3.3 Multispektrale Luftbildaufnahmen mit dem Flugzeugscanner

3.3.1 Der Daedalus AADS 1268 – Scanner

Zur Aufnahme der Luftbilder während der Überfliegung wurde ein im Flugzeug (DO-228, DLR) eingebauter 11–Kanal–Multispektralscanner des Typs AADS 1268 von der Fa. Daedalus Enterprises, USA, verwendet [DAEDALUS 1990].

Der Scanner besteht im wesentlichen aus den Komponenten

- Scan-Kopf
- Spektrometer
- Digitalisierer und Verstärker
- Magnetband
- vertikales Gyrometer

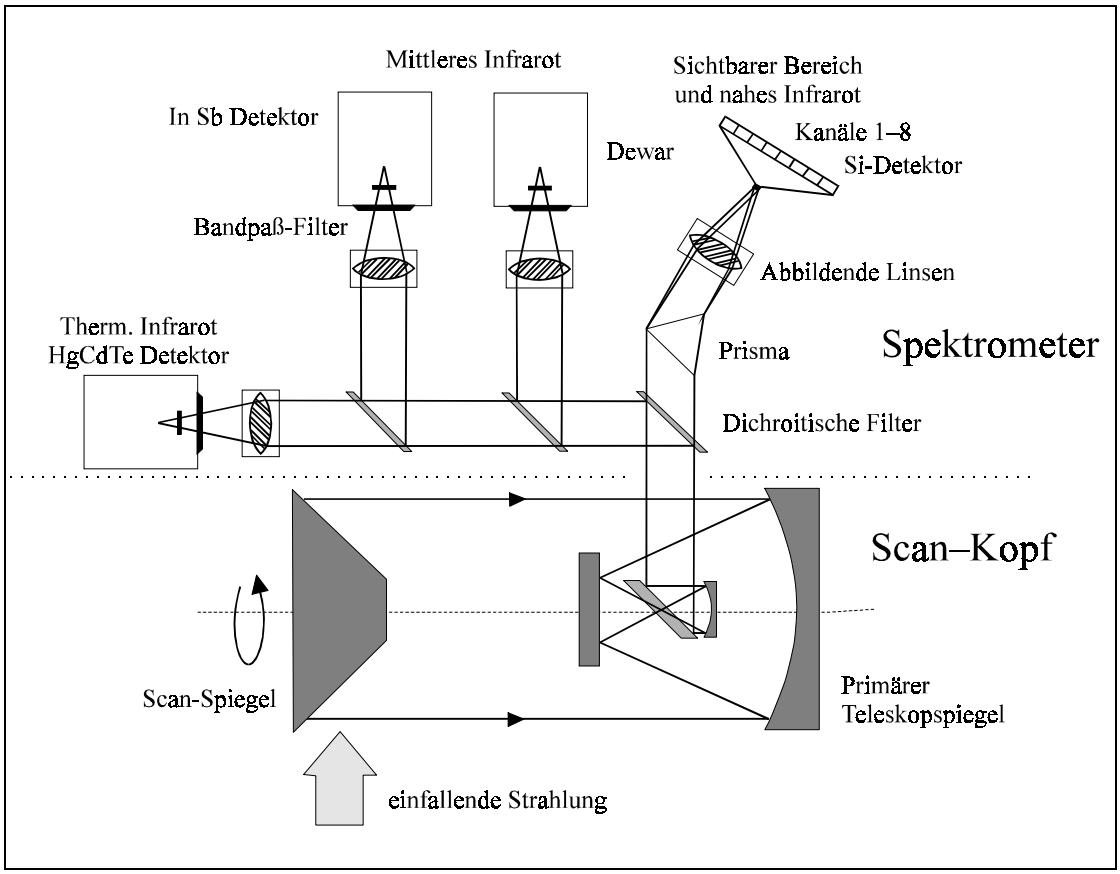


Abb. 8: Scan-Kopf und Spektrometereinheit des Daedalus AADS 1268

Der Scan-Kopf tastet die Meßfläche (hier die Erdoberfläche) mit einem rotierenden Spiegel senkrecht zur Flugrichtung ab. Er erzeugt so bei einem Schwad von ±42,96° ein Bild mit Bildzeilen von 716 Pixeln (= Picture Elements = Bildpunkte) Breite senkrecht zur Flugrichtung.

Der Scanner erreicht bei der niedrigstmöglichen Flughöhe von 300m eine Bodenauflösung (pixelsize) von 75x75 cm^2.

Abb. 8 zeigt eine Prinzipskizze des Daedalus-Scanners. Das Spektrometer teilt zunächst mit Hilfe von dichroitischen Filtern die einfallende Strahlung in vier Spektralbereiche auf. Der erste Bereich, der dem Sichtbaren und nahen Infrarot entspricht, wird mit einem Prisma spektral zerlegt und fällt dann auf acht Si-CCD-Sensoren. Die Strahlung im zweiten und dritten Bereich (mittleres Infrarot) wird mit InSb-Detektoren gemessen und der vierte Bereich (thermisches Infrarot) mit einem HgCdTe-Detektor.

Tabelle 3 zeigt die Spektralbereiche der Daedalus-Kanäle und deren Bandbreite, und in Abb. 10 sind die Apparatefunktionen dargestellt.

Abb. 9 zeigt die IRIS-Messung „Kunstrasen 1994“ über den gesamten Meßbereich (gestrichelt). Die Spektralbereiche des Daedalus-Scanners sind hierbei durch durchgezogene Linien markiert, die auch in Tabelle 3 aufgeführt sind [HEPP 1994].

Kanal	Spektralbereich in µm	Bandbreite in µm	Detektormaterial
0	0,42 – 0,45	0,03	Silizium (Si)
1	0,45 – 0,52	0,07	Silizium (Si)
2	0,52 – 0,60	0,08	Silizium (Si)
3	0,605 – 0,625	0,02	Silizium (Si)
4	0,63 – 0,69	0,06	Silizium (Si)
5	0,695 – 0,75	0,055	Silizium (Si)
6	0,76 – 0,90	0,14	Silizium (Si)
7	0,91 – 1,05	0,14	Silizium (Si)
8	1,55 – 1,75	0,2	Indium-Antimonit (InSb)
9	2,08 – 2,35	0,27	Indium-Antimonit (InSb)
10	8,5 – 13,0	4,5	Quecksilber-Kadmium-Tellurit (HgCdTe)

Tabelle 3: Spektralbereiche der Daedalus AADS 1268 – Detektoren

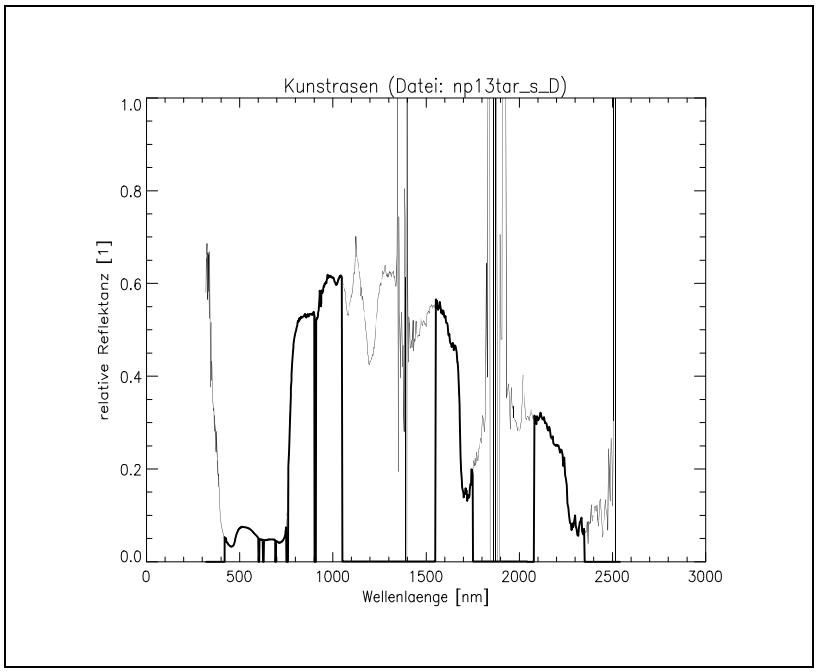


Abb. 9: IRIS-Messung „Kunstrasen“. Fett: Bereiche der Daedalus-Kanäle

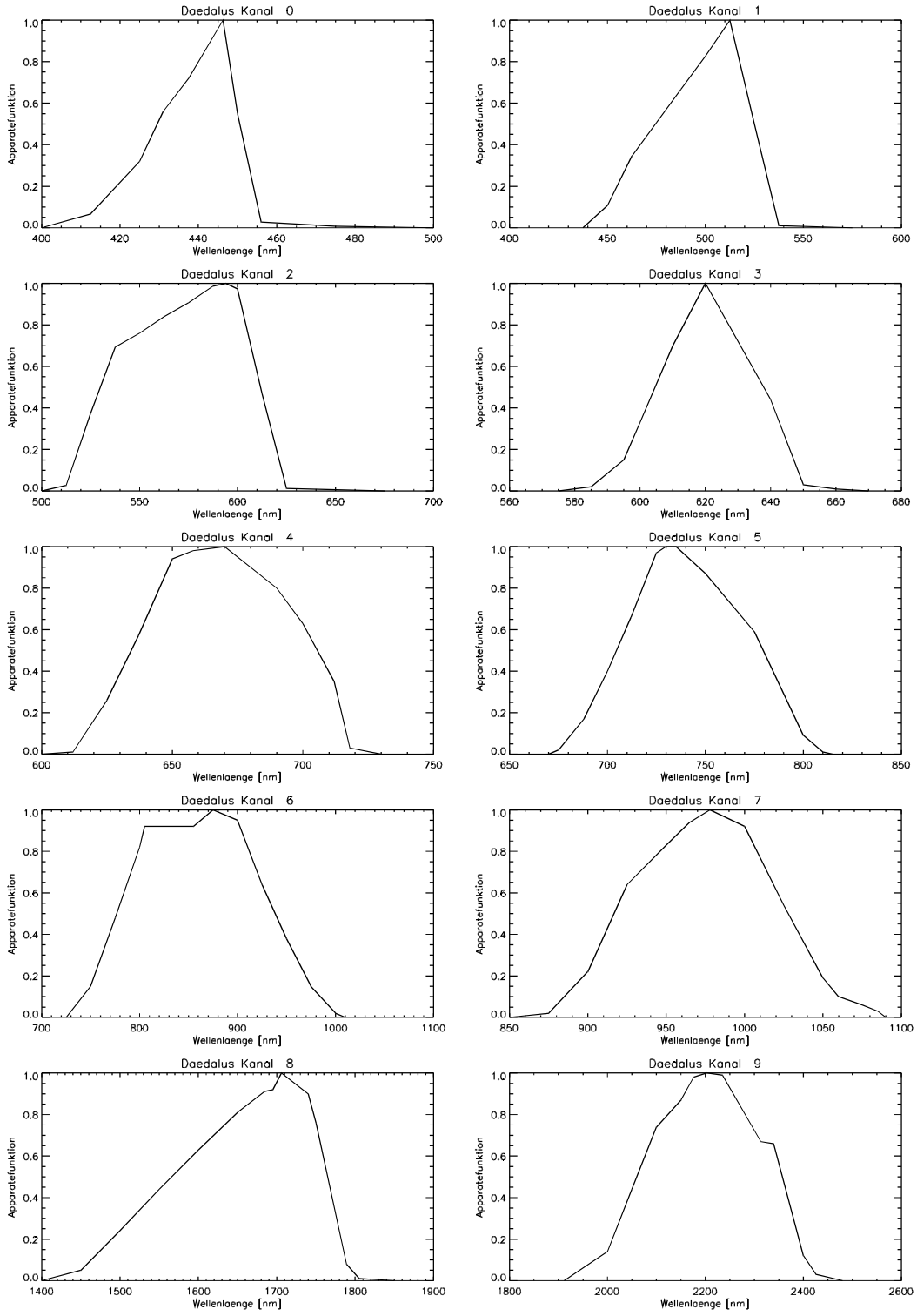


Abb. 10: Apparatefunktionen der Daedalus AADS 1268 – Detektoren

Der thermische Kanal wird mit zwei Schwarzkörperstrahlern (niedrige und hohe Temperatur), die sich im Daedalus-Scanner befinden, während der Messung kalibriert. Dazu wird jeweils ein Strahler am Anfang, bzw. am Ende jeder Scanzeile gemessen. Dieser Meßwert wird ebenfalls aufgezeichnet und in den Header-Daten gespeichert (Abb. 25).

Die geometrische Auflösung des Scanners beträgt 2,5 mrad senkrecht zur Flugrichtung. Das entspricht bei einer Flughöhe von 300m einer Pixelbreite von 75 cm am Boden. Die Auflösung

in Flugrichtung ist hauptsächlich durch die Fluggeschwindigkeit und die Scanrate bestimmt. Sinnvollerweise wählt man diese so, daß sich quadratische Bodenbildelemente ergeben.

Ein unvermeidbares Kippen des Flugzeugs während des Fluges entlang der Flugrichtung (rolling), wird von einem Gyrometer erfaßt und zur Korrektur des Scannerbildes herangezogen. Bis zu 15° Abweichung vom Horizontalflug wird so automatisch kompensiert.

3.3.2 Durchführung der Überfliegung

Die Überfliegung des Nürnberger Flughafens und Umgebung am 18.10.1994 erfolgte in einem Flugzeug des Typs DO-228. Dabei wurden mit dem Daedalus AADS 1268 insgesamt 10 Flugstreifen aus 300m Höhe (T1-T10) und 3 Flugstreifen aus 1800m (S2, S4, S6) Höhe aufgenommen (Abb. 11).

Abb. 11: Flugrouten der Überfliegung am 18.10.1994 (T=300m, S=1800m)

Abb. 12 zeigt beispielhaft das Aussehen und die Qualität eines Scannerbildes. Zu sehen ist das Grauwertbild des Spektralkanals 3 (0,52 – 0,60µm) eines Ausschnitts aus einem Flugstreifen in 300m Flughöhe.

Abb. 12: Auszug aus einem Flugstreifen in 300m Flughöhe (Spektralkanal 3), mit Gewerbegebiet, Kleingärten und Landschaftsschutzgebiet (oben = Osten)

3.3.3 Farbinfrarot-Aufnahmen

Es sind von drei Flugstreifen in 300m Höhe (T8 bis T10) im Maßstab 1:2000 und von allen Flugstreifen in 1800m Höhe im Maßstab 1:12000 zusätzlich zu den Scanneraufnahmen noch insgesamt 92 Farbinfrarotbilder gemacht worden. Verwendet wurde eine Kamera vom Typ RMK A 15/23 mit einem Vorsatzfilter „Zeiss D“, der praktisch für alle Wellenlängen kleiner 530 nm undurchlässig ist (Abb. 13).

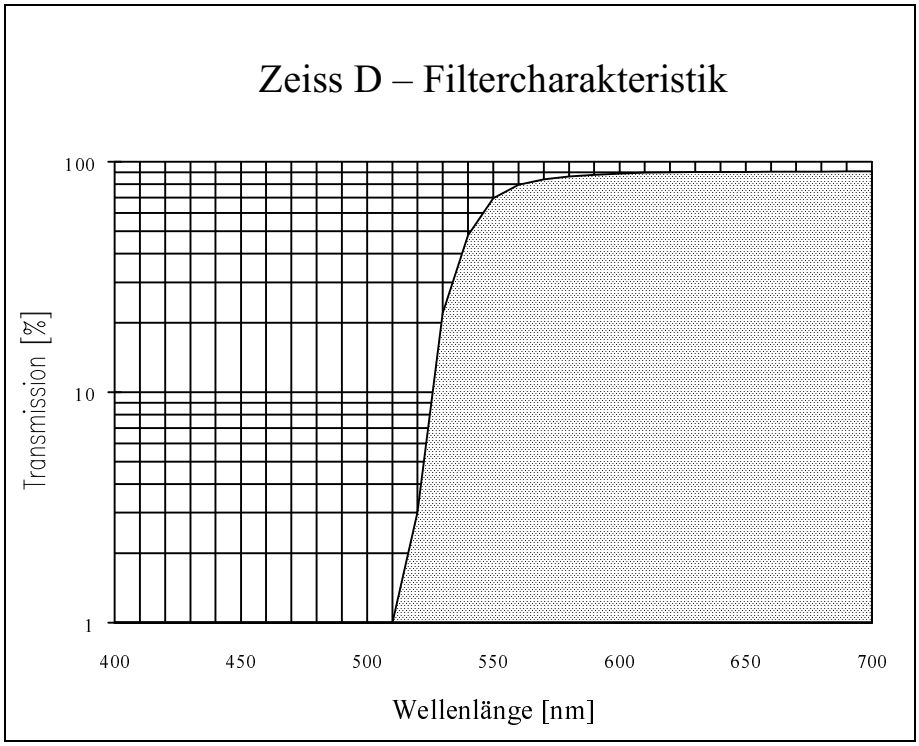


Abb. 13: Zeiss D - Filtercharakteristik

Als Film kam der infrarot-empfindliche „KODAK AEROCHROME Infrared Film 2443“ zum Einsatz. Eine der drei farbgebenden Schichten dieses Filmes weist eine Empfindlichkeit für den Wellenlängenbereich im nahen Infrarot (700–900nm) auf (Tabelle 4 und Abb. 14). Das Spektrum von Vegetation weist einen steilen Anstieg im Infrarot auf, der bei künstlichen Flächen nicht zu beobachten ist. Es können so auf den Aufnahmen mit diesem Film leicht Vegetationsflächen gefunden werden, da diese ausschließlich für die Färbung der Cyanschicht verantwortlich sind. Der Film KODAK 2443 ist ein Umkehrfilm, dessen Farbschichten bei ihrer „Einfärbung“ dunkler werden. Vegetation wird deshalb auf dem Film nicht in der Farbe Cyan, sondern in den Farben Gelb und Magenta, also rötlich erscheinen.

Farbe der Filmschicht	„aufgenommene“ Farbe
Gelb	Grün
Magenta	Rot
Cyan	Infrarot

Tabelle 4: Farbempfindlichkeit des Farbinfrarotfilms KODAK 2443

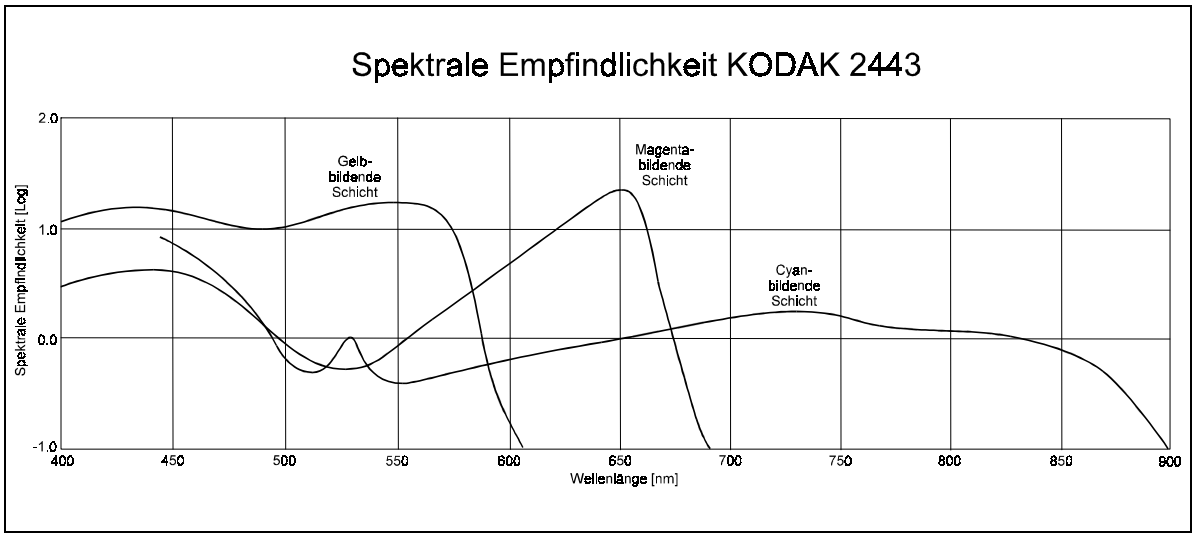


Abb. 14: Spektrale Empfindlichkeit des Farbinfrarotfilms KODAK 2443

Die Auflösung des Films beträgt 32 Linien pro Millimeter. Aufnahmen aus 300m Höhe (Maßstab 1:2000) haben also eine Boden-Auflösung D_{300} von

$$D_{300} = \frac{2000}{32\frac{Linien}{mm}\cdot 10\frac{mm}{cm}} = 6{,}25\frac{cm}{Linie}.$$

Für Bilder aus 1800m Höhe (Maßstab 1:12000) ergibt sich auf gleiche Weise eine Boden-Auflösung von

$$D_{1800} = 37{,}5\frac{cm}{Linie}.$$

4 Auswertung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Aufbereitung der Meßwerte aus den IRIS- und Daedalus-Messungen. Es wird dargestellt, welche Methoden und Rechenschritte angewendet werden müssen, um absolute Reflektanzspektren zu erhalten.

4.1 IRIS - Reflektanzspektren

Das Flußdiagramm (Abb. 15) zeigt die bei der DLR übliche und auch hier angewandte Vorgehensweise zur Erzeugung von absoluten Reflektanzspektren aus den Messungen des IRIS-Spektroradiometers.

Die Berechnungen bis zum Erhalt der relativen Reflektanzspektren wurde von der IRIS-Auswertesoftware bei der DLR prozessiert.

Diese relativen Reflektanzspektren wurden von der DLR als ASCII – Dateien an die Universität Hamburg geliefert. Die Dateien (Dateinamensendung „_s“) bestanden pro Messung aus jeweils 2 Spalten und 862 Zeilen und enthielten in der ersten Spalte den spektralen Meßkanal (in nm) und in der zweiten Spalte die relative Reflektanz (Tabelle 5, Seite 29).

Die einzelnen Arbeitsschritte werden im folgenden erläutert.

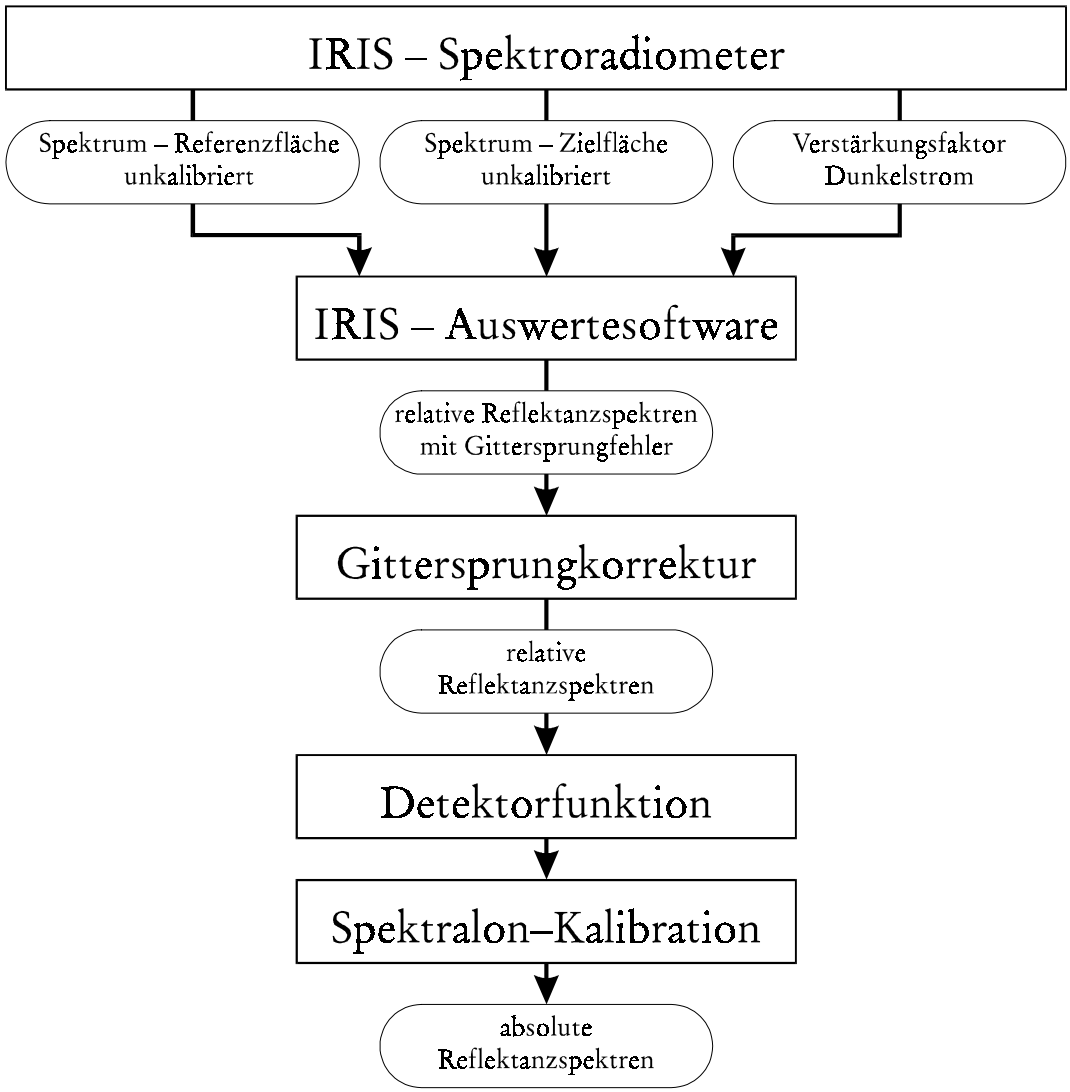


Abb. 15: Flußdiagramm zur Erzeugung von absoluten Reflektanzspektren aus den IRIS-Messungen

4.1.1 Erzeugung von Reflektanzspektren

Da für die Einzelmessungen keine Eichung auf absolute spektrale Strahldichten vorgenommen wurde, lassen sich aus den isolierten Ziel- und Referenzflächenmessungen keine direkten Aussagen ziehen. Die gemessenen Spektren müssen, um physikalisch sinnvolle Größen darzustellen, noch aufbereitet und miteinander in Bezug gesetzt werden. Hierzu dient ein Programm, das von den Herstellern des IRIS an die DLR mitgeliefert wurde. Das Programm übernimmt folgende Arbeitsschritte:

- Subtraktion des Dunkelstroms (Abb. 16),
- Division durch den Verstärkungsfaktor, der während der Messung vom IRIS automatisch und dynamisch ausgewählt und aufgezeichnet wurde,
- Berechnung des Quotienten aus Ziel- und Referenzmessung (relative Reflektanz).

Die Formel zur Berechnung der relativen Reflektanz lautet demnach:

$$R_{rel} = \frac{(S_Z - D_Z) \cdot V_R}{(S_R - D_R) \cdot V_Z} \qquad \text{(Gleichung 4.1)}$$

Mit S = Spektrum, D = Dunkelstrom und V = Verstärkungsfaktor für Ziel- (Z) und Referenzmessung (R).

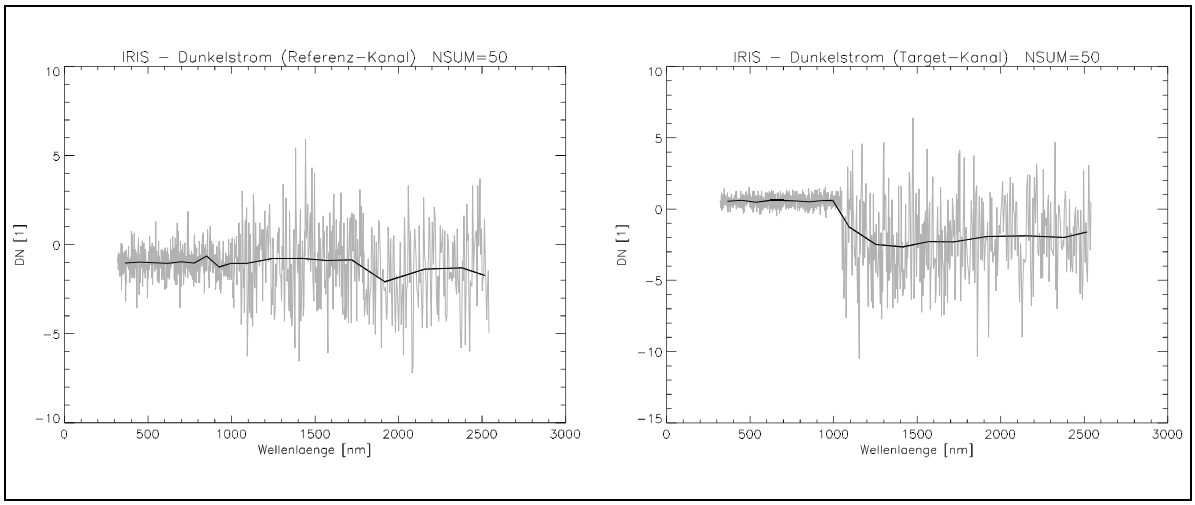


Abb. 16: Dunkelströme der beiden Meßkanäle (Rohmeßwert und mit 50-Punkt-Mittelwertbildung)

4.1.2 Gittersprungkorrektur

Da das IRIS-Spektrometer mit 3 verschiedenen Gittern arbeitet, ergeben sich bei den Übergängen von einem Gitter zum nächsten Effekte, die zunächst einen Anschluß der sich ergebenden Spektren verhindert und systematische Fehler erzeugt, die sich in Unstetigkeiten im Gesamtspektrum ausdrücken. Empirische Vergleichsmessungen der DLR mit anderen Spektrometern haben ergeben, daß sich folgende Vorgehensweise zur Korrektur der Gitterdifferenzen (Gittersprungkorrektur) als zuverlässig herausgestellt hat:

Es wird davon ausgegangen, daß die Messungen mit dem ersten Gitter (Spektralbereich 319–1047 nm) repräsentativ ist, da die Aufnahme mit Si-Detektoren erfolgt, die i.a. eine hohe Genauigkeit aufweisen. Da sich die Messung mit dem zweiten Gitter aufgrund physikalischer Plausibilität stetig an die Messung mit dem ersten Gitter anschließen muß, werden die Meßwerte des zweiten Meßbereiches durch Addition (oder Subtraktion) einer Konstanten korrigiert, so daß die Unstetigkeit verschwindet. Ebenso wird dann mit dem dritten Meßbereich in Bezug zum zweiten verfahren.

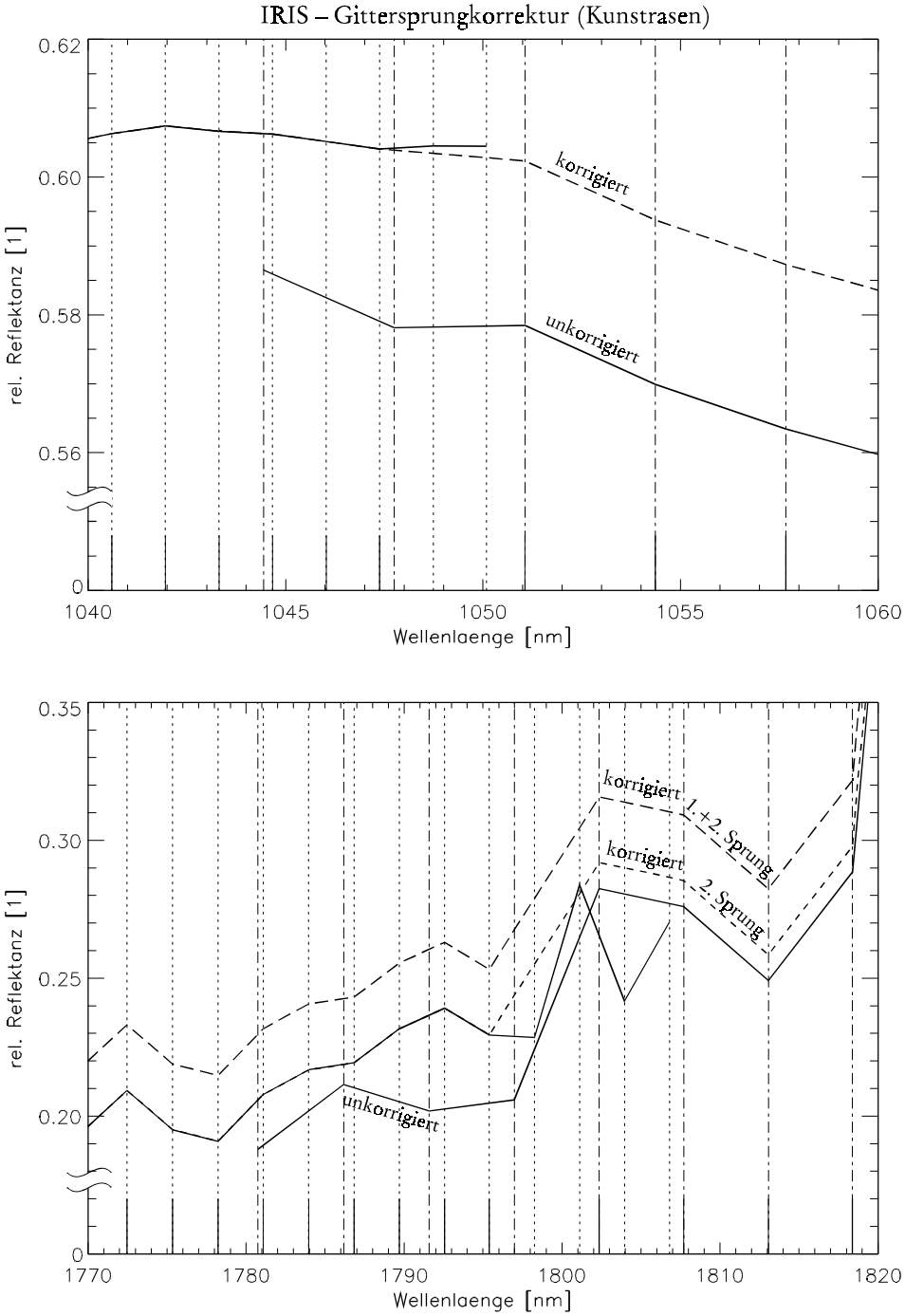


Abb. 17: Gittersprungkorrektur am Beispiel der Kunstrasenmessung

Abb. 17 zeigt einen solchen Vorgang der Gittersprungkorrektur graphisch. Die obere Graphik zeigt die Unstetigkeit, die sich beim Übergang vom ersten zum zweiten Gitter ergibt (durchgezogene Linie). Der Sprung wird durch die IRIS-Auswertesoftware so korrigiert, daß das Spektrum die Form der gestrichelten Linie annimmt.

Beim zweiten Gittersprung wird ebenso verfahren, so daß nach der Korrektur das Spektrum der kurz gestrichelten Linie entsteht. Wird nun noch die Verschiebung des Spektrums durch die erste Gittersprungkorrektur berücksichtigt, ergibt sich das endgültige, lang gestrichelte Spektrum. Die Gittersprungkorrektur verschiebt die Spektren um ca. 2%.

4.1.3 Detektorfunktion

Die Charakteristika der beiden Meßkanäle des IRIS (reference/target) sind i.a. nicht gleich, also müssen die Messungen von Referenz- und Zielfläche noch mit der Korrekturfunktion (Detektorfunktion) für dieses Gerät korrigiert werden. Hierzu kann eine Messung herangezogen werden, bei der mit beiden Meßkanälen dieselbe Referenzfläche gemessen wird, in diesem Fall eine Spektralon–Spektralon–Labormessung (Abb. 19). Bestimmt wird diese Korrekturfunktion nun durch Bildung des Quotienten aus den Spektren des Ziel- und Referenzkanals. Genaugenommen handelt es sich also um einen Korrekturfaktor für jede Stützstelle des gemessenen Spektrums, gewissermaßen ein „Detektor–Korrektur–Spektrum“:

$$R_k(\lambda) = R_{rel}(\lambda) \cdot \frac{S_{Z,Sp}(\lambda)}{S_{R,Sp}(\lambda)} \qquad \text{(Gleichung 4.2)}$$

Die mit dieser Detektorfunktion korrigierten (multiplizierten) Dateien erhielten zusätzlich zum Dateinamen noch die Endung „_D“ (z.B. „np13tar_s_D“). Einen Auszug aus einer solchen Datei zeigt Tabelle 5. Abb. 18 zeigt das Spektrum der gesamten Messung „np13tar_s_D“ graphisch.

Wellenlänge	rel. Reflektanz
319.420	0.579805
321.220	0.654342
323.010	0.660922
324.800	0.685582
.	.
.	.
.	.
2478.79	0.242834
2483.20	0.194508
2487.62	0.130442
2492.04	0.267006

Tabelle 5: Auszug aus der Datei „np13tar_s_D“

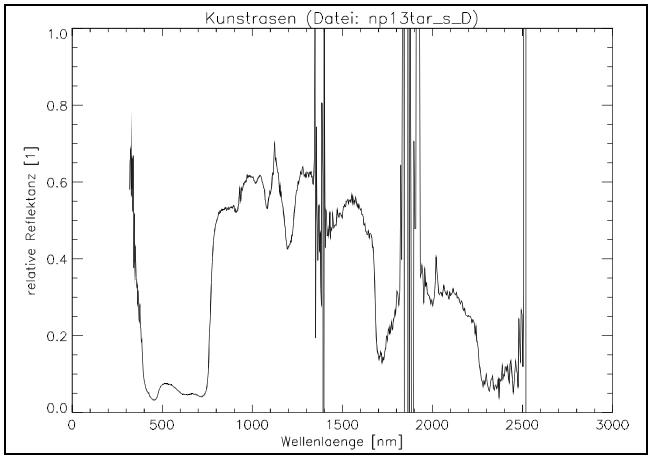


Abb. 18: relative Reflektanz der Messung „Kunstrasen“ (Datei „np13tar_s_D“)

Von der DLR wurden zwar neben den unkorrigierten Daten auch Dateien mit einer Detektorfunktionskorrektur geliefert (Dateinamensendung „_R“), nur wurde hierbei die Detektorfunktion bestimmt aus den ersten beiden $BaSO_4$–$BaSO_4$–Messungen auf dem Flughafenvorfeld, die ein sehr großes Rauschen zeigen und große Ungenauigkeiten an den Stellen zeigen, an denen die Atmosphäre viel von der Sonnenstrahlung absorbiert (sehr kleine Strahldichten). Hinzu kommt, daß die $BaSO_4$–Referenzfläche eine kleinere Reflektanz besitzt, so daß bei der Messung an Spektralon im Labor mit einer künstlichen Lichtquelle größere Intensitäten (kleineres relatives Rauschen) gemessen werden können. Deshalb wurde in dieser Arbeit mit der Detektorfunktion der Labormessung gearbeitet.

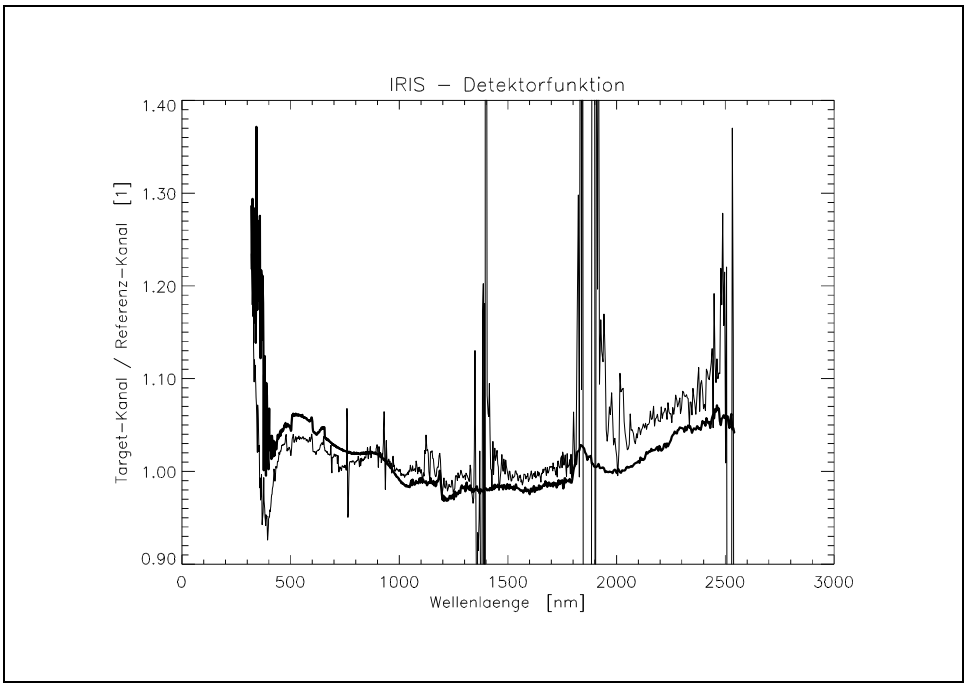


Abb. 19: Detektorfunktion des IRIS-Spektrometers, fett, und Original-Detektorfunktion DLR, dünn (siehe Text).

4.1.4 Kalibrierung mit Spektralon-Normal

Um nun auf Werte für die absoluten Reflektanzen zu kommen, mußte die Referenzfläche $BaSO_4$ noch mit Hilfe einer Spektralon-Referenzfläche kalibriert werden, von der die absolute Reflektanz R_{Sp} bekannt ist (Herstellerangaben, Abb. 21). Hierzu stand eine Labormessung S_{BaSp} der DLR zur Verfügung, bei der die relative Reflektanz der Spektralon-Referenzfläche in Bezug auf die $BaSO_4$-Referenzfläche gemessen wurden (Abb. 20). Spektralon–Reflektanz–Materialien sind sehr harte, maschinell hergestellte Thermoplastiken, die bis zu 350°C thermisch stabil und extrem hydrophob sind. Verunreinigungen der Oberfläche lassen sich mit Sand unter fließendem Wasser abwaschen.

Die absolute Reflektanz R_{abs} läßt sich so berechnen aus der relativen Reflektanz R_k (siehe Gleichung 4.2):

$$R_{abs} = R_k \cdot S_{BaSp} \cdot R_{Sp} \qquad \text{(Gleichung 4.3)}$$

Der Hersteller (Fa. Labsphere, USA) der Spektralon-Referenzfläche gibt für die absoluten Reflektanzen eine Genauigkeit von 5% in den Spektralbereichen von 250–360 nm und 740–2500 nm und 0.5% im Bereich 360-740 nm (sichtbar) an.

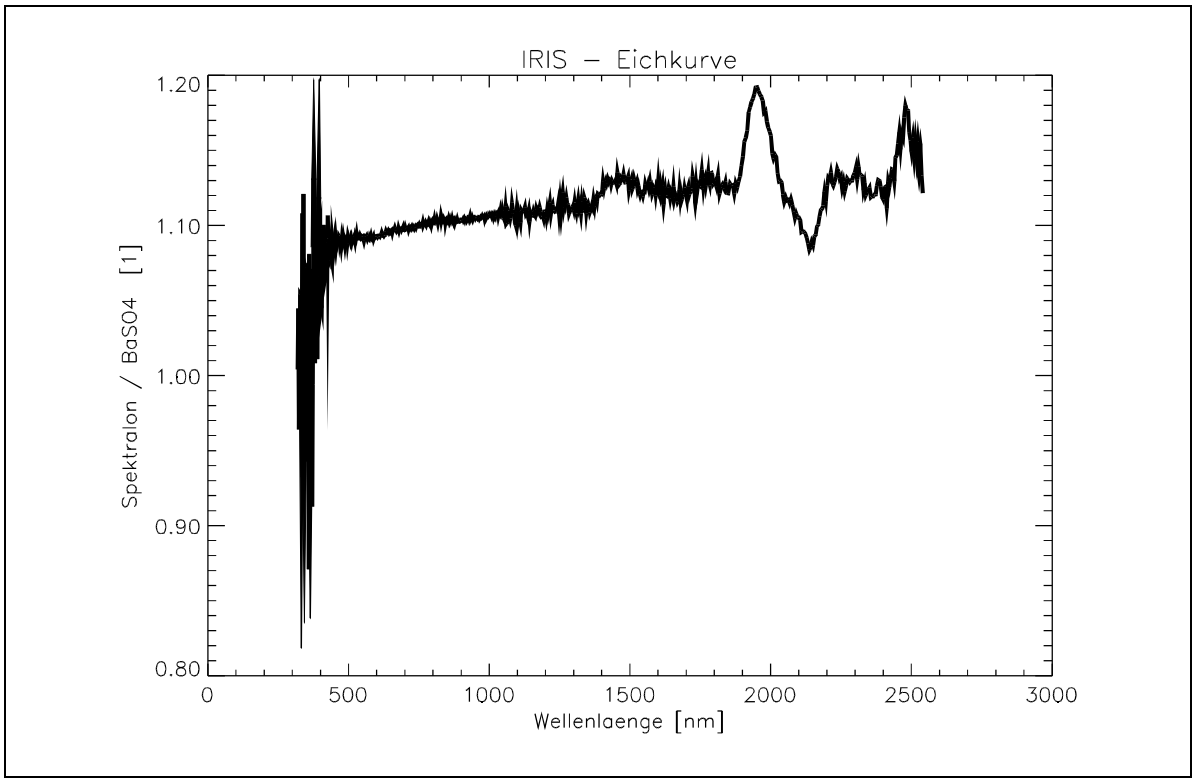


Abb. 20: Messung zur Eichung der $BaSO_4$-Referenzfläche mit Hilfe der Spektralon-Referenzfläche (Quelle: DLR)

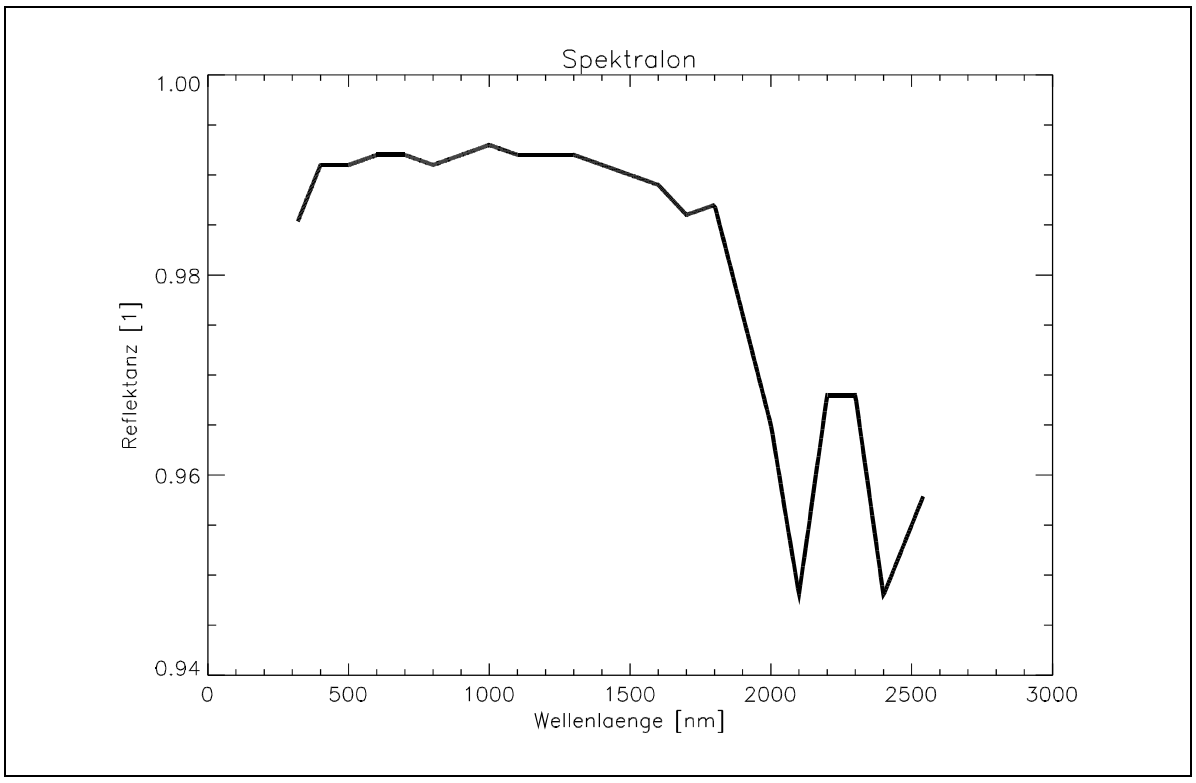


Abb. 21: Absolute Reflektanz der Spektralon-Referenzfläche (Quelle: Labsphere)

Nach der Kalibrierung mit der Spektralon-Fläche stehen dann absolute Reflektanzspektren zur Verfügung, die dann zum Vergleich mit den Reflektanzberechnungen aus den Daedalus-Scannerdaten herangezogen werden können.

4.1.5 Fehlerabschätzung

Eine systematische Fehlerbetrachtung der absoluten Reflektanzen ist, ebenso wie die Berechnung der Fehlerfortpflanzung, wegen der Unkenntnis der Einzelfehler einiger Größen, die in die Berechnungen eingehen, nicht möglich.

Von den Betreibern des IRIS-Spektrometers (DLR) wurden einige Angaben über den Fehler und die Genauigkeit der während der Messung verwendeten Geräte und Materialien gemacht:

Das IRIS-Spektrometer

- Genauigkeit eines Kanals: 2,5% (1,5% Rauschen, 1% Optik, Mechanik etc.)
- Langzeitkonstanz: 0,5% pro Monat

Die $BaSO_4$ – Referenzfläche

- Langzeitkonstanz: einige % pro Jahr (hygroskopischer Effekt)

Die Spektralon – Referenzfläche

- Genauigkeit der absoluten Reflektanzen: 5% (250–360 nm und 740–2500 nm)
  0,5% (360-740 nm)

Durch Anwendung der Gittersprungkorrektur tritt ein Fehler von ca. 1% auf.

Für die relativen Reflektanzen ergibt sich dann ein Fehler von ca. 6%. Diesen Wert berechnet sich aus dem Fehlerfortpflanzungsgesetz. Hierbei entsteht bei der Division der beiden Meßkanäle ein Fehler von 3,5%. Dieser tritt auch bei der Bestimmung der Detektorfunktion auf, so daß sich nach Korrektur mit dieser der Fehler auf 5% erhöht. Bei der Berechnung der absoluten Reflektanzen (durch Multiplikation mit dem Kalibrationsspektrum $BaSO_4$-Spetralon und dem Spektralon-Reflektanzspektrum) ergibt sich dann ein Fehler von ca. 6,1% im sichtbaren (360-740 nm) und 7,9% im Infrarotbereich (740–2500 nm).

Eine alternative Fehlerabschätzung ergibt sich auch aus 5 Messungen, die in kurzen Zeitabständen (2 Minuten) an einem Ort (Asphalt, Flughafen) durchgeführt wurden, ohne das Spektrometer zu verschieben. Die statistische Auswertung dieser Messungen ergibt einen Fehler für die relativen Reflektanzen von maximal 1% im sichtbaren Spektralbereich und bis zu 10% im Infrarotbereich.

Offensichtlich ist der Fehler der IRIS-Messungen stark wellenlängenabhängig, so daß die Fehlerangabe der DLR von 2,5% pro Kanal zu pauschal erscheint. Es ist anzunehmen, daß der Fehler der Messungen im sichtbaren Bereich deutlich unter den oben berechneten 6,1% und im Infrarotbereich über 7,9% liegt.

Zur stichprobenartigen Überprüfung der spektralen Eichung und des Auflösungsvermögens des IRIS wurde von der DLR eine Messung mit dem IRIS an einem He-Ne-Laser durchgeführt, der elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge von 632.5 nm emittiert (Abb. 23). Die Messung ergab eine Reproduzierbarkeit der Messung von $\Delta\lambda = \pm 0{,}5\text{nm}$.

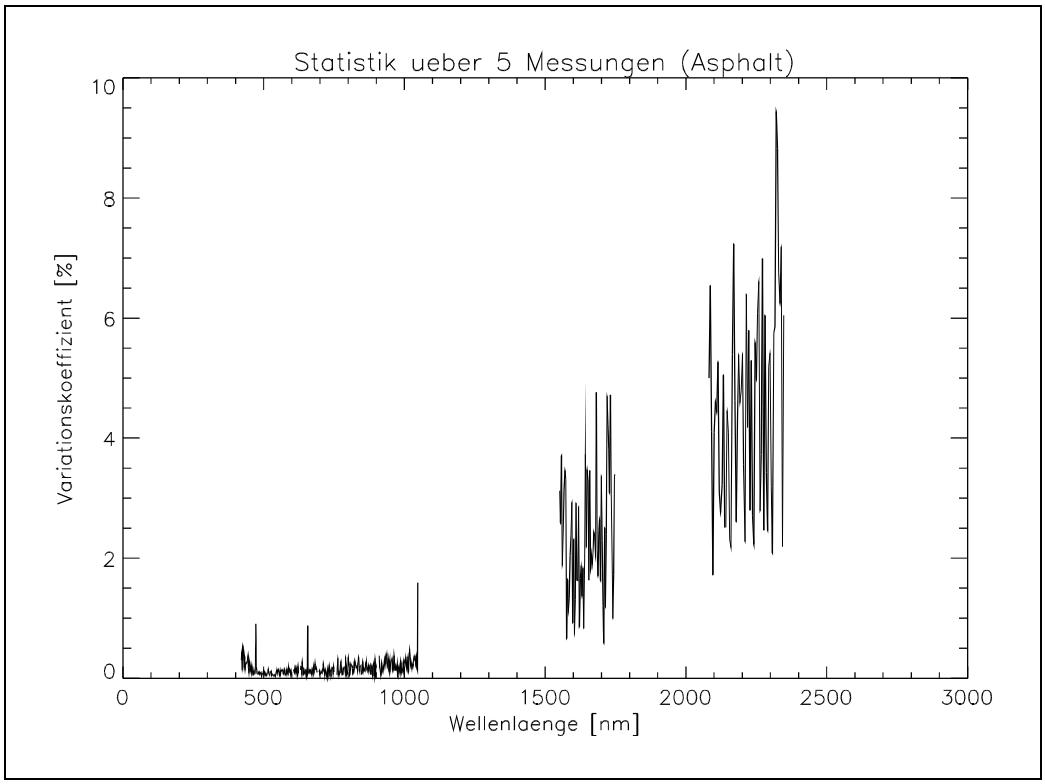


Abb. 22: Spektraler Variationskoeffizient des IRIS-Spektrometers, bestimmt aus 5 Messungen auf dem Flugafengelände (Asphalt)

Als Maß für die Auflösung des Spektrometers kann die Halbwertsbreite der Lasermessung herangezogen werden [KOLLEWE 1993]. Die Halbwertsbreite, also die Breite des Peaks bei der Hälfte des Maximums, beträgt in diesem Fall etwa $W_{HM} = 4{,}3\text{nm}$.

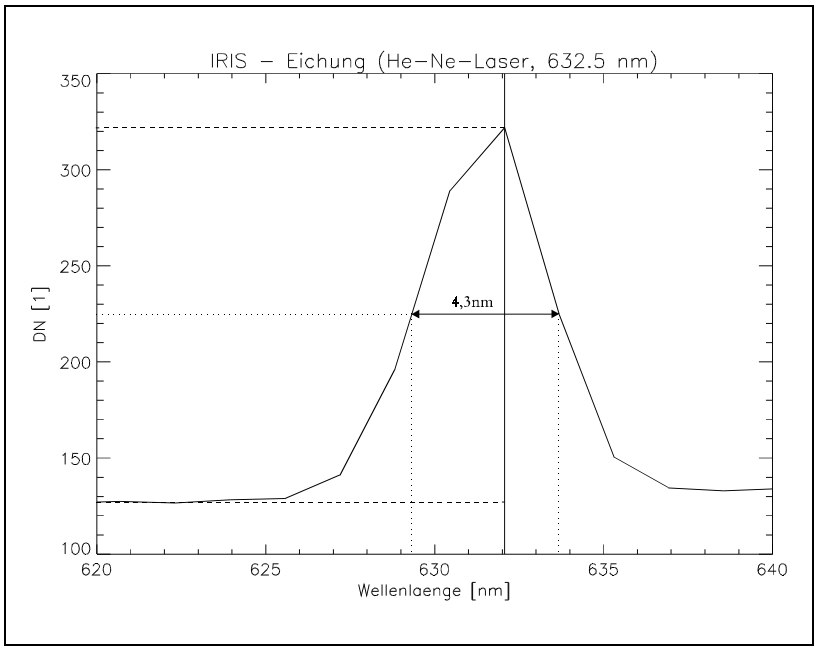


Abb. 23: Messung an einem He-Ne-Laser

4.2 Erzeugung von Reflektanzbildern aus den Daedalus–Luftbildaufnahmen

Die Erzeugung von Reflektanzbildern aus den Messungen des Daedalus AADS 1268 ohne Zuhilfenahme von Bodenmessungen zur Reflektanzkalibrierung läßt sich in mehrere Arbeitsschritte aufteilen. Abb. 24 zeigt das Flußdiagramm.

Zuerst werden die Rohdaten des Daedalus mit Hilfe eines Konvertierungsprogrammes (`daedalus2tiff`) in ein leicht zu verarbeitendes Bilddatenformat umgewandelt. Unter Anwendung von Eichdaten werden dann Strahldichtebilder erzeugt (`ref_image`). Mit den Methoden eines Strahlungstransportmodells und einer Detektorsimulation werden parallel zu diesem Prozeß Strahldichten berechnet, die der Sensor messen sollte, wenn er die reflektierte Strahlung eines Objektes mit einer bestimmten Reflektanz aufnimmt (`sensat-5`). Dieses wird für diskrete Stützstellen der Parameter „Scanwinkel“ und „Reflektanz des Objektes“, sowie für alle Daedalus-Kanäle durchgeführt, so daß eine dreidimensionale Tabelle (`atm-Datei`) entsteht, deren Eintragungen aus (theoretischen) Strahldichten bestehen. Mit dieser Tabelle kann nun mit Hilfe des „Look-up“-Verfahrens und einer linearen Interpolation zwischen den Stützstellen jeder gemessenen Strahldichte ein Reflektanzwert zugeordnet werden (`ref_image`). Für jedes Bildelement der Daedalus-Strahldichtebilder durchgeführt, ergeben sich so Reflektanzbilder. Zum Abschluß werden die Bilder, ebenfalls mit einem theoretischen Modell, um den Überstrahlungseffekt korrigiert [RICHTER 1994, HEPP 1994] (`adjacen`). Das Ergebnis sind Reflektanzbilder im TIFF-Format (siehe 4.2.2).

Diese Vorgehensweise ist der Arbeit von [RICHTER 1994] und [HEPP 1994] entnommen, dessen einzelnen Arbeitsschritte (Kästen im Diagramm Abb. 24) im folgenden erläutert werden.

Die Rohdaten der 13 Flugstreifen (siehe 3.3.2) sind auf 21 Dateien mit einer durchschnittlichen Größe von 25 Megabyte verteilt worden, so daß die Gesamtdatenmenge ca. 525 Megabyte beträgt. Die Gesamtstrecke der Flugstreifen beläuft sich auf ca. 45km.

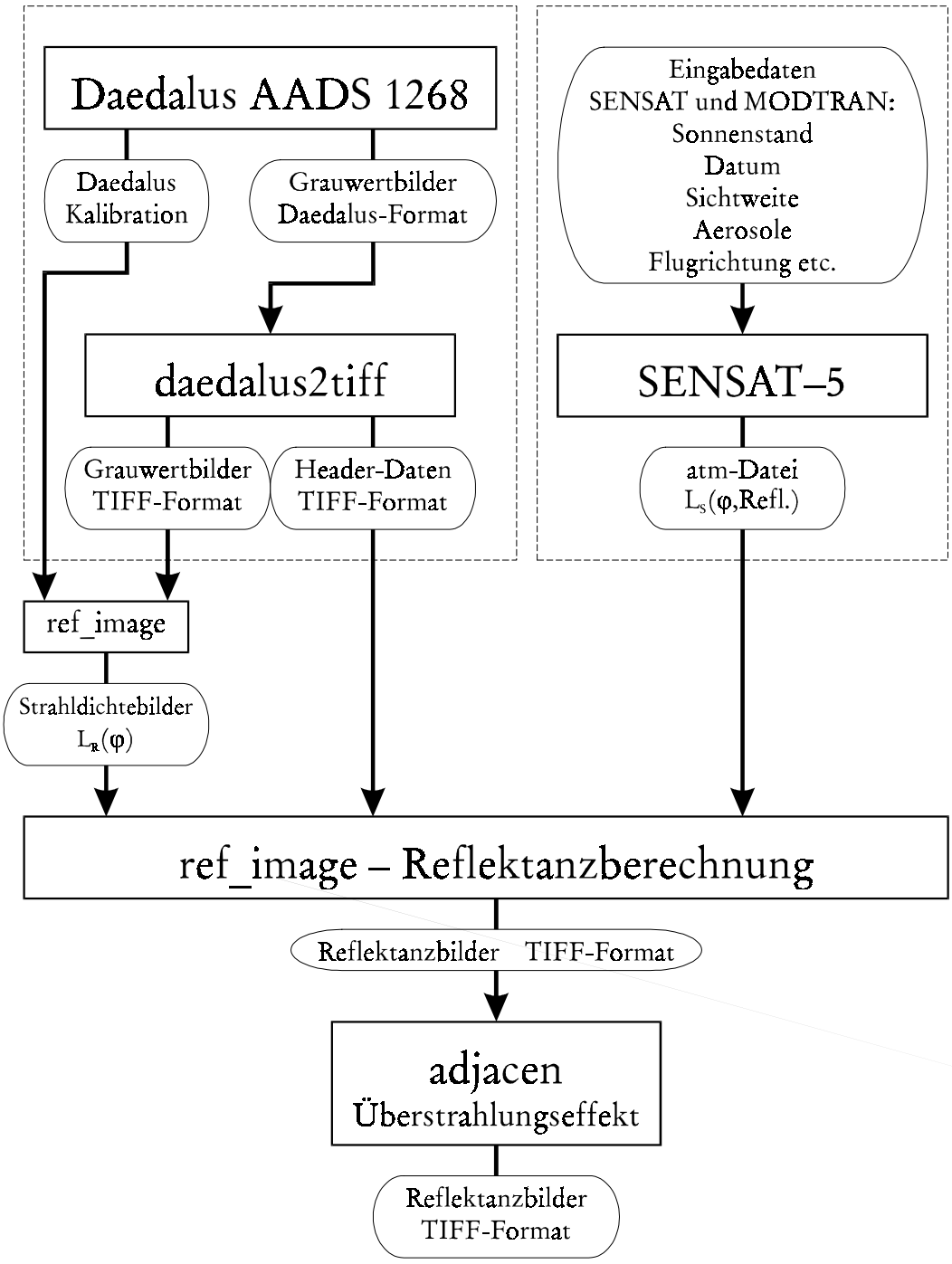
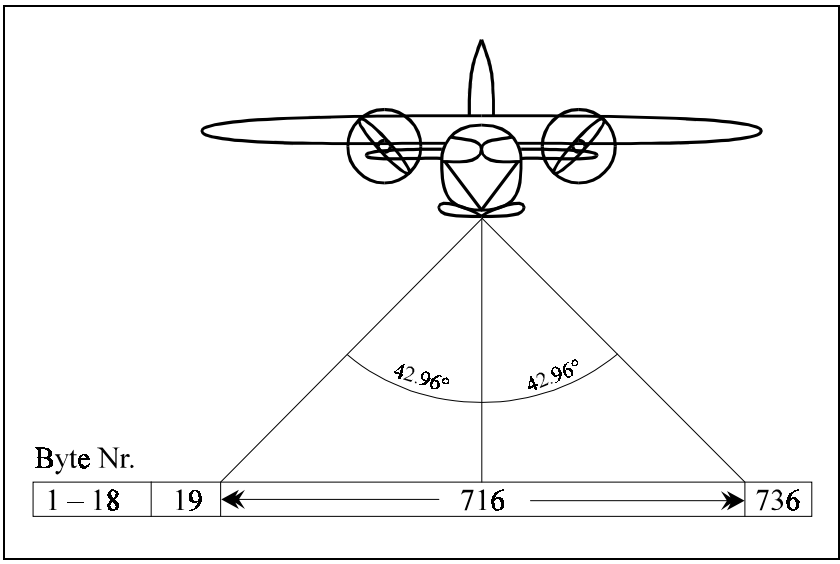


Abb. 24: Flußdiagramm zur Erzeugung von Reflektanzbildern aus den Daedalus-Scannerbildern

4.2.1 Datenformat – Daedalus AADS 1268

Die Scanner–Bilder des Daedalus von der Überfliegung am 18.10.1994 wurden von der DLR auf zwei CCTs (Compter-compatible-tapes) in einem Daedalus-eigenen Format in Form von 22 Dateien geliefert. Abb. 25 zeigt, in welchem Format die Daten auf das Band aufgezeichnet werden.



Byte

1–4..... Scanzeilenzähler
5–8..... Eingabedaten
9–12..... Temperaturen Thermalreferenz 1,2
13–17... Externe Digitaldaten
18..... Statusinformation
19..... Meßwert Thermalreferenz 1
20–735 . Bilddaten
736..... Meßwert Thermalreferenz 2

Abb. 25: Aufzeichnungsformat der Daten des Daedalus AADS 1268 für jeden Kanal

Die Kalibrierung auf absolute Strahldichten erfolgte mit einer Daedalus-„Testbench“ und wurde 15 Tage nach der Überfliegung von der DLR durchgeführt.

4.2.2 Datenkonvertierung – daedalus2tiff

Zur Weiterverarbeitung wurden die Daten mit dem C-Programm „daedalus2tiff“ in das TIFF-Format (tagged image file format, siehe [POHL]) umgewandelt, und zwar jeweils eine Tiff-Datei für die Bilddaten (Bytes 20–735, Abb. 25) und eine für die Headerdaten (Dateinamenserweiterung „-dat“), die diverse Informationen, wie Verstärkungsfaktor, Dunkelstrom etc. beinhalten (Bytes 1-19 und 736, Abb. 25). Jede Tiff-Datei enthält für jeden Daedaluskanal einen Bildeintrag, so daß sämtliche 10 Bildinformationen eines Flugstreifens in einer Datei zusammen verarbeitet werden können.

4.2.3 Strahlungstransportsimulation – SENSAT–5

Um aus den Meßdaten eines bildgebenden Scanners Reflektanzen zu berechnen, ist es vorerst nötig, die physikalischen Vorgänge des Strahlungstransportes von der Sonne über den Reflektor zum Sensor zu simulieren um so die Strahldichte L_S (L_S = simulierte Strahldichte) siehe Abb. 24) zu berechnen. Dieses wird für jeden Kanal getrennt durchgeführt. Die Berechnungen der Strahlungstransportsimulation übernimmt das Programm LOWTRAN-7 [RICHTER 1994]. Hierbei wird für alle Oberflächen angenommen, daß sie dem Modell des Lambert-Reflektors (isotrope Reflexion) genügen. Unter Zuhilfenahme der Ergebnisse von LOWTRAN-7 berechnet dann SENSAT–5 („**Sens**or–**A**tmosphäre–**T**arget“) schließlich für vorgegebene Reflexionsgrade eines Targets die Strahldichte am Sensor [RICHTER 1994]. Hieraus kann man dann aus den gemessenen Strahldichten am Sensor „rückwärts“ („inverse modelling“) die Reflexionsgrade (Reflektanzen) des Targets berechnen („Look-up“ und lineare Interpolation). SENSAT–5 wurde Mitte 1994 fertiggestellt und enthält eine Benutzeroberfläche (Eingabemasken etc.), die unter IDL lauffähig ist (vgl. [RICHTER 1994]).

Als Eingabe benötigt SENSAT (LOWTRAN) Parameter der Messung (Tabelle 6) wie

- den Sonnenstand (berechnet aus Datum und Uhrzeit mit dem Programm „sunposition“ von Rafael Wiemker, Univ. Hamburg, II. Inst. f. Exp.-Physik, Gruppe CENSIS),