6 Klassifikation

Wie eingangs erwähnt, dienen Reflektanzbilder dazu, einen automatischen multitemporalen Vergleich eines Luftbildes zu ermöglichen. Für diesen Vergleich werden zunächst (möglichst) alle Objekte bestimmten Oberflächenklassen zugeordnet. Eine Oberflächenklasse wird repräsentiert durch eine spektrale Reflektanz. Liegt ein Satz von Klassen vor, so kann jedes Bildelement (Pixel) der Klasse zugeordnet werden, dessen Reflektanzspektrum dem des Bildelementes am ähnlichsten ist. Dieses „Ähnlichkeit" wird in diesem Fall bestimmt durch die minimale euklidische Distanz des Bildelementes zum Klassenzentrum im spektralen Merkmalsraum (siehe [HEPP]).

Anhand einer Beispielszene der Überfliegung 1991 aus dem Industriegebiet der Stadt Nürnberg (Abb. 39) wurde eine unüberwachte Klassifikation durchgeführt. Diese unüberwachte Klassifikation bildet alle Bildelemente einer Szene in den spektralen Merkmalsraum ab, um anschließend aus den Zentren von Anhäufungen im Merkmalsraum eine vorher festgelegte Anzahl von Klassen zu bilden.

Diese so bestimmten Klassen wurden anschließend verwendet, um die Reflektanzbilder derselben Szene von 1992 und 1994 zu klassifizieren (sämtliche Bilder wurden ausschließlich mit dem Verfahren der Reflektanzbildberechnung mit Hilfe der Atmosphärenkorrektur durchgeführt). Abb. 40 bis Abb. 45 zeigen die Klassifikationen für 3, 5, 7, 9, 11 und 13 Klassen aus der unüberwachten Klassifikation. Alle Klassifikationsbilder wurden nach der Klassifikation mit einem Medianfilter mit der Fenstergröße von 3x3 Bildelementen bearbeitet.

Um die Güte der Reflektanzbildberechnungen zu überprüfen, wurde an zehn ausgewählten Punkten der Szene (Abb. 39) die Übereinstimmung der Klassifikation über die drei verschiedenen Jahre ausgezählt. Das Ergebnis zeigt Tabelle 9.

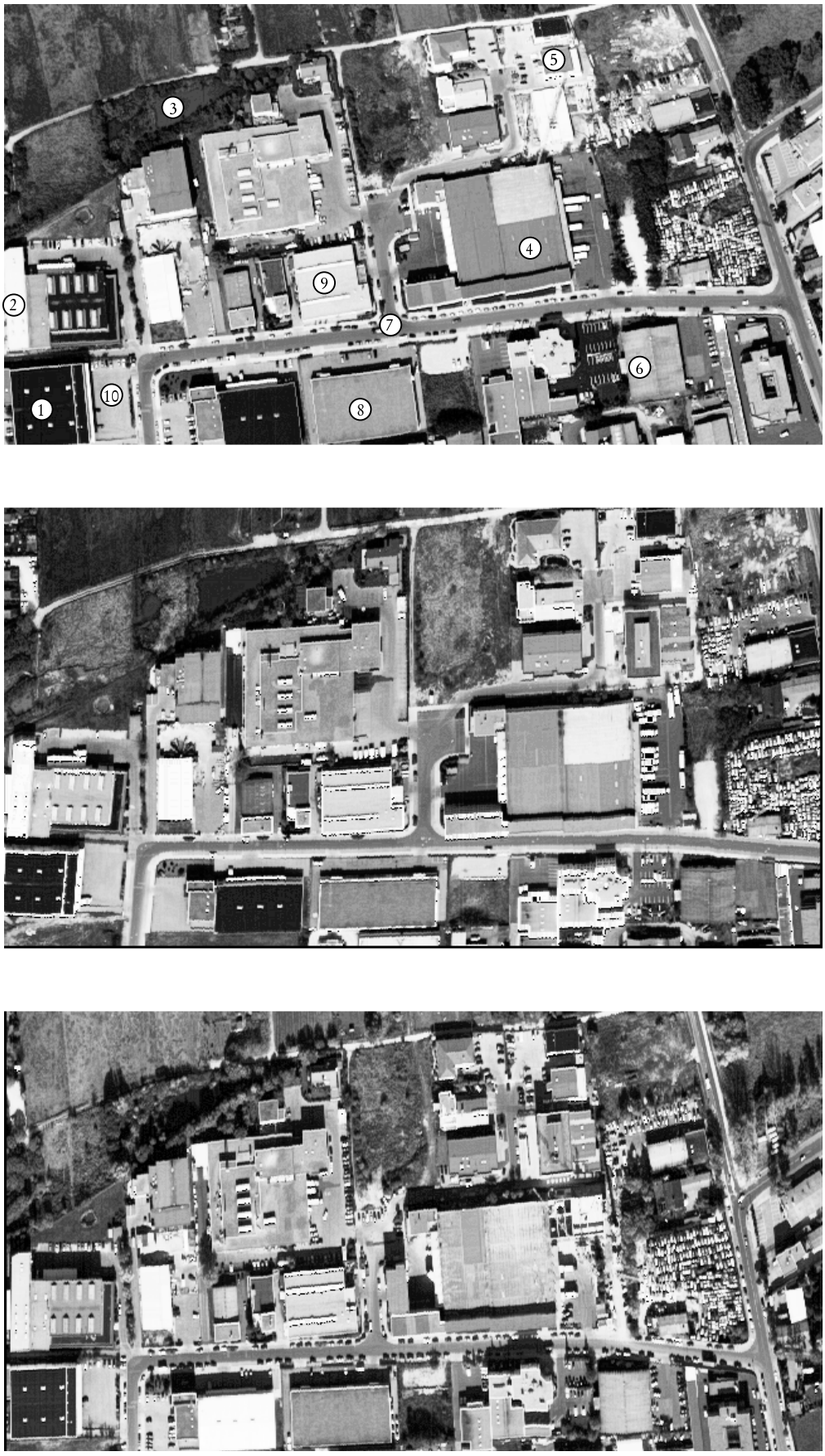

Abb. 39: Szene aus dem Industriegebiet Nürnberg 1991, 1992 und 1994 (v.o.n.u.) mit den Klassifikationstestpunkten im Bild 1991 (Kanal 3, kontrastverstärkt)

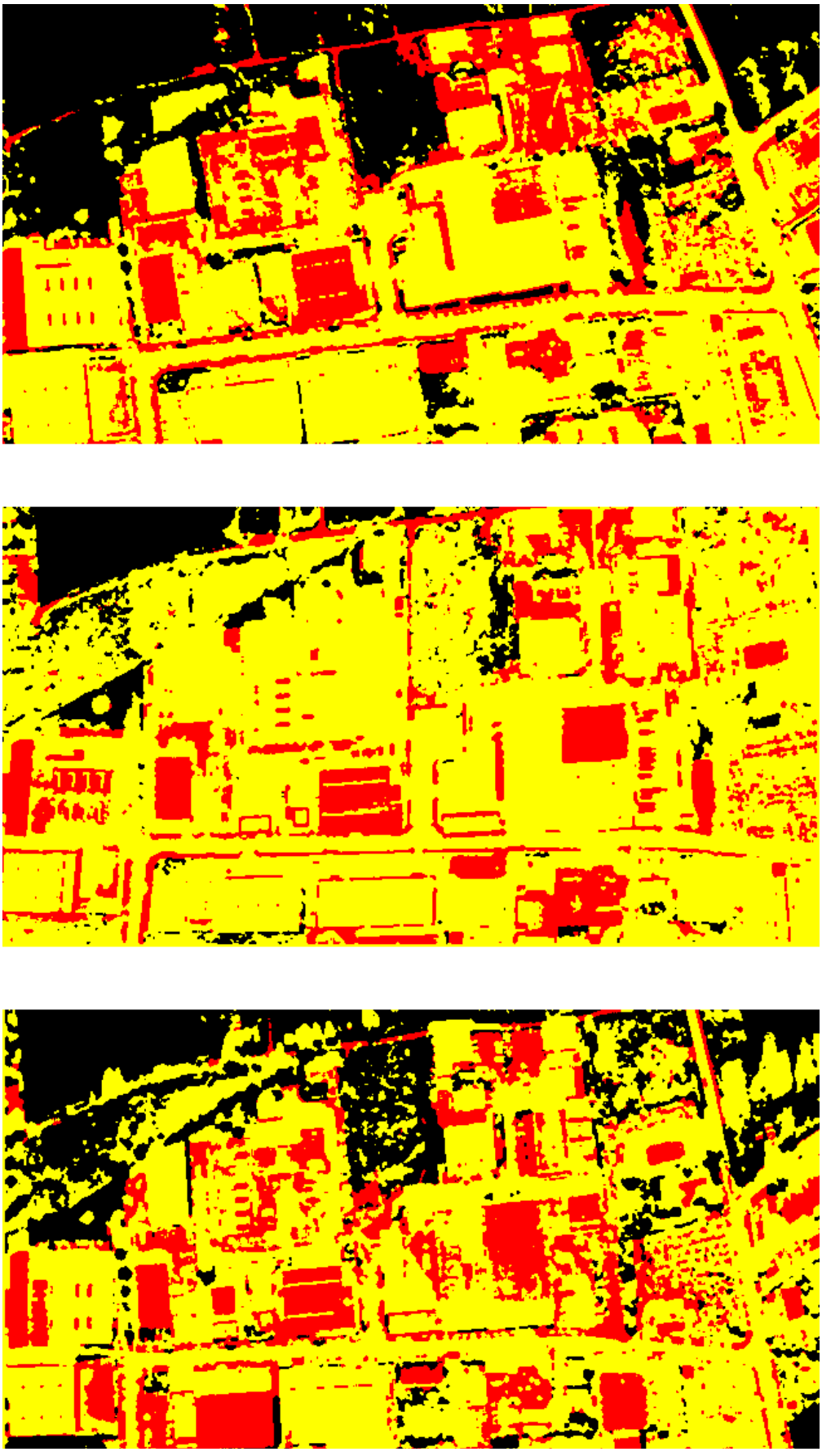

Abb. 40: Klassifikation mit 3 Klassen

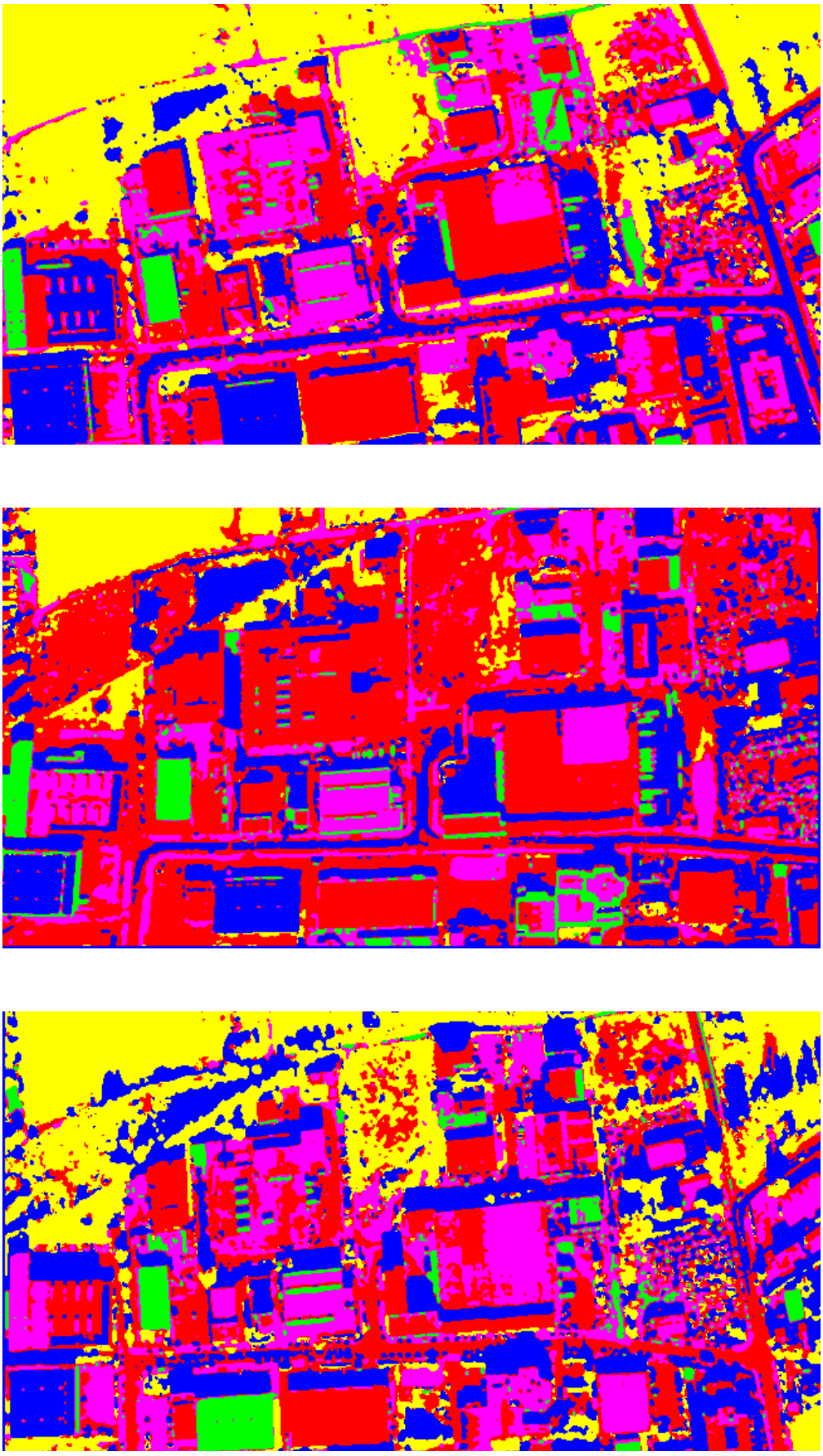

Abb. 41: Klassifikation mit 5 Klassen

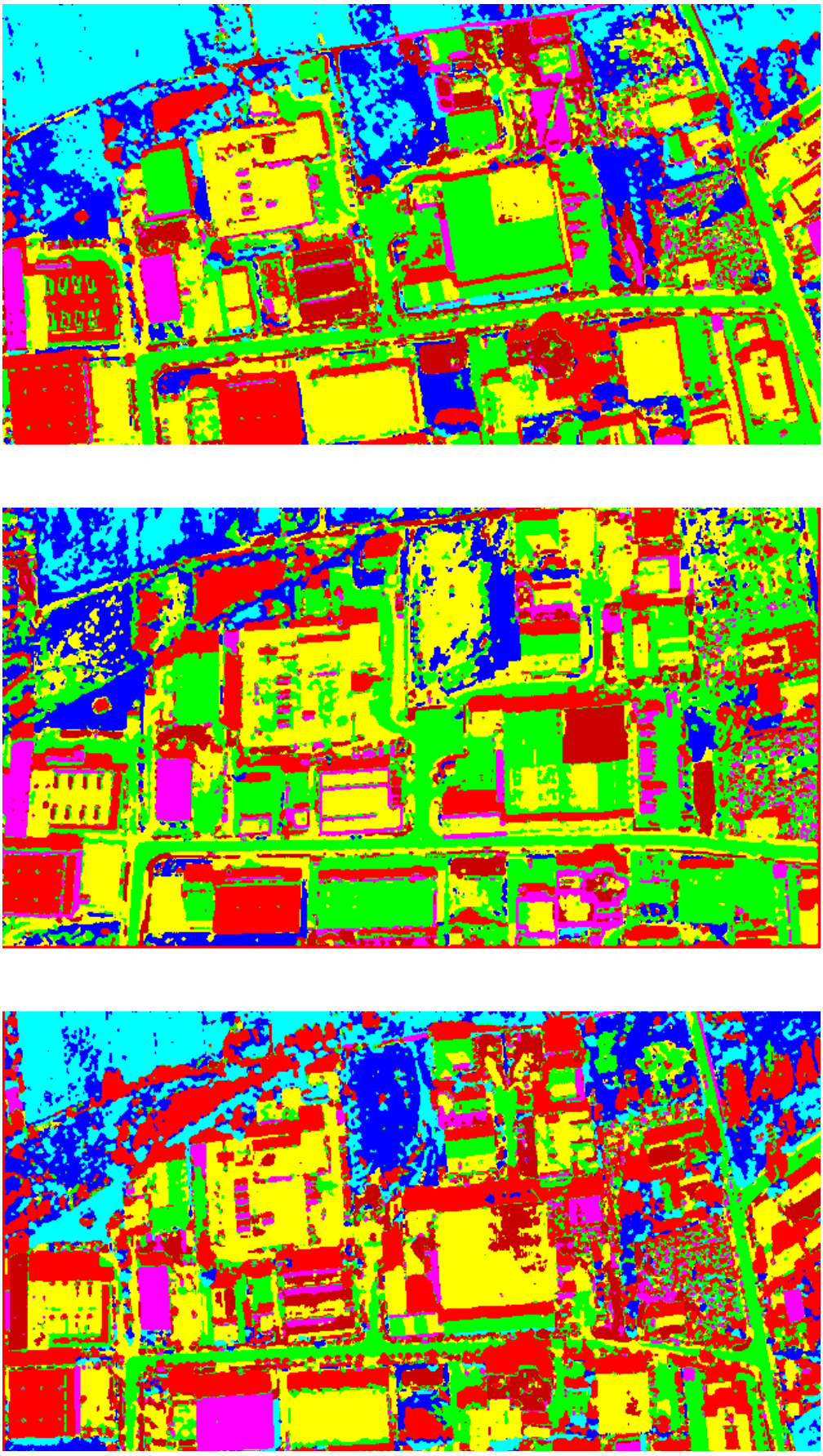

Abb. 42: Klassifikation mit 7 Klassen

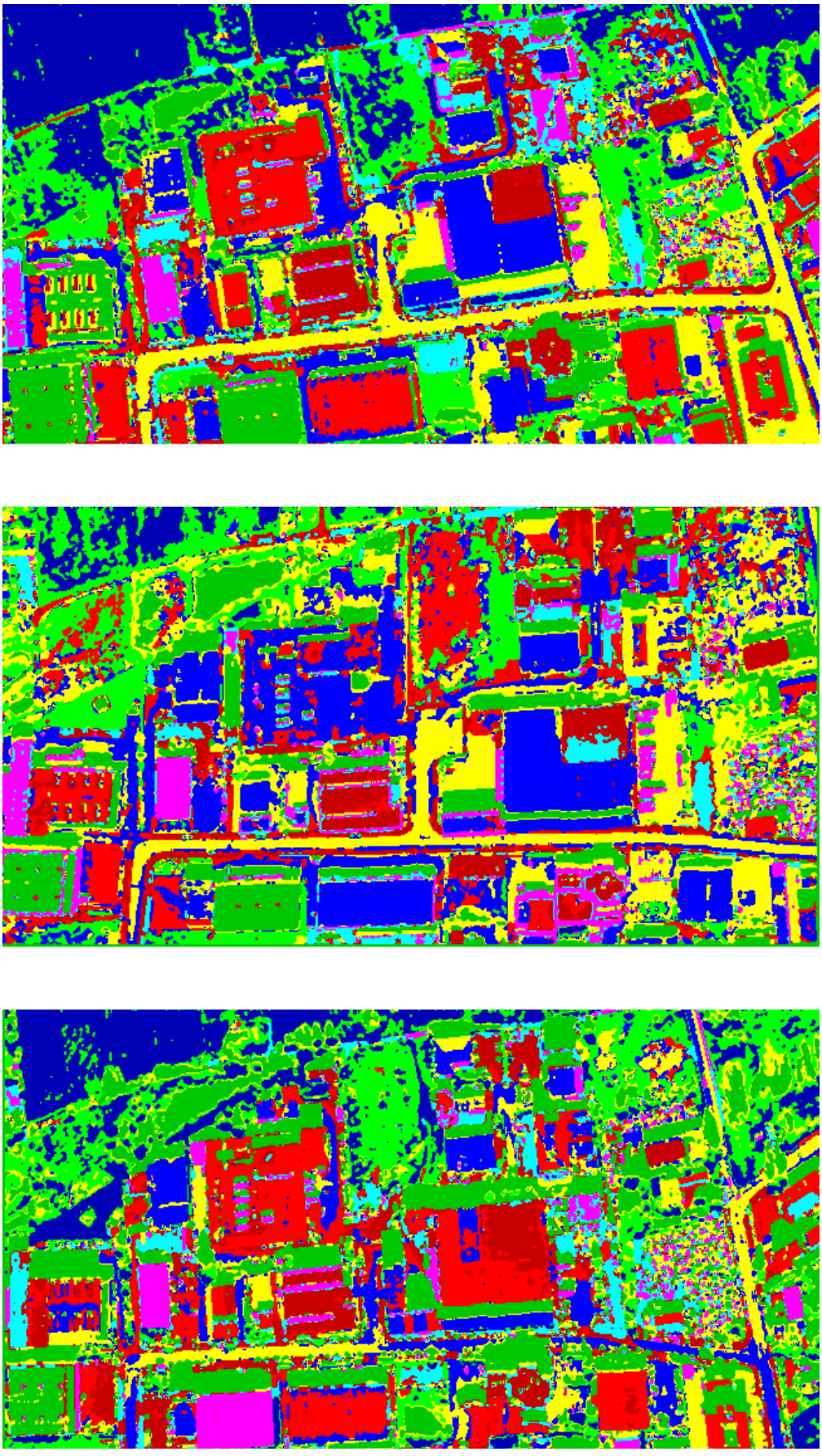

Abb. 43: Klassifikation mit 9 Klassen

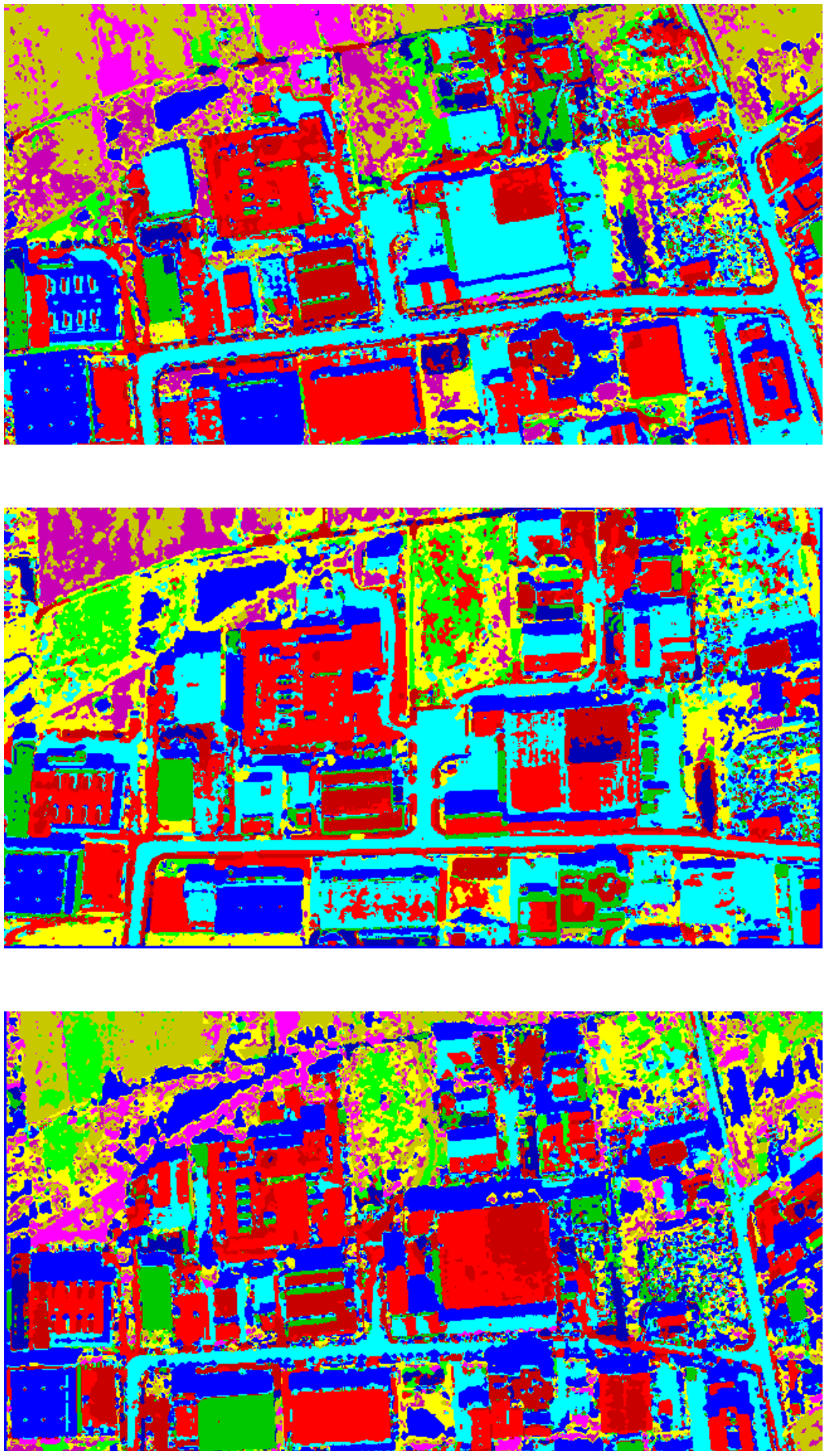

Abb. 44: Klassifikation mit 11 Klassen

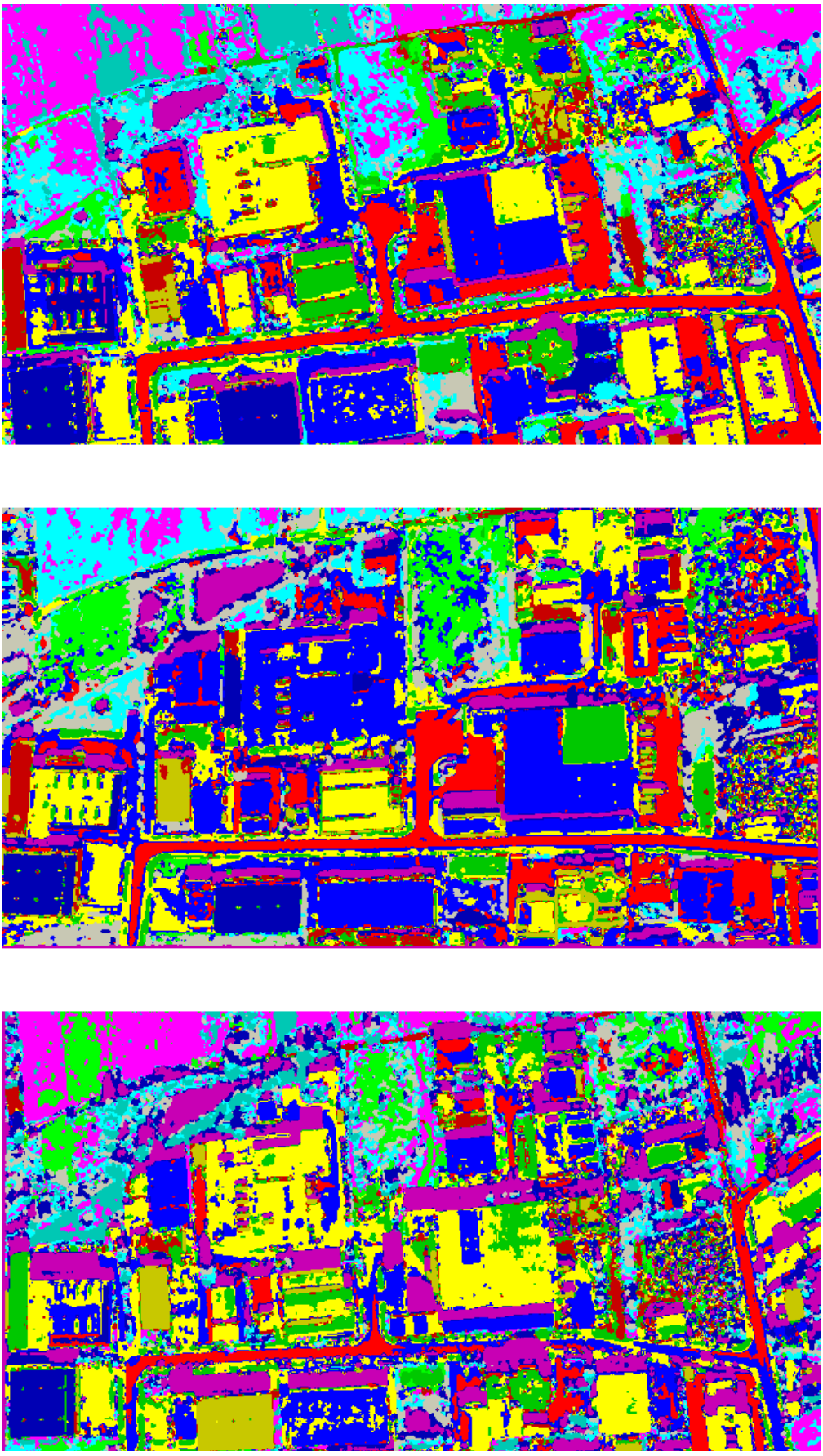

Abb. 45: Klassifikation mit 13 Klassen

Anzahl Klassen	1992												1994											
	Testpunkt												Testpunkt											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	in %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total	in %
3	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	9/9	100	x	x	x	o	x	-	x	x	x	o	7/9	78
5	x	x	x	x	x	-	o	x	x	-	7/8	88	x	o	x	o	x	-	o	x	x	-	5/8	63
7	x	x	x	o	-	o	x	o	o	x	5/9	56	x	o	x	o	-	x	x	x	o	x	6/9	67
9	x	x	x	x	x	o	x	o	x	x	8/10	80	x	o	x	o	x	x	o	x	x	o	6/10	60
11	x	x	x	o	x	o	x	o	x	x	7/10	70	x	o	x	o	o	o	x	x	x	o	5/10	50
13	x	x	x	x	x	o	x	x	o	x	8/10	80	x	o	x	o	x	x	x	x	o	x	7/10	70

x = Übereinstimmung, o = keine Übereinstimmung.
„Total“ entspricht dem Quotienten aus der Anzahl übereinstimmender Klassifizierungen zur Gesamtzahl der bewertbaren Testpunkte. Mit „-“ gekennzeichnete Punkte konnten nicht bewertet werden, da die Klassifikation im Ursprungsbild (1991) nicht eindeutig war.

Tabelle 9: Multitemporaler Vergleich der Klassifikation

Eine Bewertung dieser Ergebnisse ist sehr schwer, da keine direkte Abhängigkeit der multitemporalen Übereinstimmung der Klassifikationen mit der Anzahl der Klassen erkennbar ist. Zu vermuten wäre, daß mit steigender Anzahl der Klassen auch die Fehlklassifizierungen zunehmen würden. Bei einer großen Anzahl von Klassen, deren Zentren im Merkmalsraum unweigerlich näher zusammenliegen, ist die Wahrscheinlichkeit größer, ein Objekt einer falschen Klasse zuzuordnen, dessen Reflektanz von seinem Klassenzentrum ein wenig entfernt ist, als bei einer kleinen Klassenanzahl (Extremfall: eine Klasse). Dieser Trend kann aber nur bei sehr niedriger Klassenzahl (3 und 5) erkannt werden.

Auch die Trefferquote, die immer größer oder gleich 50% beträgt, ist etwas irreführend, denn die Auswahl der 10 Testpunkte ist so erfolgt, daß eine visuelle Überprüfung leicht fällt (große Flächen, eindeutige Klassifikation). Es ist ebenso möglich, 10 Testpunkte zu finden, bei denen die Übereinstimmung wesentlich schlechter ausfällt. Eine automatisierte Auswertung ist wegen der fehlenden geometrischen Deckung der Bilder nicht möglich.

Natürlich sind auch die Anzahl der Testpunkte und die Auswahl der Szene Faktoren, die das Ergebnis entscheidend beeinflussen, so daß alles in allem dieser Vergleich der Klassifikationen nur als erster Versuch für den noch bevorstehenden Weg zur automatisierten Klassifikation und „change-detection“ zu bewerten ist.

7 Diskussion und Ausblick

Der Versuch, die aus den Daedalus-Messungen berechneten Reflektanzbilder auf ihre Richtigkeit mit Hilfe von Bodenreflektanzmessungen zu untersuchen, erscheint im ersten Moment als die einfachste und deutlichste Methode, die Meßergebnisse eines Sensors zu überprüfen.

Es stellte sich jedoch heraus, daß nicht nur der Weg zur Herstellung der Reflektanzbilder mit etlichen bekannten und unbekannten Fehlern behaftet ist, sondern auch die Bodenreflektanzmessungen mit dem IRIS-Spektroradiometer Fehler aufweisen, die z.T. noch einer Erklärung bedürfen. Die einzig bleibende Möglichkeit besteht in der Abschätzung, welcher der beiden Gesamtfehler der kleinere ist, um dann die Meßprozedur mit dem kleineren Fehler als Eichmaß für die Kalibrierung auszuwählen.

Diese Entscheidung fiel zugunsten des IRIS-Spektroradiometers aus, weil

- der Algorithmus zur Bestimmung der Daedalus-Reflektanzbilder sehr viel mehr, mit einzelnen Fehlern behaftete, sich fortpflanzende Schritte beinhaltet, als es beim IRIS der Fall ist,
- der Fehler, der durch die Berechnungen mit SENSAT–5 entsteht, nicht analytisch bestimmt werden kann,
- der Vergleich mit Messungen aus den Vorjahren 1991 und 1992 einer bessere Übereinstimmung mit den IRIS-Reflektanzwerten ergab, als mit denen des Daedalus von 1994,
- der Meßvorgang mit dem IRIS eine direkte Messung von Reflektanzwerten darstellt, und nicht, wie beim Daedalus, der Umweg über eine absolute Strahldichtekalibrierung gegangen wurde,
- bei der IRIS-Messung keine Winkelabhängigkeiten auftreten, da immer senkrecht zur Oberfläche gemessen wird. Beim Daedalus sind die gerätespezifischen Abhängigkeiten vom Scanwinkel zudem noch nicht eingehend untersucht worden.

Die Korrektur der Daedalus-Kalibrierung ließ sich auf eine lineare Transformation zurückführen, die für jeden Daedalus-Kanal aus einem Faktor und einem Summanden zusammensetzte. Aus der Tatsache, daß der Summand in allen Kanälen nahezu null war, läßt sich schließen, daß das Strahlungstransport-Simulationsprogramm SENSAT–5 das in den Daedalus-Sensor fallende Luftlicht (durch Streuung in der Atmosphäre) sehr gut berechnen kann.

Vor dem Hintergrund der o.a. Überlegungen stellt sich unweigerlich die Frage, ob zu jeder Messung mit dem Daedalus-Scanner begleitende Bodenreflektanzmessungen zu Kalibrierungszwecken durchgeführt werden sollten. Nach dem heutigen Stand der Arbeit ist dies eindeutig zu bejahen. Abgesehen aber davon, daß dies wahrscheinlich nur in den wenigsten Fällen möglich sein dürfte (Messungen in sehr unwegsamem Gelände, keine großen homogenen Flächen in natürlichem Gelände, weit vom Stützpunkt entfernt oder über sehr große Strecken), bleibt für die Zukunft natürlich auch das Bestreben, die Fehlerursache bei der Bestimmung der Reflektanzbilder genauer zu studieren und zu erkennen, um so die Möglichkeit zu schaffen, auch eine zuverlässigere Kalibrierung durchführen zu können.

Um diese Ergebnisse zu untermauern, sollte die Untersuchung dieser Arbeit noch einmal auf dieselbe Weise durchgeführt werden. Dazu können Daten aus Messungen verwendet werden, die im Juli 1995 durchgeführt wurden. Ergänzend hierzu wäre es noch denkbar, mit diesen, bis hierher gemachten Erfahrungen, weitere Versuche zu unternehmen, für die einige Anregungen folgen.

- Zur Kalibration mit den Bodenreflektanzmessungen sollten mehr Meßorte mit einer größeren Spektrenvielfalt herangezogen werden. Bei der Auswahl ist außerdem darauf zu achten, daß es sich um künstliche, kurz- und langzeitlich unveränderliche Oberflächen handelt.
- Die Überprüfung des IRIS-Spektroradiometers könnte mit Hilfe eines weiteren hochauflösenden Radiometer erfolgen, um gleichzeitig mit dem IRIS von denselben Oberflächen Messungen durchzuführen. Diesbezüglich sind schon Untersuchungen von der DLR begonnen worden.
- Es sollte versucht werden, auch für die, mit dem Zielflächenkanal des IRIS aufgenommen Spektren eine Kalibrierung auf absoluten Strahldichten vorzunehmen, um ermitteln zu können, wie groß der Fehler bei der SENSAT-Berechnung ist. Es könnte damit nicht nur ein Vergleich der Reflektanzwerte, sondern auch der Strahldichtemessungen durchgeführt werden.
- Denkbar wäre, großflächig (einige Quadratmeter) künstliche Oberflächen zu schaffen, deren Reflektanz bekannt ist. So könnten z.B. große Kunststoffplanen mit verschiedener Farbe ausgebreitet werden, die anschließend sowohl mit dem IRIS, als auch mit dem Daedalus gemessen werden können. Vielleicht wäre diese Methode sogar geeignet, den Daedalus-Scanner unmittelbar vor einer Messung (nach dem Start) mit solchen Referenzflächen zu kalibrieren, ohne Zuhilfenahme von Bodenmessungen [HAUSKNECHT 1995].

Der Weg zur eindeutigen Klärung der Ursache der fehlerhaften Daedalus-Kalibrierung ist noch weit. Trotzdem sollte dieser Weg im Hinblick auf die Möglichkeit der Kalibrierung eines Daedalus-Luftbildscanners ohne zusätzliche Bodenmessungen unbedingt beschritten werden, da nur so eine automatisierte multitemporale Bildauswertung möglich erscheint. Eine Verifikation von Abrüstung über fremdem Terrain aus der Luft sollte aus praktischen Gründen nach Möglichkeit **ohne** Bodenmessungen auskommen.

Anhang – Programmbeschreibungen

Die Programmiersprache IDL

IDL (Interactive Data Language) ist eine interaktive Programmiersprache, die über einen Interpreter leistungsfähige Werkzeuge zur Verarbeitung von größeren Datenmengen zur Verfügung stellt. So ist es u.a. möglich, auf einfache Weise Berechnungen mit großen Arrays (Datenfeldern wie Bilder, Matrizen etc.) durchzuführen. Außerdem lassen sich mit IDL komfortabel viele Datenstrukturen in Form von Graphen, Plots oder Bildern visualisieren. Daher bietet sich IDL zur Be– und Verarbeitung sowohl der IRIS– als auch der Daedalus–Meßdaten an.

daedalus2tiff

„daedalus2tiff“ wird zur Datenkonvertierung von dem Daedalus-eigenen Datenformat in das „TIFF“-Format umgewandelt. Der Aufruf dieses Programmes lautet (die Parameter in eckigen Klammer sind optional):

```
daedalus2tiff -i dfile [-o TIFFfile]
```

Dabei bedeuten die Parameter:

`dfile`	Daedalus-Original-Datei.
`TIFFfile`	Zu erzeugenden TIFF-Datei (Wird dieser Parameter nicht angegeben, so wird der Dateiname `dfile` mit der Endung „.tif“ erzeugt).

Die erzeugte TIFF-Datei enthält 12 einzelne Bilder (für jeden Kanal eines, der thermische Kanal ist doppelt vorhanden), in denen die Grauwerte der Scanneraufnahmen gespeichert sind.

SENSAT–5

Von der Oberfläche „SENSAT5.PRO“ des Programmes SENSAT-5, die unter IDL lauffähig ist, wurde eine Kopie namens „DAEDALUS.PRO“ so abgeändert, daß einige Eingaben bei der Erzeugung eines Parametersatzes automatisch mit Werten belegt werden, die für den Scanner Daedalus AADS 1268 (für die Messung 1994) zutreffen. Der grobe Programmablauf zur Berechnung der nötigen ATM-Dateien ist:

1. Auswahl des Datei-Namens des Parametersatzes (case).
2. Start der Einrichtung eines Parametersatzes mit „SET UP NEW CASE“ (Abb. 47).
3. Auswahl der Apparatefunktion des betroffenen Daedalus-Kanals.
4. Angabe der Datei mit dem Standard-Radiosondenprofil (Tabelle 10).
5. Eingabe der Atmosphären- und Versuchsparameter (Abb. 46 und Tabelle 6).
6. Über „MODIFY EXISTING CASE“ (Abb. 47) und „save as (new file)“ (Abb. 48) alle weiteren Parametersätze für die anderen Daedalus-Kanäle erzeugen.
7. Start der Berechnungen mit „RUN EXISTING CASE“ (Abb. 47) für jeden Kanal getrennt.

Wichtig ist, nach Beendigung von Schritt 5, die Berechnung (MODTRAN, SENSAT–5) für diesen neu erfaßten Parametersatz zu starten. Dieser Vorgang kann dann sofort abgebrochen werden. Erfolgt dieser Start nicht, so werden die eingegebenen Parameter nicht gespeichert.

Die so erzeugten 10 ATM-Dateien tragen den selben Dateinamen wie der zugehörige Parametersatz, nur mit der Endung „.atm“.

19 0 0 NUERNBERG, 18. OKT. 1994 (DAEDALUS) VIS = 30 KM					
0.00	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
0.10	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
0.20	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
0.30	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
1.00	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
. .	. .	. .	. .	. .	. .
50.00	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222
70.00	0.0	0.0	0.0	0.	0.22222222222222

Tabelle 10: Standard-Radiosondenprofil-Datei (standard.prf)

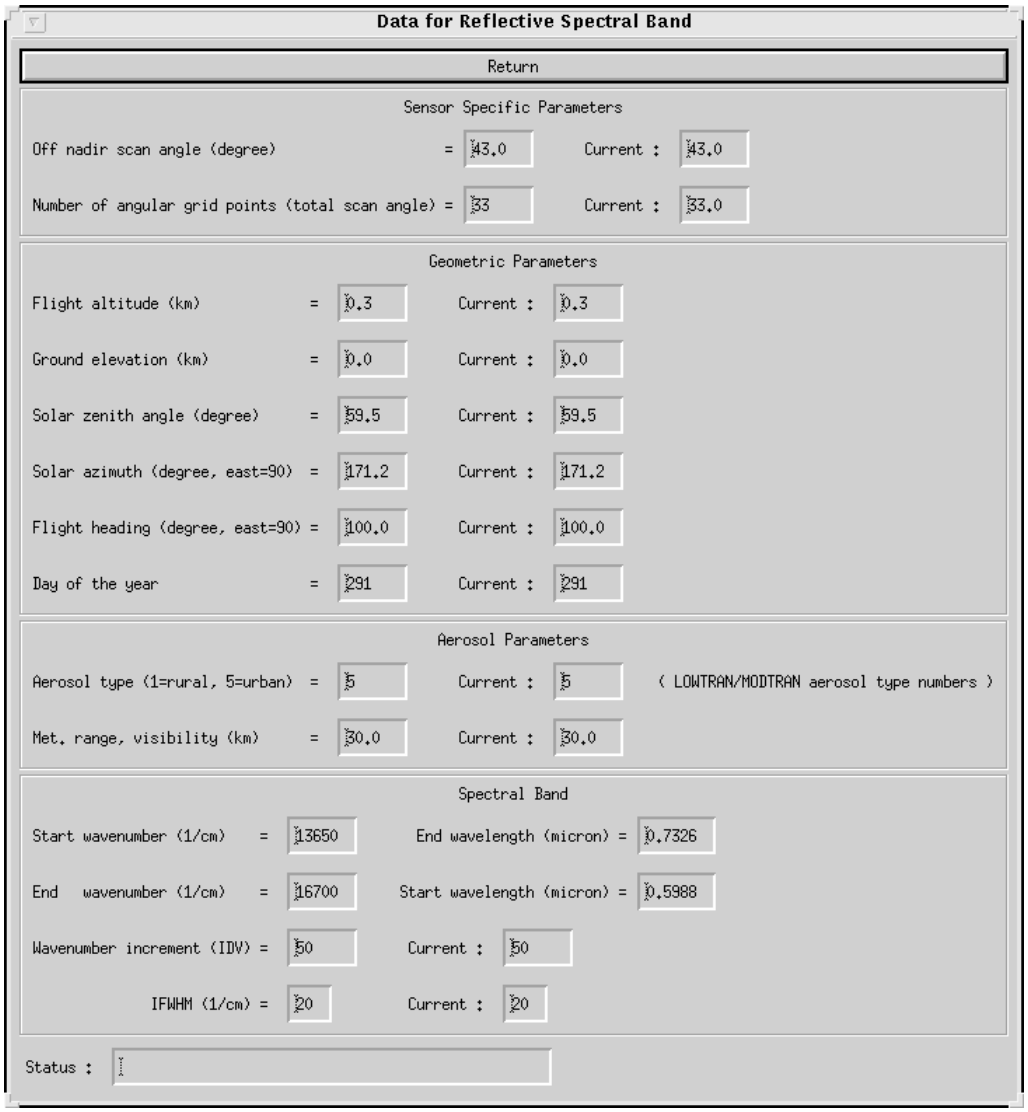

Abb. 46: Eingabemaske eines neuen Parametersatzes in SENSAT5

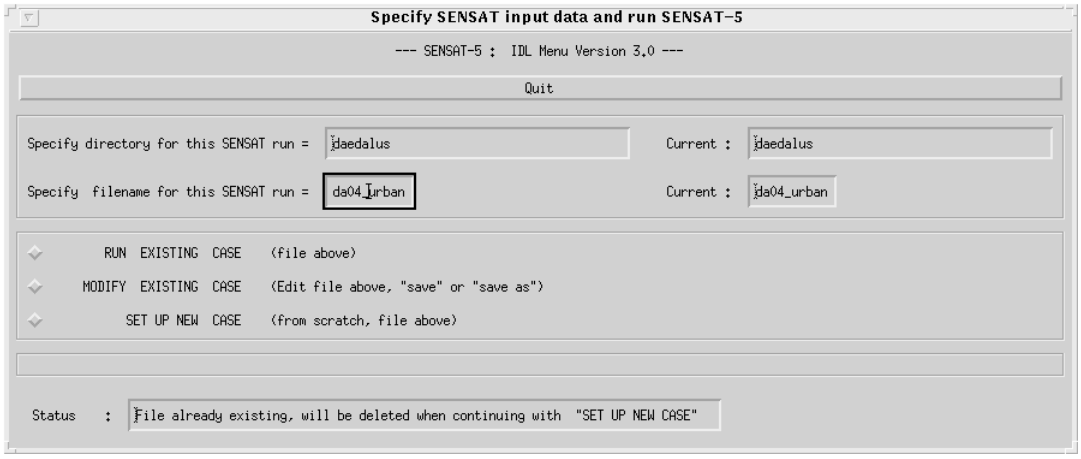

Abb. 47: Graphische Benutzeroberfläche von SENSAT5

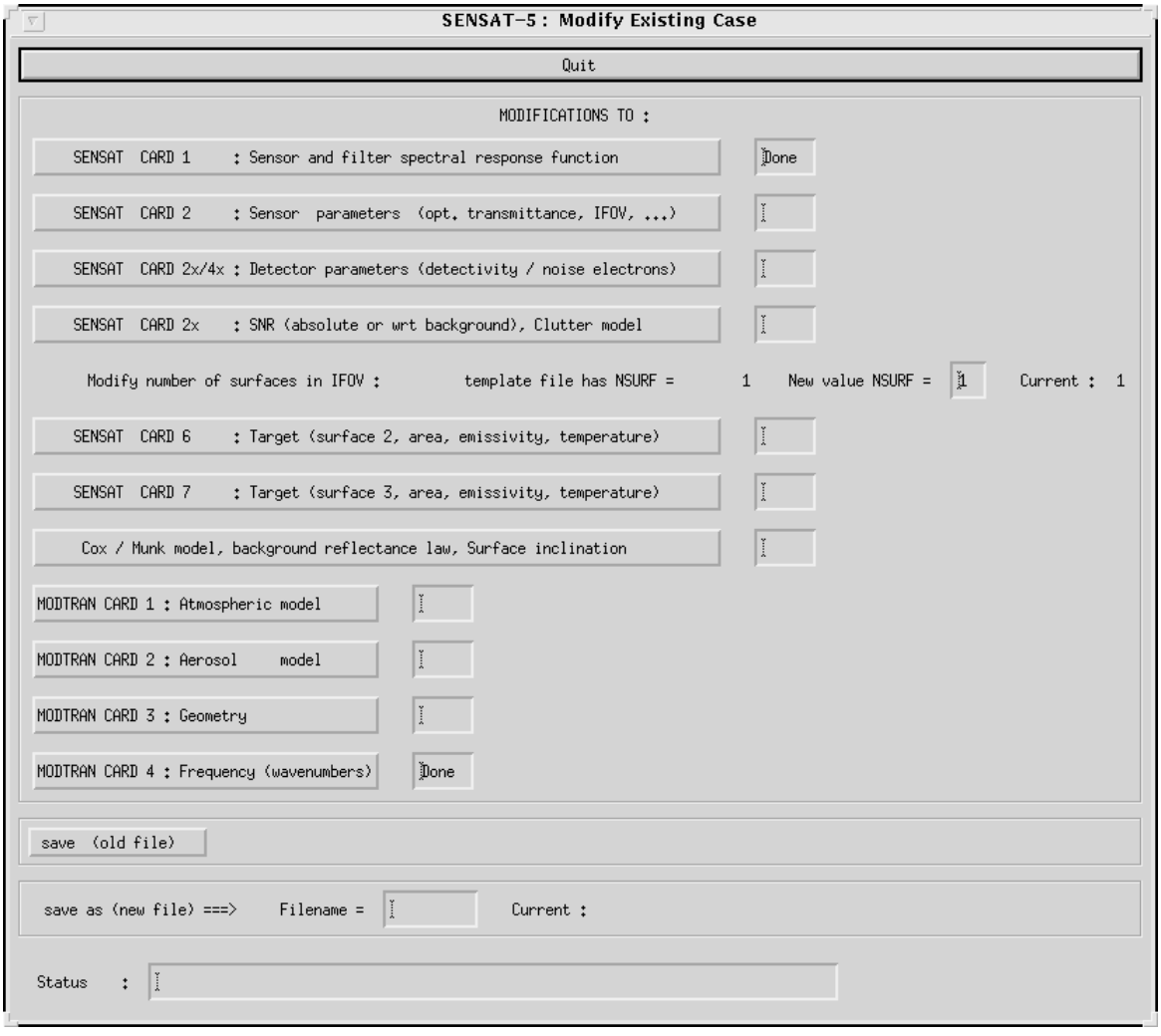

Abb. 48: Maske zum Ändern eines Parametersatzes

ref_image

Das Programm „ref_image“ verwendet die Ergebnisse des Programmes SENSAT–5, daedalus2tiff und evtl. auch Korrekturfaktoren, die sich durch die Kalibrierung mit den Bodenmessungen ergeben (siehe 5.1.3). Der Aufruf erfolgt mit (die Parameter in eckigen Klammern sind optional):

```
ref_image -i itfile -o otfile -a atmfile [-r] [-c cfile]
```

Dabei bedeuten die Parameter:

`itfile`	Daedalus-Grauwert-Eingabedatei im TIFF-Format.
`otfile`	Reflektanzwert-Ausgabedatei im TIFF-Format. Der Dateiname erhält zusätzlich automatisch die Endung „-cor“.
`atmfile`	ATM-Dateien. Die Dateien für die 10 Daedalus-Kanäle müssen alle einen Dateinamen besitzen, der sich nur in der letzten Ziffer unterscheidet, z.B. `da1994.atm0, da1994.atm1, ..., da1994.atm9`. Als Dateiname würde hier dann `da1994.atm angegeben.`
`cfile`	Diese Datei muß (wenn angegeben) die Korrekturfaktoren zur Kalibrierungskorrektur (siehe z.B. Tabelle 8) beinhalten

Die Option `-r` (reverse) muß angegeben werden, wenn sich die Flugrichtung des zu berechnenden Bildes um 180° von der Richtung unterscheidet, die bei der Berechnung der ATM-Dateien im SENSAT–5-Parametersatz angegeben wurde.

Die erzeugte TIFF-Datei enthält 12 einzelne Bilder (für jeden Kanal eines), in denen die berechneten Reflektanzwerte gespeichert sind.

adjacen

Der Berechnung des Überstrahlungseffektes (siehe 4.2.5) und die damit verbundenen notwendige Korrekturen der Reflektanzbilder wird mit dem folgenden Programmaufruf durchgeführt :

```
adjacen -i itfile -o otfile -a atmfile
```

Dabei bedeuten die Parameter:

`itfile`	Reflektanzwert-Eingabedatei im TIFF-Format.
`otfile`	Reflektanzwert-Ausgabedatei im TIFF-Format. Der Dateiname erhält zusätzlich automatisch die Endung „-adj“.
`atmfile`	ATM-Dateien. Beschreibung siehe Programm `ref_image`.

IDL–Hilfsroutinen

Es seien hier noch einige kurze Hilfsprogramme aufgeführt, die Routinearbeiten zu erledigen hatten (alle mit Dateiendung „.PRO“):

- Für die Abbildungen:
  ALLPLOTS PLOT919294 VERGL919294 DAED_IRIS
  PLOTCALIB SPLOT SPECAVE
- Für SENSAT5:
  MAKEATM

- IRIS-Berechungen:
  TODAED NURDAED MAKE_A
  GENERATE_ALLMP
- Daedalus-Berechnungen:
  AUTO_REF AUTO_OVERVIEW CPZ (clippolyzoom)

Danksagung

Prof. Dr. H. Spitzer und Prof. Dr. J. Bienlein ermöglichten diese Arbeit. Ich danke ihnen dafür und für viele wertvolle Anregungen und konstruktive Kritik.

Für die laufende Betreuung danke ich besonders Herrn Dr. Martin Kollewe und Herrn Rafael Wiemker, die durch anregende Diskussionen und hilfreiche Unterstützung zur Erstellung dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben.

Für die Durchführung der Messungen und für die Erläuterungen der Bedienung und Funktionsweise der Meßgeräte, sowie für die ausführlichen Informationen zur Auswertung der Meßwerte möchte ich mich bei Herrn P. Hausknecht bedanken.

Dank auch an Herrn V. Amann für diverse Auskünfte über die Flugzeugscanneraufnahmen.

Schließlich bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern der Gruppe KOGS der Informatik der Universität Hamburg für ihre Unterstützung in allen Computerfragen.

Literaturverzeichnis

[AMANN 1994], Volker, DLR Oberpfaffenhofen
Private Mitteilung

[BAKAN 1988], Stephan & Graßl, Hartmut
„Strahlungsübertragung in der Atmosphäre“, Skript zur Vorlesung WS 1988/89, Universität Hamburg

[CENSIS 1995]
Zweijahresbericht 1993/1994 der Arbeitsgruppe Naturwissenschaft und Internationale Sicherheit in der Universität Hamburg. CENSIS-Report-14-95

[DAEDALUS 1990], Enterprises, Inc.
„Technical proposal DS-1268/DS-1861 packages“, 1990, Michigan

[GRAßL 1989], Hartmut & Schlüssel, Peter
„Einführung in die Meteorologie I“, Skript zur Vorlesung SS 1989, Universität Hamburg

[HAUSKNECHT 1994], Peter
„Reflexionsspektroskopische Laboruntersuchungen an Mineralien und Gesteinen“, Diplomarbeit, DLR, 1994, Ludwig-Maximilians-Universität München

[HAUSKNECHT 1995], Peter, DLR Oberpfaffenhofen
Private Mitteilung

[HEPP 1994], Thomas
„Erzeugung multispektraler Reflektanzbilder zur automatisierten Bildauswertung“, Diplomarbeit, CENSIS-REPORT-10-94, 1994, Universität Hamburg

[IRIS], Mark IV
Systembeschreibung des Spektroradiometers IRIS - Mark IV
Fa. GER, USA

[KOLLEWE 1993], Martin
„Fernerkundung von Wolken mit der Sauerstoff Absorptionsbande im nahen Infrarot“
Universität Hamburg 1993

[LILJEQUIST 1984], Gösta H. & Cehak, Konrad
„Allgemeine Meteorologie“, 3. Auflage 1984, S. 8–27, S. 47–48

[MCCLATCHEY 1972], R. A., W. Fenn, J. E. A. Selby, F. E. Volz, J. S. Garing
„Optical Properties of the Atmosphere“, AFCRL Envirn. Papers 411

[POHL], Martin und Eriksdotta, Holger
„Die wunderbare Welt der Graphikformate“, Wolframs Fachverlag 1991

[RICHTER 1994], Rudolf
„Model SENSAT–5 Sensor-Atmosphere-Target“, DLR – IB 552-01/94, 1994, DLR-Institute for Optoelectronics, Weßling/München

[STRATHMANN 1990], F. W.
„Taschenbuch zur Fernerkundung“, Wichmann-Verlag, Karlsruhe 1990

[WERNER 1990], K. & Lehmann, F.
„Development and testing of new techniques for mineral exploration based on remote sensing image processing methods and multivariate analysis“, 1990, DLR-Institute for Optoelectronics, Weßling/München

Erklärung

Ich versichere, daß ich diese Arbeit selbständig und nur unter Zuhilfenahme der angegebenen Quellen angefertigt habe.

_____

(Thomas Kollewe)