

14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie  
Hamburg 1980

Presented Paper in: Kommission VII, Arbeitsgruppe VII/7

P. Lohmann <sup>+</sup>

W. Reil <sup>++</sup>

R. Stätter <sup>+++</sup>

+ Sonderforschungsbereich 149 der Universität, Hannover

++ PRAKLA SEISMOS GmbH, Hannover

+++ DFVLR-Institut für Optoelektronik, Oberpfaffenhofen

## DIE BERECHNUNG VON REFLEXIONSFAKTOREN AUS MULTISPEKTRALEN BILDDATEN

### Abstrakt

Im Rahmen eines Fernerkundungsprogramms an der deutschen Nordseeküste wurden multispektrale Aufzeichnungen von Wattgebieten in der Außenjade mit einem BENDIX M<sup>CS</sup>-Abtaster gewonnen. Gleichzeitig zu den Überfliegungen wurden am Boden die atmosphärischen Strahlungsgrößen bestimmt. Die Verwendung der Eichfunktion des Abtasters, sowie die Einbeziehung der am Boden gemessenen Strahlungsparameter ermöglicht es, Strahldichtewerte von überflogenen Oberflächen zu ermitteln und daraus die Reflexionsfaktoren bestimmter Objekte zu ermitteln.

Diese aus Abtasteraufnahmen gewonnenen Reflexionsfaktoren werden mit "in-situ" gemessenen Reflexionsspektren verglichen.

### 1. Einleitung

Seit Beginn der Aktivitäten auf dem Gebiet der Fernerkundung der Erdoberfläche wird versucht, mit Radiometern am Boden die spektrale Objekteigenschaft von bestimmten Oberflächentypen zu ermitteln.

Kennt man die spektralen Reflexionseigenschaften von natürlichen Objekten, so ist die Identifizierung dieser Flächen in multispektralen Bildern leicht durchzuführen. Die Bestimmung der Reflexionseigenschaften - also ihre Messung - ist oft nicht ganz einfach, besonders wenn es sich um Objekte handelt, die in schwer zugänglichen Gebieten liegen. Zu dieser Art von Oberflächen gehören sicherlich auch die Wattgebiete an der Jade.

Während bisheriger Meßkampagnen wurden neben Messungen mit dem Multispektralabtaster M<sup>CS</sup> von BENDIX aus der Luft auch radiometrische "in-situ" Messungen mit dem Spektralradiometer BARNES 12-550 am Boden durchgeführt. Neben der Erstellung eines "Signatur-Katalogs" haben die Bodenmessungen zusätzlich das Ziel, Bodenreferenzdaten zu bestimmen, die eine quantitative Interpretation der Multispektraldaten des M<sup>CS</sup> ermöglichen.

Die Strahlungsmessungen in einer bestimmten Flughöhe werden wesentlich durch Parameter wie die Transmission der Atmosphäre und das Streulicht zwischen Objekt und Empfänger beeinflußt. Die reflektierte Strahlung, die in der Atmosphäre geschwächt wird, und das atmosphärische Streulicht überlagern sich

und ergeben schließlich das am Sensor empfangene Signal.

Es sind nun mit Hilfe der Bodenmessungen Modelle und Verfahren zu entwickeln, die die atmosphärischen Störeinflüsse weitestgehend beseitigen. Nur die Kenntnis der absoluten physikalischen Strahlungswerte liefert reproduzierbare Fernerkundungsergebnisse.

## 2. Datenerfassung und Datenaufbereitung

### 2.1. Bodenmessungen

Die atmosphärischen Größen wie Streulicht (Sky Radiance), Globalstrahlung und Transmissionsgrad der Atmosphäre wurden mit dem BARNES-Spektralradiometer, EPPLEY-Pyranometer und -Pyrheliometer sowie mit einem EXOTECH 100-Vierkanalradiometer gemessen. Zur Bestimmung des Tagesgangs der einfallenden Globalstrahlung wurde ein eigens für diesen Zweck entwickeltes Target verwendet, welches aus einer Platte besteht, die mit Bariumsulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) beschichtet ist. Dieser Reflexionsstandard gilt mit seinem Kosinus-Verhalten als geeigneter Lambert-Reflektor.

Zur Bestimmung der Reflexionsspektren von ausgewählten Testoberflächen (wie Schlickwatt, Zostera, Diatomeen, Sandwatt) mußten diese Targets unter Bewahrung ihrer natürlichen Oberflächenstruktur mit Steckkästen aus dem Watt ausgestochen werden und zum Teil über 2 km weit zu den Radiometer-Meßpunkten transportiert werden. Sämtliche Messungen wurden analog mit Meßschreibern aufgezeichnet.

### 2.2. Befliegungen

Die Befliegungen wurden mit einer DORNIER DO 28 "Skyservant" mit dem Multispektralscanner durchgeführt. Die Flugrichtung wurde so gewählt, daß spiegelnde Reflexion vermieden wurde. Die Flughöhe betrug 400 und 600 m. Bei diesen Flughöhen kann der Einfluß der atmosphärischen Transmission und des Streulichts als vernachlässigbar klein betrachtet werden. Die ausgewählten Testflächen wurden am Boden durch ausgebreitete Tücher von 4 x 4 m markiert. Dadurch wird eine Identifizierung in den Videodaten erleichtert. Die Scanneraufzeichnungen liegen nach einer Konvertierung am GSOC der DFVLR als Rechnerbänder (Computer Compatible Tapes) vor und können unmittelbar digital ausgewertet werden.

### 2.3. Datenaufbereitung

Da die am Boden gemessenen Spektrogramme als analoge Meßkurven vorliegen, müssen sie, um sie in eine digitale Weiterverarbeitung einfließen zu lassen, digitalisiert werden. Dies geschah mittels eines ARISTOGRID-Digitizers am Sonderforschungsbereich 149 der Universität Hannover. Mit diesen Daten und speziell dafür entwickelter Software konnten dann physikalische Größen wie Globalstrahlung, reflektierte Strahlung und Reflexionsfaktoren berechnet werden sowie die Ergebnisse numerisch und graphisch ausgegeben werden [REIL]. Weiterhin war es notwendig, den Multispektralscanner und die eingesetzten Radiometer zu eichen. Anschließend wurden die registrierten Digitalwerte des Abtasters in absolute physikalische Größen umgerechnet.

## 3. Auswerteverfahren

Die von einem kalibrierten Scanner in der Flughöhe h empfangenen Strahlleistungswerte setzen sich folgendermaßen zusammen:

$$(1) \quad L_{\lambda} = \frac{R_{\lambda}}{\pi} \cdot \tau_{\lambda}(h)^{1/\cos \varphi} \cdot E_{\lambda} + L_{A\lambda}$$

- mit:  $L_\lambda$  : Strahldichtewert eines Geländepunktes (gemessen)  
 $\tau_\lambda(h)$  : Transmissionsgrad der Atmosphäre bis zur Flughöhe  $h$   
 (gemessen oder mit Modellen berechnet /McCLATCHEY et al./)  
 $1/\cos \varphi$  : Maß für den optischen Weg der Strahlung vom Objekt zum  
 Sensor (bekannt)  
 $E_\lambda$  : Einfallende Globalstrahlung (gemessen)  
 $L_{A\lambda}$  : Streustrahlung der Atmosphäre (gemessen oder durch Modell-  
 rechnung bekannt)  
 $R_\lambda$  : Reflexionsfaktor eines Geländepunktes (gesucht)

Dabei ergibt sich:

$$(2) \quad E_\lambda = E_{0\lambda} \cdot \tau_\lambda(h_\infty)^{1/\cos \varphi} \cdot \cos Z + E_{H\lambda}(Z, \tau)$$

Der erste Ausdruck in (2) entspricht der direkten Sonnenstrahlung,  $\cos Z$  zeigt die Abhängigkeit vom Sonnenzenitwinkel und stellt damit die vertikale Komponente der einfallenden Strahlung dar, während  $1/\cos \varphi$  den optischen Weg der Strahlung durch die Atmosphäre charakterisiert.

Aus Gleichung (1) läßt sich nun mit  $\varphi = 0^\circ$  der Reflexionsfaktor  $R$  bestimmen nach:

$$(3) \quad R_{\lambda \perp} = \frac{\pi \cdot L_\lambda}{\tau_\lambda \cdot E_\lambda} - \frac{\pi \cdot L_{A\lambda}}{\tau_\lambda \cdot E_\lambda} \quad R_{\lambda b} = \frac{\pi \cdot L_\lambda}{E_\lambda}$$

Ein Vergleich mit den aus Bodenmessungen ermittelten Reflexionsfaktoren  $R_{\lambda b}$  zeigt den Einfluß der Absorption (Transmissionsgrad  $\tau$ ) und des Streulichts ( $L_{A\lambda}$ ). Durch die Erfassung dieser Störgrößen bzw. ihre Vernachlässigung bei niedrigen Flughöhen (wie unter 2.2. erwähnt mit  $\tau$  gegen 1 und  $L_A$  gegen 0) werden die Scannerdaten weitestgehend unabhängig vom Sonnenstand bzw. den atmosphärischen Bedingungen.

Die Original-Scannerdaten geben die von den Oberflächen unterschiedlich reflektierte Strahlung wieder. Somit sind sie in erster Linie von der einfallenden Globalstrahlung und damit vom Zustand der Atmosphäre abhängig. Sie ermöglichen nur relative Aussagen über das Reflexionsverhalten der Oberflächen innerhalb einer Aufnahme, quantisiert in den 10 Spektralkanälen im Sichtbaren und nahen Infrarotbereich. Ein multitemporaler Vergleich ist erst beim Übergang auf absolute physikalische Größen möglich.

Mit den Eichdaten des Scanners und der Bodenradiometer lassen sich Reflexionsfaktoren aus Scannerdaten wie folgt berechnen /REICHERT/:

$$(4) \quad L_i' = \frac{(D_i - D_{B1i})}{(D_{K1i} - D_{B1i})} \cdot L_{K1i} \quad [W m^{-2} sr^{-1}]_i$$

- mit:  $L_i'$  : Strahldichtewert eines Geländeelements  
 $D_i$  : Digitalwert eines Geländeelements  
 $D_{B1i}$  : Digitalwert des Schwarzkörpers 1 vom Scanner  
 $L_{K1i}$  : Strahldichtewert der Scannerkalibrierlampe (Eichwert)  
 $D_{K1i}$  : Digitalwert der Scannerkalibrierlampe

Der Index  $i$  zeigt ebenso wie der Index  $\lambda$  in den Gleichungen (1) mit (3) die Wellenlängenabhängigkeit der betrachteten Größen.

Durch die Multiplikation mit  $\cos \varphi$  ( $\varphi$ =Abtastwinkel) ergibt sich die vertikale Komponente der Strahldichte:

$$(5) \quad L'_{i\perp} = L'_i \cdot \cos \varphi \quad \text{und} \quad (6) \quad R'_i = \frac{\pi \cdot L'_{i\perp}}{E_i}$$

mit:  $R'_i$  : Reflexionsfaktor aus Scannermessungen

$E_i$  : Einfallende Globalstrahlung (am Boden gemessen und über je einen Scannerkanal integriert)

$\varphi$  : Abtastwinkel des Scanners

Um eine bildmäßige Ausgabe eines so ermittelten Reflexionsfaktorenbildes zu ermöglichen, entstand ein Programm zur linearen Transformation der Reflexionsfaktoren auf den zur Verfügung stehenden Grauwertbereich (siehe Abb. 5).

Den gesamten Datenfluß der Auswertung zeigt die Abb. 1, die graphische Ausgabe der Globalstrahlung im Tagesverlauf Abb. 2 sowie einen Schnitt der Globalstrahlung quantisiert auf die ersten 10 Kanäle des M<sup>2</sup>S-Scanners für einen Zeitpunkt Abb. 3.

#### 4. Ergebnisse und Diskussion

In Abb. 4 sind die Reflexionsfaktoren von wattspezifischen Oberflächen dargestellt, die auch als Testgebiete für eine multispektrale Klassifizierung dienen. Es fällt auf, daß der Reflexionsfaktor sich nur um 4% bis 5% über den gesamten Wellenlängenbereich ändert und damit bei den hier untersuchten Flächen nur ein geringer spektraler Kontrast vorhanden ist. Auch im nahen Infrarot ist selbst bei Vegetationsflächen (Zostera = Seegrass) keine Zunahme zu beobachten, wie dies bei ländlichen Vegetationsflächen bekannt ist. Ursache dafür ist, daß diese Testgebiete im Watt von der Struktur her sehr heterogen sind und nicht einheitlich wie beispielsweise eine ländliche Wiese. Zudem wurden die Proben wegen der Unzugänglichkeit der Wattgebiete für Radiometer in Stechkästen zum Teil über 2 km Entfernung an Land gebracht. Dabei geschah es, daß einige Proben, bedingt durch das Zusammensacken während des Transports, von einer dünnen Wasserschicht bedeckt waren.

Die Heterogenität der Proben zeigt sich auch (Tabelle 1) bei der Berechnung eines mittleren Reflexionsfaktors an der Größe der Standardabweichung. Dies wird besonders bei den durch Schlickwatt unterbrochenen Flächen des Zostera und der Diatomeen deutlich. Beim Übergang von Kanal 7 des Scanners (Zentralwellenlänge 680 nm) auf Kanal 9 (810 nm) erhöht sich der Reflexionsfaktor dieser Flächen um das Doppelte. Die Standardabweichung  $\sigma$  zeigt jedoch, daß diese Flächen nicht durch einen einzigen Reflexionswert charakterisiert werden können. So kann auch ein Vergleich mit den Bodenmessungen keinen Aufschluß über die möglicherweise vorhandenen atmosphärischen Störeinflüsse erbringen.

Der Reflexionsfaktor von der relativ homogenen Oberfläche "Sandwatt" stimmt in beiden Kanälen gut mit den Bodenmessungen überein. Der Reflexionswert von Wasser entspricht den Ergebnissen, die bei Untersuchungen 1975 im gleichen Testgebiet gewonnen wurden /STATTER et al./.

#### 5. Schlußbemerkungen

Die Untersuchung der Reflexionsfaktoren von unterschiedlichen Wattoberflächen ergibt eine Bestätigung der schon früher gewonnenen Aussage /JAHRESBERICHT 1977, SFB 149/, daß vor allem die Kanäle 7 und 9 des M<sup>2</sup>S für eine Trennung von unterschiedlichen Wattarten geeignet sind, siehe Abb. 5.

Der Multispektralscanner läßt sich somit gut als ein Gerät zur Signaturforschung einsetzen. Es lassen sich bei Beachtung einer guten Kalibrierung und unter Einbeziehung von Messungen der Globalstrahlung Reflexionsfaktoren auch von schwer zugänglichen Gebieten ermitteln und damit auch multitemporal vergleichen.

Den Einfluß der Atmosphäre kann man bestimmen, indem man aus Messungen homogener Oberflächen (z.B. Betonflächen) die Reflexionsfaktoren bildet und sie denjenigen gegenüberstellt, die mit dem Multispektralscanner aus dem Flugzeug gemessen wurden.

## 6. Literatur

- REIL, W.: Verarbeitung von analogen Radiometermessungen im Hinblick auf die quantitative Auswertung von Flugzeugabtaster-Aufnahmen.  
Diplomarbeit, Universität Hannover, Inst. für Photogrammetrie u. Ingenieurvermessungen (1979), unveröffentlicht.
- Mc CLATCHEY, R.M.; SELBY, J.E.A.: Atmospheric Transmittance from 0.25 to 28.5  $\mu\text{m}$ : Computer Code LOWTRAN 3.  
AFCL-Environmental Research Paper.
- REICHERT, P.: Der Multispektralscanner als Instrument der Signaturforschung.  
in: Berichte zum Symposium Flugzeugmeßprogramm der DFVLR und DGPF, BMFT-Forschungsbericht W 78-04 (1978).
- STATTER, R.; SCHROEDER, M.; UTECH, K.O.; SEIGE, P.: Voruntersuchungen im erdwissenschaftlichen Flugzeugmeßprogramm - Kampagne "Jade/Ostfriesisches Wattengebiet"  
DFVLR-IB 554-74/17 (1974).
- SONDERFORSCHUNGSBEREICH 149: "Vermessungs- und Fernerkundungsverfahren an Küsten und Meeren".  
Jahresberichte 1977 und 1978.

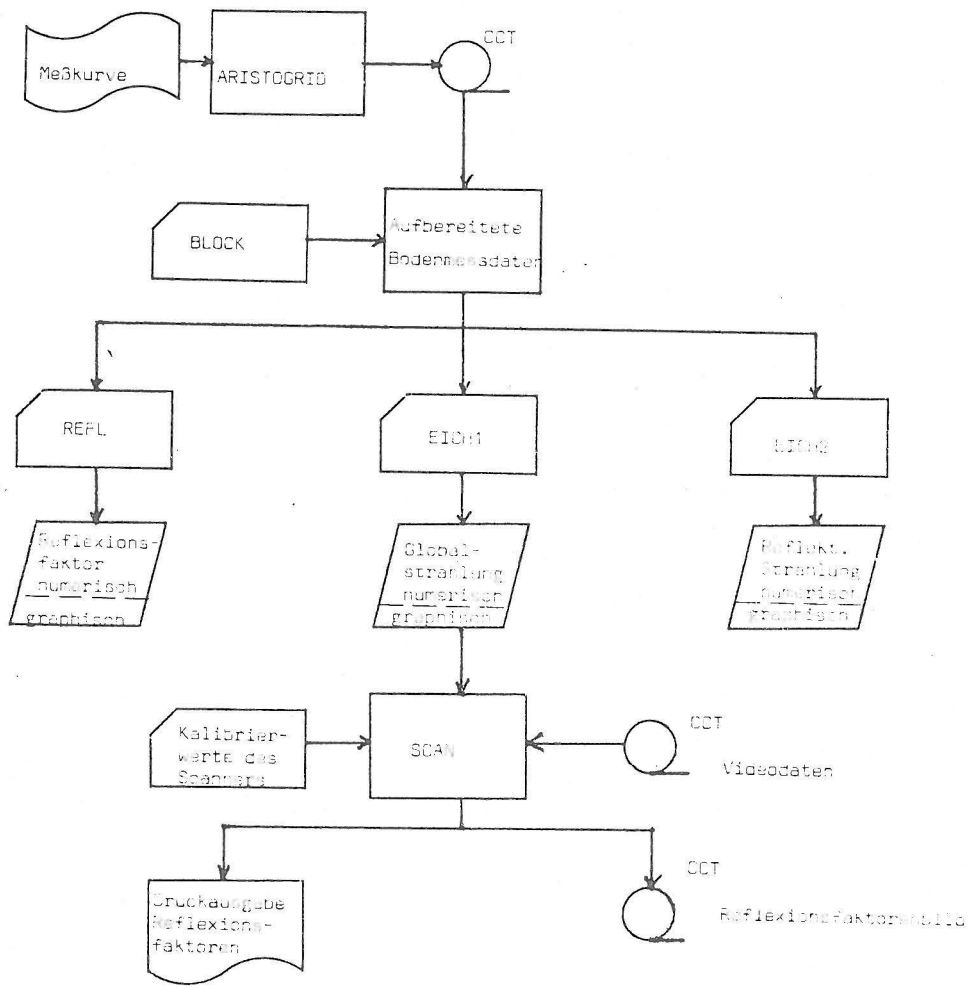


Abb. 1 Flußdiagramm zur Auswertung der Daten

Es sind: Meßkurve = Eingabe der Bodenmessungen

Videodaten = Eingabe der Scannermessungen

EICH1 und EICH2 = Programme zur Absolutberechnung und graphisch/numerischen Ausgabe der Global- und Reflexstrahlung

REFL = Programm zur Berechnung des Reflexionsfaktors R aus Bodenmessungen

SCAN = Programm zur Berechnung des Reflexionsfaktors R' aus Scanner- und Bodenmessungen; Ausgabe als Tabelle und Bild

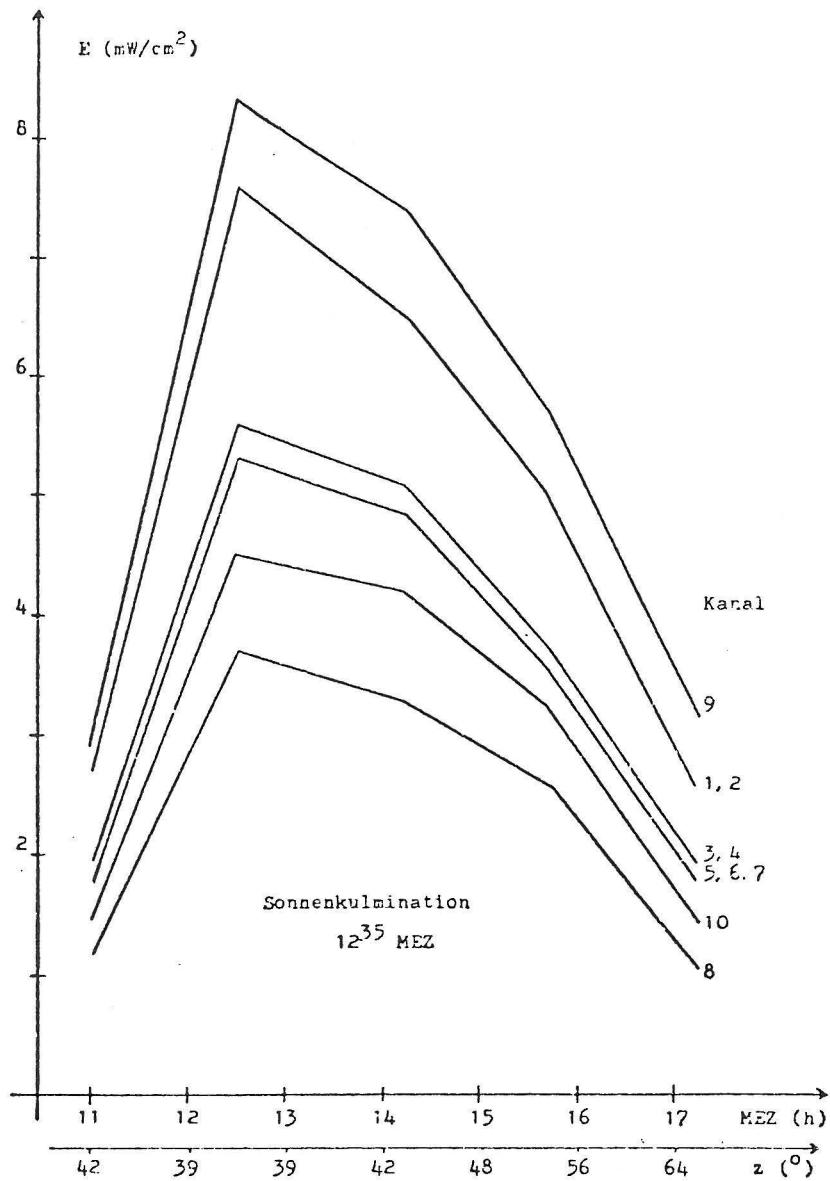


Abb. 2 Globalstrahlung in 10 Kanälen des Scanners BENDIX M<sup>2</sup>S  
 Messtag: 12. August 1976; Messort: Jade

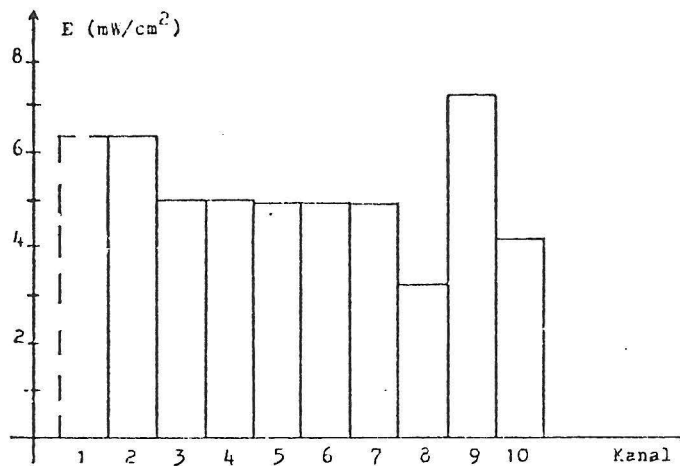
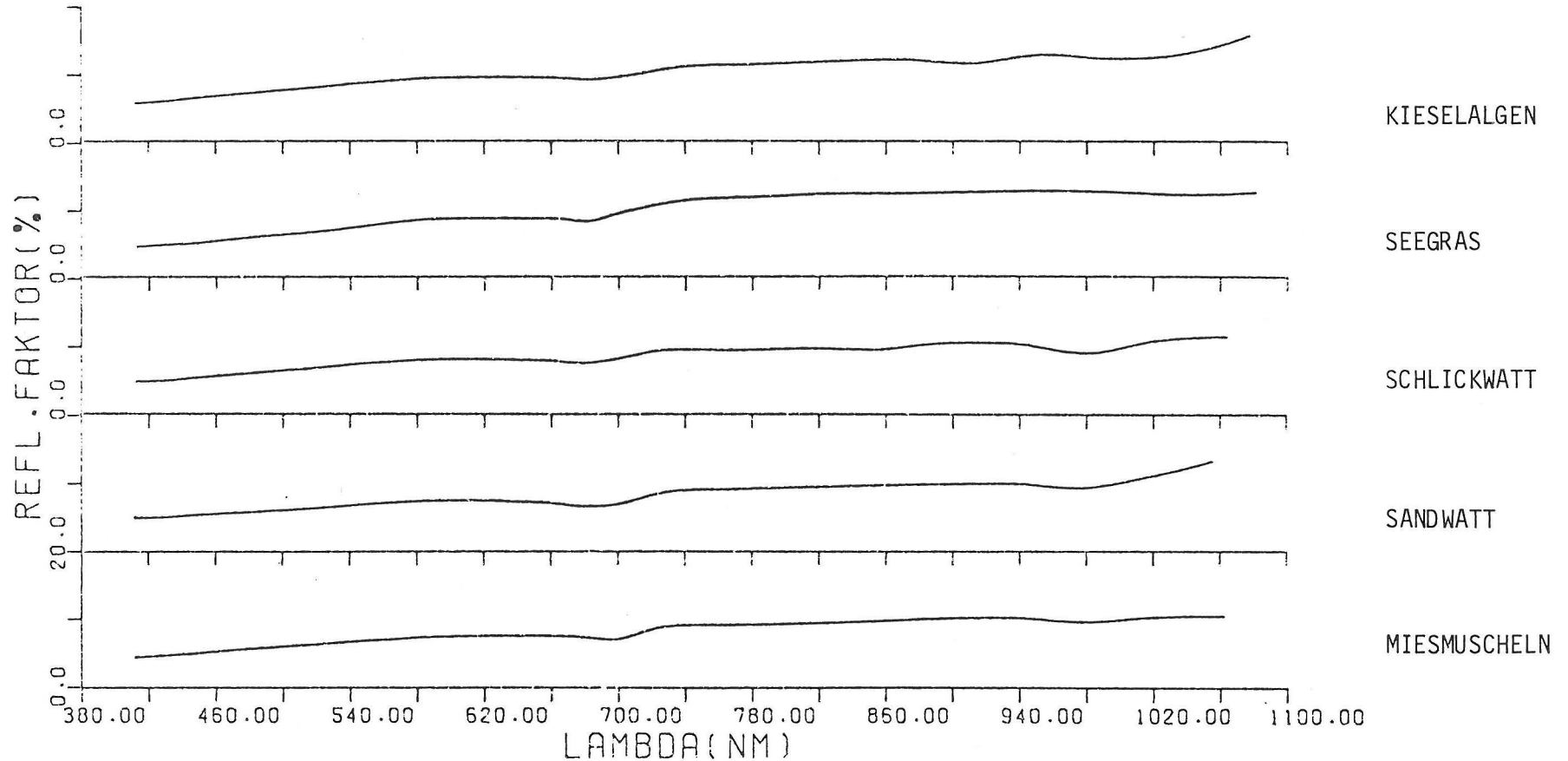


Abb. 3 Spektrum der Globalstrahlung in den Scannerkanälen  
 Schnitt aus Abb. 2 für 14:00 Uhr (MEZ)

# GERICHTETER REFLEXIONSFAKTOR

BODENMESSUNGEN MIT DEM BARNES 12-550 SPEKTRALRADIOMETER



571.

Abb. 4 Spektren des Reflexionsfaktors R verschiedener Wattflächen.  
Messtag: 11. August 1976; Messort: Jade, Wattengebiet von Crildum.



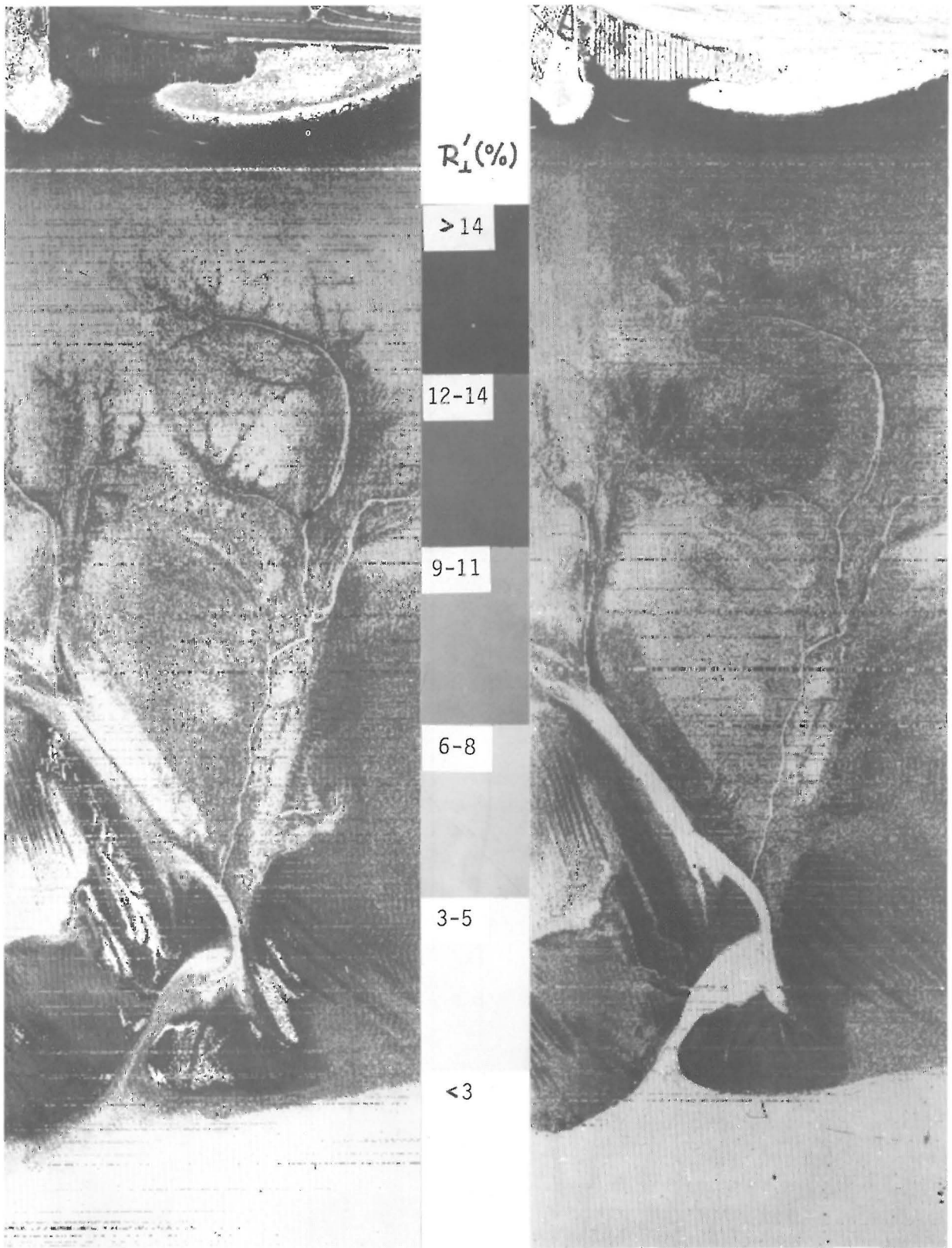


Abb. 5 Reflexionsfaktorenbilder in den Scannerkanälen 7 = 680 nm (links) und 9 = 810 nm (rechts). Der Graukeil in der Mitte zeigt die Werte des Reflexionsfaktors  $R_{\perp}$ .

KANAL M <sup>2</sup> S	OBERFLÄCHE	REFLEXIONSFAKTOR R' (SCANNERMESSUNGEN) ( % )	$\sigma$ ( % )	REFLEXIONSFAKTOR R (BODENMESSUNGEN) ( % )	DIFFERENZEN R' - R ( % )	BILDELEMENTE ZUR MITTELWERTBILDUNG
7	Schlickwatt	6.3	+ 0.8	7.4	- 1.1	3200
	Zostera	6.7	+ 1.4	8.3	- 1.6	4000
	Diatomeen	6.8	+ 1.3	8.8	- 2.0	2400
	Sandwatt	8.0	+ 0.8	6.9	+ 1.1	9800
	Wasser	3.4	+ 0.9	4.5	- 1.1	10200
9	Schlickwatt	8.7	+ 2.5	9.5	- 0.8	3200
	Zostera	14.7	+ 3.0	12.1	+ 2.6	4000
	Diatomeen	13.4	+ 4.0	11.4	+ 2.0	2400
	Sandwatt	11.2	+ 1.2	9.7	+ 1.5	9800
	Wasser	1.9	+ 1.6	1.0	+ 0.9	10200

Tab. 1 Gerichteter Reflexionsfaktor von verschiedenen Watt-Typen und Seewasser. Vergleich aus Scannermessungen (R') in den Kanälen 7 = 680 nm und 9 = 810 nm und Bodenmessungen (R).

Die rechte Spalte gibt die zur Mittelwertbildung herangezogenen Bildelemente je Oberfläche an, wobei im Nadir entspricht: 1 Bildelement = 2,25 m<sup>2</sup>.