Zeit ab, so kann der Computer mit dieser Zeitinformation und den übrigen Daten des betreffenden Umlaufs ausrechnen, wo der Ort des Bildmittelpunktes liegt, angegeben in geographischer Länge und Breite (Fig. 8).

OR : 6003 H : 1450 IN : 102 MN : 114 SK : 42
WL : 215 KU : 28.75 TM : 36 TE : 0

IM MOMENT DER BILDAUFNAHME HATTE DER WETTERSATELLIT DIE POSITION 18 GRAD WESTLICHE LAENGE UND 64 GRAD NOERDLICHE BREITE

Fig. 8 In dem in den Fig. 3 und 6 dargestellten Beispiel wurde festgestellt, daß sich im Orbit 6003 der Satellit 36 Minuten nach der Aequatorkreuzung, nämlich um 13 Uhr 8 Min. und 21 Sek., über Island befindet. Mit der Annahme, zu diesem Zeitpunkt sei gerade eine Aufnahme hergestellt worden, sollen die geographischen Koordinaten des Subsatellitenpunktes gerechnet werden. Der Computer erhält die Informationen:

Orbitnummer	OR: 6003
Höhe des Satelliten (Fig. 4)	H: 1450 km
Inklination (Fig. 2)	IN: 102 °
Umlaufzeit (Fig. 3 und 6)	MN: 114 Min.
	SK: 42 Sek.
Ort der Aequatorkreuzung (Fig. 3 und 6)	WL: 215 ° West
Knotenverschiebung (Fig. 3 und 6)	KU: 28,75 °
Zeitdauer, die zwischen der Aequatorkreuzung und dem Moment der Bildaufnahme verstreicht	TM: 36 Min.
	TE: 0 Sek.

Der Computer hat die «Freundlichkeit», die Antwort in einen Satz zu kleiden. Die genannte Position liegt, wie man sich anhand eines Atlas vergewissern kann, auf Island.

Schlußbemerkung

Das hier beschriebene APT-System soll in Zukunft durch ein anderes Uebertragungssystem abgelöst werden: In diesem werden fortlaufend einzelne Zeilen zur Erde gesendet, die der Empfänger nach eigenem Belieben zu Bildern zusammensetzen kann – also neue Arbeit für zukünftige Diplomanden.
Die Anlage am Technikum hat die in sie gesetzten ausbildungstechnischen Erwartungen bis heute voll erfüllt: Es lassen sich immer wieder neue Teilaufgaben formulieren, die in Diplom- und Semesterarbeiten einzeln oder in kleinen Gruppen gelöst werden können. Gelegentlich bietet sich auch die Möglichkeit, fächerverbindene Aufträge ausführen zu lassen: So kamen bis

jetzt neben der Elektronik, auf der naturgemäß das Hauptgewicht liegt, auch die Mathematik und die Mechanik zum Zug. Die fertige Anlage wird zudem in den Wahlpraktika Interessenten die Möglichkeit bieten, den ganzen Komplex der Wettersatelliten zu studieren.
Das Endergebnis des ganzen Systems sieht man in den Abb. 6–9, Wettersituationsdarstellungen, die ihren eigenen Reiz haben.

Erklärungen einiger Fachausdrücke

(>) bedeutet: der vorstehende Begriff ist in dieser Zusammenstellung definiert.

Abtastung: Der Elektronenstrahl (>) überstreicht in einem Vidikon (>) Zeile um Zeile das auf einer Fläche festgehaltene Ladungsbild (>).
Aequatorkreuzung: Der Satellit kreuzt die Aequatorebene, der Subsatellitenpunkt (>) liegt auf dem Aequator. Siehe auch Knoten (>).
Aequatorkreuzungspunkt: Die geographische Länge, wo der Satellit den Aequator kreuzt. Siehe auch Knoten (>).
APT: *A*utomatic *P*icture *T*ransmission, automatische Bildübertragung.
Azimut: Winkel zwischen Norden und Richtung zum Satelliten, gemessen in der Horizontebene, Zählrichtung über Ost-Süd-West.
Bahn:
— *drehung:* Die Drehung der Bahnebene (>) um eine Achse, die durch den Erdmittelpunkt geht.
— *ebene:* Die Ebene, in welcher der Satellit fliegt (Fig. 2 und Abb. 5).
— *neigung:* Der Winkel zwischen der Bahnebene (>) und einer anderen Ebene, z. B. der Aequatorebene. Siehe auch Inklination (>) (Fig. 2).
— *pol:* Eine Bahnebene (>), in der auch die Erdpole liegen.
— *polnah:* Eine Bahnebene (>), die in der Nähe der Pole liegt.
— *raumstabil:* Eine Bahnebene (>), die fest im Raum steht (Fig. 1).
— *sonnensynchron:* Eine Bahnebene (>) mit einer täglichen Drehung im Raum von rund 1 ^{0}, so daß die Ebene stets auf die Sonne gerichtet ist, trotz der Erdbewegung um die Sonne von täglich rund 1 ^{0} (Fig. 1).
— *zenital:* Eine Bahnebene (>), die durch den Zenit (>) des Beobachters geht.
Bildsignal: Das Bild- oder Videosignal ist eine Wechselspannung mit Amplitudenwerten, die proportional zu den jeweiligen Helligkeitswerten des Bildes sind. Es ist vergleichbar mit dem Tonsignal, einer Wechselspannung, deren Amplitudenwerte proportional zu den jeweiligen Lautstärkewerten sind.
Bildröhre: Eine evakuierte Glasröhrenkonstruktion mit flachem Bildschirm, in welcher ein Elektronenstrahl (>) beim Auftreffen auf dem Bildschirm einen Leuchtpunkt erzeugt. Wenn der Elektronenstrahl genügend rasch den Bildschirm von links nach rechts und von oben nach unten Zeile um Zeile überstreicht, entsteht eine leuchtende Fläche und, wenn der Elektronenstrahl in seiner Intensität schwankt, ein Bild.
Elektronenstrahl: Im Innern einer evakuierten Bildröhre (>) werden durch eine positive Spannung Elektronen aus der (negativen) Kathode herausgerissen und danach zu einem dünnen Strahl fokussiert. Dieser Strahl erzeugt beim Auftreffen auf dem Bildschirm, der mit geeignetem Material überstrichen ist, einen Leuchtfleck. Ablenkelektroden ermöglichen, mit Kippschwingungen (>), den Strahl an beliebige Stellen der Bildröhre zu lenken. Die Stärke

des Elektronenstrahls und damit die Helligkeit des Bildpunktes wird durch die momentane Größe des Bildsignals (>) bestimmt.

Elevation: Winkel zwischen Horizont und Richtung zum Satelliten, gemessen in der Vertikalebene.

Empfangsbereich: Der Landausschnitt auf der Erde, auf dem zwischen dem Beobachter und dem Satelliten Sichtverbindung besteht.

extrapolieren: Ausdehnen von Berechnungen über einen Bereich hinaus, in welchem Werte bekannt sind.

Frequenz: Anzahl Schwingungen pro Sekunde, gemessen in Hertz (Hz).

Geodätische Satelliten: Satelliten, die für die Erdvermessung gebaut und eingesetzt werden.

Hochfrequenz: Wechselstrom mit hoher Frequenz (>), rund 10 kHz und höher (Träger [>]).

Infrarot: Wellenbereich der Wärmestrahlen.

Infrarotsensoren: Einrichtungen, die für Infrarot(>)-Wellen empfindlich sind.

Infrarotbilder: Bilder, die mit Strahlen aus dem Infrarot(>)-Wellenbereich aufgebaut sind.

Inklination: Winkel zwischen der Satellitenbahn- (>) und der Aequatorebene (Fig. 2).

Interpolieren: Berechnung neuer Werte innerhalb eines Bereichs, in welchem Werte bekannt sind.

Kippschwingungen: Wechselspannungen, meist mit Sägezahnform (Fig. 7), die den Elektronenstrahl (>) in horizontaler und vertikaler Richtung ablenken.

Kipposzillator: Oszillator, der Kippschwingungen (>) erzeugt.

Knoten: Schnittpunkt der Satellitenbahn- (>) mit der Aequatorebene (Fig. 2 und 3).

— *aufsteigender Knoten:* Knoten, in dem der Satellit den Aequator, von Süden nach Norden fliegend, kreuzt.

— *absteigender Knoten:* Knoten, in dem der Satellit den Aequator, von Norden nach Süden fliegend, kreuzt.

Knotenverschiebung: Infolge der Erddrehung verschieben sich die Orte von aufsteigenden Knoten am Aequator von Passage zu Passage. Die Knotenverschiebung gibt an, um wieviel zwei aufeinander folgende aufsteigende Knoten auseinander liegen, gemessen in Längengraden (Fig. 3).

Ladungsbild: In einem Vidikon (>) werden die Helligkeitswerte in Ladungswerte umgesetzt: das Ladungsbild enthält dort eine Häufung von Elektronen, wo das optische Bild eine helle Stelle hat, und umgekehrt wenig Ladung bei dunklen Stellen.

Mercatorkarte: Weltkarte mit winkeltreuen Kurslinien, die Längen- und Breitengradlinien sind gerade.

— *Modifizierte Mercatorkarte:* Nicht nur die Längengradmaßstäbe, wie bei der gewöhnlichen Mercatorkarte, sind linear geteilt, sondern auch die Breitengradlinien (Fig. 3).

Modulation: Die Beeinflussung einer höherfrequenten (Träger-)Schwingung durch eine niederfrequente (Nachrichten-)Schwingung (siehe Fußnote S. 95).

NASA: *N*ational *A*eronautics and *S*pace *A*dministration.

NASA-Bulletin: Veröffentlichungen der NASA (>) mit Flugdaten von Satelliten.

Parameter: Für *eine* Untersuchung konstant gehaltene Variable.

Orbit: Bahnkurve eines Satelliten. Auch Umlauf eines Satelliten von einem aufsteigenden Knoten (>) bis zum nächsten.

Richtantenne: Antenne, die in einem bestimmten Raumwinkel empfindlicher ist als in andern.

Referenzorbit: Ein Orbit (>), dessen Daten von der NASA (>) veröffentlicht und auch für nachfolgende Orbits repräsentativ sind.

Sichtbereich: Erdkalotte im Sichtbereich des Satelliten (Empfangsbereich [>]).

Sonnenzellen: Flächenförmiges Halbleiterelement, das einfallende Sonnenstrahlung in elektrische Energie umwandelt.

Spinstabilisierung: Ein Satellit dreht sich um eine Achse (to spin = sich drehen), wodurch er eine in Bezug auf diese Achse stabile Position einnimmt.
Strahlablenkung: Verändern der Lage des Elektronenstrahls (>) und damit des Bildpunktes in der Bildröhre (>) mit Hilfe einer Kippschwingung (>).
Subsatellitenbahn: Schnittkurve der Bahnebene (>) des Satelliten mit der Erdoberfläche (Fig. 2 und 3).
Subsatellitenbahnpunkt (auch kurz Subsatellitenpunkt): Ein Punkt auf der Subsatellitenbahn (>). Ein Beobachter steht dann auf einem Subsatellitenbahnpunkt, wenn der Satellit gerade durch den Zenit des Beobachters fliegt.
Synchronisation: Gleichlauf. Bei der Bildübertragung muß der Elektronenstrahl (>) in der Bildröhre stets den gleichen Punkt aufzeichnen, den der Elektronenstrahl im Vidikon (>) abtastet (>).
Träger: Hochfrequente (>) Schwingung, die nach der Modulation (>) als Uebermittler von Nachrichten dient.
Telex: Drahtgebundenes oder drahtloses Uebermittlungssystem mit Schreibmaschinen als Geber und Empfänger.
Umlauf: Orbit (>).
Umlaufzeit: Zeitdauer, die verstreicht, bis der Satellit von einem aufsteigenden Knoten (>) bis zum nächsten gelangt ist.
Vidikon: Bildaufnahmeröhre. Sie liefert das Bildsignal (>) und bildet zusammen mit der zugehörigen Elektronik (Kipposzillatoren [>], Verstärker etc.) die Aufnahmekamera.
Videosignal: Bildsignal (>).
Wettersatellit: Satellit, der für die Aufnahme und Ausstrahlung von Bildern gebaut ist, die für die Meteorologie nützlich sind.
Zenit: Derjenige Punkt am Himmelsgewölbe, der senkrecht über dem Beobachter steht.

TAFELVERZEICHNIS

1. und 2. Im Winter 1968 wurde die Antenne für die ersten Empfangsversuche auf dem Flachdach des Neubaus des Technikums aufgestellt und von Hand bedient. Im Sommer und Herbst 1968 erfolgte der Bau des Podestes und der Umbau der Antenne; es wurden Motoren und Geber für die Ferneinstellung und Fernpositionsmessung eingebaut, worauf anfangs 1969 ein Helikopter die zuvor fertig montierte Spiralantenne auf die Plattform stellte. Vom Podest führen Hochfrequenz- und Steuerkabel in das HF-Labor hinunter, wo die Empfangsanlage installiert ist und von wo aus die Antenne durch Druckknopfsteuerung in jede gewünschte Richtung eingestellt werden kann.

3. *Der Empfänger* (siehe auch Fig. 5 und 7). Das in der Mitte oben angeordnete Instrument zeigt die Stärke des Hochfrequenzsignales in der Antenne an, mit dem darunter liegenden kann die Abweichung der einfallenden Trägerfrequenz vom Sollwert 137,5 MHz gemessen werden. Die angezeigte Frequenz liegt höher als der Sollwert, wenn sich der Satellit der Empfangsstation nähert (die maximale Frequenzdifferenz beträgt für eine Zenitalbahn 2,7 kHz), und tiefer, wenn er sich davon entfernt (Dopplereffekt). Die beiden Meßwerte — Stärke des Hochfrequenzsignals und Frequenzdifferenz — können während der Dauer des Satellitendurchgangs automatisch auf einem Papierstreifen aufgezeichnet und anschließend ausgewertet werden.

4. Die in den Fig. 5 und 7 skizzierte *Bildreproduktionseinheit.* Im oberen Teil sind die in Fig. 7 aufgeführten Schaltstufen eingebaut, der untere enthält einen speziell für die Herstellung von Wettersatellitenbildern entwickelten Kathodenstrahloszillographen.

5. Zur Veranschaulichung der Größenverhältnisse Erde-Raum und für die Darstellung gegebener Umläufe ist ein *Modell* nützlich. Es besteht aus einer Plexiglasscheibe mit einer aufgeklebten kreisförmigen Satellitenbahn von der Höhe 1450 km, deren Lage in bezug auf den drehbaren Globus eine Inklination (Fig. 2) von 102 ⁰ aufweist. Auf der Photo ist der Orbit 6001 eingestellt: Der aufsteigende Knoten, der für diesen Umlauf laut Fig. 6 auf 158 ⁰ West liegt, befindet sich nahe der Weihnachtsinsel im Pazifik und ist nicht sichtbar. Deutlich ist jedoch Europa zu erkennen. Der Rand der Plexiglasscheibe unter der Flugkurve unmittelbar über der Erdkugel markiert die Subsatellitenbahn für den Orbit 6001, die jedoch hier auf der Photo durch Aegypten führt und nicht wie in Fig. 3 durch die Große Syrte. Diese Abweichung liegt in der Tatsache begründet, daß sich die Erde während der Flugdauer des Satelliten vom aufsteigenden Knoten im Pazifik bis nach Aegypten in östlicher Richtung um rund 12 ⁰ gedreht hat (im Referenzorbit der Fig. 3 ist diese Drehung berücksichtigt).
   Die vorliegende Darstellung läßt, nebenbei gesagt, erkennen, wie nahe der Erde der Satellit fliegt, der übrigens etwa in der gleichen Höhe kreist wie damals der berühmt gewordene und von Auge sichtbare Ballonsatellit ECHO I (Start am 12.8.1960). Bemannte Missionen fliegen normalerweise wesentlich tiefer, etwa auf einem Fünftel der Höhe der hier abgebildeten Satellitenbahn (Skylab: 434 km).
   Ein aus Draht geformtes Quadrat mit zwei Diagonallinien dient zum Aufsuchen des Bildausschnitts. Die Kantenlängen sind dem Maßstab der Erdkugel angepaßt und betragen in Wirklichkeit 3000 km (siehe auch Fig. 4). Das Drahtgebilde muß nun so lange auf der Kugel verschoben werden, bis der Mittelpunkt des Quadrats mit den Koordinaten des Bildmittelpunkts — wie z. B. in Fig. 8 angedeutet — übereinstimmt und die «Nord-Süd-Kanten» parallel zur Subsatellitenbahn liegen.

6. NIMBUS I, Orbit 74 vom 2. September 1964. Wettersatelliten der früheren NIMBUS-Serie, die für die Lösung vieler Aufgaben zur Erforschung der Atmosphäre eingesetzt wurden, waren auch mit einem APT-Photodienst ausgerüstet. Am 2. September 1964 überflog ein NIMBUS-Satellit das Mittelmeer in einer Höhe von rund 500 km. Die Bildsignale wurden damals auch von der Radio-Schweiz AG auf Tonband aufgenommen. Eine Kopie dieses Bandes wurde im Technikum Burgdorf mit der selbst entwickelten Anlage reproduziert.
   Heutige und zukünftige Generationen von Wettersatelliten zeichnen großflächigere Bilder als das hier gezeigte Muster auf, die für die Meteorologie weitaus nützlicher sind.

7. *ESSA 6,* Orbit 1400 vom 1. März 1968. Dieses Bild ist aus zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen entstanden. Der Ueberlappungsbereich der beiden Bilder, der rund einem Drittel Einzelbildhöhe entspricht, ist aus der oberen Photo weggeschnitten.
   Oben ist deutlich Norwegen mit seinen vielen Fjorden erkennbar, rechts daneben Schweden und der anfangs März noch teilweise vereiste Bottnische Meerbusen. Mitteleuropa ist von Wolken bedeckt, das Alpen- und Juraland und Teile von Mittel- und Südfrankreich sind wolkenfrei. Der schneebedeckte Alpenkamm in der Mitte ist ebenfalls deutlich sichtbar: Das Wallis mit Genfersee erscheint als «Schwalbenschwanz» mit nach unten ragender Spitze beim Knie von Martigny, worauf der Pfeil weist. Links davon der verschneite Jura, darüber die Vogesen. Der schwarze Fleck knapp unterhalb der Pfeilspitze rechts ist das Aostatal. Beim Pfeilschaft sind die Pyrenäen, links von der Pfeilmitte liegen Partien des damals (Datum: 1. März) ebenfalls noch verschneiten Plateau du Midi. Unterhalb der Wolkenfelder über dem Mittelmeer ist die Sahara zu erkennen.

8. ESSA 6, Orbit 1587 vom 16. März 1968. Oben das Mittelmeer, in der Mitte und unten die Sahara. Deutlich ist die Große Syrte zu erkennen, rechts davon die Cyrenaika und am rechten Bildrand der Nil und der Golf von Suez. Die durch ein Kreuz markierte Bild-

mitte liegt auf rund 28 ⁰ nördlicher Breite. Von Burgdorf aus ist ein Satellit in 1450 km Höhe, der sich zur Zeit der Bildaufnahme senkrecht über dem Kreuz befindet — hier also über 28 ⁰ nördlicher Breite — unter einem Elevationswinkel von 19 ⁰ zu erfassen. Für eine Zeitdauer von 200 Sekunden, während der der Satellit das gespeicherte Bild zur Erde sendet, bewegt sich der Flugkörper um 10,5 ⁰ in südlicher Richtung und überfliegt dabei eine Erddistanz von 1200 km. Er befindet sich dann knapp über der am unteren Bildrand liegenden Stelle der Sahara, ungefähr in der Mitte des Staates Niger. (Das umgekehrte T am unteren Bildrand links vom Wort USA ist 1500 km südlicher als das Kreuz in der Bildmitte.) Am Ende der Bildübertragungszeit steht die Antenne in Burgdorf nur noch 5,5 ⁰ über dem Horizont; die Distanz Burgdorf-Satellit beträgt nahezu 4500 km. Für diesen geringen Elevationswinkel besteht die Gefahr von Rauscheinbrüchen, die sich etwa so wie ein «verschneites» Televisionsbild auswirken. Tatsächlich kann man auf der Photo nahe am unteren Bildrand Rauscheinbrüche feststellen. Die Aufnahme bestätigt aber auch die Tatsache, daß die gewählte Lösung für die Bildsynchronisation richtig ist, weil Bildteile, die auf Rauscheinbrüche folgen, wieder sauber aufgezeichnet werden, wie zum Beispiel das Wort USA ganz am unteren Bildrand.

9. *ESSA 6*, Orbit 1588 vom 16. März 1968. Diese Photo wurde auf dem Umlauf geschossen, der demjenigen mit der Aufnahme in Abb. 8 folgte. Die Bildmitte (Kreuz) liegt südlich Agadir (29 ⁰ nördliche Breite), unten Cap Blanc (20 ⁰ nördliche Breite); links der Atlantik, rechts die Sahara.