



**Berichte des Deutschen Wetterdienstes**

**123**

**Entwicklung eines Satellitenmeßfühlers zur Bestimmung der  
Schwankungen des mittleren Ultravioletts der  
extraterrestrischen Solarstrahlung**

von  
Hauke Dodeck



Zitationsvorschlag:

Dodeck, Hauke: Entwicklung eines Satellitenmeßfühlers zur Bestimmung der Schwankungen des mittleren Ultravioletts der extraterrestrischen Solarstrahlung. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1971.  
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 123)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

---

## Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

---

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst  
Frankfurter Straße 135  
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: [www.dwd.de](http://www.dwd.de)

Mail: [bibliothek@dwd.de](mailto:bibliothek@dwd.de)

## Inhalt

	Seite
Vorwort .....	3
Zusammenfassung .....	3
Abstract .....	3
1. Einleitung .....	4
2. Aufgabenstellung (Forderungen an den Meßfühler).....	4
3. Extraterrestrische Solarstrahlung: Solarkonstante und Spektralverteilung der Sonne .....	5
4. Grundsätzliche Betrachtungen zur Lösung des Meßproblems .....	6
5. Aufbau der Meßfühler .....	6
6. Sonnenähnliche Strahlung im Labor .....	10
7. Meßergebnisse im Labor .....	10
8. Gesamtergebnis .....	19
9. Literatur .....	19

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hauke Dodeck, 53 Bonn-Bad Godesberg, Kölner Straße 171,  
Gesellschaft für Weltraumforschung

### Vorwort

Der Deutsche Wetterdienst hatte die Aufgabe, einen Prototyp eines Meßfühlers für Satelliten zu entwickeln, der fortlaufend extraterrestrische Meßdaten über die möglichen Schwankungen der ozonbildenden Komponente und der ozonauflösenden Komponente der solaren UV-Strahlung abgibt, also für die zwei UV-Bereiche 1800 Å - 2300 Å und 2300 Å - 3000 Å. Die satellitengemäße Ausführung, wie beschleunigungsfester Aufbau und elektrische Auslegung (Stromversorgung, Verstärkung, Telemetrie) sollte die deutsche Industrie übernehmen. Dieses Vorhaben wurde durch den Herrn Bundesminister für wissenschaftliche Forschung in großzügiger und dankenswerter Weise unterstützt. Die Bearbeitung der gestellten Aufgabe kann abschließend und rückblickend in drei Zeitabschnitte gegliedert werden.

Der erste Abschnitt vom Herbst 1965 bis Herbst 1966 umfaßte die orientierenden Arbeiten bezüglich der verfügbaren Strahlungswerte der Sonne, der extraterrestrischen UV-Meßtechnik, darauf aufbauend die Beschaffung von wichtigen Bauelementen und die Erstellung eines Sonnensimulators.

Der zweite Abschnitt vom Herbst 1966 bis 1967 kennzeichnete die experimentelle Phase, an deren Ende die Entwicklung von Grundkonzeptionen zur Realisierung eines Satelliten-Meßfühlers stand.

Von diesen Grundkonzeptionen her wurden dann im Jahre 1968 (3. Abschnitt) zwei Prototypen des Meßfühlers konstruiert und getestet, von denen der eine die spektrale Trennung mit Hilfe von Interferenzfiltern, der andere mit Hilfe eines Quarzprismas vornimmt. Die Tests haben gezeigt, daß die vorliegenden beiden Prototypen die geforderten Bedingungen für einen UV-Meßfühler sowie für die Miniaturisierung der Bauelemente und für die notwendige Größe der analogen elektrischen Signale erfüllen.

Der folgende Abschlußbericht von Herrn Dr. DODECK gibt über die einzelnen Schritte der Entwicklung der Prototypen Auskunft. Herrn Dr. DODECK und Herrn Dipl.-Phys. DEHNE sowie deren Mitarbeitern gebührt besonderer Dank.

Prof. Dr. R. Schulze  
Deutscher Wetterdienst  
Meteorologisches Observatorium Hamburg

### Zusammenfassung

Es wurden zwei satellitengerechte Meßapparaturen zur Untersuchung des mittleren Ultraviolett im Bereich 1850 Å bis 3000 Å der extraterrestrischen Solarstrahlung entwickelt und im Labor getestet. Beide Meßfühler erfassen die Spektralkomponenten 1850 - 2300 Å und 2300 bis 3000 Å. Die Selektion wurde einerseits durch Interferenzfilter und andererseits durch ein 32° Reflexionsprisma erreicht. Als Sensoren wurden Vakuumphotodioden mit selektiven Kathoden (CsTe, CsJ) eingesetzt. Ferner wurde ein Prüfstrahler für die Hg-Resonanzlinien bei 1850 Å und 2537 Å entwickelt. Die Leistungsaufnahme des Strahlers wurde von 4 W auf 0,6 W reduziert.

### Abstract

Two satellite sensors for measurement of the middle ultraviolet in the range 1850 Å - 3000 Å of the extraterrestrial solar radiation have been developed and tested. Both sensors detect the radiation components at 1850 - 2300 Å and 2300 - 3000 Å. The selection is achieved by means of either interference filters or one 32° reflection prism. Vacuumphotodiodes with selective cathodes (CsTe and CsJ) were used for radiation detection. Furthermore, a radiation source for the Hg-resonance lines at 1850 Å and at 2537 Å has been developed. The power consumption of this source has been reduced from 4 W to 0.6 W.

### 1. Einleitung

Die Erdatmosphäre wird entsprechend dem vertikalen Temperaturprofil (Abb. 1) in verschiedene Schichten eingeteilt (1). Bis etwa 12 km Höhe nimmt die Tempera-

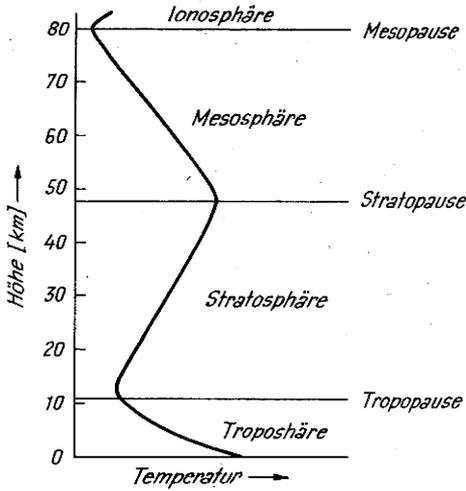


Abb. 1  
Schichteinteilung der Atmosphäre

tur zunächst ab, steigt an und erreicht ihr Maximum in 50 km Höhe, um oberhalb dieses Niveaus abermals abzusinken. Die Schicht der Atmosphäre mit dem Temperaturmaximum wird Stratopause genannt. Die Erwärmung der Stratopause und des oberen Teils der darunter liegenden Stratosphäre beruht auf der Absorption der solaren UV-Strahlung im Sauerstoff und Ozon sowie auf deren Rekombination. Es entsteht die Ozonschicht, deren obere Grenze mit diesem Bereich zusammenfällt. Man nimmt an, daß sich im Bereich von 35 bis 50 km Höhe das Ozon im photochemischen Gleichgewicht befindet. Dissoziations- und Rekombinationsprozesse finden zugleich statt. Die Komponenten für diese Reaktionen sind atomarer und molekularer Sauerstoff sowie Ozon. Für den Reaktionsablauf sind insbesondere folgende Prozesse charakteristisch (2) (3) (4):

- [1]  $O_2 + h\nu \rightarrow O + O$  oder  $O + O^*$  für  $h\nu \geq 5,1 \text{ eV}$
- [2]  $O_3 + h\nu \rightarrow O + O_2$  oder  $O^* + O_2$  für  $h\nu \geq 1,1 \text{ eV}$
- [3]  $O + O + M \rightarrow O_2 + M$
- [4]  $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$
- [5]  $O + O_3 \rightarrow 2 O_2$

$h\nu$  ist die zur Dissoziation erforderliche Photonenenergie. Mit \* wird ein angeregter Zustand bezeichnet. M bezeichnet einen bei den Dreierstößen [3] und [4] photochemisch nicht reagierenden Partner, der die Erhaltung von Impuls- und Energiesatz gewährleistet. Die für die Photodissoziation wirksamen Spektralbereiche sind aus

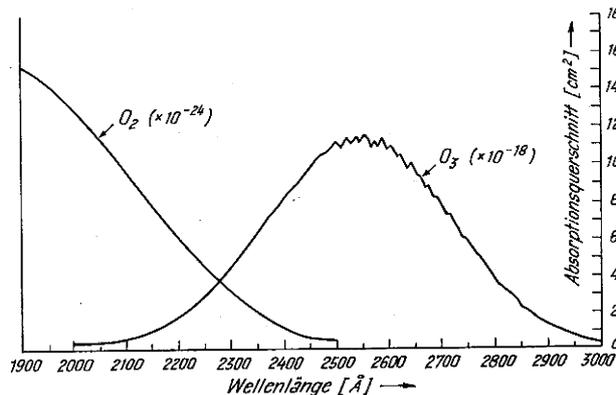


Abb. 2  
Absorptionswirkungsquerschnitt für  $O_2$  und  $O_3$

den Absorptionsquerschnitten für  $O_2$  und  $O_3$  (5) zu entnehmen (Abb. 2). Danach beginnt der Absorptionsbereich des molekularen Sauerstoffs unterhalb von 2420 Å im HERZBERG-Kontinuum. Die untere Grenze des absorbierten Spektralbereichs liegt für Höhen unterhalb 50 km bei etwa 1850 Å, da die Strahlung des SCHUMANN-RUNGE-Kontinuums unterhalb 1800 Å in Höhen oberhalb 50 km vom Sauerstoff absorbiert wird und somit eine geringere Eindringtiefe als die Strahlung des HERZBERG-Kontinuums besitzt (6) (7). In diesem Wellenlängenbereich führt die Dissoziationsreaktion [1] zu zwei Sauerstoffatomen im Grundzustand:  $O(^3P)$  (2). Das Ozon absorbiert das UV-Spektrum im Bereich von 2300–3000 Å, in der HARTLEY-Bande. Das Maximum des Absorptionsquerschnitts liegt etwa bei 2550 Å. In diesem Fall befinden sich der atomare sowie der molekulare Sauerstoff, die Dissoziationsprodukte der Reaktion [2] in ihrem ersten angeregten Zustand:  $O(^1D)$  bzw.  $(^1\Delta g)$ . Weitere Absorptionsgebiete des Ozons liegen in der HUGGINS- (3200–3500 Å) und CHAPPUIS-Bande (4500–7500 Å) (8), die jedoch für die Erwärmung der  $O_3$ -Schicht von geringer Bedeutung sind.

Der das photochemische Gleichgewicht in der oberen Stratosphäre und Stratopause bestimmende Spektralbereich liegt also zwischen 1850 und 3000 Å. Dieser wird im folgenden den Betrachtungen der Untersuchung zugrunde gelegt. Bei Raketenanstiegen wurde festgestellt, daß die Temperaturstruktur und die Ozonkonzentration in 35–50 km Höhe zeitlichen und örtlichen Variationen unterworfen sind. Es liegt nahe, den Grund zur Erklärung dieses Phänomens in solaren Intensitätsschwankungen zu suchen; dies um so mehr, da Schwankungen des kurzwelligen und extremen UVs unterhalb 1800 Å bereits bekannt sind. Die Bestätigung dieser oft diskutierten Hypothese würde den Zusammenhang zwischen solaren Vorgängen und meteorologischen Auswirkungen verständlich machen (9) (10) (11) (12).

### 2. Aufgabenstellung (Forderungen an den Meßfühler)

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, einen Satelliten-Meßfühler unter physikalischen Aspekten zu entwerfen und unter Laborbedingungen zu erstellen, der es gestattet, fortlaufende extraterrestrische Meßdaten über eventuelle Schwankungen der ozonbildenden und ozonauflösenden Komponente der solaren UV-Strahlung zu gewinnen. Im Hinblick auf den Verlauf der Absorptionsquerschnitte von Sauerstoff und Ozon (Abb. 2) erfaßt man die photochemischen Reaktionen sowie die darauf beruhenden meteorologischen Auswirkungen am günstigsten durch Messung der ozonbildenden Komponente im Bereich von 1850–2300 Å und der ozonauflösenden Komponente im Bereich von 2300–3000 Å. Hierbei sollten nur Strahlungsschwankungen, die größer als 10% sind, meteorologisch bedeutend sein.

Aus dieser Aufgabenstellung ergeben sich folgende Forderungen an den Satelliten-Meßfühler:

- a) Die beiden UV-Bereiche 1850–2300 Å und 2300 bis 3000 Å müssen aus dem Sonnenspektrum ausgesondert werden. Dabei ist zu bemerken, daß entsprechend der extraterrestrischen Spektralverteilung der Sonne (Tab. 1) die zu untersuchenden Bereiche nur 0,10% (0,140 mW cm<sup>-2</sup>) bzw. 1,10% (1,49 mW cm<sup>-2</sup>) zur Gesamtintensität beitragen.
- b) Die Meßgenauigkeit sollte  $\pm 5\%$  betragen.
- c) Im Meßfühler sollten nach Möglichkeit Kontrollmöglichkeiten vorgesehen sein, die etwaige Veränderungen der Bauelemente anzeigen. Neben den üblichen Kontrollen von Temperaturen und Referenzspannungen der Elektronik muß eine möglichst konstante UV-Prüfstrahlung zur Verfügung stehen, die während der langen Flugzeit vor allem Veränderungen der optischen Bauelemente kontrollieren kann.

- d) Die Signalgrößen sollten von kleineren Ausrichtungsschwankungen des Satelliten auf die Sonne unabhängig sein. Es wird sich empfehlen, einen Ausrichtungssensor vorzusehen, der bei Überschreiten der zulässigen Schwankung den Meßfühler abschaltet.
- e) Der Meßfühler sollte eine möglichst geringe Temperaturabhängigkeit aufweisen.
- f) Die verwendeten Bauelemente sollten weltraumfest (shock-, vibrationsfest), klein, leicht und sparsam im Energieverbrauch sein.

### 3. Extraterrestrische Solarstrahlung: Solarkonstante und Spektralverteilung der Sonne

Die Solarkonstante  $I_0$  gibt die integrale Bestrahlungsstärke der Sonne außerhalb der Erdatmosphäre für senkrechten Strahleinfall und mittleren Abstand Erde-Sonne an. Ältere Werte der Solarkonstanten beziehen sich auf Intensitätsmessungen, die auf der Erdoberfläche durchgeführt wurden. Diese Werte wurden dann auf die Verhältnisse außerhalb der Atmosphäre hin

extrapoliert; insbesondere sind ihnen UV- und Infrarot-Anteile zugeschlagen worden, Anteile, die bei Bodenmessungen nicht erfaßt werden konnten. Die bekannten Beobachtungen des Smithsonian Instituts (Washington) ergaben nach dieser Methode für  $I_0$  einen Wert von  $134,9 \text{ mW cm}^{-2}$  entsprechend  $1,934 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$  (13). JOHNSON et al. (14) führten 1954 erstmals Raketenanstiege zur direkten Bestimmung des UV-Anteils der Sonne im Bereich  $2200-3400 \text{ \AA}$  durch. Für den Bereich oberhalb  $3400 \text{ \AA}$  wurden die Bodenmessungen zugrunde gelegt. Weiterhin wurden die früheren Infrarotkorrekturen überprüft und neu festgesetzt. Mit diesen Ergebnissen gab JOHNSON (15) die spektralen Bestrahlungsstärken im Bereich von  $2200-70\,000 \text{ \AA}$  an und berechnete  $I_0$  zu  $139,6 \text{ mW cm}^{-2}$  bzw.  $2,002 \text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ . Der neuere Wert der Solarkonstanten  $I_0 = 135,1 \text{ mW cm}^{-2}$  stammt von THEKAEKARA (16). Von einem Forschungsflugzeug aus wurde in  $11\,600 \text{ m}$  Höhe das Sonnenspektrum neu vermessen. Acht verschiedene Apparaturen erfaßten den Spektralbereich von  $3000-15\,000 \text{ \AA}$ . In dem UV-Bereich von  $1400-2600 \text{ \AA}$  beruft sich THEKAEKARA auf die Werte von DETWILER et al. (17)

Zahlenwerte der spektralen Bestrahlungsstärke nach THEKAEKARA (16) sowie der Photonenzahl pro Quadratzentimeter, Sekunde und  $100 \text{ \AA}$  (Verfasser).

Wellenlänge A	spektr. Bestrahlungsstärke $\text{W cm}^{-2}(100 \text{ \AA})^{-1}$	Energie des Photons W sec	Zahl d. Photonen N $\text{N cm}^{-2}\text{sec}^{-1}(100 \text{ \AA})^{-1}$
1 400	$4,8 \times 10^{-8}$	$1,41 \times 10^{-18}$	$3,40 \times 10^{10}$
1 500	$1,76 \times 10^{-7}$	1,32 "	$1,33 \times 10^{11}$
1 600	5,9 "	1,24 "	4,75 "
1 700	$1,5 \times 10^{-6}$	1,16 "	$1,29 \times 10^{12}$
1 800	3,5 "	1,10 "	3,17 "
1 900	7,6 "	1,04 "	7,28 "
2 000	$1,30 \times 10^{-5}$	$9,93 \times 10^{-19}$	$1,31 \times 10^{13}$
2 100	2,69 "	9,45 "	2,85 "
2 200	5,75 "	9,02 "	6,37 "
2 300	6,67 "	8,63 "	7,73 "
2 400	6,30 "	8,27 "	7,62 "
2 500	7,04 "	7,94 "	8,87 "
2 600	$1,30 \times 10^{-4}$	7,63 "	$1,70 \times 10^{14}$
2 700	2,32 "	7,35 "	3,16 "
2 800	2,22 "	7,90 "	3,13 "
2 900	4,82 "	6,84 "	7,05 "
3 000	5,14 "	6,62 "	7,76 "
3 100	6,86 "	6,40 "	$1,07 \times 10^{15}$
3 200	8,19 "	6,20 "	1,32 "
3 300	$1,037 \times 10^{-3}$	6,01 "	1,73 "
3 400	1,050 "	5,84 "	1,80 "
3 500	1,074 "	5,67 "	1,89 "
4 000	1,433 "	4,96 "	2,89 "
5 000	1,946 "	3,97 "	4,90 "
6 000	1,646 "	3,31 "	4,97 "
7 000	1,369 "	2,83 "	4,84 "
8 000	1,107 "	2,48 "	4,46 "
9 000	$8,89 \times 10^{-4}$	2,20 "	4,02 "
10 000	7,46 "	1,98 "	3,77 "
15 000	2,87 "	1,32 "	2,17 "
20 000	1,03 "	$9,93 \times 10^{-20}$	1,04 "
25 000	$5,4 \times 10^{-5}$	7,94 "	$6,80 \times 10^{14}$
30 000	3,1 "	6,62 "	4,68 "
35 000	1,46 "	5,67 "	2,57 "
40 000	$9,5 \times 10^{-6}$	4,96 "	1,92 "
50 000	3,83 "	3,97 "	$9,65 \times 10^{13}$
60 000	1,75 "	3,31 "	5,29 "
70 000	$9,9 \times 10^{-7}$	2,83 "	3,50 "
80 000	6,0 "	2,48 "	2,42 "
90 000	3,8 "	2,20 "	1,73 "
100 000	2,5 "	1,98 "	1,26 "
200 000	$1,6 \times 10^{-8}$	$9,93 \times 10^{-21}$	$1,61 \times 10^{12}$

und im Bereich 2600–3000 Å auf die JOHNSONschen Werte. Diese Meßwerte sind sämtlich durch Raketenanstiege gewonnen und somit als Momentanwerte anzusehen. Im Gebiet von 15 000–20 000 Å wurde die Kurve der Spektralverteilung extrapoliert. Insgesamt stehen also die spektralen Bestrahlungsstärken für das Gebiet von 1400–20 000 Å zur Verfügung. In der Tabelle (S. 5) sind die spektralen Bestrahlungsstärken korrigiert auf extraterrestische Verhältnisse in Einheiten von  $W\text{ cm}^{-2}$  ( $100\text{ Å})^{-1}$  zusammengestellt. Ferner sind die Energie der Photonen in  $W\text{sec}$  und der Photonenstrom als Zahl der Photonen  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  ( $100\text{ Å})^{-1}$  angegeben. Das Integral über die Werte ist die Solarkonstante  $I_0 = 135,1\text{ mW cm}^{-2}$  entsprechend  $1,936\text{ cal cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ . Für die theoretischen Rechnungen dieser Arbeit werden im folgenden diese Werte der Spektralverteilung und der Solarkonstante zugrunde gelegt.

#### 4. Grundsätzliche Betrachtungen zur Lösung des Meßproblems

Die Größe der elektrischen Signale ist für die Lösung der vorliegenden Aufgabe von grundlegender Bedeutung. Es stellt sich also die Frage, ob die elektrischen Signale ausreichen, um eine Telemetrie von Bord des Satelliten aus zu ermöglichen.

Zur Klärung wird im folgenden der spektrale Photostrom abgeschätzt. Als Repräsentant der betrachteten Spektralbereiche werden die Wellenlängen 2000 Å und 2500 Å mit einem jeweils 100 Å breiten Wellenlängenintervall gewählt. Nach THEKAEKARA (s. Tab.) ergeben sich für diese Intervalle folgende spektrale Bestrahlungsstärken und Photonzahlen.

2000 Å :	$1,3 \cdot 10^{-5}\text{ W cm}^{-2}$	bzw. $1,3 \cdot 10^{13}\text{ Photonen cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$
2500 Å :	$7,0 \cdot 10^{-5}\text{ W cm}^{-2}$	bzw. $8,9 \cdot 10^{13}\text{ Photonen cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$

Aus den Photonzahlen und der Elementarladung erhält man zu vorgegebenen Quantenausbeuten  $Q$  die entsprechenden spektralen Photoströme  $i_\lambda$ .

$Q$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	Elektronen/ Photon
$i_{2000\text{ Å}}$	$2 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$\text{A cm}^{-2}$
$i_{2500\text{ Å}}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$\text{A cm}^{-2}$

Zur endgültigen Festlegung der Werte für  $i_\lambda$  ist noch die Durchlässigkeit der Meßapparatur zu beachten. Bei Spektralapparaten mit optischen Bauelementen (Prismen und Spiegel) oder Interferenzfiltern kann man als Mindestwert für die Durchlässigkeit 10% annehmen. Unter dieser Voraussetzung verringern sich die oben angegebenen Photoströme jeweils um eine Größenordnung. Mit Elektrometer-Operationsverstärkern ist es ohne Schwierigkeiten möglich, Eingangsströme von  $10^{-12}\text{ A}$  so zu verstärken, daß die Ausgangssignale die Bedingungen der Telemetrie erfüllen.

Nach dieser Abschätzung kann die eingangs gestellte Frage dahingehend beantwortet werden, daß bei Verwendung von Photodioden als Strahlungsempfänger nur Kathodenmaterialien eingesetzt werden dürfen, deren Quantenausbeute in dem betrachteten Spektralbereich oberhalb  $10^{-5}$  Elektronen/Photon liegen.

#### 5. Aufbau der Meßfühler

Zur Realisierung des Meßziels wurden zwei Typen von Spektralapparaten zeitlich parallel entwickelt – eine Filterapparatur und eine Prismenapparatur. Beide Apparaturen stellen für das vorliegende Problem echte Alternativen dar und werden im folgenden beschrieben.

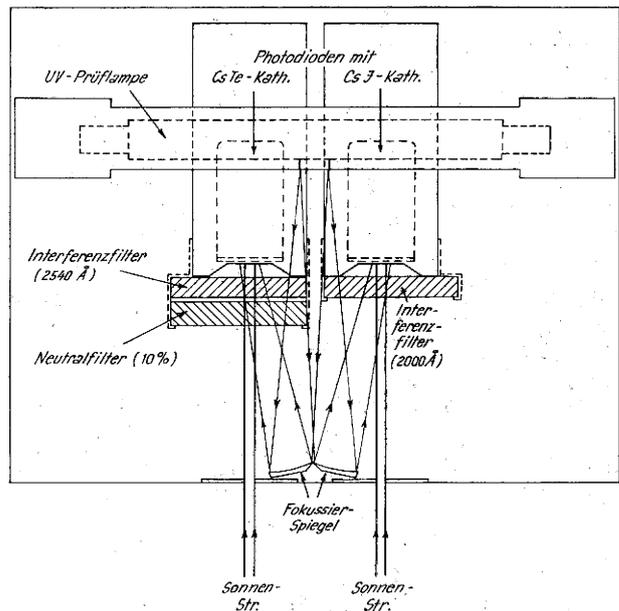


Abb. 3  
Filterapparatur

### 5.1. Filterapparatur

#### 5.1.1. Gesamtanordnung

Der Aufbau der Filterapparatur ist in Abb. 3 dargestellt. Die Sonnenstrahlung fällt durch zwei Eintritsöffnungen auf je eine Kombination von Interferenzfilter und Photodiode. Beide Photodioden sind in einem Abstand von 40 mm nebeneinander in einem Aluminiumblock montiert. Oberhalb der Photodioden ist eine Prüflampe angebracht, deren Licht über zwei gegenüberliegende, verstellbare sphärische Spiegel auf die Interferenzfilter-Photodioden-Kombination gelenkt wird. Unterhalb der Photodioden ist ein Richtungs-

teleskop angeordnet (in Abb. 3 nicht dargestellt), das bei zu großen Ausrichtungsschwankungen des Satelliten auf die Sonne den Meßvorgang schaltungstechnisch unterbricht.

#### 5.1.2. Beschreibung der Bauelemente

Die Eintritsöffnungen sind Kreisblenden mit einem Durchmesser von 3 mm. Die Größe des Durchmessers ist einmal bestimmt durch die Größe der auszuleuchtenden Flächen auf den Photokathoden unter Berücksichtigung von Ausrichtungsschwankungen des Satelliten; zum anderen war beabsichtigt, die solaren Photoströme gegenüber den von der Prüflampe erzeugten Photoströmen so zu begrenzen, daß sie ohne Meßbereichumschaltung gemessen werden können.

Die Kathodenflächen der Filter-Photodioden-Kombinationen liegen 70 mm hinter den Eintritsöffnungen. Im Zentrum der Photokathoden wird von der senkrecht auffallenden Strahlung jeweils eine Fläche von  $7\text{ mm}^2$  ausgeleuchtet. Bei Ausrichtungsschwankungen des Satelliten auf die Sonne von  $\pm 1,5^\circ$  liegt die ausgeleuchtete Kathodenfläche innerhalb eines Kreises von 7 mm Durchmesser. In diesem Bereich zeigen die Photodioden eine relativ homogene Kathodenempfindlichkeit (s. 7.1.2.). Die eingesetzten Empfänger sind weltraumfest gekapselte Vakuum-Photodioden der Firma EMR (USA)

und besitzen semitransparente Photokathoden, die auf Saphirfenster ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) aufgedampft sind.

#### Strahlungsempfänger

Die Kombination für die ozonbildende Komponente besteht aus einer Photodiode mit Cäsiumjodid-Kathode vom Typ 540 G-05-00M1 (CsJ-Photodiode) plus vorgesetztem Ealing-TFP-Interferenzfilter, dessen maximale optische Durchlässigkeit bei 2000 Å liegt.

Für die ozonauflösende Komponente besteht die Kombination aus einer Photodiode mit Cäsiumtellurid-Kathode vom Typ 540 F-05-00 M1 (CsTe-Photodiode) plus vorgesetztem Ealing-TFP-Interferenzfilter mit einer maximalen optischen Durchlässigkeit bei 2540 Å.

Außerdem ist der letzten Anordnung als Schutz vor zu großen Kathodenbelastungen noch ein Neutral-Schwächungsfilter derselben Firma vorgeschaltet, das die auffallende Strahlung aselectiv auf 10% schwächt. Die Firma EMR gibt als Größenordnung für den maximalen Photostrom  $10^{-8}$  A an; dies im Hinblick auf einen stabilen Langzeitbetrieb. Die spektralen Quantenausbeuten der Photodioden zeigt Abb. 4; die spektralen Durchlässigkeiten der Interferenzfilter sind in Abb. 5 dargestellt.

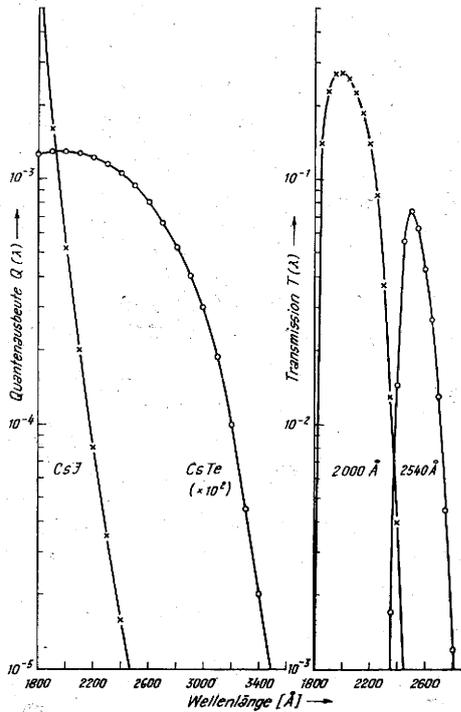


Abb. 4  
Quantenausbeute  $Q(\lambda)$

Abb. 5  
Filtertransmission  $T(\lambda)$

#### Prüflampe

Die eingesetzte Prüflampe ist eine Spezialanfertigung des Quecksilber-Niederdruckbrenners vom Typ NK4/4 der Quarzlampengesellschaft Hanau. Die Lampe hat eine Länge von 150 mm und einen Durchmesser von 15 mm. Die zwischen den Elektroden brennende Entladung wird durch eine 10 mm lange Kapillare konzentrisch eingeschnürt, so daß sich eine Leuchtfläche mit einer stabilen Strahlungsemission ausbilden kann. Da neben der zweiten Hg-Resonanzlinie bei 2537 Å auch die erste bei 1850 Å als Prüfstrahlung verwendet wird, wurde der Lampenkörper aus Suprasil gefertigt, dessen optische Durchlässigkeit bei 1850 Å noch etwa 85% beträgt. Zur Vermeidung thermischer Verluste an der Kapillare durch Konvektion wurde der gesamte Lampenkörper mit einem zweiten evakuierten Suprasilkolben umhüllt. Ferner wurde die Lampe bis auf eine Öffnung von 8 x 10 mm mit Aluminium und einer Quarzschicht verspiegelt. Durch diese Maßnahmen war es möglich, die ursprüngliche Leistungsaufnahme von 4 W auf 0,6 W zu reduzieren (s. 7.1.3.). Die Lampe ist zum Schutz in ein Messinggehäuse mit einer Austrittsöffnung von 9 mm eingesetzt. Die Prüfstrahlung verläßt die Lampe senkrecht zur Kapillarachse und fällt auf zwei sphärische Hohlspiegel (14 x 14 mm) mit der Brennweite  $f = 50$  mm. Beide Spiegel sind auf einer gemeinsamen Platte montiert, die gegen die Vertikale geneigt werden kann. Außerdem sind die Spiegel jeweils getrennt gegen die Horizontale verstellbar. Sie sind so justiert, daß die Prüfstrahlung auf die jeweilige Filter-Photodioden-Kombination fällt. Somit wird der Teil der Filter- und Photokathoden geprüft, der auch von der Sonnenstrahlung getroffen wird. Die Gleichspannungsversorgung der Prüflampe erfolgt durch ein Netzgerät der Quarzlampengesellschaft Hanau.

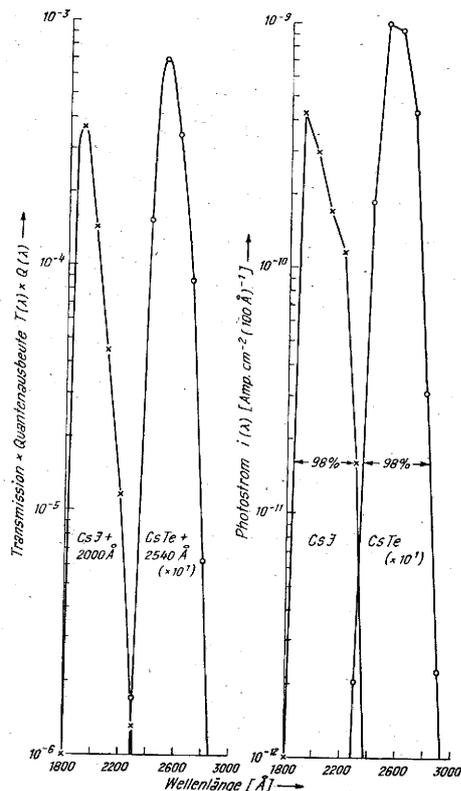


Abb. 6  
 $T(\lambda) \cdot Q(\lambda)$

Abb. 7  
Photostrom  $i(\lambda)$

#### Ausrichtungssensor

Der Ausrichtungssensor befindet sich unterhalb der Photodioden. Die Sonnenstrahlung fällt durch eine Eintrittsöffnung von 1 mm in einen Tubus, an dessen Ende sich ein Siliziumelement befindet. Die Länge des Tubus beträgt 120 mm, der Durchmesser 10 mm. Die Größe des Siliziumelements ist so gewählt, daß bei Ausrichtungsschwankungen um  $\pm 1,5^\circ$  das Element nicht mehr von der Sonnenstrahlung getroffen wird und keinen Photo-

strom mehr liefert. Eine Relaischaltung bewirkt dann die Unterbrechung des gesamten Meßvorgangs.

Die Struktur der Apparatur besteht aus Aluminium, das im Falle eines Satelliteneinsatzes aus Gewichtsründen durch Magnesium zu ersetzen ist; das Gewicht beträgt dann etwa 1,6 kg, das Volumen ca. 2800 cm<sup>3</sup>. Diese Daten gelten nur für den optischen Teil der Apparatur; Versorgungsgeräte und elektrische Bauelemente sind nicht berücksichtigt. Der Gesamtleistungsbedarf liegt bei etwa 3 W.

### 5.1.3. Funktionsweise

Solange sich der Satellit auf der Tagseite der Umlaufbahn befindet, ist die Apparatur auf die Sonne ausgerichtet. Die Photodioden registrieren kontinuierlich die Intensität der UV-Strahlung. In Abständen von einigen Tagen wird nachts die UV-Prüflampe eingeschaltet. Die Abstände werden durch die Größe der Intensitätsschwankungen bestimmt. Für die Lampe ist eine Einbrennzeit von 20 min. zu berücksichtigen.

## 5.2. Prismenapparatur

### 5.2.1. Gesamtanordnung

In Abb. 8 ist der Aufbau der Prismenapparatur dargestellt. Die durch die Eintrittsöffnung eintretende, fast parallele Sonnenstrahlung fällt unter 45° auf einen teildurchlässigen Planspiegel S<sub>1</sub> aus Suprasil, der zur Einspiegelung der Prüfstrahlung in den optischen

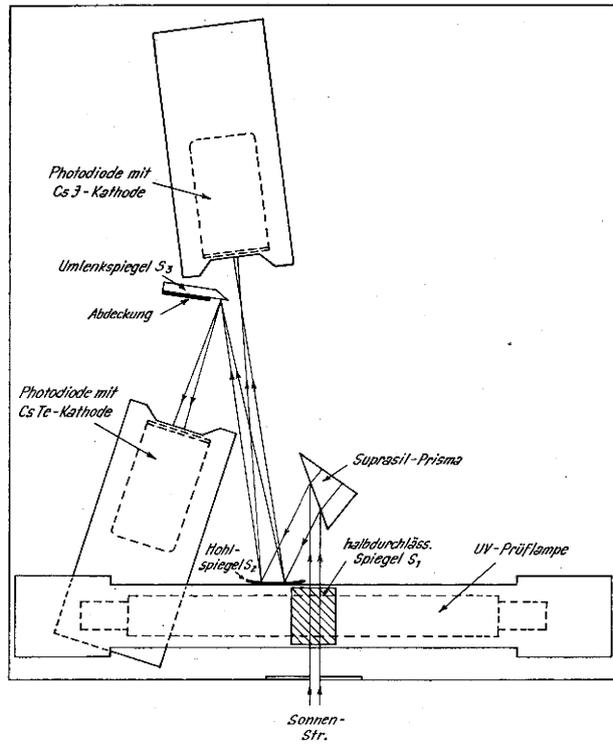


Abb. 8  
Prismenapparatur

Strahlengang dient. Die Strahlung trifft dann unter 70° auf ein rückseitig verspiegeltes Suprasilprisma und tritt dispergiert durch die Eintrittsfläche wieder aus. Ein sphärischer Hohlspiegel S<sub>2</sub> fokussiert das Spektrum in der Ebene des Planspiegels S<sub>3</sub>. Durch S<sub>3</sub> wird die ozonauflösende Komponente auf die CsTe-Photodiode gelenkt, während die ozonbildende Komponente an dem Planspiegel S<sub>3</sub> vorbei die CsJ-Photodiode trifft.

### 5.2.2. Beschreibung der Bauelemente

Die Eintrittsöffnung hat einen Durchmesser von 2,4 mm, entsprechend einer Fläche von 4,5 mm<sup>2</sup>. Die Größe der Fläche ist bestimmt durch die effektive Prismenfläche unter Berücksichtigung des Einfallwinkels von 70° und der Ausrichtungsschwankung auf die Sonne.

Der hinter der Eintrittsöffnung liegende Planspiegel S<sub>1</sub> (18 x 20 mm) ist partiell verspiegelt, um einerseits die Sonnenstrahlung teilweise durchzulassen und andererseits die Prüfstrahlung vorzugsweise zu reflektieren. Die Dicke der Spiegelschicht ist so bemessen, daß S<sub>1</sub> ein Transmissionsvermögen von 30% und ein Reflexionsvermögen von ca. 70% besitzt.

Im Abstand von 70 mm hinter der Eintrittsöffnung trifft die Strahlung unter 70° auf ein rückseitig verspiegeltes Suprasilprisma. Das Prisma wurde von der Firma C. Leiss, Berlin, hergestellt. Es hat einen brechenden Winkel von 32°, eine Frontfläche von 17,5 x 20 mm und eine Basislänge von 15 mm. Für den Gesamtbereich von 1850–3000 Å beträgt die Winkeldispersion 7,6°.

Der sphärische Hohlspiegel S<sub>2</sub> (20 x 20 mm) mit der Brennweite f<sub>2</sub> = 100 mm fokussiert die dispergierte Strahlung. In der Brennebene beträgt die lineare Dispersion für den Bereich 1850–2300 Å: 8,8 mm und für 2300–3000 Å: 5,1 mm (s. 7.4.1.).

Der Planspiegel S<sub>3</sub> (20 x 24 mm) dient zur Trennung der beiden Spektralkomponenten in der Brennebene von S<sub>2</sub>. Der Spiegel wird in einem Metallrahmen geführt und ist in der Horizontalen verschiebbar. Die ozonbildende Komponente fällt an S<sub>3</sub> vorbei auf die CsJ-Photodiode. Da der Spiegel schräg im Strahlengang steht und die Trennung möglichst scharf sein soll, wurde der Spiegel mit einer angeschliffenen 30°-Kante versehen. Die Kante wurde unter Verwendung eines UV-Standards nach KREFFT, RÖSSLER und RÜTTENAUER (18) (Firma Osram) – eines Linienstrahlers – so justiert, daß der Bereich 1850–2300 Å zur Messung gelangt. Die langwellige Begrenzung der ozonauflösenden Komponente wird durch die Justierung eines von S<sub>3</sub> verschiebbaren Bleches erreicht, welches zur Absorption des langwelligen Bereiches mit Parsons Black geschwärzt war. Somit trifft auf die CsTe-Photodiode der Bereich 2300–3000 Å.

Als UV-Prüflampe wird der unter 5.1.2. erwähnte Quecksilber-Niederdruckbrenner verwendet. Die Prüflampe ist oberhalb des teildurchlässigen Spiegels S<sub>1</sub> montiert. Zur besseren Strahlführung ist vor die Austrittsöffnung ein Tubus mit 8 mm Durchmesser und 40 mm Länge gesetzt. Die Strahlung verläßt den Tubus divergent mit einem Öffnungswinkel von ca. 22° und wird nach 70%iger Reflexion unter 45° an S<sub>1</sub> auf das Prisma gelenkt. Durch die Prüfstrahlung werden alle optischen Bauelemente außer S<sub>1</sub> auf eventuelle Veränderungen hin kontrolliert. Auf Grund der Divergenz wird das Spektrum der Prüfstrahlung in der Ebene von S<sub>3</sub> nur unscharf abgebildet. Diese Tatsache erwies sich als bedeutungslos, da nach einmaliger Justierung die Lage der Prüflampe und damit auch der Spektralbereich der Prüfstrahlung, der auf die beiden Photodioden fällt, festgelegt ist. Die CsJ-Photodiode empfängt hauptsächlich die Hg-Resonanzlinie bei 1850 Å, die CsTe-Photodiode die zweite Resonanzlinie bei 2537 Å. Dieser Teil des Spektrums besteht aus Liniengruppen und dem überlagerten schwachen Hg-Kontinuum.

Aus den Meßergebnissen (s. 7.4.5.) ergibt sich für die Prismenapparatur eine zulässige Ausrichtungsschwankung von weniger als 0,1°. Zur Einhaltung dieser For-

derung muß der im Satelliten befindliche Ausrichtungssensor üblicherweise benutzt werden.

Das Volumen der Apparatur - bisher 6000 cm<sup>3</sup> - kann noch weiter reduziert werden. Unter Verwendung von Magnesium wird das Gewicht des optischen Teils auf 2,5 kg geschätzt.

### 5.2.3. Funktionsweise

Es gilt das gleiche wie unter 5.1.3.

## 5.3. Vorzerleger

### 5.3.1. Aufgabe des Vorzerlegers

Breibt man ein Spektrometer mit aselectiven Empfängern ohne Verwendung von Filtern im mittleren UV der Solarstrahlung, so erhebt sich die Frage nach der Beseitigung des Streulichts aus dem sichtbaren Bereich. Wie aus Tab. 1 ersichtlich, liegt die Intensität im Sichtbaren um ca. zwei Größenordnungen höher als bei 2000 Å. Im Hinblick auf eventuelle feinere Spektralmessungen mit der Prismenapparatur unter Benutzung aselectiver Empfänger wurde ein Vorzerleger in der Art, wie er sich schon bei extraterrestrischen Messungen bewährt hat (19), berechnet, hergestellt und auf seine Eigenschaften hin untersucht. Aufgabe des Vorzerlegers ist es, die ultraviolette Komponente der extraterrestrischen Solarstrahlung von der sichtbaren Komponente zu trennen.

### 5.3.2. Gesamtanordnung

Der Vorzerleger gleicht in seinem Aufbau (Abb. 9) einem Doppelmonochromator mit der Gesamtdispersion Null. Die fast parallele Sonnenstrahlung fällt auf das FÉRY-Prisma P<sub>1</sub>, das die Strahlung dispergiert und zugleich fokussiert. Die dispergierte Strahlung wird nach

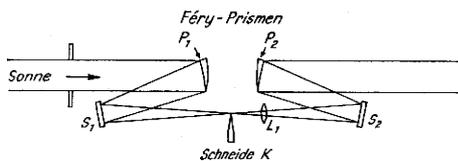


Abb. 9  
Strahlengang im Vorzerleger

Umlenkung durch den Planspiegel S<sub>1</sub> in der Ebene der Schneide K fokussiert. Ein Teil des Spektrums wird durch K ausgeblendet, der andere Teil trifft mit geringer Divergenz auf die Linse L<sub>1</sub>, den Planspiegel S<sub>2</sub> und das FÉRY-Prisma P<sub>2</sub>. Die Strahlung verläßt P<sub>2</sub> als paralleles Bündel.

### 5.3.3. Beschreibung der Bauelemente

Der Durchmesser der Eintrittsöffnung beträgt 15 mm und ist bestimmt durch die Größe der FÉRY-Prismen. Die Verwendung von FÉRY-Prismen hat den Vorteil, daß Dispersion und Fokussierung durch nur ein optisches Element ausgeführt wird. Das Prisma hat einen Durchmesser von 15 mm; die Frontseite ist eben, während die Rückseite sphärisch geschliffen und verspiegelt ist (20). Aufgrund der Verspiegelung verdoppelt sich der brechende Winkel von etwa 5°. Aus dem Krümmungsradius von 440 mm berechnet sich die mittlere Brennweite des Prismas zu 146 mm. Das hier benutzte FÉRY-Prisma mit ebener Frontfläche ist eine Abwandlung des in der Literatur unter dem gleichen Begriff erwähnten Prismas (21), (22), (23), (24), (25), welches zwei

sphärische oder zylindrische Flächen mit endlichen Krümmungsradien besitzt. In der Brennebene des Prismas P<sub>1</sub> befindet sich die mittels Zug- und Druckschraube justierbare Schneide K. Wegen des Öffnungswinkels von 0,5° wird die Sonne in der Brennebene als Scheibe mit einem Durchmesser von 1,3 mm abgebildet. Da diese Abbildung für alle Wellenlängen gilt, überlappen sich wegen der hinzukommenden Dispersion die zu verschiedenen Wellenlängen gehörenden Spektralscheiben der Sonne teilweise. Diese Tatsache bedingt eine gewisse Unschärfe in der Trennung der Spektralbereiche. Die lineare Dispersion beträgt in der Ebene von K für den Bereich 1850 - 3000 Å etwa 2,1 mm. Die untere Grenze des auf das zweite Prisma P<sub>2</sub> fallenden Spektralbereichs liegt bei 1800 Å. Sie ergibt sich aus der Durchlässigkeit des optischen Mediums Suprasil und dem Reflexionsvermögen der Spiegelbeläge. Die Feldlinse L<sub>1</sub> hat einen Durchmesser von 6 mm und befindet sich unmittelbar hinter der Schneide K. Sie bildet P<sub>1</sub> auf P<sub>2</sub> ab und sorgt für eine definierte Strahlführung. Der Abstand P<sub>1</sub>L<sub>1</sub> entspricht der doppelten Brennweite von L<sub>1</sub>. Da P<sub>1</sub> und P<sub>2</sub> im Abstand ihrer doppelten Brennweite voneinander entfernt sind, verläßt der durchgelassene Spektralbereich P<sub>2</sub> als paralleles Strahlenbündel. Die subtraktive Anordnung der FÉRY-Prismen macht die von P<sub>1</sub> hervorgerufene Dispersion durch P<sub>2</sub> wieder rückgängig. Durch eine zweite Linse L<sub>2</sub> (in Abb. 9 nicht abgebildet) kann das Strahlenbündel auf den Eintrittsspalt eines Endzerlegers fokussiert werden oder aber wie im vorliegenden Fall unter Verzicht auf L<sub>2</sub> parallel in die Prismenapparatur einfallen. Um die Abmessungen des Vorzerlegers möglichst klein zu halten, wird der Strahlengang durch die beiden Planspiegel S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> gefaltet. Dadurch ist der Einbau in ein Rohr mit 50 mm Durchmesser und 200 mm Länge möglich.

## 5.4. Elektronische Ausrüstung

Die Betriebsspannung der Photodioden wurde zu +50 V gewählt und wird von einer Anodenbatterie geliefert. Nach eigenen Untersuchungen und Angaben des Herstellers beginnt der Sättigungsbereich der Photodiode im Stromspannungsdiagramm oberhalb 30 V. Dieser Wert gilt für Photoströme von etwa 10<sup>-8</sup> A.

Die Verstärkung der Photoströme erfolgt durch Elektrometer-Operationsverstärker der Firma Keithley vom Typ Mod. 300. Im vorliegenden Fall werden die Verstärker als lineare Stromverstärker mit vollständiger Rückkopplung betrieben. Die Rückkopplungselemente R<sub>fb</sub> sind Hochohmwiderstände, die entsprechend der Größe der Photoströme variiert werden können. Es stehen Widerstände von 10<sup>8</sup> bis 10<sup>13</sup> Ohm zur Verfügung. Die maximale Ausgangsspannung beträgt 11 V bei 11 mA. Zwischen Ausgangsspannung V<sub>a</sub>, Eingangsstrom i<sub>e</sub> und Rückkopplungswiderstand R<sub>fb</sub> gilt bei vollständiger Rückkopplung folgende einfache Beziehung:

$$V_a = -i_e \cdot R_{fb}$$

Die Genauigkeit der Hochohmwiderstände von ±3 bis ±5% bestimmt den Meßfehler der Photoströme. Die Versorgungsspannungen für die Verstärker von ±16 V liefern hochstabilisierte Labornetzgeräte. Jeder Verstärker hat einen Leistungsbedarf von 0,7 W. Zur Registrierung der Photoströme wurde ein Zweikanalschreiber (Typ Servogor 2, Firma Metrawatt) verwendet.

Die Gleichspannungsversorgung der UV-Prüflampe erfolgt durch ein netzbetriebenes Versorgungsgerät der Quarzlampengesellschaft Hanau unter Vorschaltung eines Wechsellspannungsstabilisators. Das Versorgungsgerät liefert eine Zündspannung von 900 V<sub>-</sub> und eine Brennspannung von 200 V<sub>-</sub> bei einem Lampenstrom

von 20 mA. Zur Reduzierung der elektrischen Leistung wurden 160 kOhm in Serie zur Lampe gelegt. Danach betragen die Lampenbetriebsdaten 165 V und 3,6 mA, entsprechend einer Leistungsaufnahme von 0,6 W.

## 6. Sonnenähnliche Strahlung im Labor

### 6.1. Allgemeines

Für alle Probleme, die die Solarstrahlung betreffen, ist es erforderlich, im Labor eine Strahlungsquelle zu erstellen, deren Spektralverteilung in etwa derjenigen der Sonne (Tab. 1) gleicht. In größeren Sonnensimulatoren werden als Strahlungsquellen Xenon-Hochdrucklampen hoher Leistung (bis 6,5 kW) verwendet. Das Spektrum der Xenon-Hochdrucklampe besteht aus einem Kontinuum mit überlagerten druckverbreiterten Spektrallinien. Die Spektrallinien liegen vorwiegend im sichtbaren und infraroten Gebiet. Durch Vorschalten geeigneter Filter kann in gewissen Spektralbereichen das Spektrum dem Sonnenspektrum angeglichen werden.

### 6.2. Aufbau der sonnenähnlichen Strahlungsquelle

Zur Untersuchung der Meßfühler wurde eine Strahlungsquelle mit einer Xenon-Hochdrucklampe vom Typ XBO 450 W/4 (Fa. Osram) als Strahler betrieben. Diese Lampe besitzt einen Lampenkolben aus Suprasil zwecks höherer Strahlungsemission im mittleren UV. Die Lampe ist in ein Metallgehäuse (45 × 28 × 45 cm) eingebaut und wird durch einen Lüfter, wie er für Kinolampen üblich ist, gekühlt. Zwei Spiegelsysteme (A und B) dienen zur Strahlführung. Das System A besteht aus zwei sphärischen Spiegeln  $H_1$ ,  $H_2$ , die im Abstand  $2 f_1 = 87$  mm und  $f_2 = 225$  mm diametral zur Lampe angeordnet sind. Für beide Spiegel ist eine Justiermöglichkeit mit drei Freiheitsgraden vorgesehen, nämlich Translation in einer Richtung und Drehung um zwei zueinander senkrechten Achsen. Durch  $H_1$  kann einerseits das leuchtende Plasma in sich selbst abgebildet und somit die Intensität erhöht werden. Andererseits kann man durch Abbildung des Plasmas übereinander die strahlende Fläche vergrößern.  $H_2$  erzeugt stets ein fast paralleles Strahlenbündel. Das System B besteht nur aus einem Spiegel  $H_3$ , dessen Abstand zur Lampe 60 mm =  $f_3$  beträgt. Der Abstand wurde so klein gewählt, um eine möglichst hohe Intensität im austretenden Strahl zu erhalten. Alle Spiegel sind mit Aluminium und  $MgF_2$ -Schutzschicht verspiegelt. Die Austrittsöffnung des Lampengehäuses beträgt 15 × 25 mm.

Die Xenonlampe wird von einem Gleichrichter mit einer Strompulsation kleiner  $\pm 0,1\%$  gespeist. Ein eingebauter Transistorregelverstärker gewährleistet einen bis auf 1,5% konstanten Lampenstrom von 28 Amp.

### 6.3. Anpassung an die extraterrestrische Spektralverteilung der Sonne

Es wurde versucht, die Spektralverteilung der Lampe derjenigen der extraterrestrischen Solarstrahlung anzupassen. Aus instrumentell bedingten Gründen wurde der Bereich oberhalb von 2300 Å betrachtet. Grundlage für diese Untersuchung waren die Meßwerte der spektralen Strahlendichte ( $W sr^{-1}$ ) in Abständen von 100 Å, die von der Firma Osram freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden. Diese Werte waren nur für Wellenlängen oberhalb 2300 Å erhältlich. Unter Berücksichtigung der Geometrie des Spiegelsystems A und des Reflexionsvermögens der Spiegelbeläge von etwa 90% wurde aus der spektralen Strahlendichte die spektrale Bestrahlungsstärke in  $W cm^{-2} (100 Å)^{-1}$  berechnet und mit den Werten von THEKAEKARA verglichen. Abb. 10 zeigt den Verlauf der spektralen Bestrahlungsstärke der Sonne sowie der Xenonlampe. Ferner ist der Verlauf für die

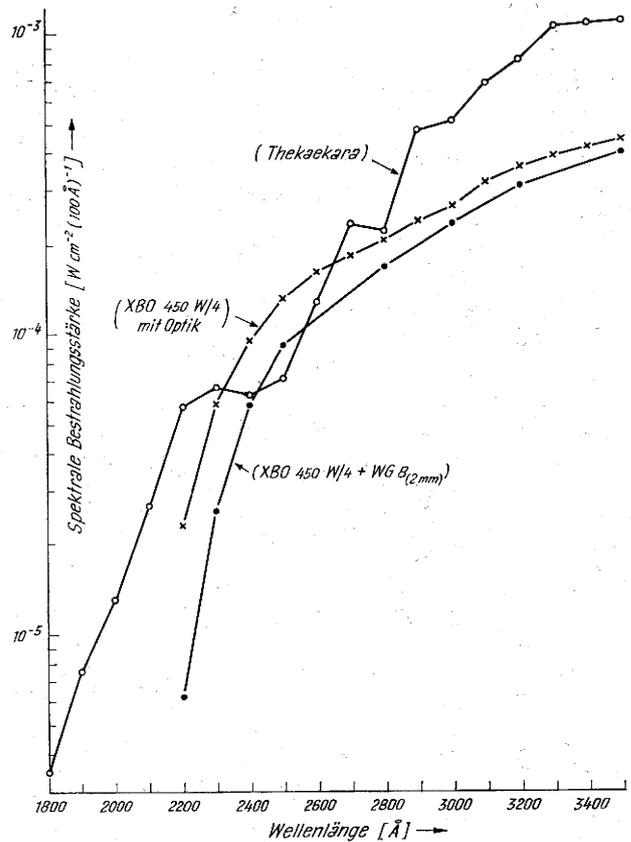


Abb. 10  
Spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne und der Xenonlampe

Kombination Xenonlampe + Filter WG 8 (2 mm, Fa. Schott) dargestellt. Das WG 8-Filter ist ein Kantenfilter und reicht mit seiner Kante am tiefsten ins mittlere UV hinein. Aus Abb. 10 ist ersichtlich, daß durch kein Filter in Verbindung mit der XBO 450 W/4 die Anpassung im Bereich unterhalb 3000 Å vollständig erreicht wird. Im Falle der Filterung wird der Bereich unterhalb 2300 Å fast völlig unterdrückt. So schien es im vorliegenden Fall am günstigsten, die Meßfühler mit der unangepaßten Strahlung der Xenonlampe im Labor zu testen.

## 7. Meßergebnisse im Labor

### 7.1. Eigenschaften der Bauelemente

#### 7.1.1. Eignung der Bauelemente für den Satelliteneinsatz

Alle Bauelemente wurden fast ausschließlich im Hinblick auf ihre Eignung für den Weltraumeinsatz ausgewählt. Über diese Eignungsmerkmale konnten keine eigenen Laboruntersuchungen durchgeführt werden. Aus diesem Grunde muß auf Herstellerangaben und Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen verwiesen werden, deren wichtigste Ergebnisse im folgenden zusammengestellt sind.

Die optischen Bauelemente, die von der Sonne durchstrahlt werden, bestehen aus Suprasilglas. Die Durchlässigkeit beträgt bei 20° C für eine 20 mm dicke Suprasilschicht bei 2000 Å 88% und bei 3000 Å 92%. In diesem Spektralbereich verläuft die Durchlässigkeit linear. Diese Angaben wurden durch eigene Messungen bestätigt. Da ein Satellit auf seiner Bahn der aus dem Welt- raum kommenden Korpuskularstrahlung ausgesetzt ist, muß der Einfluß dieser Strahlung auf die Bauelemente bekannt sein. Eingehende Untersuchungen über dieses Problem sind von HEATH und SACHER (26) angestellt

worden. Synthetisches Saphirglas ( $Al_2O_3$ ) und „fused silica“ (ein dem Suprasil entsprechendes Quarzglas) wurden neben anderen Materialien einer hochenergetischen Elektronenstrahlung ausgesetzt. Die Durchlässigkeit wurde vor und nach der Bestrahlung gemessen. Die Strahlendosis betrug  $10^{14}$  Elektronen pro  $cm^2$  bei 1 MeV und bei 2 MeV. Die Materialien wurden beiden Strahlendosen jeweils 30 Min. lang ausgesetzt, was etwa der Jahresdosis auf einer mittleren Umlaufbahn entspricht. Bei diesen Versuchen ergab sich für Saphir nur eine sehr geringe Änderung der Durchlässigkeit unterhalb 3000 Å; dagegen wurde für „fused silica“ nach der Bestrahlung eine erhebliche Abnahme der Durchlässigkeit unterhalb 3000 Å beobachtet. Nach diesen Ergebnissen lag es nahe, Saphir als Strahlungsschutz zu verwenden. In diesem Fall ist die bei der Abbremsung der Elektronen im Saphir entstehende Bremsstrahlung die wirksame Strahlung für die hinter dem Saphirfenster liegenden optischen Elemente. Es wurde eine 6,4 mm dicke Saphirscheibe vor das „fused silica“ gesetzt und mit  $10^{14}$  Elektronen pro  $cm^2$  bei 2 MeV bestrahlt. Die Reichweite im Saphir beträgt für Elektronen dieser Energie 3,7 mm. Untersuchungen der „fused silica“-Probe ergaben eine Durchlässigkeitsverminderung, die in der Größenordnung der Meßgenauigkeit lag. Damit ist gezeigt, daß „fused silica“, also auch Suprasil, unter Vorschaltung eines Saphirfensters für Experimente im Weltraum geeignet ist.

Die Firma Ealing gewährleistet nur die Beständigkeit der TFP-Interferenzfilter gegen Röntgenstrahlung. Es wird eingeräumt, daß sich die Filtereigenschaften durch intensive längere Bestrahlung mit kosmischer Strahlung verändern können. Zur Vermeidung solcher Veränderungen müssen die Filter ebenfalls durch Saphirfenster geschützt werden.

Sämtliche Spiegelbeläge bestehen aus Aluminium und einer einige 100 Å dicken  $MgF_2$ -Schutzschicht zur Verhinderung der Oxydation von Al.  $Al + MgF_2$  hat im Bereich 1200 bis 2000 Å noch ein Reflexionsvermögen von etwa 80% (27), (28). Dieser Wert gilt nur bei Anwendung eines sehr reinen Aufdampfverfahrens. Die Abhängigkeit des Reflexionsvermögens von der Wellenlänge bei weniger reinem Verfahren ist in (29) dargestellt.

Die UV-Prüflampe ist noch nicht für den Weltraum-einsatz getestet worden. Eine Reduzierung der Abmessungen ist möglich, während das Minimum der Leistungsaufnahme mit 0,6 W bereits erreicht ist. Um die geforderte Shock- und Vibrationsfestigkeit zu erreichen, muß das Lampengehäuse mit Epoxydharz vergossen werden.

Die als Photosensoren eingesetzten Photodioden haben sich schon in Weltraumexperimenten bewährt (30). Um die mechanischen Belastungen beim Start zu bestehen, sind die Photodioden in ein Gehäuse aus Epoxydharz eingebettet. Ein wichtiges Problem ist das Verhalten der Quantenausbeute der Kathodenmaterialien unter Weltraumbedingungen. HEATH und McELANY (31) bestrahlten CsJ- und CsTe-Photodioden mit hochenergetischen Elektronen und untersuchten die Quantenausbeute vor und nach der Bestrahlung. Die Strahlendosis betrug  $5 \times 10^{13}$  Elektronen pro  $cm^2$  bei Energien von 1 und 2 MeV. Die Bestrahlungsdauer betrug jeweils 35 min. Bei diesen Untersuchungen zeigte die CsTe-Photodiode keine Veränderung der Quantenausbeute. Die Quantenausbeute der CsJ-Photodiode war nach der Bestrahlung angestiegen. Daraufhin wurden weitere zwei CsJ-Exemplare untersucht, wobei das eine der gleichen Elektronenstrahlung, das andere der Gammastrahlung einer  $^{60}Co$ -Quelle von  $10^5$  rad ausgesetzt wurden. Beide Photodioden zeigten keinerlei Veränderungen in der Quantenausbeute; mithin ist der Effekt bei der CsJ-Photodiode nicht reproduzierbar. Aus diesem Grunde ist es nötig, CsJ-Photodioden vor dem Einsatz im Weltraum zu bestrahlen und danach entsprechend ihrem Verhalten auszuwählen.

Die elektronischen Elemente wie Verstärker und Versorgungsgeräte stellen bezüglich der Verwendung im Satelliten keine Schwierigkeiten dar. Sie lassen sich stets in weltraumfesten Spezialausführungen herstellen.

Die Prüfung der Meßfühler in ihrem Gesamtaufbau kann nur in Weltraumsimulatoren erfolgen. Das gilt besonders im Hinblick auf Untersuchungen der Temperaturabhängigkeit. Die Herstellung der Meßfühlerstruktur für den endgültigen Einsatz muß der Industrie vorbehalten bleiben.

### 7.1.2. Homogenität der Photodioden

In der Prismenapparatur werden die zu untersuchenden Spektralbereiche unscharf auf die Photokathoden abgebildet. Um eine gleichmäßige Bewichtung der Spektralkomponenten innerhalb der beiden Spektralbereiche zu gewährleisten, wurden die Photodioden auf die Homogenität ihrer Empfindlichkeit hin untersucht. Die effektive Kathodenfläche hat einen Durchmesser von 12,5 mm. Diese Fläche wurde schrittweise mit einem feinen Lichtstrahl von 1 mm Durchmesser abgetastet. Als Lichtquelle diente zunächst das unzerlegte Spektrum der Xenonlampe. Im folgenden ist das Meßergebnis für die CsTe-Photodiode in Form eines Rasterschemas wiedergegeben. Der Abstand zwischen zwei Meßpunk-

			1	1	1	3	3	3	3	2			
		1	3	17	71	94	106	95	56	5	3		
	2	8	102	150	150	140	135	132	133	118	44	3	
1	3	114	168	157	144	133	130	133	138	135	132	29	2
4	62	173	163	150	138	131	131	133	133	137	148	120	4
6	139	178	158	144	134	127	128	131	133	137	146	149	14
20	171	175	159	144	132	124	127	128	133	139	150	160	59
25	167	174	159	148	133	125	126	129	135	144	156	172	94
19	155	167	159	150	135	129	131	134	142	152	165	183	79
5	135	159	156	149	141	135	137	140	148	161	176	190	34
2	84	152	155	154	145	141	145	148	153	166	178	162	5
	9	137	156	161	160	156	159	163	166	172	188	63	3
	1	27	127	156	169	170	174	169	168	181	76	3	
		1	7	47	137	171	175	157	108	27	2		
			1	1	3	9	10	5	3	3			

ten beträgt jeweils 1 mm. Jeder Wert ist ein Maß für den Photostrom in willkürlich gewählten, relativen Einheiten. Auffallend ist die starke Inhomogenitätszunahme an den Rändern. Wahrscheinlich liegt dies an Ungleichmäßigkeiten der aufgedampften Schicht. Die größte homogene Fläche beträgt  $5 \times 8$  mm (umrandete Fläche). Die Meßwerte dieser Fläche wurden auf den Mittelwert normiert und die Differenzen in % zu diesem gebildet, wobei dem Mittelwert 100% entsprechen.

Diese Differenzwerte sind in nachstehendem Schema angegeben.

9	9	2	-2	-4	3
14	5	-3	-5	-3	0
9	0	-5	-5	-3	-3
5	-3	-8	-7	-5	-3
5	-4	-10	-8	-7	-3
7	-3	-9	-9	-6	-2
9	-2	-6	-5	-3	3
8	2	-2	-1	2	7
12	5	2	5	7	11

Die Abweichungen liegen zwischen +14% und -10%. Weiterhin wurde die Abhängigkeit der Homogenität von der Wellenlänge bei gleichem Abtaststrahl untersucht. Die spektrale Selektion konnte für die Wellenlängen 2540 Å und 2160 Å durch Vorschalten von Interferenzfiltern (Fa. Baird Atomic) mit einer Bandbreite von 230 bis 240 Å erreicht werden. Die Messung bei 3650 Å wurde mit Hilfe eines LEISS-Doppelmonochromators durchgeführt. Die untersuchte Fläche, die innerhalb des oben ermittelten Bereichs von  $5 \times 8$  mm lag, hatte eine Größe von  $5 \times 7$  mm. Als Ergebnis sind die Differenzen in % zum Mittelwert für verschiedene Wellenlängen nebeneinander dargestellt. Der Abstand der Meßpunkte beträgt jeweils 2 mm.

2160 Å			2540 Å		
13	9	17	10	2	12
1	-4	3	0	-6	0
-7	-12	-4	-5	-11	-5
-5	-8	-3	2	-6	1
3650 Å			ohne Filter		
-11	-39	-50	6	-5	1
7	-24	-27	-2	-6	-2
37	12	15	-2	-8	-1
-2	32	50	4	1	9

Die maximalen (min.) Abweichungen betragen:

ohne Filter:	- 8%	+ 9%
2160 Å	-12%	+17%
2540 Å	-11%	+12%
3650 Å	-50%	+50%

Die untersuchte Fläche ist innerhalb der Grenzen +15%, -11% homogen. Diese Angabe gilt nur für den Empfindlichkeitsbereich der Photodiode unterhalb 3000 Å. Bei 3650 Å befindet man sich schon fern im unempfindlichen Bereich - die Quantenausbeute für 3650 Å liegt etwa um drei Größenordnungen niedriger als die für 2200 Å (s. Abb. 4).

Die obigen Untersuchungen wurden in gleicher Weise auf die CsJ-Photodiode ausgedehnt. Zum Abtasten der Kathodenfläche wurde wieder ein Schrittabstand von 2 mm gewählt. Bei den Experimenten ergab sich gleichfalls eine homogene Fläche von  $5 \times 7$  mm. Die Untersuchungen wurden dann für die Wellenlängen 2160 Å,

2370 Å und 2650 Å wiederholt. Die Messungen bei 2370 Å und 2650 Å erfolgten mit Hilfe des Doppelmonochromators. Die Meßergebnisse sind in der gleichen Art wie vorher zusammengestellt.

2160 Å			2370 Å		
3	1	7	-11	1	5
4	-15	-7	-5	1	3
4	-16	-7	-1	1	5
15	5	-6	1	5	-1
2650 Å			ohne Filter		
28	-6	2	9	0	6
-3	-22	-17	2	-12	-6
3	-20	-19	3	-14	-10
55	-3	4	20	3	0

Die maximalen (min.) Abweichungen betragen:

ohne Filter:	-14%	+20%
2160 Å	-16%	+15%
2370 Å	-11%	+5%
2650 Å	-20%	+55%

Der Wellenlängenbereich 1850 bis 2300 Å liegt außerhalb des maximalen Empfindlichkeitsbereichs (etwa bei 1500 Å) der CsJ-Photodiode (Abb. 4). Die Homogenitätsuntersuchung zeigt jedoch, daß die CsJ-Photodiode zum Nachweis der UV-Strahlung unterhalb von 2400 Å verwendet werden kann. Für höhere Wellenlängen (2650 Å) nehmen die lokalen Empfindlichkeitsunterschiede auf der Kathode beträchtlich zu, so daß ein Einsatz in diesem Bereich nicht mehr sinnvoll ist.

### 7.1.3. Merkmale der Prüflampe

Ursprünglich war geplant, als Prüflampe eine Niederdruckentladungslampe mit kalter Kathode der Firma EMR (USA) vom Typ 582Xe/Hg-05 einzusetzen. Diese Lampe ist nach Angaben der Firma als Eichlampe für Weltraumexperimente entwickelt worden. Die zwischen den Elektroden brennende Xe-Hg-Entladung wird durch eine Kapillare von 1,25 mm Durchmesser aus Gründen der Entladungsstabilisierung eingeschnürt. Die Leuchterscheinung tritt nur in der Kapillare auf. Die Strahlung verläßt die Lampe in axialer Richtung durch ein Saphirfenster. Deshalb kann die Lampe als ein nahezu punktförmiger Strahler mit einer leuchtenden Fläche von 1,24 mm<sup>2</sup> betrachtet werden. Das Spektrum der emittierten Strahlung besteht aus dem Xe-Kontinuum mit der Xe-Resonanzlinie bei 1470 Å und den Hg-Resonanzlinien bei 1850 Å und 2537 Å. Die Reproduzierbarkeit der Strahlungsemission ist vom Hersteller mit 10% angegeben. Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt 0,3-0,4 W; die Versorgungsdaten sind  $U_{\text{zünd}} = 1200$  V,  $U_{\text{Lampe}} = 450-550$  V =  $i_{\text{Brenn}} = 0,5-0,7$  mA. Der Lampenkörper ist bis auf das Austrittsfenster mit Epoxydharz vergossen und somit shock- und vibrationsfest. Nach kurzzeitigem Betrieb zeigte diese Lampe schon charakteristische Mängel. Vom Betriebsbeginn an bildete sich am Austrittsfenster zwischen Kapillare und Außenwand der Lampe eine flackernde Glimmentladung aus, deren Strahlung sich der eigentlichen Strahlung überlagerte. Die einzige Möglichkeit, von diesen zusätzlichen Strahlungsschwankungen frei zu kommen, bestand in der sehr starken Ausblendung der Leuchtfläche. Die Glimmentladung zeigte sich nach Informationen einer anderen Arbeitsgruppe auch bei Lampen mit reiner Xe-Füllung, so daß dieser Fehler wahrscheinlich nicht durch eine Exemplarstreuung bedingt ist. Ferner bildete sich nach einer Brennzeit von nur zwei Stunden auf dem Saphirfenster ein gelblicher Brennfleck mit einem bläulich schimmernden Hof aus. Durch diesen Belag wird die

Strahlung einer unkontrollierbaren Schwächung unterworfen. Der Grund für diese Erscheinung liegt vermutlich in der Gasemission. Wegen dieser Mängel wurde von der weiteren Verwendung der 582 Xe/Hg-05 Lampe abgesehen.

Als Alternative zur EMR-Lampe wurde der Quecksilber-Niederdruckbrenner (Typ NK4/4) der Quarzlampegesellschaft Hanau eingesetzt. Die farbikneue Lampe wurde zunächst hundert Stunden lang eingebrannt, dies im Hinblick auf die Formierung der Elektroden und Alterung des Suprasils. Durch verschiedene Maßnahmen (s. 5.1.2.), die sämtlich die Verminderung der thermischen Verluste zum Ziel hatten, konnte die Leistungsaufnahme von 4 W auf 0,6 W herabgesetzt werden. Die wichtigsten Fragen bezüglich des Einsatzes der Lampe betreffen Langzeitkonstanz, Temperaturabhängigkeit und Alterung. Zur Untersuchung dieser Eigenschaften wurde die Filterapparatur gemäß 5.1. verwendet. Dem Versorgungsgerät der Lampe wurde ein Wechselspannungsstabilisator vorgeschaltet, so daß der Lampenstrom von Netzschwankungen unabhängig war. Mit dieser An-

2537 Å erzeugt wird, liegt um mindestens drei Größenordnungen unterhalb desjenigen, den die Linie bei 1850 Å liefert. Diese Tatsache wurde durch Eingrenzung des Spektralbereichs durch verschiedene Interferenzfilter festgestellt. Unter Berücksichtigung des langzeitigen Intensitätsabfalls der Prüflampe beträgt die Schwankungsbreite bzw. die Konstanz der beiden Photoströme  $\pm 5\%$  für die CsTe-Photodiode und  $\pm 7\%$  für die CsJ-Photodiode.

Die Korrelation aller Meßwerte mit den zugehörigen Temperaturwerten bestätigte die zur Normierung der Photoströme vorausgesetzte Temperaturabhängigkeit. Die Reproduzierbarkeit der Photoströme als Funktion der Temperatur betrug für die CsTe-Photodiode  $\pm 1,7\%$  und für die CsJ-Photodiode  $\pm 4\%$ .

Weiterhin wurde die Reproduzierbarkeit der Strahlungsintensität der Lampe untersucht. Dazu wurde eine Meßreihe über 130 Stunden durchgeführt. Im Abstand von jeweils 30 Minuten wurde die Lampe 30 Minuten lang eingeschaltet, so daß sich 130 Meßvorgänge von

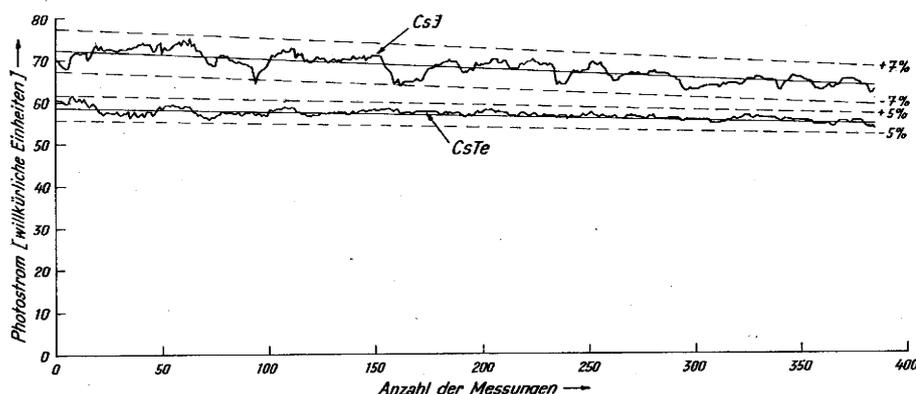


Abb. 11  
Langzeitmessung der UV-Prüflampe NK 4/4  
in der Filterapparatur

ordnung wurde eine Langzeitmessung über 192 Stunden durchgeführt. Sowohl der Lampenstrom  $i_L$ , als auch die Photoströme der CsTe- und CsJ-Photodiode wurden registriert. Ferner war es erforderlich, die Temperatur im Meßfühler zu berücksichtigen. Dazu wurde ein Kupfer-Konstantan-Thermoelement in den Meßfühler eingebaut. Den Bezugspunkt der Temperaturmessung bildete die Temperatur des schmelzenden Eises. Alle Meßwerte wurden kontinuierlich und synchron registriert. Der Lampenstrom blieb während der gesamten Meßzeit konstant und betrug 3,6 mA bei einer Lampenspannung von 165 V. Aus den Registrierungen der Photoströme und der Temperatur wurden jeweils im Abstand von 30 min die dazugehörigen Meßwerte ermittelt und die Photoströme unter Voraussetzung einer linearen Temperaturabhängigkeit auf einen einheitlichen Temperaturwert von ca. 21° C normiert. Der mittlere normierte Photostrom (Abb. 11) verläuft für beide Sensoren monoton fallend mit der Zeit. Über 192 Stunden beträgt der Abfall für die CsTe-Photodiode 6% und für die CsJ-Photodiode 13%. Diese Werte sind unter Voraussetzung der Empfindlichkeitskonstanz der Photodioden gleichzeitig ein Maß für die Alterung der Lampe. Legt man einen maximal zulässigen Abfall der Photoströme und damit eine Alterung von 5% zugrunde, so beträgt die maximale Brenndauer der Lampe etwa 75 Stunden. Auffallend sind die relativ starken Schwankungen des CsJ-Photostroms um den Mittelwert. Der CsJ-Photostrom (CsJ-Photodiode + 2000 Å Interferenzfilter) wird allein von der ersten Hg-Resonanzlinie bei 1850 Å erzeugt. Der Photostrom, der von der Resonanzlinie bei

30 Minuten Dauer ergaben. Da die Lampe im kalten Zustand eine Einbrennzeit von ca. 20 min benötigt, wurden nur die Meßgrößen am Ende der Brenndauer betrachtet. Parallel zu den Photoströmen wurde ebenfalls die Temperatur registriert. Die temperaturkorrigierten Photoströme beider Photodioden waren innerhalb von 10% reproduzierbar.

Die Lebensdauer der Lampe wird vom Hersteller mit mehr als 1000 Stunden bei einer Leistung von 4 W angegeben. Bei geringerer Leistung wird sich die Lebensdauer sicher erhöhen. Die Gesamtbetriebsdauer in den eigenen Laboruntersuchungen hat bei weitem 1000 Stunden überschritten.

Die obigen Untersuchungen zeigen, daß der NK4/4 Quecksilber-Niederdruckbrenner in der modifizierten Form bezüglich der Verwendung als Prüflampe in Weltraumexperimenten sehr günstige Eigenschaften besitzt. Für eine endgültige Entscheidung ist es unbedingt erforderlich, weitere Untersuchungen durchzuführen. Vor allem müssen der Temperatureinfluß in einer Klimakammer und die Eigenschaften wie Alterung, Konstanz und Reproduzierbarkeit an mehreren Exemplaren geprüft werden, um ein Maß für die Exemplarstreuung zu erhalten.

Die mittlere Lebensdauer eines Satelliten wird meistens mit einem Jahr angesetzt. Wird die Prüflampe in einem Satellitenexperiment verwendet, so muß nach dem jetzigen Stand der Untersuchungen die Brenndauer unter Berücksichtigung einer Alterung von 5%

auf etwa 75 Stunden eingeschränkt werden. Somit wäre nach der Anlaufphase des Experiments eine Prüfung der Bauelemente im Abstand von jeweils einigen Tagen gewährleistet.

**7.2. Eigenschaften des Vorzerlegers**  
**7.2.1. Transmission des Vorzerlegers**

Verwendet man den Vorzerleger in Verbindung mit aselektiven Empfängern, so ist das Anwendungsgebiet dieses Meßkonzepts durch die Grenzen der Transmission eingeschränkt. Aus diesem Grunde wurde die Transmission im Wellenlängenbereich unterhalb 3200 Å untersucht. Bei der Messung traf parallele monochromatische Strahlung auf den Vorzerleger, dessen Schneide K so justiert war, daß der blaue Anteil des Spektrums (etwa bei 4000 Å) von der Schneide nicht mehr ausgeblendet wurde. Als Strahlungsquelle diente die sonnenähnliche Laborstrahlung, die von einem Leiss-Einfachmonochromator mit Suprasilprisma zerlegt wurde. Die Spaltweiten des Monochromators waren für alle Wellenlängen konstant, so daß die Bandbreite der monochromatischen Strahlung zwischen 137 Å bei 3000 Å und 22 Å bei 2000 Å variierte. Da die dispergierte Strahlung den Monochromator divergent verläßt, wurde zur Parallelisierung vor dem Austrittsspalt eine Suprasilinse angeordnet. Die Strahlung wurde mit der CsTe-Photodiode nachgewiesen. Das Ergebnis dieser Messungen zeigt Abb. 12. Von einem mittleren Wert von 45%

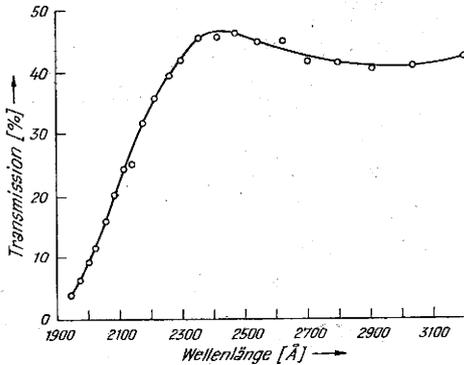


Abb. 12  
 Transmission des Vorzerlegers (FÉRY)

für das Gebiet oberhalb 2300 Å fällt die Transmission zu kürzeren Wellenlängen hin steil ab und beträgt bei 2000 Å nur noch 10%. Dieser Abfall ist möglicherweise durch die hohe Zahl hintereinander geschalteter optischer Bauelemente bedingt.

**7.2.2. Einfluß der Schneidenlage auf die relative Transmission**

Die Lage der Schneide bestimmt die Verminderung des Einflusses des unerwünschten Spektralbereichs. Zur Untersuchung dieses Schwächungsprozesses wurde das Verhältnis der spektralen Photoströme  $V = \frac{i_1}{i_0}$  als Maß für die relative Transmission am Ausgang des Vorzerlegers gemessen. Es bezeichnet  $i_0$  den spektralen Photostrom, der sich ergibt, wenn sich die Schneide K soweit außerhalb des Strahlengangs befindet, daß das gesamte Spektrum bis ins sichtbare Gebiet durch K keine Schwächung erfährt.  $i_1$  gibt den spektralen Photostrom bei teilweiser Ausblendung des Spektrums durch K an. Zur Festlegung der Schneidenlage wird nicht der geometrische Ort von K, sondern das Verhältnis  $V$  bei 3000 Å ( $V_{3000 \text{ Å}}$ ) herangezogen. Abb. 13 zeigt den Verlauf von  $V$  ausgedrückt in Prozent ( $i_0 = 100\%$ ) für die Werte

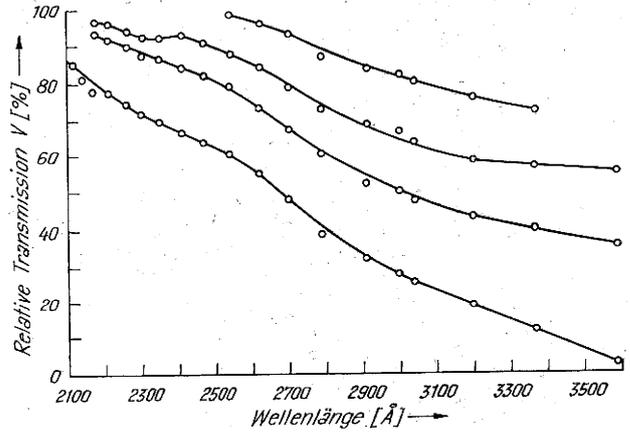


Abb. 13  
 Einfluß der Schneidenlage auf die relative Transmission des Vorzerlegers

$V_{3000 \text{ Å}} = 29\%$ ,  $50\%$ ,  $67\%$  und  $82.5\%$ . Die in 5.3.3. beschriebene Unschärfe der Abbildung in der Ebene von K wird durch den Verlauf von  $V$  wiedergegeben. Die Ausblendung zeigt keine scharfe Begrenzung; vielmehr erstreckt sich die Schwächung über einen breiten Wellenlängenbereich, der sich mit zunehmender Schwächung des langwelligen Bereichs in den kurzwelligeren Bereich hineinverschiebt. Soll z. B. der Einfluß des Bereichs oberhalb 3500 Å auf wenige Prozent herabgedrückt werden, so liegt  $V$  im gesamten Bereich unterhalb 3500 Å unter  $100\%$ .

**7.3. Eigenschaften der sonnenähnlichen Strahlungsquelle**

Die wichtigsten Eigenschaften des sonnenähnlichen Strahlers sind die integrale Bestrahlungsstärke, der Divergenzwinkel und die Homogenität im Querschnitt des austretenden Strahls. Die Bestimmung der integralen Bestrahlungsstärke wurden mit einem international geeichten LINKE-FEUSSNER-Panzeraktinometer vorgenommen. Im Abstand von 50 cm von der Austrittsöffnung der Lampe ergab sich für das Spiegelsystem A eine integrale Bestrahlungsstärke von  $60 \text{ mW cm}^{-2}$  — das entspricht etwa der halben Solarkonstante —, für das System B  $150 \text{ mW cm}^{-2}$ . Diese Werte beziehen sich auf eine Kreisfläche von 20 mm Durchmesser.

Die Divergenzmessungen am austretenden Strahlenbündel ergaben für die Systeme A und B Öffnungswinkel von  $0,5^\circ$  und  $1,1^\circ$ . Wegen der hohen Divergenz von  $1,1^\circ$  wurde das System B in den Labortests nicht weiter eingesetzt.

Ferner wurde die Homogenität des austretenden Strahls untersucht. Der Strahlquerschnitt wurde in Schritten von jeweils 2 mm abgetastet. Die CsTe-Photodiode mit vorgesetzter Blende, deren Eintrittsöffnung  $0,3 \text{ mm}^2$  betrug, wurde bei diesem Versuch als Empfänger benutzt. Im folgenden sind die Meßwerte in einem Rasterschema zusammengestellt. Jeder Wert gilt für einen festen Ort der Querschnittsfläche und entspricht dem zugehörigen Photostrom in willkürlich gewählten, relativen Einheiten. Die Meßwerte wurden auf den Mittelwert ( $100\%$ ) aller Meßpunkte normiert und die Differenzen in % zum Mittelwert gebildet.

Man erkennt, daß die Abweichungen und damit die Inhomogenität auf einer Fläche von  $12 \times 20 \text{ mm}$  maximal  $10\%$  betragen (mit Ausnahme von zwei Randmeßpunkten). Betrachtet man eine Fläche von  $6 \times 10 \text{ mm}$  (umrandet), so liegen die Abweichungen bei maximal  $\pm 3\%$ . Diese Untersuchung gilt für einen Abstand zwi-

101	103	104	107	104	104	102	-4	-2	-1	2	-1	-1	-3
103	108	108	109	109	110	103	-2	-3	3	4	4	5	-2
107	111	107	105	107	111	101	2	5	2	0	2	5	-4
114	116	107	105	106	110	100	8	10	3	0	1	5	-5
115	114	107	104	105	108	99	9	8	2	-1	0	3	-6
110	111	106	105	105	107	100	5	6	1	0	0	2	-5
107	107	106	104	105	106	100	2	2	1	-1	0	1	-5
107	106	105	104	104	105	101	2	1	0	-1	-1	0	-4
108	107	106	104	104	107	96	3	2	1	-1	-1	2	-9
106	107	105	103	105	105	88	1	2	0	-2	0	0	-16
105	107	106	105	103	94	85	0	2	1	0	-2	-9	-19

Photostrom (relative Einheiten)

Differenz d. norm. Photostroms zum Mittelwert

schen Lampe und Empfänger von 30 cm. Für größere Abstände nimmt die Inhomogenität zu. Bei einem Abstand von 170 cm beträgt die maximale Abweichung  $\pm 5\%$  auf einer Fläche von  $4 \times 10$  mm — diese Fläche liegt innerhalb des oben umrandeten Gebietes. Eine homogene Fläche von  $4 \times 10$  mm ist für die Laborversuche völlig ausreichend, da die Fläche der Eintrittsöffnungen der Meßfühler maximal bei  $7 \text{ mm}^2$  liegt.

**7.4. Eigenschaften der Meßfühler**

**7.4.1. Dispersion der Prismenapparatur**

Zur Ermittlung des geeigneten Einfallswinkels auf das Reflexionsprisma wurde die Winkeldispersion in Abhängigkeit vom Brechungsindex, Einfallswinkel und brechendem Winkel untersucht. Bezeichnen  $\alpha$  den Einfallswinkel,  $\alpha'$  den Ausfallswinkel,  $\varphi$  den brechenden Winkel des Reflexionsprismas und  $n$  den Brechungsindex von Suprasil, so gilt für den Ausfallswinkel folgende Beziehung:

$$\sin \alpha' = \sin 2\varphi - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \cos 2\varphi \sin \alpha$$

In Abb. 14 ist der Verlauf der Winkeldispersion für die Wellenlängen 1850 Å, 2000 Å, 2500 Å und 3000 Å dargestellt. Die für Suprasil geltenden Brechungsindizes wurden dabei den Angaben der Firma Heraeus entnommen. Die Berechnungen ergeben eine Abnahme der Winkeldispersion mit zunehmendem Einfallswinkel.

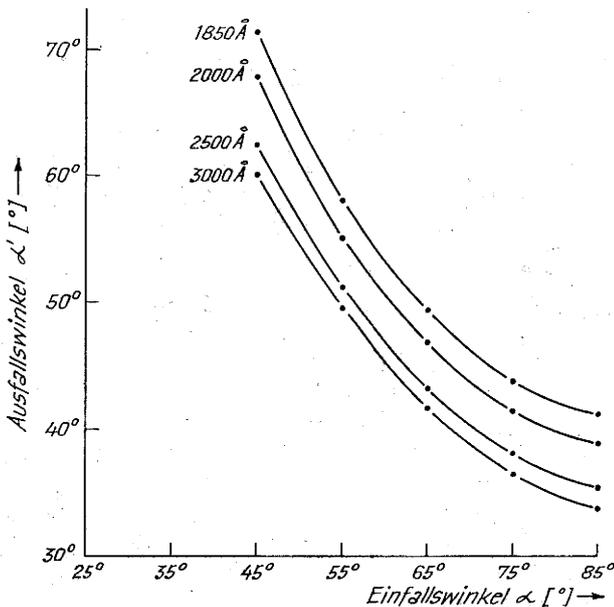


Abb. 14 Winkeldispersion des Reflexionsprismas.

Zur Beurteilung des Einflusses von Ausrichtungsschwankungen, die eine Änderung des Einfallswinkels

zur Folge haben, wurde die Änderung des Ausfallswinkels  $\Delta \alpha'$  für eine Einfallswinkeländerung von  $\Delta \alpha = 10^\circ$  bei verschiedenen Einfallswinkeln und Wellenlängen berechnet und in Abb. 15 dargestellt. Auch Abb. 15

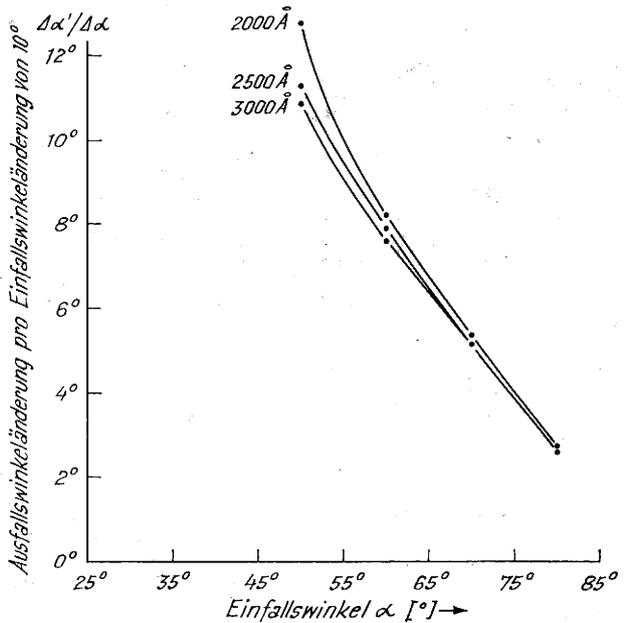


Abb. 15 Änderung des Ausfallswinkels in Abhängigkeit vom Einfallswinkel

weist die höheren Einfallswinkel als sehr günstig aus, da die Änderung des Ausfallswinkels abnimmt und bei großen Einfallswinkeln für verschiedene Wellenlängen fast den gleichen Wert annimmt. Eine dritte wichtige Größe ist die wirksame Empfangsfläche  $F_{eff}$  des Prismas. Die Größe ist proportional dem Cosinus des Einfallswinkels und nimmt dementsprechend mit zunehmendem Einfallswinkel ab. Als Kompromiß zwischen diesen drei Größen wurde der Einfallswinkel zu  $70^\circ$  gewählt.

Zur experimentellen Bestimmung der linearen Dispersion in der Brennebene des Fokussierspiegels  $S_2$  wurde das Linienspektrum des UV-Standards und der UV-Prüflampe am Ort des Umlenkungsspiegels  $S_3$  photographisch aufgenommen. Als Aufnahmematerial diente der SC-7- und der SWR- (short-wave-radiation) Film von KODAK. Aus den mit einem Meßmikroskop bestimmten Abständen der Spektrallinien ergab sich der Verlauf der linearen Dispersion (Abb. 16). Es wurden für die beiden Spektralkomponenten folgende Werte ermittelt:

- 1850 — 2300 Å : 8,8 mm
- 2300 — 3000 Å : 5,1 mm
- 1850 — 3000 Å : 13,9 mm

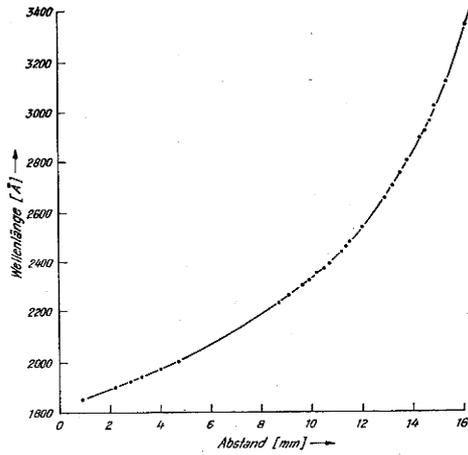


Abb. 16  
Lineare Dispersion des Reflexionsprismas

Aus den theoretischen Werten für die Winkeldispersion und der Brennweite von  $S_2$  berechnet sich die Gesamtausdehnung für den Bereich 1850–3000 Å zu 13,3 mm. Die Einstellung des Planspiegels  $S_3$  sowie der verschiebbaren Abdeckung zur Trennung der beiden zu messenden Komponenten wurde gemäß den experimentell ermittelten Dispersionswerten vorgenommen. Zur Bestimmung der langwelligen Grenze der ozonauflösenden Komponente fiel monochromatische Strahlung im Bereich 3500–2500 Å in die Prismenapparatur. Zwei Messungen wurden durchgeführt, eine ohne Abdeckung und die andere mit Abdeckung des Umlenkspiegels  $S_3$ . Die langwellige Grenze ergibt sich aus dem Ver-

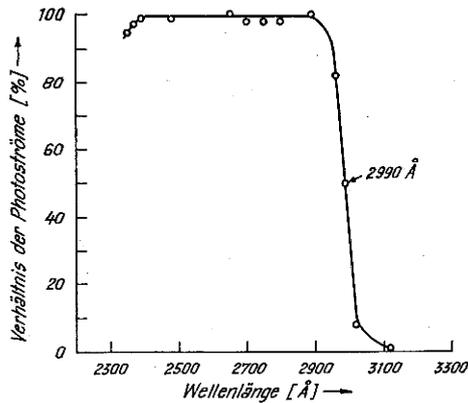


Abb. 17  
Einstellung der langwelligen Grenze der Prismenapparatur

hältnis der Photoströme beider Meßreihen und wird definiert als die Wellenlänge, für die das Verhältnis 50% beträgt. Aus Abb. 17 entnimmt man für die ozonauflösende Komponente eine langwellige Grenze von 2990 Å.

#### 7.4.2. Transmission der Prismenapparatur

Zur Bestimmung der Transmission der Prismenapparatur wurde die Xenonlampe in Verbindung mit dem LEISS-Einfachmonochromator als Strahlungsquelle benutzt. Da die Intensität des Strahlers unterhalb 2000 Å stark absinkt, bildete diese Wellenlänge die untere Grenze der Transmissionsbestimmung. Zunächst fiel monochromatische Strahlung einer mittleren Bandbreite von 30 Å auf die Prismenapparatur und wurde mit der entsprechenden Photodiode registriert. Dann wurde zur Bestimmung der Bezugswerte die gleiche Strahlung nur mit der Photodiode gemessen, welche sich hinter einer Blende gleicher Öffnung wie die des Eintrittsfensters befand. Aus diesen beiden Meßgrößen errechnete sich die Transmission der Apparatur (Abb. 18). Der anfängliche Transmissionsanstieg unterhalb 2300 Å ist nur durch eine Unschärfe in der Trennung des Spektralbereichs durch die Spiegelkante von  $S_3$  zu verstehen. Mehrere Messungen zeigten stets das gleiche Verhalten. Zum Vergleich der experimentellen Ergebnisse sind in Abb. 18 außerdem die aus Transmissions- und Refle-

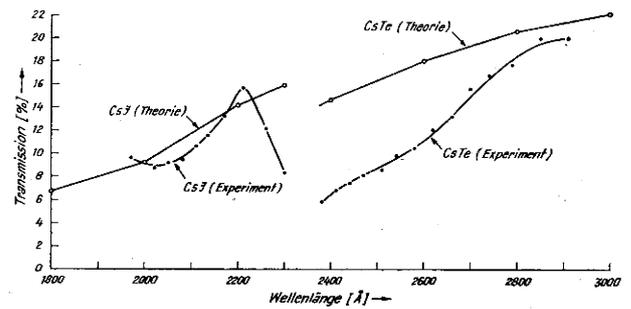


Abb. 18  
Transmission der Prismenapparatur

xionsvermögen der verwendeten Materialien berechneten theoretischen Transmissionswerte der Apparatur dargestellt. Man sieht, daß im Bereich unterhalb 2300 Å Experiment und Theorie bis auf den anfänglichen Anstieg einigermaßen übereinstimmen, während oberhalb 2300 Å große Abweichungen auftreten. Da sich der optische Weg für beide Spektralbereiche nur durch eine Reflexion an  $S_3$  unterscheidet, liegt es nahe, den Grund für die Abweichung oberhalb 2300 Å in dem geringen Reflexionsvermögen von  $S_3$  zu suchen.

#### 7.4.3. Größe der Meßsignale

Das energetische Problem der Meßfühler liegt in der Größe der Empfängersignale, die von der bordseitigen Telemetrietechnik weiterverarbeitet werden. Die Bestimmung dieser Größen erfolgte mit der Strahlung der Xenonlampe. Bei einem Lampenstrom von 29,5 A beträgt die Bestrahlungsstärke  $60,5 \text{ mW cm}^{-2}$ , so daß die gemessenen Signalströme bei Bezug auf die Solarkonstante  $I_0$  mit dem Faktor 2,3 zu korrigieren sind. Die UV-Prüflampe (0,6 W) lieferte die Prüfstrahlung. In der folgenden Tabelle sind für beide Meßfühler die von der simulierten Sonnenstrahlung und der Prüfstrahlung erzeugten Photodiodenströme zusammengestellt.

Apparatur	UV-Komponente	simulierte Sonnenstrahlung (bezogen auf $I_0$ )	UV-Prüflampe
Filter-Apparatur	ozon-bildend	$1,4 \cdot 10^{-10} \text{ A}$	$0,6 \cdot 10^{-10} \text{ A}$
	ozon-auflösend	$3,1 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	$1,3 \cdot 10^{-9} \text{ A}$
Prismen-Apparatur	ozon-bildend	$4,4 \cdot 10^{-11} \text{ A}$	$4,5 \cdot 10^{-12} \text{ A}$
	ozon-auflösend	$1,5 \cdot 10^{-7} \text{ A}$	$8,3 \cdot 10^{-9} \text{ A}$

Da der Photodiodenstrom der CsTe-Photodiode (ozonauflösende Komponente) in der Prismenapparatur den vom Hersteller angegebenen Maximalwert von  $10^{-8}$ A überschreitet (s. 5.1.2.), ist es erforderlich, zur Gewährleistung eines stabilen Langzeitbetriebs der CsTe-Photodiode ein Neutralfilter mit 10% Durchlässigkeit vorzuschalten. Diese Maßnahme stellt für den Apparateaufbau keine Schwierigkeit dar. Für diese Komponente ergeben sich dann folgende Ströme:  $1,5 \cdot 10^{-8}$ A und  $8,3 \cdot 10^{-10}$ A.

Die oben angeführten Meßsignale müssen für die Telemetrierung in Spannungen der Größenordnung einige Volt umgesetzt werden, was selbst für Ströme von  $10^{-12}$ A möglich ist. Zusammenfassend ist festzustellen: Die von der extraterrestrischen Sonnenstrahlung und der Prüfstrahlung erzeugten Meßsignale sind von ausreichender Größe. Somit kann das energetische Problem als gelöst betrachtet werden.

#### 7.4.4. Spektrale Reinheit

Wie anfangs erwähnt (2a) bestand die Aufgabe der Meßfühler darin, 0,1% bzw. 1,1% der Sonnenenergie zu messen und die restlichen 99,9% bzw. 98,9% von der Messung auszuschließen. Zur Beurteilung, ob diese Aufgabe gelöst ist, wurden beide Meßfühler bei klarem wolkenlosen Himmel auf die Sonne ausgerichtet. Da die Atmosphäre nur für Wellenlängen ab 3000 Å durchlässig ist, läßt sich aus diesem Test die Wirkung des gesamten sichtbaren Anteils des Sonnenspektrums feststellen.

Beim Test der Filterapparatur lagen die Photoströme für die ozonbildende Komponente bei  $5 \cdot 10^{-15}$ A und für die ozonauflösende Komponente bei  $5 \cdot 10^{-16}$ A. Die Meßgrenze (kleinste nachweisbare Größe) der Verstärker liegt bei etwa  $3 \cdot 10^{-15}$ A. Der Photostrom der CsTe-Photodiode betrug unter Vorschaltung des Interferenzfilters für 2537 Å  $5 \cdot 10^{-15}$ A. Für die gesamte Filter-Photodiodenkombination ergibt sich  $5 \cdot 10^{-16}$ A, da der Einfluß des Neutralfilters (10%) noch berücksichtigt werden muß. Im Vergleich zu den Labormesswerten liegen die Photoströme um 5 bzw. 7 Größenordnungen unterhalb der Meßströme der beiden Komponenten. Damit ist gezeigt, daß die Transmissionskurven der Filter keine langwelligen Ausläufer haben, durch die die Meßsignale verfälscht werden könnten.

Der entsprechende Test der Prismenapparatur ergab folgende Photoströme: für die ozonbildende Komponente  $3 \cdot 10^{-15}$ A, für die ozonauflösende Komponente  $5 \cdot 10^{-11}$ A. Diese Werte liegen somit vier Größenordnungen unterhalb der Meßsignale.

Die spektrale Selektion der Filterapparatur ergibt sich aus dem Produkt der spektralen Filterdurchlässigkeit  $T(\lambda)$  und der spektralen Quantenausbeute  $Q(\lambda)$  der entsprechenden Photodioden. Die spektralen Quantenausbeuten sind den Angaben des Herstellers entnommen (Abb. 4). Die spektralen Filterdurchlässigkeiten sind aus den Datenblättern und aus eigenen Durchlässigkeitsmessungen mit einem Doppelmonochromator bekannt (Abb. 5). Die spektralen Selektionskurven der Filter-Photodioden-Kombinationen — das Produkt  $T(\lambda) \cdot Q(\lambda)$  — sind in Abb. 6 dargestellt. Für den spektralen Photostrom gilt.

$$i(\lambda) = B(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot Q(\lambda) \cdot C$$

Es bedeuten  $B(\lambda)$  die spektrale Verteilung der extraterrestrischen Solarstrahlung in Photonen  $\text{cm}^{-2}\text{sec}^{-1}$  ( $100 \text{ \AA}^{-1}$ ) (Tab. 1) und  $C$  die Elementarladung  $1,62 \cdot 10^{-19}$  Coulomb.  $T(\lambda)$  ist dimensionslos;  $Q(\lambda)$  gibt die Zahl der Elektronen pro Photon an. So erhält man  $i(\lambda)$  in Einheiten von  $\text{Amp cm}^{-2}$  ( $100 \text{ \AA}^{-1}$ ) (Abb. 7). Der gesamte

Photostrom ergibt sich durch Integration über den entsprechenden Wellenlängenbereich und Multiplikation mit der ausgeleuchteten Kathodenfläche. In Abb. 7 sind die Spektralbereiche gestrichelt eingegrenzt, die gemäß den theoretisch ermittelten Werten 98% zum Meßsignal beitragen. Für die zu untersuchenden Komponenten sind dies folgende Bereiche:

ozonbildende Komponente:	1850—2300 Å
ozonauflösende Komponente:	2350—2850 Å

Im Hinblick auf die Aufgabenstellung (2 a) ist festzustellen, daß die obigen Bereiche innerhalb der vom Meßziel geforderten Spektralgebiete liegen und ausreichend optisch getrennt sind.

Die theoretischen spektralen Selektionskurven der Prismenapparatur sind lediglich durch die spektralen Quantenausbeuten bestimmt, da die Spiegelbeläge fast kein Selektionsvermögen aufweisen. Bei der Trennung der beiden Komponenten legt die Einstellung des Umlenkspiegels  $S_3$  die gemeinsame Grenze bei 2300 Å, die Abdeckung die obere Grenze der ozonauflösenden Komponente fest. Allerdings kann als Streulicht an den Bauelementen auch noch längerwellige Strahlung in der Prismenapparatur zur Messung gelangen und so das Meßergebnis verfälschen. Der Test der Apparaturen mit der durch die Atmosphäre gefilterten Sonnenstrahlung gibt nur eine pauschale Aussage über das Verhalten an der langwelligen Grenze. Durch Laborexperimente wurden die spektrale Reinheit sowie der Einfluß des Streulichts auf das Meßsignal detaillierter untersucht. Die Strahlung der Xenonlampe wurde durch verschiedene WG-Filter (Fa. Schott) mit steil abfallenden kurzwelligen Kanten gefiltert. Als kurzwellige Grenze wurde die Wellenlänge definiert, bei der die Filterdurchlässigkeit 10% beträgt. Nachstehend sind die zu den Durchlässigkeiten 1%, 10% und 50% gehörenden Wellenlängen zusammengestellt. Diese Tabelle gibt ein

Durchlässigkeit	1%	10%	50%
WG 280 (2mm)	2300 Å	2510 Å	2740 Å
WG 280 (4mm)	2520 Å	2670 Å	2820 Å
WG 7 (2mm)	2510 Å	2630 Å	2870 Å
WG 6 (2mm)	2700 Å	2810 Å	3010 Å
WG 6 (4mm)	2800 Å	2920 Å	3140 Å
WG 5 (2mm)	2900 Å	3010 Å	3180 Å
WG 5 (4mm)	3000 Å	3110 Å	3280 Å
WG 4 (2mm)	3100 Å	3200 Å	3350 Å
WG 3 (2mm)	3230 Å	3300 Å	3470 Å
WG 2 (2mm)	3420 Å	3500 Å	3630 Å

Bild von dem schrittweisen Vorrücken vom Langwelligen ins Kurzwellige durch Filterung der Strahlung mit verschiedenen WG-Filtern. Für beide Apparaturen wurden die gemessenen Photoströme mit den entsprechenden kurzwelligen Grenzen der Filter korreliert. In Abb. 19 ist der Photostrom der gefilterten Strahlung in Prozenten desjenigen der ungefilterten Strahlung (d. h. des eigentlichen Meßsignals) als Funktion der kurzwelligen Grenzen des jeweils verwendeten Filters aufgetragen. Es ergeben sich für jeden Meßfühler zwei Kurven — für die kurz- und langwellige Komponente (CsJ bzw. CsTe). Die so erhaltenen Kurven sind ein Maß für die spektrale Reinheit der Meßkanäle, weil ein fester Kurvenpunkt denjenigen prozentualen Anteil  $i_1$  des Meßsignals  $i_0$  angibt, der von dem gesamten Wellenlängenbereich oberhalb der zugeordneten Grenzwellenlänge  $\lambda_1$  erzeugt wird. Man sieht, daß der Abfall zum langwelli-

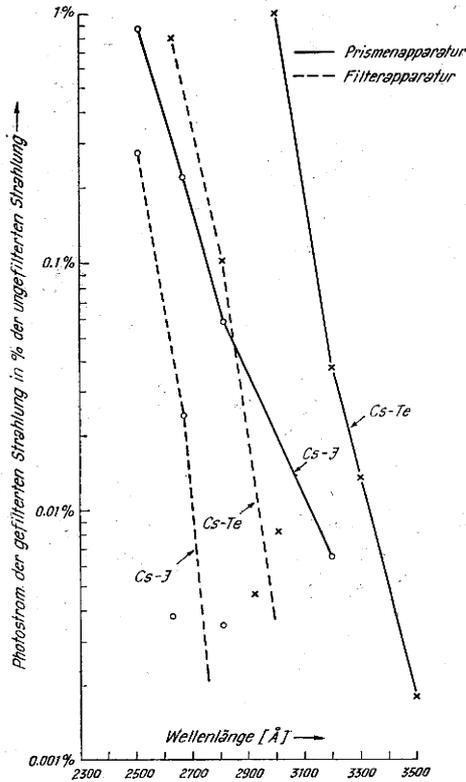


Abb. 19  
Spektrale Reinheit der Meßfühler

gen Spektralgebiet für die Meßkanäle der Filterapparat steiler verläuft als für die der Prismenapparat. Dies ist auf den Einfluß der steilen Flanken der Interferenzfilter zurückzuführen (Abb. 5). Ferner legen die Untersuchungen die Grenzen fest, oberhalb derer der Beitrag der störenden langwelligen Sonnenstrahlung zum Meßsignal unterhalb 0,01% liegt. Für die Filterapparat liegen diese Grenzen bei 2700 Å bzw. 2940 Å, für die Prismenapparat bei 3120 Å bzw. 3330 Å. In dem einen Fall liegen die Grenzen unterhalb der vom Meßziel geforderten Grenze von 3000 Å, im anderen Fall wird diese Grenze überschritten. Der Anteil des Spektralbereichs oberhalb 3000 Å (Prismenapparat) beträgt weniger als 0,02 % bzw. 1% vom Meßsignal. Die störende Größe von 1% läßt sich auf einfache Weise reduzieren, indem die Abdeckung vor dem Umlenkspiegel  $S_3$  um 50 Å ins Kurzwellige verschoben wird. Hierdurch wird das Meßziel entsprechend dem Absorptionsquerschnitt des Ozons nicht beeinträchtigt. Es ist also in jedem Fall möglich, den Einfluß der langwelligen Sonnenstrahlung auf eine für das Meßproblem bedeutungslose Größe herabzudrücken.

Ergebnis der Laboruntersuchungen in Verbindung mit den Tests vor Sonne ist die positive Beantwortung der Frage nach der Beseitigung der langwelligen Sonnenstrahlung, d. h. der eingangs erwähnten 98,9% der Solarkonstanten  $I_0$ .

#### 7.4.5. Ausrichtungsschwankungen

Zur Ermittlung des Einflusses von Ausrichtungsschwankungen des Satelliten auf die Meßsignale wurden die Meßfühler auf einem Theodoliten-Drehtisch montiert. Mit einem Feintrieb war es möglich, Winkeländerungen von  $0,1^\circ$  einzustellen. Die jeweiligen Eintrittsöffnungen der Meßfühler lagen stets über dem Drehpunkt. In Abb. 20 sind die Ergebnisse der Messung zusammengestellt. Bei einer Begrenzung der Meßsignal-schwankungen auf maximal  $\pm 3\%$  beträgt die Forderung an die Ausrichtungsgenauigkeit des Satelliten bei

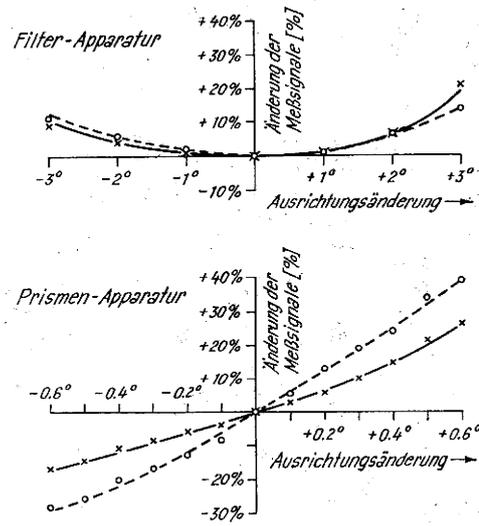


Abb. 20  
Einfluß der Ausrichtungsschwankungen auf die Meßsignale

der Filterapparat  $\pm 1^\circ$  und bei der Prismenapparat weniger als  $\pm 0,1^\circ$ .

Der Verlauf der Signalschwankungen in Abhängigkeit von der Winkeländerung ist für beide Apparaturen verschieden. Bei der Filterapparat steigen die Schwankungen in beiden Drehrichtungen an. Dieses Verhalten ist zu erwarten, da bei der Drehung nur unterschiedliche Filter- und Kathodenbereiche bestrahlt werden. Nach 7.1.2. steigt die Inhomogenität der Kathodenflächen nach den Rändern hin an. Daher ergibt sich unabhängig von der Drehrichtung eine Zunahme des Meßsignals.

Bei der Prismenapparat liegen die Verhältnisse anders. Hier haben die Ausrichtungsschwankungen eine lokale Verschiebung des Spektrums in der Ebene von  $S_3$  zur Folge. Die Kante von  $S_3$  trennt also jeweils verschiedene Spektralbereiche voneinander. Die zu einem festen Ort gehörende Wellenlänge verschiebt sich bei positiver Drehrichtung ins langwellige, bei negativer ins kurzwellige Gebiet. Für die Photoströme beider Meßkanäle bedeutet diese Wellenlängenverschiebung unter Berücksichtigung des Intensitätsabfalls der Xenonlampe zum Kurzwelligen hin eine positive bzw. negative Änderung. In Abb. 21 sind die lokalen Wellen-

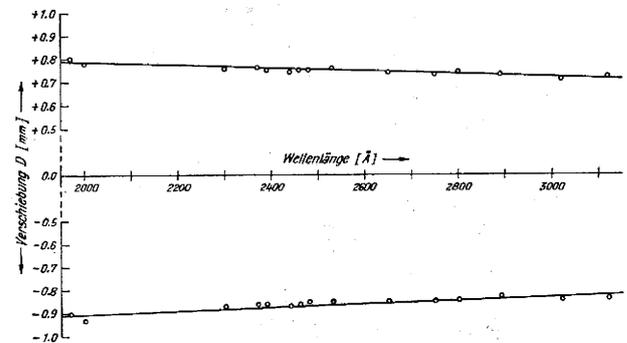


Abb. 21  
Lokale Wellenlängenverschiebung am Ort von  $S_3$  bei Ausrichtungsschwankungen von  $\pm 1^\circ$

längenverschiebungen  $D$  für Winkeländerungen von  $\pm 1^\circ$  aufgetragen. Das Spektrum des UV-Standards wurde in der Ebene von  $S_3$  photographisch aufgenommen. Die Lage der Wellenlängen für die Winkeländerungen  $\pm 1^\circ$  und  $0^\circ$  wurden mit einem Meßmikroskop bestimmt. Aus diesen Werten ergeben sich die lokalen Wellenlängenverschiebungen  $D$ .

#### 7.4.6. Streulichtreduzierung durch den Vorzerleger

Wie in 5.3.1. erwähnt, liegt der Vorteil der Kombination Prismenapparat plus Vorzerleger in der Streulichtreduzierung; dies ist bei einer Verwendung aselectiver Empfänger von Nutzen. Im folgenden wird die Verminderung des Streulichts untersucht. In der Prismenapparat wurde an den Ort der Photodioden ein RCA-Multiplier vom Typ 931 A (Betriebsspannung 750 V) gesetzt. Dieser Multiplier besitzt eine S4-Kathode (CsSb) mit einem Empfindlichkeitsmaximum im Bereich 3500–4000 Å. Damit wurde insgesamt der Spektralbereich 3150–5500 Å erfaßt. Es gelangten nun jeweils eine der Spektralkomponenten sowie das in der Apparatur durch Streuung an den Bauelementen erzeugte Streulicht oberhalb 3000 Å zur Messung. Aufgrund der Kathodenempfindlichkeit ist für das Meßsignal des Multipliers lediglich das Streulicht oberhalb 3150 Å verantwortlich. Aus den Photoströmen mit und ohne Vorzerleger wurde der prozentuale Streulichtanteil des Systems Prismenapparat-Vorzerleger relativ zur Prismenapparat berechnet. Bei dieser Messung wurde als Parameter die relative Transmission  $V$  (s. 7.2.2.) des Vorzerlegers bei 2950 Å gewählt. Für folgende Werte wurden die Messungen durchgeführt:  $V = 30\%$ ,  $50\%$ ,  $68\%$ ,  $83\%$  und  $100\%$ . Zur Einstellung der Transmissionswerte wurde die Strahlung der Xenonlampe mit einem Interferenzfilter (Fa. Baird-Atomic, Peakwellenlänge 2950 Å, Transmission 21%, Halbwertsbreite 280 Å) gefiltert und mit der CsTe-Photodiode registriert. Den verschiedenen  $V$ -Werten entspre-

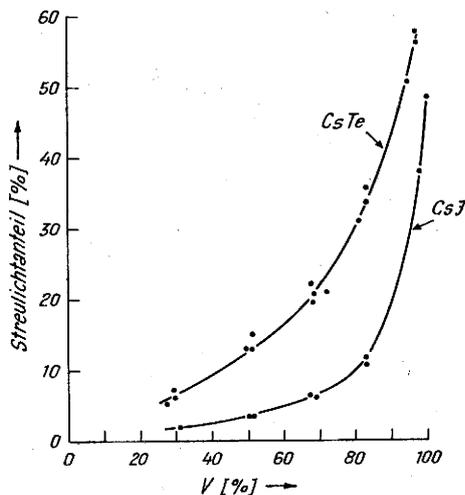


Abb. 22  
Streulichtreduzierung durch den Vorzerleger

chen verschiedene Einstellungen der Schneide K. Die Beeinflussung des Spektralbereichs unterhalb 3000 Å durch die Schneideneinstellung ist Abb. 13 zu entnehmen. In Abb. 22 ist der Streulichtanteil am Ort der CsTe- und CsJ-Photodiode als Funktion der relativen Transmission  $V$  (bei 2950 Å) aufgetragen. Der Streulichtanteil, der auf die CsJ-Photodiode trifft, ist stets kleiner als der, den die CsTe-Photodiode empfängt. Ferner ergibt sich z. B. für  $V = 50\%$  eine Reduzierung des Streulichts auf 3,5% (CsJ) und 13% (CsTe). Durch diese Untersuchung ist die Empfehlung gestützt, bei Spektralmessungen mit aselectiven Empfängern im UV einen Vorzerleger dem eigentlichen Spektralapparat vorzuschalten.

#### 8. Gesamtergebnis

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung von satellitengerechten Meßapparaturen zur Untersuchung

des mittleren Ultravioletts der extraterrestrischen Solarstrahlung, welches zu Dissoziations- und Rekombinationsprozessen von  $O_2$  und  $O_3$  in der Atmosphärenschicht von 35 bis 50 km Höhe – der Stratosphäre und Stratopause führt. Das zu untersuchende Wellenlängenintervall liegt in den Grenzen von 1850 bis 3000 Å. Da dieser Bereich nur 1,2% zur Solarkonstanten beiträgt, müssen 98,8% der Gesamtintensität der Sonne von der Messung ausgeschlossen werden. Für diese Aufgabe sind zwei Meßfühler entwickelt und im Labor getestet worden. Beide Meßfühler erfassen den obigen Spektralbereich jeweils in den Komponenten von 1850 bis 2300 Å und 2300 bis 3000 Å. Die Meßfühler unterscheiden sich voneinander durch die Art der Selektion. Im einen Fall wird die Selektion durch Interferenzfilter mit Peakwellenlängen von 2000 Å und 2537 Å erreicht (Filterapparat), im anderen Fall übernehmen optische Elemente – ein 32°-Reflexionsprisma sowie Spiegel – die Trennung der Komponenten (Prismenapparat). Als Empfänger werden weltraumfeste Photodioden mit selektiven Kathoden (CsJ, CsTe) eingesetzt. Bei der Filterapparat beträgt der Einfluß der störenden langwelligen Strahlung oberhalb 3000 Å für beide Komponenten weniger als 0,01%. Bei der Prismenapparat trägt dieser Bereich 0,02% bzw. 1% zum Meßsignal bei. Durch einfache Maßnahmen läßt sich der letzte Wert weiter reduzieren.

Zur Kontrolle der optischen Elemente während des Satellitenfluges ist ein Prüfstrahler entwickelt worden. Diese Lampe ist eine Spezialanfertigung eines Quecksilber-Niederdruckbrenners, der ursprünglich für eine Leistungsaufnahme von 4 W ausgelegt war. Durch Ausstattung der Lampe mit einem doppelten, evakuierten Gehäuse aus Suprasil und Verspiegelung mit  $Al + MgF_2$  ist es gelungen, den Temperatureinfluß und die thermischen Verluste zu vermindern sowie die Leistungsaufnahme auf 0,6 W zu reduzieren. Als Prüfstrahlung dienen die beiden Quecksilber-Resonanzlinien bei 1850 Å und 2537 Å. Um die Eignung der Lampe für Weltraumexperimente beurteilen zu können, wurden als wichtigste Eigenschaften die Temperaturabhängigkeit, Alterung und Langzeitkonstanz untersucht. Aufgrund dieser Messungen hat sich gezeigt, daß die Prüflampe für einen Weltraumeinsatz günstige Merkmale aufweist. Für eine endgültige Entscheidung ist es aber erforderlich, diese Untersuchungen auf mehrere Exemplare auszuweiten.

Für eventuelle Messungen im mittleren UV mit aselectiven Empfängern wurde ein Vorzerleger entwickelt, der dem jeweiligen Spektralapparat vorgeschaltet wird. Auf diese Weise ist es möglich, die sichtbare Komponente von dem zu untersuchenden Spektralbereich abzutrennen und den Einfluß des Streulichts im eigentlichen Spektralapparat zu vermindern.

#### Literatur

- (1) FAUST, H.: Erforschung des Weltraums III, VDI-Verlag, Düsseldorf 1968, S. 69.
- (2) DÜTSCH, H. U.; GINSBURG, TH.: Parametric studies on ozone photochemistry. Pure and appl. Geoph. 72, (1969) S. 204.
- (3) SCHIFF, H. I.: Reactions related to atmospheric ozone chemistry. Met. Monographs 8, (1968) 31, 32.
- (4) HUNDLEY, H. O.: NASA Contractor Report NASA CR 38, 1964.
- (5) SULLIVAN, J. O.; HOLLAND, A. C.: A congeries of absorption cross section for wavelengths less than 3000 Å. NASA CR 371, 1966.

- (6) CATCHPOOLE, J. R.: Wavelength and height dependence of dissociation rates for the upper ozonosphere; *J. atm. and Terrestr. Phys.* 26, (1964) S. 1007.
- (7) TOUSEY, R.: Ultraviolet spectroscopy of the sun. *Space astrophysics*, Ed. W. Liller, 1961.
- (8) GREEN, A. E. S.: *The Middle Ultraviolet. Its Science and Technology.* 1966.
- (9) FAUST, H.: Die Bedeutung unserer Kenntnis der extraterrestrischen Sonnenstrahlungen; *Welt- raumfahrt Heft 6* (1962), S. 165.
- (10) FAUST, H.: *Der Aufbau der Erdatmosphäre, Vie- weg* 1968.
- (11) LONDON, J.: Problems related to the use of sa- tellite observations; *Technical Note NCAR-TN-11* (1966) S. 293.
- (12) DÜTSCH, H. U.: Atmospheric ozone and ultra- violet radiation; *World Survey of Climatology*, Edit. Landsberg (1969) S. 426.
- (13) ALDRICH, L. B.; HOOVER, W. H.: The solar con- stant. *Science* 166 (1952) 3.
- (14) JOHNSON, F. S.; PURCELL, J. D.; TOUSEY, R.; WILSON, N.: The ultraviolet spectrum of the sun. *Rocket Exploration of the Upper Atmosphere*, London, Pergamon Press 1954.
- (15) JOHNSON, F. S.: The solar constant; *J. of Me- teorol.* 11 (1954) 6, S. 431.
- (16) THEKAEKARA, M. P.: The solar constant and the solar spectrum measured from a research aircraft at 38 000 feet; *NASA TMX-63324*, 1968.
- (17) DETWILER, C. R.; GARRETT, D. L.; PURCELL, J. D.; TOUSEY, R.: The intensity distribution in the ultraviolet solar spectrum. *Ann. Geophys.* 17 (1961) S. 263.
- (18) KREFFT, H.; RÖSSLER, F.; RÜTTENAUER, A.: Ein neues Strahlungsnormal. *Z. techn. Physik*, Bd. 18 (1937), S. 20.
- (19) GARRETT, D. L.; PURCELL, J. D.; TOUSEY, R.: An Echelle spectrograph for middle ultraviolet solar spectroscopy from rockets. *Appl. Optics* 6 (1967) S. 365.
- (20) PURCELL, J. D.: Private Mitteilung 1968.
- (21) FÉRY, M. CH.: Prisme à faces courbes applicable à la Spectroscopie. *Comptes Rendus* 150 (1910) S. 216.
- (22) FÉRY, M. CH.: A prism with curved faces, for spectrograph or spectroscope; *Astrophys. J.* 34 (1911) S. 79.
- (23) FÉRY, M. CH.: Le prisme à faces courbes et ses applications. *J. de Physique* 4 (1914) S. 261.
- (24) NAUMANN, H.: Über Dispersionsprismen mit ge- krümmten Flächen; *Centralzeitung f. Optik und Mechanik* 50, (1929) 18, S. 293.
- (25) WILSON, R. N.: Die Anwendung von aplanatischen Prismen in Monochromatoren und Spektrographen. *Optik* 29 (1969) S. 17.
- (26) HEATH, D. F.; SACHER, P. A.: Effects of a simu- lated high-energy space environment on the UV transmittance of optical materials between 1050 - 3000 Å. *Appl. Optics* 5 (1966) S. 937.
- (27) HASS, G.; TOUSEY, R.: Reflecting coatings for the extreme UV. *J. O. S. A.* 49 (1959) S. 593.
- (28) HASS, G.; WAYLONIS: Optical constants and reflectance and transmittance of evaporated Al in the visible and UV. *J. O. S. A.* 51 (1961) S. 719.
- (29) BURTON, W. M.; HATTER, A. T.; RIDGELEY, A.: Vacuum ultraviolet efficiency measurements of mirrors, gratings and photographic film. *ESRO- SP 33* (1968) S. 145.
- (30) HEATH, D. F.: The monitor of ultraviolet solar energy (MUSE) experiment. *Nimbus III Data Ca- talogue* 1969, S. 1-20.
- (31) HEATH, D. F.; MCELANY, J. H.: Effects of a high energy particle environment on the quantum- efficiency of spectrally selective photocathodes for the middle and vacuum UV. *Appl. Optics* 7 (1968) S. 2049.