

**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

EIN NUMERISCHES MODELL ZUR BESTIMMUNG DER TRUEBUNG, DER
SICHTWEITE UND DER TRANSMISSIONSKOEFFIZIENTEN DER
ATMOSPHAERE ANHAND VON BREITBAND- UND
SPEKTRALSTRAHLUNGSMESSUNGEN

von

Francis Schubiger, Zürich

November 1983

551.521.31

Sonnenstrahlung

Zusammenfassung

Auf der Basis des LOWTRAN-Programms für die spektrale Berechnung der Transmission (Selby et al., 1975; 1976; 1978) wurde ein numerisches Modell entwickelt, das aus Messungen der Direktstrahlung die Trübung, die Sichtweite und die Transmissionskoeffizienten einer gewählten Atmosphäre bestimmt. Bei zusätzlichen, gleichzeitig ausgeführten Breitbandmessungen (mit Schott'schen Filtern) kann eine Aussage gemacht werden über die Güte des Atmosphärenmodells. Ferner können bei Vorhandensein von Spektralmessungen das Aerosolmodell und wiederum die Trübung und Sichtweite berechnet werden.

Das Programm enthält als Input einerseits ein extraterrestrisches Sonnenspektrum, 2 Dunstmodelle, 5 Aerosolmodelle, 6 Atmosphärenmodelle, Extinktionskoeffiziente der atmosphärischen Komponenten, andererseits die Transmission der Schott'schen Filter, die Messwerte der Direktstrahlung (mit den Schott'schen Filtern und / oder mit dem Spektroradiometer), die Werte von Temperatur, Feuchtigkeit und Druck am Boden sowie eventl. ein Radiosonden- und / oder ein Ozonaufstieg.

Résumé

Un modèle numérique a été développé sur la base du programme LOWTRAN pour le calcul spectral de la transmission (Selby et al., 1975; 1976; 1978). Ce modèle détermine à partir des mesures du rayonnement direct le trouble, la visibilité et les coefficients de transmission d'une atmosphère choisie. Lors de mesures simultanées à large bande (avec des filtres Schott) on peut donner une appréciation sur la qualité du modèle atmosphérique. De plus lors de mesures spectrales on a la possibilité de déterminer le modèle d'aérosol, et de là calculer à nouveau le trouble et la visibilité.

Le programme contient comme input d'une part un spectre solaire extra-terrestre, 2 modèles de brume atmosphérique, 5 modèles d'aérosol, 6 modèles atmosphériques, les coefficients d'extinction des composantes atmosphériques, et d'autres part les transmissions des filtres Schott, les valeurs mesurées du rayonnement direct (avec les filtres Schott et/ou avec le spectroradiomètre), les valeurs de température, d'humidité et de pression au sol, ainsi qu'éventuellement un sondage aérologique et/ou un sondage d'ozone.

Riassunto

Sulla base del programma LOWTRAN per l'elaborazione spettrale della trasmissione (Selby et al., 1975; 1976; 1978), é stato sviluppato un modello numerico, che in base alle misurazioni della radiazione diretta, stabilisce la foschia, la visibilità e i coefficienti di trasmissione di una atmosfera scelta. Con l'aggiunta di misurazioni a banda larga, eseguite contemporaneamente (con filtri Schott), si possono ottenere indicazioni sulla qualità del modello dell'atmosfera. Inoltre, disponendo di misurazioni spettrali, si possono calcolare il modello di aerosolo, come pure la foschia e la visibilità.

Il programma contiene quale "Input" da una parte uno spettro solare extra-terrestre, 2 modelli di caligine, 5 modelli di aerosoli e 6 modelli di coefficienti delle componenti atmosferiche, dall'altra parte la trasmissione dei filtri Schott, i valori della radiazione diretta misurata (con filtri Schott e/o con il radiometro spettrale), i valori della temperatura, dell'umidità e della pressione al suolo, nonché eventualmente dati di un lancio di radiosonda e/o di ozono.

Summary

Based on the LOWTRAN program for the spectral computation of the transmission (Selby et al., 1975; 1976; 1978), a numerical model has been developed for the determination of the turbidity and the visibility and for the computation of the transmission coefficients for a chosen atmosphere. The model starts from measurements of the direct radiation. In case of supplementary and simultaneously performed broad width measurements with Schott filters, an assessment on the quality of the atmosphere model used can be made. Moreover, if spectral measurements are available, the aerosol model can be determined and from it the turbidity and the visibility recomputed.

The program needs as input on one hand an extraterrestrial solar spectrum, 2 dust models, 5 aerosol models, 6 atmosphere models and the values of the extinction coefficients for the components of the atmosphere. On the other hand, the transmission coefficients of the Schott filters must be known as well as the direct radiation (measured with the Schott filters and/or with the spectroradiometer) and the values of the temperature, humidity and pressure at the ground. A rawing sonde ascent or an ozon sounding could also be used.

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
Vorwort	3
1. Einführung	4
2. Theorie	6
2.1 Berechnung der Luftmasse	6
2.2 Berücksichtigung des Abstandes Sonne - Erde	6
2.3 Berechnung der totalen äquivalenten Absorbergehalte	6
2.4 Transmissionsberechnung	7
2.5 Bestimmung der Sichtweite	8
2.6 Bestimmung der Aerosolmenge und Wahl des Aerosolmodells	9
2.6.1 Spektralmessungen	9
2.6.2 Breitbandmessungen	11
2.7 Bestimmung der Trübung	13
2.7.1 Trübungskoeffizienten von Schüepp und Angström	13
2.7.1.1 Spektralmessungen	14
2.7.1.2 Breitbandmessungen	14
2.7.2 Trübungsfaktor von Linke.	15
3. Programmbeschreibung und -diskussion	16
3.1 Programmbeschreibung	16
3.2 Input des Programms	16
3.2.1 Atm. Modelle	16
3.2.2 Atm. Bestandteile	18
3.2.2.1 Atmosphärische Gase	18
3.2.2.2 Aerosol	18
3.2.3 Transmission der Filter	19
3.2.4 Extraterr. Sonnenspektrum	20
3.3 Input der Messdaten und Parameter (Steuerkarten)	21
3.4 Output-Tabellen	24
3.5 Rechenzeiten des Programms	24
3.6 Abhängigkeit der Resultate von verschiedenen Parametern	28
3.7 Unterschiede der B- und VIS-Werte zwischen Spektral- und Breitbandmessungen	36

	<u>Seite</u>
3.8 Vergleiche numerischer (VISTRU-Modell) und graphischer B-Bestimmungen (Valko)	36
4. Resultate	37
Literaturverzeichnis	40
Anhang: Kurzer Beschrieb aller Subroutinen in VISTRU	

Vorwort

Das Interesse an der Erschliessung nicht-konventioneller Energiequellen hat in den letzten Jahren anhaltend zugenommen. In diesem Zusammenhang gewinnen meteorologische Strahlungsdaten und damit auch die atmosphärische Strahlungsforschung immer mehr an Bedeutung.

Ein nicht unerheblicher Teil der Sonnenenergie wird, infolge atmosphärischer Streuprozesse, aus allen Richtungen den Sonnenkollektoren zugestrahlt. Menge und Richtungsverteilung dieser diffusen Sonnenstrahlung sind durch die optische Beschaffenheit der Atmosphäre bestimmt. Dafür sind die Trübungs- und Transmissionskoeffizienten charakteristische und bewährte Masszahlen. Die Trübung ist somit ein sehr nützlicher Parameter zur Berechnung des Strahlungsanfalls auf verschieden orientierte und geneigte Kollektorflächen. Eine Trübungsberechnung aufgrund der neuesten Kenntnisse der Atmosphärenoptik war erforderlich, um die vielfältigen Strahlungsmessungen auszuwerten, die mit dem fahrbaren Gerätesystem der SMA gesammelt wurden.

Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil des schweizerischen Beitrages zum Sonnenenergie-Forschungsvorhaben der Internationalen Energieagentur, der von der Sektion Technische Meteorologie der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt erbracht wird. Die finanziellen Mittel wurden in dankenswerter Weise vom Bundesamt für Energiewirtschaft und vom Nationalen Energie-Forschungs-Fonds zur Verfügung gestellt.

Dr. P. Valko

1. E I N F U E H R U N G

Es wurde ein numerisches Verfahren ausgesucht, das möglichst viele atmosphärische Parameter (Wasserdampf- und Ozongehalt, Aerosol, Trübung, Sichtweite usw.) anhand von Breitband- und spektralen Messungen der direkten Sonnenstrahlung mit dem Strahlungsmesswagen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt ermittelt.

Als Grundlage wurde das numerische Modell LOWTRAN benutzt (Selby et al., 1975). Dieses Modell berechnet die Transmission der Atmosphäre im Spektralbereich $0.25 - 28.5 \mu\text{m}$ (maximale spektrale Auflösung: 20 cm^{-1}). Das Programm enthält als Eingabe 6 verschiedene Atmosphärenmodelle von Meereshöhe bis 100 km Höhe für verschiedene geographische Breiten und Jahreszeiten, 2 Aerosoldichtemodelle sowie Daten für die Molekülabsorption, Molekülstreuung und Aerosolextinktion. Um die totale mittlere Transmission über das ganze Spektrum zu berechnen, ist das LOWTRAN-Programm erweitert worden. Die Eingangsdaten wurden durch das extraterrestrische Sonnenspektrum und die Transmission der Schott'schen Filter OG1, RG2 und RG8 erweitert. Dadurch entstand ein Programm SUNTRAN für die Bestimmung der totalen sowie hinter den Filtern anfallenden Intensitäten in Bodenhöhe.

Dies war die Ausgangssituation 1977. Der vorliegende Bericht beschreibt die seither erfolgte Weiterentwicklung.

Zuerst wurde das Programm SUNTRAN vereinfacht. Alle überflüssigen Fälle (z.B. horizontale, nach unten gerichtete Strahlungswege) wurden eliminiert. Der Input wurde erweitert. So können die mit dem Messwagen erfassten Intensitäten, die Temp- und Ozonaufstiege (bzw. nur Taupunktprofile), die Bodenwerte von Druck, Temperatur und Feuchtigkeit eingegeben werden. Weitere Verbesserungen wurden anhand der neuen Modelle LOWTRAN 3B und LOWTRAN 4 (Selby et al., 1976, 1978) vorgenommen (namentlich 4 Aerosolextinktionsmodelle); berücksichtigt wurden auch Änderungen, die vom Weltstrahlungszentrum Davos stammten (neues extraterrestrisches Sonnenspektrum, neue Wasserdampfabsorption). Eine Aufteilung für sämtliche Spektralbereiche zwischen den Breitbandfiltern wurde eingebaut. Die Trübungsberechnung wurde ebenfalls ins Pro-

gramm einbezogen (Trübungsfaktor von Linke, Trübungskoeffizient von Schüepp und Angström).

Im Frühjahr 1979 wurde ein Spektroradiometer (Fröhlich, Bener; 1978) in den Strahlungsmesswagen eingebaut. Das Modell wurde den neuen Messdaten entsprechend adaptiert, um die Transmission für die 16 Wellenlängen des Spektroradiometers zu berechnen. So kann aus der Sichtweite die Aerosolmenge bestimmt werden. Als Aerosolmodell für Auswertungen der Breitbandmessungen werden die Extinktionskoeffizienten der Spektralmessungen genommen. Die Abweichungen der mit Hilfe des Modells berechneten Filterintensitäten von den gemessenen können als Güte des VISTRU-Programms betrachtet werden. Sämtliche Kampagnen mit dem Messwagen wurden mit dem Programm VISTRU ausgewertet, die Resultate analysiert und diskutiert.

2. T H E O R I E

Für die theoretischen Grundlagen, insbesondere betreffend Berücksichtigung der Erdkrümmung und Refraktion, sei auf die Publikationen von McClatchey (1972) und Selby (1975, 1976, 1978) über das LOWTRAN-Modell verwiesen. Nachfolgend werden nur Berechnungsvorgänge erläutert, die entweder durch Abänderung des LOWTRAN-Modells erhalten oder diesem neu hinzugefügt worden sind.

2.1 BERECHNUNG DER LUFTMASSE

Die Luftmasse wird nach der Formel von Kasten (1966) berechnet:

$$m = 1 / \left[\cos(za) + 0.15(h+3.885)^{-1.253} \right]$$

$$za = 1.745329252 \cdot 10^{-2} z$$

z : Zenitwinkel (Grad)

h : Sonnenhöhe (=90°-z)

Diese Formel ergibt gegenüber der Bemporad-Funktion nur geringfügige Abweichungen. Für einen Zenitwinkel von 90° ergibt sie m = 36.5 statt 39.7 nach Bemporad.

2.2 BERUECKSICHTIGUNG DES ABSTANDES SONNE - ERDE

Der Einfluss des variablen Sonnen - Erde Abstandes auf die Strahlungsintensität wurde durch folgende Formel berücksichtigt:

$$I = I^* / \left[1.0004 + 0.0334 \sin \left(\left(\frac{dn-95}{365.25} \right) 2\pi \right) \right] \quad (2)$$

I* : "normale" Intensität
(für mittleren Sonne-
Erde Abstand)

dn : Tagesnummer (1 bis 366)

2.3 BERECHNUNG DER TOTALEN AEQUIVALENTEN ABSORBER-GEHALTE

Diese werden für den senkrechten Einfall durch den Weltraum mit dem LOWTRAN-Modell berechnet (Selby et al., 1975). Zuerst werden für

jedes Niveau j und jeden Absorbertyp k die äquivalenten Weggrößen ($W_{k,j}$) pro km bestimmt, danach die totalen äquivalenten Absorbergehalte

$$W_k = \sum_j w_{k,j} \quad (3)$$

berechnet.

2.4 TRANSMISSIONSBERECHNUNG (s. auch Beschrieb Subroutine TRANSM)

Ausgenommen den Wasserdampf bei schwacher Absorption und die Rayleigh-Streuung (s. 3.2.2.1), wird die Transmission eines Absorbers bzw. Streuers bei jeder Wellenlänge nach dem LOWTRAN-Modell ermittelt. Mittlere Transmissionswerte werden wie folgt berechnet:

- Breitbandmessungen

Es wird von 2000 bis 40000 cm^{-1} ($.25\mu$ bis 5.0μ) in Schritten von 200 cm^{-1} aufintegriert. Gegenüber einer Aufintegration in Schritten von 20 cm^{-1} gibt dies bei den Transmissionswerten Änderungen $\leq 1\%$, dafür lässt sich die Rechenzeit um etwa einen Faktor 7 verkürzen.

Die von verschiedenen Absorbertypen geschwächte Strahlungsintensität wird für jeden Schritt bzw. jedes neue Intervall (in den Subroutinen LOSS/FLUSS) berechnet und aufsummiert. So kann die mittlere Transmission der verschiedenen Absorbertypen in den verschiedenen Spektralbereichen angegeben werden:

$$\bar{q}_{k,\Delta\lambda} = \frac{\sum_{\Delta\lambda} I_{0,\lambda} \cdot e^{-\sigma_{k,\lambda} \cdot W_k}}{\sum_{\Delta\lambda} I_{0,\lambda}} \quad (4)$$

Dabei bedeuten

$\bar{q}_{k,\Delta\lambda}$ } mittlere Transmission des Absorbertyps k im
 $\bar{q}_{k,F}$ } Spektralbereich $\Delta\lambda$ bzw. hinter Filter F

$\sigma_{k,\lambda}$: Extinktionskoeffizient des Absorbers k

W_k : totaler äquivalenter Absorbergehalt k

Mit $q_{F,\lambda}$ für die Filtertransmission bei Wellenlänge λ beträgt die mittlere Transmission hinter den Schott'schen Filtern:

$$\bar{q}_{k,F} = \frac{\sum_{\Delta\lambda} I_{0,\lambda} \cdot e^{-\sigma_{k,\lambda} \cdot W_k} \cdot q_{F,\lambda}}{\sum_{\Delta\lambda} I_{0,\lambda} \cdot q_{F,\lambda}} \quad (5)$$

- Spektralmessungen

Für jede der 16 Wellenlängen λ_i des Spektroradiometers wird die mittlere Transmission in einem Bereich $\lambda_i \pm \Delta\lambda_i$ berechnet, wobei $2\Delta\lambda_i$ die Bandbreite der Spektralmessung bei der Wellenlänge λ_i ist. Die Bandbreitenwerte sind der Publikation von Fröhlich, Bener (1978) (Tabelle 2) entnommen (Bandbreite im Programm = berechnete Bandbreite $\cdot 1.33 \approx$ gemessene Bandbreite). Es wird angenommen, dass am Rand des Bereiches die Empfindlichkeit = 0%, bei $\lambda_i = 100\%$ beträgt und dass dazwischen ein linearer Zusammenhang besteht. Somit wird über ein "Empfindlichkeits- Dreieck" um die Wellenlänge aufintegriert (in Schritten von 20 cm^{-1}) und danach, ähnlich wie bei Breitbandmessungen, über den Spektralbereich für jede Wellenlänge die mittlere Transmission der verschiedenen Absorbertypen berechnet.

Gegenüber einer einfachen Transmissionsbestimmung (d.h. Berechnung nur bei Wellenlänge λ_i) ergeben sich einzig bei den Wellenlängen 822 nm und 781 nm geringfügige Änderungen (um -3% bei 822 nm infolge Wasserdampf sowie -0.5% bei 781 nm infolge O_2 -Absorption am unteren Rand des Bereiches). Bei den übrigen Wellenlängen sind die Änderungen $< 1\%$.

2.5 BESTIMMUNG DER SICHTWEITE

Die Sichtweite (in km) ist definiert durch

$$VIS = \frac{3.91}{\sigma_T} \quad (6)$$

wobei $\sigma_T = \sigma_R + \sigma_{ast}$

σ_T : totaler Streukoeffizient bei 550 nm

σ_R : Molekularstreukoeffizient (Rayleigh-Streuung)

σ_{ast} : Aerosolstreukoeffizient

Sowohl bei Spektral- als bei Breitbandmessungen wird die Sichtweite iterativ, im Anschluss an die Berechnung der optimalen Aerosolmenge d_{opt}^* (s. 2.6), bestimmt. Es stellt sich heraus, dass zwischen Sichtweite und Aerosolmenge folgender grober Zusammenhang besteht:

$$VIS \sim \frac{1}{d^{*2}} \quad (7)$$

Der äquivalente Aerosolgehalt d^* wird für eine bestimmte Sichtweite mit den Subroutinen AEROSH und AEROSV berechnet. Entsprechend wird eine Iteration für die Sichtweite durchgeführt:

$$VIS_{i+1} = VIS_i \cdot \frac{d_i^*}{d_{opt}^*} \quad (8)$$

Als VIS_0 wird 15 km gewählt; bei gleichzeitigen Spektralmessungen wird für VIS_0 die aus den Spektralmessungen ermittelte Sichtweite übernommen. Als Abbruchkriterium gilt:

$$\left| \frac{d_i^*}{d_{opt}^*} - 1 \right| < 2.5\% \quad (9)$$

Damit ist die Sichtweite auf ca. 1% genau bestimmt.

2.6 BESTIMMUNG DER AEROSOLMENGE UND WAHL DES AEROSOLMODELLS

Der Aerosolstreuoeffizient σ_{ast} ist proportional zu $\lambda^{-\alpha}$, wenn die Größenverteilung der Aerosolpartikel der Junge-Verteilung

$$dn = \text{const} \cdot r^{-(\alpha+3)} \cdot dr \quad (10)$$

folgt. Dabei bedeuten r den Partikelradius, n die Anzahldichte der Teilchen im Intervall dr und α den Wellenlängenexponenten.

2.6.1 Spektralmessungen

Die Aerosolextinktion bzw. die optische Dicke des Aerosols $\bar{I}_{a,\lambda}$, berechnet sich für jede der 16 Wellenlängen als Differenz zwischen der gemessenen totalen optischen Dicke $\bar{I}_{Tg,\lambda}$ und die mit dem LOW-TRAN-Modell ermittelten optischen Dicken für die Rayleigh-Streuung $\bar{I}_{R,\lambda}$ und die Absorption von Ozon $\bar{I}_{O_3,\lambda}$, Sauerstoff $\bar{I}_{O_2,\lambda}$ und Wasserdampf $\bar{I}_{H_2O,\lambda}$:

$$\bar{I}_{a,\lambda} = \bar{I}_{Tg,\lambda} - \bar{I}_{R,\lambda} - \bar{I}_{O_3,\lambda} - \bar{I}_{H_2O,\lambda} - \bar{I}_{O_2,\lambda} \quad (11)$$

Einzelheiten zu den Absorptions- und Extinktionsterme sei nachstehend kurz aufgelistet:

- H_2O - Absorption: im Spektralbereich 822 nm (zudem im unteren bzw. oberen Rand der Spektralbereiche 863 und 781 nm)
- O_2 - Absorption: am unteren Rand des Spektralbereiches 781 nm. Die Transmissionskoeffizienten der O_2 - Absorption werden im Programm nicht ausgedruckt (s. 3.4), sind aber bei der Berechnung der totalen Transmission berücksichtigt (0.5% Absorption im Spektralbereich 781 nm).
- O_3 - Absorption: in allen Spektralbereichen zwischen 455 nm und 633 nm sowie bei 334 nm (Maximum um 560 - 600 nm)
- Rayleigh-Streuung: $\sim \lambda^{-4}$ (s. 3.2.2); somit stark zunehmend für kurze Wellenlängen.
- Aerosol-Extinktion: $\bar{Z}_{a,\lambda} = Z_{a_{st},\lambda} + Z_{a_{abs},\lambda}$
 $Z_{a_{st},\lambda}$: Aerosol-Streuung: $\sim \lambda^{-\alpha}$ (s.oben)
 $Z_{a_{abs},\lambda}$: Aerosol-Absorption: je nach gewähltem Aerosolmodell (einige Prozente der Extinktion bis 1/3 der Extinktion beim Stadtmodell)

Nachdem $\bar{Z}_{a,\lambda}$ mit (11) berechnet worden ist, kann die Aerosolmenge bestimmt werden.

Der tatsächliche Aerosolgehalt d , d.h. die Höhe der homogenen Aerosolatmosphäre ("aerosol scale height"), ist definiert:

$$\sigma_{a,\lambda} \cdot d = \bar{Z}_{a,\lambda} \quad (12)$$

und wird hier über den (LOWTRAN-bedingten) Umweg des äquivalenten Aerosolgehalts d^* ermittelt. Letzteres ist definiert:

$$d^* = \frac{\bar{Z}_{a,\lambda} \cdot m}{\sigma_{a,\lambda}^*} \quad (13)$$

wobei der Aerosolextinktionskoeffizient $\sigma_{a,\lambda}^*$ auf eine Sichtweite von 23 km normiert ist.

Im Programm wird d^* für die Wellenlängen 365, 415, 455 und 500 nm berechnet und daraus das mittlere d^* ermittelt. Bei diesen Wellenlängen ist $\bar{z}_{H_2O} = \bar{z}_{O_2} = \bar{z}_{O_3} = 0$, bei 455 und 500 nm \bar{z}_{O_3} nur ≈ 0 . d^* bleibt aber abhängig vom gewählten Aerosolmodell (Variable $\sigma_{a,\lambda}^*$) und der Messgenauigkeit von $\bar{z}_{Tg,\lambda}$.
Aus den Gleichungen (6), (12), (13) wird:

$$d = \frac{\sigma_{a,\lambda}^* \cdot d^*/m}{\frac{3.91}{VIS} - \sigma_R} \quad (14)$$

(14) gilt bei 550 nm, dabei beträgt der Aerosolstreckkoeffizient $\sigma_{a,550}^* .158 \text{ km}^{-1}$, und der Rayleighstreckkoeffizient $\sigma_R .0117 \text{ km}^{-1}$.

2.6.2 Breitbandmessungen

Es werden zwei Aerosolmodelle mit folgenden Spezifikationen gewählt:

- bei gleichzeitigen Spektralmessungen:

$0.3 < \lambda < 1.2 \mu$: Extinktionskoeffizienten der Spektralmessungen (11)

Die $\bar{z}_{a,\lambda}$ müssen auf $\sigma_{a,\lambda}^*$ rücktransformiert werden:

$$\sigma_{a,\lambda}^* = \bar{z}_{a,\lambda} \cdot m/d^*$$

Streuung und Absorption werden nicht separat behandelt.

$\lambda < 0.3 \mu; \lambda > 1.2 \mu$: eines der 5 VISTRU-Aerosolmodelle (Parameter IHAZE; Kap. 3.3)

- in allen anderen Fällen: eines der 5 VISTRU-Aerosolmodelle

Die Aerosolmenge d^* wird iterativ bestimmt (s. (16)). Daraus werden die Filterintensitäten des Modells $I_{F,m}$ berechnet und deren Abweichungen ΔI_F zu den gemessenen Filterintensitäten $I_{F,g}$ bestimmt:

$$\Delta I_F = \frac{I_{F,g} - I_{F,m}}{I_{F,g}} \quad (15)$$

Es ist möglich, im Programm ein "besseres" Aerosolmodell zu berechnen, indem der Wellenlängenexponent variiert wird damit die ΔI_F kleiner werden. Zumindest bei gleichzeitigen Spektralmessungen sollte man jedoch auf ein solches Vorgehen verzichten und die

ΔI_F als Mass für die Güte des Modells betrachten.

Wir benützen folgende Rekursionsformel für die Bestimmung der Aerosolmenge:

$$d_{i+1}^* = d_i^* + \ln\left(\frac{I_m}{I_g}\right) / \bar{\sigma}_a^* \quad (16)$$

d^* : äquivalenter Aerosolgehalt

$\bar{\sigma}_a^*$: Mittlerer (aufintegrierter) Aerosolextinktionskoeffizient, normiert auf eine Sichtweite von 23 km.

Beweis:

$$I_g = I_0 \cdot E_g \cdot e^{-\bar{\sigma}_a^* d_g^*}$$

$$I_m = I_0 \cdot E_m \cdot e^{-\bar{\sigma}_a^* d_m^*}$$

$$\text{mit } E = e^{-\sum_{i \neq \text{Aerosol}} \bar{\sigma}_i^* \cdot W_i}$$

I_m : Modell-Intensität } Radiometer
 I_g : gemessene Intensität } ohne Filter

W_i : äquivalenter Absorber Gehalt
 (s. (3))

Unter der Annahme $E_m = E_g$, d.h. dass Ozon- und Wasserdampfgehalt richtig ins Modell eingegeben wurden, folgt:

$$I_g \cdot e^{-\bar{\sigma}_a^* d_m^*} = I_m \cdot e^{-\bar{\sigma}_a^* d_g^*} \rightarrow (16)$$

Bemerkung: $\bar{\sigma}_a^*$ ist keine Konstante über verschiedene Messreihen. Das Maximum des Energiespektrums verschiebt sich ins IR für grössere Luftmassen ($\Rightarrow \bar{\sigma}_a^*$ wird kleiner für grosse Luftmassen).

Die Iteration wird abgebrochen sobald:

$$\frac{|I_g - I_{m,i}|}{I_g} < 0.2\% \quad (17)$$

2.7 BESTIMMUNG DER TRÜEBUNG

2.7.1 Trübungskoeffizienten von Schüepf und Angström

Angström (1929, 1964) hat die optische Dicke des Aerosols wie folgt bestimmt:

$$\tau_{a,\lambda} = \beta \cdot \lambda^{-\alpha} \quad \text{wobei } \beta \text{ Angström-Trübungskoeffizient} \quad (18)$$

α Wellenlängenexponent

Schüepf (1949) hat einen neuen Trübungskoeffizienten eingeführt, der die optische Dicke bei 500 nm, also im Schwerpunkt des Energiespektrums darstellt.

$$\tau_{a,\lambda} = B(2\lambda)^{-\alpha} \cdot \ln 10; \quad B: \text{ Schüepf'scher Trübungskoeffizient} \quad (19)$$

Bei Angström und Schüepf bedeutet $\tau_{a,\lambda}$ die optische Dicke des Aerosols, d.h. sie beinhaltet im Prinzip sowohl Streuung wie auch Absorption des Aerosols, obwohl früher angenommen wurde, es gebe keine Aerosolabsorption. Im VISTRU-Programm wird die Trübung (bezeichnet als B_+) mit der Aerosolextinktion berechnet, doch wird auch eine Trübung (B_-) anhand der Aerosolstreuung allein berechnet.

Mit einem "power curve fit" für verschiedene Wellenlängen können die Koeffizienten α , B und β der Gleichungen (18) und (19) berechnet werden:

$$\alpha = \frac{\sum (\ln \lambda) (\ln \tau_{a,\lambda}) - (\sum \ln \lambda) \cdot (\sum \ln \tau_{a,\lambda}) / n}{\sum (\ln \lambda)^2 - (\sum \ln \lambda)^2 / n} \quad (20)$$

$$\beta = \exp\left(\frac{\sum \ln \tau_{a,\lambda}}{n} - \alpha \frac{\sum \ln \lambda}{n}\right) \quad (21)$$

wobei n die Anzahl Wellenlängen für die Aufsummierung bedeutet. Für die Berechnung von B muss in den Gleichungen (20) und (21) bei allen Summierungen $\ln 2\lambda$ statt $\ln \lambda$ stehen.

Bestimmungskoeffizient r (Güte der Regression):

$$r^2 = \frac{(\sum (\ln \lambda)(\ln \bar{\tau}_{a,\lambda}) - (\sum \ln \lambda)(\sum \ln \bar{\tau}_{a,\lambda})/n)^2}{(\sum (\ln \lambda)^2 - (\sum \ln \lambda)^2/n)(\sum (\ln \bar{\tau}_{a,\lambda})^2 - (\sum \ln \bar{\tau}_{a,\lambda})^2/n)} \quad (22)$$

2.7.1.1 Spektralmessungen

Die Trübungskoeffizienten können mittels zweier verschiedener Methoden bestimmt werden:

1. Es werden die $\bar{\tau}_{a,\lambda}$ für jede der 16 Spektralmessungen bestimmt (s. (11)). Anhand dieser $\bar{\tau}_{a,\lambda}$ wird ein "power curve fit" durchgeführt und die Trübungskoeffizienten berechnet. Diese Methode wird bezeichnet als "Bestimmung nach gemessenen Werten". Da bei den gemessenen Werten die Extinktion nicht in Streuung und Absorption aufgespalten werden kann, lässt sich nur B_+ berechnen.
2. Für die 16 Wellenlängen des Spektroradiometers werden die $\bar{\tau}_{a,\lambda}$ nach einem der VISTRU-Aerosolmodelle für den äquivalenten Aerosolgehalt berechnet (s. (13)). Anhand dieser $\bar{\tau}_{a,\lambda}$ erfolgt die Berechnung der Trübungskoeffizienten. Diese Methode wird als "Bestimmung nach Modell- Werten" bezeichnet und ermöglicht die Aufspaltung von B_+ in B_- .

2.7.1.2 Breitbandmessungen

Der Vorgang ist analog zur soeben dargestellten zweiten Methode, aber die $\bar{\tau}_{a,\lambda}$ stammen aus den gemäss Kapitel 2.6.2 ermittelten Werten von d^* . Für alle Wellenlängen im Bereich $0.3\mu - 1.0\mu$ wird das power curve fit durchgeführt und die Trübungskoeffizienten berechnet.

Bei gleichzeitigen Spektralmessungen werden die "gemessenen" Aerosolextinktionskoeffizienten als Aerosolmodell gewählt; in diesem Fall kann nur B_+ berechnet werden.

2.7.2 Trübungsfaktor von Linke

Für die Berechnung des Linke-Trübungsfaktors eignen sich auch Messungen der Direktstrahlung ohne Filter. Dieser ist definiert als die Anzahl reine Atmosphären, die übereinander geschichtet die gleiche Abschwächung erzeugen wie die reelle Atmosphäre (Linke 1921).

$$T = \frac{1}{\bar{z}_R \cdot m} \cdot \ln \frac{I_0}{I} \quad (23)$$

I_0 : extraterr. Strahlung

I : gemessene Strahlung

\bar{z}_R : mittlere Rayleigh-optische Dicke (aufintegriert über alle Wellenlängen)

m : Luftmasse

T : Trübungsfaktor von Linke

3. PROGRAMMBESCHREIBUNG UND -DISKUSSION

3.1 PROGRAMMBESCHREIBUNG

Das Programm VISTRU besteht aus einem Hauptteil und 7 Subroutinen. Letztere sind in den Anhängen A1 bis A3 beschrieben. Figur 1 stellt das Flussdiagramm des ganzen Programms dar.

3.2 INPUT DES PROGRAMMS

Die benötigten Daten werden mittels dreier Dateien in das Programm eingegeben. Die Dateien enthalten:

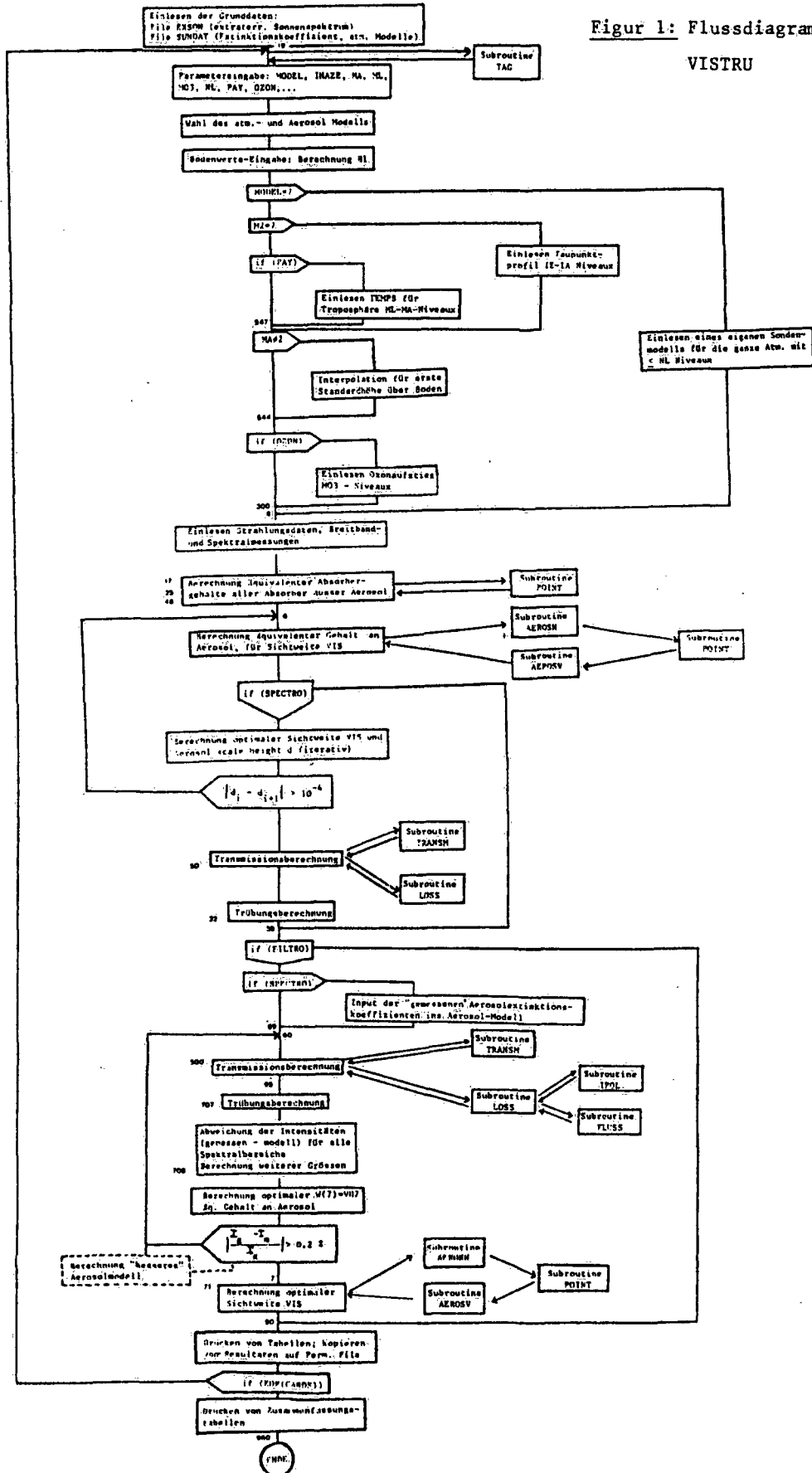
Tape 1 = EXSON	extraterr. Sonnenspektrum
Tape 2 = Deck aus CARDLIB	Daten aus Messserien des Strahlungsmesswagen und Wahl der Optionen für deren Auswertungen
Tape 5 = SUNDAT	Atmosphärenmodelle, atm. Bestandteile, Filtertransmission, usw.

3.2.1 Atmosphärenmodelle

Höhe, Temperatur, Wasserdampf- und Ozongehalt werden für 6 verschiedene Modelle eingegeben. 3 Modelle stammen aus LOWTRAN (Sommer- und Wintermodell für mittlere Breiten, Standardmodell 1962 U.S.), 3 weitere wurden von Bener (1978) aufgrund von Auswertungen der Payerne-Temps für Schönwettertage (für Winter, Sommer und Herbst entwickelt). Diese Temps können aber erst ab Höhe $z = 2$ km benützt werden (Möglichkeit einer Inversion in der Grenzschicht). Die verschiedenen Modelle enthalten Werte für jeden Kilometer von 0 bis 25 km, für jeden 5. Kilometer von 25 bis 50 km sowie für 70 und 100 km.

Für die Troposphäre können für jeden Kilometer die Werte des Temps vom Tag eingegeben werden oder auch nur die Werte des Taupunktes (genauere Bestimmung des Wasserdampfgehalts). Für die höheren Schichten behält man das gewählte Modell. Die Werte eines Ozonaufstieges vom Tage (von Bodenhöhe bis in die Stratosphäre) können ebenfalls zusätzlich eingegeben werden.

Figur 1: Flussdiagramm von VISTRU



Ferner besteht die Möglichkeit, für beliebige Höhenintervalle ein eigenes Modell für die ganze Atmosphäre einzugeben sowie Teile der 6 Modelle miteinander zu mischen.

Die Höhe des Messortes im Modell wird mit der hydrostatischen Gleichung (aus p und T) berechnet (wichtig ist die Luftdicke und nicht die effektive Höhe über Meer). Für die erste Standardhöhe über dem Messort kann eine Interpolation zwischen den gemessenen Werten und den Temp- oder Modellwerten der zweiten Standardhöhe über Messort erfolgen. Das Programm wird abgebrochen, falls die interpolierten Werte unrealistisch werden. Dies bedeutet, dass ein anderes Atmosphärenmodell gewählt werden soll.

3.2.2 Atmosphärische Bestandteile

3.2.2.1 Atmosphärische Gase

Die Absorptionskoeffizienten für H_2O , O_3 und N_2 sowie die zusammengesetzte Wirkung aller übrigen - gleichmässig durchmischten - Gase sind den LOWTRAN-Publikationen (Selby et al., 1975) entnommen. Für Einzelheiten siehe dort und auch McClatchey (1972).

Auf Vorschlag von Fröhlich (1978) wurde für schwache Absorption von H_2O (Transmission $q_{H_2O, \lambda} < 0.8$) die Goody-Kurve Näherung eingebaut (Goody, 1962).

Die Extinktion für die Molekularstreuung (Rayleigh) wird nach Fröhlich und Shaw (1978) berechnet. Sie geben Werte an, die um 4,5 % kleiner sind als diejenigen von Penndorf.

3.2.2.2 Aerosol

Für die Aerosolstreuung und -absorption wurden die 4 Aerosolmodelle von LOWTRAN 3B (Selby et al., 1976) übernommen (Küsten-, Stadt-, Land-, Troposphärenmodell). Zusätzlich wurde noch ein fünftes (eigenes) Modell eingebaut.

Das Seemodell (mehr grosse Partikel) hat eine viel stärkere Streuung für Wellenlängen im IR, das Stadtmodell eine viel stärkere Aerosolabsorption als die anderen Modelle.

An dieser Stelle sei bemerkt, dass im LOWTRAN die Aerosolabsorption für die Berechnung der totalen Extinktion nicht berücksichtigt wurde.

Das Troposphärenmodell und erst recht das eigene Modell (nur kleine Partikel) sollten nur für Tage mit grosser Sichtweite benutzt werden.

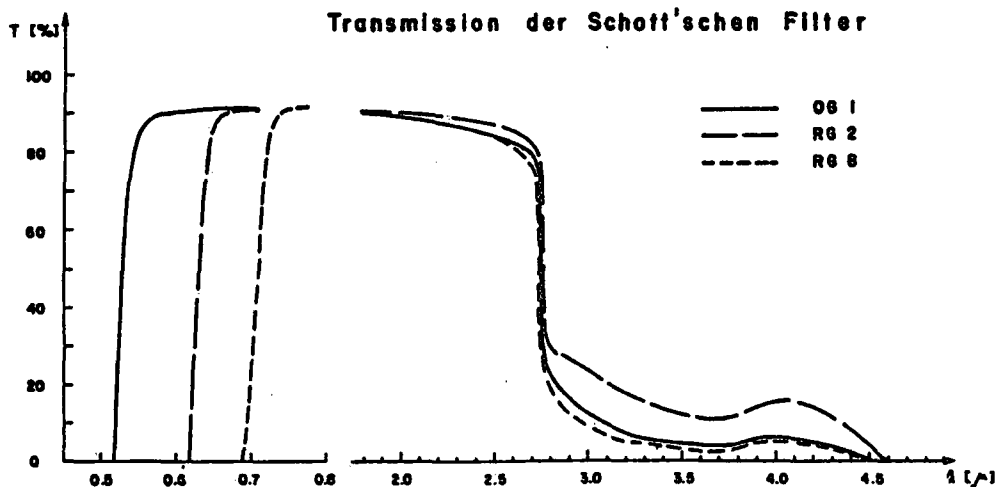
Bei gleichzeitigen Spektral- und Breitbandmessungen werden für Auswertungen der Breitbandmessungen die "gemessenen" Aerosolextinktionskoeffizienten eingegeben (s. 2.6.2).

Die Aerosoldichte wird wie im LOWTRAN berechnet, allerdings wird die Dichte für Höhen über 5 km durch 4 dividiert (zu hohe Aerosoldichte nach Eltermann) (Fröhlich, 1978).

3.2.3 Transmission der Filter

Die Transmission der Schott'schen Filter vom Strahlungsmesswagen (Filter OG1, RG2, RG8) wurde im Frühjahr 1979 am Institut für Organische Chemie der ETH Zürich (Figur 2) gemessen und in die Datei SUNDAT eingegeben.

Fig. 2 Transmission der Schott'schen Filter



3.2.4 Extraterrestrisches Sonnenspektrum

Es wird das extraterrestrische Sonnenspektrum von Arvesen (1969) verwendet, welches eine extraterrestrische Sonnenstrahlung von 1390 Wm^{-2} ergibt. Das Spektrum ist in 3685 Intervalle aufgeteilt.

3.3 INPUT DER MESSDATEN UND PARAMETER (STEUERKARTEN)

Mit einer besonderen Datei (Tape 2 = Deck aus CARDLIB) werden die Variablen und die Daten eingegeben, die eine Messung und deren Auswertung spezifizieren. Das Programm CARD holt die gewünschten Daten aus der Datenbank des Strahlungsmesswagens und berechnet mittlere Werte aus den Daten jeder Messserie.

Eine Messserie wird durch folgende Karten beschrieben:

Karte 0

```

STA, IDN, TIME, SER, JA
FORMAT (A10, 10X, I3, A7, I2, I3)
STA  : Stationsname
IDN  : Tagesnummer (1..365/366)
TIME : Zeit (angegeben in FORMAT A7, d.h. z.B.: '08.17 H')
SER  : Serie-Nummer
JA   : Jahr

```

Karte 1

```

MODEL, IHAZE, M1, M2, M3, MA, ML, MO3, PAY, OZON, OUT
FORMAT (8I3, 3L3)

```

Die Variable MODEL wählt eines der 6 Atmosphärenmodelle oder besagt, dass ein eigenes Modell eingelesen wird.

```

MODEL = 1: Bener-Modell, Sommer
        = 2: LOWTRAN-Modell, Sommer 45° N
        = 3: LOWTRAN-Modell, Winter 45° N
        = 4: Bener-Modell, Winter

```

- = 5: Bener-Modell, Herbst
- = 6: US Standard-Modell 1962
- = 7: eigenes Modell, (mit Tape 2 eingelesen).

IHAZE wählt eines der 5 Aerosolmodelle:

- IHAZE = 1: Landmodell (rural)
- = 2: Stadtmodell (urban)
- = 3: Seemodell (maritime)
- = 4: Troposphärenmodell (tropospheric)
- = 5: eigenes Modell (own)

Die Parameter M1, M2 und M3 erlauben Teile der Modelle zu ändern, um so neue Temperatur-, Wasserdampf- oder Ozonprofile aus einem der 6 Atm. Modelle zu benützen.

z.B.

- M1 = 1: Temperaturprofil des Bener-Modells, Sommer
- M2 = 2: Wasserdampfprofil des LOWTRAN-Modells, Sommer 45° N
- M3 = 3: Ozonprofil des LOWTRAN-Modells, Winter 45° N

M1=M2=M3=0 bedeutet, dass keine Änderung am Modell vorgenommen wird. M2 = 7 bedeutet, dass ein Taupunktprofil eingegeben wird (s. Karte 4).

PAY, OZON und OUT sind vom Typ LOGICAL. PAY und OZON sind .TRUE., wenn ein Temp- bzw. Ozonaufstieg eingelesen wird. OUT limitiert den Output (OUT = .FALSE. gibt einen reduzierten Output, d.h. nur Zusammenfassungstabellen für jede Messserie).

MA und ML sind die untere und obere Grenze, für welche ein Temp eingelesen wird, im Falle von PAY = .TRUE.; MA = 2 \equiv z(1 km); MA = 3 \equiv z(2 km) usw.

Mit der Variablen MA wird überdies entschieden, ob für die erste Standardhöhe über Messort die Werte des gewählten Modells bzw. die Werte des Temps benützt, oder ob zwischen den Bodenwerten und den Werten der 2. Standardhöhe über Messort interpoliert werden soll.

MA \neq 2: Interpolation für 1. Standardhöhe über Messort
 MA = 2: keine Interpolation

Im Fall von MODEL = 7 ist ML die Anzahl Niveaus (s. Karte 3)

Als "default value" für ML (wenn kein Temp eingelesen wird) muss ein Wert zwischen 1 und 33 stehen.

MO3 gibt die Anzahl Schichten, für die ein Ozonaufstieg, im Falle von OZON = .TRUE., eingelesen wird. Erste Schicht = Bodenwert, 2. Schicht = z (1 km) usw...

Im übrigen ist die Wirkungsweise der Parameter M1 bis M03 aus dem Flussdiagramm ersichtlich.

Karte 2:

P(M,1),TMP,DP,RH

FORMAT(4F8.2)

Bodenwerte des Strahlungsmesswagens: Druck (mb), Temperatur ($^{\circ}$ C), Taupunkt ($^{\circ}$ C), relative Feuchtigkeit (%)

Es kann der Taupunkt oder die relative Feuchtigkeit eingegeben werden.

Karte 3: im Falle von MODEL=7

Z(K), P(7,K),TMP,DP,RH,WH(7,K),WO(7,K),AHAZE(K)

FORMAT(3F10.3,2F5.1,2E10.3,F10.3)

Eingabe eines eigenen Atm. Modells (MODEL=7) für ML Niveaus. Höhe (km), Druck (mb), Temperatur ($^{\circ}$ C), Taupunkt ($^{\circ}$ C) oder relative Feuchtigkeit (%) müssen eingegeben werden. Die weiteren Größen WH: Wasserdampfgehalt (gm^{-3}), WO: Ozongehalt (gm^{-3}) und AHAZE: Aerosolgehalt (cm^{-3}) sind nicht notwendigerweise neu zu spezifizieren; sie können mit den Parametern M1, M2, M3 aus einem der 6 VISTRU Atm. Modelle geholt werden.

Interessant ist, dass die Daten für dieses eigene Atm. Modell nicht für die gleichen Höhen wie bei den Standardmodellen eingegeben werden müssen. Auch kann die Anzahl der Niveaus kleiner sein (<33).

Karte 4: im Falle von M2=7

IA,IE,(WH(7,J),J=IA,IE)

FORMAT(2I3,14F5.1)

Eingabe eines Taupunktprofils ($^{\circ}\text{C}$) in WH(7,J) für Niveaus IA bis IE.

Karte 5: im Falle von PAY=TRUE

Z(K),P(M,K),TMP,DP,RH

FORMAT(5F8.2)

Eingabe eines Temps (von Payerne, bzw. nächstgelegener Station) für Niveaus MA bis ML.

Höhe (km), Druck (mb), Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Taupunkt ($^{\circ}\text{C}$) oder relative Feuchtigkeit (%).

Karte 6: im Falle von OZON=TRUE

(WO(M,K),K=1,M03)

FORMAT(10(4X,F4.0))

Eingabe eines Ozonprofils in WO(M,K) für M03 Niveaus.

Die Parameter werden in nb eingegeben und im Programm auf $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ umgerechnet.

Karte 7:

SUNH,VIS

FORMAT (2F10.3)

Sonnenhöhe (Grad) und Sichtweite (km).

VIS ist die "Anfangs"-Sichtweite für die Iteration (VIS_0); meistens wird VIS = 15 km gesetzt.

Karte 8:

RNO,ROG1,RRG2,RRG8

FORMAT (4F10.3)

Strahlungsintensität des Radiometers (Wm^{-2}).

RNO ohne Filter; ROG1 mit Filter OG1, RRG2 mit Filter RG2, RRG8 mit Filter RG8.

Karte 9:

V1,V2,DV

FORMAT (3F10.3)

V1: Anfangsfrequenz (cm^{-1}); V2: Endfrequenz;
 DV: Frequenzintervall.

Für Berechnungen in Subroutine TRANSM bei Filtermessungen wird normalerweise von $.25\mu$ bis 5.0μ , d.h. von $2000-40000 \text{ cm}^{-1}$ aufintegriert, in Schritten von 200 cm^{-1} .

Karte 10:

(SPECTAU (K), K=1,16)

FORMAT (8F8.3)

Totale optische Dicke aus den Spektroradiometermessungen. Als "default value" (wenn keine spektrale Messungen) muss der erste Wert jeder Zeile '9.' sein.

3.4 OUTPUT-TABELLEN

Beim Minimaloutput (logical OUT=.FALSE.) werden für jede Messserie auf einer Seite die Inputgrößen und auf zwei weiteren Seiten die Resultate gedruckt. Am Schluss der Rechnung (z.B. nach Durchlauf aller Messserien eines Tages) werden zwei Zusammenfassungstabellen mit den wichtigsten Resultaten der Spektral- und Breitbandmessungen gedruckt.

Tabelle der Inputgrößen (Tab.1):

Dient der Kontrolle, ob die richtigen Daten eingelesen und vorbereitet wurden.

Tabellen der Resultate (Tab.2 und 3):

Stellen die wichtigsten Ergebnisse der Spektral-(SPECTRO) und Breitband-(FILTRO) Auswertungen dar.

3.5 RECHENZEITEN DES PROGRAMMES

Auf der Anlage des Rechenzentrums der ETH-Zürich (CDC 6400/6500; CYBER 174), ergeben sich folgende Rechenzeiten:

- Einlesen der Grunddaten: 8.7"
- Auswertung der Spektralmessungen 2.2"
- Auswertung der Breitbandmessungen: ca. 3"

(1.1" pro Iterationsschritt für d*)	Auswertung einer Messserie: ca. 5.5" bis 6" (davon 0.5"
-------------------------------------	---

Station IHAZE M1 M2 M3 DATUM Tages- Zeit Serie-Nr.
 CARPENTRAS 29 JUN 79 1804 15:22 H20 (s.3.3)

② ① 0 7 0 ③ ① ① F F F
 1003.50 30.60 0.00 41.80 : Druck, Temperatur, Taupunkt, rel. Feuchtigkeit
 2 10 7.0 .1 2.9-16.4-16.0-29.5-36.3-36.6-41.2 : Taupunktprofil
 MODEL MA ML MO3 PAY, OZON, OUT (s. 3.3)

MODEL ATMOSPHERE FROM H1 TO 15 KM
 FROM 15 KM UPWARD : MODEL ATMOSPHERE = 2

H	p	T	WH	WO
.086	1003.500	303.750	.131E+02	.600E-04
1.000	907.278	294.796	.918E+01	.600E-04
2.000	802.000	285.000	.488E+01	.600E-04
3.000	710.000	279.000	.396E+01	.620E-04
4.000	628.000	273.000	.144E+01	.640E-04
5.000	554.000	267.000	.148E+01	.660E-04
6.000	487.000	261.000	.475E+00	.690E-04
7.000	426.000	255.000	.252E+00	.750E-04
8.000	372.000	248.000	.245E+00	.790E-04
9.000	324.000	242.000	.156E+00	.860E-04
10.000	281.000	235.000	.640E-01	.900E-04
11.000	243.000	229.000	.220E-01	.110E-03
12.000	209.000	222.000	.600E-02	.120E-03
13.000	179.000	216.000	.180E-02	.150E-03
14.000	153.000	216.000	.100E-02	.180E-03
15.000	130.000	216.000	.760E-03	.190E-03

H: Höhe
 p: Druck
 T: Temperatur
 WH: Wasserdampfgehalt
 WO: Ozongehalt

.086 41.633 15.000 : H1, SUNH, VIS
 716.676 524.194 428.110 364.346 : Radiometermessungen: total, OG1, RG2, RGB } (s. 3.3)
 2000.000 40000.000 200.000 : V1, V2, DV

SLANT PATH TO SPACE FROM ALTITUDE H1 = .086 KM. ZENITH ANGLE = 48.367 DEGREES SUN HEIGHT = 41.6

FREQUENCY RANGE V1= 2000.0 CM-1 TO V2= 40000.0 CM-1 FOR DV = 200.0 CM-1 (.25 - 5.00 MICRONS)
 .028 .416 .298 .189 .278 .332 .365 .385 } Spektralmessungen: Z_{Tg,A}
 .412 .429 .467 .486 .578 .704 .940
 ZENIT ANGLE: 48.4 AIRMASS: 1.5024
 (s. 2.1)

Tab. 1

Input-Größen

STATION : CARPENTRAS DAY : 29 JUN 79 (DN =180) TIME : 15.22 H SERIE NO : 20

CWN TEMPS : F
 OZONE SOUNDING : F
 DEW POINT PROFILE : T

MODEL = 2 / RURAL MODEZ : gewähltes
 SUNHEIGHT = 41.63 Atmosphären-
 Modell

EQUIVALENT SEA LEVEL ABSORBER AMOUNTS

(AIRMASS = 1.502)

	WATER VAPOUR GM CM-2	CO2 ETC. KM	OZONE ATM CM	NITROGEN (CONT) KM	H2O (CONT) GM CM-2	MOL SCAT KM	AEROSOL KM	OZONE(U-V) ATM CM
W(1-8)=	.325E+01 .405E+01	.678E+01	.164E+00	.472E+01	.462E-01 .479E+00	.119E+02	.266E+01 (s.(11))	.478E+00

 * SPECTRO * (DATE OF CALCULATION = 26/10/81)

AEROSOL SCALE HEIGHT = 1.0480 KM (s.(14))
 ROAER(550 NM) = .2668 (s.(12))
 VIS = 14.0379 KM
 ITERATION NO. = 1

WAVELEN MICRONS	TOTAL TRANS	N.AER TRANS	H2O TRANS	OZONE TRANS	MOLEC TRANS	AEROS TRANS	AEROS ABS	TAU I (MES)	O (MES)	DIF $Q_{gem} - Q_{mod}$	TAU(AEROSOL) MES	MOD	DIF $Z_{gem} - Z_{mod}$	B MES	B MOD
1.0300	.7898	.9890	1.0000	1.0000	.9890	.8216	.0280	I .0280	.9588	-.1690	-.0206	.1497	-.1290	-.0229	.1663
.8630	.7455	.9775	.9999	1.0000	.9776	.7844	.0277	I .4160	.5353	-.2103	-.4009	.1803	.2205	-.3540	.1592
.8220	.6536	.8718	.8962	1.0000	.9728	.7706	.0272	I .2980	.6391	-.0145	-.2067	.1918	-.0149	-.1713	.1590
.7810	.7055	.9583	.9999	.9999	.9667	.7563	.0267	I .1890	.7528	-.0473	-.1606	.2039	-.0432	-.1246	.1581
.6330	.6003	.8851	1.0000	.9580	.9239	.6969	.0267	I .2780	.6586	.0583	.1968	.2584	-.0617	-.1161	.1525
.6040	.5689	.8569	1.0000	.9429	.9088	.6827	.0274	I .3320	.6073	.0383	.2292	.2726	-.0434	-.1273	.1514
.5900	.5606	.8530	1.0000	.9479	.9000	.6759	.0278	I .3650	.5779	.0173	.2592	.2795	-.0203	-.1396	.1505
.5760	.5476	.8418	1.0000	.9455	.8903	.6692	.0281	I .3850	.5608	.0132	.2704	.2863	-.0159	-.1411	.1494
.5540	.5350	.8359	1.0000	.9579	.8727	.6588	.0286	I .4120	.5385	.0035	.2927	.2971	-.0044	-.1452	.1474
.5350	.5202	.8272	1.0000	.9679	.8547	.6475	.0288	I .4290	.5249	.0047	.3028	.3088	-.0060	-.1436	.1464
.5150	.5032	.8161	1.0000	.9805	.8323	.6350	.0290	I .4670	.4958	-.0074	.3317	.3218	.0099	-.1497	.1453
.5000	.4871	.8016	1.0000	.9860	.8130	.6259	.0291	I .4860	.4818	-.0053	.3388	.3316	.0072	-.1471	.1440
.4850	.4237	.7357	1.0000	.9980	.7372	.5945	.0312	I .5780	.4196	-.0041	.3737	.3672	.0065	-.1436	.1411
.4150	.3506	.6401	1.0000	1.0000	.6401	.5668	.0335	I .7040	.3473	-.0034	.4071	.4006	.0064	-.1388	.1366
.3650	.2347	.4671	1.0000	1.0000	.4671	.5241	.0415	I .9400	.2436	.0089	.4334	.4583	-.0249	-.1250	.1322
.3340	.1483	.3137	1.0000	.9487	.3306	.4966	.0477	I 1.0920	.1939	.0455	.3203	.4985	-.1782	-.0823	.1281

TURBIDITY B BETA ALFA DET. COEFF B BETA
 ***** (ALFA = 1.3)

(s.27.1.1)	MEASURED	.1316	.1037	1.5460	.4441	.1273	.1190	
	MODEL +	.1433	.1564	1.0765	.9989	.1476	.1381	: TURBIDITY WITH AEROSOL EXT.(SCATT.+ABS.)
	MODEL -	.1338	.1402	1.1360	.9962	.1368	.1279	: TURBIDITY WITH AEROSOL SCATT. ONLY

Tab. 2

Spektral-Auswertungen

 * FILTRO *

(DATE OF CALCULATION = 26/10/81)

$$q_a = q_{act} + q_{abs}$$

INT NO.	WAVELENGTH INTERVAL	TOTAL TRANS	H2O	UMG	O3	N2	H2O C.	MOLEC	AEROS SCATT	AEROS ABS	OG1	RG2	RG8	QUA
1	.250-5.000	.5345	.8724	.9880	.9710	.9990	.9992	.8758	.7371	.0046	.3950	.3278	.2751	.5345
2	.525-5.000	.5992	.8289	.9838	.9879	.9986	.9989	.9615	.7976	.0049	.5293	.4398	.3691	.5992
3	.625-5.000	.6077	.7927	.9804	.9952	.9983	.9987	.9778	.8263	.0059	.5433	.5326	.4471	.6077
4	.705-5.000	.5934	.7525	.9766	.9993	.9980	.9984	.9860	.8416	.0071	.5282	.5301	.5269	.5934
5	.250-.525	.3454	1.0000	1.0000	.9214	1.0000	1.0000	.6251	.5599	.0038	.0020	0.0000	0.0000	.3454

TOTAL EQ. AMCUNT OF AEROSOL = .271E+01 KM

(ITERATION NO = 2)

VISIBILITY = 13.78 KM

TURBIDITY

(s.(16))

LINKE TURB.FACTOR = 4.7248

TURBIDITY VALUES WITH AEROSOL EXT. (SCATT.+ABS.)

SCHUEPP TURB.COEFF = .1343

ALFA = .7787

REG. COEFF. = .6243

ANGSTROM TURB.COEFF = .1803

INT NO.	WAVELENGTH INTERVAL	I N T E N S I T I E S (W/m ²)					DEV. MES-MOD %	Q	T A U (A E R O S O L)		
		AFA	MES	MOD	ABS	MES			MES	MOD	LOWTR
1	.2500 5.0000	1011.5823	716.6760	716.8600	-1.18	-0.03	.708	.2294	.2292	.2061	
2	.5250 5.0000	703.8982	524.1940	529.7835	-5.59	-1.07	.745	.1962	.1891	.1538	
3	.6250 5.0000	564.7652	428.1100	439.5912	-11.48	-2.68	.758	.1844	.1668	.1310	
4	.7050 5.0000	467.4496	364.3460	368.8774	-4.53	-1.24	.779	.1659	.1576	.1195	
5	.2500 .5250	307.6841	192.4820	187.0765	5.41	2.81	.626	.3122	.3312	.3886	
6	.2500 .6250	446.8171	288.5660	277.2688	11.30	3.91	.646	.2910	.3176	.3479	
7	.2500 .7050	544.1327	352.3300	347.9826	4.35	1.23	.648	.2893	.2976	.3127	
8	.5250 .6250	139.1330	96.0840	90.1923	5.89	6.13	.691	.2464	.2885	.2744	
9	.6250 .7050	97.3157	63.7640	70.7138	-6.95	-10.90	.655	.2814	.2125	.1932	

INTEGRATED INTENSITY FROM .250 TO 5.000 MICRONS = EXTRATERRESTRIAL

1341.093 W/m²
 (s. 3.2.4 and (2))

Intensität einer
 aerosolfreien
 Atmosphäre

Tab. 3

Breitband-Auswertungen

für Input- Berechnungen und Output-tabellen)

Speicherbedarf für das Programm: 120000_g

3.6 ABHAENGIGKEIT DER RESULTATE VON VERSCHIEDENEN PARAMETERN

Es wird der Einfluss verschiedener Parameter auf die Resultate untersucht, indem jeder Parameter am Modell einzeln variiert wird, und zwar:

- Aerosolmodell (Parameter IHAZE)
- Wasserdampfgehalt (Parameter WH)
- Ozongehalt (Parameter WO)
- Atm. Modell (Parameter MODEL)

Die Untersuchungen wurden an drei verschiedenen Messserien der Messkampagne von Carpentras (Südfrankreich) 1979 vorgenommen, die ähnliche Sonnenhöhen, aber verschiedene Trübungsverhältnisse aufwiesen. Tabelle 4 fasst die wesentlichen Merkmale dieser Messserien zusammen.

Tabelle 4: Messserien zur Untersuchung des Einflusses der Parameter auf die Resultate.

Tag	Tages- Nummer	Mess- serie	B_{\mp}		VIS (km)	
			SPECTRO	FILTRO	SPECTRO	FILTRO
07.06.79	158	17	.51	.88	43	26
28.06.79	179	3	.227	.235	8	8
29.06.79	180	18	.128	.152	14	13

B : Schüepf'scher Trübungskoeff. } nach Auswertung der Spek-
 VIS: Sichtweite } tral- (SPECTRO) bzw. Breit-
 dem ländlichen Aerosolmodell.

Abhängigkeit von Aerosolmodell, Wasserdampf- und Ozongehalt

Die Figuren 3 bis 6 zeigen die Abhängigkeit der Trübung (B) und Sichtweite (VIS) vom Aerosolmodell bei den drei Messserien nach der Auswertung (d.h. nach Optimierung auf Messwerte) mit dem VISTRU-Modell.

Spektromessungen: Mit zunehmendem Wellenlängenexponent α werden die B-Werte etwas kleiner. Beim Stadtmodell sind die B_{λ} -Werte wesentlich tiefer: die Absorption macht bei diesem Modell einen Drittel der Extinktion aus und wird für die Aerosolmenge-Berechnung mitberücksichtigt (\rightarrow indirekter Einfluss der Absorption auf B_{λ}).

Es gibt auch eine Abhängigkeit von B vom H_2O und O_3 -Gehalt. Diese Abhängigkeit bleibt aber relativ klein. (Die $Z_{a,\lambda}$ werden mit der Gleichung (11) berechnet; die Trübung ist ein "power curve fit" aller Spektromessungen.) Bei $\Delta O_3 = \pm 100\%$ ist $\Delta B \approx \pm 5\%$ und erreicht höchstens 10 % bei sehr kleinen B-Werten (um 0.05). Bei $\Delta H_2O = \pm 100\%$ ist $\Delta B \leq 5\%$.

Die Sichtweite nimmt mit zunehmendem α leicht zu. Das Stadtmodell, welches die grösste Sichtweite ergibt (gleiche Gründe wie für B), bildet hier eine Ausnahme. Die Sichtweite ist H_2O -unabhängig und fast O_3 -unabhängig ($\Delta O_3 = \pm 100\% \rightarrow \Delta VIS \leq 2\%$), da die Optimierung für die Sichtweite bei den Wellenlängen von 365 - 500 nm bei nur leichter O_3 -Absorption erfolgt.

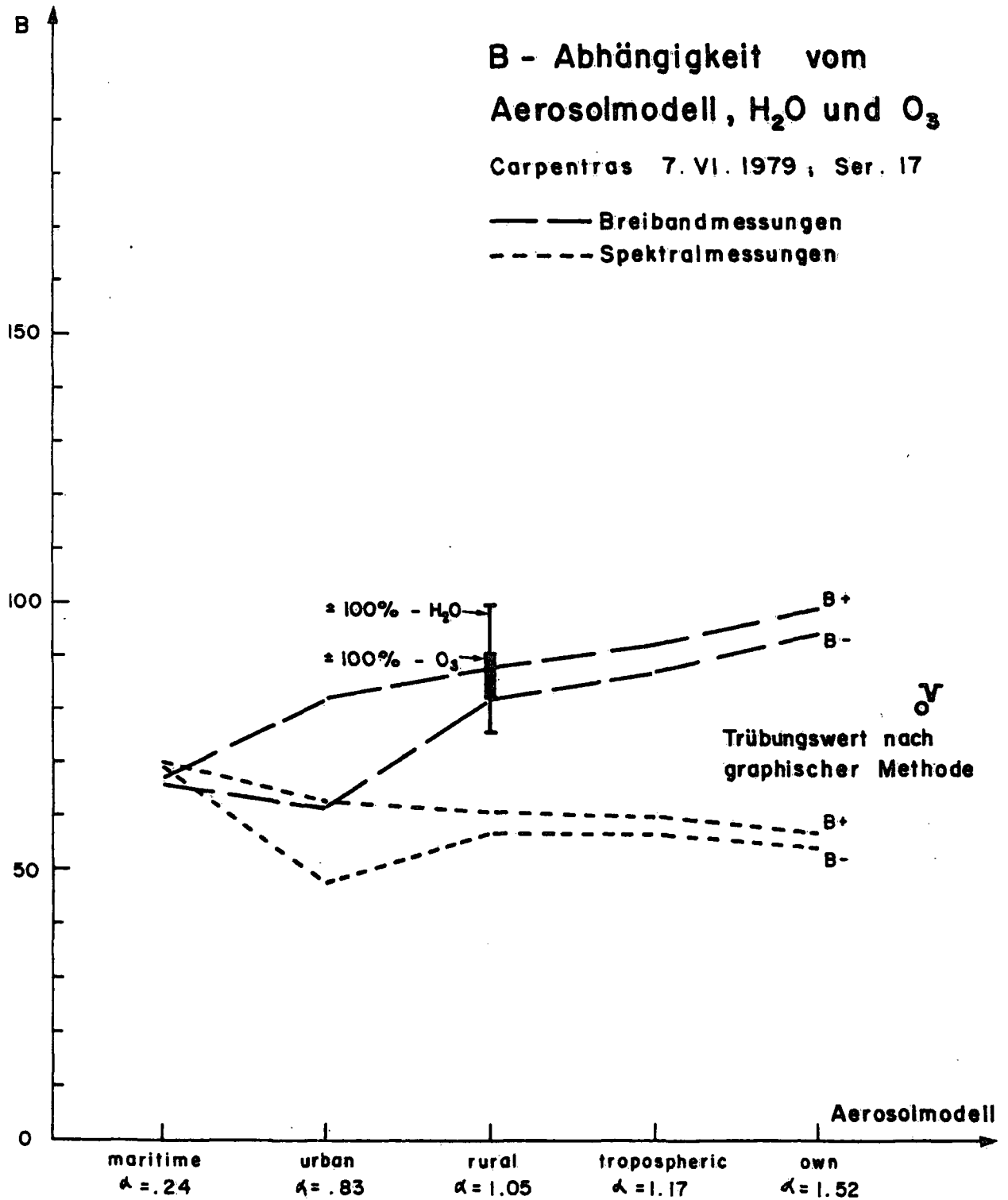


Fig. 3

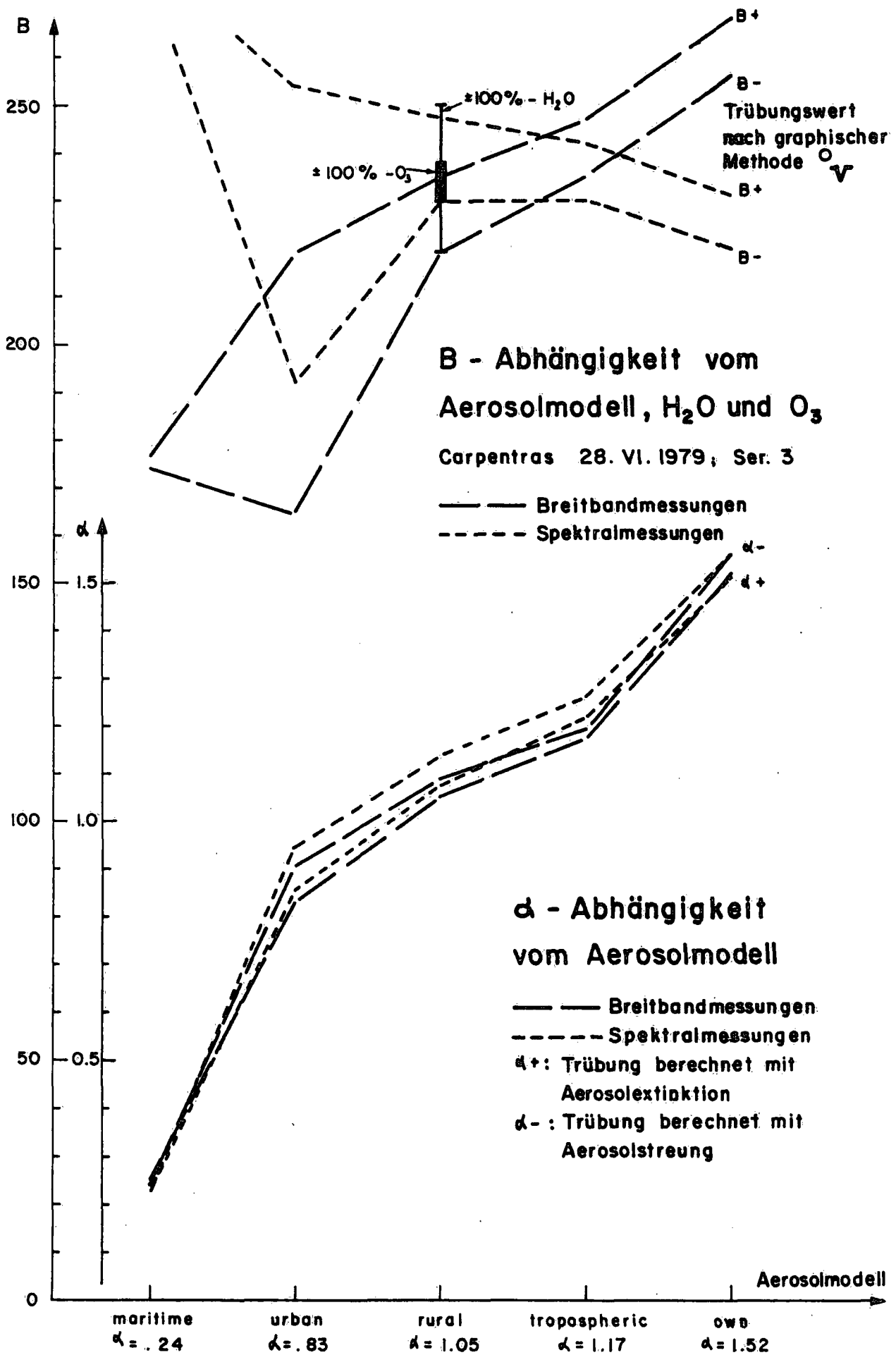


Fig. 4

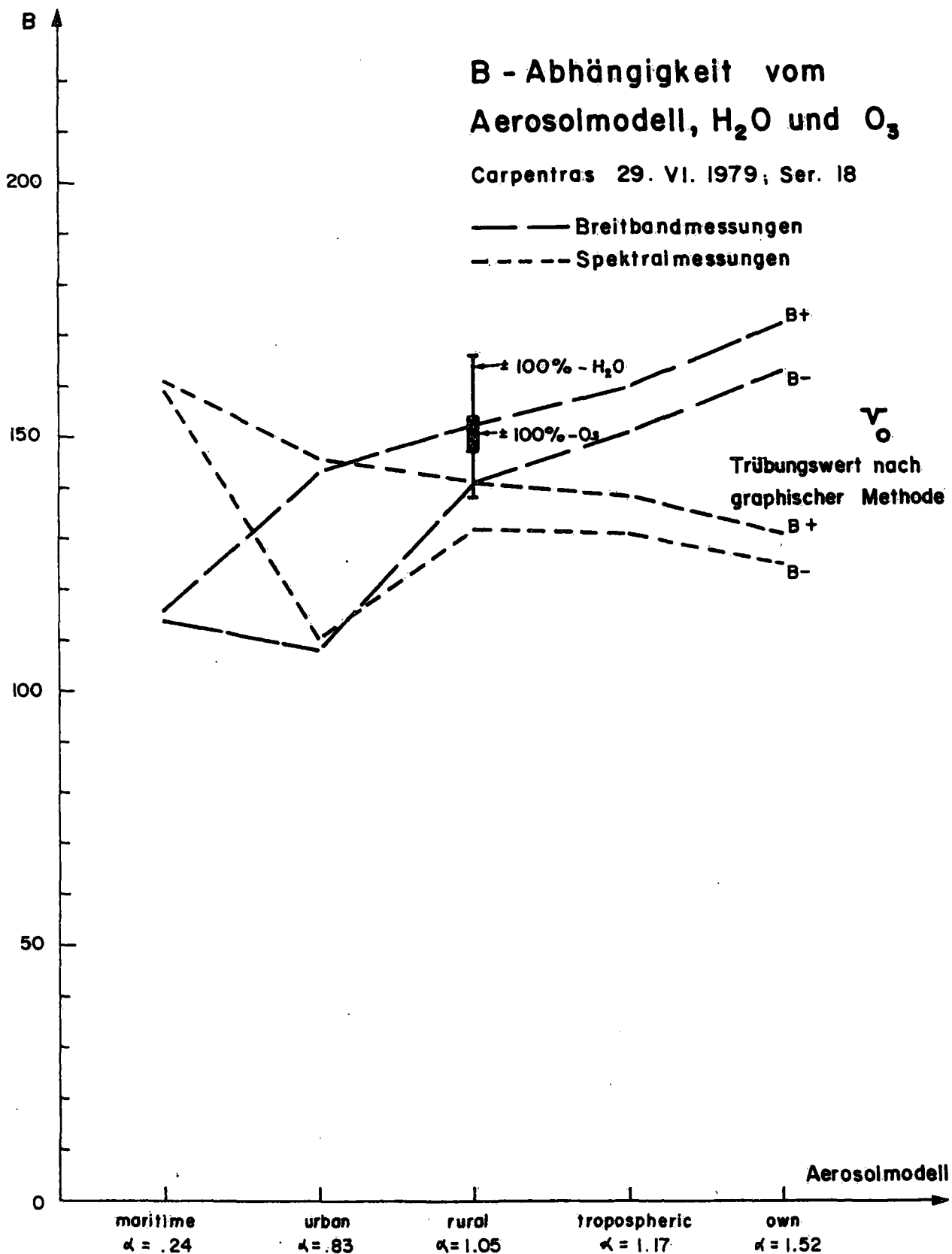


Fig. 5

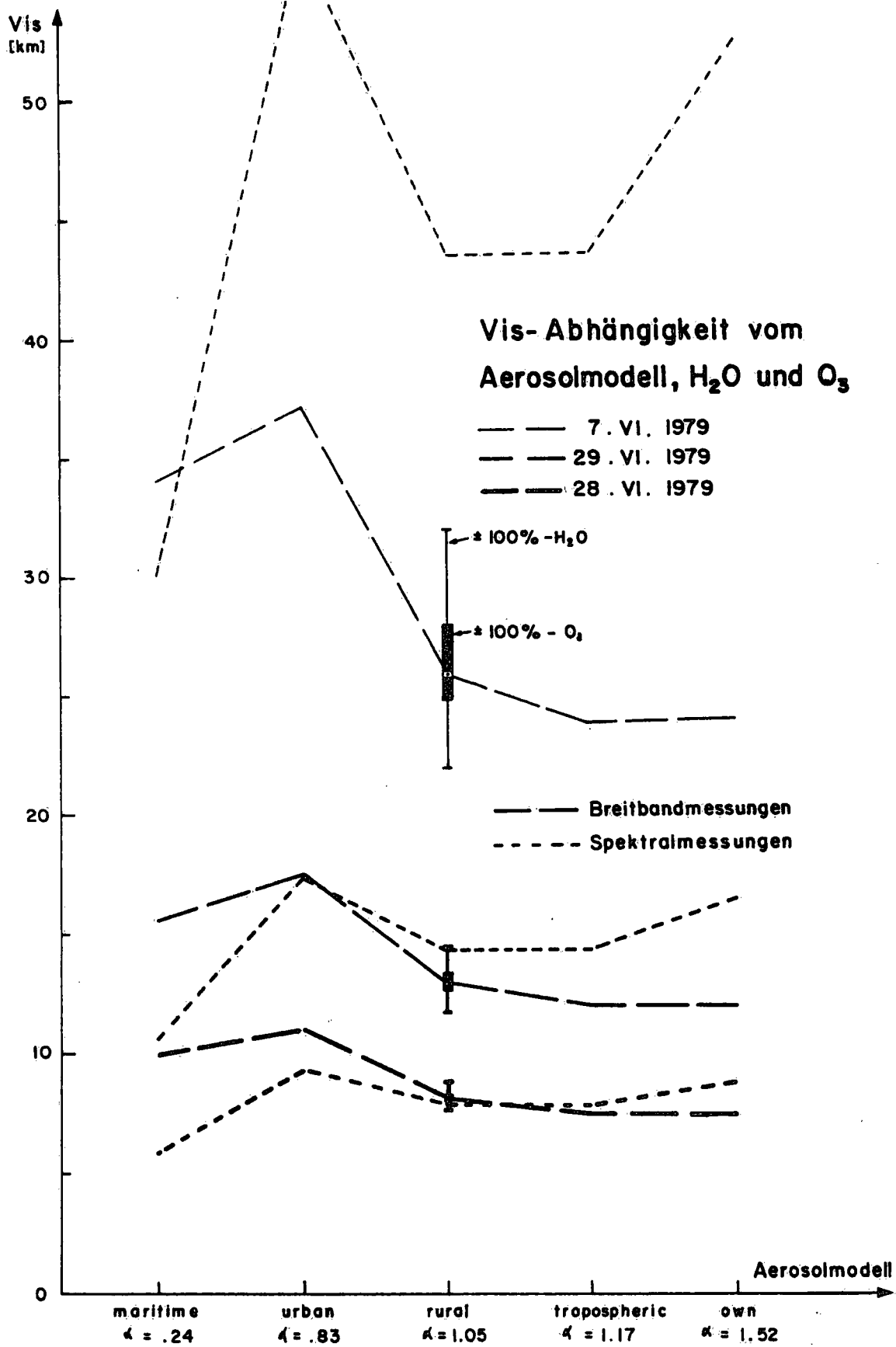


Fig. 6

Breitbandmessungen: Da die Optimierung auf die Messresultate mit der totalen Intensität durchgeführt wird, entsteht eine virtuelle (nicht physikalische) Abhängigkeit von verschiedenen Parametern. Physikalisch sind VIS und B vom H_2O - und O_3 -Gehalt unabhängig.

Streng genommen kann die Bedingung $E_g = E_m$ (Gleichung (16)) nicht erfüllt sein; dies führt zur scheinbaren H_2O - und O_3 -Abhängigkeit. Die Diagramme zeigen ΔB bzw. ΔVIS für auch halben bzw. doppelten H_2O - oder O_3 -Gehalt. Angenommen, H_2O sei mit 25 %, O_3 mit 50 % Genauigkeit bekannt, so sind die Fehler in B und VIS vertretbar.

Die Abhängigkeit vom Aerosolmodell ist stärker: Mit zunehmendem α wird B grösser und VIS kleiner. Der Absorptionsanteil der Extinktion bei den verschiedenen Aerosolmodellen ist in dieser Abhängigkeit auch enthalten; darum ist z.B. beim Stadtmodell der B-Wert am kleinsten bzw. der VIS-Wert am grössten.

Figur 7 zeigt die drei Filterintensitätsabweichungen ΔI_F (Gleichung (15)) für die Messserie 18 vom 29.06.1979. Allgemein gilt, dass für zunehmende α -Werte die ΔI_F kleiner werden. Für grössere Trübungsverhältnisse sind die Kurven steiler, für kleinere Trübungen flacher. Das optimale Aerosolmodell liegt dort, wo die Absolutwerte von ΔI_F am kleinsten sind (unter der Annahme, dass alle anderen Grössen richtig sind).

Abhängigkeit vom Atmosphärenmodell

Es zeigt sich, dass ein Wechsel vom Sommer- zum Wintermodell (Parameter MODEL) für p und T bei unverändertem H_2O - und O_3 -Gehalt Änderungen der Intensitäten von $\leq 1\%$ bewirken. Folglich lassen sich Temperatur und Druck (ausser Bodenwerte) für sämtliche Auswertungen mit zwei Modellen bestimmen. Lediglich für H_2O und O_3 können Sondenaufstiege vom Tage zu besseren Resultaten führen.

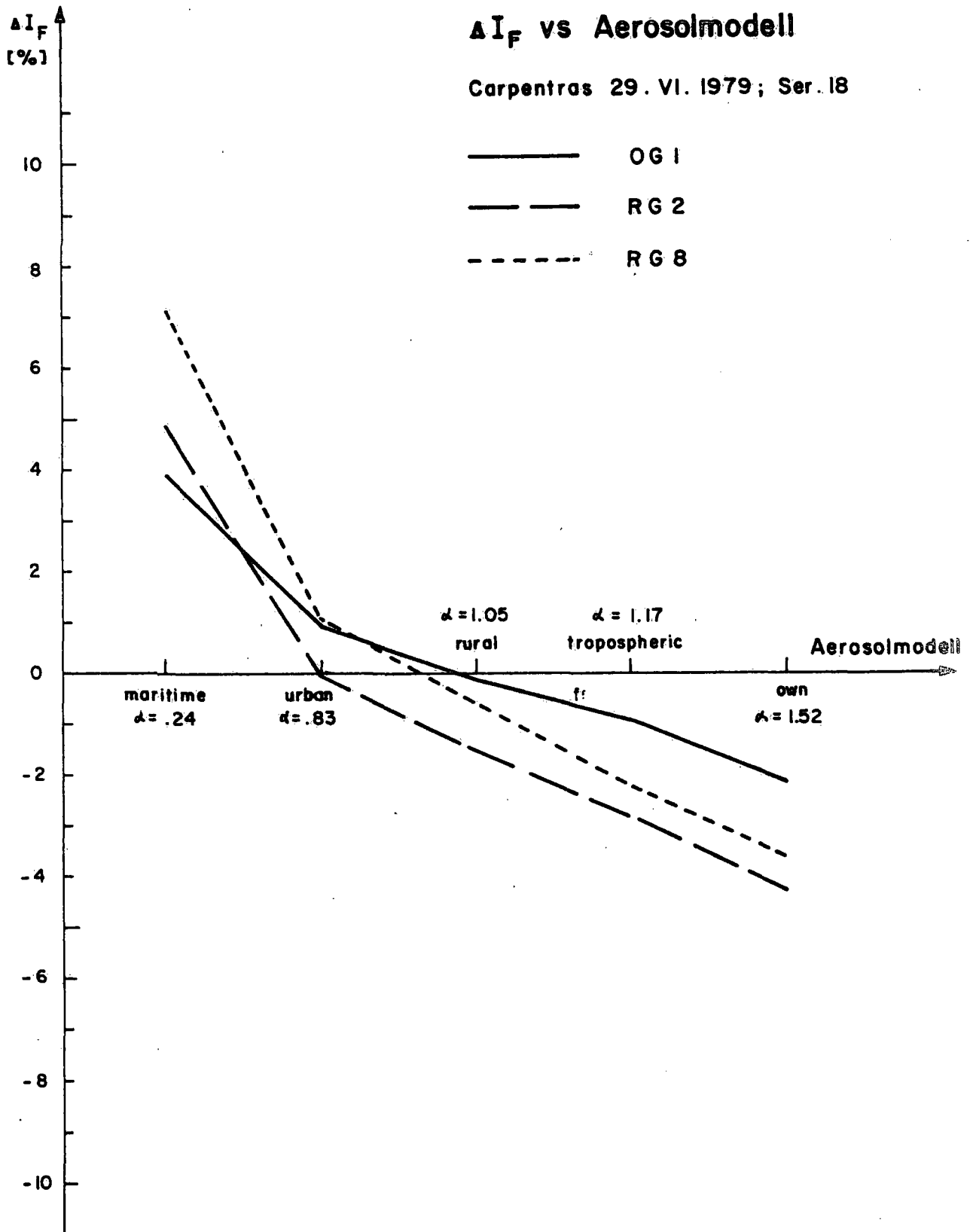


Fig. 7

3.7 UNTERSCHIEDE DER B- UND VIS-WERTE ZWISCHEN SPEKTRAL- UND BREITBANDMESSUNGEN

Die Auswertungen der Spektral- und Breitbandmessungen (Abschnitt 3.6) erfolgten unabhängig voneinander.

Die Abweichungen zwischen Spektral- und Breitbandmessungen der B und VIS-Werte sind für dasjenige Aerosolmodell am geringsten, welches am ehesten zutrifft (vgl. Figuren 4-6).

Bei den allgemeinen Auswertungen (Kap. 4) gibt es eine gewisse Abhängigkeit zwischen Spektral- und Breitbandauswertungen, weil die Aerosolextinktionskoeffizienten der Spektralmessungen als Input für Breitbandmessungen gewählt werden (s. 2.6.2).

3.8 VERGLEICHE NUMERISCHER (VISTRU-MODELL) UND GRAPHISCHER B-BESTIMMUNGEN (VALKO, 1961)

Auf den Figuren 4-6 sind die B-Werte, die nach der graphischen Methode (Valko, 1961) bestimmt wurden, ebenfalls eingezeichnet. Die beiden Methoden stimmen erstaunlich gut überein, wenn man als Vergleichsbasis das ländliche Aerosolmodell betrachtet. Das ländliche Aerosolmodell mit Aerosolextinktion (Streuung + Absorption) für die Berechnung von B_+ ist sicher das beste Modell für den gewählten Vergleich (Carpentras). Die gute Vergleichbarkeit der beiden Trübungs-Bestimmungsmethoden dürfte auch unter anderen Bedingungen gelten.

4. R E S U L T A T E

Im folgenden werden die Ergebnisse einiger Messtage dargestellt und diskutiert.

Trübung/Sichtweite

Figuren 8 und 9 zeigen die Tagesgänge der Sichtweite und der Trübung, vom 7. Juni 1979 in Carpentras (Südfrankreich). Bei den Auswertungen der Messkampagne von Carpentras, Juni 1979, sind die B-Werte nach den Filtermessungen im allgemeinen etwas höher als diejenigen der Spektralmessungen; bei den VIS-Werten ist es umgekehrt. Gemäss Kapitel 3.6 (Diagramme 4-6) nehmen mit zunehmendem α die B-Werte bei Filtermessungen zu; bei den Spektralmessungen aber nicht. Folglich wäre es möglich, dass die effektiven Aeorsolverteilungen ein kleineres α haben als die Aerosolmodelle, die mit der Gleichung (11) berechnet und für die Breitbandauswertungen benutzt werden.

Filterintensitätsabweichungen (Breitbandmessungen)

Figur 10 zeigt die Filterintensitätsabweichungen (s. Gleichung (15)) vom 7. Juni 1979 in Carpentras.

Ausgenommen Messserien bei kleiner Sonnenhöhe - grössere relative Fehler bei kleinen Strahlungswerten - betragen die Abweichungen im allgemeinen $< 5\%$. Die ΔI_{R68} sind meistens am grössten; es gilt allgemein:

$$\Delta I_{R68} > \Delta I_{R62} > \Delta I_{061}$$

Fehlerquellen können entstehen durch:

- Messung der Filtertransmission (s. Kap. 3.2.3)
- Messungengenauigkeit der Instrumente (Radiometer, usw.)
- ungenaues Aerosolmodell (s. Figur 7; für zu kleine α ist ΔI_{R68} am grössten).

CARPENTRAS

DATE : 7 JUN 79

DAYNUMBER : 158

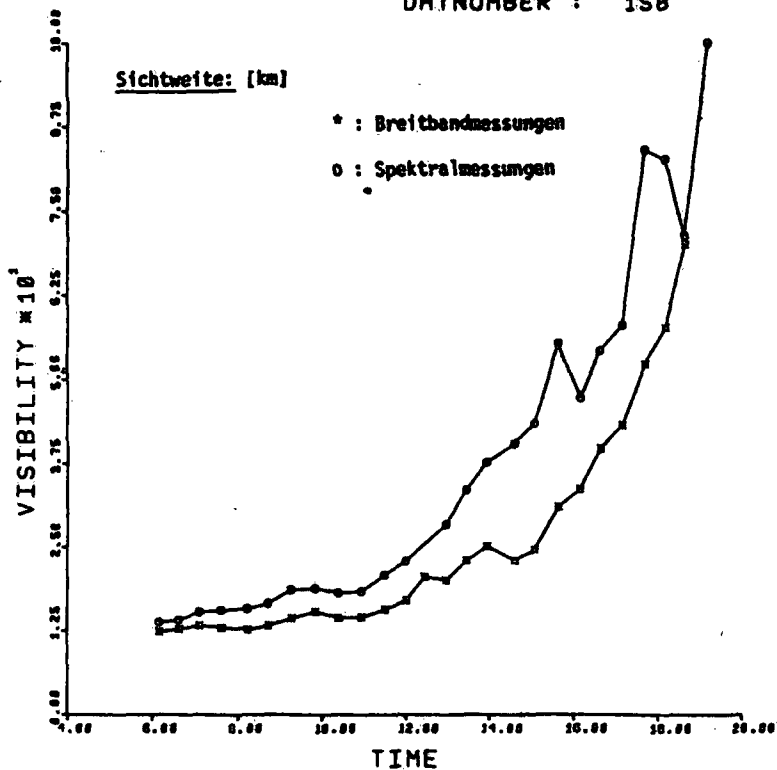


Fig. 8

CARPENTRAS

DATE : 7 JUN 79

DAYNUMBER : 158

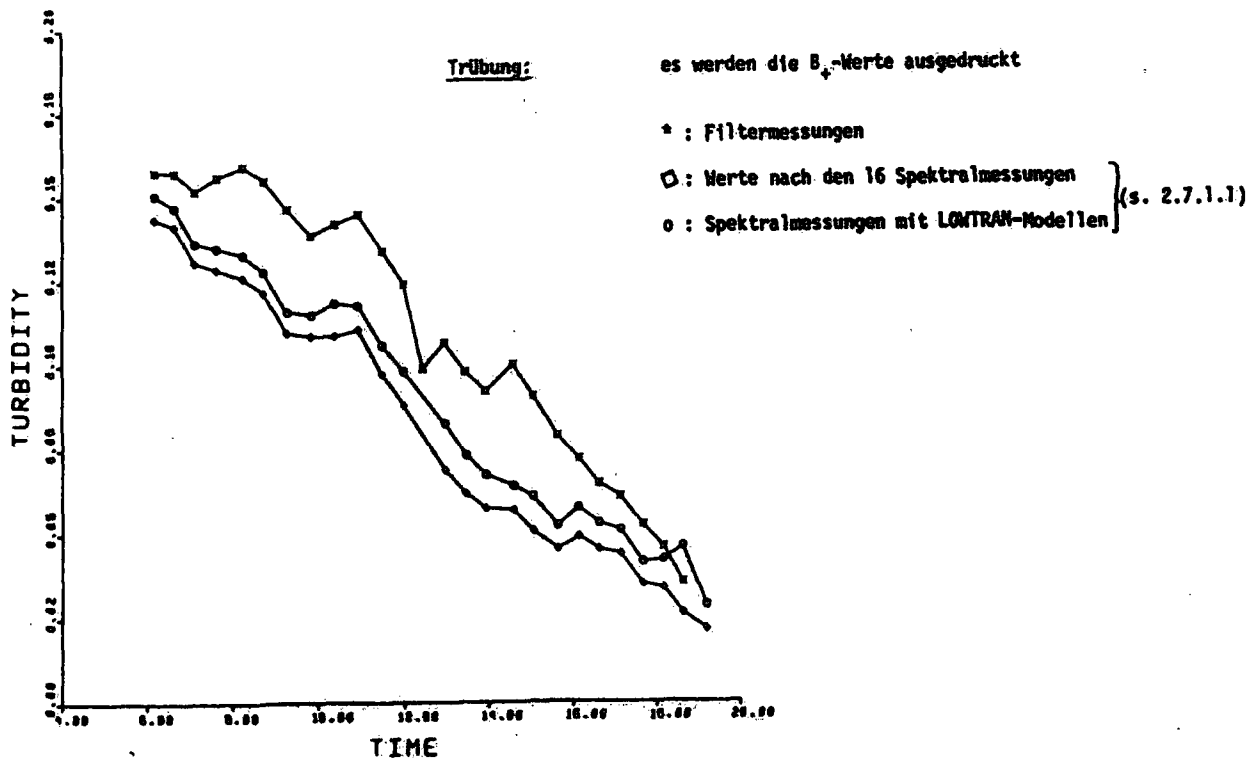


Fig. 9

CARPENTRAS

DATE : 7 JUN 79

DAYNUMBER : 158

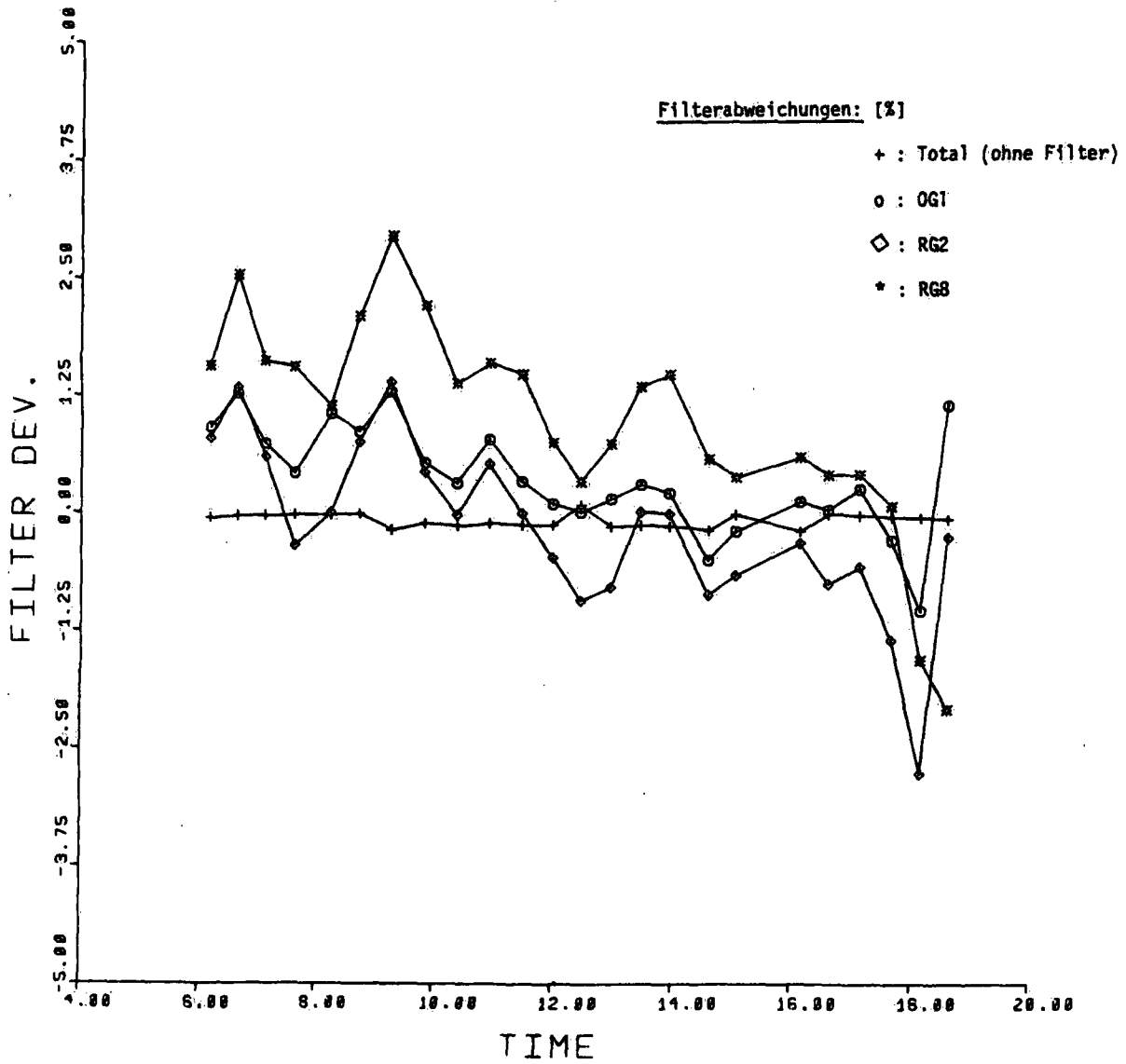


Fig. 10

LITERATURVERZEICHNISAngström, A.:

On the atmospheric transmission at sun radiation and on dust in the air.
Geograph. Annaler 11, 156-166, 1929.

Angström, A.:

The parameters of atmospheric turbidity. Tellus 16, 64-75, 1964.

Arvesen, J.C.; Griffin, P.N; Pearson, B.D.:

Determination of extraterrestrial solar spectral irradiance from a
research aircraft. Appl. optics 8, 2215-2231, 1969.

Bener, P.:

Persönliche Mitteilungen, 1978.

Mc Clatchey, R.A.; Fenn, R.W.; Selby, J.E.A.; Volz, F.E.;Grauting, J.S.:

Optical properties of the atmosphere (third edition) AFCRL-72-0497,
Environ. Res.Pap. no. 411, Air Force Cambridge Research Laboratories,
Hanscom AFB, Mass. 1972.

Fröhlich, C.:

Persönliche Mitteilungen, 1978.

Fröhlich, C.; Bener, P.:

Spektroradiometer zur Bestimmung der atmosphärischen Trübung.
WRC Publ. Nr. 555, 1978.

Fröhlich, C.; Shaw, G.E.:

Determination of Rayleigh optical depth.
WRC Publ. Nr. 558, 1978.

Goody, R.M.:

Atmospheric radiation I. Theoretical basis. Clarendon Press, Oxford,
1964

Kasten, F.:

A new table and approximate formula for the relative optical air mass.
Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser B 14, 206-223, 1966.

Linke, F:

Transmissions-Koeffizient und Trübungsfaktor. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre 10, 91-103, 1921.

Selby, J.E.A.; Mc Clatchey, R.A.:

Atmospheric transmittance from 0.25 to 28.5 μm : Computer code LOWTRAN 3. AFCRL-TR-75-0255, Environ.Res.Pap. no 513, Air Force Cambridge Res. Lab., Hanscom AFB, Mass., 1975.

Selby, J.E.A.; Shettle, E.P.; Mc Clatchey, R.A.:

Transmittance from 0.25 to 28.5 μm : Supplement LOWTRAN 3B (1976). AFGL-TR-76-0258, Environ. Res. Pap. no. 587, Air Force Cambridge Res. Lab., Hascom AFB, Mass., 1976

Selby, J.E.A.; Kneizys, F.X.; Chetwynd, J.H.; Mc Clatchey, R.A.:

Atmospheric transmittance/radiance: Computer code LOWTRAN 4. AFGL-TR-78-0053, Environ. Res.Pap. no. 626, Air Force Geophysics Lab., Hanscom AFB, Mass., 1978.

Schüepp, W.:

Die Bestimmung der Komponenten der atmosphärischen Trübung aus Aktinometermessungen. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser B 1, 257-346, 1949.

Valko, P.:

Vereinfachtes Auswerteverfahren für die Schüepp'sche Methode zur Bestimmung der atmosphärischen Trübung. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser B 11, 75-107, 1961.

Verdankung

Diese Arbeit wurde im Rahmen eines Projektes des NEFF (Nationale Energie-Forschungsfonds) durchgeführt und dank der Leitung von Dr.P. Valko ermöglicht. Für eine gute Zusammenarbeit und Anstösse zur Verbesserung des Modells, haben ebenfalls beigetragen: Dr. C. Fröhlich, WRCD (Weltstrahlungszentrum Davos) und Herr A. Heimo, der die Messungen/Auswertungen des Strahlungsmesswagens sowie die Datenbank der Messdaten betreut. Diesen drei Herren sowie Dr. A. Zelenka sei für die kritische Durchsicht der Arbeit ebenfalls bestens gedankt.

Adresse des Autors:

Herr
Francis Schubiger
Schweizerische Meteorologische Anstalt
Postfach
CH-8044 Zürich
Schweiz

- | | |
|-------------------------|---------------------------------|
| 5 Bereich (total - OG1) | 5 Ozon |
| 6 Bereich (OG1 - RG2) | 6 Stickstoff-Kontinuum |
| 7 Bereich (RG2 - RG8) | 7 Wasserdampf-Kontinuum |
| | 8 Molekular-Streuung (Rayleigh) |
| | 9 Aerosolstreuung |
| | 10 Aerosolabsorption |
| | 11 Filter OG1 |
| | 12 Filter RG2 |
| | 13 Filter RG8 |
| | 14 Quarz-Filter |

IPOL(X,Y,X0,R)

X und Y (Arrays)=Wellenlängen und dazugehörige Filtertransmission (Inputgrösse)

X0 = Wellenlänge an der die Filtertransmission gesucht ist (Inputgrösse)

R = Filtertransmission bei Wellenlänge X0 (Outputgrösse)

Quadratische Interpolation. Suchen der Filtertransmission R bei Wellenlänge X0 ausgehend von Wellenlängen X(1), X(2), X(3) und dazugehörigen Filtertransmissionswerten Y(1), Y(2), Y(3) wobei $X(1) < X0 < X(2) < X(3)$. IPOL wird von Subroutine LOSS aufgerufen (im Falle von Breitbandmessungen).

LOSS(V,DV)

Common Blocks: FILC,SUN,FLUS.

V = Frequenz (cm^{-1})
DV = Wellenzahlzuwachs } (beides Inputgrössen)

Berechnet, für das Spektralintervall DV, die extraterrestrische Strahlung und die totale Strahlung am Boden. Dazu für:

- Spektralmessungen: Aufsummierung der Strahlungsintensität in

FLUX(I,J), für verschiedene Absorbertypen
(Index J: wie in Subroutine FLUSS).

- Breitbandmessungen: Berechnung der Filtertransmissionen zur Frequenz V
(s. Subroutine IPOL).

POINT(X,YN,N,TX,OUT)

Common Block: unbenannter

X	= Bodenhöhe (Inputgrösse)
YN,TX(9)	= mittlere Refraktionsindizes oberhalb bzw. unterhalb X (Outputgrössen)
N	= Standardniveau unterhalb X (Inputgrösse)
TX(1-8)	= Absorber Gehalte pro km auf Höhe X (Outputgrösse)
OUT	= Logical-Grösse für OUTPUT (Inputgrösse)

Berechnet den mittleren Refraktionsindex oberhalb und unterhalb Bodenhöhe und interpoliert exponentiell die äquivalenten Absorbergehalte für Bodenhöhe.

TAG(IDN,JA,JOUR,MOIS)

IDN	= Tagesnummer (1..365/366) (Inputgrösse)
JA	= Jahr (Inputgrösse)
JOUR/ MOIS	= Tag, Monat im Jahr (Outputgrösse)

Gibt das Datum (Tag, Monat) an, für einen Tag, der mit der Tagesnummer spezifiziert ist.

TRANSM(V,TX,SUMAF,IT)

Common Blocks: TRANS

V	= Frequenz (cm^{-1}), an welcher Transmission berechnet wird (Inputgrösse)
---	---

TX = Transmissionswerte der
verschiedenen Absorbentypen
(Outputgrößen)

SUMAF = Transmission in Aerosol-
freier Atmosphäre (Output-
grösse)

IT = Steuergrösse für Berech-
nung der Transmission

Transmissionberechnung bei Frequenz ν aller Absorbentypen TX ($K=1,10$) und einer aerosol-freien Atmosphäre (SUMAF). Mit $IT = 0$ (im Falle der Breitbandmessungen ausser 0. Iteration) werden nur die Transmissionswerte des Aerosols (Streuung und Absorption) berechnet. Die übrigen Werte bleiben unverändert und werden bei der 0. Iteration im Hauptprogramm für alle Frequenzen im Array SUMAFA (Transmission einer aerosol-freien Atmosphäre) gespeichert.

Mit $IT = -1$ (Transmissionberechnung für Aerosolmenge-Berechnung) wird in TX(7) der Aerosolextinktionskoeffizient gespeichert (statt optische Dicke der Aerosolstreuung).

