

**Landnutzungsklassifikation im geplanten
Nationalpark Kalkalpen (OÖ) als Anwendungsbeispiel
für den Einsatz von Fernerkundung und
Geographischen Informationssystemen
in Raumplanung und Landschaftsökologie**

Diplomarbeit
zur Erlangung des Magistergrades
an der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Salzburg

eingereicht von

THOMAS BLASCHKE

Salzburg, Januar 1992

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	S. 5
2. Stand der Fernerkundung und Anwendung von Satellitendaten	S. 8
2.1. Entwicklung der Fernerkundung	S. 8
2.2. Stand der Erdbeobachtungssatelliten	S.10
2.2.1. Landsat	S.10
2.2.2. SPOT	S.13
2.2.3. Weitere Aufnahmesysteme	S.15
2.3. Anwendungen im Überblick	S.16
2.4. Gegenwärtige und zukünftige Anwendungen der Fernerkundung in Raum- und Landesplanung (Überblick)	S.21
3. Fernerkundung und GIS	S.24
4. Der geplante Nationalpark Kalkalpen	S.32
4.1. Nationalparkkriterien und Schwierigkeiten der Realisierung	S.32
4.2. Räumliche Gliederung und mögliche Zoneneinteilung	S.34
4.3. GIS und Nationalpark	S.39
5. Methoden der Digitalen Bildverarbeitung in Hinblick auf die Studie Nationalpark Kalkalpen	S.42
5.1. Warum digitale Bildverarbeitung?	S.44
5.2. Methoden der digitalen Bildverarbeitung	S.44
5.2.1. Rektifizierung und atmosphärische Korrektur	S.43
5.2.2. Bildverbesserung	S.45
5.2.3. Kombination von Kanälen	S.48
5.2.4. RGB- und IHS-Darstellung	S.49
5.3. Klassifikationsverfahren	S.52
5.3.1. Was ist eine Klassifikation?	S.52
5.3.2. Unüberwachte Klassifikation	S.55
5.3.3. Überwachte Klassifikation	S.55
5.3.4. Wahl des Klassifikationsverfahrens	S.56
5.4. Verwendete Hard- und Software	S.57
5.5. Der Projektablauf	S.58
6. Anwendbarkeitsstudie von Verfahren der Bildverarbeitung und Klassifikation für zwei Beispielsgebiete	S.60
6.1. Aufgabenstellung	S.60
6.2. Datengrundlage	S.61
6.3. Aufbereitung der Daten	S.63
6.4. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5329 (Windischgarsten)	S.65

6.4.1. Unüberwachte Klassifikation	S.67
6.4.2. Überwachte Klassifikation	S.70
6.4.3. Unüberwachte Klassifikation Spot-Daten und Orthophoto	S.72
6.4.4. Überwachte Klassifikation Spot-Daten und Orthophoto	S.75
6.4.5. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Orthophoto und SPOT	S.76
6.5. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5330 (Sengsengebirge)	S.78
6.5.1. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Originalkanälen	S.79
6.5.2. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P	S.81
6.5.3. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Ratiokanälen	S.83
6.6. Nachbearbeitungsschritte	S.85
6.7. Verifizierung im Gelände	S.86
6.8. Genauigkeitsabschätzung durch Kontrolldaten	S.87
6.9. Bewertung und Einsatzmöglichkeiten der durchgeführten Klassifikationsverfahren in Hinblick auf die flächendeckende Landnutzungsklassifikation	S.88
7. Landnutzungsklassifikation im NP Kalkalpen (OÖ)	S.91
7.1. Abgrenzung des Gebietes	S.91
7.2. Ausgangsdaten (Datenlage)	S.92
7.3. Konkretisierung der Klassifikationsziele aufgrund der Detailstudien	S.95
7.4. Durchführung der Klassifikation	S.96
7.5. Diskussion der Klassifikationsergebnisse und Abschätzung der Genauigkeit	S.97
7.6. Graphische Präsentation der Ergebnisse und Einbindung in GIS	S.98
8. Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf den Einsatz von Fernerkundung und GIS in Raumplanung und Ökologie	S.99
9. Schlußbemerkung und Ausblick	S.102
Literaturverzeichnis	S.106
Kartenanhang	S.114

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1.: Vom Objekt zur Karte	S. 8
Abb. 2.2.: Kenngrößen der wichtigsten Fernerkundungssysteme	S.10
Abb. 2.3.: Landsat 1 - 3 Konfiguration und Flugmuster	S.11
Abb. 2.4.: Umlaufbahn und Flugmuster von Landsat 4 und 5	S.12
Abb. 2.5.: Erkennbarkeit von Linienstrukturen	S.12
Abb. 2.6.: SPOT-Aufnahmegeometrie	S.14
Abb. 2.7.: Photographische Systeme zur Satellitenfernerkundung	S.15
Abb. 3.1.: Das Schichtenkonzept eines GIS	S.24

Abb. 3.2.: Das Prinzip des Rasterdatenmodells	S.26
Abb. 3.3.: Elemente des Vektorenmodells	S.26
Abb. 3.4.: Konvertierung der Datenformate	S.27
Abb. 3.5.: Kombination von Satellitendaten mit Daten nach dem länderkundlichen Schema	S.30
Abb. 4.1.: Der geplante Nationalpark Kalkalpen mit der angestrebten Zoneneinteilung	S.33
Abb. 4.2.: Die Landschaft des Reichraminger Hintergebirges	S.37
Abb. 4.3.: Das NPK-GIAS	S.41
Abb. 5.1.: Gleitende Mittelwertbildung bei der Abtastung	S.43
Abb. 5.2.: Entstehung von Mischpixeln	S.43
Abb. 5.3.: Prinzip der Kontrastdehnung	S.46
Abb. 5.4.: Beispiele von Filtermatrizen	S.47
Abb. 5.5.: Ratiobildung	S.49
Abb. 5.6.: Das RGB-Farbsystem	S.51
Abb. 5.7.: Das IHS-Farbsystem	S.52
Abb. 5.8.: Das maximum likelihood - Verfahren	S.55
Abb. 5.9.: Verwendete Programme im Bildverarbeitungssystem ERDAS	S.58
Abb. 5.10.: Übersicht des Gesamtprojektablaufs	S.59
Abb. 6.1.: Die Lage der Beispielsgebiete (Blatt 5329, Windischgarsten und Blatt 5330, Sengsengebirge)	S.60
Abb. 6.2.: Die Geometrie eines Orthophotos	S.62
Abb. 6.3.: Vorgangsweise der verbesserten IHS-Transformation	
Abb. 6.4.: Landsat SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte	S.65
Abb. 6.5.: IHS-Transformation der SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte	S.65
Abb. 6.6.: Ergebnis der Kombination SPOT XS/SPOT P nach modifizierter IHS-Transformation, Bl. 5428, Nordhälfte	S.65
Abb. 6.7.: Typisches Landschaftsbild im Becken von Windischgarsten	S.66
Abb. 6.8.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielsgebietes 5329	S.68
Abb. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielsgebietes 5329	S.71
Abb. 6.10.: Aufbereitetes Ausgangsbild aus SPOT und Orthophoto	S.72
Abb. 6.11.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation aus SPOT XS und Orthophoto (Bl. 5329)	S.74
Abb. 6.12.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für das Beispielsgebiet 5329	S.76
Abb. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation von SPOT-Daten und Orthophoto (Bl. 5329)	S.77
Abb. 6.14.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle (Bl. 5330)	S.80
Abb. 6.15.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P (Bl. 5330)	S.82
Abb. 6.16.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle (Bl. 5330)	S.84
Abb. 7.1.: Bedeckung des Gebiets durch SPOT XS und Landsat TM	S.91
Abb. 7.2.: Einteilung der 3 Klassifikationsbereiche nach dem Triangulierungsblättern	S.94

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 2.1.: Überblick der Landsat TM-Kanäle	S.13
Tab. 2.2.: Bedarf der Kartographie	S.18
Tab. 5.1.: Einfluß der Topographie auf die Reflexionswerte einer Ackerfläche	S.54
Tab. 6.1.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 5 Klassen	S.68
Tab. 6.2.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 6 Klassen	S.69
Tab. 6.3.: Ergebnis der gefilterten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche	S.69
Tab. 6.4.: Ergebnis der überarbeiteten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche	S.69
Tab. 6.5.: Ergebnis der überwachten Klassifikation für die Beispielfläche	S.70
Tab. 6.6.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto	S.75
Tab. 6.7.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für die Beispielfläche	S.75
Tab. 6.8.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation	S.77
Tab. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle, Bl. 5330	S.80
Tab. 6.10.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Originalkanälen	S.81
Tab. 6.11.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation, Bl. 5330	S.82
Tab. 6.12.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Originalkanälen, Bl. 5330	S.83
Tab. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle, Bl. 5330	S.84
Tab. 6.14.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Ratiokanälen, Bl. 5330	S.85
Tab. 7.1.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation für das Gesamtgebiet	S.97

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Steigender Informations- und Planungsbedarf

In den schnelllebigen Zeiten der industriellen und nachindustriellen Gesellschaft führen Ressourcenverknappung, Bevölkerungswachstum, Landschaftsverbrauch und die zunehmende Mobilität, um nur einige Faktoren aufzuzählen, zu einem steigenden Informationsbedarf für Entscheidungs- und Planungsprozesse auf politischer und administrativer Ebene.

Satellitendaten stellen vor allem für großräumige Betrachtungen, in zunehmendem Maße aber auch für in planungsrelevanten Maßstäben von 1 : 50.000 und darunter liegende Analysen der Umweltsituation und ihrer Veränderung, eine vielseitige und vergleichsweise kostengünstige Informationsquelle dar. Ein wesentlicher Vorteil ist ihre Maßstabsunabhängigkeit und die Kontinuität des Informationsgehalts, der nur durch die unterschiedlichen atmosphärischen Bedingungen getrübt wird. Auch im Vergleich zur besseren Auflösung des klassischen Luftbilds ergeben sich vor allem durch die Möglichkeit der multispektralen Analyse zusätzliche Anwendungsgebiete.

Die zwingende Notwendigkeit eines soliden Umweltmanagements läßt immer mehr Planungs- und Verwaltungsstellen auf Geographische Informationssysteme (GIS) zurückgreifen. Durch die verbesserte räumliche und spektrale Auflösung der zweiten Generation von Erderkundungssatelliten können Satellitendaten nach entsprechender Vorverarbeitung mit den Mitteln der digitalen Bildverarbeitung als eigenständige thematische Informationsschicht in regionalen und überregionalen Informationssystemen verwendet werden. Dabei tritt der langjährige Streit über die Eignung von Raster- und Vektorsystemen durch die Schaffung von Schnittstellen und die langsame, aber stetige Entwicklung hin zu echten hybriden Systemen zunehmend in den Hintergrund.

Es ist unumstritten, daß die aktuelle Landnutzung nur mit den Methoden der Fernerkundung sinnvoll über größere Gebiete ermittelt werden kann. In dieser Arbeit gilt das Hauptaugenmerk der satellitengestützten Fernerkundung. Dennoch wird dabei versucht, sich auch der besseren räumlichen Auflösung des Luftbildes zu bedienen, indem gescannte und damit in digitaler Form vorliegende, entzerrte Luftbilder (Orthophotos) mit Satellitendaten kombiniert werden. Dies zeigt deutlich, daß die klassische Luftbildinterpretation keineswegs "out" ist.

Im Nationalpark Kalkalpen soll nach Beschluß der verantwortlichen Planungsstelle von Anfang an auf die geographische Informationstechnologie gebaut werden. Im Zusammenhang mit dem Aufbau eines GIS wurden daher in einem frühen Planungsstadium Satellitendaten angekauft, aus denen in dieser Arbeit die aktuelle Landnutzung abgeleitet werden soll. Dabei ist neben den methodischen Untersuchungen stets die Nationalparkrelevanz im Auge zu behalten, wenn es etwa um Maßstabsfragen oder um Klasseneinteilungen geht.

Die Thematik der Fernerkundung in alpinen Räumen stellt einen eigenen Problemkreis dar. Obwohl sich alpine Räume durch ihre schlechte Zugänglichkeit besonders als Ziele von Fernerkundungsuntersuchungen anbieten, bereiten die großen Reliefunterschiede Schwierigkeiten (vergl. BUCHROITHNER 1987, S. 121 - 123). Der Reliefversatz kann so

stark sein, daß er sich nicht nur bei geodätischen Auswertungen störend auswirkt. Die bei einer üblichen Entzerrung der Satellitenbilder und der Transformation in ein Koordinatensystem entstehenden Probleme sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, da aus pragmatischen Gründen die angelieferten und über Paßpunkte in Bundesmeldenetzkoordinaten transformierten Daten übernommen und die dabei auftretenden Lageungenauigkeiten in Kauf genommen werden mußten.

Klassifikation

Die Zusammenfassung von Regionen hat eine lange Tradition in der Geographie, angefangen von VIDEL DE LA BLACHE im frühen 20. Jahrhundert, der eine Region noch als natürliche Einheit mit starkem Einfluß auf den darin lebenden Menschen verstand, bis hin zum modernen Verständnis von Regionen. Dabei wird vom ursprünglichen Geodeterminismus Abstand genommen und man wendet sich der Suche nach Regionen zu, die in Modellen ausgedrückt werden, in denen der agierende Mensch in seinem sozialen Kontext eine wesentliche Rolle spielt. Die Bildung von Regionen kann auch als Klassifikation im weiteren Sinne angesehen werden, obwohl die Regionalisierung eine eigene Arbeitsweise im Fach Geographie darstellt.

Klassifikationsverfahren in einem Bildverarbeitungssystem sind wesentliche Auswertungsschritte, deren Ergebnisse wieder in digitaler Form vorliegen und unter anderem als Eingangsdaten für Modellrechnungen benutzt werden können. Die bisher hauptsächlich angewendeten Verfahren werten die spektrale Information der Bildelemente aus. Sie liefern nur dann sinnvolle Ergebnisse, wenn die in den einzelnen Bildelementen enthaltenen Informationen eine eindeutige Zuordnung zu den Klassen ermöglichen.

Die grundsätzlichen Probleme der Klassifikation sind in der Fernerkundung die gleichen wie bei Klassifikationen zu anderen Zwecken (Grenzziehung, Schwellwertbildung ...). Darüberhinaus ist der Informationsgehalt der Fernerkundungsdaten abhängig vom Aufnahmezeitpunkt und vom aufgenommenen Gebiet. Dies bringt mit sich, daß kaum eine generelle Anleitung oder Vorgangsweise möglich ist. Vielmehr ist jede Analyse von Fernerkundungsdaten wie ein Individuum zu behandeln, was großes Hintergrundwissen und viel Erfahrung verlangt.

Landnutzung

Obwohl im englischen Sprachgebrauch im allgemeinen zwischen *Land use* ("use of land by peoples usually with emphasis upon the functional role of land in economic activities" CAMPBELL 1987, S. 473) und *Land cover* (im engeren Sinne die Bedeckung durch die Vegetation bzw. Nicht-Vegetation) unterschieden wird, soll im folgenden unter *Landnutzung* die überwiegende Bedeckung der Landoberfläche hinsichtlich ihrer menschlichen Nutzung verstanden werden.

Aufgabenstellung

a) Für den geplanten Nationalpark Kalkalpen ist aus den zur Verfügung stehenden inhomogenen Daten (Landsat TM, SPOT XS, SPOT P) eine brauchbare Landnutzungs-klassifikation zu erstellen. Ziel ist die Gewinnung planungsrelevanter Daten zur Integration in die Grunddatenbank des Nationalpark - GIS (NPK-GIAS).

- b) In einzelnen, beispielhaften Testgebieten sind verschiedene Klassifikationsverfahren durchzuführen, um aus der Vielzahl der Bildverarbeitungsmethoden eine geeignete zu finden, das in Punkt a) formulierte Ziel zu erreichen.
- c) Es soll versucht werden, digitale Orthophotos und Satellitendaten bzw. deren Kombinationsergebnis für ein Beispielsgebiet so aufzubereiten, daß die höhere räumliche Auflösung in einer anschließenden Klassifikation genutzt werden kann (Dies ist eine relativ neuartige Anwendung: Die Integration von digitalen Orthophotos und Satellitenbildern wurde in Europa erst in wenigen, kleinräumigen Anwendungen praktiziert). Das Ergebnis des Beispielgebietes ist hinsichtlich der operationellen Einsatzmöglichkeiten in Raumplanung, Umweltbeobachtung und -analyse zu bewerten.
- d) Methodische Überlegungen zur Kombination von Fernerkundungs- und Vektordaten (z.B. Polygone als Input für Trainingsgebiete, Polygone als Output einer Klassifikation von FE-Daten, Ergebnis als Datenschicht in einem GIS)
- e) Die Einsatzmöglichkeit von Fernerkundungsdaten in einem GIS soll am Beispiel der Landnutzungsklassifikation des Nationalparks Kalkalpen dargestellt werden.
- f) Eignung und Grenzen verschiedener Anwendungen von Satellitendaten und digitaler Bildverarbeitung in Raumplanung und Umweltschutz sollen aufgezeigt werden.

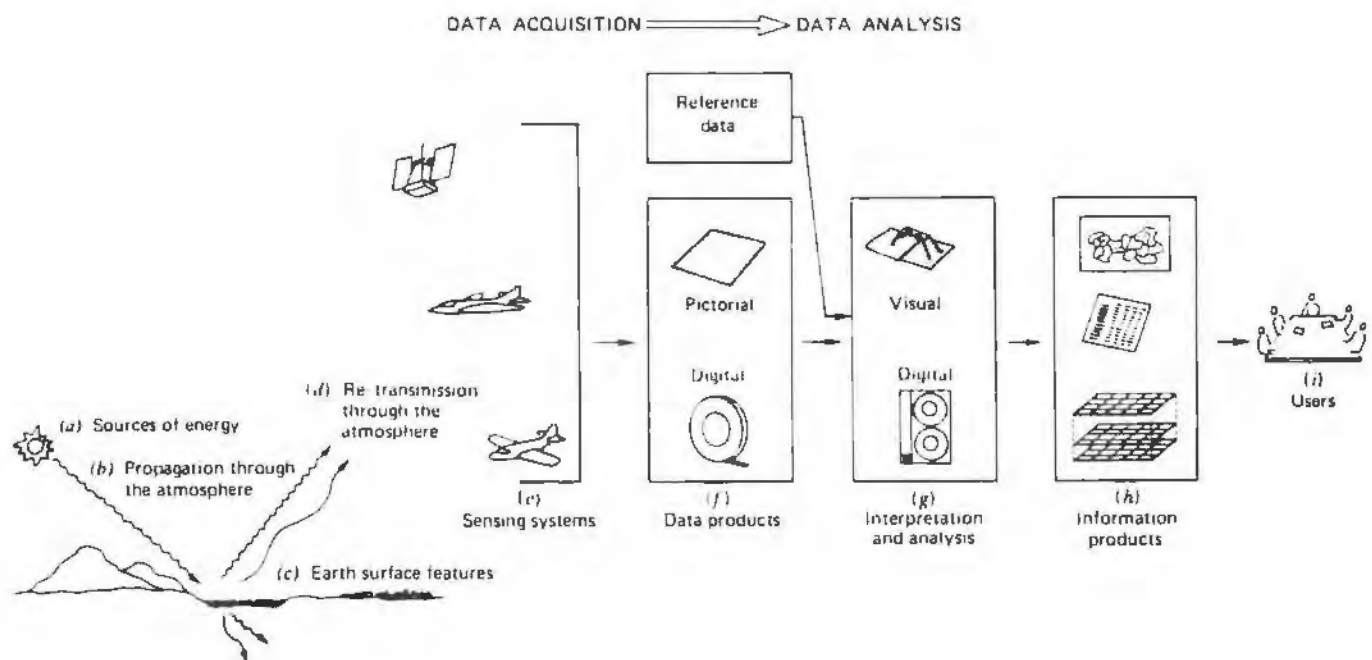
2. STAND DER FERNERKUNDUNG UND ANWENDUNGEN VON SATELLITEN-DATEN

"Remote sensing is the science and art of obtaining information about an object, area, or phenomenon through the analysis of data acquired by a device that is not in contact with the object, area, or phenomenon under investigation" (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 1).

"Remote sensing is the observation of a target by a device separated from it by some distance" (BARRET and CURTIS 1976, S. 3).

Diese äußerst weit gefaßten Definitionen beinhalten verschiedenste Verfahren und Techniken. Auch das Lesen eines Buches könnte demnach unter Fernerkundung gerechnet werden. In der vorliegenden Arbeit wird jedoch nur auf einen engeren Bereich der passiven Fernerkundung der Erdoberfläche durch Erdbeobachtungssatelliten eingegangen.

Abb. 2.1.: Vom Objekt zur Karte (LILLESAND and KIEFER 1987, S.2)



2.1. Entwicklung der Fernerkundung

Die Geschwindigkeit der technologischen Entwicklung hat sich in diesem Bereich vielleicht stärker als anderswo beschleunigt. Dauerte es von der Erfindung der Photographie durch DAGUERRE und NIEPCE im Jahre 1839 bis zur ersten Luftbildaufnahme von Tournachon 1858 noch 19 Jahre, so vergingen zwischen den ersten Flügen der Brüder Wright 1903 und dem ersten Flugzeugluftbild nur 6 Jahre. Die Satellitentechnik

brauchte gar nur etwa eineinhalb Jahre vom Start des SPUTNIK 1 bis zum Start des ersten Wettersatelliten TIROS 1 (Start 1.4. 1960). Bereits im Juni 1862 erfolgten während des amerikanischen Bürgerkriegs die ersten Luftaufnahmen zu militärischen Zwecken.

Interessanterweise haben die Wettersatelliten in der Bevölkerung einen hohen Bekanntheitsgrad erreicht. Die aus dem Fernsehen den meisten Leuten bekannten Aufnahmesysteme befinden sich durchwegs in geostationären (äquatorialen) Umlaufbahnen, wie z.B. die amerikanische GOES - Serie oder der in Deutschland und Österreich allseits bekannte europäische Satellit METEOSAT. Letzterer liefert in 36000 km Höhe über dem Äquator und dem Nullmeridian "stehend" alle 30 Minuten ein panchromatisches und ein Temperaturbild von der Erdoberfläche sowie alle 6 Stunden eine Aufnahme des Wasserdampfgehaltes der oberen Atmosphäre, wobei das Auflösungsvermögen bei 2.5 bzw. 5 km liegt. In der breiten Öffentlichkeit weniger populär, jedoch für Klimatologen, Hydrologen und viele andere Umweltwissenschaftler nicht minder wichtig, laufen andere Systeme auf wesentlich niedrigeren, polnahen Umlaufbahnen, wie z.B. die Satelliten der amerikanischen TIROS- und NOAA-Reihe und der sowjetischen Kosmos- und Meteorreihe

Die NOAA - Serie erstreckt sich bereits über mehrere Generationen von Satelliten. Hier soll nur kurz die aktuelle Technologie der mit dem AVHRR (*advanced very high resolution radiometer*) ausgestatteten NOAA 6 bis 10 angesprochen werden. Die geraden bzw. ungeraden Nummern der Satelliten ergänzen sich in ihrer Flugbahn bzw. Überflugzeit. Ein 2400 km breiter Streifen wird in 4 bzw. 5 Kanälen täglich bzw. zweimal täglich (nahes IR) mit einer Bodenauflösung (besser der englische Ausdruck *instantaneous field of view* = **IFOV**) von 1.1 km aufgenommen. Das Anwendungsspektrum reicht dabei von Schnee- und Eisstudien, Überflutungsgefährdung, Vegetationsdifferenzierung bis zur Waldbrandüberwachung, wobei aufgrund der Auflösung nur kleinmaßstäbige Betrachtungen möglich sind. Dennoch hat sich der AVHRR für verschiedenste Anwender als hervorragendes Aufnahmemedium erwiesen. Wenn die NOAA - Serie im allgemeinen auch zu den meteorologischen Satelliten gerechnet wird, so zeigen sich in der Breite des Anwenderspektrums viele Bereiche, die von einem Erdbeobachtungssatelliten abgedeckt werden. Eine strikte Trennung in zwei Arten von Satelliten erscheint daher als nicht sinnvoll. Daneben existieren noch eine Fülle von meteorologischen Satelliten verschiedener Nationalität, von denen hier nur die amerikanische Nimbus - Serie erwähnt werden soll, die mit dem CZCS (*coastal zone color scanner*) einen überaus interessanten Sensor an Bord hat. Der CZCS deckt in vier Kanälen im Bereich des sichtbaren Lichts mit einer Auflösung (IFOV) von 825 m weite Bereiche der Weltmeere ab und ermöglicht dadurch Aussagen über den Chlorophyll- und Schwebstoffgehalt im Wasser. Ein fünfter Kanal deckt das an das sichtbar Licht anschließende nahe Infrarot ab, während mit Hilfe des sechsten Kanals die Oberflächentemperatur ermittelt werden kann.

Eine neue Ära der Fernerkundung wurde am 26. 7. 1972 mit dem Start von ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellite), der später in Landsat 1 umbenannt wurde, eingeleitet. Damit wurde erstmals ein nichtmilitärischer, für die Öffentlichkeit zugänglicher Erdbeobachtungssatellit geschaffen, der dazu beitragen sollte, die weltweiten Probleme der Überbevölkerung, der Nahrungsmittelknappheit, der Erschöpfung der Ressourcen,

der zunehmenden Vernichtung der Wälder, der Desertifikation sowie zahlreiche andere Umweltprobleme zu erkennen und zu ihrer Lösung beizutragen.

2.2. Stand der Erdbeobachtungssatelliten

Die Erdbeobachtungssatelliten befinden sich in einem weniger fortgeschrittenen Entwicklungsstadium als die meteorologischen Satelliten. Je nach Terminologie spricht man dort von der vierten oder fünften Generation (vergl. CURRAN 1985, S.163 - 166). Im folgenden wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Systeme gegeben. Auch die weiteren Ausführungen beschränken sich auf wesentliche Anwendungsaspekte, z.B. die Vor- und Nachteile von SPOT und TM-Daten hinsichtlich der Aufnahmegeometrie und Auflösung. Die sowjetischen Satelliten sind dabei nicht berücksichtigt, da die meisten mit Ausnahme der nach dem photographischen Prinzip arbeitenden KOSMOS-Reihe nicht zugänglich sind.

Abb. 2.2.: Kenngrößen der wichtigsten Fernerkundungssysteme (DRURY 1990, S. 52)

Platform	System	Wavebands	Resolution	Image width	Platform	System	Wavebands	Resolution	Image width
Meteosat (ESA)		550-700 nm 10.5-12.6 μm	900 m 5.9 km	60% of hemisphere	SPOT (France)	P	510-730 nm	10 m	60 km
TIROS/NOAA (USA)	AVHRR	550-680 nm 725-1100 nm 3.55-3.93 μm 10.5-11.5 μm 11.5-12.5 μm	1.1 km (LAC) to 5.0 km (GAC)	2400 km		XS	500-590 nm 510-680 nm 790-890 nm	20 m	60 km
Nimbus-7 (USA)	CZCS	430-450 nm 510-530 nm 540-560 nm 660-680 nm 700-800 nm 10.5-12.5 μm	800 m	1800 km		MOS-1 (Japan)	MESSR 510-590 nm 510-690 nm 720-800 nm 800-1100 nm	50 m	100 km
Landsat-1 to -5 (USA)	MSS	500-600 nm 600-700 nm 700-800 nm 800-1100 nm 10.4-12.6 μm (L-3 only)	80 m 240 m	185 km		VTIR	500-700 nm 6.0-7.0 μm 10.5-11.5 μm 11.5-12.5 μm	900 m 900 m 2.7 km 2.7 km	1500 km
Landsat-3	RBV	505-750 nm	40 m	99 km		IRS-1 (India)	LISS-1 450-520 nm 520-590 nm 620-680 nm 770-860 nm	73 m	148 km
Landsat-4, 5	TM	450-520 nm 520-600 nm 630-690 nm 760-900 nm 1.55-1.75 μm 2.08-2.35 μm 10.4-12.5 μm	30 m 120 m	185 km		LISS-2	As LISS-1	36.5 m	74 km
						HCMM (USA)	500-1100 nm 10.5-12.5 μm	600 m 600 m	716 km 716 km
						Seasat (USA)	SAR radar 23.5 cm	25 m	100 km
						Shuttle	SIR-A SIR-B 23.5 cm 23.5 cm multi-angle	40 m 25 m	55 km variable

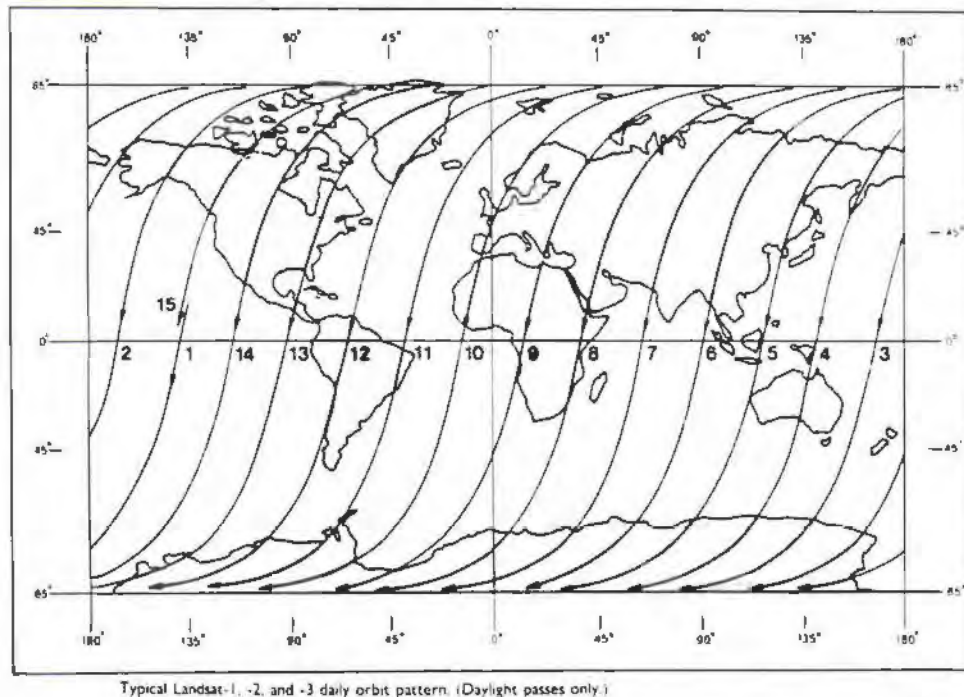
2.2.1. Landsat

Bei den ersten drei Satelliten des Landsat-Programms, das zunächst *Earth Resources Technology Satellites (ERTS)* genannt wurde, kam neben dem RBV-System (*return beam vidicon*), das ähnlich einer herkömmlichen Kamera funktioniert und drei Kanäle gleichzeitig aufnimmt, ein Multispektralabtaster - der *Multi Spectral Scanner (MSS)* - zum Ein-

satz. Dabei wurden die Daten von einer fastpolaren Umlaufbahn mit der durchschnittlichen Höhe von 900 km in vier Kanälen mit einem IFOV von 80 Meter und einer Aufnahme­fläche von 185 x 185 km am Boden aufgenommen. Die Wiederholungsrate betrug 18 Tage. Landsat 3 lieferte kurze Zeit zusätzlich einen Kanal im Thermalbereich mit einer Bodenauf­lösung von 240 Meter.

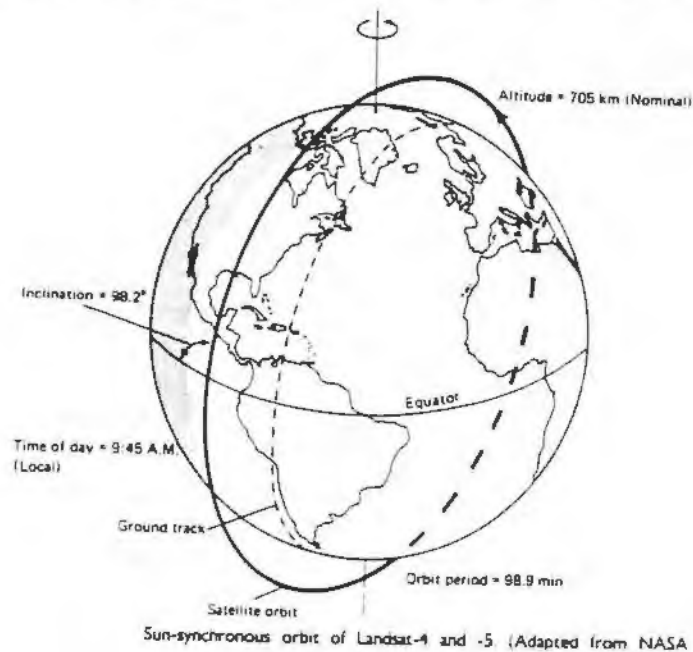
Obwohl die Auflösung von 80 m auch im mittleren Maßstabsbereich bei der Erkennung und Interpretation von Einzelelementen und linearen Erscheinungen Probleme bereitet, war es erstmals möglich, über große Räume und schwer zugängliche Gebiete Karten zu erstellen (vergl. LILLESAND and KIEFER 1987, S. 546 - 561). Die operationelle Satelliten­fernerkundung steigerte damit ihre Verbreitung entscheidend. Vor allem der lange Zeit­raum kontinuierlicher Datenerfassung läßt verschiedene Anwender auch heute noch trotz inzwischen verfügbarer höherer räumlicher Auflösung auf diese Daten zurückgrei­fen.

Abb. 2.3.: Landsat 1 - 3 Konfiguration und Flugmuster (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 536/537)



Landsat 4 und 5 umkreisen die Erde in einer niedrigeren Umlaufbahn von durch­schnittlich 705 km. Dies ermöglicht zwar zusammen mit den neuen Sensoren an Bord eine höhere Bodenauf­lösung, erfordert jedoch auch ein komplizierteres Flugbahnmu­ster. Landsat 6 soll mit ähnlichen Flugbahn- und Aufnahmecharakteristika im Laufe des Jahres 1992 in Umlauf gebracht werden (COLVOCORESSES 1991). Da pro Umlauf etwa 99 Minuten benötigt werden - im Gegensatz zu 103 Minuten von Landsat 1-3 - fallen auf einen Tag 14,5 Umläufe. Dadurch wurde die Wiederholungsrate auf 16 Tage gesenkt. Landsat 4,5 und 6 tragen neben dem traditionellen MSS den **Thematic Mapper (TM)** an Bord. Der TM ist im Prinzip auch ein multispektraler Scanner mit einer höheren spektralen, radiometrischen und geometrischen Auflösung als der MSS.

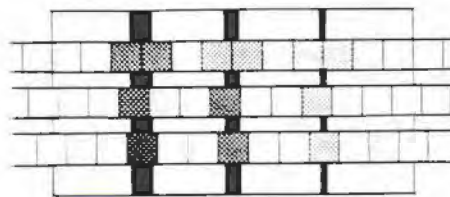
Abb. 2.4.: Umlaufbahn und Flugmuster von Landsat 4 und 5 (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 562/564)



Der TM besteht im wesentlichen aus einem wippenden Spiegel, der die Erdoberfläche während des Fluges senkrecht zur Flugrichtung abtastet und optischen Bauteilen, die die auf den Spiegel auftreffende remittierte Strahlung umlenken und in definierte Spektralbereiche zerlegen sowie aus Detektoren, die die auftreffende Strahlung in elektrische Impulse umwandeln. Aus der Flughöhe und der Abtastoptik ergibt sich eine Auflösung (IFOV) von 30 m. Der in 8 bit gemessene Rückstrahlungswert entspricht dabei genau genommen dem gleitenden Mittelwert der in Scanrichtung tatsächlich auftretenden Strahlung (vergl. Kap. 5.1.).

Wie hinlänglich bekannt, können von der Umgebung sich deutlich abhebende Elemente oft auch erkannt werden, wenn ihre Größe unter dem IFOV liegt. So sind im Regelfall Straßen mit einer üblichen Breite von 6 bis 8 m in Landsataufnahmen klar erkennbar.

Abb. 2.5.: Erkennbarkeit von Linienstrukturen (KALLANY 1986)



Tab. 2.1: Überblick der Landsat TM-Kanäle (nach LILLESAND and KIEFER 1987, S. 567)

Kanal	Spektralbereich	Anwendungsmöglichkeiten
1	0.45 - 0.52	Unterscheidung Boden - Vegetation, Laub - Nadelwald; Kartierung von Küstengewässern und Waldbränden
2	0.52 - 0.60	max. Reflexion gesunder Vegetation
3	0.63 - 0,69	Differenzierung von Pflanzenarten nach ihrer Chlorophyllabsorption
4	0.76 - 0.90	Abgrenzung von Wasserflächen, Erhebung der Biomasse, Vegetationsdifferenzierung
5	1.55 - 1.75	Bestimmung des Feuchtegehaltes von Vegetation und Boden, Differenzierung zwischen Wolken und Schnee
6	10.4 - 12.5	Bodenwärme, thermale Kartierung, künstliche Erwärmung
7	2.08 - 2.35	Unterscheidung von Mineral- und Gesteinstypen, Hydrothermale Kartierung

Landsat TM-Aufnahmen decken durch die höhere Anzahl von Kanälen ein wesentlich größeres Feld von Anwendungen ab als Landsat MSS-Aufnahmen. Durch die bessere räumliche Auflösung stieg die Anzahl der Anwender sprunghaft. Vor allem in kleingliedrigeren Kulturlandschaften, wie z.B. in vielen Teilen Europas, hielt die Satellitenfernerkundung dadurch erst ihren Einzug.

Die Ankündigungen für den Start von Landsat 7 (ursprünglich geplant für 1992, wahrscheinlich erst 1995 oder später) erwecken bei den Anwendern große Erwartungen. Im folgenden sind stichpunktartig einige Systemparameter aufgelistet (nach COLVOCORESSES 1990, 1991).

- Flugbahn wie Landsat 1 bis 3 (918 km Höhe)
- Möglichkeit auch schmalere Streifen aufzunehmen
- 3 Multispektralscanner an Bord
- Möglichkeit der Datenkompression an Bord auf 5 oder 6 bit
- 10 m Auflösung
- Möglichkeit der Stereoaufnahme durch zwei parallele Aufnahmesysteme
- extrem genaue Positionsermittlung durch GPS (Global Positioning System)

2.2.2. SPOT

SPOT (*System Pour l'Observation de la Terre*) ist ein kommerzielles Fernerkundungssystem des französischen Raumfahrtzentrum (CNES) in Zusammenarbeit mit Belgien und Schweden. SPOT 1 wurde am 22. Februar 1986 gestartet. Der baugleiche Nachfolger SPOT 2 wurde 1991 in Umlauf gebracht und ersetzt den inzwischen abgeschalteten, nach wie vor einsatzbereiten Vorgänger. SPOT 1 und 2 umkreisen die Erde in einer Höhe von 832 km mit einer Inklination von 98,7° und überquert den Äquator jeweils um 10.³⁹ Uhr. Der Umlaufzyklus beträgt 26 Tage. Beide Satelliten besitzen je zwei nebeneinander angeordnete, identische Sensoren, die unabhängig voneinander betrieben werden können. Beide Aufnahmesysteme können neben den Senkrechtaufnahmen auch

seitlich geschwenkt werden, und zwar in Schritten von $0,5^\circ$ bis zu 27° . Die aufgenommene Fläche beträgt bei Senkrechtaufnahmen 60×60 km.

Durch die Schwenkbarkeit der Sensoren ist die Möglichkeit der stereoskopischen Auswertung der Daten gegeben, wie sie für die Herstellung topographischer Karten und digitaler Geländemodelle notwendig ist. Auch ist die Wiederholungsrate nicht auf den Umlaufzyklus von 26 Tagen beschränkt, sondern sinkt in Abhängigkeit von der Geographischen Breite beträchtlich. Dadurch sollte, zumindest theoretisch, die Zahl der verfügbaren, wolkenfreien Aufnahmen, vor allem in humiden Gebieten, etwa gegenüber des Landsat TM, wesentlich höher liegen. Die Praxis hat dies bisher jedoch nicht voll bestätigen können. Gerade in der vorliegenden Fallstudie war es im Laufe des Sommers 1990 offensichtlich nicht möglich, SPOT XS-Aufnahmen zu erhalten. Dies deckt sich mit den persönlichen Erfahrungen mit SPOT-Daten anderer Interpreten.

Abb. 2.6.: SPOT-Aufnahmegeometrie (BECKEL 1986, S. 67)

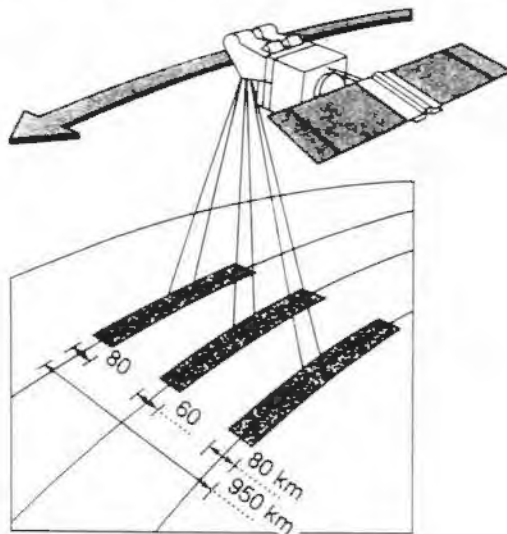


Abb. 1: Unabhängig voneinander arbeitende SPOT-Sensorsysteme. Aufnahmen innerhalb eines 950 km breiten Streifens sind möglich

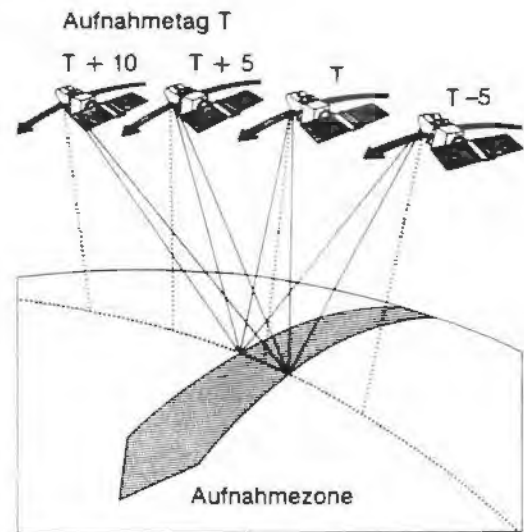


Abb. 3: Aufnahmewiederholungen desselben Gebietes von verschiedenen Umlaufbahnen des Satelliten durch Ausschwenken der Sensoren

Die beiden *High resolution visible* (HRV) Aufnahmesysteme bieten zwei verschiedene Aufnahmemodi, einen panchromatischen Bereich (P-Modus) von 0,51 bis 0,73 Mikrometer und drei Bereiche im multispektralen (XS) Modus mit 0,50 - 0,59 (blau-grün), 0,61 - 0,68 (rot) und 0,79 - 0,89 (infrarot) Wellenlänge. Während im XS-Modus die Auflösung 20 m beträgt, löst der panchromatische Kanal bis auf 10 m auf. Dies stellt einen großen Fortschritt in der Entwicklung der Satellitenfernerkundung dar. Vor allem für die kleingliedrigen mitteleuropäischen Kulturräume rückt die Satellitenfernerkundung damit auch in planungsrelevante Anwendungsbereiche mit Maßstäben von 1:50000 und darunter (vergl. Auflösungsvermögen und geeigneter Maßstabsbereich: APFL 1989, S. 106, mit Tabelle).

Die Kontinuität der Daten ist bis zumindest zur Jahrtausendwende gewährleistet, da der Bau von SPOT 3 und 4 bereits beschlossen ist und der Start für die Jahre 1993/94/95 bzw. 1996/98 (verschiedene Angaben) vorgesehen ist.

2.2.3. weitere Aufnahmesysteme

Die aktuellen Entwicklungen der Mikrowellen-Fernerkundung versprechen gerade für Umweltschutzanliegen große Fortschritte. Der im Juli 1991 gestartete europäische Fernerkundungssatellit **ERS-1** hat Sensoren an Bord, von denen sich die Anwender verschiedenster Bereiche viel erhoffen. Für die Untersuchung der Landnutzung ist der *Synthetic Aperture Radar (SAR) image mode* von Bedeutung. Dabei handelt es sich, im Gegensatz zu optischen Sensoren, um einen aktiven Sensor, der mit einer Frequenz von 5,3 GHz kurze Mikrowellenimpulse aussendet und die von der Erdoberfläche reflektierten Impulse auffängt. Auch andere Vorhaben und Planungen zeigen, daß sich weltweit die aktiven Fernerkundungssensoren auf dem Vormarsch befinden, so setzen z.B. Kanada, Japan, Brasilien und die ESA auf diese Technologie. Durch die Fähigkeit von Mikrowellen, Wolkendecken zu durchdringen, können wetterunabhängig Aufnahmen von der Erdoberfläche gemacht werden. Anders als bei den zuvor beschriebenen passiven Aufnahmesystemen im sichtbaren Bereich sowie im nahen und mittleren Infrarot ist der Informationsgehalt des Rückstreuungssignals im Mikrowellenbereich ist geprägt durch:

- die Rauigkeit der Erdoberfläche
- den Feuchtegehalt des Bodens
- der Ausrichtung der Strukturen relativ zur Flugrichtung
- die Aufnahmegeometrie

Daneben werden in der Satellitenfernerkundung durchaus auch auf dem bekannten photographischen Prinzip beruhende Kameras eingesetzt. Diese Technik hat sich in Flugzeugen bestens bewährt. Dennoch sind die Voraussetzungen für den Einsatz in Satelliten anders: Abgesehen von der großen Flughöhe und der dadurch benötigten enormen Brennweite stellt sich das Problem des Transports des Filmmaterials. Daher wird diese Technik außer bei den sowjetischen Weltraumprogrammen (KATE 140, KATE 200, Meßbildkammer KFA 1000) nur bei bemannten Raumflügen eingesetzt (*Metric Camera, Large Format Camera*). Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die photographischen Systeme zur Satellitenfernerkundung.

Abb. 2.7.: Photographische Systeme zur Satellitenfernerkundung (ALBERTZ 1991, S. 40)

Technische Daten photographischer Systeme zur Satelliten-Fernerkundung

Kammer	Bildformat mm ²	Brenn- weite mm	Flug- höhe km	Bildfläche km ²	Bildmaßstab
Metric Camera (MC)	230 x 230	305	250	185 x 185	1:820.000
Large Format Camera (LFC)	230 x 457	305	240 bis 370	180 x 350 bis 270 x 540	1:780.000 bis 1:1.200.000
KFA-1000	300 x 300	1000	200 bis 270	60 x 60 bis 80 x 80	1:200.000 bis 1:270.000
Multispektral- kammer MKF 6-M	55 x 81	125	250 bis 350	140 x 160 bis 150 x 225	1:2.000.000 bis 1:2.800.000

2.3. Anwendungen im Überblick

Die Fernerkundung bietet die Möglichkeit, flächendeckend Informationen über die feste Erdoberfläche, die Wasserflächen und die Atmosphäre zu gewinnen. Davon profitiert nicht nur die geowissenschaftliche Forschung, sondern in zunehmenden Maße auch die auf wirtschaftlichen Nutzen ausgerichteten Anwender. Die schnelle Erfassung weiträumiger Gebiete erspart das mühsame Zusammenführen lokaler Datenbestände mit uneinheitlichen Aufnahmemethoden und Aufnahmezeitpunkten. Dabei wurde bisher hauptsächlich auf die spektralen Eigenschaften (*Signatures*) der Fernerkundungsdaten zugegriffen. Die bildhaften Informationen (*Textur, Struktur*) werden erst bei einigen Forschungsprojekten zur Informationsgewinnung genutzt, nehmen aber in einzelnen Bereichen, wie in der Geologie, der Lithologie oder der Erforschung von Lagerstätten eine durchaus bedeutende Stellung ein.

Im folgenden soll ein kurzer Abriss über die gegenwärtigen Anwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Fachrichtungen gegeben werden ohne auf detaillierte Vorgangsweisen einzugehen.

- Meteorologie und Klimatologie

Die zweifellos bekannteste Anwendung ist die aktuelle Wettervorhersage, während bedeutende Untersuchungsgebiete in der Öffentlichkeit weniger bekannt sind. Bereits 1960 wurde mit TIROS 1 der erste Wettersatellit gestartet. Die meisten der Satelliten zur Wetterbeobachtung bewegen sich auf einer *geostationären* Umlaufbahn in 36000 km Höhe und "stehen" dadurch stets über dem Äquator. Eine hohe geometrische Auflösung wie bei den Erdbeobachtungssatelliten ist nicht notwendig, dafür aber eine hohe spektrale Auflösung.

Die zweite Gruppe der meteorologischen Satelliten bilden die fast polar umlaufenden Systeme, wie die bereits beschriebene NOAA-Serie. Sie liefern die Grundlagen für verschiedene klimatologische Fragestellungen. In der lokalen und regionalen Klimatologie werden beispielsweise Temperaturverhalten von Oberflächenmaterialien, Verlauf und Intensität von Wärmeströmungen, Bildung von Kaltluftseen usw. erforscht.

- Landwirtschaft

Unter Federführung des Joint Research Center der EG wurde ein ehrgeiziges europäisches Fernerkundungsprogramm gestartet, das in interdisziplinärer Zusammenarbeit ein Landinformationssystem aufbauen soll. Bereits Mitte der 70er Jahre wurde eine auf Statistiken basierende Karte der "*less favoured rural areas*" (PARLOW, 1985, S.198) entwickelt. Entscheidungskriterien der Klassifizierung sind u.a. Höhenlage, Reliefbedingungen, klimatische und pedologische Bedingungen und die Landnutzung. Da sich die meisten dieser Faktoren flächendeckend aus Fernerkundungsdaten ableiten lassen, wurde das zuvor beschriebene Programm ins Leben gerufen. Eines der Ziele ist die Verbesserung der agrarischen Planung und des Marketings durch eine präzise Abschätzung von Erträgen und Ernten. Die Aussagen über Potentiale könnten deutlich verbessert werden. Ein weiteres Ziel ist etwa die Verringerung von Verlusten durch Früherkennung von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten. Dies erscheint zwar angesichts der

enormen Nahrungsmittelüberschüsse der EG als ein zweitrangiges Ziel, doch sollte die Entwicklung der Methodik auch Ländern der Dritten Welt von Nutzen sein.

Generelle Ziele der Fernerkundung in der Landwirtschaft (nach KÜHBAUCH 1991, S. 122):

1. Die frühzeitige, von zeitgleichen Bodenerhebungen weitgehend unabhängige Erkennung der wichtigsten Fruchtarten in einem definierten Areal.
2. Die Erfassung der Vitalität und der Ertragsaussicht der Pflanzenbestände.
3. Die Beurteilung der Umweltverträglichkeit aus den unter Punkt 1 und 2 gewonnenen Informationen.

Die wichtigsten Aufgabenbereiche lassen sich auch zusammenfassen unter *Nutzungskartierung, Zustandserhebung und Ertragsabschätzung* (vergl. ALBERTZ 1991, S. 168). Darüberhinaus spielen Aspekte der Bodenkunde eine wichtige Rolle, vor allem in Hinblick auf eine potentielle Landnutzung. Bisher werden in den kleingliedrigen Kulturlandschaften Mittel- und Südeuropas zur Nutzungskartierung fast ausschließlich Luftbilder verwendet. In Nordamerika, Australien und vor allem in großen Gebieten Afrikas erscheinen Satellitendaten (Landsat TM, SPOT) aufgrund ihrer in Kap. 2.2. beschriebenen Eigenschaften als gut geeignet und werden auch im großem Umfang eingesetzt.

- Forstwirtschaft

Für die unzugänglichen und fast ständig wolkenbedeckten **tropischen Regenwälder** bietet die Fernerkundung erstmals die Möglichkeit der flächendeckenden Kartierung. "Tropical Forests are being cleared at perhaps the highest rates in history" (SADER et al. 1990, S. 1343). Neben der in vielen Staaten dringlichen Aufgabe der Erstellung eines topographischen Gesamtkartenwerkes entstehen Planungsmöglichkeiten für die Landwirtschaft oder andere wirtschaftliche Nutzungen des "Urwalds", wie die systematische Holzentnahme oder für Erschließungsprojekte. Aber nicht nur für die Ausbeutung sondern gerade für den Schutz der verbliebenen, stark dezimierten Regenwälder sind Satellitenaufnahmen von größter Bedeutung. So bemüht sich z.B. die FAO ein Inventar der tropischen Regenwälder zu erstellen (vergl. SINGH 1990).

Auch in kleinräumig gegliederten Landschaften, wie z.B. in Mitteleuropa, werden Satellitendaten zunehmend zu forstlichen Planungsentscheidungen herangezogen. Die früheren Hinderungsgründe für einen großflächigen Einsatz (Auflösungsvermögen, Genauigkeit der Klassifikation etc.) sind durch die zweite Generation von Fernerkundungssatelliten (Landsat TM, SPOT) weitgehend weggefallen. Für Naturschutz und Raumplanung ist hier nach meiner Ansicht großer Handlungsbedarf vorhanden, aber auch große Teile der europäischen Privatwälder sind unzureichend erfaßt.

- Kartographie

Trotz großer Bemühungen kann der weltweite Bedarf der Erstellung topographischer und thematischer Karten kaum gedeckt werden (vergl. BUCHROITHNER 1989). Im folgenden wird ein Überblick gegeben über den Bedarf der Kartographie in verschiedenen Anwendungsgebieten und den erreichten Stand.

Der Einsatz von Luftbildern zur **topographischen Kartierung** ist bestens beschrieben und wird vielfach angewandt. Satellitenbilder als Kartierungsgrundlage waren dagegen lange Zeit auf kleinmaßstäbige Fragestellungen beschränkt und wurden daher zumeist für die Erfassung großer, meist unwegsamer Gebiete eingesetzt (Wüsten, Polargebiete...).

Die Erdbeobachtungssatelliten der zweiten Generation (Landsat TM, SPOT) sind auch für Kartierungen in für europäische Verhältnisse planungsrelevanten Maßstäben einsetzbar. Besonders SPOT bietet durch die Fähigkeit der stereophotogrammetrischen Auswertung hervorragende Möglichkeiten. Als Grenze der Leistungsfähigkeit wird im allgemeinen derzeit der Kartenmaßstab 1:50000 angesehen (vergl. BUCHROITHNER 1989, ALBERTZ 1991). Bei der Konzeption der photographisch arbeitenden Aufnahmesysteme (*Metric Camera, Large Format Camera, Kosmos*) stand hingegen die kartographische Anwendung von Anfang an im Vordergrund. Aus diesen Daten können auch großmaßstäbigere Kartierungen abgeleitet werden. Die Gestaltung von Bildkarten gilt als relativ schwierig, da die Bildvorlage durch graphische Elemente ergänzt werden muß, ohne daß wichtige Bildeinzelheiten beeinträchtigt werden.

Bei der Erstellung **thematischer Karten** können Luft- und Satellitenbilder in zweierlei Hinsicht einbezogen werden. Einerseits kann als Basiskarte eine aus Luft- oder Satellitenbildern abgeleitete Grundkarte dienen, andererseits können thematische Informationen direkt durch Auswertung Luft- und Satellitenbildern gewonnen werden.

- Geologie und Mineralogie

Da zwischen den Oberflächenformen und anderen Erscheinungen in einer Landschaft und dem geologischen Untergrund bekanntermaßen enge Zusammenhänge bestehen, können aus den in Luft- und Satellitenbildern sichtbaren Formen und Merkmalen vielfältige Schlußfolgerungen auf die Gesteinstypen und den tektonischen Aufbau einer Landschaft gezogen werden. Dies gilt in besonderem Maße für aride und semiaride Re

gionen, wo die Oberflächenformen nicht durch die Vegetation verdeckt werden. In der Geologie hat sich auf Grund der hohen praktischen Bedeutung dieser Arbeitsweise eine eigene Teildisziplin entwickelt, die Photogeologie. Dabei werden zumeist in stereoskopischer Betrachtung Sachverhalte aus Luftbildern kartiert und interpretiert. Durch die multispektralen Satellitendaten ist die Palette der Arbeitsmöglichkeiten noch erweitert worden. So wurde auch der Kanal 7 des Landsat Thematic Mapper speziell aus diesen Gesichtspunkten im mittleren Infrarothereich angesiedelt. Arbeitsweisen sind dabei die Interpretation von Grau- und Farbtönen, die morphologische Kartierung, die Interpretation von Entwässerungssystemen, Textur, Vegetation und Landnutzung. Eine Besonderheit ist die Auswertung von Photolineationen oder Lineamenten. Darunter versteht man linienhafte Strukturen der Morphologie, des Entwässerungsnetzes, der Vegetation oder der Helligkeit der Oberfläche. Diese werden oft in verschiedenen Bildverarbeitungsschritten herausgearbeitet oder verstärkt und ihre Richtungsverteilung statistisch ausgewertet. In der Erkundung von Lagerstätten spielt die Fernerkundung schon lange eine bedeutende Rolle, nicht zuletzt dadurch, daß es sich oft um große und unzugängliche Gebiete (z.B. Venezuela, Alaska, arktischer Raum) handelt. Eine spezielle Anwendung ist die Erkundung von geothermalen Energie, für die vor allem Lineamentstudien herangezogen werden (vergl. BUCHROITHNER 1986). Auch für ingenieurgeologische Auswertungen im Straßen- bau und Tunnelbau werden verstärkt Satellitenbilder verwendet.

- Eis und Schnee

Die Schnee- und Eismassen sind von wesentlicher Bedeutung für die globale Energiebilanz und die Zirkulation der Atmosphäre und der Ozeane. Durch die Wetterunabhängigkeit und die Möglichkeit, in Eis und Schnee einzudringen, sind für die Ermittlung kryosphärischer Parameter Mikrowellenverfahren besonders interessant. Die Polkappen und Gletscher bedecken zusammen etwa 10% der Landoberfläche. Die Gesamtmasse, insbesondere die Meereisbedeckung ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. In Zusammenhang mit der anthropogenen Beeinflussung des Klimas erscheint es immer wichtiger, über gesicherte Daten der Eismassen zu verfügen, auch wenn noch nicht alle Parameter der Wechselwirkungen Ozean-Atmosphäre-Kryosphäre hinreichend bekannt sind, um exakte Modellrechnungen durchzuführen. Auch die nichtpolaren Eismassen sind für verschiedene Gebiete der Erde von großer Bedeutung, z.B. als Trinkwasservorrat.

Passive Mikrowellensensoren ermöglichen die Aufnahme der gesamten Erdoberfläche innerhalb eines einzigen Tages mit geringer räumlicher Auflösung. Das *Scanning Multichannel Microwave Radiometer* des amerikanischen Nimbus 7-Satelliten wurde zur kleinmaßstäbigen Kartierung von 1978 bis 1987 genutzt. Seit 1987 bieten die DMSP-Satelliten eine verbesserte räumliche Auflösung.

Mit dem Start des europäischen Satelliten ERS 1 im Juli 1991 begann eine Ära der aktiven Mikrowellenfernerkundung, die bisher hauptsächlich von temporären Einsätzen abgedeckt wurde. Hydrologen, Glaziologen und Klimaforscher setzen neben vielen anderen Wissenschaftlern große Erwartungen in das SAR-Aufnahmesystem mit einer guten räumlichen Auflösung (ROTT 1986, 1991).

- Bodenkunde

In Luft- und Satellitenbildern ist stets nur die Oberfläche der Bodenschicht sichtbar. In vielen Bereichen ist diese Oberfläche permanent durch die Vegetation verdeckt. Daher können Aussagen über die Beschaffenheit des Bodens (Bodentyp, Bodenart, Mineralgehalt etc.) nur indirekt aufgrund von Indikatoren erschlossen werden (ALBERTZ 1991, S. 163/164). Dabei kommen vor allem die Grau- und Farbtöne, die sich durch die Reflexionseigenschaften der Oberfläche und der Eigenschaft des jeweiligen Sensors ergeben, in Frage. Die Bodenkartierung hat ein eigenes Instrumentarium entwickelt, das der klassischen Luftbildinterpretation zugerechnet wird. Dabei werden bodenkundliche Einheiten ausgewiesen, die durch Geländeuntersuchungen genauer identifiziert werden. Bei dieser systematischen Erfassung werden kaum Satellitenbilder verwendet. Diese werden dagegen zur Untersuchung der Erosion und des Bodenabtrags allgemein verwendet. Auch für mittel- und kleinmaßstäbige Untersuchungen der Bodenversalzung werden Satellitendaten herangezogen. Insgesamt besteht jedoch noch ein großes Potential ihres Einsatzes. Mit den gegenwärtigen Fernerkundungssystemen können die notwendigen Größen nicht immer ausreichend genau ermittelt werden. Mit dem Start des ERS-1 eröffnen sich verschiedene Anwendungsmöglichkeiten. Vor allem die Bodenfeuchte kann in dem Wellenbereich von 5 bis 10 cm bestimmt werden. Andere Parameter, wie z.B. die Evapotranspiration, können über Modellbildung berechnet werden.

- Ozeanographie und Küstenforschung

Eine wesentliche Chance und Aufgabe stellt die *hydrologische Modellierung* dar. Die Berechnung von Hochwasserspitzen und -häufigkeiten, Niedrigwasserhäufigkeiten und des Wasserdargebots stieß bislang für große Einzugsgebiete von Tausenden und Millionen km² meist auf große Schwierigkeiten. Nachfolgend sind einige Einsatzbereiche der Satellitenfernerkundung aufgezählt:

- Kartierung von Wasserflächen und Küstenbereichen
- Analyse hydrologischer Prozesse
- Langzeit-Monitoring
- Einleitung künstlicher Maßnahmen, wie Stabilisierung von Dünen, Aquakultur-Management...
- Wärmespeicherung im Meer
- Wasserverschmutzung, Umweltüberwachung
- Schwebstoffverteilung

(nach van der PIEPEN et al. 1987, S.20ff, verändert)

In der Zukunft werden große Anstrengungen unternommen werden müssen, die Rolle der Ozeane in klimatologischen Modellen genauer darstellen zu können. So ist beispielsweise für eine Simulation der Auswirkungen des anthropogen bedingten CO₂-Anstiegs die Pufferwirkung der Ozeane bisher zu wenig bekannt bzw. quantitativ nicht abschätzbar.

- Archäologie

Zu den besonders faszinierenden Anwendungen der Fernerkundung gehört die Entdeckung, Erforschung und Dokumentation historischer und prähistorischer Stätten.

Der Satellitenfernerkundung sind jedoch von der Auflösung her enge Grenzen gesteckt, so daß dieses Betätigungsfeld im allgemeinen eine Domäne der Luftbildinterpretation darstellt. Durch die neueren Aufnahmesysteme mit wenigen Meter Bodenauflösung steigen die Möglichkeiten der Satelliten jedoch beträchtlich. Besonders auf den neuen Satelliten ERS 1 werden große Hoffnungen gesetzt. Allerdings werden die vorhandenen Möglichkeiten der multispektralen Satellitenfernerkundung bisher kaum genutzt, da der technische und finanzielle Aufwand meist die Möglichkeiten der auf archäologischem Gebiet tätigen Stellen übersteigt (vergl. ALBERTZ 1991, S. 180). Vor allem in Gebieten, die durch ihre Größe nicht für flächendeckende Befliegungen geeignet erscheinen, können Satellitenbilder sinnvoll eingesetzt werden.

- weitere Anwendungen und zukünftige Entwicklungen

Die **militärische Aufklärung** nahm und nimmt eine wichtige Rolle in der Entwicklung der Fernerkundung ein. Ohne die Triebkraft der Militärs wäre sicher nicht so viel Geld in Forschung und Entwicklung investiert worden und der technische Fortschritt wäre langsamer vor sich gegangen. Dennoch soll an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen werden. Trotz der nach wie vor großen Geheimhaltung verweise ich auf einige detaillierte Darstellungen (RICHELSON 1991, CURRAN 1985, S.171/172).

Eine weitere wesentliche Entwicklung ist der Einsatz von **Expertensystemen** in der Bildverarbeitung. Obwohl hierzu seit Jahren große Bemühungen stattfinden (vergl. z.B. CIVCO 1989, S. 278/279, CLARK 1989) befinden sich die Expertensysteme nach meinem Wissen nach wie vor in einem Entwicklungsstadium ohne größeren operationellen Einsatz. "Automated landuse/landcover classification is one of the most studied and utilized applications of digital satellite image data" (BOLSTAD and LILLESAND 1991, S. 23).

2.4. Gegenwärtige und zukünftige Anwendungen der Fernerkundung in Raum- und Landesplanung (Überblick)

Die Raum- und Landesplanung konnte früher nur auf die amtlichen Statistiken und das Kartenwerk der Landesvermessung als wesentliche Planungsunterlagen zurückgreifen. Die Verknüpfung dieser Quellen zu einer einheitlichen Planungsgrundlage geschah und geschieht teils noch immer manuell. Angesichts der Ressourcenverknappung, der immer schwieriger werdenden Baulandausweisung oder der Planung von zusätzlichen Verkehrsträgern, um nur einige Punkte zu nennen, erscheint das Angebot an sozioökonomischen und ökologischen Grunddaten auf Basis analoger Informationen als unzureichend. Obwohl die Abdeckung Mitteleuropas durch thematische Karten allgemein gut ist, besteht ein großer Bedarf an bestimmten aktuellen Flächendaten (Bodenbedeckung, Landnutzung, Vegetationszustand usw.). Fernerkundungsdaten können diese Lücke schließen. Dort wo vom Maßstab her Satellitenbilder an ihre Grenzen stoßen, bieten sich Luftbilder und Orthophotos an. Doch scheinen viele Planer und Umweltfachleute diese Möglichkeiten nicht erkannt zu haben oder scheuen sich aus verschiedenen Gründen vor einem Einsatz von digitalen Fernerkundungsdaten. FISCHER (1989, S. 31) kommt sogar zu dem Schluß: "Eine operationelle Nutzung von Satellitendaten für die Belange des Umweltschutzes findet bisher *nicht* statt".

Diese Aussage ist nach meiner Ansicht inzwischen nicht mehr gültig, auch wenn nach wie vor ein großes Defizit besteht. Verschiedene Institutionen und Behörden haben Mitte der 80er Jahre (in den USA und Großbritannien früher) damit begonnen, Fernerkundungsdaten in Geographische Informationssysteme zu integrieren. Dabei werden häufig aus Satellitenbildern Landnutzungsklassifikationen abgeleitet, die als Datenschicht in ein GIS eingehen. Teilweise werden auch Thermalbildkarten und -datenbanken zur Bewältigung von Umweltschutzaufgaben herangezogen. Es gibt inzwischen verschiedenste Beispiele bestehender Installationen in Mitteleuropa, die Fernerkundungs- und Vektordaten in einer Datenbank vereinen, wie z.B. das Umweltinformationssystem des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen und das Landes- und Umweltinformationssystem (LUIS) der Steiermark (vergl. BRAEDT 1990, BOGNER 1989).

Es können dennoch verschiedene Gründe angeführt werden, warum Fernerkundungsdaten bisher zu wenig genutzt werden (nach FISCHER 1989, S. 33, verändert unter Berücksichtigung gegenwärtiger Trends):

1. Es liegen keine systematischen Folgen von Bilddaten vor. Insbesondere der Anspruch, flächendeckend etwa für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland Aussagen treffen zu können, scheitert, da die notwendige Datenbasis nur schwer herzustellen ist. Zwar hat sich die Situation seit dem Start von SPOT 1 im Jahre 1986 verbessert, dennoch ist es nicht leicht, flächendeckend Aufnahmen zu ganz bestimmten Aufnahmezeitpunkten zu erhalten, wie es für landschaftsökologische, botanische oder klimatologische Fragestellungen oft notwendig ist.
2. Die Auswertesysteme sind unzugänglich, teuer und in ihrer Kapazität zu klein. Für die Auswertung einer flächendeckenden Szene der Bundesrepublik Deutschland sind ca. 10 Gigabyte zu veranschlagen (Landsat TM). Damit sind viele Rechenanlagen bis zu ihrer Kapazitätsgrenze ausgelastet. Die aktuelle Entwicklung der Hard- und Software, besonders des Preis - Leistungsverhältnisses entkräftet diesen Einwand jedoch zunehmend.
3. Um zu umweltrelevanten thematischen Aussagen zu kommen, ist eine Verknüpfung mit anderen raumbezogenen Daten notwendig. Diese Kombination ist zur Zeit meist (noch) umständlich, zeitraubend und/oder teuer. Die rasante Entwicklung der Scannertechnologie und der Raster-Vektor-Umwandlungsalgorithmen eröffnet heute große Potentiale.
4. Die Auswertung wurde bisher meist von großen Forschungseinrichtungen und Universitäten durchgeführt. Durch die steigende Hardwareleistung bei gleichzeitig sinkenden Preisen ist vermehrt zu beobachten, daß Behörden und Planungsbüros auf der Basis normaler Workstations Auswertungen vornehmen und nicht mehr gezwungen sind, klassifizierte Daten zu übernehmen.
5. Der Preis der multispektralen Daten ist sehr hoch. Dies ist für den massiven Einsatz von Fernerkundungsdaten in allen Planungs- und Verwaltungsebenen nach wie vor eines der Haupthindernisse.

Eine ganze Reihe von planungsrelevanten Flächendaten liegen in umfangreichen Kartenwerken bei verschiedensten Behörden vor. Hierzu zählen u.a. geologische und hydrologische Karten, Bodenkarten, meteorologische und phänologische sowie land-

und forstwirtschaftliche Karten. Die Einbeziehung dieser Informationsquellen wird zunehmend erleichtert durch die verbesserte Scannertechnologie und durch leistungsfähigere Raster-Vektor-Umwandlungsalgorithmen. Für regionale Planungsaufgaben waren diese Entwicklungen dringend erforderlich, da mit herkömmlichen Erhebungsmethoden und konventionell erstellten Karten die Fülle der benötigten aktuellen und zumeist flächendeckenden Informationen kaum bereitgestellt werden kann (vergl. ALBERTZ 1991, S. 171). Um die Vielzahl der Aufgaben in Raum- und Verkehrsplanung und Landschafts- und Naturschutz umfassend darstellen zu können, wären viele Seiten notwendig. Im folgenden sind die **Hauptanwendungsgebiete** stichpunktartig zusammengefaßt (nach ALBERTZ 1991, S. 172 - 177)

Nutzungsplanung

geht vom gegenwärtigen Zustand aus.
meist Luftbilder 1:5000 bis 1:25000,
auch Stichprobenverfahren möglich

Verkehrsplanung

Erschließungsgrad der Landschaft
ruhender und fließender Verkehr
Luftbilder 1:4000 bis 1:13000

Landschaftsschutz

Inventarisierung schutzwürdiger Naturobjekte und Landschaftselemente (Biotpe, kulturhistorisch wertvolle Objekte und Siedlungsformen)
Naturgefahren und Landschaftsschäden

Erholungsplanung

Planung und Überwachung von Erholungseinrichtungen

Siedlungs- und Stadtgeographie

Stadt-Umland-Beziehungen
Historisch-funktionale Entwicklungen
Sozioökonomische Analysen

Siedlungsplanung

Planung, Erschließung, Gestaltung, Verkehrsführung ... in Siedlungen
planungsrelevante Details und gesamtheitliche Beurteilung

In dem weitzufassenden Feld der Umweltüberwachung werden wie in anderen Anwendungsbereichen große Erwartungen auf den operationalen Einsatz von ERS-1-Daten gesetzt. Die gegenwärtigen Systeme werden jedoch für großräumige Planungen als völlig ausreichend angesehen (BRAEDT 1989). Auch für mittel- bis großmaßstäbige Betrachtungen erweisen sich Satellitendaten als sinnvoll und nutzbringend, vor allem, wenn in Geographischen Informationssystemen die Verknüpfung mit räumlich hochauflösenden und anderen thematischen Daten ermöglicht wird.

3. FERNERKUNDUNG UND GIS

Entwicklung und Stand Geographischer Informationssysteme (GIS)

Der Begriff *Geographisches Informationssystem* bzw. *Geo-Informationssystem*, *Umweltinformationssystem*, *Rauminformationssystem* usw. hat sich in vielen Disziplinen etabliert und bezeichnet Systeme zur Datenverarbeitung, in denen raumbezogene Daten erfaßt, verwaltet, analysiert und manipuliert werden. Neben der notwendigen Hardware, wie Rechner, Speichersystem, Graphikbildschirm, Graphikprozessor und Peripheriegeräte sowie der entsprechenden Software zur Ein- und Ausgabe, Verwaltung und Verarbeitung der Daten ist auch der Datenbestand eine wesentliche Komponente eines Geoinformationssystems. Vor allem die vielfältigen Analyse- und Modellierungsmöglichkeiten werden in Zukunft in Raumplanung und Umweltschutz eine große Bedeutung erhalten. In einem GIS können verschiedenste Themen und Daten unterschiedlicher Herkunft zum Zwecke der gemeinsamen Verarbeitung miteinander verknüpft werden. Daher ist nach meiner Ansicht der Auffassung zu widersprechen, Geographische Informationssysteme "sind im Grunde genommen nichts anderes als in digitalisierte Einzelschichten zerlegte Karten" (BECKEL 1988b, S. 55). Das *Layer-Konzept* (*Schichtenkonzept*, *Overlaykonzept*) beinhaltet zwar die Einteilung einzelner Themen in verschiedene Schichten, darf aber nicht so verstanden werden, wie z.B. die definitive Trennung einzelner Karteninhalte in verschieden farbige Druckvorlagen.

Abb. 3.1.: Das Schichtenkonzept eines GIS (BURROUGH 1986, S. 20)

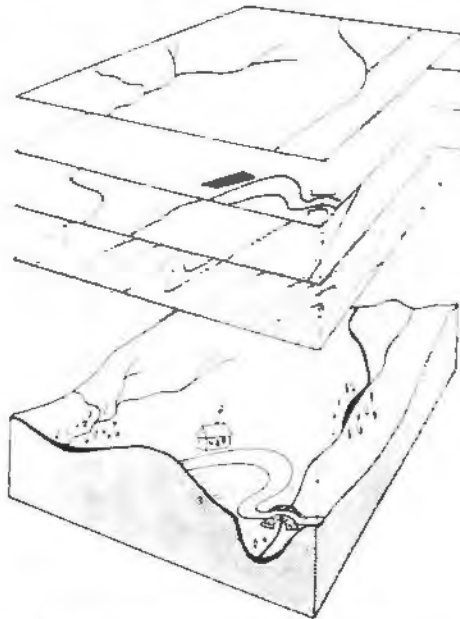


Fig. 2.8 The overlay concept: the real world is portrayed by a series of overlays in each of which one aspect of reality has been recorded (e.g. topography, soil type, roads, rivers, etc.)

Die Verarbeitung von räumlichen Daten in einem computergestützten Informationssystem geht zurück auf die frühen 60er Jahre. Dabei wurden Fernerkundungsdaten auf der Basis des Rastermodells durch Bildverarbeitungsalgorithmen manipuliert. Nachdem diese ersten Informationssysteme Eigenentwicklungen von Universitäten sowie staatlichen und militärischen Einrichtungen waren, kamen in den frühen 70er Jahren die er-

sten öffentlich zugänglichen Systeme auf den Markt, die zunächst alle auf dem Rastermodell basierten. Ein deutliches Defizit verhinderte zu dieser Zeit die stärkere Verbreitung von Vektordatenmodellen. Das Konzept der *topologischen Datenstruktur* war noch nicht so weit ausgereift, daß z.B. Inselepolygone gehandhabt werden konnten, ebenso bereiteten Verschneidungsalgorithmen Schwierigkeiten. Erst in den frühen 80er Jahren leitete die Lösung dieser Probleme die rasante Ausbreitung des Vektor-GIS ein. In Verbindung mit der rasch steigenden Rechnerleistung und den sinkenden Hardwarekosten erfolgte eine weite Verbreitung der GIS-Technologie ein (vergl. WALLACE and CLARK 1988, BURROUGH 1986).

Raster- und Vektordatenmodelle

Raster- und Vektormodelle können grundsätzlich als zwei alternative Datenmodelle angesehen werden (vergl. WALLACE and CLARK 1988, EHLERS et al. 1991, STAR and ESTES 1990, Burrough 1986). Obwohl in Wirklichkeit auch andere Modelle existieren und innerhalb der Raster- und Vektordatenmodelle verschiedene Ansätze bestehen, so daß eigentlich von Raster- und Vektordatenmodellgruppen gesprochen werden müßte, soll im folgenden diese Vereinfachung beibehalten werden.

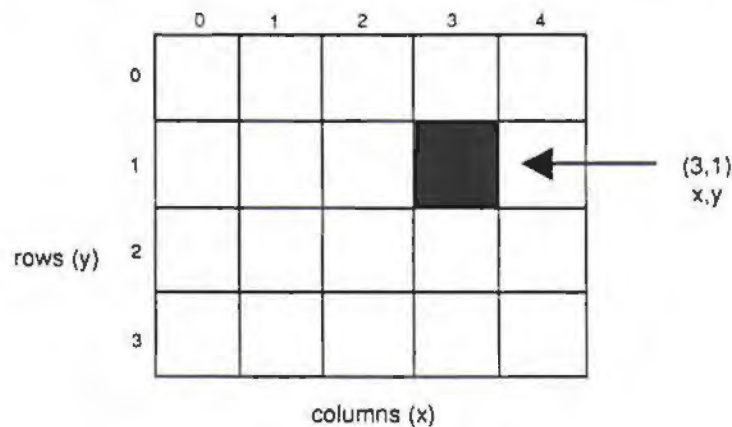
Raster- und Vektordatenstrukturen weisen Vor- und Nachteile auf. In der Fachliteratur herrschen unterschiedliche Auffassungen vor, je nachdem von welcher der beiden Seiten ein Verfasser das Thema beleuchtet "The vector method for representing spatial information has been the most common" (WALLACE and CLARK 1988). Die Verbreitung der beiden Ansätze muß auch aus ihrer Entwicklung heraus gesehen werden. So überwiegen in Anwendungsgebieten, in denen Satellitendaten in großem Ausmaß als Grundlage dienen, nach wie vor Rasterdatenmodelle, während z.B. in städtischen Informationssystemen mit Schwerpunkt auf Leitungskataster oder Verkehr Vektor-orientierte GIS dominieren.

Auch bietet die hohe Lagegenauigkeit und die vielfältigen Ausgabemöglichkeiten beispielsweise der topographischen und thematischen Kartographie die gewünschten Bedingungen. Dennoch wäre es schwierig, alle Anwendungsbereiche in raster- und vektorgeeignet zu unterscheiden, da auch innerhalb einer Disziplin die unterschiedlichen Untersuchungsziele verschiedene Lösungen bedingen. Es kann daher wohl keine generelle Antwort auf die Frage geben, welches Modell "besser" oder "schlechter" sei (vergl. z.B. EHLERS et al. 1991, S. 671).

Rasterdaten werden in einem zweidimensionalen Koordinatensystem in einem Gitter aus Zeilen (columns) und Reihen (rows) abgebildet. Jeder Punkt in diesem System wird als Wertepaar von x und y ausgedrückt. Für die Speicherung eines solchen Wertes wird wenig Platz benötigt. Die Lagegenauigkeit ist durch die Maschenweite des Gitters vorgegeben. Darüberhinaus sind die generische Form der Repräsentation und die räumlichen Beziehungen implizit vorgegeben. So verfügten bereits Anfang der 70er Jahre Raster-GIS über einfache lokale Operatoren. Später kamen Bool'sche Operatoren hinzu, die große Möglichkeiten der statistischen und räumlichen Modellierung eröffneten. Rasterdaten können aus Punkt- und Vektordaten mit geringem Aufwand abgeleitet werden oder direkt durch Fernerkundungssensoren gewonnen werden. Eine immer bedeutendere Form der Datengewinnung ist das Scannen von vorhandener analoger In-

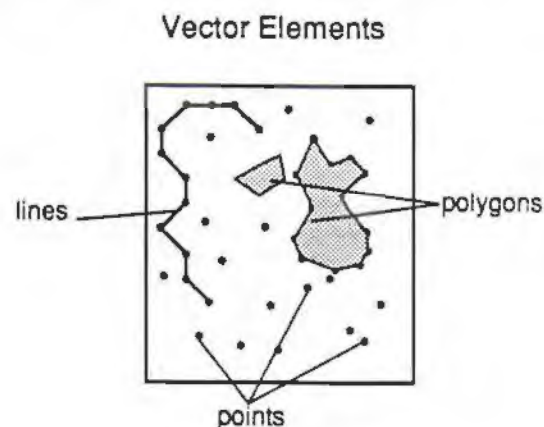
formation. Ein eigenständiges Datenmodell ist das Modell des *Quadrees*, das von verschiedenen Autoren jedoch zu der Familie der Rastermodelle gerechnet wird. Dabei wird eine Gesamtfläche geviertelt und nur diejenigen Viertel weiteraufgegliedert, die Information enthalten. Es handelt sich daher um ein baumförmig hierarchisches Rastermodell, das vor allem hinsichtlich der Zugriffsgeschwindigkeit und des Speicherbedarfs Vorteile bietet (eine detaillierte Beschreibung findet sich z.B. in BURROUGH 1986, S. 23/24).

Abb. 3.2. Das Prinzip des Rasterdatenmodells (Erdas Field Guide, S. 3)



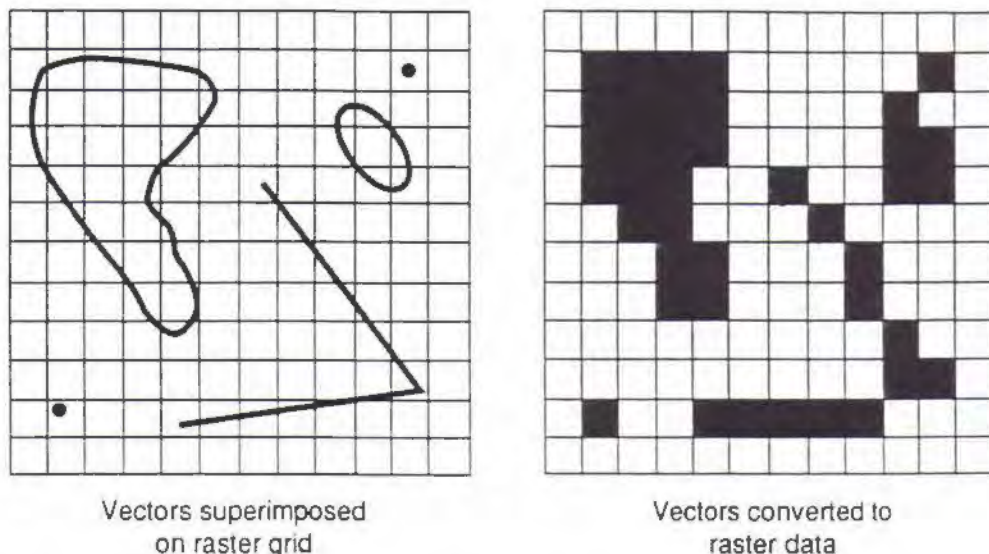
Vektordaten bestehen aus Punkten, Linien und Polygonen sowie aus alphanumerischen Attributen, die in einer Datenbank mitgeführt werden. Dabei wird im Gegensatz zu CAD-Lösungen die topologische Struktur der räumlichen Objekte in einer Datenbank geführt. Durch dieses Datenmodell kann die Wirklichkeit "beliebig genau" abgebildet werden, zumindest können die räumlichen Objekte annähernd in der Erfassungsgenauigkeit von Phänomenen der realen Welt gehandhabt werden: "Every geographical phenomenon can in principle be represented by a point, line or area plus a label saying what it is" (BURROUGH 1986, S. 13).

Abb. 3.3.: Elemente des Vektorenmodells (Erdas Field Guide, S. 45)



Mit der zunehmenden Verbreitung Geographischer Informationssysteme und der steigenden Notwendigkeit von Fernerkundungsdaten als aktueller und flächendeckender Informationsquelle (vergl. Kap. 1) kommt der Konvertierungsmöglichkeit beider Datenmodelle große Bedeutung zu. Der Rechenaufwand der **Konvertierung** vom Raster- in das Vektordatenmodell ist in fast allen Systemen deutlich höher als in umgekehrter Richtung, wobei vor allem der Aufbau einer *Arc-Node-Topologie* einen hohen Rechenleistung erfordert. Wenn auch die Verwaltung der Daten in fast allen gängigen Softwareprodukten in einem der beiden Modelle erfolgt, so verfügen heute praktisch alle leistungsfähigen GIS über Import- und Exportroutinen für Vektor- und Rasterdaten. Der Anwender ist heute trotz aller Bemühungen um eine Hybridität seitens der Hersteller meist vor die Entscheidung gestellt, ob er ein Raster- oder ein Vektor-orientiertes Modell einsetzen soll. Beide Lösungen weisen Vor- und Nachteile auf (vergl. STAR and ESTES 1990, S. 213 - 219, EHLERS et al. 1990, BLASCHKE und DOLLINGER 1991).

Abb. 3.4.: Konvertierung der Datenformate (Erdas Field Guide, S. 55)



Der Informationsgewinn aus Fernerkundungsdaten

Ein großer Vorteil der Satellitendaten ist deren Maßstabsunabhängigkeit. Diese Aussage gilt jedoch nur bis zu einem gewissen Grad: Da prinzipiell aus digitalen Fernerkundungsdaten jeder Maßstab ableitbar bzw. darstellbar ist, jedoch Darstellungen über die Detailerkennbarkeit von Objekten hinaus als sinnlos bzw. falsch zu bezeichnen sind, wird für Fernerkundungsdaten in der Regel ein Maßstabsbereich angegeben.

Die Auswahl der Daten hängt vom gewünschten Betrachtungsmaßstab und dem Untersuchungsthema ab. Oft ist auch eine Kombination verschiedener Satellitendaten von Vorteil, z.B. die Kombination von Landsat TM und SPOT P. Obwohl die spektrale Auflösung für die Analyse- und Anwendungsmöglichkeiten eine zentrale Rolle spielt, entscheidet meist die Detailerkennbarkeit von Objekten über den Einsatz von Satellitendaten. Die erste Frage zu Fernerkundungsdaten lautet daher meist: "Welches (räumliche) Auflösungsvermögen haben die Daten?" Das Auflösungsvermögen (ground resolution, IFOV) wird durch Länge und Breite des eines Bildelements (Pixels) defi-

niert. Hinsichtlich der Bestimmung der Detailerkennbarkeit von Objekten muß jedoch nach mehreren Kriterien unterschieden werden (vergl. BECKEL 1988, S. 54/55):

1. Feststellung des Objektes

Ein Objekt ist sichtbar, ohne daß dessen Natur genau beschrieben werden kann.

2. Erkennbarkeit eines Objektes

Die Natur eines Objektes kann definiert werden, z.B. ob es sich um ein Gebäude, ein Fahrzeug oder um Vegetation handelt.

3. Identifizierung eines Objektes

Man kann unterscheiden, ob es sich um ein Wohn- oder Fabriksgebäude, einen PKW oder LKW handelt oder ob ein bestimmter Fahrzeugtyp angesprochen werden kann.

4. Beschreibung eines Objektes

Sie erlaubt die genaue Darstellung des identifizierten Objektes.

Von den bisher weltweit verfügbaren Satellitendaten in digitaler Form bietet SPOT P die höchste räumliche Auflösung. Die Mindestgrößen von Objekten für die oben genannten Punkte betragen:

- Feststellung: 10 - 30 m
- Erkennbarkeit: 20 - 40 m
- Identifizierung: 60 - 180 m
- Beschreibung: 200 - 600 m

Probleme beim Einsatz von Satellitendaten bzw. Bedenken gegen einen etwaigen Einsatz sind neben den hohen Kosten und den hohen Qualifikationsanforderungen an den Bearbeiter vor allem die zuvor beschriebenen Grenzen des Auflösungsvermögens bzw. der Detailerkennbarkeit von Objekten (vergl. APFL 1989, BUCHROITHNER 1987). In der nächsten Generation der Fernerkundungssatelliten (Landsat 6/7, SPOT 3) wird die multispektrale Aufnahmetechnik auch in mittel- bis großmaßstäbigen Planungen eingesetzt werden können. Die Lagegenauigkeit der Daten ist zwar im allgemeinen schlechter als in einem vektorbasierten System, kann jedoch nach meiner Ansicht für einen Großteil der Anwendungen als ausreichend angesehen werden. Auch in diesem Bereich wird sich die Situation durch den operationellen Einsatz von GPS (*global positioning system*) sowie der bereits mit beträchtlichen Aufwand möglichen sub-Pixel-genauen Entzerrung der Daten deutlich verbessern. Daneben sind noch die hinlänglich bekannten Probleme der Schattenbildung anzuführen, die teilweise durch Methoden der digitalen Bildverarbeitung (vergl. Kap. 5.2) gemindert oder gelöst werden können.

Integration von Fernerkundungsdaten und anderen Daten in einem GIS

"Geographic Information Systems and remote sensing are linked, linked in both an historic context and functionally" (STAR, ESTES and DAVIS 1991, S. 643).

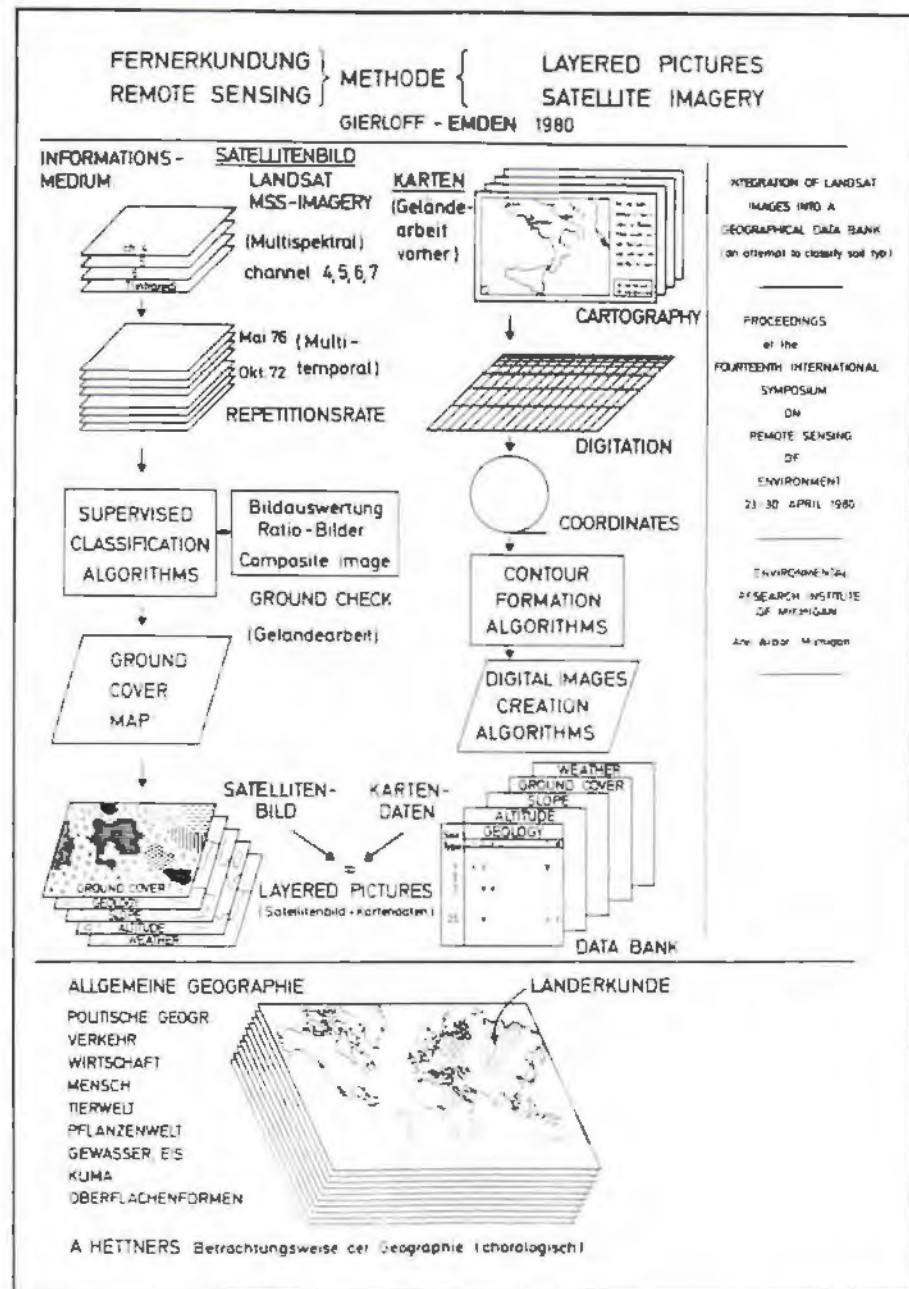
Die Kombination von Satellitenbildern und anderen Daten in einem Geographischen Informationssystem ist schon seit einigen Jahren möglich und findet nicht zuletzt aufgrund der sinkenden Hardwarekosten zunehmende Verbreitung nicht nur in Forschungseinrichtungen, sondern auch in Behörden, die mit Belangen des Umweltschutzes

und der Raumplanung konfrontiert sind. Während dieser Trend in Europa erst wenige (ca. 3 - 5) Jahre zu beobachten ist, wurden in den USA bereits Ende der 70er Jahre Fernerkundungsdaten in größerem Umfang in ein GIS integriert (vergl. TOWNSHEND 1981, S. 125f). Dabei ging man zunächst pragmatisch vor und führte in verschiedenen Projekten Fernerkundungsdaten und andere Daten in einem GIS zusammen, ohne daß ein theoretisches *GIS/Remote Sensing Processing Concept* bestand (vergl. EHLERS 1989, S. 43). JACKSON and MASON (1986, S. 139) beschreiben die Entwicklung der frühen 80er Jahre: "Remote-sensing analysts are beginning to use digital map data and some digital cartographers are beginning to look to satellite data as a means of map update, but little genuine integration of the disciplines had occurred by 1983."

Die Situation hat sich in der kurzen Zeit bis heute grundlegend verändert. Inzwischen existieren zahlreiche Aufsätze und Abhandlungen zu diesem Thema, so daß meiner Ansicht nach nicht von einem Theoriedefizit gesprochen werden kann (vergl. FAUST, ANDERSON and STAR 1991, LAUER et al. 1991, LUNETTA et al. 1991, EHLERS et al. 1991, DAVIS et al. 1991, TROTTER 1991). Vor allem am NCGIA (*National Center for Geographic Information and Analysis*) wird durch eine Forschungsinitiative führender Wissenschaftler (Initiative 12, *Integration of Remote Sensing and GIS Technologies*, Kurzfassung siehe STAR, ESTES and DAVIS 1991) der methodisch-methodologische background gefestigt. In zahlreichen Fernerkundungs- und GIS-Lehrbüchern wird der Integration von Fernerkundung und GIS inzwischen Aufmerksamkeit gewidmet.

Bis vor einigen Jahren mußten fast immer die aus analogen Quellen gewonnenen digitalen Daten in ein Geographisches Informationssystem transferiert werden, um sie mit anderen geokodierten Daten verknüpfen zu können, was oft zu Beschränkungen führte, oder negativer gesehen: "Such an interface between image processing and vector (or raster) GIS analysis is, at best, awkward and, at worst, counter productive" (DYKSTRA 1990, S. 2). Umgekehrt wurden zur Klassifikation von Satellitenbildern gescannte Zusatzinformationen vor allem für schwierige Gebiete herangezogen. Die leistungsfähigen Geographischen Informationssysteme bieten zu Beginn der 90er Jahre vielfach Methoden, um große Datenmengen handzuhaben und effektiv zu nutzen. Fernerkundungsdaten können nun von vielen Systemen als Grunddatenbasis genutzt werden, wodurch auch große Gebiete abgedeckt werden können. Umgekehrt besteht für die Fernerkundung die Möglichkeit, Vektor- oder Rasterdaten als Zusatzinformationen für Bildverarbeitungsprozesse zu integrieren. Als zukunftsweisendes Beispiel der operationellen Integration von Fernerkundungsdaten und GIS sei das *hybride grafische System* des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen erwähnt, das mit dem Ziel einer umfassenden Umweltkontrolle eingerichtet wurde und bereits erste Ergebnisse liefert (vergl. BRAEDT 1990).

Abb. 3.5.: Kombination von Satellitendaten mit Daten nach dem länderkundlichen Schema (GIERLOFF-EMDEN und WILHELM 1982, S. 41)



Lösungsansätze

Die Lösung der Zukunft ist daher eine **volle** Integration von Vektor-, Raster-GIS und Bildverarbeitungsalgorithmen. Hier zeichnen sich neue Entwicklungen ab. Selbst für den PC werden bereits Geographische Informationssysteme mit (meist eingeschränkten) Bildverarbeitungsfähigkeiten angeboten, ebenso wie den Bildverarbeitungssystemen zunehmend Raster-GIS Funktionen verliehen werden. Als Beispiele hierfür seien mit INTERGRAPH, SPANS, ERDAS und IDRISI nur einige, dem Autor geläufige Produkte genannt. Auch ist festzustellen, daß versucht wird, aus einer Fixierung in der Raster-

Vektor-Dichotomie auszubrechen. EHLERS et al. (1991, S. 670/671) teilen beispielsweise die Daten nach ihrem Ursprung ein (raster data, vector data, field data, deterministic model data, survey measurements).

Die derzeitige Situation ist durch die immer besser werdenden Möglichkeiten der Raster-Vektor- und Vektor-Raster-Konvertierung gekennzeichnet. Dennoch sind *echte hybride* Systeme sind noch kaum in Sicht, wenn sich auch einige am Markt befindliche Systeme so nennen. Vielmehr werden Systeme, die Schnittstellen zur Übernahme von Rasterdaten in ein Vektorformat oder umgekehrt anbieten, als hybride Systeme verkauft (vergl. FRITSCH 1989, S. 261).

Dennoch wird erwartet, daß durch die rapid steigende Rechenleistung bei gleichzeitigem Preisverfall in Zusammenhang mit der weiteren Verbesserung und steigenden Bedienerfreundlichkeit Geographischer Informationssysteme eine zunehmende Verbreitung in Form einer Art *Desktop-GIS* erfolgen wird (vergl. WALLACE and CLARK 1988). Ein Herabsetzen der derzeit hohen Schwelle des Einstiegs in die Geographische Informationstechnologie (GIS, Bildverarbeitung, geostatistische Analyse und kartographische Aufbereitung) erscheint mir unbedingt notwendig für einen weitverbreiteten operationellen Einsatz in Raumplanung und Umweltbeobachtung.

Die meisten bestehenden **Anwendungsbeispiele der Integration** von Satellitendaten in einem Geographischen Informationssystem gibt es in den USA und Kanada, aber auch in Deutschland und Österreich wachsen beide Technologien allmählich zusammen. Waren hier zunächst Universitäten und Forschungseinrichtungen (z.B. Institut für angewandte Geodäsie in Darmstadt, Joanneum Research in Graz, Akademie für Raumforschung und Landeskunde in Hanover, Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen) maßgeblich an der Entwicklung und Anwendung beteiligt, so findet seit wenigen (ca. 3 bis 5) Jahren in der praktischen Planung und Umweltbeobachtung ein zunächst paralleler, heute immer mehr integrativer Einsatz beider Technologien statt. Beispiele hierfür sind der Umlandverband Frankfurt, das Institut für Angewandte Geodäsie in Frankfurt, das Bayerische Ministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und das Amt der Steiermärkischen Landesregierung (vergl. SIEBERT 1990, BRAEDT 1989, 1990, BOGNER 1989, GÖPFERT 1987).

Ein weiterer Aspekt, warum Trotz der zuvor genannten richtungsweisenden Installationen nach wie vor Vorbehalte gegen den Einsatz von Satellitendaten und digitaler Bildverarbeitung in der praktischen Planung und Umweltbeobachtung bestehen, soll an dieser Stelle nur angedeutet werden. Es scheint eine Kommunikationsbarriere zwischen Natur- oder Umweltwissenschaftlern und Technikern und/oder zwischen Wissenschaftlern und Planern bzw. Politikern zu bestehen (LAUER et al. 1991, S.647). Dies erscheint mir jedoch als ein generelles gesellschaftliches Problem und nicht als eine Eigendynamik des Betätigungsfeldes von GIS und Fernerkundung.

4. DER GEPLANTE NATIONALPARK KALKALPEN

Mit einem Nationalpark verbindet der Mensch die Vorstellung, urtümliches Leben zu bewahren und die Natur vor der Industrialisierung und Erschließung sowie den wachsenden anthropogenen Umwelteinflüssen zu schützen. Doch wo in Europa gibt es einen ausreichend großen, völlig natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten Flecken Erde?

Der geplante Nationalpark Kalkalpen umfaßt als Kernräume die Gebirgsstöcke des Sengsengebirges, des Reichraminger Hintergebirges, des Toten Gebirges und der Haller Mauern und damit ein in weiten Teilen in einem naturnahen Zustand belassenes Gebiet. Von den ca. 1250 km² der Planungsfläche liegen ca. 750 km² in Oberösterreich, der Rest im Bundesland Steiermark. Da in der Steiermark außer verschiedenen Absichtserklärungen noch keinerlei konkrete Schritte unternommen wurden, beschränkt sich die Darstellung im folgenden auf das Bundesland Oberösterreich.

Die oberösterreichische Landesregierung hat in den Sitzungen vom 4. September bzw. 30. Oktober 1989 beschlossen, die Vorarbeiten für die Schaffung eines Nationalparks unter dem Arbeitstitel *Oberösterreichische Kalkalpen* in Angriff zu nehmen (Nationalparkkurier S.3). Im April 1990 wurde die Nationalparkplanungsstelle in Kirchdorf/Krems eingesetzt.

Für das 750 km² große Planungsgebiet bestanden bereits seit Jahren Pläne für eine Unterschutzstellung. Im Jahre 1976 wurde das Sengsengebirge unter Naturschutz gestellt, 1988 wurden die Gebiete Zeckerleithen, Fleischmäuern, Kamper Mauern, Haller Mauern und Bosruck als Naturschutzgebiete ausgewiesen. Aufgrund des hohen Wertes der unberührten Naturlandschaften des Reichraminger Hintergebirges, des Sengsengebirges und des Toten Gebirges fordern Naturschützer schon lange die Sicherung dieser Gebiete in Form eines Nationalparks. Ende der 80er Jahre hat sich die gesellschaftliche Grundhaltung zu Natur- und Umweltschutz offensichtlich so weit gefestigt, daß auch viele Politiker die Bewahrung wertvoller Kultur- und Lebensräume als notwendig erachten. Da die Schutzform eines Nationalparks bisher in Oberösterreich nicht gesetzlich verankert ist, bedarf es eines eigenen Gesetzes.

Um im Nationalpark wirksame Schutzmaßnahmen durchführen zu können, ist es erforderlich, biologische, geomorphologische, hydrologische und geologische Grunddaten zu erhalten. So wurde bereits in einem sehr frühen Stadium der Planung das Nationalpark-Forschungszentrum in Molln eingerichtet.

4.1. Nationalparkkriterien und Schwierigkeiten der Realisierung

Da der geplante Nationalpark von Beginn an die Voraussetzungen für die internationale Anerkennung aufweisen soll, wurden schon frühzeitig Kontakte zu anderen Nationalparks (Hohe Tauern, Berchtesgaden, Bayerischer Wald) aufgenommen, um die Planungen bzw. den Gesetzentwurf auf die internationalen Richtlinien der IUCN (International Union for Conservation of Nature) auszurichten. Die IUCN ist eine Organisation, die im Auftrag der UNO internationale Richtlinien für Schutzgebiete ausgear-

beitet hat. Dabei werden in einer Art Ordinalskala verschiedene Schutzstufen ausgewiesen. Vereinfacht ist nach der Resolution der 10. Generalversammlung der IUCN 1969 in Neu Delhi ein Nationalpark ein verhältnismäßig großes Gebiet, in dem

1. ein oder mehrere Ökosysteme nicht wesentlich durch menschliche Nutzung oder Inanspruchnahme verändert sind, in dem Pflanzen- und Tierarten, geomorphologische Erscheinungen sowie Biotope von besonderer Bedeutung für Wissenschaft, Bildung und Erholung sind oder das eine besonders schöne natürliche Landschaft aufweist,
2. die oberste zuständige Behörde des betreffenden Staates Maßnahmen getroffen hat, im gesamten Gebiet so früh wie möglich die Nutzung oder jede andere Inanspruchnahme zu verhindern oder zu beseitigen und wirksam sicherzustellen, daß die ökologischen, geologischen, morphologischen und ästhetischen Eigenschaften, die zur Ausweitung des Schutzgebietes geführt haben, unantastbar bleiben und in dem
3. Besucher unter bestimmten Bedingungen zur Erbauung, Bildung, Kulturvermittlung und Erholung, Zutritt gewährt wird.

Ohne diese Kriterien verwässern zu wollen und dennoch auch traditionellen Kulturlandschaften, in denen unberührte Naturlandschaften größeren Ausmaßes praktisch nicht mehr zu finden sind, Nationalparke zu ermöglichen, wurde bereits 1973 auf der 11. Generalversammlung der IUCN in Banff der Begriff etwas erweitert. Demnach können Nationalparke auch folgende Zonen beinhalten:

- geschützte Naturlandschaften mit strengen Schutzbestimmungen mit oder ohne Pflegemaßnahmen sowie durch menschliche Nutzung unverändertes Wildnisgebiet
- geschützte Kulturlandschaften mit Bereichen traditioneller menschlichen Kulturen und althergebrachter Wirtschaftsformen
- geschützte Gebiete von geschichtlicher oder urgeschichtlicher Bedeutung
- Erschließungszonen mit den für das Management und die Nutzung des Nationalparks notwendigen Einrichtungen.

Dennoch müssen nach dem Beschluß von Banff die Naturlandschaft oder die unveränderte Wildnis flächenmäßig überwiegen.

Um die angeführten Ziele verwirklichen zu können, hat die oberösterreichische Landesregierung allein für Forschungszwecke 10 Millionen Schilling für 1990 zur Verfügung gestellt; in gleicher Höhe wurden auch Bundesmittel gewährt. Für das Haushaltsjahr 1991 geht die Planungsstelle vorläufig von der gleichen Summe aus. Da die Nationalparkplanungsstelle selbst nicht über das notwendige wissenschaftliche Personal verfügt, werden die meisten Forschungsarbeiten als Werkaufträge vergeben. Vordergründiges Ziel ist dabei die Erhebung des gegenwärtigen Zustandes des Naturraumes mit dem Ziel von Langzeitbeobachtungen (*monitoring*). In einem ersten Schritt wird dabei das Sengsengebirge erfaßt, das einen wesentlichen Kernbereich des geplanten Nationalparks darstellt (vergl. HASEKE 1990).

Ähnliche Schwierigkeiten der Einhaltung dieser internationalen Richtlinien wie im Nationalpark Hohe Tauern sind im geplanten Nationalpark Kalkalpen jedoch abzusehen. Da nach den internationalen Bestimmungen die wirtschaftliche Nutzung durch Bewei-

dung, Forstwirtschaft, Abbau von Bodenschätzen sowie der Jagd verboten und eine vorläufige Nutzung auf Zeit nur unter ganz bestimmten Umständen und mit einer fixen Begrenzung möglich ist, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine baldige Realisierung erwartet werden. Eine von der Nationalparkplanungskommission in Erwägung gezogene Möglichkeit wäre eine baldmöglichste Realisierung des Nationalparks auch ohne sofortige internationale Anerkennung. Dadurch könnte wenigstens der gegenwärtige Erschließungsgrad "eingefroren" und weitere Maßnahmen fremdenverkehrswirtschaftlicher oder energiewirtschaftlicher Art verhindert werden. Ohne im Detail in dieser Arbeit auf die Probleme der Forstwirtschaft und der Jagd eingehen zu wollen, weise ich an dieser Stelle darauf hin, daß eine Problemlösung wohl nur in Zusammenarbeit mit den Bundesforsten als Hauptwaldbesitzer denkbar ist. Durch ein eigenes Bundesforstegesetz (aus den 30er Jahren) zu wirtschaftlichen Handeln gezwungen, ist ohne eine Initiative des Gesetzgebers von den Bundesforsten kein entschädigungsloses Abtreten der Nutzungsrechte zu erwarten. Noch größerer Widerstand kommt von den privaten Waldbesitzern und von der mächtigen Lobby der Jäger. Vor allem die sensiblen Karstzonen des Sengsengebirges und des Toten Gebirges vertragen keine Konzentration des Wildes. In diesen und in weiteren Bereichen muß in Zukunft zumindest die großangelegte Fütterung unterbleiben, um den Wildbestand auf ein natürliches Maß zurückzuführen.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, daß eine große Mehrheit der oberösterreichischen Bevölkerung den Nationalpark befürwortet. Im Bezirk Kirchdorf sind nach einer Umfrage vom April 1991 8% der Bevölkerung gegen einen Nationalpark, 22% wollen den Nationalpark auf die hochgelegenen Regionen oberhalb der Waldgrenze beschränkt wissen. 29% sind für einen Nationalpark wie er derzeit geplant ist und 35% sprechen sich dafür aus, den Nationalpark noch strenger auszulegen als geplant (Oberöstr. Nachrichten, 14. 5. 1991, S. 13). Lediglich in der stark vom Fremdenverkehr abhängigen Gemeinde Hinterstoder überwiegt die Ablehnung. Hier wurde von verschiedenen Interessenverbänden teils in einer unsachlichen Art frühzeitig Stimmung gegen den Nationalpark gemacht. Die geplante Zoneneinteilung und eine zwei, eventuell dreistufige Realisierung sollen jedoch dafür sorgen, daß trotz der beschriebenen Probleme wenigstens ein Anfang in der Errichtung des Nationalparks getan wird und jegliche alternative Nutzungen dadurch verhindert werden.

4.2. Räumliche Gliederung und mögliche Zoneneinteilung

Das Gebiet des geplanten Nationalparks umfaßt die Bundesländer Oberösterreich und Steiermark. Die Fläche beträgt ca. 1250 km², davon 750 km² in Oberösterreich. Der oberösterreichische Anteil betrifft die Gemeinden Weyer-Land, Großraming, Reichraming, Molln, Rosenau, Spital a.P., Windischgarsten, Roßleithen, Vorderstoder, Hinterstoder, Grünau, Klaus, St.Pankraz, Ebensee, Bad Ischl, und Bad Goisern. Das Planungsgebiet reicht von den Voralpen an der Enns bis in die hochalpinen Regionen der Kalkalpen.

Abb. 4.1. (folgende Seite): Der geplante Nationalpark Kalkalpen mit der angestrebten Zoneneinteilung (Entwurf RUSSMANN 1991)

Sengsengebirge

Das Sengsengebirge ist ein relativ unberührter, zur Gänze verkarsteter Gebirgsstock der nördlichen Kalkvorpalen. Es sperrt als asymmetrische Wettersteinkalk-Antiklinale das Windischgarstener Becken im Norden ab. Dem steil abstürzenden Nordflügel steht ein flacherer Gewölbesattel im Süden gegenüber. Dem Hauptkamm sind als Ausläufer die Spitzberge sowie Sonntagmauer und Rotgsoll vorgelagert, die ebenfalls verkarstet sind. Typisch für das Sengsengebirge ist die durch den steilen Schichtbau bedingte Kettenform mit einer etwas breiteren Kuppenform um Hohen Nock und Gamsplan (1700 - 1900 m) und den schüsselförmig absinkenden Karen oder "Gruben" (1300 - 1500 m) (HASEKE 1990, S. 7).

Durch die starke Verkarstung und Wasserarmut an der Oberfläche in den höheren Lagen ist die wirtschaftliche Nutzung des Gebietes durch den Menschen von jeher gering. Dort, wo die in früheren Jahrhunderten durch enormen Arbeitseinsatz geschaffenen Almen aufgelassen wurden, bestehen große Problemgebiete durch den Bodenabtrag und die geringe Bodenneubildung (ebda., S. 8). In weiten Bereichen, in denen die natürlichen Lebensbedingungen vorherrschen, stellt das Sengsengebirge einen großartigen Lebensraum für Tier- und Pflanzenwelt dar. Fast alle geschützten Tierarten Oberösterreichs kommen hier vor.

In Hinblick auf die Schutzwürdigkeit des Sengsengebirges durch einen Nationalpark weist HASEKE (1990, S.150) auf die Sonderstellung des Kettenkarstes in den Ostalpen sowie auf die großen Bestände an Latschenurwäldern und ausgedehnten Naturwaldbeständen hin. Er hält es ebenso wie der Autor für wenig befriedigend, die bereits unter Naturschutz stehenden Hochlagen neu zu schützen, sondern schlägt vor, große Areale der Mittel- und Tieflagen des Sengsengebirges in die Kernzonenabgrenzung mit einzubeziehen.

Reichraminger Hintergebirge

Nach der ÖK 50, Blatt 69, Grossraming, wird als Reichraminger Hintergebirge nur der Bereich südlich des Jörglgrabens und des Tal des Schwarzen Baches bezeichnet. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird der Begriff jedoch wesentlich weiter gefaßt. Ebenso wie in der geologischen Literatur (vergl. TOLLMANN 1985, S. 197 - 202) wird das ganze Einzugsgebiet des Reichraminger Baches dazu gerechnet, das eine Fläche von 168 km² umfaßt.

Geologisch ist das Gebiet als Teil der Nördlichen Kalkalpen vorwiegend aus triatischen Gesteinen (Hauptdolomit, Wettersteinkalk, Kössener Schichten), Liaskalken (vor allem Hierlatzkalk), Juraschichten, gosauischen Kreideschichten und Neokommergeln aufgebaut. Die Bergkämme erreichen Höhen zwischen 900 und 1300 m. Die höchste Erhebung bildet der aus Wettersteinkalk bestehende Große Größtenberg mit einer Höhe von 1724 m.

Das Landschaftsbild wird stark von den geologischen Bedingungen geprägt: Die weichen Schichten führen zu sanfteren Oberflächenformen, auf denen sich Böden entwickeln konnten, die eine gute Grundlage für die Alm- und Forstwirtschaft bilden. Dies trifft vor

allen auf in Verflachungen und Mulden vorkommende, relativ weiche und gut verwit-
terbare Neokommern zu. Die harten Gesteine werden dagegen von schluchtartigen
Engstellen durchzogen, die den typischen Kerbtalcharakter des Gebietes bewirken und
in dem größere Talweitungen fehlen. Die bereits seit dem Mittelalter betriebene
Holzgewinnung für die Köhlerei veränderte die ursprüngliche Waldzusammensetzung
und schuf die bekannten Trifsteige und Klausen entlang kerbtal- bis schluchtartig ein-
geschnittener Flußabschnitte. Die heutigen Oberflächenformen werden neben der re-
zenten erosiven Flußtätigkeit von der pleistozänen Morphodynamik bestimmt. Einen
markanten, N - S verlaufenden Einschnitt bildet das ca. 10 km lange, meanderförmig
verlaufende Kerbtal des Großen Baches, das in mehreren Abschnitten spektakuläre
Klammern bildet.

Abb. 4.2.: Die Landschaft des Reichraminger Hintergebirges



Obwohl außerordentliche faunistische und floristische Raritäten im Reichraminger Hin-
tergebirge kaum bekannt sind, erscheint eine strenge Unterschutzstellung aufgrund der
Vielfalt der weitgehend naturnahen Landschaften, der unberührten, ursprünglichen
Wasserläufe und des verhältnismäßig geringen Erschließungsgrades weiter Bereiche als
erforderlich.

Totes Gebirge, Warscheneck, Haller Mauern

Das **Tote Gebirge** bildet einen markanten Gebirgsstock des mittleren Abschnitts der
nördlichen Kalkalpen zwischen Traun und Pyhrnlinie und ist namensgebend für

eine eigene Teildecke des Tirolikums (*Totengebirgsdecke*, vergl. TOLLMANN 1985, S. 202). Die Stirnfalte dieser Decke kommt zwischen Offensee und Almtal im Wettersteindolomit, östlich des Almtals im Muschelkalk zu liegen. Das Innere der Totengebirgsdecke wird aus der regelmäßigen Serie des Wettersteinkalks aufgebaut, die nur an den Nordabfällen zu Tage tritt. Das bekannte und charakteristische Hochgebirgsplateau des Toten Gebirges besteht aus Dachsteinkalken. Dadurch ergibt sich die überaus unruhige Oberfläche mit den zahllosen Karsthohlformen. Im Satellitenbild ist je nach Auflösung (SPOT P deutlich) die starke kleinräumige Relieflertheit bei einer übergeordneten Ver-ebnungsfläche ebenso wie verschiedene, etwa SW - NE-verlaufende Bruchlinien, gut zu erkennen.

Das **Warscheneck** stellt einem Höhenzug dar, der nur durch das 1684 m hohe Salzsteigjoch von dem Massiv des Toten Gebirges im Westen getrennt ist. Dennoch wird die Warscheneckdecke von TOLLMANN (1985, S. 202/203) als eigene Teildecke des Tirolikums definiert. Trotz der geringeren Höhenlagen dominieren in den Gipfel- und Plateaubereichen die Karstformen an der Oberfläche. An den tiefer gelegenen Hängen und in den Mulden herrscht dagegen eine Waldhedeckung vor.

Der stark verkarstete Kalkstock des Warschenecks besteht in den zentralen Bereichen aus Dachsteinkalk und weist starke Verkarstungserscheinungen mit dem entsprechenden unterirdischen Entwässerungssystem auf. Erst in einer Höhe von 800 bis 1000 m trifft das Wasser auf undurchlässigere Schichten, zumeist Werfener Schiefer. Daher sind in dieser Höhenlage zahlreiche Quellen anzutreffen, wie z.B. der bekannte Pießlingursprung. Inmitten der vegetationsarmen Region liegen einige Karstmulden, wo die Kalkschichten durch wasserundurchlässige Mergel und Schiefer abgedichtet sind, wie die kleine Stubwiesalm und die touristisch stark frequentierte Wurzeralm.

Mögliche Zoneneinteilung

Kernzone

Ziel ist der Schutz der Natur vor allen weiteren Eingriffen des Menschen zur wirtschaftlichen Nutzung des Gebietes (nachzulesen in verschiedenen Informationsblättern der Nationalparkverwaltung). Als einzige Ausnahme soll die traditionelle Bewirtschaftung der Almen als landschaftsprägendes und landschaftserhaltendes Element gefördert werden. Die Jagd soll auf eine reine Regulierungsjagd auf Schalenwild eingeschränkt werden. Alle Gebiete sind weiterhin frei zugänglich, Wege und Schutzhütten sollen umweltverträglich gestaltet werden (Solarenergie, biologische Kläranlagen etc.).

Randzone

Sie soll einen gewissen Schutzgürtel der unberührten Naturzone hin zum Kulturland bilden. Daher sollen Großerschließungen, wie z.B. Panoramastraßen, Schottergruben oder Hotelkomplexe, verboten sein. Die Forstwirtschaft soll nicht beeinträchtigt werden, es sollen jedoch Anreize zu einer naturnahen Waldbewirtschaftung geschaffen werden.

Die geplante Abgrenzung ist in Abbildung 4.1. dargestellt. Bei dem von der Nationalparkplanungsstelle ausgearbeiteten Abgrenzungsvorschlag der Kernzone und der

Außenzone mußten bestehende Großerschließungen Berücksichtigung finden. Daher kommt es vor allem durch die Pyhrnautobahn zu einer starken Zerschneidung des Nationalparkgebiets. Darüberhinaus müßte nach meiner Ansicht geprüft werden, ob die anschließenden Natur- und Kulturlandschaften nicht auch in irgendeiner Form geschützt werden sollten. Trotz des Bewußtseins, wie schwierig die Realisierung des Nationalparks überhaupt ist, sollte dennoch daran gedacht werden, angrenzende Landschaften, z. B. das Steyrtal, in eine ökologische Planung miteinzubeziehen.

4.3. GIS und Nationalpark

In nordamerikanischen Nationalparks werden *Geographische Informationssysteme* und *Fernerkundung* seit Jahren in großem Umfang eingesetzt. "In terms of acreage, approximately three quaters of the total acreage within the NPS (*National Park Service*, eig. Anmerkung) is being worked on this manner" (NYQUIST 1991, S. 291).

In europäischen Nationalparks besteht in dieser Hinsicht ein großer Handlungsbedarf. Nur in wenigen Fällen werden bisher *Geographische Informationssysteme* operationell eingesetzt, wobei der Nationalpark Berchtesgaden dabei eine Art Vorreiterrolle spielte. In Österreich begann die Verwaltung des Nationalparks Hohe Tauern spät mit diesen Überlegungen und befindet sich gegenwärtig erst in einer Konzeptionsphase. Im geplanten Nationalpark Kalkalpen setzt man dagegen von Anfang an auf die Geographische Informationstechnologie und richtete bereits in einer frühen Planungsphase im Forschungszentrum Molln ein Nationalpark-GIS ein.

Ohne auf die Konzeption eines GIS im Detail eingehen zu wollen, sollen hier kurz die im Zusammenhang mit dem geplanten Nationalpark Kalkalpen entscheidenden **Merkmale und Fähigkeiten eines GIS** hervorgehoben werden (nach BURROUGH 1986, DORNINGER 1990, verändert):

- Sämtliche Schritte der Handhabung räumlicher Daten sollen computergestützt durchgeführt werden.
- Aufbau eines digitalen Grundkartenwerks mit den wichtigsten relevanten Aspekten amtlicher Kartenwerke. Dabei sind digital vorhandene Datenbestände auf direktem Weg zu integrieren.
- Bereitstellung einer definierten gemeinsamen Basis für multidisziplinäre Forschungsarbeiten, die eine Übernahme von Ergebnissen von Werkverträgen und Forschungsaufträgen gewährleistet.
- Hochwertige kartographische Gestaltungs- und Ausgabemöglichkeiten zur Dokumentation von Forschungsergebnissen, von Arbeiten der Verwaltung und Besucherinformationen.
- Jederzeit interaktiver Zugriff auf die gesamte Datenbasis für Forschungs-, Verwaltungs- und Besucherinformationsangelegenheiten.
- Möglichkeiten der Bildintegration (Luft- und Satellitenbilder, digitale topographische und thematische Karten)

- Durch die analytischen Fähigkeiten des GIS bieten sich hochwertige Möglichkeiten kausaler Vernetzung als Planungsgrundlage.
- Die dynamische Simulation von alternativen Entscheidungsmöglichkeiten mit möglichen räumlich-zeitlichen Konsequenzen.

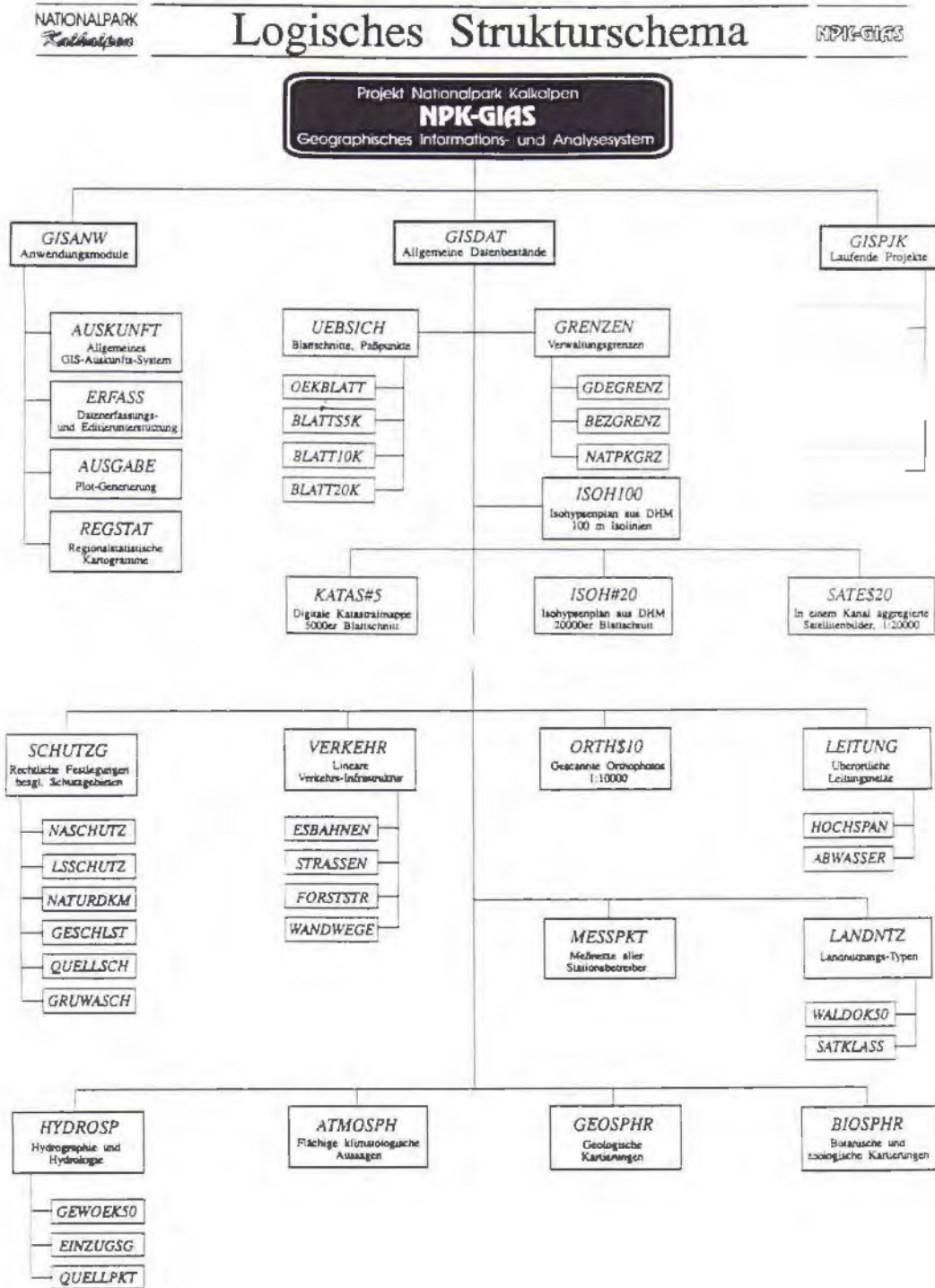
Die konkreten Ziele, die mit der Einrichtung eines GIS im Nationalpark Kalkalpen verfolgt werden, lassen sich vereinfacht (vergl. DORNINGER 1990) folgendermaßen zusammenfassen:

- Aufbau eines räumlichen Referenzrahmens zur Vergleichbarkeit und Integrierbarkeit sämtlicher räumlicher Informationen.
- Zusammenführung, Analyse und kausale Vernetzung der Daten, wobei eine Transparenz der Berechnungsschritte und der analytischen Operationen möglich (aber nicht selbstverständlich, eig. Anmerkung) ist.

Das NATIONALPARK KALKALPEN - GEOGRAPHISCHE INFORMATIONS- UND ANALYSESYSTEM (NPK-GIAS) soll langfristig alle naturräumlichen, administrativen und wirtschaftlich bedeutenden Sachverhalte der Nationalparkregion in digitaler Form enthalten. Die Einsatzbereiche erstrecken sich dabei von der Forschungscoordination über die Unterstützung der Planung und Verwaltung bis hin zur Öffentlichkeitsarbeit (vergl. DORNINGER 1991). Als dringlichste Aufgabe gilt dabei zunächst der Aufbau der Basisdatenbestände, zu denen das Ergebnis dieser Arbeit gerechnet werden kann. Die Gewinnung der Basisdaten schreitet vor allem durch den immer bedeutenderen Einsatz automatischer und halbautomatischer Erfassung (*Scannen* bzw. *halbautomatisches Vektorisieren* mit spezieller Software) rasch voran, während verständlicherweise noch kaum Produkte einer spezifischen GIS-Produktion (Verschneidung, Analyse, Integration der Daten und statistische und/oder kartographische Dokumentation) existieren. Eine ausführliche Beschreibung der GIS-Installation, der Projektspezifikationen sowie der personellen Situation findet sich in DORNINGER (1990, 1991). Die folgende Abbildung gibt einen Überblick der vorhandenen und geplanten Datenschichten in dem Nationalpark-GIS.

In Hinblick darauf, daß immer wieder die Frage aufgeworfen wird, ob Satellitenfernerkundung nicht zu teuer und technisch zu aufwendig wäre, soll nochmals auf die weitreichenden Erfahrungen in Nordamerika hingewiesen werden. NYQUIST (1991, S. 291) kommt zu dem Schluß, "the use of satellite data, however, has become the method of choice to very efficiently and cost effectively develop vegetation/landcover information." Wie die vorliegende Arbeit zeigen soll, trifft diese Aussage durch die Möglichkeit des Einsatzes von panchromatischen SPOT-Daten und die Kombinationsfähigkeiten eines Bildverarbeitungssystems auch auf die kleingliedriger strukturierten und zumeist kleiner dimensionierten Naturräume Mitteleuropas zu.

Abb. 4.3.: Das NPK-GLAS (DORNINGER 1990)



5. METHODEN DER DIGITALEN BILDVERARBEITUNG IN HINBLICK AUF DIE STUDIE NATIONALPARK KALKALPEN

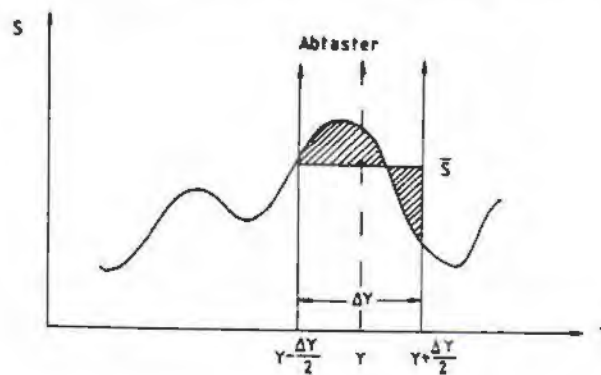
5.1. Warum digitale Bildverarbeitung?

Ziel jeglicher Aufbereitung, Verarbeitung und Interpretation von Fernerkundungsergebnissen ist es, die Daten so aufzubereiten, daß der Benutzer auf die enthaltene Information möglichst gut zugreifen kann. Bildverarbeitung kann allgemein als die Transformation eines Eingabebildes in ein Ausgabebild verstanden werden. Fernerkundungsdaten können entweder manuell bzw. visuell oder mit Hilfe eines computergestützten interaktiven Bildverarbeitungssystem ausgewertet werden. Die **visuelle** Methode muß sich zwangsläufig auf eine landeskundlich-geographische Betrachtung beschränken, wie etwa auf das Abgrenzen von Landschaften bzw. homogenen morphologischen Einheiten. Sie beruht auf der Interpretation von Farben, Texturen und Strukturen sowie auf dem Erfassen der Zusammenhänge, was oftmals große Erfahrung und Gebietskenntnis des Interpreten voraussetzt. Sollen die Informationen jedoch in bestimmte Kategorien (Klassen) eingeteilt werden und hinsichtlich Qualität und Quantität bewertet werden, so ist der Einsatz von **computergestützter Bildverarbeitung** unumgänglich.

Diese Beschreibung beider Vorgangsweisen beinhaltet keineswegs eine Wertung. Zwar beschränken sich die Möglichkeiten der visuellen Interpretation auf bestimmte inhaltliche Bereiche, doch erfordern sie ein großes Vorwissen, langjährige Erfahrung und Kenntnisse des Gebietes und bieten für verschiedene Aussagen hervorragende Lösungsansätze. Es soll daher keineswegs behauptet werden, daß die visuelle Interpretation von Satellitenbildern nicht sinnvoll und nützlich wäre.

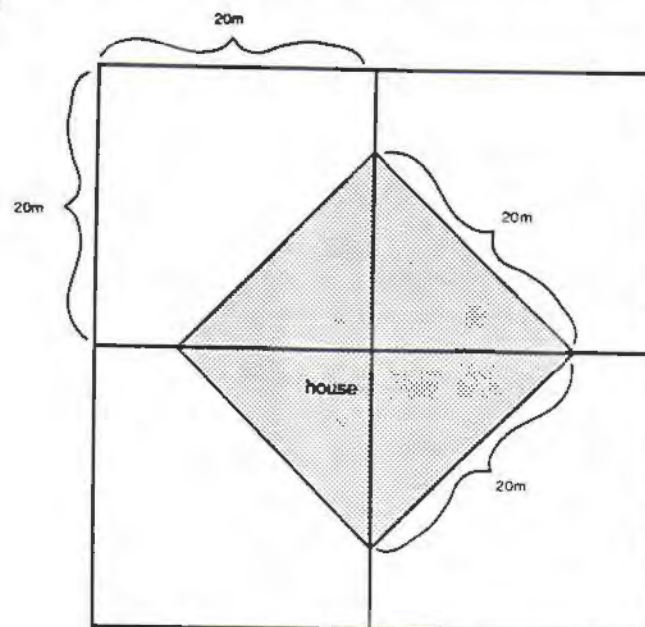
Satellitenfernerkundungsdaten werden meist nicht in Form von Bildern aufgenommen. Abgesehen von einigen kurzlebigen spezifischen Missionen wie *SIR-A*, *Metric Camera*, *Large Format Camera*, werden die meisten Satellitendaten in **digitaler Form** auf die Erde übermittelt. Erst nach der Bearbeitung entsteht häufig als Produkt ein Bild. Ein Multispektralscanner wie der Landsat Thematic Mapper besteht im wesentlichen aus einem wippenden Spiegel, der die Erdoberfläche während des Fluges senkrecht zur Flugrichtung abtastet und optischen Bauteilen, die die auf den Spiegel auftreffende remittierte Strahlung umlenken und in definierte Spektralbereiche zerlegen sowie aus Dedektoren, die die auftreffende Strahlung in elektrische Impulse umwandeln. Aus der Flughöhe und der Abtastoptik ergibt sich die spezifische Auflösung (IFOV, vergl. Kap. 2.1). Der in den meisten Systemen in 8 bit (256 mögliche Ausprägungen) gemessene Rückstrahlungswert wird als Bildelement oder Pixel bezeichnet. Der Wert entspricht dabei genau genommen dem gleitenden Mittelwert der in Scanrichtung von der Erdoberfläche remittierten elektromagnetischen Strahlung, wie aus der folgenden Abbildung hervorgeht (vergl. KALLIANY 1986, KRAUS und SCHNEIDER 1986).

Abb. 5.1.: Gleitende Mittelwertbildung bei der Abtastung (KRAUS und SCHNEIDER 1986)



Ein überaus häufiges Phänomen ist die Entstehung von **Mischpixeln**. Die folgende Abbildung verdeutlicht das Prinzip, bei dem der gemessene Reflexionswert pro Bildelement weder dem spektralen Rückstrahlungsverhalten des Mediums *Haus* noch dem des Mediums *freie Fläche* entspricht.

Abb. 5.2.: Entstehung von Mischpixeln, dargestellt am Auflösungsvermögen des SPOT XS (Erdas Field Guide, S.16)



Bei der Satellitenfernerkundung fallen riesige Datenmengen an. Eine einzige Landsat-TM - Szene mit einer Bodenbedeckung (IFOV) von 185 x 185 km stellt ein Datenvolumen von 273 Mbyte dar. Bei der Verarbeitung von mehreren Szenen, etwa für eine flächendeckende Landnutzungsklassifikation oder bei multitemporalen Analysen, erreicht man schnell Dimensionen von einigen bis vielen Gigabyte. Diese Fakten sprechen eindeutig für eine computergestützte (digitale) Auswertung. Auch ist das menschliche Auge auf die Unterscheidbarkeit einer gewissen Anzahl von Farben oder Grautönen beschränkt, während am Bildschirm drei Kanäle gleichzeitig betrachtet werden können.

Der Computer ermöglicht z.B. alle sieben Originalkanäle des Thematic Mapper sowie weitere künstliche Kanäle, z.B. Ratios, für Analysen zu verwenden.

Die digitale Bildverarbeitung nahm ihren Anfang in den 60er Jahren, als eine kleinere Gruppe von Forschern von Flugzeugen aus aufgenommene, multispektrale Scannerdaten und nachträglich gescannte Luftbilder analysierte (vergl. LILLESAND and KIEFER 1987, S. 610). Erst nach dem Start von Landsat 1 im Jahre 1972 waren digitale Fernerkundungsdaten für verschiedenste Anwendungsbereiche großflächig zugänglich. Die Computertechnologie war jedoch teuer und die Rechenleistung eingeschränkt. Dennoch stammen auch aus dieser Zeit hervorragende Auswertungen von Satellitenbildern. Die Entwicklung der digitalen Bildverarbeitung verlief parallel zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Hard- und Software und den deren sinkenden Preisen.

Die Vorteile der digitalen Bildverarbeitung liegen im Vergleich zur visueller Interpretation in folgenden Punkten (nach SCHOWENGERDT 1983, S. 57/58):

1. Da die Originaldaten meist in digitaler Form vorliegen, bieten sie die besten Möglichkeiten, die maximale spektrale und räumliche Information aus einer Szene herauszuholen.
2. Digitale Bildverarbeitung ist flexibler als visuelle Interpretation. Die Flexibilität ist jedoch begrenzt durch den unvermeidlichen Kompromiß zwischen Rechenzeit und Genauigkeit der Ergebnisse.
3. Die zunehmende Verfügbarkeit von leistungsstarken und billigen Computern erlaubt immer mehr Forschern wiederholbare und quantifizierbare Analysen.

5.2. Methoden der digitalen Bildverarbeitung

Die im folgenden beschriebenen Methoden der digitalen Bildverarbeitung werden zur besseren Übersicht in Gruppen eingeteilt. In der praktischen Arbeit sind viele Verfahren jedoch eng miteinander verbunden, so daß diese Einteilung keine allgemeine Gültigkeit beansprucht. Auf die große Gruppe der Integraltransformationen (z.B. Fourier-Transformation) wird hierbei nicht näher eingegangen. Ansonsten werden die gebräuchlichsten Techniken hinsichtlich der durchzuführenden Landnutzungsklassifikation dargestellt.

5.2.1. Rektifizierung und atmosphärische Korrektur

Von Satelliten oder anderen Trägersystemen aufgenommene Rohdaten repräsentieren die unregelmäßige Erdoberfläche. Selbst bei Aufnahmen in flachen Gebieten wird die Aufnahmegeometrie durch die Erdkrümmung beeinflusst. Der Prozeß der Entzerrung der Rohdaten und der Überführung in ein Koordinatensystem ist arbeits- und rechenaufwendig. Der Bezug zwischen beiden Projektionen wird zumeist über Paßpunkte (*ground control points* = GCP) hergestellt. In einem stark bewegten (gebirgigen) Relief erscheint häufig die Zuhilfenahme eines Digitalen Geländemodells (DGM) erforderlich. Im vorliegenden Fall des Nationalparks Kalkalpen mußte aus Kostengründen darauf verzichtet werden. Die Entzerrung über (genügend viele) Paßpunkte wurde mit

Hilfe von Vektordaten überprüft und brachte ein befriedigendes Ergebnis. Für den Bereich des Triangulierungsblattes 5329 liegen beispielsweise die Abweichungen zwischen den Vektordaten und den im Satellitenbild erkennbaren Straßen zwischen 5 und 65 Metern, meist zwischen 10 und 20 Metern. Eine radiometrische Korrektur unter Berücksichtigung der atmosphärischen Verhältnisse wurde nicht durchgeführt.

Bei einer geometrischen Transformation werden die Daten des Eingangsbildes in der für das Ausgabebild gewählten Matrix neu geordnet. Dieser Vorgang wird allgemein als *Resampling* bezeichnet. Dabei werden die Grauwerte der Bildmatrizen so interpretiert, daß sie jeweils der Mitte des Pixels mit runden Koordinaten zugeordnet werden. Mögliche Verfahren der Rektifizierung sind:

- *nearest neighbor*: Die Intensität des nahegelegensten Pixels wird dem Ergebnispixel zugewiesen
- *bilineare Interpolation*: Aus den vier direkt benachbarten Pixeln wird der Ergebniswert berechnet
- kubisches Verfahren (*cubic convolution*): Aus den 16 umgebenden Pixeln wird in einem Rechenverfahren höherer Ordnung der Ausgabewert berechnet.

Während die *nearest neighbor*-Methode am meisten verwendet wird und auch in der vorliegenden Studie großteils eingesetzt wird, weist die *bilineare Interpolation* den Vorteil der größeren Lagegenauigkeit auf. Dagegen wird beim bilinearen Verfahren ebenso wie beim kubischen und allen Verfahren höherer Ordnung der Wert der Bildelemente (DN) verändert (Vor- und Nachteile: vergl. CURRAN 1985, S. 194, LILLESAND and KIEFER 1987, S. 612 - 616).

5.2.2. Bildverbesserung (Image Enhancement)

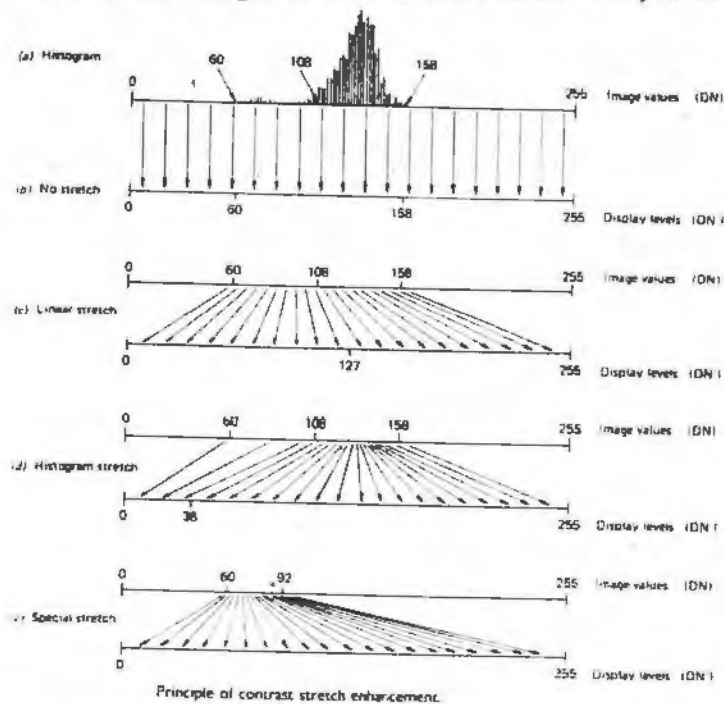
"Image enhancement is the process of making an image more interpretable for a particular application" (Erdas Field Guide S.93).

Der erste Schritt der Bearbeitung von Satellitenbildern am Computern besteht zumeist darin, das Bild für das menschliche Auge aussagekräftiger (interpretierbarer) zu machen. Dabei werden in der Regel nicht die Reflexionswerte der einzelnen Pixel (*Digital Number* = DN) verändert, vielmehr werden über einen *Look-up table* die zur Darstellung verfügbaren Farben über den aktuellen Geltungsbereich optimiert (*contrast stretch*).

Contrast Stretch

In der weitverbreiteten 8 bit Darstellung von Satellitenbildern bzw. einzelner Kanäle davon sind 256 Abstufungen möglich. In der Realität verteilen sich die gemessenen Reflexionswerte meist jedoch nur auf einen Ausschnitt dieses Wertebereichs. Über sogenannte *Look-up tables* ist es möglich, einen Wertebereich von Interesse mit der vollen Palette der zur Verfügung stehenden Farben bzw. Graustufen zu belegen. Folgende Abbildung zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Farb- bzw. Grauwertzuweisung, wobei DN den Originalwert des Inputbildes und DN' den zugewiesenen Ausgabewert darstellen:

Abb. 5.3.: Prinzip der Kontrastdehnung (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 631)



where

DN' = digital number assigned to pixel in output image

DN = original digital number of pixel in input image

MIN = minimum value of input image, to be assigned a value of 0 in the output image (60 in our example)

MAX = maximum value of input image, to be assigned a value of 255 in the output image (158 in our example).

Spatial Filtering

Ein Filterungsvorgang dient im Prinzip dazu, Erwünschtes von Unerwünschtem zu trennen. Filter werden in der Bildverarbeitung sowohl zur Vorverarbeitung als auch zur Nachbearbeitung von Daten eingesetzt. Dabei sind kaum generelle Vorgangsweisen abzuleiten, vielmehr ist für jeden Einzelfall eine geeignete und effiziente Filtermatrix zu entwerfen. Bei allen Filtertechniken werden im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Methoden der Kontrastverbesserung durch Streckung die Werte der einzelnen Pixel in Abhängigkeit von den Werten der umgebenden Pixel verändert. Filter können daher als *Berechnungsvorschriften für die Ableitung umgebungsabhängiger Merkmale* bezeichnet werden. Durch Filterung können im Rahmen der Bildverarbeitung auch ausgefallene Zeilen oder fehlerhaft aufgezeichnete Bildpunkte eines Satellitenbildes durch Information aus der Umgebung ersetzt werden (*Destriping*). Auf diese Methode soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

In der vorliegenden Studie werden nur Filtermatrizen mit ungerader Anzahl von Reihen und Spalten verwendet, zumeist 3 x 3. Diese Matrize wird rechnerisch über den zu bearbeitenden Ausschnitt des Bildes geschoben und das jeweils mittlere Matrizenelement aus dem Wert der umgebenden Bildelemente berechnet. Die gleiche Technik kann nicht

nur für Satellitenbilder sondern auch für klassifizierte Bilder oder sonstige GIS-Dateien angewendet werden. In der ab Oktober 1991 am Institut für Geographie der Universität Salzburg verfügbaren Version 7.5 der Bildverarbeitungssoftware *Erdas* ist es dabei möglich, für eine Veränderung des Mittelpixels eine Mindestanzahl von Werten gleicher Ausprägung der umgebenden Pixel anzugeben. Dies erweist sich beim Glätten eines Klassifikationsergebnisses als überaus sinnvoll.

High Pass Filter

Sogenannte *high pass filter* (auch *high pass kernel* oder *high frequency kernel* genannt) verstärken die Unterschiede der Ausprägung der Pixelwerte und damit der räumlichen Variation (*spatial frequency*). Eine spezielle Filtermatrix mit normalerweise ungerader Anzahl von Reihen und Spalten verstärkt durch den Effekt der unterschiedlichen Multiplikation jedes Eingabewertes der Matrix mit dem jeweiligen Mittelpixel die absoluten Unterschiede der Ausprägungen.

low pass filter

Verschiedene Erscheinungen in Satellitenbildern werden durch eine hohe *spatial frequency* überlagert. In diesem Fall ist es oft sinnvoll, durch glättende Filter die Kontraste zu dämpfen, um den übergeordneten Phänomenen eine deutlichere Ausprägung zu ermöglichen. Auch die zuvor erwähnte Glättung von Klassifikationsergebnissen ist hierbei zu erwähnen, wenn es sich dabei auch um ein sekundäres "Bild" (besser Datenschicht) handelt.

Treten negative Elemente in der Filtermatrix auf, so spricht man auch von *Differenzoperatoren*. Sie wirken kantenbetonend und können für die Berechnung des Gefälles der Merkmalsausprägungen verwendet werden. Der *Sobeloperator* besteht z.B. aus zwei Matrizen, die in ihrer Summe Null ergeben. Pixel in homogenen Bereichen des Rasters erhalten den Wert Null, da sich die Wirkungen der Randzeilen bzw. Randkolonnen der Filtermatrizen gegenseitig aufheben. Hingegen wirken in heterogenen Bereichen die ungleichen Randzeilen verstärkend.

Abb. 5.4.: Beispiele von Filtermatrizen

Sobel:	1	2	1	1	0	-1
	0	0	0	2	0	-2
	-1	-2	-1	1	0	-1
Laplacian:	0	1	0			
	1	-4	1			
	0	1	0			

directional filter = edge enhancement

z.B.

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

Die Größe der Filtermatrix soll zwischen 5 x 5 und 13 x 13 Pixeln liegen. Noch größere Filtermatrizen sind nach GUANGPING (1989, S. 94) als unwirtschaftlich einzustufen. Neben den zuvor überblicksartig dargestellten Filtern ließen sich noch viele andere aufführen, so z.B. die Gruppe der texturbeschreibenden Filter, die jedoch meist komplexer sind und uneinheitlich verwendet werden.

5.2.3. Kombination von Kanälen

Subtraktion und Addition

Die einfachste Verknüpfung der Werte von zwei Kanälen ist die Addition oder Subtraktion. Häufig wird auch ein auch ein "künstlicher" Kanal (z.B. das Ergebnis einer Filterung) von einem Originalkanal subtrahiert, um bestimmte Informationen herauszuarbeiten (vergl. MATHER 1987, S. 258: Subtraktion von einem Laplacian - gefilterten Bild von einem Originalkanal). Aus der bei MATHER (ebda.) beschriebenen Filterung und anschließenden Subtraktion kann ein eigener Filter abgeleitet werden:

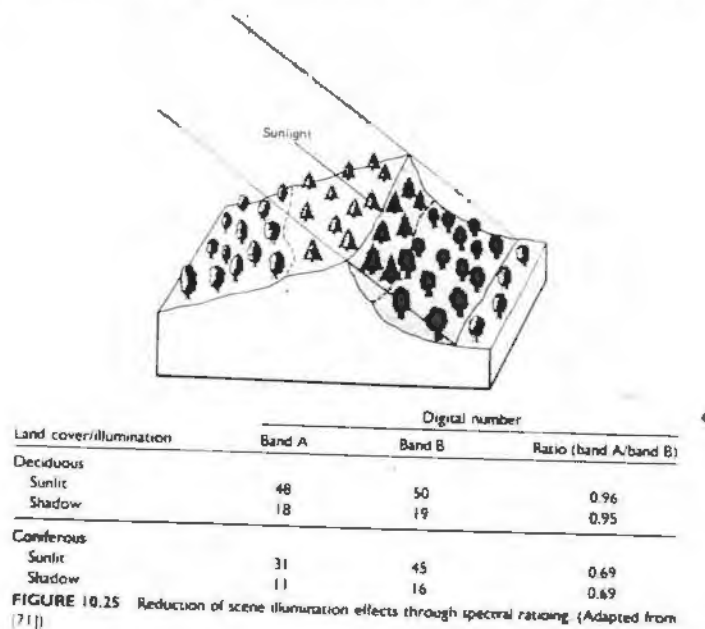
0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

Ratioing (Verhältnissbildung zweier Kanäle)

Radiometrische Fehler in Satellitenbildern, aber auch die unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnisse, führen oft zu Fehlklassifikationen. Ausgehend von der Überlegung, daß sich der Einfluß der Topographie auf alle Kanäle ähnlich auswirkt, kann er durch einfache Verhältnissbildung reduziert werden. Das Verhältnis der Ausprägung der korrespondierenden Pixelwerte (DN) zweier Kanäle, im nachfolgend *ratio* genannt, wird meist aus einem Kanal des sichtbaren Lichts und aus einem Kanal des nahen Infrarots gebildet, z.B. SPOT HRV: XS2 und XS3, Landsat TM: Kanal 3 und 4, AVHRR: Kanal 1 und 2. Die Wirkungsweise wird durch die nachfolgende Abbildung gut illustriert.

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Ratiokanäle erzeugt und auf ihre Eignung für die Landnutzungsklassifikation untersucht. Vorweggenommen sei hier angemerkt, daß sich bei der praktischen Arbeit u.a. herausstellt, daß abweichend von den Darstellungen in den meisten Lehrbüchern (z.B. MATHER 1987, LILLESAND and KIEFER 1987, CURRAN 1985) der Informationsgehalt von Ratiokanälen nicht immer höher liegt als in den Ausgangskanälen. So ergeben sich beispielsweise bei der Berechnung von Verhältnissen der verwendeten SPOT XS-Daten so große Probleme bzw. Nachteile, daß der XS 2-Kanal nicht für die Ratiobildung verwendet werden kann (vergl. Kap. 6., Kap. 7.).

Abb. 5.5.: Ratiobildung (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 651)



Ein interessanter Sonderfall der Ratiobildung ist der sogenannte NVI (*normalized vegetation index*) bzw. NDVI (*normalized difference vegetation index*), der eine gewichtete Ratiobildung von sichtbarem und nahem Infrarotkanal darstellt und für Vegetationsdifferenzierungen geeignet ist. Er wird häufig bei AVHRR-Daten angewandt, läßt sich jedoch auch für Landsat TM berechnen:

$$\text{NVI} = ((X_4 - X_3) / (X_4 + X_3) + 1) \times 127$$

Hauptkomponentenanalyse (principal component analysis)

Das Verfahren der Hauptkomponentenanalyse ist eine übliche statistische Methode, um einerseits die Zahl von Variablen zu reduzieren und/oder andererseits unkorrelierte Variablen zu erhalten. In der Fernerkundungs-Bildverarbeitung können in diesem Zusammenhang die Kanäle wie Variablen behandelt werden. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Ratiobildung liegt darin, daß die Informationen mehrerer Kanäle verwendet werden können. Eine weit verbreitete Anwendung ist etwa die Reduktion der Kanäle der Thematic Mappers (meist ohne den thermalen Kanal) auf die ersten drei Hauptkomponenten. Die Darstellung der ersten drei Hauptkomponenten als *rot*, *grün* und *blau* ermöglicht oft bessere Farbbilder als die Darstellung der Originalkanäle (vergl. HARRIS 1987, S. 89). Auf die mathematisch-statistische Seite dieses Verfahrens soll hier nicht näher eingegangen werden (vergl. LILLESAND and KIEFER 1987, S. 655 - 663, MATHER 1987, S. 206 - 218).

Die Hauptkomponentenanalyse bietet darüberhinaus auch die Möglichkeit zur Integration von aufeinander referenzierten Daten unterschiedlicher Aufnahmesysteme.

Entgegen einigen Darstellungen in Lehrbüchern wird in einer aktuellen Detailstudie (CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991) dieser Methode etwa gleich gute Resultate zugeschrieben wie der in Kap. 5.2.4. dargestellten und in Kap. 6 mehrfach angewandten Vorgangsweise der Integration von Daten unterschiedlicher Herkunft mittels der IHS-Transformation.

tasseled cap

Dabei handelt es sich um eine Transformation, die zunächst für die vier Kanäle des Landsat-MSS entwickelt wurde (KAUTH and THOMAS 1976) und bei der die vier Merkmalsdimensionen in ein dreidimensionales Koordinatensystem übergeführt werden, dessen Achsen als *brightness*, *greenness* und *wetness* bezeichnet werden.

Brightness bezeichnet die Differenz der Reflexion des Bodens in allen Kanälen bzw. die gewichtete Summe der einzelnen Werte.

Greenness beinhaltet den Kontrast zwischen den sichtbaren Kanälen und dem unmittelbar daran anschließenden nahen Infrarot und wird daher auch einzeln zur Vegetationsdifferenzierung herangezogen.

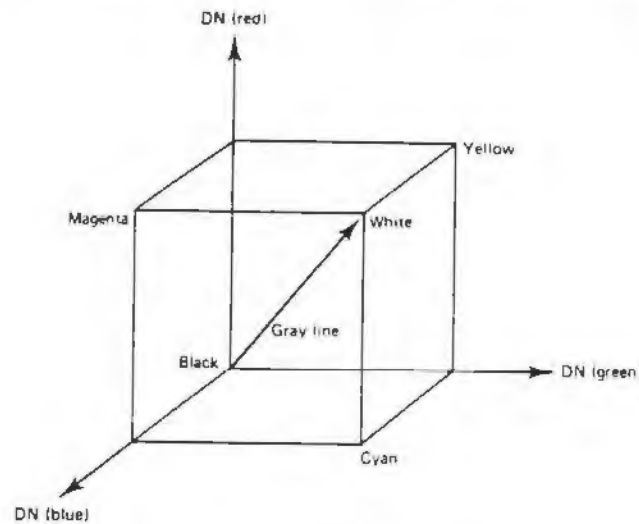
Wetness ist der Kontrast zwischen den sichtbaren Kanälen und dem nahen Infrarot, z.B. Landsat TM Kanal 5 (vergl. LILLESAND and KIEFER 1987, S. 660, MATHER 1987, S. 202 - 206, YOSHIMURA and OSHIMA 1991).

CRIST (1983) und CRIST and CICONE (1984) erweiterten diese Transformation auf sechs der sieben Kanäle des Thematic Mappers (ohne den thermalen Kanal). Da die Werte der auf diese Weise erhaltenen Kanäle nicht zwischen 0 und 255 liegen, ist zur Vergleichbarkeit eine nachgeschaltete Rechenoperation notwendig (vergl. MATHER 1987, S. 205). Auch können die Werte nicht mehr direkt, d.h. zumindest nach einer ordinalen Skala, interpretiert werden, sondern bilden ein zweidimensionales Koordinatensystem mit dem sogenannten *soil line index* und dem *perpendicular vegetation index* als Achsen (YOSHIMURA and OSHIMA 1991). Dies ist neben anderen Gesichtspunkten auch der Grund, warum in der gegenständigen Arbeit nach einigem Überlegungen auf diese Art der Aufbereitung von Daten verzichtet wird.

5.2.4. RGB- und IHS-Darstellung

In den letzten Jahrzehnten wurden eine ganze Reihe von Farbkoordinatensystemen entwickelt. Obwohl das RGB-Farbsystem am meistverbreitetsten ist und am häufigsten für Dreikanalardarstellungen von Fernerkundungsdaten verwendet wird, weist es gewisse Schwächen auf. Die Farbabfolgen sind für das Wahrnehmungsverhalten des Menschen eher ungünstig, da sie aus einer Intensitätsmischung von rot, grün und blau bestehen. Geometrisch kann man das RGB-System als Würfel darstellen mit rot, grün und blau als x , y und z Vektoren.

Abb. 5.6.: Das RGB-Farbsystem (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 664)

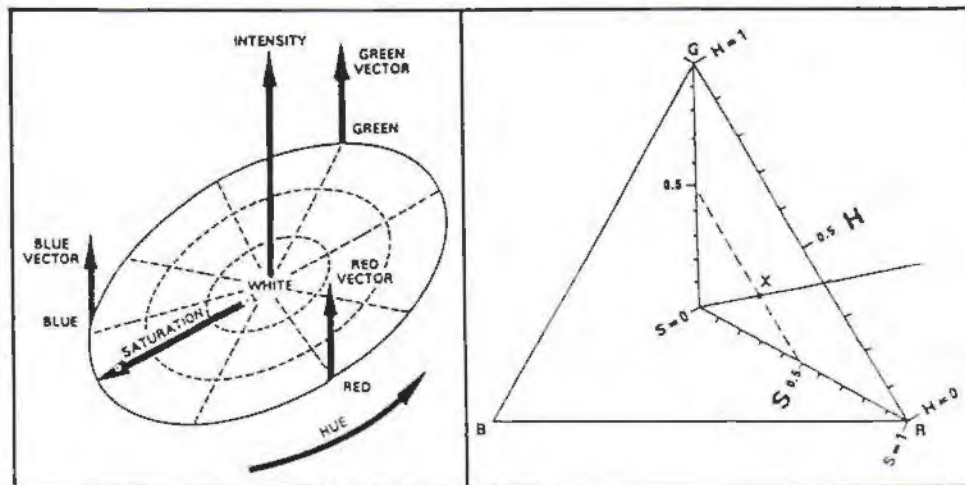


Das IHS-Farbsystem wird dagegen meist als Zylinder, Kegel oder Doppelkegel abgebildet. *Intensity* ($=I$) repräsentiert die Gesamtenergie oder Helligkeit des Pixels und bildet in der geometrischen Darstellung die vertikale Achse. *Hue* ($=H$) repräsentiert die durchschnittliche Wellenlänge der Farbe und definiert den Außenwinkel des Zylinders oder des Kegels und kann Werte zwischen Blau ($=0$ Grad) Grün, Gelb, Rot und Lila ($=360$ Grad) annehmen. *Saturation* ($=S$) ist der Sättigungsgrad der jeweiligen Farbe, ausgedrückt in Prozentanteilen des weißen Lichts an der Farbe. Das IHS-System wird in der digitalen Bildverarbeitung vor allem seit der richtungsweisenden Arbeit von BUCHANAN and PENDERGRASS (1980) eingesetzt.

Die Vorteile der IHS-Darstellung liegen u.a. darin, daß die Information, die durch die Farbe ausgedrückt wird, für das menschliche Auge "lesbarer" wird, indem quantitative Variationen der Reflexionswerte einzelner Bildelemente in einem Kanal besser hervortreten. Als Nachteil ist anzuführen, daß die Farbzuordnung nicht den natürlichen Farben entspricht, was weniger für den geübten Interpreten als für einen Laien hinderlich erscheint. Daher findet sich auch kaum eine IHS-Darstellung in Satellitenbildatlanten. Die üblicherweise gewählte pragmatische Vorgangsweise beinhaltet daher in der Regel eine IHS- und anschließende RGB-Transformation, um beide Vorteile nutzen zu können.

Die IHS-Darstellung erscheint darüberhinaus als besonders geeignet, Daten verschiedener Herkunft miteinander zu kombinieren. So wird diese Transformation in zunehmendem Maße zur Kombination von geometrisch hochauflösenden und spektral hochauflösenden Daten verwendet. Neben den naheliegenden Kombinationen von SPOT XS und SPOT P (vergl. CARPER, LILLESAND and KIEFER 1990, CHLICHE, BONN and TEILLET 1985, EHLERS et al. 1990) bietet sich auch die Verknüpfung von Kanälen des Landsat TM und SPOT P an (vergl. WELCH and EHLERS 1987, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991).

Abb. 5.7.: Das IHS-Farbsystem



Für die exakte Zusammenführung ist im Normalfall eine *Bild auf Bild Registrierung* notwendig. Die Schwierigkeit liegt in dem zuletzt genannten Fall darin, daß das Landsat TM-Bild um den Faktor 3 vergrößert werden muß, d.h., daß einem Bildelement des panchromatischen SPOT-Kanals neun identische Pixel des Landsat TM-Bildes entsprechen. Eine Möglichkeit wäre daher, vor der Verknüpfung einen 3×3 low-pass filter über das künstlich vergrößerte Bild zu rechnen um die blockige Struktur zu eliminieren bzw. zu mindern (vergl. CHAVEZ 1986b, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991).

Eine weitere praktische Anwendungsmöglichkeit der IHS-Transformation ist die Integration von Daten verschiedener Herkunft bzw. verschiedener Aufnahmearten, z.B. die Kombination von Radardaten mit hochauflösenderen Landsat TM- oder SPOT-Daten (vergl. CHAVEZ 1986a, HARRIS, MURRAY and HIROSE 1990).

In der Literatur wird allgemein die Eigenschaft der IHS-Integration zur Integration unterschiedlicher Kanäle hinsichtlich der Bewahrung der spektralen Charakteristika der multispektralen bzw. spektral hoch auflösenderen Daten positiv bewertet (vergl. SCHOWENGERDT 1983, S. 120 - 124, LILLESAND and KIEFER 1987, S. 663 - 667, CARPER, LILLESAND and KIEFER 1990, CHAVEZ and BOWELL 1988, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991, WELCH 1985, WELCH and EHLERS 1987). Daher wird in der vorliegenden Arbeit versucht, dieses Verfahren in der Praxis umzusetzen (vergl. Kap. 6.4., 6.5.).

5.3. Klassifikationsverfahren

5.3.1. Was ist eine Klassifikation?

Wenn jedes Objekt und Ereignis in der Welt als unabhängig und einzigartig angesehen würde, wenn also nichts in einer zu erfassenden Beziehung zu etwas anderem stehen würde, hätte erstens die Geographie keine Daseinsberechtigung und zweitens würde un-

sere Wahrnehmung von der Welt in eine völlige Bedeutungslosigkeit versinken (vergl. ABLER et al. 1971, S. 148ff). Erst indem Sachverhalte, Erscheinungen oder Ereignisse klassifiziert, d.h. in einen geordneten Zusammenhang gestellt werden, kann man ihre Beziehungen untereinander ausleuchten.

Unbewußt bedient sich jeder Mensch ständig einer Klassifikation. Allein die menschliche Sprache bezieht sich auf Klassen von Dingen oder Ereignissen. Ansonsten wäre es unmöglich, daß z.B. beim Wort *Tisch* alle Menschen gewisse gemeinsame Vorstellungen von dem Objekt besitzen, wenn auch Einzelmerkmale, wie Farbe, Größe, Anzahl der Beine, Höhe, Material usw. stark variieren können. Klassifikation kann daher als eine *"systematische Einteilung von Objekten oder Ereignissen in Klassen auf der Basis von gemeinsamen Verhältniswerten oder Beziehungen"* bezeichnet werden (vereinfacht nach ABLER et al. 1971, S. 151).

Bei der Klassifikation sind prinzipiell vier Vorgangsweisen möglich (nach CURRAN 1985, S. 243):

- a) **Induktiv-qualitative Methode:** Ausgehend von Einzelbeobachtungen werden Generalisierungen auf der Basis von Gesetzen vorgenommen.
- b) **Induktiv-quantitative Methode:** Ausgehend von Einzelbeobachtungen und Messungen werden nach präzisen, nachvollziehbaren und wiederholbaren Entscheidungsregeln, von denen die Genauigkeit und Signifikanz der Aussage bekannt ist, Generalisierungen vorgenommen.
- c) **Deduktiv-qualitative Methode:** Es werden Experimente durchgeführt und Daten gesammelt um Hypothesen zu belegen oder zu Fall zu bringen.
- d) **Deduktiv-quantitative Methode:** Experimente werden durchgeführt und Daten gesammelt, um Hypothesen zu testen, indem präzise, wiederholbare Entscheidungsregeln angewandt werden, deren Fehlerabweichung und Signifikanz bekannt sind.

In der **Geographie** beziehen sich Klassifikationen vor allem auf räumliche Einheiten. Obwohl die Ergebnisse der räumlichen Klassifikation im allgemeinen als **Regionen** bezeichnet werden erscheint es problematisch, die Begriffe *Klassifikation* und *Regionalisierung* zu vermischen bzw. die Regionalisierung als besondere, nämlich räumliche Form der Klassifikation, abzuhandeln, wie es vielfach geschieht. Eine Region kann nach verschiedenen Autoren, z.B. ABLER et al. (1971), vereinfacht als "Teil der Erdoberfläche, der in einer definierten Weise sich von den umliegenden Gebieten unterscheidet" verstanden werden.

Im folgenden soll auf die Klassifikation in der (Satelliten)**Bildverarbeitung** eingegangen werden. Grundvoraussetzung für die rechnergestützte Klassifizierung ist, daß die verschiedenen Klassen nur aufgrund der aus den Daten gewonnenen Merkmale getrennt werden können. Dabei werden im allgemeinen nur die Reflexionswerte der einzelnen Bildelemente herangezogen, obwohl es möglich ist, andere Merkmalsinformationen, die etwa die Textur, Form oder Größe eines Objekts beschreiben, mit heranzuziehen. Bei einer Klassifikation im Sinne der spektralen Mustererkennung werden daher Pixel eines Eingangsbildes individuellen Klassen zugewiesen.

Die verschiedenen Klassifizierungsverfahren lassen sich in zwei große Gruppen einteilen, die **überwachten** und die **unüberwachten** Verfahren. Während bei den überwachten Klassifikationsverfahren die Merkmale der einzelnen Klassen vorher festgelegt werden und dann eine Zuordnung der Bildelemente nach bestimmten Berechnungsvorschriften erfolgt, werden bei den unüberwachten Verfahren die Bildelemente aufgrund ihrer Merkmale in Klassen zusammengefaßt und anschließend wird die Bedeutung dieser Klassen aufgrund ihrer Verbreitung in der Szene interpretiert. Es gibt viele überwachte und unüberwachte Klassifizierungsverfahren, die sich zum Teil in den Ergebnissen nur wenig unterscheiden. Die folgenden Ausführungen beschränken sich daher auf die in dieser Arbeit angewandten Techniken.

Der Einfluß der Topographie auf die Klassifizierungsergebnisse wird oft vernachlässigt und kann aus pragmatischen Gründen in der vorliegenden Arbeit nicht im Rechenprozess berücksichtigt werden, wohl aber bei der Aufbereitung der Daten und beim Signaturentraining. Das folgende Beispiel zeigt die Auswirkung verschiedener Neigungswinkel auf die Reflexionswerte einer Ackerfläche für die Landsat TM-Kanäle 5 und 7.

Tab. 5.1.: Einfluß der Topographie auf die Reflexionswerte einer Ackerfläche (PFEIFFER 1985, S. 318/319)

	Originalwert $i = 0^\circ$	$i = 10^\circ$	20°	30°	40°
Kanal 5	50	50,8	53,1	57,7	65,3
Kanal 7	30	30,5	31,9	34,6	39,2

Auswirkung unterschiedlicher Winkel i auf die Grauwerte einer Ackerfläche in einem LANDSAT-Bild

Für die Klassifikation bedeutet dies, daß in einem hügeligen oder gebirgigen Gelände die Originalgrauwerte beispielsweise mit Hilfe des Digitalen Geländemodells korrigiert werden sollten, um Fehlklassifikationen zu vermeiden.

5.3.2. Unüberwachte Klassifikation

Eine unüberwachte Klassifikation erscheint besonders dann angebracht, wenn unzureichende Geländekenntnisse vorliegen und eine exakte Beschreibung der Merkmale der gesuchten Klassen nicht möglich ist. Statt eines Signaturentrainings werden aus der Statistik der Reflexionswerte spektrale Klassen gebildet. In verschiedenen Verfahren, die sich zumeist eines gleitenden Fensters bedienen, werden die Bildelemente diesen künstlichen Klassen zugeordnet. Die Aufgabe des Bearbeiters liegt nun darin, die auf diese Weise entstehenden Klassen zu interpretieren und durch Zusammenfassen zu real existierenden Landnutzungsklassen zu gelangen. Auf die verschiedenen, teils komplizierten

Berechnungsvorschriften soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Vor- und Nachteile der unüberwachten Klassifikation für die gegebenen Daten sollen jedoch in Beispiebstudien herausgearbeitet werden.

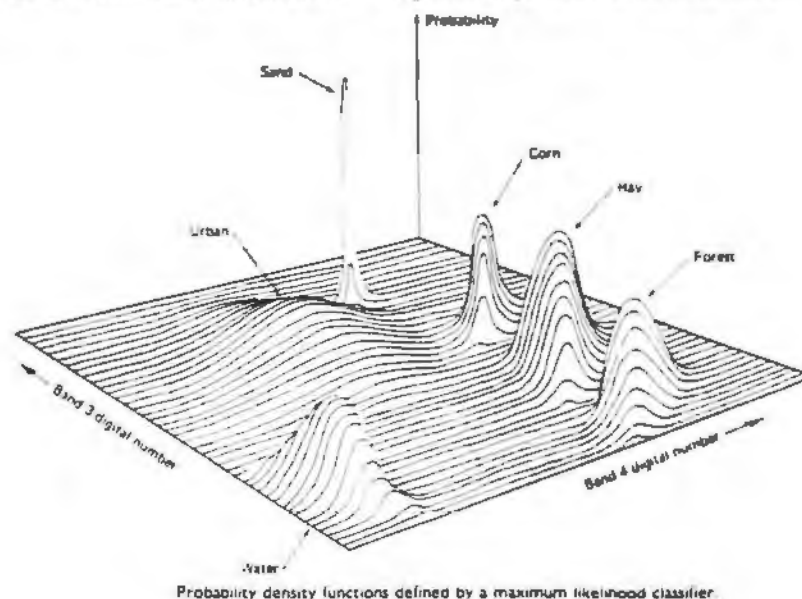
5.3.3. Überwachte Klassifikation

Für die Klassifizierung multispektraler Daten sind Kenntnisse über die spektralen Signaturen der einzelnen Objekte erforderlich. Bei der überwachten Klassifikation werden anhand von Bodeninformationen oder aufgrund des Vorwissens des Interpreten **Trainingsgebiete** bestimmt, die die einzelnen Objektklassen repräsentieren. Der Computer ordnet während des Klassifikationsverfahrens die zu bestimmenden Bildelemente (Pixel) nach ihren Reflexionswerten den vordefinierten Klassen zu. Dabei ist zu berücksichtigen, daß systematische Änderungen der Rückstrahlungswerte über die Streifenbreite zur Folge haben, daß z.B. in der Mitte gelegene Trainingsgebiete für die Randbereiche nicht mehr repräsentativ sind. Die Auswahl der Trainingsgebiete hat daher in allen Teilbereichen eines Bildes zu erfolgen. Eine neuere Möglichkeit stellt das Signaturentraining unter Zuhilfenahme externer Daten dar. Auch in der vorliegenden Studie ist es möglich, den Satellitenbildern Vektordaten am Bildschirm zu überlagern, die als Abgrenzung von Trainingsgebieten genutzt werden können (z.B. Waldkarten, Vegetationskartierungen, Bodenkarten, sonstige ground truth information ...).

Maximum Likelihood

Bei dem bekannten und oft angewandten Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) werden anhand statistischer Größen der vorgegebenen Klassen die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die einzelnen Bildelemente zu diesen Klassen gehören, berechnet. Eine Zuordnung erfolgt dann zur Klasse der höchsten Wahrscheinlichkeit. Dazu werden die Mittelwerte der verwendeten Kanäle in den jeweiligen Trainingsgebieten und die Kovarianzmatrix herangezogen. Wenn ein bestimmtes Wissen über die Wahrscheinlichkeiten der auftretenden Klassen vorliegt, kann in der Variante des sogenannten *Bayesian Classifiers* vorab eine Gewichtung erfolgen (vergl. Erdas Field Guide S. 156).

Abb. 5.8.: Das maximum likelihood - Verfahren (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 676)



Parellelepiped

Bei diesem Verfahren (deutsch am besten "*Quader-Verfahren*") wird in den einzelnen Spektralkanälen eine obere und untere Grenze der für eine Objektklasse gültigen Meßwerte definiert, was im zweidimensionalen Merkmalsraum zu rechteckigen Entscheidungsgrenzen führt. Probleme gibt es ebenso wie bei den anderen Verfahren besonders dann, wenn sich die Merkmalsräume, d.h. die Rechtecke, vielfach überschneiden oder ineinanderliegen.

5.3.4. Wahl des Klassifikationsverfahrens

Die Auswahl des Klassifizierungsverfahrens wird stark durch die Fragestellung einer Untersuchung beeinflusst. Die Auswahl der Landnutzungsklassen ist aber auch von weiteren Parametern abhängig:

1. Die Frage des Maßstabs

Bei einer kleinmaßstäbigen Betrachtung erscheint eine Aufgliederung in viele, detaillierte Klassen als nicht sinnvoll. In derartigen Übersichtsdarstellungen von Regionen oder Ländern wird zumeist eine Beschränkung auf die Hauptklassen, z.B. Wasser, Wald, Wiese, sonstige Vegetation, Siedlung, als angemessen erachtet.

2. Die gewünschte inhaltliche Aussage

Je nach Ausgangspunkt der Untersuchung stehen bestimmte Themen im Vordergrund. Dies kann z.B. die Zusammensetzung der Vegetation sein, wobei in dieser dominanten Hauptklasse viele Unterklassen gebildet werden. Andere Hauptklassen sind dann von geringerem Interesse und werden daher weniger oder gar nicht weiter unterteilt. Man unterscheidet dann etwa die vegetationslose Fläche nicht in Siedlung und Ödland.

3. Die Verfügbarkeit der Bilddaten

Die Verfügbarkeit von Satellitendaten führt oft zu entscheidenden Einschränkungen in der Praxis. Während Landsat-MSS und -TM über lange Zeiträume ununterbrochen aufgenommen wurden und auch gegenwärtig werden, werden SPOT-Aufnahmen nur auf Bestellung angefertigt. Die Zeiträume, in denen der Aufnahmemodus deaktiviert ist, sind daher unwiederbringlich verloren. Auch stellen die hohen Kosten vielfach Beschränkungen dar. So kostet eine einzige Landsat-TM-Szene derzeit etwa 3300 US\$, für SPOT-Daten muß bei gleicher Fläche mit noch höheren Kosten gerechnet werden. Forschungsvorhaben in großen Raumausschnitten mit multitemporalen Daten können daher nur von wenigen großen Institutionen durchgeführt werden.

4. Die Hard- und Softwarevoraussetzungen

Rechen- und Speicherkapazität der zur Verfügung stehenden Anlage können durchaus limitierende Faktoren darstellen. Die Rechenzeit der maximum-likelihood-Klassifikation steigt exponential mit der Anzahl der Klassen/Signaturen an. In der vorliegenden Studie benötigt ein leistungsfähiger PC selbst für einen 1000 x 1000 Pixel großen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes z.B. bei 15 Signaturen mehrere (2 - 5) Stunden. Die Gesamtklassifikation in einem Stück über das Untersuchungsgebiet von 900 km² würde selbst eine Workstation vor eine große Aufgabe stellen.

5.4. Verwendete Hard- und Software

Der verwendete 386/33Mhz-PC mit ca. 400 Mb Festplattenkapazität und 4 Mb Arbeitsspeicher ist mit den gestellten Aufgaben mehrfach bis zu seiner Leistungsgrenze ausgelastet. Der graphische Teil des Arbeitsplatzes besteht aus einem 1024*1024 Bildschirm mit 2 Mb Bildschirmspeicher und dazugehöriger Graphikkarte. Damit ist es möglich, den in drei Kanälen (Rot, Grün, Blau = *RGB*) dargestellten Satellitenbildern weitere Daten, z.B. Vektordaten zu überlagern. Der Großteil der Arbeit wird durchgeführt mit der Bildverarbeitungssoftware *Erdas* (PC-Version 7.4), die mittels der integrierten Schnittstelle *LiveLink* mit dem Vektor-basierten Geographischen Informationssystem *Arc/Info* (PC-Version 3.4d) verbunden ist. Die Umwandlung von Raster- in Vektordaten (vergl. Kap 7.7.) erfolgt dagegen auf einer *Sun*-Workstation.

Die GIS-Software *Arc/Info* scheint sich in Österreich als Standard durchzusetzen. Die Verwaltungen der Bundesländer Salzburg, Steiermark, Burgenland, Tirol und Wien arbeiten bereits damit, während die Landesverwaltungen von Kärnten, Niederösterreich und Oberösterreich sich in einer Vorbereitungsphase befinden. Die Software wird in vielen Forschungseinrichtungen und Universitätsinstituten sowie in Bundesdienststellen (z.B. Forschungszentrum Seibersdorf, Umweltbundesamt, Geologische Bundesanstalt ...) eingesetzt und bietet durch die hohe Flexibilität ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. In der vorliegenden Arbeit wird weniger auf die analytischen Fähigkeiten des Geographischen Informationssystems zurückgegriffen, vielmehr wird *Arc/Info* als Visualisierungshilfe und Interpretationshilfe mittels Vektordaten sowie zum Erstellen von Karten verwendet.

ERDAS ist nach Wissen des Autors das meistverbreitetste Bildverarbeitungssystem mit über 2000 Installationen in über 70 Staaten und erscheint aufgrund seiner Bedienerfreundlichkeit und Zuverlässigkeit als geeignet, um in Planungsstellen, wie z.B. einem Nationalpark, eingesetzt werden zu können. Im Falle der vorliegenden Arbeit wird ein Großteil der benötigten Rechenoperationen durch das System abgedeckt. Als Schwachpunkte erscheinen z.B. die visuellen Möglichkeiten bei der Rektifizierung, das Fehlen von texturbeschreibenden Operatoren oder die geringen statistischen Auswertemöglichkeiten. Einige dieser Punkte sind jedoch für die nächste Version angekündigt. Als äußerst positiv ist der Aufbau des Systems in Modulen und die klare Menü- und Dialogführung einzuschätzen. Dadurch ist im Vergleich zu anderen Systemen der Einarbeitungsaufwand in das System sehr gering, wenn das fachlich-theoretische Wissen der Satellitenbildverarbeitung vorhanden ist. Im folgenden wird eine Übersicht über die einzelnen verwendeten Programme im Bildverarbeitungssystem *ERDAS* gegeben.

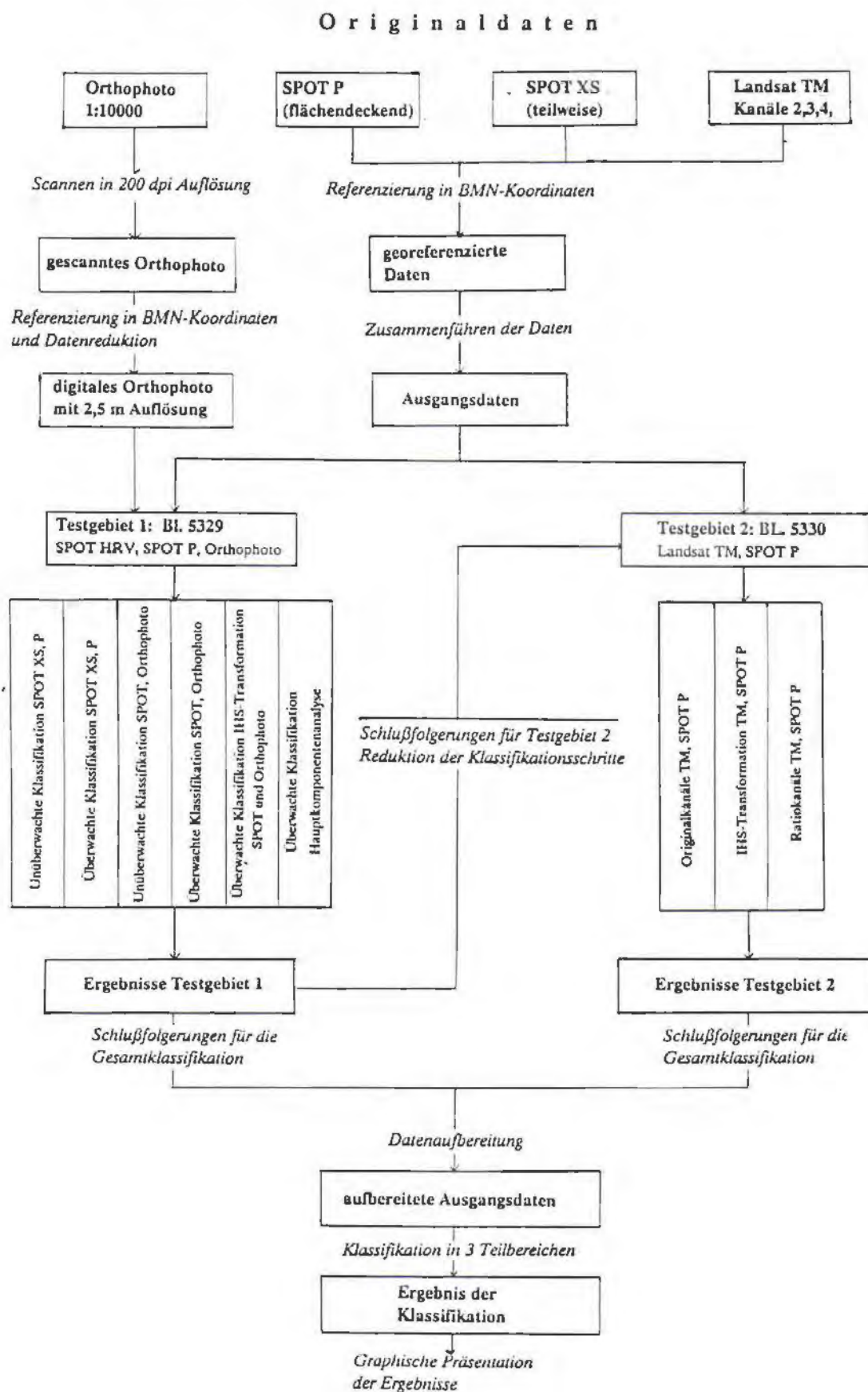
Abb. 5.9.: Verwendete Programme im Bildverarbeitungssystem ERDAS

Image Processing	Core	Raster GIS Modeling
<u>Enhancement:</u> ALGEBRA PRINCE STRETCH TEXTURE DHISTEQ DCONVLV HSTMATCH <u>Pre-Classification:</u> Training Sample Selection: SEED ISODATA STATCL SIGEXT Training Sample Evaluation: Manipulation: DIVERGE SIGDIST ELLIPSE CMATRIX SIGMAN SIGCVRT <u>Classification:</u> MAXCLAS PPDCLAS ISODATA CLUSTR <u>Post Classification:</u> THRESH RANDCAT POLYCAT CLASERR <u>Geometric Correction:</u> GCP COORDN NRECTIFY LRECTIFY PROGCP	<u>View:</u> READ DISPLAY DISPOL GISOVR CLASOVR BLANK TOGGLE MOVIE ZOOMER <u>File Management:</u> Header/Trailer: FIXHED CLASNAM BSTATS LISTIT CVT73 CVT74 Create/Subset: MAKEFIL CPYSCR SUBSET CUTTER MASK STITCH Special Purpose: DIGUTIL GRDPOL CCVRT EDPAT CHED LDDATA IMPORT EXPORT DATATAB ANTGRID	COLORMOD ANNOTAT <u>Cursor:</u> CURSES CURBOX DIGSCRN SMEASURE <u>Core Image Processing:</u> HISTOEQ WFM IPX RGBCLUS CLUSTR <u>Core Raster GIS:</u> GISEDIT RECODE OVERLAY MATRIX INDEX SEARCH
		AGGIE CLUMP DSCEDIT DSCASCII INQUIRE GISMO POLYFIL SCAN SIEVE

5.5. Der Projektablauf

Die von der Nationalparkplanungsstelle in Kirchdorf/Krems angekauften Satellitendaten werden über Magnetband an das Institut für Geographie der Universität Salzburg übermittelt. Nach einer Sichtung des Gesamtgebietes werden zwei Beispielsgebiete ausgewählt, um für die gegebenen Daten und die vorliegende Aufgabenstellung die geeigneten Verfahren der digitalen Bildverarbeitung herauszuarbeiten. Diese Phase dauert einschließlich der Dokumentation und einfachen graphischen Aufbereitung etwa von Mai bis Oktober 1991. Aufgrund der Ergebnisse dieser Detailstudien wird anschließend eine Landnutzungsklassifikation über ein Gebiet von 900 km² durchgeführt (größtenteils im Dezember 1991). Aufgrund zahlreicher technischer Schwierigkeiten (vor allem starke Inkompatibilität zwischen Workstation und PC) erfordert die Dokumentation und Visualisierung der Ergebnisse mehrere Wochen. Im folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Schritte gegeben:

Abb. 5.10.: Übersicht des Gesamtprojektablaufs

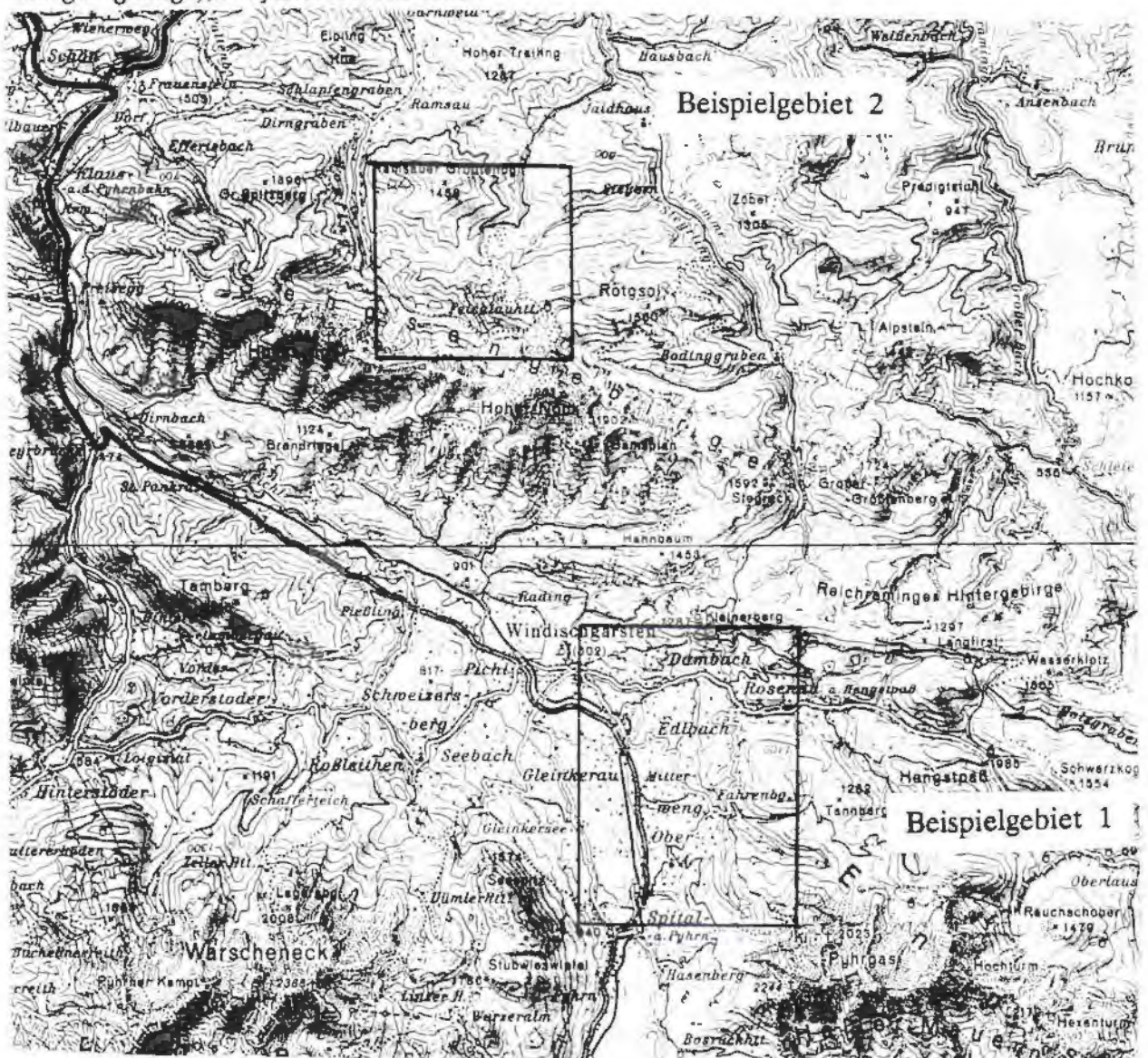


6. ANWENDBARKEITSSTUDIE VON VERFAHREN DER BILDVERARBEITUNG UND KLASSIFIKATION FÜR ZWEI BEISPIELSGEBIETE

6.1. Aufgabenstellung

Um aus der Vielzahl der Klassifikationen entsprechend der Aufgabenstellung (vergl. Kap. 1) ein geeignetes Verfahren für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen auszuwählen und den herrschenden Gegebenheiten des Geländes anzupassen, werden zunächst verschiedene Techniken der Bildverarbeitung und unterschiedliche Klassifikationsverfahren beispielhaft auf Teilen der Triangulierungsblätter 5329 (Windischgarsten) und 5330 (Sengsengebirge) durchgeführt. Im ersten Fall wurde dabei ein Gebiet ausgesucht, das zwar nur einen geringen Anteil am geplanten Nationalpark aufweist, jedoch im Gegensatz zu weiten Teilen des Planungsraumes vielfältig genutzt wird und daher günstig erscheint, verschiedene Verarbeitungs- und Klassifikationstechniken auf ihre Anwendbarkeit hin zu untersuchen. Beim zweiten Beispielgebiet handelt es sich um den Ostteil des Sengsengebirges sowie dessen nördliche Vorzone und damit um eine für den geplanten Nationalpark typische Landschaft mit einem Anteil an verkarsteten Hochlagen und großen Waldflächen unterschiedlicher Höhenlage und Nutzung.

Abb. 6.1.: Die Lage der Beispielgebiete (Blatt 5329, Windischgarsten und Blatt 5330, Sengsengebirge), Maßstab ca. 1:150000



Es ist bei allen beispielhaften Verfahren zu berücksichtigen, daß für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen (noch) keine homogenen multispektralen Satellitendaten zur Verfügung stehen. Dies bedeutet konkret, daß eine Vorgangsweise, die z.B. für die Kombination SPOT XS/SPOT P als günstig befunden wird, für Landsat TM/SPOT P nicht zwangsläufig geeignet ist und umgekehrt. Diese Tatsache erschwert die Gesamtklassifikation und bedingt einen relativ hohen Arbeitsaufwand für die Phase der Ermittlung der geeignetsten Methode (vergl. Abb. 5.10.).

Erschwert wird die Vergleichbarkeit der verschiedenen Testergebnisse durch die uneinheitliche Klassenauswahl. Dies kann jedoch kaum verhindert werden, da es bei der unüberwachten Klassifikation dem Interpreten nicht immer möglich ist, die vom Computer generierten Klassen zu den gewünschten Hauptklassen zusammenzufassen.

6.2. Datengrundlage

Satellitendaten

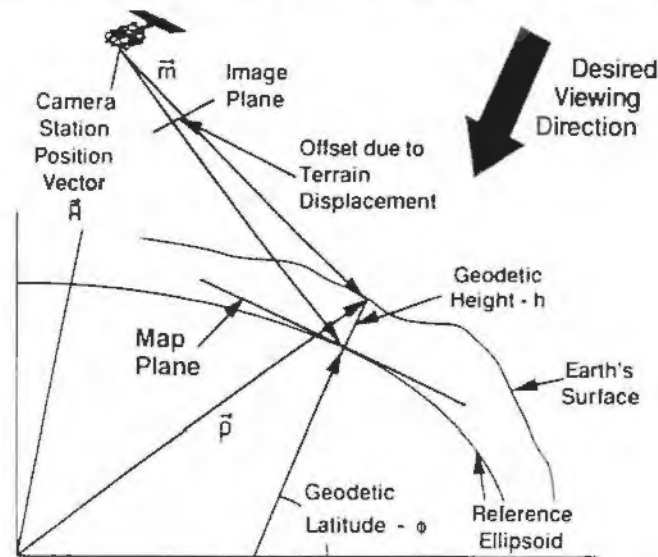
Die SPOT XS-Daten sind zu einem ungünstigen Termin aufgenommen worden (Osteil: Oktober 1987; Westteil September 1987), während die panchromatischen Spot-Daten (in der Folge als SPOT P bezeichnet) von 1989 für das gesamte Gebiet einen einheitlichen Stand bieten. Durch den relativ niedrigen Sonnenstand zum Zeitpunkt der SPOT XS-Aufnahme ist das Relief schlecht ausgeleuchtet. Neben dem großen Problem der Schattenbildung differenzieren die SPOT-Kanäle 1 und 2 schlecht. Statt der im 8 Bit-Aufnahmemodus möglichen 255 Ausprägungen pro Kanal beschränkt sich die tatsächlich gemessene Rückstrahlung auf 70 bzw. 30 Werte. Durch die geringe Differenzierung können verschiedene Informationen auch durch Techniken der Bildverbesserung nicht herausgeholt werden. Für das Beispielsgebiet des Triangulierungsblattes 5329 stehen nur teilweise SPOT XS-Daten zur Verfügung. Es muß daher bei der Gesamtklassifikation ebenso wie für andere Bereiche auf eine Landsat TM-Aufnahme vom 28. 8. 1984 zurückgegriffen werden.

Das Digitale Orthophoto

Während das analoge Orthophoto seit Jahren vielseitig verwendet wird, steht die Verbreitung des digitalen Orthophotos erst am Anfang. Bei der Herstellung eines Orthophotos wird durch Differentialentzerrung ein Luftbild so umgeformt, daß es geometrisch die Eigenschaften einer Karte aufweist (ALBERTZ 1991, S. 137). Der Vorteil eines Orthophotos liegt demzufolge vor allem darin, daß geometrische Größen und Entfernungen gemessen werden können. Das digitale Orthophoto ist ebenso wie ein Satellitenbild aus in Reihen und Spalten angeordneten Bildelementen (Pixel) zusammengesetzt. Die Größe des Bildelementes kann mit der räumlichen Auflösung gleichgesetzt werden.

Das Orthophoto 1:10000, Blatt 5329-103 wurde in 200 dpi Auflösung gescannt. Nach entsprechender Verarbeitung, Rektifizierung und Umwandlung in das ERDAS-Format beträgt die Auflösung 1,25 m. Es wird für dieses Beispielblatt versucht, das digitale Orthophoto mit den Satellitenbildern zu kombinieren.

Abb. 6.2.: Die Geometrie eines Orthophotos (DUIVEN and COMPARATO 1991, S. B-52)



Um das Datenvolumen in einem vernünftigen Ausmaß zu halten und um das digitale Ergebnis sinnvoll mit den Satellitenbildern zusammenführen zu können, erfolgt zunächst eine rechnerische Transformation auf 2,5 m Pixelgröße. Das Ergebnis weist demnach 2000 x 2000 Pixel auf und bedeckt ebenso wie das Originalbild eine Fläche von 5 x 5 km. Zur Verknüpfung mit den Satellitendaten müssen diese auf die gleiche rechnerische Auflösung gebracht werden. Diese Vorgangsweise erscheint aus verschiedenen Gründen für eine flächendeckende Klassifikation über ein größeres Gebiet am PC als nicht durchführbar, doch können aus der Beispielsstudie Schlüsse gezogen werden auf die Anwendbarkeit der Methode allgemein, zumal es sich dabei um eine zukunftssträchtige Verarbeitungstechnologie handelt.

Da es sich bei der Gewinnung des Luftbildes um ein anderes Aufnahmesystem als bei den Satellitenbildern handelt, bestehen Unterschiede hinsichtlich der radiometrischen und geometrischen Eigenschaften sowie der Projektion. Der Hauptunterschied liegt darin, daß z.B. SPOT P im Wellenbereich von 0,51 bis 0,73 Mikrometer aufgenommen wird, während Luftbilder üblicherweise in einem Bereich von 0,3 bis 0,7 angesiedelt sind. Die geometrische Auflösung liegt, wie hinlänglich beschrieben, bei SPOT P bei 10 m und bei einem üblichen großmaßstäbigen Luftbild bei ca. 0,3 m (vergl. SUN, WOLF and SCARPACE 1991, S. B-77). Eine genaue Gegenüberstellung der Eigenschaften von Satellitendaten und Orthophotos (im weiteren Sinne) findet sich in SUN, WOLF and SCARPACE (1991). Das Datum dieses Aufsatzes (November 1991) sowie die sonstige Entwicklung der Veröffentlichungen zu dieser Thematik zeigen, daß die gemeinsame Betrachtung beider Datengrundlagen vor dem Hintergrund einer digitalen Kombination eine sehr junge Entwicklung darstellt.

Sonstige Daten

Daneben stehen für das Gesamtgebiet Vektordaten aus dem Nationalpark-GIS (NPK-GIAS) zur Verfügung, soweit sie bisher in digitaler Form vorliegen. Neben dem Straßen- und Gewässernetz, den Verwaltungsgrenzen sowie dem digitalen Geländemodell (DGM) und dem Kataster (teilweise digital) wurden und werden laufend aus den Arbei-

ten der Werkvertragsnehmer des Nationalparks für kleine Gebiete ökologische, hydrologische, geologische und zoologische Kartierungen digital erfaßt. So existiert beispielsweise für Teile des Sengsengebirges eine Vegetationskartierung in digitaler Form, die zur Genauigkeitsabschätzung der Ergebnisse als *ground truth* herangezogen werden kann.

6.3. Aufbereitung der Daten

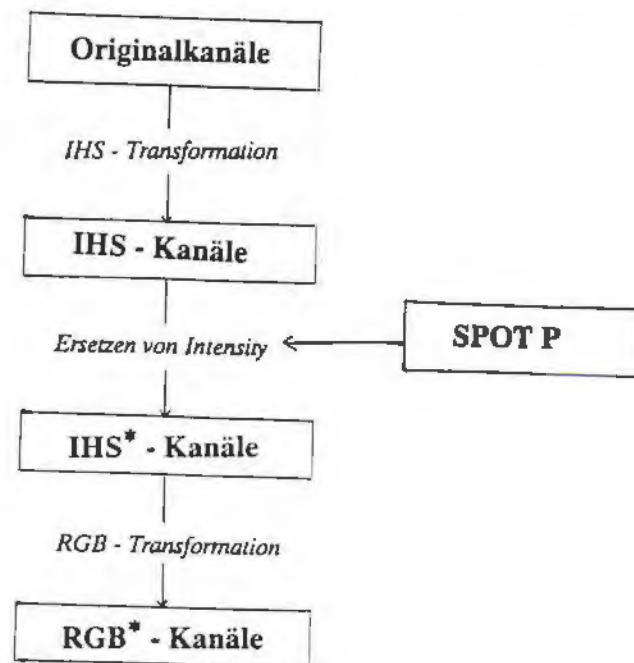
Zunächst wird versucht, die mäßige spektrale Differenzierung der Satellitenbilder durch verschiedene, in Kapitel 5.2. beschriebene Verfahren der digitalen Bildverarbeitung zu verbessern.

Durch die Verhältnissbildung (**ratio**) zwischen den SPOT-Kanälen XS 2 und XS 3 soll die Interpretierbarkeit vor allem in den Schattenbereichen erhöht werden. Dies bringt nicht das gewünschte Ergebnis, da durch die geringe Anzahl der tatsächlich vorkommenden Werte in beiden Kanälen durch die Rechenoperation bzw. durch die anschließende Streckung auf den 8 bit-Wertebereich Rastereffekte entstehen, d.h., daß durch die Streckung auf eine Skala von 0 bis 255 so große Wertesprünge entstehen, daß das Bild gerastert wirkt. Ein derartiges Phänomen bringt nicht nur einen optischen Nachteil sondern auch große Probleme beim Signaturentraining und der Klassifikation. Dagegen können die aus TM-Daten berechneten Ratiokanäle TM2/TM3, TM3/TM4 und TM2/TM4 (verg. Kap. 6.5.3.) durchaus als Grundlage der Klassifikation herangezogen werden.

Es wird auch versucht, das Verfahren der **Hauptkomponentenanalyse** zur Aufbereitung der Ausgangsdaten heranzuziehen. Da bei der Kombination SPOT P und SPOT XS die im panchromatischen Kanal enthaltene Information zu einem hohen Grad redundant ist, eignet sich in diesem Fall die Umwandlung der Originalkanäle in drei unabhängige Variablen nach meiner Ansicht nur bedingt als Ausgangsbasis der Klassifikation und wird aus konsequenterweise auch für die Landsat TM-Daten nicht angewandt. In Erwägung zu ziehen ist dagegen, einen Kanal der Hauptkomponentenanalyse mit anderen Kanälen zu kombinieren. Zum Zwecke der Kombination des digitalen Orthophotos mit den Satellitendaten wäre diese Vorgangsweise eigens zu untersuchen.

Die besten Ergebnisse liefert die **IHS-Transformation**. Sowohl die Kombination von multispektralen und panchromatischen SPOT-Daten als auch die Synthese aus SPOT-Daten und digitalem Orthophoto für das Beispielsblatt Windischgarsten (Siehe Kap. 6.4.5.) erfüllt die gestellten Erwartungen. Ebenso wie bei der Verknüpfung von Landsat TM und SPOT P für das Beispielsblatt 5330, Sengsengebirge, kommt dabei eine besondere Variante der IHS-Transformation zur Anwendung. Diese positive Aussage gilt jedoch zunächst nur für das entstehende synthetische Bild als solches, nicht jedoch für das Ergebnis als Grundlage einer Klassifikation. Hierzu existieren in der Fachliteratur praktisch keine Beispiele. Es ist jedoch zu erwarten, daß große Schwierigkeiten durch die unnatürliche Verteilung bzw. geringe Interpretierbarkeit der Rückstrahlungswerte in den einzelnen Kanälen auftreten.

Abb. 6.3.: Vorgangsweise der verbesserten IHS-Transformation



Zunächst werden die auf 10 m Auflösung gebrachten und in Bundesmeldenetzkoordinaten transformierten Landsat TM- bzw. SPOT XS-Daten mit dem SPOT P- Kanal in eine Datei zusammengeführt. Anschließend wird nach der bereits beschriebenen modifizierten IHS-Transformation (vergl. Kap. 5.2.4.) der *intensity* - Kanal durch SPOT P ersetzt und alle drei Kanäle in RGB-Format zurückgerechnet. In den nachfolgenden Abbildungen soll verdeutlicht werden, warum versucht wird, die räumliche Auflösung durch Hinzuziehen des SPOT P-Kanals zu verbessern, obwohl dies einen großen Aufwand bedeutet und die Methode in der Literatur eigentlich nur für die Erstellung von Satellitenbildkarten verwendet wird (vergl. EHLERS et al. 1990, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991, WELCH and EHLERS 1987). Trotz der verbesserten räumlichen Auflösung ist sich der Autor über die Nachteile der panchromatischen Aufnahme mit den starken Schatteneffekten bewußt. Dies kann jedoch gemindert werden, indem Radiokanäle mit dem IHS-transformierten Kanals verknüpft werden.

Folgende Seite:

Abb. 6.4.: Landsat SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte

Abb. 6.5.: IHS-Transformation der SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte

Abb. 6.6.: Ergebnis der Kombination SPOT XS/SPOT P nach modifizierter IHS-Transformation, Bl. 5428, Nordhälfte



Das Ergebnis beeindruckt visuell. Wie zu erwarten, ist der Gewinn an räumlicher Auflösung bei den Landsat TM-Daten größer als bei SPOT XS. In dem unruhig wirkenden, da stark diversifizierten Bild sind die Licht-Schatten-Effekte gegenüber dem Ausgangsbild vermindert. Die großen, in den Originalkanälen weitgehend homogenen Waldflächen wirken nun stark in sich differenziert. Dieser Effekt erscheint auf den ersten Blick sehr positiv, doch ist das Bild visuell schwierig zu interpretieren.

6.4. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5329 (Windischgarsten)

Von dem Beispielblatt 5329 (Windischgarsten) wird ein 4,5 x 6,5 km großen Ausschnitt im südöstlichen Teil als Testgebiet genommen, da nur für etwa zwei Drittel des Blattes SPOT XS-Daten zur Verfügung stehen. Dies entspricht 450 x 650 Pixel oder 29,25 km². Der Abschnitt umfaßt einen Teil des Ortes Windischgarsten im äußersten NW und erstreckt sich im S bis Spittal am Pyhrn, im NE bis Rosenau am Hengstpaß und im SE bis an die Unterhänge des kleinen Pyhrgas bis max. 1300 m Seehöhe. Der Ausschnitt ist bewußt so gewählt, daß es sich dabei vorwiegend um die Beckenlandschaft von Windischgarsten handelt und damit kaum alpiner Formenschatz anzutreffen ist. Vielmehr dominieren im Beckenbereich die landwirtschaftlich genutzten Flächen, während auf den Kuppen sowie an mittelsteilen bis steilen Hängen der Wald vorherrscht. Das Gebiet liegt größtenteils außerhalb des geplanten Nationalparks bzw. in dessen Vorzone. Neben der Beckenlandschaft sind Teile der angrenzenden Gebirgszüge erfaßt. Dies sind im N die Ausläufer des Sengsengebirges, im äußersten NE die Ausläufer des Reichraminger Hintergebirges, im SE ein größerer Anteil des Warschenecks, einem Höhenzug, der nur durch das 1684 m hohe Salzsteigjoch von dem Massiv des Toten Gebirges im Westen getrennt ist. Im SE steigen ausgedehnte bewaldete Hänge zum kleinen Pyhrgas an, einem nordwestlichen Vorgipfel der Haller Mauern.

Abb. 6.7.: Typisches Landschaftsbild im Becken von Windischgarsten



Während im Westen des relativ dicht besiedelten Beckens eine von zahlreichen Gräben durchzogene Landschaft mit unruhigem Relief liegt, steigt im Osten die Höhe fast durchwegs gegen die Ausläufer des Warschenecks hin an, so daß eine Abgrenzung des Beckens hier nur über die Geologie erfolgen kann. Die fruchtbare Senke zwischen den Kalkalpenzügen wird hauptsächlich durch die fossilarmen Sedimente der Gosauschichten gebildet, daneben sind auch Werfener Schichten und Gosaukalke anzutreffen.

Der stark verkarstete Kalkstock des Warschenecks besteht in den zentralen Bereichen aus Dachsteinkalk und weist starke Verkarstungserscheinungen mit dem entsprechenden unterirdischen Entwässerungssystem auf. Erst in einer Höhe von 800 bis 1000 m trifft das Wasser auf undurchlässigere Schichten, zumeist Werfener Schiefer. Daher sind in dieser Höhenlage zahlreiche Quellen anzutreffen, wie z.B. der bekannte Pießlingursprung. Inmitten der vegetationsarmen Region liegen einige Karstmulden, wo die Kalkschichten durch wasserundurchlässige Mergel und Schiefer abgedichtet sind, wie die kleine Stubwiesalm und die Wurzeralm (nicht mehr auf Blatt 5329).

6.4.1. Unüberwachte Klassifikation

Vorgangsweise:

Ausgehend von den vier SPOT-Originalkanälen wird mit Hilfe des Programms *ISODATA* in *ERDAS* eine unüberwachte Klassifikation durchgeführt, wobei die Anzahl der Klassen auf 20 beschränkt wird.

In mehreren Einzelschritten werden die Klassen inhaltlich interpretiert und auf zunächst 9 Klassen, anschließend auf 6 Hauptklassen reduziert.

Ergebnis:

Das Ergebnis überrascht auf den ersten Blick durch seine Präzision bei visuellem Vergleich mit den Kartenunterlagen. Die beherrschenden übergeordneten Strukturen und Nutzungen wie Wege, Wald und "Nichtwald", die den optischen Eindruck bedingen, sind gut getroffen.

Eine generelle Schwierigkeit der unüberwachten Klassifikation besteht jedoch darin, daß Klassen oft schwierig zu interpretieren sind, bzw. daß sich einzelne Klassen inhaltlich nicht trennen lassen. So werden z.B. sechs verschiedene Waldklassen unterschieden, die offensichtlich durch unterschiedliche Expositions- und Beleuchtungsverhältnisse bedingt sind, jedoch nicht eindeutig in *Nadelwald* und *Laubwald* unterschieden werden können. Es sind ca. 5 bis 6 Arbeitsstunden notwendig, um vom ersten Ergebnis zu einer Klassifikation mit ansprechbaren Klassen zu gelangen. Abgesehen davon, daß der Wald nicht näher differenziert werden kann und daß allgemein nur Hauptklassen sinnvoll unterschieden werden können, stellt sich die Frage, ob eine unüberwachte Klassifikation überhaupt zeitsparend ist gegenüber einem Signaturentraining und einer überwachten Klassifikation.

Im vorliegenden Fall können in der ersten Variante aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten der unüberwachten Klassifikation nur fünf sinnvolle Hauptklassen abgeleitet werden:

Tab. 6.1. Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 5 Klassen

Klassen:	ha	in %
1) Wald	949,3	32,45
2) Busch, Strauch	274,7	9,39
3) Landw. Nutzfläche	1378,0	47,11
4) Feuchtgebiete	139,8	4,78
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	183,2	6,26

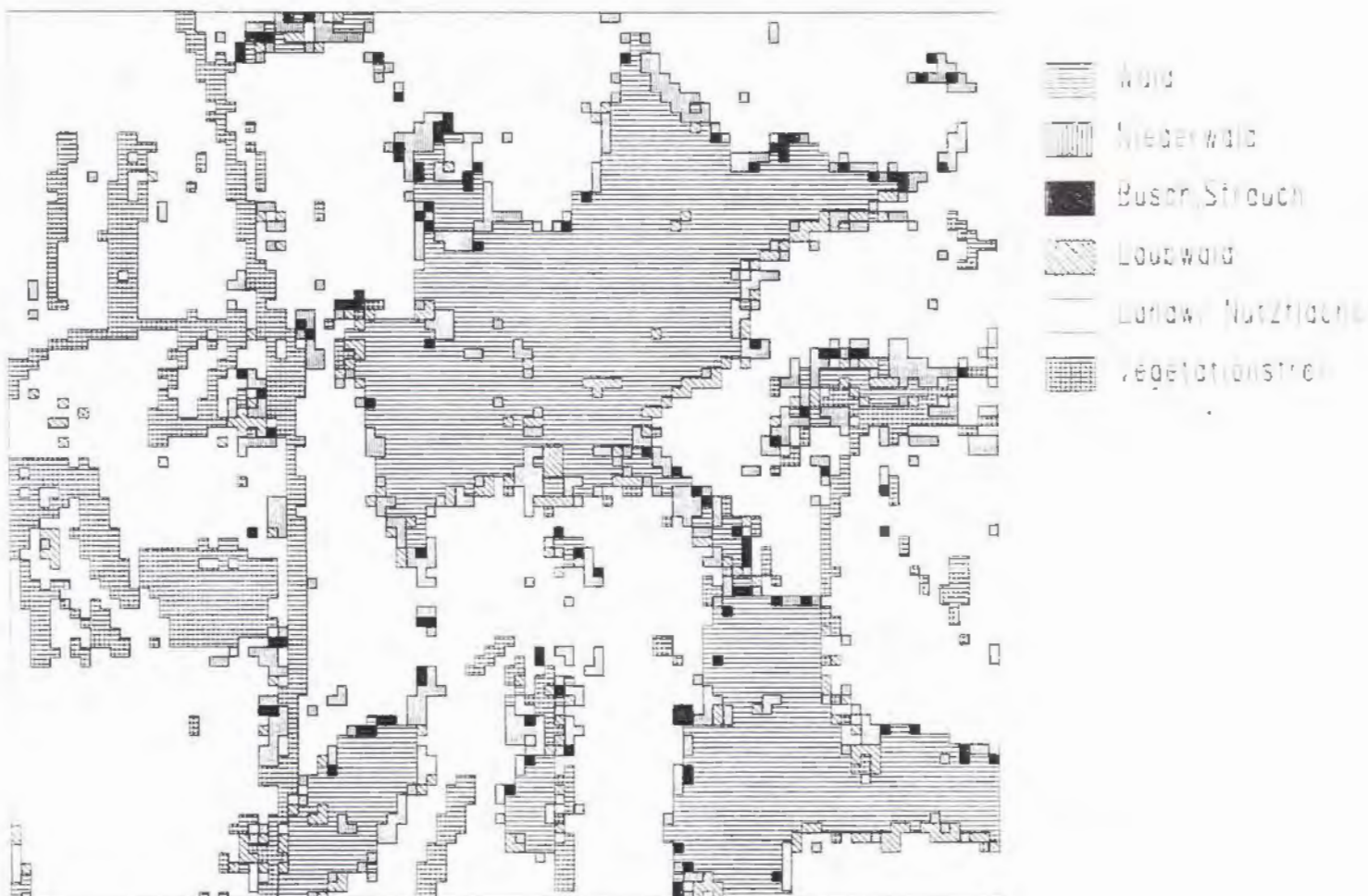


In einem zweiten Arbeitsgang wird versucht, die 20 Ausgangsklassen stärker zu differenzieren. Trotz mehrerer Anläufe können nicht mehr als 6 sinnvolle Klassen ausgewiesen werden, wobei der Gewinn gegenüber der ersten Version nicht sehr groß erscheint.

Abb. 6.8.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielgebietes 5329

Unüberwachte Klassifikation mit 10 x 10 m Auflösung

Grosse des Ausschnitts: 100 x 90 Pixel (1000 x 900 m)



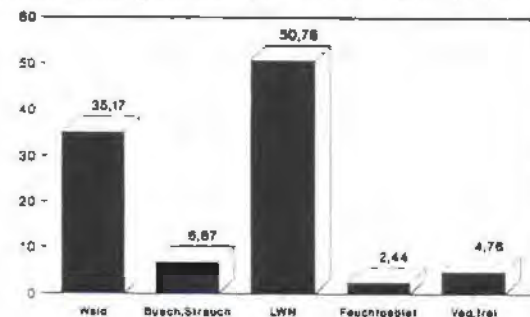
Tab. 6.2. Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 6 Klassen

Klassen:	in %
1) Wald	30,76
2) Niederwald	9,39
3) Busch, Strauch, Hecken	1,69
4) geringe Vegetation	4,78
5) Landw. Nutzfläche	47,11
6) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	6,26

In einem anschließenden Arbeitsschritt wird versucht, homogenere Ergebnisflächen zu erhalten, indem ein 3 x 3 low pass filter über die ursprüngliche Klassifikation gerechnet wird. Dies glättet zwar das Bild generell und wirkt annähernd in der gewünschten Weise, jedoch stellt sich ein merklicher Informationsverlust ein. Für die endgültige Klassifikation über das Gesamtgebiet erscheint eine solche Vorgangsweise aufgrund der vielen Einzelpixel zur Erzeugung homogenerer Flächen als wahrscheinlich notwendig.

Tab. 6.3.: Ergebnis der gefilterten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche

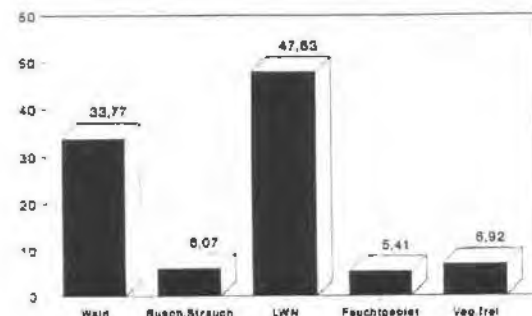
Klassen:	in %
1) Wald	35,17
2) Busch, Strauch	6,87
3) Landw. Nutzfläche	50,76
4) Feuchtgebiete	2,44
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	4,76



Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Klassen aus den gefilterten und ungefilterten Bildern zu kombinieren. Als Beispiel hierfür werden aus dem gefilterten Klassifikationsergebnis die Klassen 4 und 5 (*Feuchtgebiete*, *vegetationsfrei*) herausgeschnitten und der ungefilterten Klassifikation überlagert. Dadurch läßt sich der Effekt vermeiden, daß stark streuende oder nur punktuell oder linear auftretende Klassen überproportional stark herausgefiltert werden.

Tab. 6.4.: Ergebnis der überarbeiteten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche 5329

Klassen	in %
1) Wald	33,77
2) Busch, Strauch	6,07
3) Landw. Nutzfläche	47,83
4) Feuchtgebiete	5,41
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	6,92



Dieser Schritt ist in dem Bildverarbeitungssystem *Erdas* durch ein flexibles Modellierungsmodul (GISMO) relativ einfach durchzuführen. Durch die Verwendung einer eigenen Makrosprache kann dieses Vorgehen mit geringem Mehraufwand (Ändern der Datei- und Variablennamen) auch auf andere Bildausschnitte und Klassifizierungen angewandt werden. Diese Operationalisierungsmöglichkeit ist vor allem in Vergleich zu anderen Systemen, aber auch in Hinblick darauf, was in Zukunft in einem laufendem Betrieb an Aufgaben anfallen wird, als sehr positiv einzustufen (vergl. BLASCHKE und DOLLINGER 1991).

6.4.2. Überwachte Klassifikation (maximum likelihood)

Signaturentraining und Klassifikation

Ausgehend von den drei multispektralen SPOT-Originalkanälen und dem panchromatischen Kanal werden in dem Testgebiet des Blattes 5329 zunächst spektrale Signaturen festgelegt. Aus über 30 ursprünglichen Signaturen werden 10 Signaturen aggregiert und eine überwachte Klassifikation mit dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) ohne spezielle Vorgaben durchgeführt.

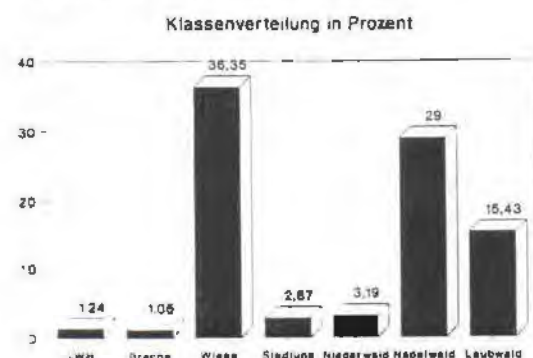
Beim Signaturentraining ergeben sich die allgemein bekannten Schwierigkeiten der Auswahl von homogenen Gebieten des gleichen Oberflächenmerkmals. Im speziellen Fall gestaltet sich die Definition des bebauten Gebietes schwierig, da es sich bei den Siedlungen größtenteils um Streusiedlungen und bei den Verkehrsflächen um lineare Elemente handelt und klare Bestimmungsflächen wie etwa große Parkplätze, Rollfelder usw. im gegebenen Gelände fehlen. Ansonsten bietet das abwechslungsreiche, stark gegliederte Gelände eine gute Grundlage zur Festlegung der spektralen Signaturen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation ist zufriedenstellend, im Vergleich zum Ergebnis der unüberwachten Klassifikation werden die Erwartungen jedoch nicht ganz erfüllt. Die Verteilung des Waldes erscheint plausibel, die Differenzierung der sonstigen Vegetation dagegen weniger. Weiters gestaltet sich der Versuch der Aufgliederung der vegetationslosen Flächen in *Bebauung*, *Verkehrsflächen* und *vegetationsfreier Boden* schwierig. Aus den ursprünglich 10 Signaturen können nur 7 sinnvolle Klassen abgeleitet werden.

Tab. 6.5.: Ergebnis der überwachten Klassifikation für die Beispielfläche 5329

Klassen	in %
1) Landw. Nutzfläche	1,24
2) Brachflächen	1,06
3) Wiese	36,35
4) Siedlung, Verkehr	2,87
5) Niederwald	3,19
6) Nadelwald	29,0
7) Laubwald	15,43

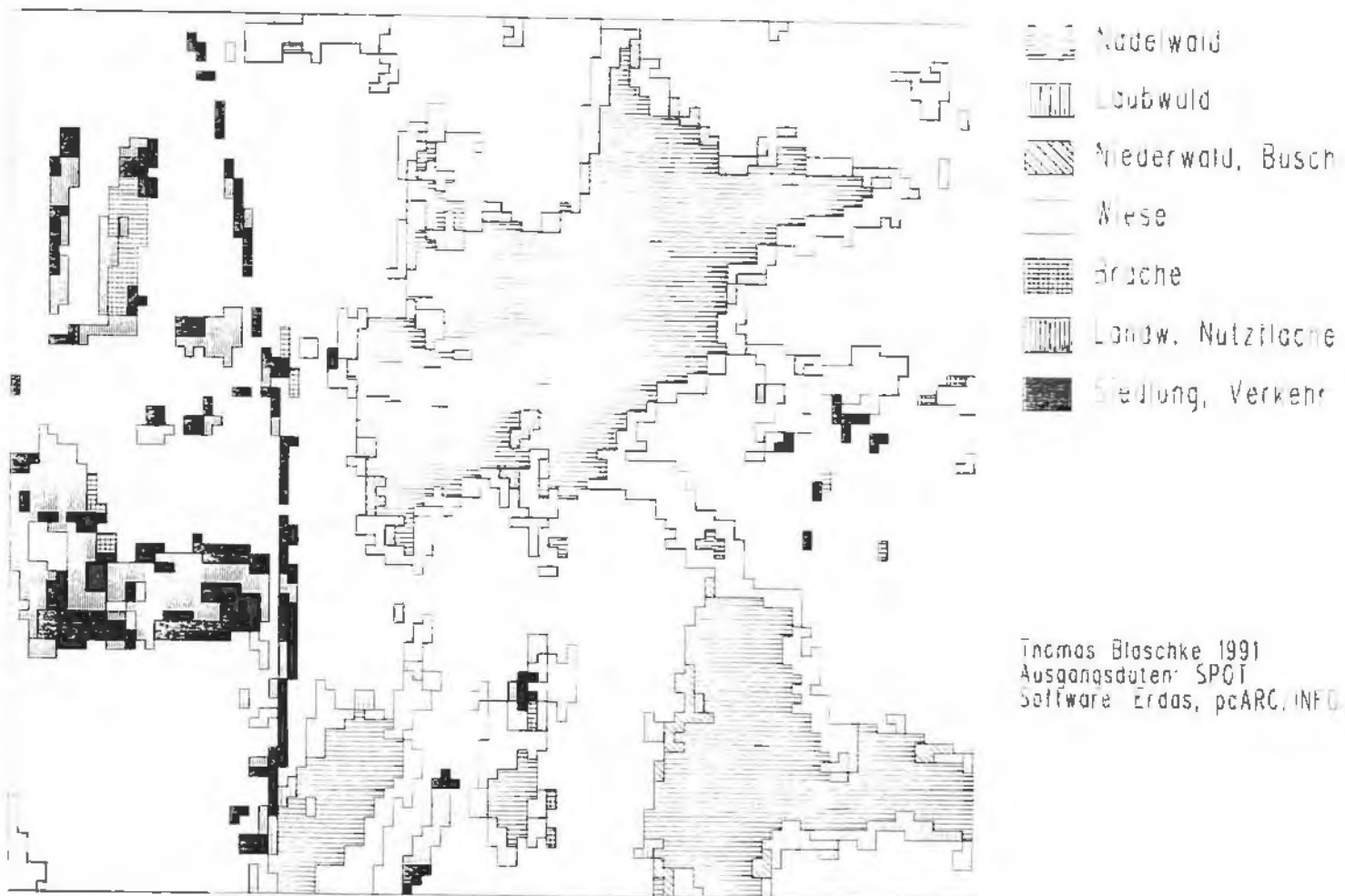


Das Ergebnis kann insgesamt nicht alle Anforderungen erfüllen, bzw. der Autor glaubt, daß bei einem noch genaueren Signaturentraining eine größere Klassenanzahl unterschieden werden kann. Vor allem die Einteilung des Waldes ist für einige Anwendungen zu ungenau. Um hier bessere Ergebnisse zu erzielen, wäre ein zusätzlicher Schritt des Signaturentrainings und eine erneute Klassifikation notwendig (vergl. Kapitel 5.3.4.). Für den Vergleich der verschiedenen Verfahren wird jedoch das zuvor beschriebene Ergebnis verwendet, um den Arbeitsaufwand in einem vertretbaren Maße zu halten und um die Vergleichbarkeit mit anderen Klassifikationsverfahren zu gewährleisten.

Abb. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielgebietes 5329

Überwachte Klassifikation mit 10 x 10 m Auflösung

Größe des Ausschnitts: 1000 x 1000 Pixel (1000 x 1000 m)



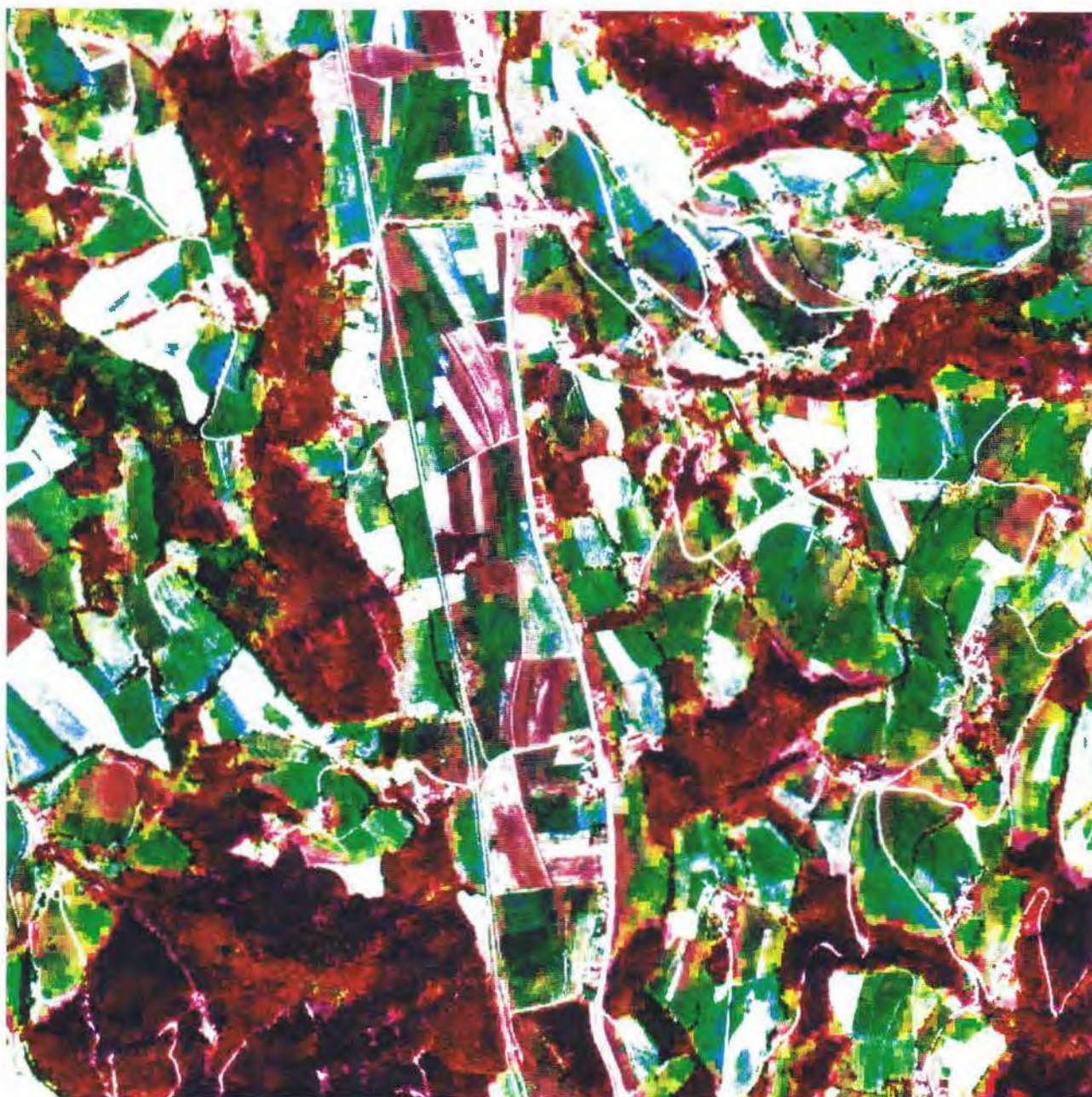
6.4.3. Unüberwachte Klassifikation SPOT-Daten und Orthophoto

Ausgangslage

Für den Bereich des Orthophotos 5329-103 (südöstliches Viertel der Karte 5329, d.h. 5 x 5 km) werden SPOT-XS und SPOT-panchromatisch herausgeschnitten und rechnerisch auf 2,5 x 2,5 m große Bildelemente (Pixel) vergrößert (*resampling*). Dabei kann die bestehende Situation zwangsläufig nicht hinsichtlich ihrer räumlichen Auflösung verbessert werden, vielmehr entstehen gegenüber der 10 x 10 m-Auflösung jeweils 16 identische Pixel.

Die Satellitendaten werden mit dem zuvor aufbereiteten digitalen Orthophoto kombiniert. Dieser Prozeß gestaltet sich etwas mühsam durch verschiedene notwendige Transformationen.

Abb. 6.10.: Aufbereitetes Ausgangsbild aus SPOT und Orthophoto



Das Ergebnis ist jedoch überaus beeindruckend. Den "künstlich" auf 2,5 m Bodenauflösung vergrößerten Pixeln kann in einem Kanal ein Bild mit echter 2,5 m Bodenauflösung überlagert werden. Dadurch werden Detailstrukturen sichtbar. Der *visuelle Vergleich* mit dem entsprechenden Kartenblatt der ÖK25V ergibt, daß teilweise genauere Verläufe der Topographie als die durch den Generalisierungsgrad der Karte (Ausgangsmaßstab 1:50000) Bedingten erkennbar sind (z.B. Verlauf der Waldgrenze). Das so geschaffene Bild hat einen Speicherbedarf von 20 MB, was für die Gesamtklassifikation zum Hindernis wird, da schätzungsweise 80 bis 100 Orthophotos zur Abdeckung des Nationalparkgebietes notwendig sind. Die Klassifikation wird zunächst auf das 1000 x 1000 Pixel (= 2,5 x 2,5 km) große nordwestliche Viertel des Orthophotos 5329-103 beschränkt. Das Ausgangsvolumen der Klassifikation beträgt dadurch 5 statt 20 Mb.

Durchführung

Mit dem bereits angewandten Verfahren der unüberwachten Klassifikation (*ISODATA*) wird das synthetische Bild klassifiziert. Die Anzahl der Klassen wird in einem ersten Versuch auf 20 begrenzt. Anschließend werden die Klassen inhaltlich interpretiert und schrittweise zusammengefaßt bis eine eindeutige Zuordnung inhaltlicher Merkmale erfolgen kann. Dabei treten die selben Probleme auf wie bei der in Kap. 6.4.1 beschriebenen unüberwachten Klassifikation der Originalkanäle. Vor allem die Hauptklasse *Wald* bereitet Probleme. Es können nur zwei Klassen eindeutig unterschieden werden, reiner *Nadelwald* sowie *Laub- und Mischwald*. Weiters lassen sich *bebaute Flächen* und *gemähte Wiesen* nicht eindeutig unterscheiden. In einem zweiten Versuch wird bei ansonsten unveränderten Parametern die Anzahl der Klassen auf 30 erhöht, was sich in einer deutlich längeren Rechenzeit niederschlägt. Das Ergebnis des zeitaufwendigen, schrittweisen Zusammenfassens ist jedoch das gleiche wie zuvor angedeutet.

Ergebnis

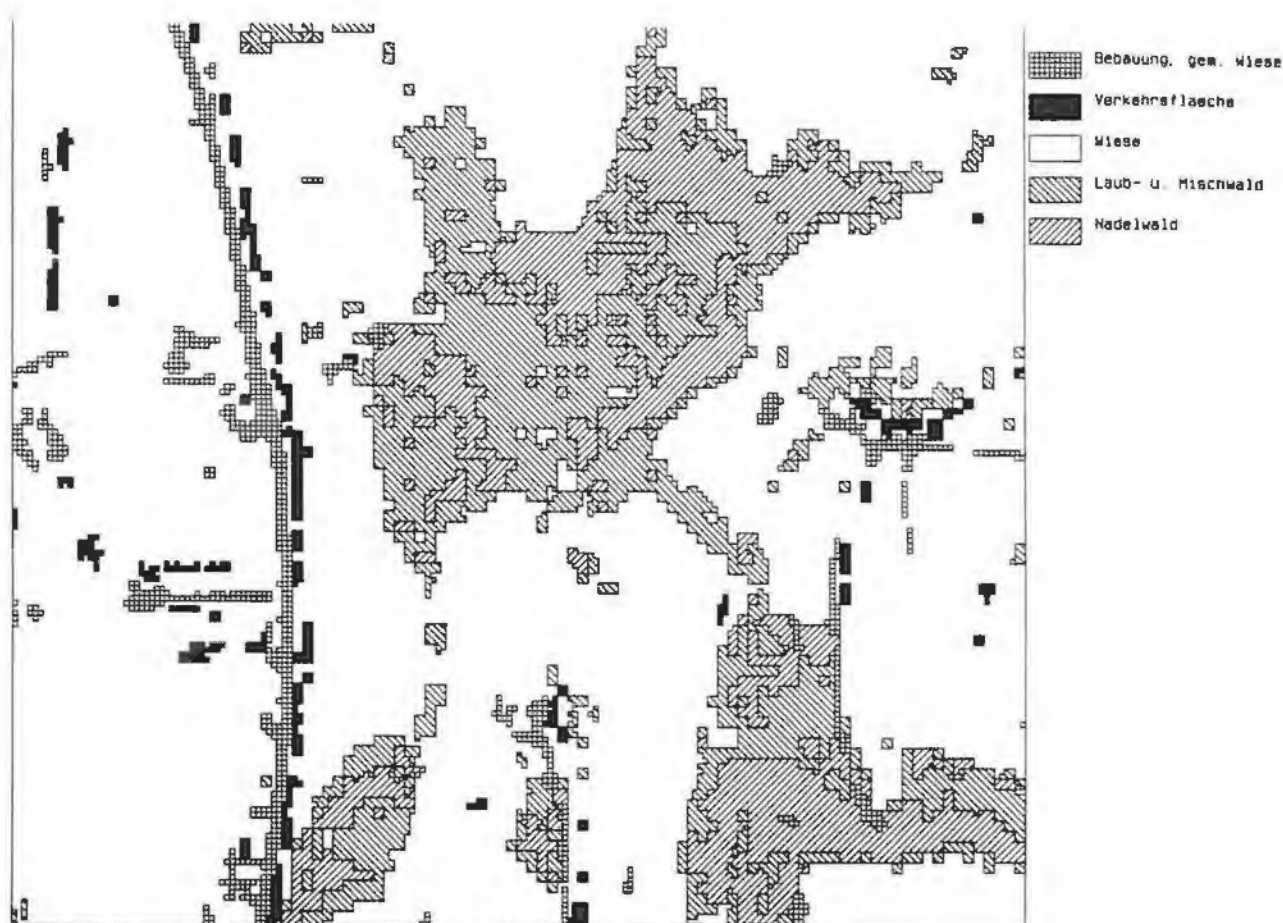
Durch die rechnerische Auflösung von 2,5 m (*Pseudoauflösung*) weist das Ergebnis zunächst relativ viele Einzelpixel auf (*salt and pepper-effect*). Die schrittweise Zusammenführung der Klassen gestaltet sich schwierig und arbeitsintensiv. Neben den bekannten Effekten, wie etwa des Einflusses der Exposition und damit des Einfallwinkels der Sonnenstrahlung, wirkt sich offensichtlich auch die Unterschiedlichkeit der Kanäle aus. Diese Erscheinung wird in der Literatur kaum beschrieben. Daher soll hier kurz darauf eingegangen werden.

Es fällt auf, daß die linearen Strukturen sich an einigen Stellen in zwei Klassen widerspiegeln. Ein schmaleres Band weist auf den Ursprung des Kanals mit echter 2,5 Meter Auflösung (also des digitalen Orthophotos) hin, ein parallel dazu verlaufendes, breiteres Band deutet auf die geringere reale Auflösung des SPOT-Bildes. Die Überprüfung dieses Phänomens ergibt, daß wirklich zwei inhaltlich sehr ähnliche Klassen (*Pseudoklassen*) auf diese Weise entstehen, die schwer voneinander zu trennen sind. Dadurch, daß auch digitalisierte Straßen in *Arc/Info*-Format herangezogen werden können, läßt sich eindeutig feststellen, daß dieser Versatz um 10 bis 20 m aus der ungenauen Rektifizierung der Satellitendaten entsteht. Während diese räumliche (Un)genauigkeit bei der alleinigen Verwendung der Satellitendaten durchaus tolerier-

bar erscheint (angesichts einer *realen* Auflösung von 20 m bei SPOT XS und 30 m bei Landsat TM) erscheint bei der vorliegenden Testergebnis mit einer 2,5 m-Auflösung diese Lageungenauigkeit der Satellitendaten als nicht tolerierbar. Eine Zusammenführung zweier inhaltlich identischer, jedoch räumlich versetzter Ergebnisklassen würde zunächst die dahinterstehende Thematik überbewerten, was jedoch mit einem nachfolgenden Filterverfahren bis zu einem gewissen Grad bereinigt werden kann. Dies erscheint jedoch nicht als grundlegendes Hindernis für eine Gesamtklassifikation.

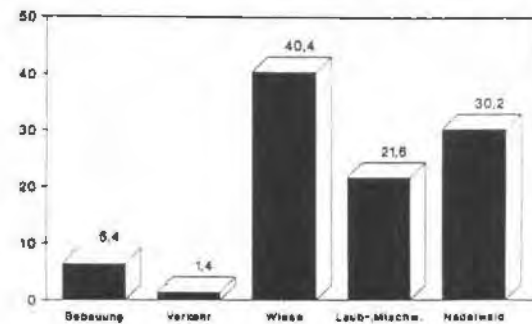
In der vorliegenden Klassifikation werden die Klassengrenzen der unüberwachten Klassifikation in einigen Fällen offenbar unglücklich gezogen. Speziell *frisch gemähte Wiesen* und die *versiegelte Fläche* wurden nicht klar getrennt. Als Lösungsansatz sind zwei Varianten denkbar: Entweder man gibt sich mit einer Klasse *bebaute Fläche und gemähte Wiesen* zufrieden oder man startet eine erneute unüberwachte Klassifikation mit anderen Vorgaben, wobei hier eine noch größere Klassenanzahl notwendig erscheint. Dies erhöht den Rechen- und Arbeitsaufwand deutlich. Diese weitere Vorgangsweise wäre bei der Klassifikation des Gesamtgebiets jedoch unbedingt notwendig, falls für eine unüberwachte Klassifikation entschieden wird. Die erste Variante kann auf jeden Fall als **unbefriedigend** bezeichnet werden, wobei diese Aussage ausschließlich für die verwendeten Daten und nicht allgemein gültig ist.

Abb. 6.11.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation aus SPOT XS und Orthophoto, BL 5329



Tab. 6.6.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto, Bl. 5329

Klassen	in %
1) Bebauung, gem. Wiesen	6,4
2) Verkehrsfläche	1,4
3) Wiese	40,4
4) Laub- und Mischwald	21,6
5) Nadelwald	30,2



6.4.4. Überwachte Klassifikation SPOT-Daten und Orthophoto

Ausgangslage

Mit der gleichen Datengrundlage wie bei der unüberwachten Klassifikation mit Orthophoto (Kap 6.4.3.) und über das gleiche Gebiet (1000 x 1000 Pixel = 2,5 x 2,5 km) wurde nach einem entsprechenden Signaturentraining eine überwachte Klassifikation mit der Methode der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) durchgeführt.

Ergebnis

Es sind mehrere Versuche notwendig um zu einem einigermaßen plausiblen Klassifikationsergebnis zu gelangen. Durch die Unterschiedlichkeit der Kanäle entstehen teilweise Pseudogrenzen oder es werden Klassen falsch zugeordnet. Einige Trainingsgebiete liegen in den drei SPOT-XS Kanälen gut und variieren im Orthophotokanal oder umgekehrt, daher muß 6 bis 7 mal nach der Klassifikation wieder in das Signaturentraining zurückgekehrt werden, um neue Trainingsgebiete auszuweisen. Verschiedene Versuche, bei der *maximum likelihood*-Klassifikation unter Verwendung des *Bayesian Classifiers* (vergl. Kap. 5.3.3) anders zu gewichten, bringen kaum eine Änderung.

Das Ergebnis ist insgesamt **nicht befriedigend**. Die Klassen weisen zwar eine hohe Genauigkeit auf, wie eine stichprobenartige Kontrolle ergibt, für die Gesamtklassifikation ist die Differenzierung der Klassen jedoch zu gering. Auch wenn auf dem Bild Wasser, alpine Matten, vegetationsfreie Felsformationen und ähnliches nicht vorkommen, wie bei der Gesamtklassifikation zu erwarten, erscheint die Anzahl von sechs Klassen generell als zu wenig. Vor allem der Wald sollte genauer differenziert werden können.

Tab. 6.7.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für die Beispielfläche Bl. 5329

Klassen	in %
1) lichter Wald, Busch, Strauch	2,4
2) abg. Felder	0,11
3) Nadelwald	24,1
4) Siedlung, Verkehr	1,9
5) Wiese	69,8
6) Laub- und Mischwald	1,8

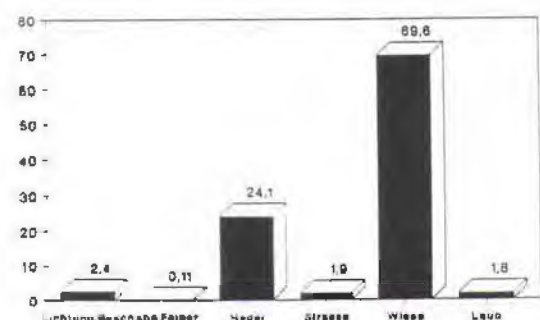
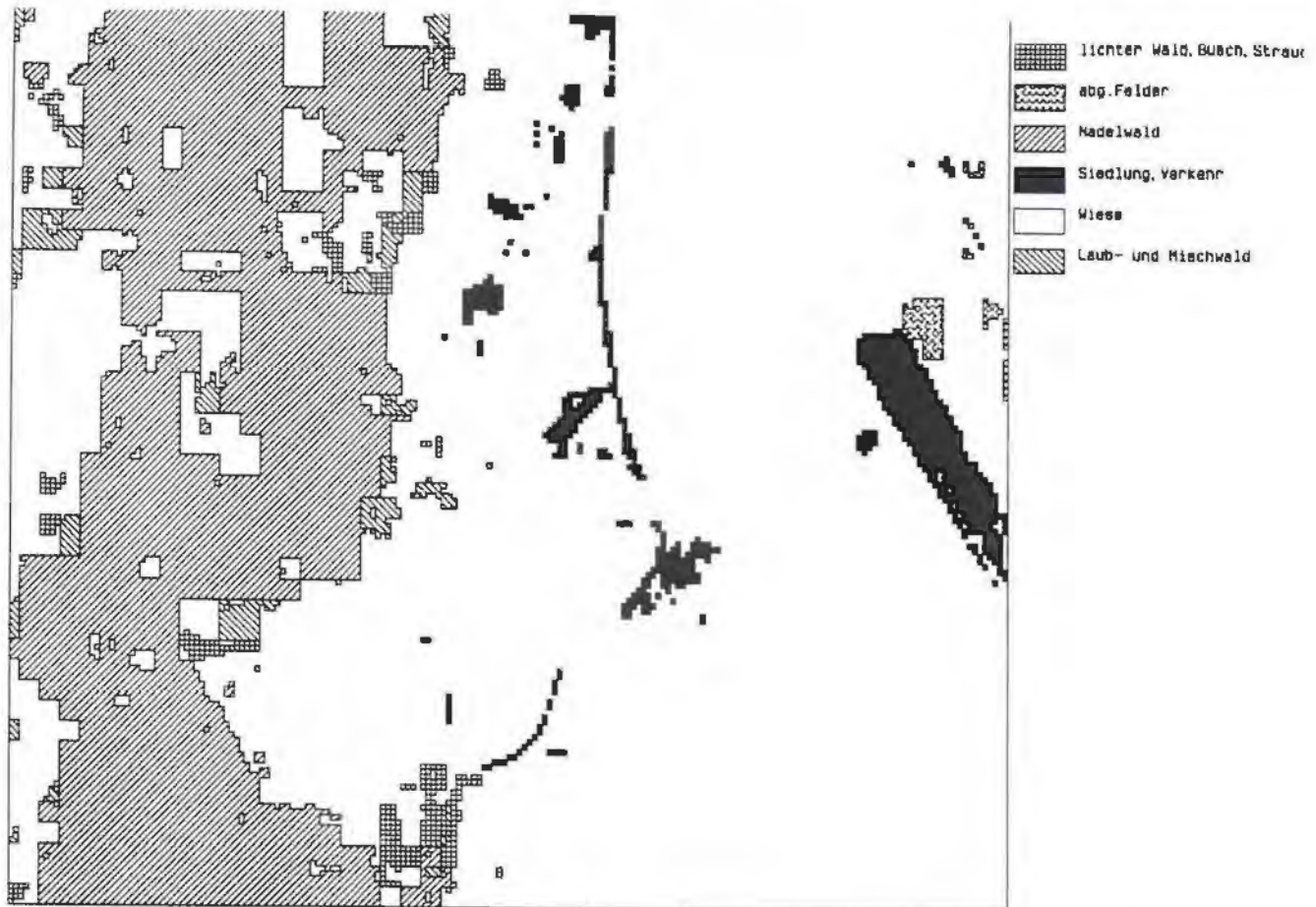


Abb. 6.12.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für das Beispielsgebiet 5329



6.4.5. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Orthophoto und SPOT

Ausgangslage und Durchführung

Das auf 2,5 Meter Auflösung gebrachte digitale Orthophoto wird mit den SPOT XS-Kanälen in einer verbesserten IHS-Transformation gemäß EHLERS et al. (1990) zusammengeführt (vergl. Abb. xx). Dabei wird der Kanal mit der hohen räumlichen Auflösung (in dem Fall der Kanal des Orthophotos) separat gehandhabt und ersetzt die Ausprägungen von *intensity*. Die Ausprägungen von *hue* und *saturation* werden übernommen und alle drei Kanäle in die RGB-Darstellung zurückgerechnet. Die Klassifikation wird dabei auf das gleiche Gebiet wie in Kap. 6.4.3. und 6.4.4. (1000 x 1000 Pixel = 2,5 x 2,5km) beschränkt.

Es tritt ein offensichtliches Problem auf: Einige Flächen werden weiß, d.h. sie erhalten den Wert 255 in allen drei Ausprägungen von *intensity*, *hue* und *saturation*. Es handelt sich dabei um *frischgemähte Wiesen* und um *umgeackerte Felder*. Dadurch lassen sich in diesem speziellen Fall *Straßen*, *gemähte Wiesen* und *Brachflächen* nicht sinnvoll unterscheiden. Um dieses Phänomen zu beseitigen, werden in einem zweiten Versuch die einzelnen Kanäle vor den Transformationen bearbeitet (*histogramm stretch*, vergl. Kap.

5.2.2). Das zuvor beschriebene Problem kann dadurch etwas reduziert werden, wenn auch nach wie vor die frisch gemähten Wiesen im spektralen Sinne sehr eng an die versiegelten Flächen grenzen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation weist dennoch eine **gute Qualität** auf, wenn man das zuvor beschriebene Problem *Brachflächen - Verkehrsflächen* in Kauf nimmt. Die Unterscheidung innerhalb der Klasse *Wald* gestaltet sich jedoch relativ schwierig. Die stichprobenhafte Überprüfung im Gelände ergibt, daß vor allem der *Mischwald* Probleme bereitet. Es können daher nur reine *Nadelwald*- bzw. *Laubwald*gebiete als solche ausgewiesen werden, während die Klasse *Mischwald* überrepräsentiert erscheint.

Tab. 6.8.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation

Klassen	in %
1) Nadelwald	7,5
2) Mischwald	13,9
3) vegetationsfrei	3,3
4) Laubwald	12,5
5) Landw. Nutzfläche	62,8

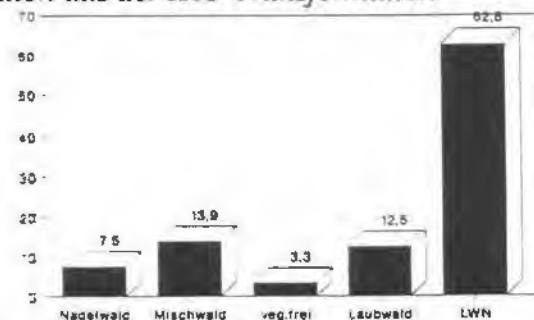
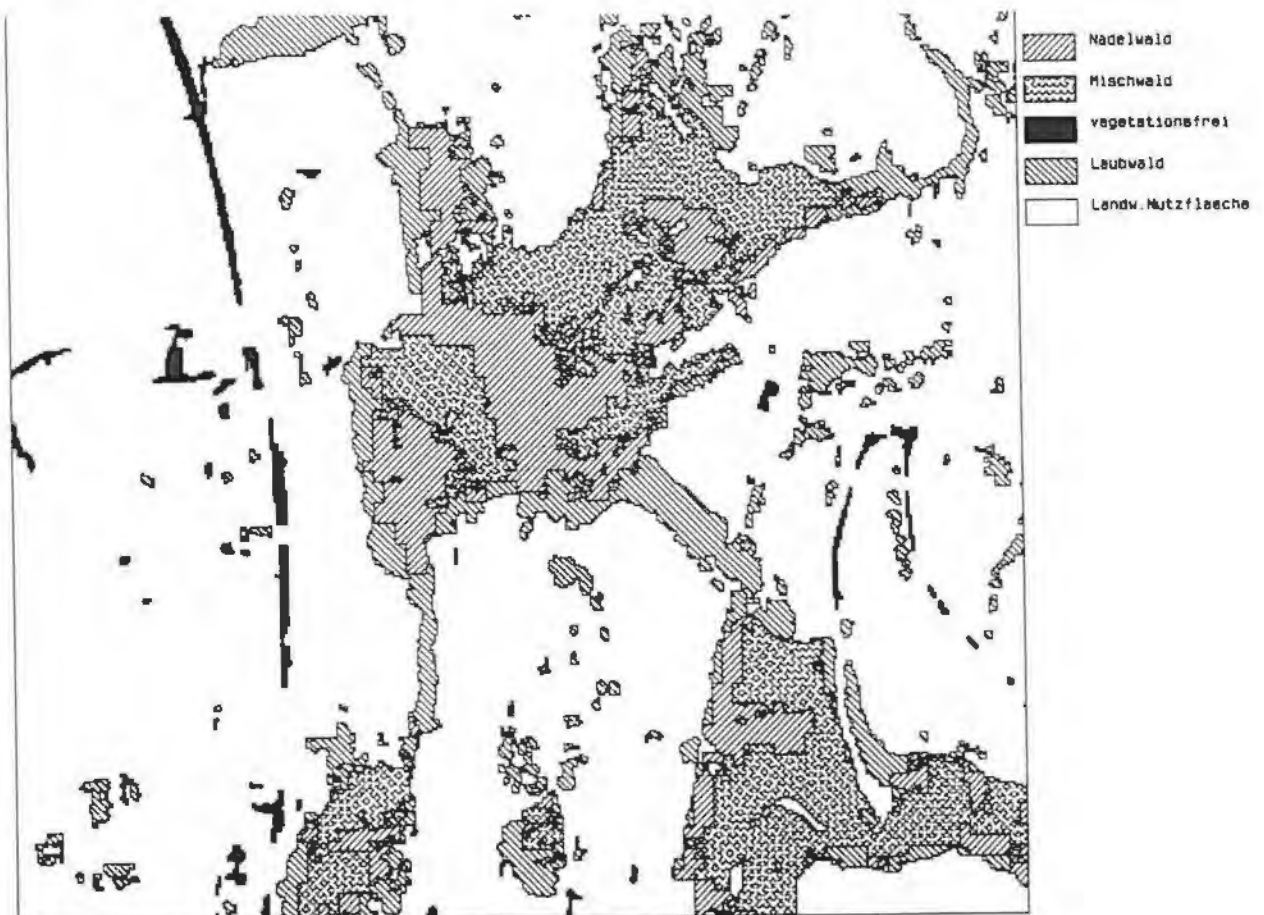


Abb. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation von SPOT-Daten und Orthophoto, BL 5329



Trotz der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten ergibt sich für dieses Beispielsgebiet eine brauchbare Klassifikation. Lediglich die Klasse *vegetationsfrei* fällt aus den zuvor beschriebenen Gründen etwas aus dem Rahmen. Da in diesem Gelände einige markante Landnutzungsklassen fehlen (Gewässer, alpine Matten, Felsregion) werden nur 5 Klassen unterschieden. Die landwirtschaftliche Nutzfläche ließe sich noch detaillierter darstellen, doch wurde hinsichtlich des Gesamtgebietes darauf verzichtet.

6.5. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5330 (Sengsengebirge)

Das Beispielblatt 5330 des Triangulierungsblattschnittes 1:20000 bedeckt den Ostteil des Sengsengebirges sowie einen Teil dessen nördlicher Vorzone. Während der Westteil des Sengsengebirges einen schmalen Verlauf nimmt, weitet sich der Bereich des Hochkarsts etwa ab dem Rohrauer Größtenberg (1810 m), der im W des Blattes liegt, deutlich aus und erreicht beispielsweise zwischen der Feichtauhütte und der Koppentalm eine N-S-Erstreckung von ca. 3 km. Dabei handelt es sich um eine stark verkarstete Hochfläche, die im Hohen Nock mit 1963 m ihren Kulminationspunkt erreicht. Im E wird das Sengsengebirge durch den meist kerbtalartig verlaufenden Einschnitt der Krummen Steyr vom Reichraminger Hintergebirge getrennt. Die beiden zentralen Landschaftselemente dieses Gebietes sind die verkarsteten Hochflächen einerseits und die angrenzenden, bewaldeten Hänge andererseits. Dadurch handelt es sich um ein für die Kernzone des geplanten Nationalparks typisches Gebiet.

Für das Blatt 5330 existieren nur für einen kleinen Teil SPOT XS-Daten. Aus diesem Grund sowie wegen des Reliefs, das im Gegensatz zum ersten Beispielsgebiet (Blatt 5329, Windischgarsten) als repräsentativ für die Kernräume des geplanten Nationalparks angesehen werden kann, sollen hier die Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten des Landsat TM getestet werden. Es wird darauf verzichtet, digitale Orthophotos miteinzubeziehen, da die Methodik in der ersten Studie (Blatt 5329) hinreichend verdeutlicht wird.

Ziel ist daher die bestmögliche Zusammenführung der zur Verfügung stehenden Landsat TM und SPOT P-Daten. Ein zentrales Thema spielt dabei die Frage, ob eine Integration der Daten in einem Satellitenbild in einfacher Überlagerung oder in der Verknüpfung über die in Kapitel 5.2.3. dargestellte und bereits mehrfach angewandte Methode (vergl. Kap. 5.5.3., Kap. 6.3., 6.4.5.) der verbesserten IHS-Transformation von CHAVEZ, SIDES and ANDERSON (1991) und EHLERS et al. (1990) erfolgen kann, welche Vorteile gegenüber einer normalen IHS-Transformation verspricht. In dem Beispielsgebiet Windischgarsten kann diese Frage nicht eindeutig beantwortet werden. Wegen der zeitraubenden Klassifikationsschritte wird ein 5 x 5 km (= 500 x 500 Pixel oder 25 km²) großer Ausschnitt als Testgebiet genommen, der genau dem Bereich des Orthophotos 5330-100 entspricht. Der Abschnitt umfaßt großteils die stark bewaldete nördliche Vorzone des Sengsengebirges mit dem Ramsauer Größtenberg (1458 m) als beherrschendes Element im NW und reicht über das Schöneck (1237 m) und den tiefen Einschnitt des Niklbachs (600 bis 800 m) zum Hauptkamm des Sengsengebirges mit dem Rohrauer Größtenberg (1810 m) und der Hohen Nock (1963 m), deren Gipfel gerade nicht mehr

in dem Ausschnitt liegen. Das Testgebiet weist damit große Anteile an bewaldeten Lagen von über 1000 m Seehöhe, geringere Areale verkarsteter Hochfläche im S des Bildes von 1 bis 2 km² sowie einen geringen Anteil an landwirtschaftlich genutzten Tallagen (Hopfing, wenige hundert ha) auf. Almflächen sind, dem Charakter des Sengsengebirges entsprechend, nur in geschützten Mulden mit einer Bodenschicht über dem verkarstungsfähigen Gestein vorhanden (Feichtaualm, 1320 bis 1400 m).

6.5.1. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Originalkanälen

Ausgangslage und Durchführung

Als erster Analyseschritt wird im folgenden eine überwachte Klassifikation mittels des *maximum likelihood-Verfahrens* auf dem zuvor beschriebenen Testgebiet für die Original-Landsat TM-Kanäle 2, 3 und 4 sowie SPOT P durchgeführt.

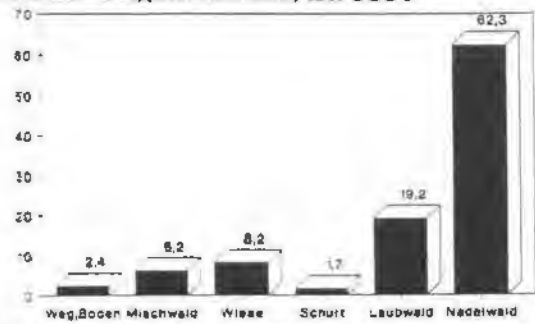
Das Signaturentraining gestaltet sich durch die Unterschiedlichkeit der Kanäle teilweise schwierig. Es tritt dabei zutage, daß zwischen den stark differierenden Aufnahmezeitpunkten (TM 8/84, SPOT P 1990) offensichtlich Änderungen der Landnutzung erfolgten. Dies betrifft, da Siedlungen weitgehend fehlen, fast ausschließlich den Wirtschaftswald. An den Stellen, an denen in diesem Zeitraum Schlägerungen erfolgten, ergeben sich Fehlklassifikationen. Es ist jedoch abzuwägen, ob ein solcher Effekt für das Gesamtgebiet quantitativ vernachlässigt werden kann. Ein weiteres generelles Problem, das aufgrund des Geländes im Beispielsgebiet 5329 (Windischgarsten) nicht so stark auftritt, ist der starke Licht-Schatteneffekt. Die in diesem Bereich etwa WNW-ESE verlaufende Hauptantiklinale des Sengsengebirges mit den entsprechend verlaufenden Einschnitten des Niklbaches, der Feichtaumulde und des Klausgrabens bewirkt teilweise eine scharfe Trennung in Sonn- und Schattenhänge. In den beschatteten Arealen ist die Unterscheidung beispielsweise zwischen Laub- und Nadelwald erschwert. Es ist daher für alle spektralen Signaturen unumgänglich, Trainingsgebiete in Licht- und Schattenlagen für alle Expositionen auszuwählen. Dies erhöht den Arbeitsaufwand wesentlich. Für eine einzige spektrale Signatur, z.B. *Nadelwald*, kann es erforderlich sein, 12 bis 15 einzelne, eng begrenzte Signaturen zu definieren und diese in mehreren Schritten der Signaturenmanipulation auch mit Hilfe der graphischen Visualisierung in einem zweidimensionalen Werteraum, zusammenzufassen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation kann angesichts der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten insgesamt als **befriedigend** angesehen werden. Die Klasse *Mischwald* hat allerdings nicht nur statistisch eine geringe Genauigkeit (33%), sondern läßt sich in den meisten Teilbereichen des Bildes nicht sinnvoll nachvollziehen. Die Klasse *Weg, freier Boden* und die Klasse *Schutt, Felsen* weisen aufgrund ihrer ähnlichen Inhalte Überschneidungen auf. Dennoch wird versucht, eine derartige Trennung aufrechtzuerhalten, um zwischen einem vegetationslosen Boden und einer fehlenden Bodenschicht differenzieren zu können.

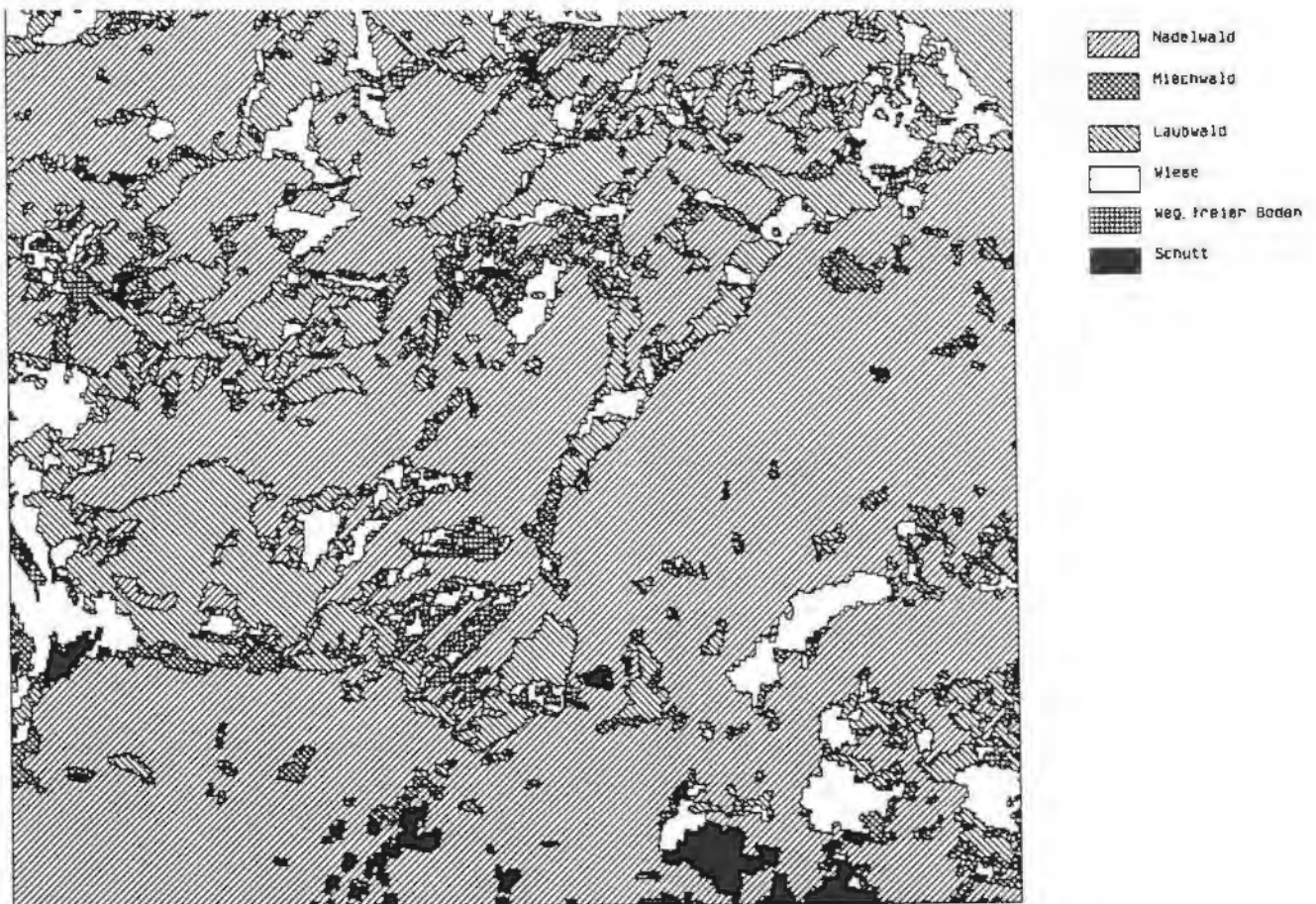
Tab. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle, Bl. 5330

Klassen	in %
1) Weg, freier Boden	2,4
2) Mischwald	6,2
3) Wiese	8,2
4) Schutt	1,7
5) Laubwald	19,2
6) Nadelwald	62,3



Die daraus resultierenden Prozentwerte sind jedoch mit gewisser Vorsicht zu genießen. Zwar gilt die gewählte Stichpunktanzahl von 100 im allgemeinen als genügend groß, doch scheint für einzelne Klassen (z.B. *Weg, freier Boden* und *Mischwald* mit je 9 Pixeln) die Größe kritisch. Aufgrund des hohen Aufwandes, exakt definierte Kontrollpixel zu ermitteln muß diese Unsicherheit für das Testergebnis in Kauf genommen werden.

Abb. 6.14.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle, Bl. 5330



Das Ergebnis der Genauigkeitsabschätzung mit 100 Kontrollpunkten zeigt eine Gesamtwahrscheinlichkeit von 72%. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Klassen deutlich.

Tab. 6.10.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Originalkanälen

	freier Boden	Mischwald	Wiese	Schutt	Laubwald	Nadelwald	Gesamt
freier Boden	2			3			5
Mischwald	1	3	2		2		8
Wiese	3		17		2		22
Schutt	3			5			8
Laubwald		3	1		19		23
Nadelwald		3	1	1	3	26	34
Gesamt	9	9	21	9	26	26	100

6.5.2. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P

Ausgangslage und Durchführung

Die Landsat TM-Kanäle 2,3 und 4 werden über die mehrfach beschriebene verbesserte IHS-Transformation mit dem panchromatischen SPOT-Kanal zusammengeführt. Wie in der vorhergehenden Klassifikation wird ein 5 x 5 km (= 500 x 500 Pixel oder 25 km²) großer Ausschnitt als Testgebiet genommen, der genau dem Bereich des Orthophotos 5330-100 entspricht und die stark bewaldete nördliche Vorzone des Sengsengebirges umfaßt. In den drei künstlichen RGB-Kanäle wird ein Signaturentraining und eine *maximum likelihood*-Klassifikation durchgeführt.

Es treten die gleichen Schwierigkeiten auf wie im Falle der Originalkanäle (vor allem der starke Licht-Schatten-Effekt). Das Signaturentraining selbst benötigt etwa den gleichen Zeitaufwand wie bei den Originalkanälen, obwohl eine andere Vorgangsweise gewählt wird: Für die Klassen *Nadelwald*, *Laubwald* und *Mischwald* werden für Licht- und Schattenbereiche getrennte Signaturen entwickelt, die erst nach der Klassifikation zusammengefaßt werden. Weder der Arbeits- und Zeitaufwand noch die Qualität des Ergebnisses beider Vorgangsweisen unterscheiden sich dabei signifikant.

Ergebnis

Das Ergebnis muß insgesamt als **wenig befriedigend** bezeichnet werden. Zwar sind die Klassen *Nadelwald* und *Laubwald* gut differenziert, doch vor allem zwischen den Klassen *Laubwald* und *Wiese*, *Schlägerung* kommt es trotz mehrmaligen neuerlichen Versuchen des Signaturentrainings nach wie vor zu deutlichen Fehlklassifikationen. Das Gesamtergebnis der Genauigkeitsabschätzung von 71% wird nur durch die extrem hohe Trefferquote der Klasse *Nadelwald* von 100% erreicht. Dies bedeutet, daß alle Kontrollpixel der Klasse *Nadelwald* richtig zugeordnet wurden. Darüberhinaus kommt es jedoch zu einer Überklassifikation. Berechnet man beispielsweise die weniger gebräuchliche *User's accuracy* (oder *reliability* gemäß STORY and CONGALTON 1986, S.398), ver-

gleichet man also, zu wieviel Prozent die klassifzierten Daten die Wirklichkeit repräsentieren, so gelangt man für die Klasse *Nadelwald* zu einer Genauigkeit von 64%. Das schlechteste Einzelergebnis weist wie in der Klassifikation aus den Originalkanälen die Klasse *Mischwald* auf.

Tab. 6.11.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation, BL 5330

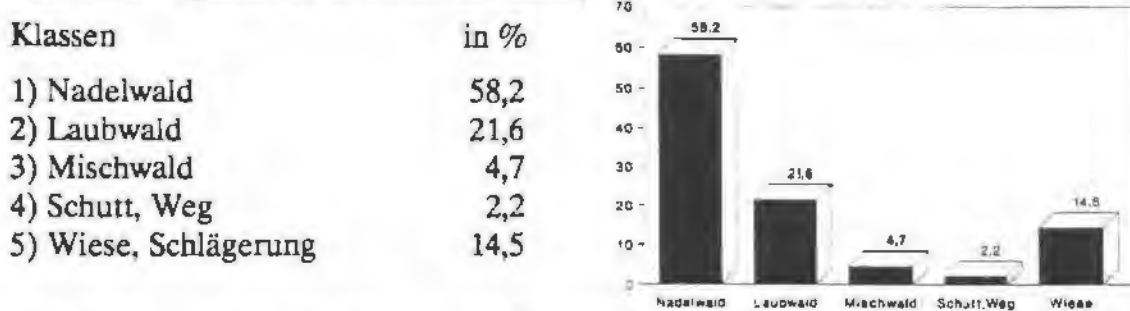
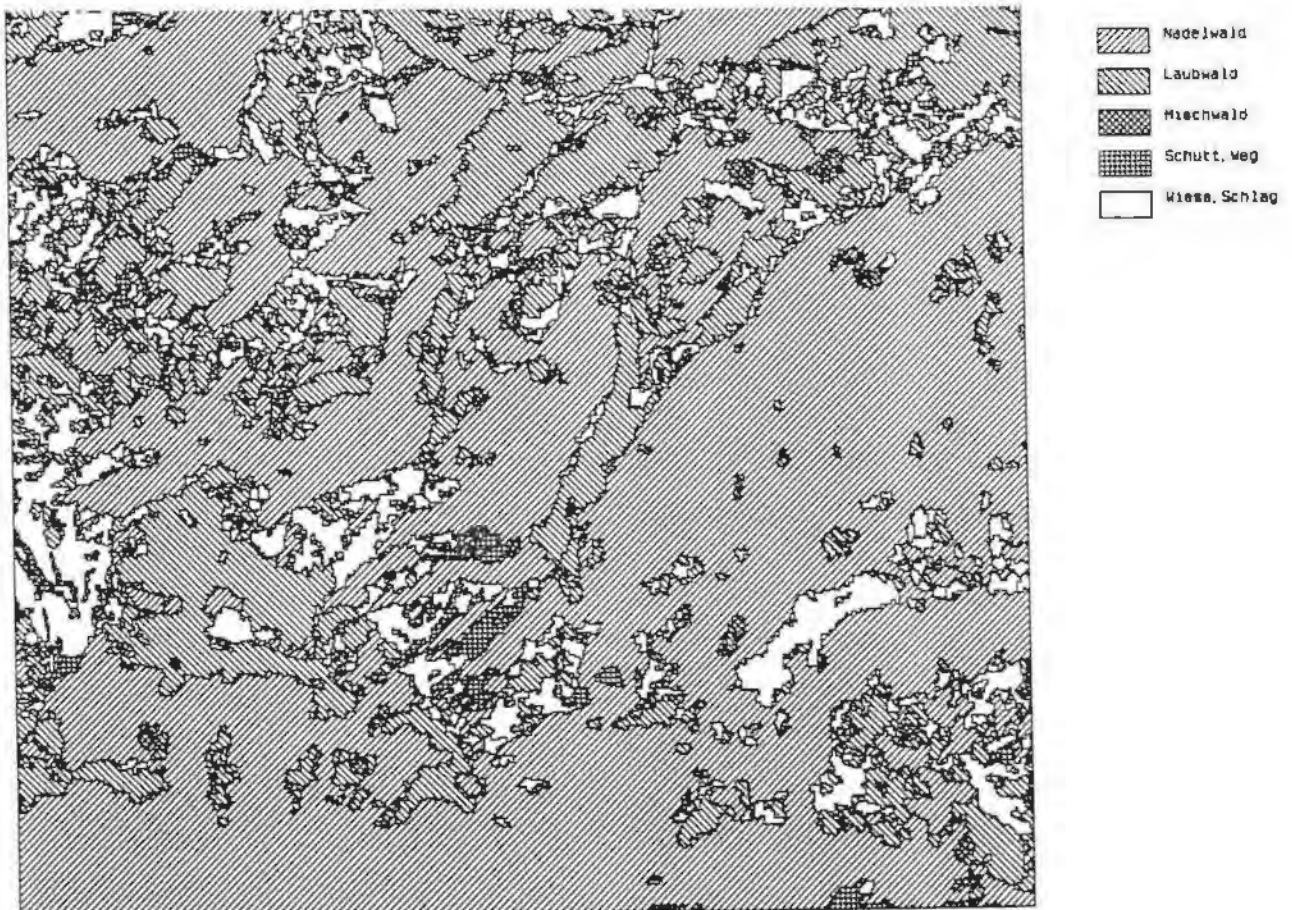


Abb. 6.15.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P, BL 5330



Tab. 6.12.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation, Bl. 5330

	Wiese	Nadelwald	Laubwald	Schutt, Felsen	freier Boden	Gesamt
Wiese	8			2	1	11
Nadelwald	3	25	5	1	2	36
Laubwald	14		22		1	32
Schutt, Felsen	1			7	2	10
freier Boden		1	1		9	11
Gesamt	21	26	28	10	15	100

6.5.3. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Ratiokanälen

Ausgangslage und Durchführung

Aufgrund der Probleme mit den Licht-Schatten-Effekten in den Originalkanälen und in den über die IHS-Transformation modifizierten Kanälen wird eine weitere Klassifikation mit Ratiokanälen durchgeführt. Dazu wird ein Vierkanalbild erzeugt mit den Kanälen:

- 1: Ratio TM2/TM3
- 2: Ratio TM3/TM4
- 3: Ratio TM2/TM4
- 4: SPOT P

Beim Signaturentraining muß gegenüber den Originalkanälen hinsichtlich der Standardabweichungen der Trainingspixel großzügiger vorgegangen werden, da in den Ratiokanälen große Wertesprünge vorkommen und das Bild äußerst unruhig wirkt bzw. verschiedene Konturen nur durch das Visualisieren des panchromatischen Kanals zu erkennen sind. Dies erfordert daher ein gewisses Umdenken gegenüber gewohnten Vorgangsweisen. Dadurch, daß nur drei Landsat TM-Kanäle zur Verfügung standen, ergibt sich eine gewisse Redundanz. Vor allem die Kanäle TM2/TM3 und TM2/TM4 weisen in ihrer Verteilung Ähnlichkeiten auf. Dennoch kann in den Schattenbereichen inhaltlich wesentlich klarer differenziert werden. Die spektralen Signaturen lassen sich in der graphischen Darstellung als zweidimensionaler Merkmalsraum gut identifizieren und bearbeiten (z.B. zusammenfassen).

Ergebnis

Die abgeleiteten Signaturen sind der Klassifikation der Originalkanäle angepaßt, außer der Klasse *Mischwald*, auf die verzichtet wurde, da sie sich als nicht sinnvoll herausgestellt hat bzw. da deren Definition durch die großen Wertesprünge kaum möglich ist.

Dadurch ist die Vergleichbarkeit der verschiedenen Klassifikationsverfahren etwas beeinträchtigt. Das Gesamtergebnis der Genauigkeitsabschätzung von 71% unterscheidet sich nicht von den anderen beiden Vorgangsweisen auf dem selben Testgebiet. Während die Klasse *Wiese, alp. Rasen* nur eine Genauigkeit von 38% aufweist, scheint der Laubwald (*accuracy* 78%, *users accuracy* 79%) gut getroffen. Durch diese Vorgangsweise ist es offensichtlich besser möglich, zwischen einer vegetationslosen Bodenschicht (*Weg, freier Boden*) und einer fehlenden Bodenschicht (*Schutt, Felsen*) unterschieden werden, wie in Kap. 6.5.1. gefordert.

Tab. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle, BL 5330

Klassen	in %
1) Wiese, alp.Rasen	7,6
2) Nadelwald	67,5
3) Laubwald	19,0
4) Schutt	1,2
5) Weg, freier Boden	4,8

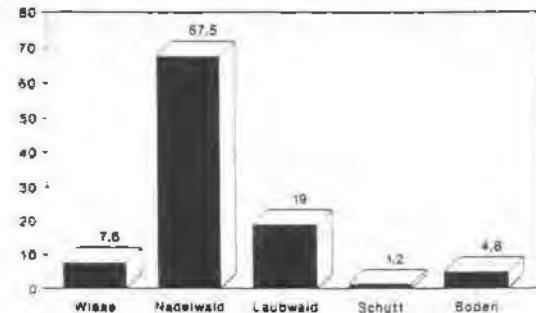
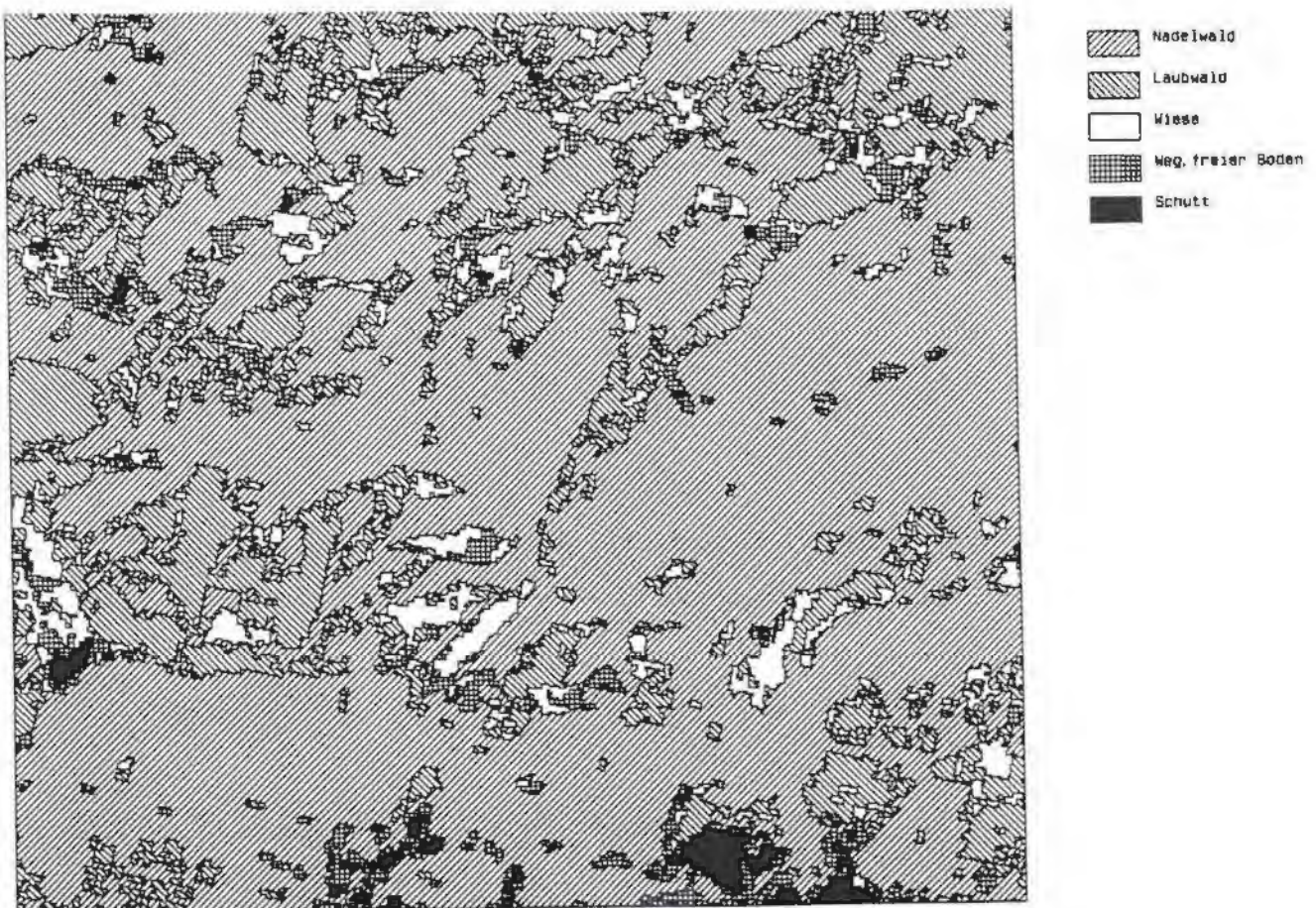


Abb. 6.16.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle, BL 5330



Tab. 6.14.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Ratiokanälen, BL 5330

	Nadelwald	Laubwald	Mischwald	Wiese	Schutt, Weg	Gesamt
Nadelwald	28	2	3	3	8	44
Laubwald		19	3	4		26
Mischwald		1	2			3
Wiese		3		14	2	19
Schutt, Weg					8	8
Gesamt	28	25	8	21	18	100

6.6. Nachbearbeitungsschritte

Filter

Eine gängige Methode der Nachbereitung der Klassifikationsergebnisse ist das Filtern mittels Matrizen (vergl. Kap. 5.2.2.). Angewandt wird das Verfahren in Kap. 6.4.1 zur Glättung des Bildes durch einen 3×3 low pass filter. Wie die Ergebnisse dieser Vorgangsweise zeigen, sind unbedingt neben den Vorteilen auch die Nachteile zu beachten. Zwar werden Einzelpixel großteils eliminiert, doch verschwinden auch lineare Strukturen bzw. werden teilweise aus langgestreckten, teils nur ein Pixel breiten Arealen einzelne Klumpen.

Bei den GIS-Dateien erscheint im gegebenen Fall der nominalen Klassen einzig die Option, dem jeweiligen Mittelwert der Filtermatrix den Wert zuzuweisen, den die meisten Filterelemente aufweisen (*majority*), als sinnvoll und zulässig. Dabei kann eine Mindestanzahl von Pixeln angegeben werden, ab der eine Wertänderung erfolgt. Diese stellt eine grundlegende Unterscheidung gegenüber der Vorgangsweise bei den Satellitendaten dar.

Dort, wo es zur Reduktion von Einzelpixelphänomenen unbedingt notwendig erscheint, muß jedoch darauf zurückgegriffen werden. Beispiel hierfür ist die Konvertierung von Rasterdateien in ein Vektor-GIS, wo für den Aufbau der Topologie enorme Rechenkapazitäten notwendig sind. Selbst auf einer leistungsfähigen Workstation ist es nicht möglich, ein ungefiltertes Klassifikationsergebnis mit mehreren Millionen Pixeln in das Vektor-Format umzuwandeln. Dies erscheint insofern als Nachteil, da das Klassifikationsergebnis in einem Raster-GIS gezielter manipuliert werden kann, indem z.B. Polygone unter einer bestimmten Größe eliminiert und dem benachbarten Polygon mit der längsten gemeinsamen Grenze zugewiesen werden, was derzeit in dem verwendeten Raster-GIS über den Umweg einer Kontiguitätsanalyse mit anschließendem Filtern zwar möglich ist, jedoch als umständlicher und weniger steuerbar angesehen werden muß.

Angleichung der Klassen

Sofern bei den einzelnen Teilgebieten der Gesamtklassifikation nicht exakt die gleichen Klassen evaluiert werden können, ist ein weiterer Schritt der Klassenangleichung notwendig. Dieser Schritt wird in den einzelnen Testbeispielen nicht durchgeführt. Bei der Klassifikation ist ferner zu berücksichtigen, daß immer nur vom Speziellen zum Allgemeinen gearbeitet werden kann. Dies bedeutet, daß im Zweifelsfall besser mehrere Einzelklassen verwendet werden, die nachträglich leicht zusammengefaßt werden können während eine umgekehrte Vorgangsweise nicht möglich ist.

Thresholding

Es wurde am Beispiel der überwachten Klassifikation der SPOT Originalkanäle (vergl. Kap. 6.4.2.) versucht, das Klassifikationsergebnis durch ein Post-Klassifikationsverfahren (hier: *thresholding*, vergl. SCHOWENGERDT 1983, S. 68) zu verbessern: Die schlechtesten Pixel, d.h. die Bildelemente mit der größten spektralen Distanz vom Klassenmittelwert, werden eliminiert und der Klasse 0 (Hintergrund) zugeordnet. Dies bringt eine leichte Verbesserung indem Überklassifikationen vermindert werden mit dem Effekt, daß die unklassifizierten Bildelemente zunehmen bzw. überhaupt entstehen. Bei der Bewertung dieses Vorgehens ist die ursprüngliche Aufgabenstellung entscheidend: Dürfen unklassifizierte Pixel vorkommen oder aber soll das Ergebnis in ein Landesinformationssystem eingespeichert werden, wo zur Entscheidungsfindung bzw. zur Bereitstellung der Grunddaten unklassifizierte Elemente nach meinem Verständnis möglichst nicht entstehen sollen. Allerdings ist mit einem zu ungenauen Klassifikationsergebnis auch niemandem gedient. In der vorliegenden Arbeit wird die letztere Variante als gegeben angenommen und die zuvor beschriebene Technik der Genauigkeitsverbesserung für die Gesamtklassifikation nicht angewendet.

Versuch der Datenreduktion

In mancher Hinsicht stellt sich die Frage, ob eine Reduktion des Datenvolumens durch eine Aggregation von Bildelementen (*resampling*) notwendig ist. Dabei ist unbedingt zu berücksichtigen, daß dies nur im Zusammenhang mit einer verminderten räumlichen Auflösung möglich ist. Zwar stellt die generelle Auflösung von 10 m für alle Satellitendaten eine "künstliche" Auflösung dar, doch wären bei einer Aggregation auf beispielsweise 20 x 20 m auch inhaltliche Kriterien der Zuordnung notwendig, die entscheidende Veränderungen der Häufigkeiten bedingten. In dieser Studie wird daher keine Datenreduktion vorgenommen. Es wird für eine spätere Verwendung der Daten in einem Nationalpark-GIS vorgeschlagen, bei bestimmten rechenintensiven Verschneidungen mit anderen Datenschichten die Daten mit Hilfe effizienter und selektiver Werkzeuge eines vektororientierten Systems gezielt zu generalisieren (z.B. Eliminieren von Polygonen bestimmter Klassen unter einer bestimmten Größe und nachbarschaftsabhängige Zuordnung zu einer anderen Klasse).

6.7. Verifizierung der Ergebnisse im Gelände

Die Geländebegehung Ende Juli/Anfang August 1991 muß sich aus verschiedenen Gründen auf ein stichprobenartiges Kartieren von Testgebieten beschränken. Das

Hauptaugenmerk gilt dabei dem Becken von Windischgarsten sowie Teilen des Sengsengebirges (nördliche Vorzone, Feichtaualm, Feichtauseen).

Dabei ergibt sich u.a., daß die Kontrollmöglichkeiten durch die Orthophotos so gut sind, daß eine ausführliche Kontrollkartierung im Gelände nicht unbedingt notwendig erscheint. Weiters wird festgestellt, daß der geplante Zeitaufwand für eine Kontrollbegehung in der Planungsphase zu gering veranschlagt wurde. Konkret ist ein Arbeitstag auch für eine überblicksmäßige Begehung mit stichprobenartigen Eintragungen in die Kartierungsunterlagen viel zu wenig für ein fast 30 km² großes Gebiet, obwohl es sich dabei um das Becken von Windischgarsten und die angrenzenden Hänge und damit um ein überdurchschnittlich gut zugängliches Gebiet handelt. Mit An- und Abfahrt werden gut drei Arbeitstage benötigt. Dem Autor ist dabei bewußt, daß die Geländearbeiten insgesamt relativ gering ausfallen. Dies liegt jedoch zum Großteil an der Fragestellung: Bei einer überblicksartigen Darstellung der Hauptlandnutzungsklassen über ein relativ großes Gebiet können die spektralen Signaturen mit den üblichen Methoden der digitalen Bildverarbeitung gut definiert werden. Wenn dagegen beispielsweise die landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Nutzungsart und Anbaufrucht detailliert erfaßt werden müßte, wäre ein wesentlich höherer Aufwand an Feldarbeit notwendig.

Ähnlich wird beim zweiten Testgebiet vorgegangen. Von der Feichtaualm aus erlauben mehrere Wanderungen ein grobes Abschätzen der Treffergenauigkeit (nicht quantitativ wie in Kap. 6.8.). Auf ein wirkliches Kartieren wird dabei verzichtet, da sich, wie bereits erwähnt, die Differenzierung mit Hilfe von Kartengrundlagen, vor allem mit Hilfe von Orthophotos als zweckmäßiger erweist.

6.8. Genauigkeitsabschätzung durch Kontrolldaten

Vergleich durch visuelle Interpretation aus Orthophotos

Im Falle des ersten Beispielgebiets (Windischgarsten) werden die Klassifikationsergebnisse visuell mit dem Ergebnis der Orthophotointerpretation verglichen. Dabei können qualitative Aussagen über die Genauigkeit der einzelnen Klassen getroffen werden (vergl. Kap. 6.4.).

Eine der Haupteckenkenntnisse ist dabei, daß in den Tallagen die Wiesen im Prinzip alle sehr ähnlich sind. Es wäre zwar möglich, inhaltlich zu differenzieren, etwa in Mähwiesen und Weiden, dies erscheint jedoch angesichts des hohen Aufwandes, der zu erwartenden Unsicherheit der spektralen Abgrenzung und vor allem der Zielsetzung der Gesamtklassifikation (vergl. Kap. 1) als nicht sinnvoll.

Für das zweite Beispielgebiet (Sengsengebirge) wird auf einer maßstabsgetreuen Lichtpause des Orthophotos 5330-100 ein Referenzgitter von Bundesmeldenetzkoordinaten aufgetragen. Anschließend werden von 100 über das Blatt verteilten Kontrollpunkten die x- und y-Koordinaten ermittelt. Die Kontrollpunkte sollen in möglichst homogenen Arealen der Landnutzungsklassen liegen. Die Flächen sollen dabei so groß sein, daß die Kontrollpunkte einen Mindestabstand von 20 bis 30 Meter zur nächsten Klasse aufweisen, um zu verhindern, daß durch Ungenauigkeiten, die einerseits durch das Ermitteln der Koordinaten entstehen und andererseits durch Lageungenauigkeiten der referenzierten Satellitendaten bedingt sind, zu Fehlklassifikationen führen.

Die daraus resultierenden Prozentwerte sind jedoch mit gewisser Vorsicht zu genießen. Zwar gilt die gewählte Stichpunktanzahl von 100 im allgemeinen als genügend groß, doch scheint für einzelne Klassen (z.B. *Weg* und *Mischwald* mit 8 bis 10 Pixeln pro Klassifikation) die Stichprobengröße als kritisch. Aufgrund des hohen Aufwandes, exakt definierte Kontrollpixel zu ermitteln, muß diese Unsicherheit für das Testergebnis in Kauf genommen werden.

Für das Ergebnis der Gesamtklassifikation sollte eine höher Anzahl von Kontrollpunkten gewählt werden.

Das schlechteste Einzelergebnis weist in den Klassifikationen aus den Originalkanälen und aus der IHS-Transformation die Klasse *Mischwald* auf. Die Genauigkeit der anderen Klassen kann als zufriedenstellend bis sehr gut bezeichnet werden, zur detaillierten Beschreibung sei auf Kap. 6.5 verwiesen.

6.9. Bewertung und Einsatzmöglichkeiten der durchgeführten Klassifikationsverfahren in Hinblick auf die flächendeckende Landnutzungsklassifikation

Da weder SPOT XS noch Landsat TM flächendeckend zur Verfügung stehen, erscheint es für die Studie selbst nicht unbedingt als notwendig, detailliert herauszuarbeiten, welche der beiden multispektralen Aufnahmesysteme für das Gesamtgebiet besser geeignet wäre. Die Schlußfolgerungen hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten dieser Fernerkundungsdaten in Raumplanung und Naturraumanalyse erscheinen dagegen als wesentlich (vergl. Kap. 8).

Unüberwachte Klassifikation

Eine generelle Schwierigkeit der unüberwachten Klassifikation besteht darin, daß Klassen oft schwierig zu interpretieren sind, bzw. daß sich einzelne Klassen inhaltlich nicht trennen lassen. So werden z.B. rechnerisch oft 6 bis 12 verschiedene Waldklassen unterschieden, die offensichtlich durch unterschiedliche Expositions- und Beleuchtungsverhältnisse bedingt sind, jedoch nicht immer eindeutig in Nadelwald und Laubwald unterschieden werden können. Durch die Notwendigkeit des schrittweisen Zusammenfassens von Klassen ist dieses Vorgehen relativ zeitaufwendig. In diesem Fall sind oft 3 bis 6 Stunden notwendig, um vom ersten Ergebnis zu einer Klassifikation mit ansprechbaren Klassen zu gelangen, wobei jedesmal mindestens eine Wiederholung der Vorgangsweise erforderlich war.

Es stellt sich daher die Frage, ob eine unüberwachte Klassifikation gegenüber einem Signaturentraining und einer überwachten Klassifikation überhaupt zeitsparend ist, abgesehen von den sonstigen Nachteilen. Da im vorliegenden Fall des geplanten Nationalparks Kalkalpen auf umfangreiches Kartenmaterial, auf Orbophotos und auf eine gewisse Geländekenntnis zurückgegriffen werden kann, weist die Methode der unüberwachten Klassifikation **mehr Nachteile** als Vorteile auf und wird daher für das Gesamtgebiet aufgrund der Erfahrungen im Beispielsgebiet Windischgarsten **nicht verwendet**.

Überwachte Klassifikation (maximum likelihood)

Die Probleme der überwachten Klassifikation aus den Original-SPOT-Daten liegen im Testgebiet 5329 weniger in der Methode selbst, als in der Tatsache, daß die panchromatischen und auf die gleiche Auflösung gebrachten multispektralen Daten eine gewisse Redundanz aufweisen. Das Ergebnis der überwachten Klassifikation ist zwar **nicht voll zufriedenstellend**, doch kann davon ausgegangen werden, daß dies zum Teil an der Bearbeitung liegt. In der ersten überwachten Klassifikation liegt eine geringere Erfahrung und Detailkenntnis des aktuellen spektralen Verhaltens bei den spezifischen Rahmenbedingungen (Aufnahmezeitpunkt, Vegetationsstand, Gebietskenntnis ...) seitens des Interpreten zu Grunde. Es wird daher die These aufgestellt, daß mit der gleichen Vorgangsweise am Ende der monatelangen Arbeiten in beiden Beispielsgebieten ein besseres Ergebnis erzielt worden wäre.

Für verschiedene Tests der spektralen Signaturen wird teilweise das weniger rechenintensive *parallelipiped*-Verfahren verwendet, während sich die überwachte Klassifikation mit Hilfe der *maximum likelihood*-Methode für die Gesamtklassifikation als die **geeignete** herausstellt.

In der Studie des Beispielsgebiets 5330 (Sengsengebirge) steht deshalb nicht die Klassifikationsmethode im Mittelpunkt, sondern die Frage, welche Kanäle im Falle des Landsat TM in die Klassifikation eingehen sollen (Originalkanäle, Ratiokanäle, oder verbesserte IHS-Transformation aus Originalkanälen und SPOT P).

Dabei stellt sich heraus, daß bereits beim Signaturentraining Vor- und Nachteile zu Tage treten. Das größte Problem stellt durch die beschriebene Topographie (etwa W-E-Verlauf der Kämme und Taleinschnitte, vergl. Kap. 6.5.1.) der starke Licht-Schatteneffekt dar. Es ist daher bei allen spektralen Signaturen unumgänglich, Trainingsgebiete in Licht- und Schattenlagen für alle Expositionen auszuwählen. Dies erhöht den Arbeitsaufwand wesentlich. Für eine einzige spektrale Signatur kann es erforderlich sein, bis zu 15 einzelne, eng begrenzte Signaturen zu definieren und diese in mehreren Schritten der Signaturenmanipulation, auch mit Hilfe der wiederholten graphischen Visualisierung in einem zweidimensionalen Werteraum, zusammenzufassen.

Bei den IHS-transformierten Daten treten die gleichen Schwierigkeiten auf wie im Falle der Originalkanäle (vor allem der starke Licht-Schatten-Effekt). Das Signaturentraining benötigt etwa den gleichen Zeitaufwand wie bei den Originalkanälen, obwohl eine andere Vorgangsweise gewählt wird, indem für Licht- und Schattenbereiche getrennte Signaturen entwickelt werden, die erst nach der Klassifikation aggregiert werden (vergl. Kap. 6.5.2.). Weder der Arbeits- und Zeitaufwand noch die Qualität des Ergebnisses beider Vorgangsweisen unterscheiden sich dabei signifikant. Bei der Klassifikation mit den Ratiokanälen kann erwartungsgemäß in den Schattenbereichen am besten inhaltlich differenziert werden.

Die Genauigkeitsabschätzung der Klassifikationsergebnisse ergibt keine gravierenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Klassifikationen. Es wird daher für die Gesamtklassifikation eine kombinierte Vorgangsweise, d.h. teils Originalkanäle, teils Ratiokanäle, angestrebt.

Unüberwachte Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto

Das Ergebnis der unüberwachten Klassifikation unter Einbeziehung des digitalen Orthophotos ist insgesamt **unbefriedigend**. Trotz großen Arbeitsaufwandes gelang es nicht, eine genauere Landnutzungsklassifikation als mit den Satellitendaten allein durchzuführen. Im Gegenteil konnten diese vorliegenden Ergebnisse nicht erreicht werden, was die spektrale Trennung der Klassen anbelangt. Die zwangsläufig verbesserte räumliche Auflösung und Ausweisung linearer Strukturen steht in keinem Verhältnis zu Rechenaufwand, Speicherbedarf und Arbeitszeit.

Diese Vorgangsweise erscheint daher für die Gesamtklassifikation unter den gegebenen Bedingungen als ungeeignet und wird daher nicht weiterverfolgt. Dies soll jedoch kein generelles Urteil über die Methodik sein. Für andere Ausgangsdaten und Fragestellungen können durch diese Untersuchung keine Aussagen getroffen werden.

Überwachte Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto

Das Ergebnis kann als **nicht sehr zufriedenstellend** bezeichnet werden. Zwar weist das Klassifikationsergebnis eine hohe Genauigkeit auf, wie eine stichprobenartige Kontrolle ergibt, für die Gesamtklassifikation erscheint die Differenzierung der Klassen jedoch zu gering. Auch wenn auf dem Bild *Wasser, alpine Matten, vegetationsfreie Felsformationen* und ähnliches nicht vorkommen, wie bei der Gesamtklassifikation zu erwarten, erscheint die Anzahl von vier Klassen generell zu wenig. Vor allem der Wald sollte genauer differenziert werden können. Es stellt sich hierbei die Frage, ob diese negative Erfahrung auf ein ungenaues Signaturentraining zurückzuführen ist, oder ob die reine Überlagerung (im Gegensatz z.B. zur IHS-Transformation) von Kanälen unterschiedlicher Herkunft die in der Detailstudie genannten Probleme (z.B. Pseudoklassen durch unterschiedliche reale Auflösung) mit sich bringt.

Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Orthophoto und SPOT

Das Ergebnis ist unter verschiedenen Aspekten zu bewerten. Die Methode der verbesserten IHS-Transformation führt sicherlich die unterschiedlichen Kanäle **am besten** zusammen. Der stark verbesserten räumlichen Auflösung steht eine etwas verminderte spektrale Differenzierung verschiedener Oberflächenmerkmale durch den zusätzlichen Orthophotokanal gegenüber.

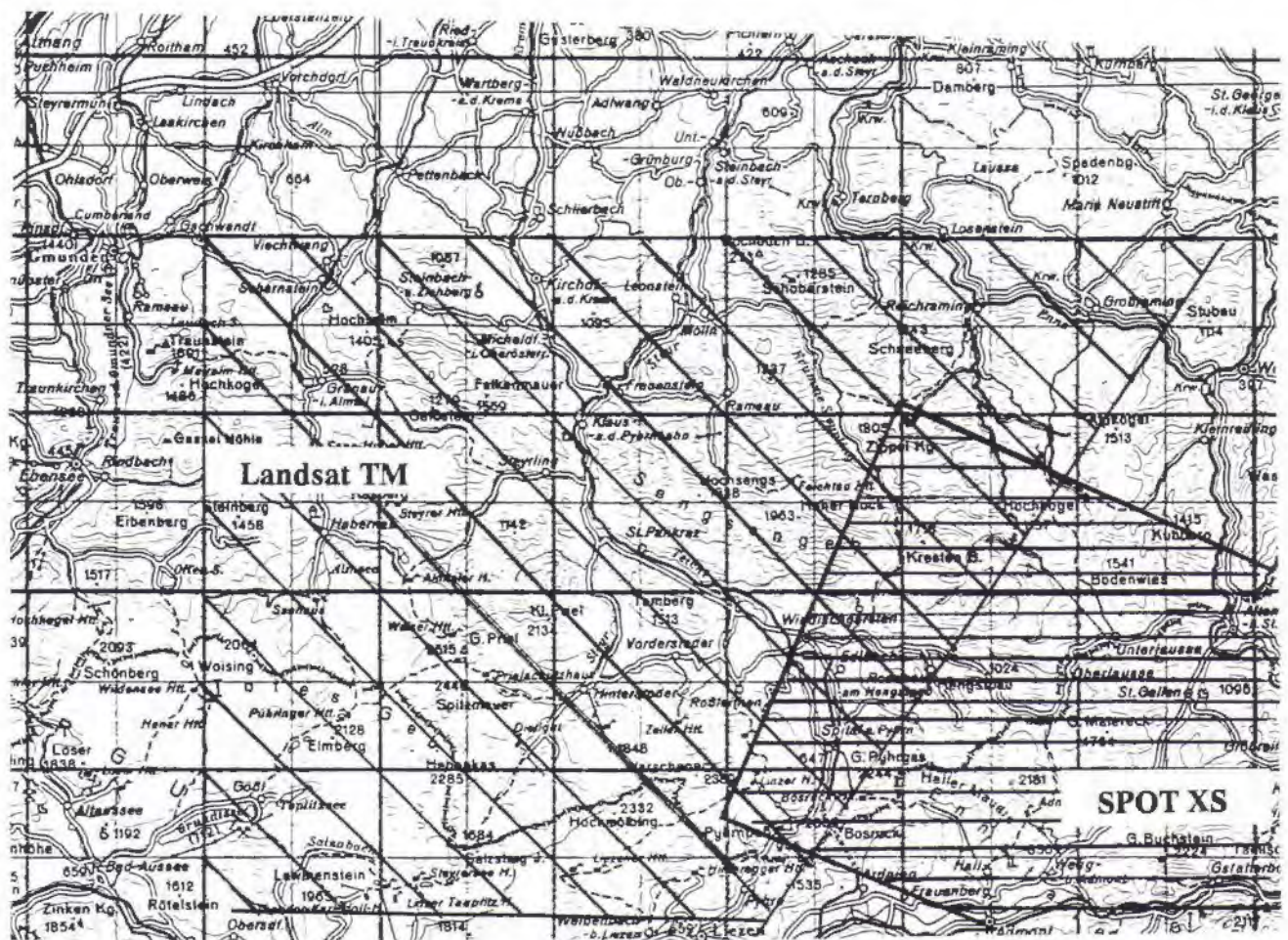
Die Probleme wurden bereits beschrieben. Es lassen sich *Brachflächen* und *Verkehrsflächen* kaum auseinanderhalten, ebenso gestaltet sich die Unterscheidung innerhalb der Klasse *Wald* relativ schwierig. Die stichprobenartige Überprüfung im Gelände ergibt, daß vor allem der *Mischwald* Probleme bereitet. Es können daher nur reine *Nadelwald-* bzw. *Laubwald-*gebiete als solche ausgewiesen werden während die Klasse *Mischwald* überrepräsentiert ist. Mit einem neuerlichen, verbesserten Signaturentraining könnte die Situation sicherlich noch verbessert werden doch erscheinen die grundsätzlichen Probleme als entscheidend für die Gesamtklassifikation, so daß auf diese Vorgangsweise verzichtet wird. Eine Schlußfolgerung aus den Detailstudien lautet daher: Wenn überhaupt das digitale Orthophoto in der Klassifikation mit verwendet werden soll, dann mit Hilfe der IHS-Transformation.

7. LANDNUTZUNGSKLASSIFIKATION IM NP KALKALPEN (OBERÖSTERREICH)

7.1. Abgrenzung des Gebietes

Der bereits in Kapitel 4 beschriebene Naturraum des geplanten Nationalparks Kalkalpen läßt sich ebenso wie die zweifellos notwendige rechtliche Begrenzung nicht überall und für jeden Betrachter eindeutig abstecken. Vor allem, da das Ergebnis dieser Arbeit u.a. als Grundlage für die Nationalparkplanungsstelle in das NPK-GIAS eingehen soll, ist nach meinem Verständnis das unmittelbare Vorfeld des Nationalparks mitzubetrachten, da es sich dabei um den Lebens- und Wirtschaftsraum der betroffenen Bevölkerung handelt. So ist beispielsweise im Konzept des Nationalparks Berchtesgaden die Vorzone ein wesentlicher Bestandteil, wenn auch in dem großteils besiedelten Gebiet zwangsläufig nicht die naturschutzrechtlichen Bestimmungen gelten können wie in dem eigentlichen Nationalparkgebiet.

Abb. 7.1: Bedeckung des Gebiets durch SPOT XS und Landsat TM



Demgegenüber stehen jedoch die technischen Beschränkungen. Der enorme Speicherbedarf der Satellitendaten und die erforderliche Rechenkapazität der Klassifikation machen es notwendig, sich (zunächst) auf ein eng begrenztes Gebiet zu beschränken. Die folgende Abbildung zeigt die Bedeckung des Planungsraumes mit vorhandenen SPOT XS und Landsat TM-Daten.

7.2. Ausgangsdaten (Datenlage)

Im folgenden werden die wesentlichen Eigenschaften und Anwendbarkeitskriterien der zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten sowie deren Qualität und flächenhafte Bedeckung des Gebietes dargestellt. Das Kriterium des Speicherbedarfs stellt heute (noch) eine Beschränkung dar und führt zu der zuvor beschriebenen engen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes. Bereits in zwei bis drei Jahren wird durch die gegenwärtige rasante Weiterentwicklung der Speichermedien dieses Problem in den Hintergrund treten.

Satellitenbilder

Die zugrundeliegenden Satellitendaten erscheinen, wie bereits in Kap. 6 beschrieben, in mancher Hinsicht als nur **bedingt** für die durchzuführende Landnutzungsklassifikation geeignet. Neben der Inhomogenität der räumlichen, spektralen und zeitlichen Auflösung der Satellitenbilder (Landsat TM vom 28.8.84!) wird die inhaltliche Interpretierbarkeit durch die ungeeigneten jahreszeitlichen Aufnahmedaten (z.B. SPOT XS für den Ostteil vom 7.10.87) und die dadurch bedingte geringere Ausleuchtung der Szenen beeinträchtigt. Dadurch werden zwangsläufig einige in Lehrbüchern geforderte Kriterien verletzt. Aus pragmatischen Gründen muß dennoch mit den von der Nationalparkplanungsstelle angekauften Daten gearbeitet werden. Zwar wurde von der beauftragten Firma die Lieferung aktueller SPOT XS - Daten für Ende des Jahres (1991), wie schon für das Jahr 1990, zugesagt, doch soll die Klassifizierung bis Ende des Jahres 1991 abgeschlossen sein. Vor dem Hintergrund des Verwendungszweckes, nämlich einer Gesamtübersicht der Landnutzung des Planungsraumes (vergl. Kap. 1), kann aufgrund der Ergebnisse der Detailstudien davon ausgegangen werden, daß trotz der beschriebenen Probleme mit den Ausgangsdaten eine sinnvolle Landnutzungsklassifikation möglich ist.

Alle drei eingesetzten Arten von Satellitendaten werden zunächst, wie mehrfach beschrieben, in das Bundesmeldenetzkoordinatensystem transformiert und zur einfacheren Handhabung am PC entsprechend den Triangulierungsblättern in Teilbereiche zerlegt. Im Rahmen dieser Transformation durch das *nearest neighbour* - Verfahren (vergl. Kap. 5.2.1.) werden auch die multispektralen Daten auf eine künstliche Auflösung von 10 Meter gebracht, so daß alle drei Arten von Satellitenbildern am Computer durch die gleiche Dateistruktur und Pixelgröße dargestellt werden können. Dabei muß aus Kosten- und Zeitgründen darauf verzichtet werden, das Digitale Geländemodell (DGM) in die Transformation mit einzubeziehen. Statt dessen werden zahlreiche Paßpunkte herangezogen. Die Überprüfung der Lagegenauigkeit mit Hilfe von Vektordaten unter Berücksichtigung deren Erfassungsgenauigkeit ergibt auf den einzelnen Blättern unterschiedliche, jedoch insgesamt tolerierbare Abweichungen (vergl. Kap. 5.2.1.), auch wenn in der

Literatur für ein derartiges Relief eine Entzerrung über das DGM gefordert wird (z.B. BUCHROITHNER 1987).

Die rechnerische Auflösung von 10 Metern bringt aber auch den Nachteil mit sich, daß wesentlich mehr Speicherplatz zur Handhabung der Daten erforderlich ist. Während dieser Umstand für die Detailstudien im Bereich eines Triangulierungsblattes keine großen Probleme bereitet, wird eine simultane Klassifikation über das Gesamtgebiet am PC dadurch unmöglich.

SPOT P

Die referenzierten panchromatischen SPOT-Daten weisen über das Gesamtgebiet eine annähernd gleich gute Qualität auf. Die Detailerkennbarkeit ist entsprechend der Auflösung von 10 Metern sehr gut. Einzelne Gebäude und schmale Fahrwege sind deutlich zu erkennen. Die Schattenwirkung des stark gegliederten Reliefs stört jedoch sehr. Dies kann, anders als bei den multispektralen Aufnahmen, rechnerisch praktisch nicht korrigiert werden. Durch eine Kombination beider Datentypen beispielsweise über eine IHS-Transformation können beide Vorteile jedoch sinnvoll genutzt werden (vergl. Kap 5.2.3.). Im Gegensatz zu den multispektralen Kanälen verteilen sich im panchromatischen Kanal die vorkommenden Reflexionswerte (DN) über einen großen Teil des möglichen Wertebereichs von 0 bis 255 und bieten daher außer in den Schattenbereichen eine gute Differenzierung.

SPOT XS

Die auf eine Auflösung von 10 x 10 Meter gebrachten multispektralen SPOT-Daten des Ostteils des geplanten Nationalparks stammen vom 7.10.87. Sie erscheinen, wie bereits mehrfach erwähnt, durch die späten Aufnahmezeitpunkte und die dadurch bedingte mäßige Ausleuchtung des Geländes für die Landnutzungsklassifikation als ungünstig. Es wäre daher, wie in der Teststudie im Bereich des Sengsengebirges (siehe Kap. 6.5.) durchgeführt, in Erwägung zu ziehen, für eine Gesamtklassifikation nur auf Landsat TM - Daten zurückzugreifen. Die deutlich bessere Auflösung von 20 Meter wird dadurch gemindert, daß sich der Wertebereich im Falle des Beispielblattes 5329 (andere Bereiche ähnlich) statt von 0 bis 255 DN nur von

Kanal 1: 0 - 111 (sinvoll: 8 - 91)

Kanal 2: 0 - 75 (sinvoll: 16 - 35)

Kanal 3: 0 - 56 (sinvoll: 8 - 23)

erstreckt.

Landsat TM

Für die Bereiche, in denen keine SPOT-XS verfügbar sind, wurden die Kanäle 2, 3 und 4 einer Landsat TM Aufnahme vom 28.8. 1984 zur Verfügung gestellt. Auch mit der künstlich "verbesserten" Auflösung von 10 Metern liegt die Detailerkennbarkeit erwartungsgemäß deutlich geringer als bei den SPOT XS - Daten. Andererseits erreichen die Reflexionswerte eine etwas größere Bandbreite und bieten dadurch eine geringfügig bessere Grundlage zur Klassifikation. Im Falle des Beispielblattes 5330 wird folgender Wertebereich abgedeckt:

Kanal 2: 10 - 134 (sinvoll: 13 - 103)

Kanal 3: 10 - 66 (sinvoll: 11 - 30)

Kanal 4: 14 - 58 (sinvoll: 15 - 24)

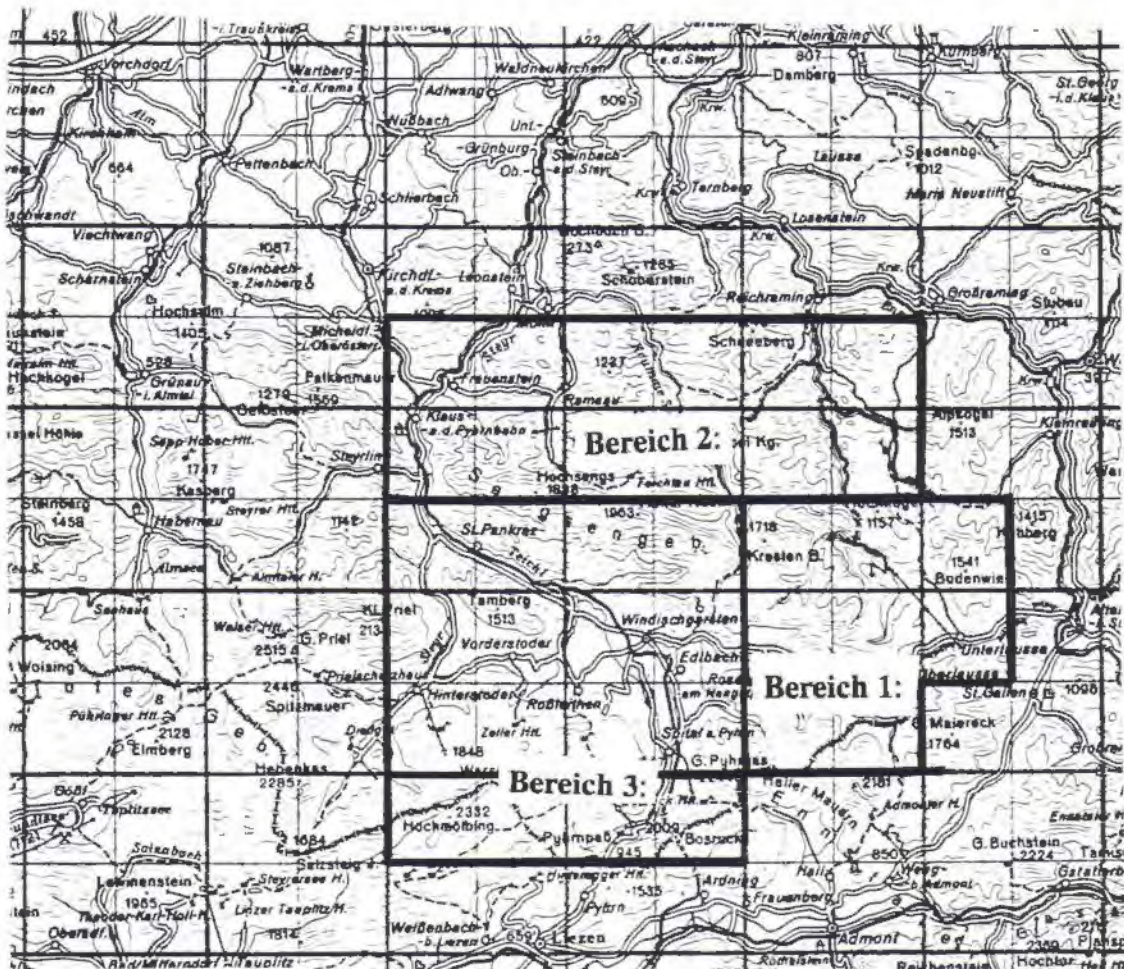
Aus pragmatischen Gründen werden die in Abb. 7.1. dargestellten Satellitendaten nur in vollen Vierteln der Triangulierungsblätter verwendet, was dem Blattschnitt der Orthophotos entspricht. Auf Grund der Handhabbarkeit der Daten im Bildverarbeitungssystem wird der langgestreckte Bedeckungsbereich der Landsat TM-Daten in zwei rechteckige Teile mit einem ausgewogeneren Längen-Breitenverhältnis zerlegt. Die Landnutzungsklassifikation für den Ostteil des geplanten Nationalparks erfolgt daher in drei Einzelschritten:

Bereich 1: Klassifikation mit SPOT XS-Daten

Bereich 2: Klassifikation mit Landsat TM-Daten

Bereich 3: Klassifikation mit Landsat TM-Daten

Abb. 7.2.: Einteilung der 3 Klassifikationsbereiche nach Triangulierungsblättern



Sonstige digitale Daten

Darüberhinaus stehen folgende Informationen aus dem NPK-GIAS zur Verfügung:

- Blattschnitte der ÖK50, der Orthophotos, des Katasters
- Digitales Geländemodell (50m-Raster)
- geplante NP-Grenzen
- Waldmaske (gescannte ÖK50 in 200 dpi)
- Kataster 1:5000, teilweise
- digitale Orthophotos (40 Blätter von Orthophotos 1:10000, gescannt in 200 dpi)

7.3. Konkretisierung der Klassifikationsziele aufgrund der Detailstudien

Hinsichtlich der möglichen Landnutzungsklassen zeigen die Detailstudien im Gebiet der Triangulierungsblätter 5329 (Windischgarsten) und 5330 (Sengsengebirge), daß einige durchaus gebräuchliche Klassen im gegebenen Fall problematisch sind. So erscheint bei der Auflösung von 10 m der kombinierten Daten eine Klasse *Mischwald* als nicht sinnvoll bzw. kaum sinnvoll berechenbar. Dies läßt sich dadurch erklären, daß bei einer Pixelgröße von nur 10 x 10 m auch bei einem durchmischten Wachstum meist Laub- oder Nadelbäume kleinräumig dominieren, in dem sie in kleinen Gruppen oder Haufen vorkommen und so die Reflexionswerte der einzelnen Pixel überwiegend der Klasse *Laubwald* oder der Klasse *Nadelwald* zugeordnet werden können. Bei der durchzuführenden Klassifikation wird daher auf eine Klasse *Mischwald* verzichtet.

Wie aus dem ersten Beispielen der Detailstudie hervorgeht, wäre eine Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzung in den Talräumen durchaus möglich. Da das Becken von Windischgarsten jedoch nicht zum eigentlichen Nationalparkgebiet gehört und ansonsten kaum solch begünstigte Tallagen anzutreffen sind, kann darauf verzichtet werden, die landwirtschaftlichen Nutzflächen genauer zu untergliedern. Dies geschieht auch vor dem Hintergrund der Planungsrelevanz und eines sinnvollen Datenvolumens für den Nationalpark.

Eine weitere Hauptklasse bildet die verbaute und versiegelte Fläche (Häuser, Straßen, Parkplätze etc.). Aus den gleichen Gründen wie zuvor beschrieben wird diese Klasse ebenfalls nicht weiter unterteilt, etwa in eine dichte und in eine lockere Verbauung. Geteerte Straßen nehmen eine sehr geringe Fläche ein. Dennoch sind sie meines Erachtens zu erfassen und, soweit möglich, von den zahlreicheren, nicht asphaltierten Fahrwegen zu trennen. Es soll jedoch unbedingt eine Überklassifikation vermieden werden, indem etwa frische Schlägerungen und unbewachsene Bodenareale dieser Klasse zugeordnet würden. Statt dessen wird in Kauf genommen, daß die schmälere Wege, vor allem in einem geschlossenen Waldbestand, nicht vollständig erfaßt werden. Diese linearen Erscheinungen sind ebenso wie Bäche und Flüsse besser nachträglich aus den teilweise vorhandenen digitalen Vektordaten des NPK-GIAS zu übernehmen.

Der Einfluß der Topographie schlägt sich, wie in Kap. 6.5.1. beschrieben, auf den Arbeitsaufwand beim Signaturentraining nieder. Aufgrund der vorhandenen technischen Ausstattung und der Datenlage wäre es möglich, die Höhendimension auch quantitativ

als Input in die Klassifikation, etwa als zusätzlichen Kanal, zu übernehmen. Darauf wird in der vorliegenden Studie jedoch verzichtet.

Die generelle Frage, ob unklassifizierte Bildpunkte vorkommen dürfen, was z.B. zur Kontrolle der Brauchbarkeit der Signaturen innerhalb des Klassifikationsvorgangs zunächst notwendig sein kann, wird bereits in Kapitel 6 beantwortet. Angesichts des Verwendungszwecks des Ergebnisses als Grundlage in einem Informationssystem sollen nach dem Verständnis des Autors möglichst keine unklassifizierten Bildelemente enthalten sein.

7.4. Durchführung der Klassifikation in drei Abschnitten

Teilgebiet 1 (SPOT XS)

Das erste Klassifikationsgebiet besteht, wie in Abb. 7.3. dargestellt, aus den Triangulierungsblättern 5429 (ganz), 5430-102, 5430-103, 5530-102 und 5529-100.

Folgende Kanäle werden bei der Klassifikation verwendet:

XS1/XS3

2. Hauptkomponente aus XS1, XS2, XS3 und P

SPOT P/XS3

Beim Signaturentraining wird analog zu den in Kap. 6.5. beschriebenen Vorgangsweisen verfahren. Da keine geeignete Wasserfläche auf dem Teilgebiet vorkommt, muß auf die Signatur *Wasser* verzichtet werden.

Teilgebiet 2 (Landsat TM)

Das Klassifikationsgebiet 2 deckt die nördlichen Teile des Planungsgebietes ab. Es besteht, wie in Abb. 7.3. dargestellt, aus den südlichen Hälften der Triangulierungsblättern 5231, 5331 und 5431 sowie aus den nördlichen Hälften der Blätter 5230, 5330 und 5430.

Folgende Kanäle werden bei der Klassifikation verwendet:

TM2/TM4

2. Hauptkomponente aus TM2, TM3, TM4, SPOT P

SPOT P/TM4

Aufgrund der langgestreckten Form erfolgt das Signaturentraining in mehreren Abschnitten, wobei ein häufiges Einlesen einzelner Bildausschnitte notwendig ist. Dies bewirkt einen relativ hohen Zeitaufwand und erschwert die Vergleichbarkeit einzelner Teilgebiete.

Teilgebiet 3 (Landsat TM)

Mit den gleichen Kanälen wie im zweiten Teilgebiet wird über die südlichen Hälften der Triangulierungsblätter 5230 und 5330, 5229 (ganz) und 5329 (ganz) sowie über die nördlichen Hälften der Blätter 5228 und 5328 mit der gleichen Kanalkombination wie im Teilgebiet 2 eine überwachte Klassifikation durchgeführt. Im Gegensatz zu den

ersten beiden Teilgebieten nehmen vegetationslose Felsflächen einen bedeutenden Anteil ein. Gerade hierbei ist eine genaue Auswahl von Trainingsgebieten in Licht- und Schattenbereichen und eine getrennte Vorgangsweise bei der Klassifikation notwendig. Probleme bereiten auch steile bewaldete Schatthänge, die spektral sehr schwer von der Signatur Wasser zu unterscheiden sind. Nach mehreren Versuchen diese Trennung jedoch zufriedenstellend.

7.5. Diskussion der Klassifikationsergebnisse und Abschätzung der Genauigkeit

Die Abschätzung der Genauigkeit (besser: accuracy assessment) für das Gesamtergebnis geschieht mit der gleichen Methode wie für die einzelnen Klassifikationen des Beispielsgebiets Sengsengebirge (vergl. Kap. 6.5.). Aus verschiedenen Orthophotos heraus werden unter der Vorgabe möglichst homogener Flächen mit einem Mindestabstand des Kontrollpixels von 20 bis 30 m zur benachbarten Landnutzungs-klasse 200 Kontrollpunkte ermittelt. Dies erscheint im Vergleich zu verschiedenen Arbeiten (z. B. STORY and CONGALTON 1986, LUNETTA et al. 1991) als eine relativ hohe Anzahl und wird auch allen statistischen Anforderungen gerecht.

Im folgenden ist das Ergebnis der Kontrolle für die 8 Landnutzungsarten dargestellt.

Tab. 7.1.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation für das Gesamtgebiet

Klassen:	1: Landwirtsch. Nutzfläche	81%
	2: Almfläche	63%
	3: Nadelwald	93%
	4: Laubwald	63%
	5: veg.freier Boden	63%
	6: Fels, Schutt	86%
	7: geringe Vegetation, alp.Rasen	83%
	8: Wasser	88%

(Reihen: Klassifizierte Daten, Spalten: Kontrolldaten)

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	Gesamt
1)	21	-	-	9	-	-	-	-	30
2)	-	10	-	-	2	-	-	-	12
3)	-	-	50	2	-	2	2	2	58
4)	4	6	2	20	4	-	1	-	37
5)	1	-	1	-	10	-	-	-	12
6)	-	-	1	-	-	19	-	-	20
7)	-	-	1	-	-	1	15	-	17
8)	-	-	-	-	-	-	-	14	14
Ges)	26	16	54	32	16	22	18	16	200

Die Gesamtwahrscheinlichkeit liegt daher bei 80 %. Dieser Wert liegt in einem normalen Rahmen und sagt alleine nicht sehr viel aus. Wie in Kap. 6.5. gezeigt, kann je nach Betrachtungsebene das Verhältnis von klassifizierten Daten zu Kontrolldaten (normalerweise als *accuracy* bezeichnet) oder das Verhältnis von Kontrolldaten zu klassifizierten Daten (*users accuracy* oder *reliability*) herangezogen werden. Insgesamt fällt das Ergebnis der Genauigkeitsüberprüfung der Gesamtklassifikation gut aus.

7.6. Graphische Präsentation der Ergebnisse und Einbindung in GIS

Für die graphische Präsentation der Ergebnisse sind mehrere Möglichkeiten denkbar. Die einfachste und schnellste Lösung hinsichtlich des Arbeitsaufwands wäre ein direktes Plotten von Bildschirmdarstellungen. Aufgrund Hard- und Softwaretechnischer Restriktionen kann dieser Weg jedoch nicht beschritten werden. Eine zweite, durchaus übliche Vorgangsweise wäre, den Bildschirm abzuphotographieren. Dies erscheint im gegebenen Fall als nicht sinnvoll, weniger aufgrund von Qualitätsbedenken hinsichtlich der Reproduktion, als vielmehr aufgrund des höheren Vervielfältigungsaufwands. Bei den ausschnittartigen Darstellungen der Testergebnisse sind daher kopierfähige Schwarz-Weiß-Vorlagen das Ziel. Der Produktionsprozeß von Schwarz-Weiß-Vorlagen mit Flächensignaturen gestaltet sich jedoch äußerst mühsam und zeitaufwendig. Die Rasterdateien müssen zur kartographischen Präsentation in das Arc/Info-Vektorformat umgewandelt werden, was den PC vor eine fast unlösbare Aufgabe stellt. Es wird daher der Umweg über die Workstation gewählt, wo aufgrund der Rechenkapazität zwar diese Transformation möglich ist. Dadurch, daß kein direkter Plotvorgang in der zur Verfügung stehenden Konfiguration technisch möglich war, wird der Arbeitsaufwand jedoch enorm erhöht.

Vor- und Nachteile beider Lösungen

Die graphische Qualität der Ausgabe und der Arbeitsaufwand stehen sich bei den beiden hier verfolgten Lösungsansätzen geradezu konträr gegenüber. Während der "direkte" Plotvorgang der Ergebnisse im Raster-GIS Format des Bildverarbeitungssystems *ERDAS* relativ wenig Arbeitszeit und Rechenaufwand erfordert, führt die Konvertierung der Rasterdateien in das Vektorformat *Arc/Info* zur Beanspruchung des PCs bis an seine Belastungsgrenzen. Eine Umwandlung der Ergebnisse des Gesamtgebietes in einem Schritt wäre am PC unmöglich und würde auch auf einer Workstation Probleme bereiten (vergl. BLASCHKE und DOLLINGER 1991, S. 268). Liegen die Daten jedoch erst einmal im Arc/Info-Format vor, steht eine breite Palette von Ausgabemöglichkeiten mit entsprechender kartographischer Gestaltung zur Verfügung. Dies bedeutet, daß der Aufwand hinsichtlich der Zielvorstellung abzuwägen ist. Dieser Punkt könnte jedoch in den kommenden Jahren durch die steigende Leistungsfähigkeit der Computer in den Hintergrund treten, so daß auch große Datenmenge problemlos transformiert werden können.

8. Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf den Einsatz von Fernerkundung und GIS in Raumplanung und Ökologie

In Hinblick darauf, daß immer wieder die Frage aufgeworfen wird, ob Satellitenfernerkundung für einen operationellen Einsatz in Behörden und Institutionen zu teuer und technisch zu aufwendig wäre, soll nochmals auf die weitreichenden Erfahrungen in Nordamerika hingewiesen werden. NYQUIST (1991, S. 291) kommt zu dem Schluß, "the use of satellite data, however, has become the method of choice to very efficiently and cost effectively develop vegetation/landcover information." Dies deckt sich auch beispielsweise mit den Ergebnissen von Arbeiten in Australien, Neuseeland und Großbritannien sowie in weiten Landstrichen Afrikas. TROTTER (1991, S. 225/226) stellt dazu fest: "Digital remote sensing has the potential not only to lower the cost of data acquisition and interpretation, but also to do so while meeting the other essential requirements for data in GIS."

Wie in der vorliegenden Studie gezeigt wurde, trifft diese Feststellung unter Zuhilfenahme der Kombinationsmöglichkeiten von multispektralen und panchromatischen Daten auch auf das "nur" 700 km² große Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen in Oberösterreich zu.

Der Autor zieht daher den Schluß, daß sich diese Aussage auch auf die im Vergleich zu nordamerikanischen Verhältnissen kleingliedriger strukturierten und zumeist kleiner dimensionierten Naturräume Mitteleuropas ausweiten läßt.

Über die untersuchten Methoden hinaus scheint eine Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse (Genauigkeit, Klassenanzahl) durch Zuhilfenahme eines vergrößerten Datensatzes des NPK-GIAS ein vielversprechender Ansatz zu sein. Auch könnte versucht werden, durch Einbeziehung der Höhendimension aus dem Digitalen Geländemodell als zusätzlichen Kanal die Klassen weiter zu differenzieren. Für das Gesamtgebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen sollte angesichts der Größe von über 700 km² ein Ausgabemaßstab von 1:50000 als ausreichend angesehen werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit erlauben jedoch durch die Einbeziehung des panchromatischen SPOT-Kanals auch Betrachtungen im Maßstab von 1:25000. Dies stimmt mit dem allgemein in der Literatur angegebenen möglichen Maßstabsbereich der hier verwendeten Daten überein (vergl. z.B. APFL 1989, S. 106).

Die geometrische Auflösung von SPOT P liegt, wie hinlänglich beschrieben, bei 10 m, die eines üblichen großmaßstäbigen Luftbildes von 1000 m Flughöhe bei ca. 0,3 m. Eine genaue Gegenüberstellung der Eigenschaften von Satellitendaten und Orthophotos (im weiteren Sinne) findet sich in SUN, WOLF and SCARPACE (1991). Das Datum dieses Aufsatzes (November 1991) sowie die sonstige Entwicklung der Veröffentlichungen zu dieser Thematik zeigen, daß die gemeinsame Betrachtung beider Datengrundlagen vor dem Hintergrund einer digitalen Kombination eine sehr junge Entwicklung darstellt.

Allgemein läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß durch die Kombination von multispektralen und panchromatischen Daten der in der Raum- und Landesplanung benötigte Maßstab von 1:50000 sowohl mit SPOT XS- als auch mit Landsat TM-Daten gut abgedeckt werden kann. Auch ein Maßstab von 1:25000 ist durchaus möglich, doch dürfte im Falle von Landsat TM/SPOT P die Grenze einer sinnvollen Auflösung hiermit

erreicht sein. Für den panchromatischen Kanal allein könnte unter Verzicht auf die multispektralen Charakteristika eine Darstellung durchaus im Maßstab 1:10000 erfolgen (beispielsweise zur Untersuchung der Siedlungstätigkeit). Zur exakten Festlegung gültiger Maßstabsbereiche für einzelne Anwendungen des Raumplanung und Umweltbeobachtung müßte jedoch nach den in Kap. 3 vorgestellten Forderungen (Feststellung eines Objekts, Erkennbarkeit eines Objekts, Identifizierung eines Objekts, Beschreibung eines Objekts) unterschieden werden.

Wie mehrfach dargestellt, ist das Ergebnis wesentlich stärker von inhaltlichen Fragestellungen und den Zielvorgaben der Klassifikation abhängig als von der Maßstabsfrage. Mit den gleichen Ausgangsdaten wären unter anderen Zielvorstellungen und Rahmenbedingungen (z.B. Aufnahmezeitpunkte, Homogenität der Daten, Gebietskenntnis, Fachkenntnis einzelner Disziplinen) auch andere Ergebnisklassen denkbar.

Wie lassen sich die Ergebnisse weiter verwenden?

Da die Satellitenbilder verhältnismäßig große Kosten und Investitionen in die Hard- und Software erfordern, ist die Frage aufzuwerfen, wie sich die Daten am effizientesten verwerten lassen, d.h., wie könnten die Daten über diese Studie hinaus genutzt werden. Dazu sind verschiedene Aufgabenstellungen denkbar, die goßteils mit der vorhandenen Konfiguration des NPK-GIAS (*Arc/Info* und *SPANS*) zu lösen sind. Vor allem den Analysemöglichkeiten in Zusammenhang mit dem digitalen Geländemodell sind kaum Grenzen gesetzt. Aus den vier Merkmalen Landnutzung, Exposition, Hangneigung und Höhenlage und ihrer statistischen Verteilung lassen sich vielfältige Aussagen ableiten. Einfache Fragestellungen, wie: "Wieviel Prozent der Almfläche liegt an südost- bis südwestgerichteten Hängen von über 30° Hangneigung (z.B. hinsichtlich der Plaikengefährdung bei starken Tauwetter im Frühjahr)?" können leicht berechnet werden. Daneben sind komplexere Verschneidungen dieser Daten mit anderen Datenschichten möglich. Eine interessante Fragestellung für Zoologen könnte etwa darin bestehen, Distanzkorridore (*buffer*) bekannter Punkte des Auftretens bestimmter Tierarten zu bilden und die so gewonnenen Polygone mit den zuvor beschriebenen Daten zu verschneiden, um statistische Schlußfolgerungen über die Umgebung des Brutplatzes oder Antreffpunktes ziehen zu können. Die Methode der Darstellung von Verbreitungsgebieten von Tierarten mit Hilfe eines GIS ermöglicht eine gute Abgrenzung der differenzierten Landnutzung und der ökologischen Ansprüche der verschiedenen Arten. Ein GIS kann darüberhinaus helfen, Verbreitungsmodelle und daraus abgeleitete Berechnungsvorschriften als allgemeine Regeln zu erstellen, die es erlauben, mit relativ geringem Aufwand zu einer guten Abschätzung der Verbreitung und Häufigkeit von Arten zu kommen (vergl. SCHUSTER 1990, S. 115 - 123).

Eine weitere Anwendung wäre etwa die Berechnung von Distanzkorridoren von Straßen und Fahrwegen, um das Ergebnis z.B. mit den Waldflächen zu verschneiden. Dabei könnte ein Erschließungsgrad berechnet oder Flächen über einer Minstdistanz von allen Erschließungen (Schutz- und Ruhezonon) ausgewiesen werden.

Die Landnutzung ist daher nur als *eine* Schicht von mehreren in einer **Naturraumana-**lyse zu sehen. Bei der Ermittlung des Naturraumpotentials und verschiedener Teilpo-

tentiale bzw. partieller Naturraumpotentiale werden zunehmend Geographische Informationssysteme verwendet. Unter dem **Naturraumpotential** wird die Leistungsfähigkeit eines Naturraumes für die Gesellschaft verstanden (HAASE 1978). Dabei wurden zunächst sieben, inzwischen meist 10 partielle Naturraumpotentiale unterschieden (*Naturschutzpotential, Biotisches Ertragspotential, Erholungspotential, Entsorgungspotential, Rohstoffpotential und Bebauungspotential*), die die Eignung eines Naturraums für eine bestimmte Nutzung oder Schutzfunktion beschreiben. Als bestehende praktische Anwendungsbeispiele seien die immer schwierigere Standortsuche für Mülldeponien oder Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) im Zusammenhang mit Standortwahl oder Standorterweiterungen von Verarbeitungsbetrieben, Steinbrüchen oder Schottergruben genannt. Aber auch für das Gebiet eines geplanten Nationalparks erscheint dem Autor dieser Ansatz vielversprechend, wenn auch (oder gerade weil) bisher kaum Beispiele eines operationellen Einsatzes bekannt sind. Hinsichtlich von Vor- und Nachteilen sowie Problemen der praktischen Umsetzung in Vektor- und Raster-orientierten Geographischen Informationssystemen sei auf Aufsatz von BLASCHKE und DOLLINGER (1991) verwiesen.

In diesem Bereich eröffnet sich meines Erachtens durch die technische Entwicklung und die steigende Notwendigkeit der Erfassung des Naturraums sowie seiner Potentiale und Gefahren (z.B. Vermurungs- und Rutschungsgefährdung) in Zukunft ein breites und gesellschaftsrelevantes Betätigungsfeld. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß auch hochqualifiziertes Personal notwendig ist und die Kosten hierfür im Gegensatz zur aktuellen Entwicklung bei Hard- und Software stark zunehmen.

9. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Allgemein

Im Laufe der vergangenen zwei Jahrzehnte seit dem Start von Landsat 1 hat sich die Qualität und die Vielzahl der verfügbaren Daten entscheidend verbessert. Nicht zuletzt durch die Kommerzialisierung des Datenvertriebs seit Mitte der 80er Jahre verlagerte sich der Schwerpunkt der Aktivitäten etwas von Forschung und Lehre hin zu kommerziellen, regionalen, kommunalen und privaten Anwendungsbereichen. Vor allem seit dem Start von SPOT 1 im Jahre 1986 stehen auch für planungsrelevante Maßstäbe von 1:50000 und darunter adäquate Satellitendaten zur Verfügung. Satellitenbilder im sichtbaren, infraroten und Mikrowellenspektrum werden in Zukunft bei hoher räumlicher und spektraler Auflösung für fast alle Teile der Erde zur Verfügung stehen. "The multisensor, multiresolution, multitemporal information will eventually be available for all parts of the earth" (EHLERS 1989, S. 41). Die verbesserte Rechenleistung bei gleichzeitigem Preisverfall ermöglicht auch "kleineren" Anwendern den Einsatz der digitalen Bildverarbeitung. Als neuer Trend erscheint dem Verfasser die vielseitigen Kombinationen von räumlich hochauflösenden mit spektral hochauflösenden Daten. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde auf diese Vorgangsweise zurückgegriffen, indem versucht wurde, SPOT P und Landsat TM - Daten miteinander zu verknüpfen. Aber auch gescannte Orthophotos wurden für Beispielsgebiete mit Satellitendaten vereinigt. Diese Technik beginnt sich gerade in den USA durchzusetzen, in Europa werden die vielfältigen Möglichkeiten dieser Entwicklung nach Ansicht des Autors bisher zu wenig erkannt, wenn auch diese Arbeit zeigt, daß durch das enorme Datenvolumen bei einer hohen räumlichen Auflösung (noch) Probleme der Handhabung bestehen.

Geographische Informationssysteme ermöglichen heute die Integration von Fernerkundungsdaten mit anderen georeferenzierten Informationen. Die Frage, ob Vektor- oder Rasterdaten sollte dabei zunehmend in den Hintergrund treten, auch wenn echt hybride Systeme noch kaum auf dem Markt sind.

Integration der Satellitendaten mittels IHS-Transformation

In der Literatur wird allgemein die Fähigkeit der Integration unterschiedlicher Kanäle über die IHS-Transformation als sehr gut bewertet (vergl. SCHOWENGERDT 1983, S. 120 - 124, LILLESAND and KIEFER 1987, S. 663 - 667, CARPER, LILLESAND and KIEFER 1990, CHAVEZ and BOWELL 1988, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991, WELCH 1985, WELCH and EHLERS 1987). Daher wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, dieses Verfahren in der Praxis umzusetzen (vergl. Kap. 6.4.). Dabei ergab sich, daß hinsichtlich des jeweiligen Ziels der Verknüpfung differenziert werden muß. Zur Erstellung einer kontrastreichen und räumlich möglichst hochauflösenden Satellitenbildkarte ist diese Vorgangsweise sicherlich hervorragend geeignet.

Unter dem Aspekt, daß die Kombination bzw. Transformation die spektralen Charakteristika der multispektralen Daten möglichst wenig verändern soll, muß die IHS-Transformation nach den Erfahrungen des Autors als problematisch angesehen werden. Als

Zwischenschritt zur Aufbereitung für eine nachfolgende Klassifikation ergeben sich Schwierigkeiten. Wie in Kap. 6.4. gezeigt, werden die spektralen Werte so stark verändert, daß es zu Fehlklassifikationen kommt.

Ergebnis der Landnutzungsklassifikation

Der enorme Speicherbedarf der Satellitendaten und die erforderliche Rechenkapazität für die Klassifikation machen es notwendig, sich (zunächst) auf ein eng begrenztes Gebiet zu beschränken. Das Ergebnis der Klassifikation wird daher sicherlich nicht als langfristig unveränderliche Datenschicht in das NPK-GIAS eingehen, zumal die Ausgangsdaten nicht dem neuesten Stand entsprechen (Landsat TM von 1984!) und die Klassifikation sich auf den Ostteil des geplanten Nationalparks beschränkt. Dennoch ist der Autor der Meinung, daß mit der vorliegenden Arbeit gezeigt wird, daß für eine Institution wie die Planungsstelle des Nationalparks Kalkalpen, die über begrenzte finanzielle und personelle Kapazitäten verfügt, eine Landnutzungsklassifikation aus Satellitendaten rationell und zielführend ist. Denkbar wäre selbstverständlich auch eine Klassifikation aus Luftbildern oder Orhopotos, die in einem zweiten Schritt in digitale Form zur Integration in das NPK-GIAS umzuwandeln wäre. Es erscheint aber unwahrscheinlich, daß die Kosten einer derartigen Vorgangsweise niedriger liegen würden, da die hohen Qualifikationsanforderungen und die erforderliche Technik ebenfalls nicht von der Nationalparkplanung selbst abgedeckt werden könnten.

Die größte Schwierigkeit bei der vorliegenden Untersuchung ist die Tatsache, daß für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen (noch) keine homogenen multispektralen Satellitendaten zur Verfügung stehen. Dies bedeutet konkret, daß eine Vorgangsweise, die z.B. für die Kombination SPOT XS/SPOT P als günstig befunden wird, für Landsat TM/SPOT P nicht zwangsläufig geeignet ist und umgekehrt. Diese Tatsache erschwert die Gesamtklassifikation und bedingt einen relativ hohen Arbeitsaufwand für die Phase der Ermittlung der geeignetsten Methode (vergl. Abb. 5.10.). Das Gesamtergebnis mit einer ermittelten Genauigkeit von 80 % (vergl. Kap. 7.5) ist unter den gegebenen Bedingungen nach Ansicht des Autors als Erfolg zu werten.

Neben der mehrfach beschriebenen geometrischen Auflösung spielt auch die radiometrische Auflösung eine große Rolle. Die starke Differenzierung des Landsat Thematic Mappers in 7 Kanälen ermöglicht verschiedene Anwendungen, die durch SPOT XS nicht alle abgedeckt werden können. Da im vorliegenden Fall nur die Landsat TM-Kanäle 2,3 und 4 zur Verfügung standen, wird hier nicht näher auf diese Vorteile eingegangen. Generell erscheint dem Autor jedoch für ein umfassendes, naturräumlich orientiertes Informationssystem, wie das NPK-GIAS, der Einsatz von Landsat TM-Daten als überaus wünschenswert, auch wenn von Seiten der Anbieter von Satellitendaten teils ein anderes Bild gezeichnet wird.

Während die hohe räumliche Auflösung von SPOT beispielsweise für Fragestellungen der Siedlungsentwicklung hinsichtlich einer Planungsrelevanz zwingend erforderlich erscheint, kann die Auflösung des Landsat TM für viele naturräumliche Untersuchungen als durchaus ausreichend angesehen werden. Die höhere radiometrische Auflösung verschafft den Landsat TM-Daten ohnehin Vorteile vor allem für naturräumliche Fragestellungen bzw. als Ausgangsbasis von Klassifikationen.

Wie gut (genau) sind die Ergebnisse?

Die Genauigkeitsabschätzung (*accuracy assesment*) hat eine Gesamtgenauigkeit (besser Wahrscheinlichkeit) von 80% ergeben. Dennoch sind gewisse Fehlklassifikationen nicht auszuschließen. Im allgemeinen treten meist innerhalb von Hauptklassen (z.B. *Wald*) je nach Exposition Verfälschungen in eine Richtung (z.B. in Richtung *Laubwald* oder *Nadelwald*) auf. Dies ist in der vorliegenden Klassifikation jedoch weniger der Fall. Die Trennung zwischen Laub- und Nadelwald ist gut gelungen. Probleme treten großteils an steilen bewaldeten Schatthängen auf. Auch die vegetationslosen bis gering bewachsenen Schatthänge bereiten gewisse Schwierigkeiten. Dies muß jedoch vor dem Hintergrund des Verwendungszwecks gesehen werden. Solange kein systematischer Fehler beinhaltet ist, stellt dies keine Einschränkung der Landnutzungsklassifikation dar, für eine detaillierte Bestandeserfassung eines Forstbetriebes wäre dagegen eine Fernerkundungsanalyse mit Einzelbaumauswertung (Infrarotluftbild) vorzuziehen.

Die Lagegenauigkeit der einzelnen Bildelemente des Klassifikationsergebnisses entspricht der Lagegenauigkeit der Ausgangsdaten. Diese liegt zwischen 5 und 80 m, wobei die meisten Stichproben zwischen 10 und 20 m von den Kontrolldaten differieren. Diese Werte können für die vorliegenden, nicht über ein digitales Geländemodell entzerrten Satellitenbilder für die meisten Verwendungszwecke als ausreichend angesehen werden, erreichen jedoch bei der direkten (rechnerisch additiven oder multiplikativen) Integration mit räumlich höher auflösenden Daten, z.B. digitalen Orthophotos, die Grenze der Tolerierbarkeit. Es sollte jedoch für die Nationalparkplanungsstelle in Zukunft möglich sein, die Satellitendaten mit dem im 50 m-Raster zur Verfügung stehenden Digitalen Geländemodell aufzubereiten.

Ein entscheidender Punkt für die Genauigkeit eines einzelnen Bildelements ist die Aufbereitung des Ergebnisses im Sinne einer Vereinfachung bzw. Glättung. Dort, wo es zur Reduktion von Einzelpixelphänomenen unbedingt notwendig erscheint, wird darauf nicht verzichtet werden können. Beispiel hierfür ist die Konvertierung Rasterdateien in ein Vektor-GIS, wo für den Aufbau der Topologie enorme Rechenkapazitäten notwendig sind. Ansonsten kann das Klassifikationsergebnis in einem Raster-GIS gezielter manipuliert werden, indem z.B. für einzelne Klassen getrennt Polygone unter einer bestimmten Größe eliminiert und einer bestimmten anderen Klasse zugeordnet werden, was derzeit in dem verwendeten Raster-GIS über den Umweg einer Kontiguitätsanalyse mit anschließendem Filtern zwar möglich ist, jedoch als umständlicher und weniger steuerbar erscheint.

Es wurde darauf verzichtet, Fahrwege, Bäche und kleine Flüsse genauer herauszuarbeiten (vergl. Kap. 7.4.). Statt eine Überklassifikation in Kauf zu nehmen erscheint es sinnvoller, solche linearen Erscheinungen nachträglich aus den teilweise vorhandenen digitalen Vektordaten des NPK-GIAS zu übernehmen und in die Landnutzungsdarstellung zu integrieren, entweder in Form einer graphischen Überlagerung der Linien oder indem die Vektoren konvertiert ("aufgerastert") werden und die jeweiligen Bildelemente des Klassifikationsergebnisses ersetzen.

Aussichten

Die vielfältigen Auswertungs-, Analyse- und Simulationsmöglichkeiten eines GIS können in dieser Arbeit nur gestreift werden. Vielleicht gibt diese Untersuchung dennoch eine Anregung für verschiedene Anwendungen von Satellitendaten und Fernerkundung in Raumplanung und Landschaftsökologie. Auch die Verwendung von digitalen Orthophotos, die in der vorliegenden Arbeit in einem Beispielsgebiet mit Satellitendaten zum Zwecke der Verbesserung der räumlichen Auflösung kombiniert wurden, erscheint für die Zukunft überaus vielversprechend. Durch die technische Entwicklung sollte es in Zukunft möglich sein, die Vorteile hoher räumlicher und spektraler Auflösung in einem Bildverarbeitungssystem/GIS zu vereinen.

LITERATURVERZEICHNIS

ABLER, R., ADAMS, J., GOULD, P., 1971, Spatial Organisation. The Geographer's View Of The World, Englewood Cliffs.

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), (Hrsg.), 1990, Einsatz graphischer Datenverarbeitung in der Landes- und Regionalplanung, Hanover. (= Forschungs- und Sitzungsberichte 183)

ALBERTZ, J., 1991, Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt.

APFL, G., 1989, Satellitenbilddaten als Teil eines Geographischen Informations-Systems. In: DOLLINGER und STROBL (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie, Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1989, S. 101 - 112, Salzburg. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 13)

ARONOFF, S., 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspective, Ottawa.

BARRET, E.C. and CURTIS, L.F., 1976, Introduction to Environmental Remote Sensing, New York.

BECKEL, L., 1986, Durch Satellitenaufnahmen zu einem besseren Österreichbild. In: Österreich in Geschichte und Literatur mit Geographie, 30. Jg., Heft 1, S. 63 - 75.

BECKEL, L., 1988a, SPOT- und Landsat TM-Daten für den Einsatz in der Kartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.), Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1988, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 54 - 65.

BECKEL, L., 1988b, GEOSPACE: Die autorisierte Vertriebsstelle von SPOT-IMAGE, EURIMAGE und EOSAT für Österreich. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 206 - 217.

BLASCHKE, T. und DOLLINGER, F., 1991, Naturraumanalyse mit Vektor- und Raster-GIS: Ein Vergleich zwischen Arc/Info und Erdas. In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie III, Salzburg, S. 265 - 276. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 16)

BOGNER, W., 1989, Überblick über das Landes-Umwelt-Informationssystem Steiermark (LUIS). In: DOLLINGER und STROBL (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie, Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1989, S. 185 - 191, Salzburg. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 13)

BOLSTAD, P. and LILLESAND T.M., 1991, Automated GIS Integration in Landcover Classification. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers, Vol. 4, GIS, S. 23 - 32.

BRAEDT, J., 1989, Satellitenbilder als Baustein eines Informationssystems für Landesplanung und Umweltschutz. In: SCHILCHER, M. und FRITSCH, D. (Hrsg.), Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen, Karlsruhe, S. 247 - 259.

BRAEDT, J., 1990, Auswertung von Satellitendaten für Aufgaben der Landesplanung und des Umweltschutzes in der Region München. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 75 - 82. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)

BRENNAN, M., MOORE, T., SPENCE, B., 1989, 10 Meter Database Development Using LANDSAT Thematic Mapper and Digitized Map Data: Preliminary Results. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore, S. 165 - 172.

- BUCHANAN, M.D. and PENDERGRASS, R., 1980, Digital Image Processing: Can Intensity, Hue and Saturation replace Red, Green and Blue? In: *Electro-Optical Systems Design*, Vol. 12, Nr. 3, S. 29 - 36.
- BUCHROITHNER, M.F., 1986, Geologisch-geotechnische Anwendungsbeispiele von Fernerkundungsdaten verschiedener Sensoren. In: *Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung*, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 163 - 172.
- BUCHROITHNER, M.F., 1987, Fernerkundung zur Kartierung alpiner Räume. In: GIERLOFF-EMDEN, H.G. und WILHELM, H. (Hrsg.), *Entwicklung des Instituts für Geographie an der Ludwig-Maximilians-Universität München: Beiträge zur Hydrogeographie und Fernerkundung*, S. 121 - 137, München. (= Münchner Geogr. Abhandlungen, Bd. B 4).
- BUCHROITHNER, M.F., 1988, Computergestützte Auswertung von Satellitenbilddaten in der Forschungsgesellschaft Joanneum. In: MAYER, F. (Hrsg.), *Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986*, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 63 - 77.
- BUCHROITHNER, M.F., 1989, Fernerkundungskartographie mit Satellitenbildern - Digitale Methoden, Reliefkartierung, geowissenschaftliche Applikationsbeispiele, Wien. (= Enzyklopädie: Die Kartographie und ihre Randgebiete, Bd. IV/2)
- BURROUGH, P.A., 1986, *Principles of Geographic Information Systems for Earth Resources Assessment*, Oxford.
- CAMPBELL, J.B., 1987, *Introduction to Remote Sensing*, New York, London.
- CARPER, W.J., LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., 1990, The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 4, S. 459 - 467.
- CHAVEZ, P.S., 1986a, Digital Merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24000-scale image mapping. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 10, S. 1637 - 1646.
- CHAVEZ, P.S., 1986b, Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Poenix, Arizona region. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 12, S. 1699 - 1708.
- CHAVEZ, P.S. and BOWELL, J., 1988, Comparison of the Spectral Information Content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three Different Sites in the Phoenix, Arizona Region. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 12, S. 1699 - 1708.
- CHAVEZ, P.S. and KWARTENG, A.Y., 1989, Extracting Spectral Contrast in Landsat Thematic Mapper Image Data using Principal Component Analysis. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 3, S. 339 - 348.
- CHAVEZ, P.S., SIDES, S.C., ANDERSON, J.A., 1991, Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, Nr. 3, S. 295 - 303.
- CIVCO, D., 1989, Knowledge-Based Land Use And Land Cover Mapping. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, S. 276 - 291.
- CLARK, B.P., 1989, Expert Systems for Image Processing; Past, Present and Future Trends. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, S. 81 - 90.
- CLICHE, G., BONN, F. and TEILLET, P., 1985, Integration of the SPOT Panchromatic Channel into its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, Nr. 3, S. 311 - 316.

- CRIST, E.P., LAURIN, R., CICONE, R.C., 1986, Vegetation and Soils Information contained in transformed Thematic Mapper Data. In: IGARSS '86 Symposium, Proceedings, Zürich, S. 1465 - 1470.
- CURRAN, P.J., 1985, Principles of Remote Sensing, London, New York.
- COLVOCORESSES, A.P., 1990, An Operational Earth Mapping and Monitoring Satellite System: A Proposal for Landsat 7. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 5, S. 569 - 571.
- Committee of Enquiry Chaired By Lord Chorley, 1987, Handling Geographic Information. Report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Information, London.
- DAVIS, F.W., QUATTROCHI, D.A., RIDD, M.K., LAM, N., WALSH, S., MICHAELSEN, J., FRANKLIN, J., STOW, D., JOHANNSEN, C.J., JOHNSTON, C.A., 1991, Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data: Some Research Needs and Priorities. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 689 - 697.
- DORNINGER, G., 1990, Begründung und Konzeption eines Geographischen Informationssystems für den "Nationalpark Kalkalpen". In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie II, Salzburg, S. 125 - 131. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 15)
- DORNINGER, G., 1991, Das Geographische Informations- und Analyse-System im Nationalpark Kalkalpen. In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie III, Salzburg, S. 243 - 250. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 16)
- DRURY, S.A., 1990, A Guide to Remote Sensing. Interpreting Images of the Earth, Oxford.
- DUIVEN, F.M. and COMPARATO, C.P., 1991, Quick-Photo - Efficient Computation of Orthophotos from SPOP Imagery. In: GIS/LIS '91, Proceedings, Vol. 2, S. B-51 - B-60.
- DYKSTRA, J., 1990, Data Fusion: Image Processing in the spatial context of a topologically structured GIS. In: ISPRS Commission II/VII International Workshop Proceedings, Advances in Spatial Information Extraction and Analysis for Remote Sensing, 13-17 January 1990, Orono, Maine, S. 2 - 10.
- ECKHARDT, D.W., VERDIN, J.P., LYFORD, G.R., 1990, Automated Update of an Irregular Lands GIS Using SPOT HRV Imagery. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 11, S. 1515 - 1522.
- EHLERS, M., 1989, The Potential of Multisensor Satellite Remote Sensing for Geographic Information Systems. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 4, GIS/LIS, Baltimore, S. 40 - 45.
- EHLERS, M., EDWARDS, G., BEDARD, Y., 1989, Integration of Remote Sensing with geographic information systems: A necessary Evolution. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 11, S. 1619 - 1628.
- EHLERS, M., JADOWSKI, M.A., HOWARD, R.R., BROSTUEN, D.E., 1990, Application of SPOT Data for Regional Growth Analysis and Local Planning. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 2, S. 175 180.
- EHLERS, M., GREENLEE, D., SMITH, T., STAR, J., 1991, Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 669 - 675.
- ENDLICHER, W. und GOSSMANN, H., 1986, Zur Bedeutung der Fernerkundung in der Geographischen Forschung und Lehre. In: ENDLICHER, W. und GOSSMANN, H. (Hrsg.), 1986, Fernerkundung und Raumanalyse, Karlsruhe, S. 1 - 18.
- Erdas Field Guide, 1990, Version 7.4, Atlanta.

- FAUST, N., ANDERSON, W. and STAR, J., 1991, Geographic Information Systems and Remote Sensing Future Computing Environment. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 655 - 668.
- FISCHER, D., 1989, Einsatz von Fernerkundungssystemen für Aufgaben des Umweltschutzes. In: MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, Fernerkundung: Daten und Anwendungen, Karlsruhe, S. 31 - 44.
- FRITSCH, D., 1989, Zur Raster- und Vektorüberlagerung in Hybriden Graphischen Systemen. In: SCHILCHER, M. und FRITSCH, D. (Hrsg.), Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen, Karlsruhe, S. 261 - 269.
- van GENDEREN, L., 1988, The Production of Thematic Maps using Satellite Imagery. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 90 - 98.
- GLASER, R., 1990, Flächenbilanzierungen aus Landsat 5-Thematic-Mapper-Daten. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 57 - 64. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)
- GÖPFERT, W., 1987, Raumbezogene Informationssysteme: Datenerfassung - Verarbeitung - Integration - Ausgabe auf der Grundlage digitaler Bild- und Kartenverarbeitung, Karlsruhe.
- GONG, P. and HOWARTH, P.J., 1990, An Assessment of Some Factors Influencing Multispectral Land-Cover Classification. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 5, S. 597 - 603.
- GOODENOUGH, D.G., 1988, Thematic Mapper and SPOT Integration with a Geographic Information System. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, Nr. 2, S. 167 - 176.
- GOSSMANN, H., 1983, Erfassung und Darstellung des Reliefs der Erde durch Weltraumbilder. In: Geoökodynamik, Bd. 4, 249 - 286.
- GOSSMANN, H., 1989, Satelliten - Fernerkundung. Stand und Perspektiven. In: GR 41, H. 12, S. 674 - 680.
- LaGRO, J., 1991, Assessing Patch Shape in Landscape Mosaics. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, Nr. 3, S. 285 - 293.
- GUANGPING, H., 1989, Bildverbesserung mittels digitaler Filterung, Wien. (= Studienrichtung Vermessungswesen TU Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 31)
- GUGAN, D.J., 1988, Satellite Imagery as an Integrated GIS Component. In: GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world, San Antonio, Vol. 1, S. 174 - 180.
- HAASE, G., 1978, Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotentialen. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Jg. 122, Heft 2, S. 113 - 125.
- HARRIS, J.R., 1987, Satellite Remote Sensing, An Introduction, London, New York.
- HARRIS, J.R., MURRAY, R., HIROSE, T., 1990, IHS Transformation for the Integration of Radar Imagery with other Remotely Sensed Data. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 12, S. 1631 - 1641.
- HASEKE, H., 1990, Hydrologie und Karstmorphologie des Sengsengebirges, Forschungsprojekt 2.1-90 Nationalpark Kalkalpen, Moln, Salzburg.
- von HESLER, A., 1984, Zukünftige Informationsbeschaffung für die Planung. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), 1984, Was leistet die Fernerkundung für die räumliche Planung? Hanover (= Beiträge der ARL, Bd. 79), S. 7 - 16.

- ITTEN, K., 1980, Grossräumige Inventuren mit Landsat-Erderkundungssatelliten, Bonn-Bad Godesberg. (= Landeskundliche Luftbilddauswertung im mitteleuropäischen Raum, Schriftenfolge der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Heft 15)
- JACKSON, M.J. and MASON, D.C., 1986, The Development of Integrated Geo-Information Systems. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, S. 723 - 740.
- JADOWSKI, M. and EHLERS, M., 1989, GIS Analysis of SPOT Image Data. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 4, GIS/LIS, Baltimore, S. 65 - 74.
- JANSEN, L.L., JAARSMA, M.N. van der LINDEN, E.T., 1990, Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land-Cover Classification. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 11, S. 1503 - 1506.
- JENSEN, J.R., 1986, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Englewood Cliffs.
- JOHNSON, L.B., JOHNSTON, C.A., PASTOR, J., 1988, Raster and Vector Data in Ecological Research Applications. In: GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world, San Antonio, Vol. 1, S. 386 - 394.
- KALLIANY, R., 1986, Vergleichende Untersuchungen zur Auflösung des Thematic Mapper. In: Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 109 - 120.
- KERL, I., 1989, Vegetationserfassung der Stadt München durch kombinierte Auswertung von Landsat-TM und Sojuzdaten in Verbindung mit vektorieller Liniengraphik. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1989, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1987, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 216 - 222.
- KEYDEL, W., 1991, Radarverfahren zur Satelliten-Fernerkundung am Beispiel des ERS-1. In: Die Geowissenschaften, Nr.4/5, S. 102 - 110.
- KONECNY, G., 1989, Stand und Entwicklung der Fernerkundung durch Satellitendaten und deren Einsatz in der Kartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1989, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1987, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 12 - 23.
- KRAUS, K. und SCHNEIDER, W., 1988, Fernerkundung - Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken, Bd. 1, Bonn.
- KÜHBAUCH, W., 1991, Anwendungen der Radarfernerkundung in der Landwirtschaft. Erfassung der landwirtschaftlichen Landnutzung. In: Die Geowissenschaften, Nr. 4/5 91, S. 122 - 127.
- KUNDERT, K., 1988, Untersuchungen zur automatischen Klassifikation von räumlichen Einheiten, Zürich. (= Geoprocessing Reihe, Vol. 7)
- LANDAUER, G., 1990, Möglichkeiten der Waldschadenserkenkung mit multispektralen Scannerdaten. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 39 - 45. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)
- LAUER, D.T., ESTES, J., JENSEN, J., GREENLEE, D., 1991, Institutional Issues Affecting the Integration and Use of Remotely Sensed Data and Geographic Information Systems. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 647 - 654.
- LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W., 1987, Remote Sensing and Image Interpretation (2nd Ed.), New York.
- LÖFFLER, E., 1985, Geographie und Fernerkundung. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten, Stuttgart. (= Teubner Studienbücher der Geographie)

- LOGAN, T. and BRYANT, N.A., 1987, Merging CAD/CAM/Mapping with GIS and Image Processing. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 10, S. 1391 - 1395.
- LUNETTA, R.S., CONGALTON, R.G., FENSTERMAKER, L.K., JENSEN, J., McGWIRE, K., TINNEY, L.R., 1991, Remote Sensing and Geographic Information System Data Integration: Error Sources and Research Issues. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 6, S. 677 - 687.
- MA, Z. and OLSON, C.E., 1989, A Measurement of Spectral Overlap among Cover Types. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 10, S. 1441 - 1444.
- MACE, T.H., 1990, Multistage Remote Sensing for a National Environmental Monitoring Program Database. In: *GIS/LIS '90, 1990, Proceedings*, Vol. 2, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 691 - 700.
- MAFFINI, G., 1987, Raster versus Vector Data Encoding and Handling: A Commentary. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 10, S. 1397 - 1398.
- MAREK, K.-H., 1988, Zum Vergleich des Informationsgehalts verschiedener Fernerkundungsaufnahmen. In: *Vermessungstechnik*, 36. Jg., H. 5, S. 152 - 156.
- MARKWITZ, W., 1989, Vom Satellitensignal zur Bildkarte. In: MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, *Fernerkundung: Daten und Anwendungen*, Karlsruhe, S. 1 - 10.
- MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, *Fernerkundung: Daten und Anwendungen*, Karlsruhe.
- MARSH, S.E., WALSH, J.L., HUTCHINSON, C.F., 1990, Development of an Agricultural Land-Use GIS for Senegal Derived from Multispectral Video and Photographic Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 3, S. 351 - 357.
- MASON, D.C., CORR, D.G., CROSS, A., HOGG, D.C., LAWRENCE, D.H., PETROU, M., TAILOR, A.M., 1988, The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images. In: *Int. J. Geographical Information Systems*, Vol. 2, Nr. 3, S. 195 - 215.
- MATHER, P.M., 1987, *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*, St. Edwards, GB.
- MAUSEL, P.W., KRAMBER, W.J., LEE, J.K., 1990, Optimum Band Selection for Supervised Classification of Multispectral Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 1, S. 55 - 60.
- MAYER, F., 1988, Einführung in das Symposium "Digitale Technologie in der Kartographie". In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, *Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986*, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 9 - 10.
- MORAN, S., 1990, A Window-Based Technique for Combining Landsat Thematic Mapper Thermal Data with Higher-Resolution Multispectral Data over Agricultural Lands. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 3, S. 337 - 342.
- MÜLLER, R., VOSS, H.-H., van der PIEPEN, H., 1989, Digitale Verarbeitung von Fernerkundungsdaten zur Erkennung von Umweltschäden. In: *GIS 4/89*, S. 13 - 25.
- MULLER, J.P. (Ed.), 1986, *Digital Image Processing in Remote Sensing*, London, Philadelphia.
- ÖTTL, H., 1991, Mikrowellenfernerkundung mit Radar. In: *Spektrum der Wissenschaft*, 3/91, S. 22 - 26.
- OSLIN, A.J., 1988, GIS to Integrate Remote Sensing and CADD for Engineering and Environmental Studies. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 407 - 416.
- PARLOW, E., 1985, LANDSAT-Thematic Mapper und SPOT. Fernerkundungssatelliten der 2. Generation. In: *Geographische Rundschau*, Jg. 37, H. 4, S. 194 - 198.

- PEUQUET, D.J. and MARBLE, D.F. (Ed.), 1990, *Introductory Readings in Geographic Information Systems*, London, New York, Philadelphia.
- PFEIFFER, S., 1985, Klassifizierung mit Zusatzinformationen. In: BÄHR, H.P. (Hrsg.), 1985, *Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung*, Karlsruhe, S. 317 - 347.
- VAN DER PIEPEN, H., DOERFNER, R., GIERLOFF-EMDEN, H.-G. unter Mitarbeit von AMMAN, V., BARROT, K.W. und HELBIG, H., 1987, *Kartierung von Substanzen im Meer mit Flugzeugen und Satelliten*, München. (= Münchner Geogr. Abhandlungen, Band A 37)
- QUIEL, F., 1985, Digitale Multispektrale Klassifizierung. In: BÄHR, H.P. (Hrsg.), 1985, *Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung*, Karlsruhe, S. 293 - 315.
- RADO, B., BURY, A. and SMITH, C., 1991, Raster-Vector Integration: Real World Solutions. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers*, Vol. 4, GIS, S. 166 - 172.
- RICHELSON, J.T., 1991, Perspektiven der Fernaufklärung per Satellit. In: *Spektrum der Wissenschaft*, 3/91, S. 44 - 52.
- ROBINSON, R. and NAGEL, D., 1990, Land Cover Classification of Remotely Sensed Imagery and Conversion to a Vector-Based GIS for the Suwannee River Water Management District. In: *GIS/LIS '90*, 1990, *Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim.
- ROTT, H., 1986, Fernerkundung von Schnee und Eis mittels neuer Sensoren. In: *Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung*, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 91 - 98.
- ROTT, H., 1991, Aktive Mikrowellenverfahren zur Erforschung der Landkryosphäre. In: *Die Geowissenschaften*, Nr. 4/5, 150 - 155.
- SABINS, F., 1986 (2nd Ed.), *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, New York.
- SADER, S.A., STONE, T.A., JOYCE, A.T., 1990, Remote Sensing of Tropical Forests: An Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 10, S. 1343 - 1351.
- SCHNEIDER, S., 1979/80, Die Problematik in der Anwendung von Fernerkundungsverfahren für Landesplanung und Umweltüberwachung. In: *Geographisches Taschenbuch 1979/80*, S. 100 - 108.
- SCHOWENGERDT, R.A., 1983, *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, Orlando.
- SCHULZ, B.S., 1988, Hypothesenfreie Landnutzungsklassifizierung aus LANDSAT 5 TM - Bilddaten. In: *Bildmessung und Luftbildwesen*, Heft 3, S. 89 - 97.
- SIEBERT, A., 1990, Die Integration von Satellitenbilddaten und vorliegenden Kartenmaterialien für Zwecke der Raumplanung. In: *GIS 3/1990*, S. 19 - 25.
- SILFER, A.T., 1988, Generating GIS Coverages from Satellite Imagery. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 52 - 57.
- SINGH, K.D., 1990, Design of a Global Tropical Forest Assessment. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 10, S. 1353 - 1354.
- STAR, J. and ESTES, J., 1990, *Geographic Information Systems. An Introduction*, Englewood Cliffs.

- STAR, J., ESTES, J. and DAVIS, F., 1991, Improved Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems: A Background to NCGIA Initiative 12. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 6, S. 643 - 645.
- STOW, M. and CONGALTON, R.G., 1986, Accuracy Assessment: A User's Perspective. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, Nr. 3, S. 397 - 399.
- STOW, D., WESTMORELAND, S., MCKINSEY, D., MERTZ, F., NATHANSON, J., SPERRY, S., NAGEL, D., 1990, Efficient Creation, Correction and Updating of Vector-Coded GIS Coverages Using Remotely Sensed Data. In: *GIS/LIS '90, 1990, Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 209 - 218.
- TOWNSHEND, J.R. (Ed.), 1981, *Terrain analysis and remote sensing*, London.
- TROTTER, C.M., 1991, Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review. In: *Int. Geographical Information Systems*, Vol. 5, Nr. 2, S. 225 - 239.
- WALLACE, T. and CLARK, S.R., 1988, Raster and Data Vector Ingetration: Past Techniques, Current Capabilities and Future Trends. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 418 - 426.
- WALSH, S.J., COOPER, J.W., v.ESSSEN, I.E., GALLEGGER, K.R., 1990, Image Enhencement of Landsat Thematic Mapper Data and GIS Data Integration for Evaluation of Resource Characteristics. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 8, S. 1135 - 1141.
- WEIBEL, R. and DeLOTTO, J.S., 1988, Automated Terrain Classification for GIS Modeling. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 618 - 627.
- WELCH, R., 1985, Cartographic Potential of SPOT Image Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, Nr. 8, S. 1085 - 1091.
- WELCH, R. and EHLERS, M., 1987, Merging Multispectral SPOT HRV and Landsat TM Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 3, S. 301 - 303.
- WESTMORELAND, S. and STOW, D., 1990, Use of Satellite Imagery and Ancillary Data of Update a Vector-Coded Geographic Information System. In: *GIS/LIS '90, Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 383 - 391.
- WHEELER, D., 1989, A Comparison of "Tasseled CAP" Transformed Values vs. Row TM Data for unsupervised Landcover Classification. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore S. 17 - 23.
- YOSHIMURA, M. and OSHIMA, T., 1991, Monitoring of the Vegetation Condition by Tasseled Cap Transformation. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers*, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore, S. 506 - 515.
- ZHOU, Q., 1989, A Method for Integrating Remote Sensing and Geographic Information Systems. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 5, S. 591 - 596.

Lebenslauf

Name: Thomas Blaschke

geboren: 3.8.1965 in Laufen/Obb.

Eltern: Franz Blaschke, Dipl. Rechtspfleger, geb. 28.4.1928
Vera Blaschke, Hausfrau, geb. 1.10. 1933

Schule: 1971 - 1975 Grundschule Laufen

1975 - 1984 Gymnasium Laufen

1.7.1984 - 30.6.1986 Bundeswehr, Reserveoffiziersausbildung

1.7.1986 - 15.9.1986 Studienaufenthalt in den USA

Studium: seit WS 1986/87 Studium der Geographie an der Universität Salzburg

24.10.1988 Erste Diplomprüfung

10.7.1989 - 15.9.1989

Praktikum am Amt für Militärgeographie in
Euskirchen (BRD)

sere Wahrnehmung von der Welt in eine völlige Bedeutungslosigkeit versinken (vergl. ABLER et al. 1971, S. 148ff). Erst indem Sachverhalte, Erscheinungen oder Ereignisse klassifiziert, d.h. in einen geordneten Zusammenhang gestellt werden, kann man ihre Beziehungen untereinander ausleuchten.

Unbewußt bedient sich jeder Mensch ständig einer Klassifikation. Allein die menschliche Sprache bezieht sich auf Klassen von Dingen oder Ereignissen. Ansonsten wäre es unmöglich, daß z.B. beim Wort *Tisch* alle Menschen gewisse gemeinsame Vorstellungen von dem Objekt besitzen, wenn auch Einzelmerkmale, wie Farbe, Größe, Anzahl der Beine, Höhe, Material usw. stark variieren können. Klassifikation kann daher als eine *"systematische Einteilung von Objekten oder Ereignissen in Klassen auf der Basis von gemeinsamen Verhältniswerten oder Beziehungen"* bezeichnet werden (vereinfacht nach ABLER et al. 1971, S. 151).

Bei der Klassifikation sind prinzipiell vier Vorgangsweisen möglich (nach CURRAN 1985, S. 243):

- a) **Induktiv-qualitative Methode:** Ausgehend von Einzelbeobachtungen werden Generalisierungen auf der Basis von Gesetzen vorgenommen.
- b) **Induktiv-quantitative Methode:** Ausgehend von Einzelbeobachtungen und Messungen werden nach präzisen, nachvollziehbaren und wiederholbaren Entscheidungsregeln, von denen die Genauigkeit und Signifikanz der Aussage bekannt ist, Generalisierungen vorgenommen.
- c) **Deduktiv-qualitative Methode:** Es werden Experimente durchgeführt und Daten gesammelt um Hypothesen zu belegen oder zu Fall zu bringen.
- d) **Deduktiv-quantitative Methode:** Experimente werden durchgeführt und Daten gesammelt, um Hypothesen zu testen, indem präzise, wiederholbare Entscheidungsregeln angewandt werden, deren Fehlerabweichung und Signifikanz bekannt sind.

In der **Geographie** beziehen sich Klassifikationen vor allem auf räumliche Einheiten. Obwohl die Ergebnisse der räumlichen Klassifikation im allgemeinen als **Regionen** bezeichnet werden erscheint es problematisch, die Begriffe *Klassifikation* und *Regionalisierung* zu vermischen bzw. die Regionalisierung als besondere, nämlich räumliche Form der Klassifikation, abzuhandeln, wie es vielfach geschieht. Eine Region kann nach verschiedenen Autoren, z.B. ABLER et al. (1971), vereinfacht als "Teil der Erdoberfläche, der in einer definierten Weise sich von den umliegenden Gebieten unterscheidet" verstanden werden.

Im folgenden soll auf die Klassifikation in der (Satelliten)**Bildverarbeitung** eingegangen werden. Grundvoraussetzung für die rechnergestützte Klassifizierung ist, daß die verschiedenen Klassen nur aufgrund der aus den Daten gewonnenen Merkmale getrennt werden können. Dabei werden im allgemeinen nur die Reflexionswerte der einzelnen Bildelemente herangezogen, obwohl es möglich ist, andere Merkmalsinformationen, die etwa die Textur, Form oder Größe eines Objekts beschreiben, mit heranzuziehen. Bei einer Klassifikation im Sinne der spektralen Mustererkennung werden daher Pixel eines Eingangsbildes individuellen Klassen zugewiesen.

Die verschiedenen Klassifizierungsverfahren lassen sich in zwei große Gruppen einteilen, die **überwachten** und die **unüberwachten** Verfahren. Während bei den überwachten Klassifikationsverfahren die Merkmale der einzelnen Klassen vorher festgelegt werden und dann eine Zuordnung der Bildelemente nach bestimmten Berechnungsvorschriften erfolgt, werden bei den unüberwachten Verfahren die Bildelemente aufgrund ihrer Merkmale in Klassen zusammengefaßt und anschließend wird die Bedeutung dieser Klassen aufgrund ihrer Verbreitung in der Szene interpretiert. Es gibt viele überwachte und unüberwachte Klassifizierungsverfahren, die sich zum Teil in den Ergebnissen nur wenig unterscheiden. Die folgenden Ausführungen beschränken sich daher auf die in dieser Arbeit angewandten Techniken.

Der Einfluß der Topographie auf die Klassifizierungsergebnisse wird oft vernachlässigt und kann aus pragmatischen Gründen in der vorliegenden Arbeit nicht im Rechenprozess berücksichtigt werden, wohl aber bei der Aufbereitung der Daten und beim Signaturentraining. Das folgende Beispiel zeigt die Auswirkung verschiedener Neigungswinkel auf die Reflexionswerte einer Ackerfläche für die Landsat TM-Kanäle 5 und 7.

Tab. 5.1.: Einfluß der Topographie auf die Reflexionswerte einer Ackerfläche (PFEIFFER 1985, S. 318/319)

	Originalwert $i = 0^\circ$	$i = 10^\circ$	20°	30°	40°
Kanal 5	50	50,8	53,1	57,7	65,3
Kanal 7	30	30,5	31,9	34,6	39,2

Auswirkung unterschiedlicher Winkel i auf die Grauwerte einer Ackerfläche in einem LANDSAT-Bild

Für die Klassifikation bedeutet dies, daß in einem hügeligen oder gebirgigen Gelände die Originalgrauwerte beispielsweise mit Hilfe des Digitalen Geländemodells korrigiert werden sollten, um Fehlklassifikationen zu vermeiden.

5.3.2. Unüberwachte Klassifikation

Eine unüberwachte Klassifikation erscheint besonders dann angebracht, wenn unzureichende Geländekenntnisse vorliegen und eine exakte Beschreibung der Merkmale der gesuchten Klassen nicht möglich ist. Statt eines Signaturentrainings werden aus der Statistik der Reflexionswerte spektrale Klassen gebildet. In verschiedenen Verfahren, die sich zumeist eines gleitenden Fensters bedienen, werden die Bildelemente diesen künstlichen Klassen zugeordnet. Die Aufgabe des Bearbeiters liegt nun darin, die auf diese Weise entstehenden Klassen zu interpretieren und durch Zusammenfassen zu real existierenden Landnutzungsklassen zu gelangen. Auf die verschiedenen, teils komplizierten

Berechnungsvorschriften soll hier nicht näher eingegangen werden. Die Vor- und Nachteile der unüberwachten Klassifikation für die gegebenen Daten sollen jedoch in Beispiebstudien herausgearbeitet werden.

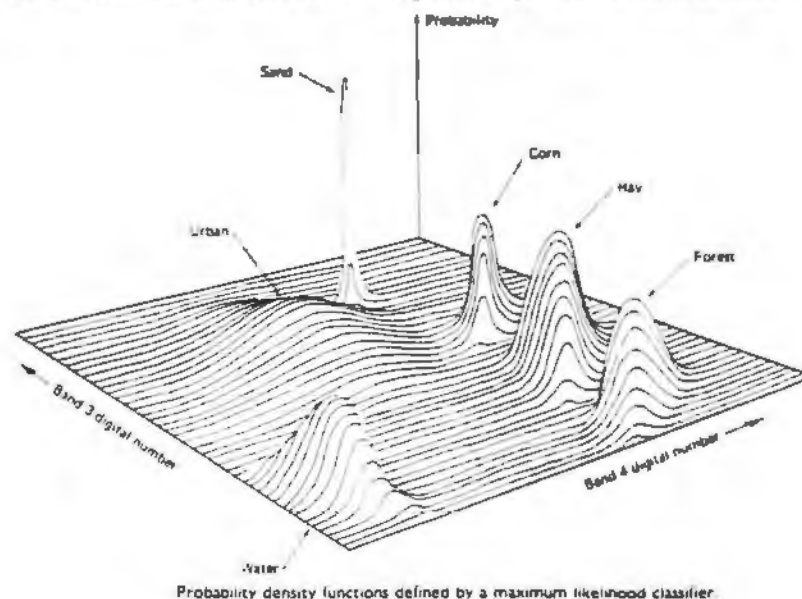
5.3.3. Überwachte Klassifikation

Für die Klassifizierung multispektraler Daten sind Kenntnisse über die spektralen Signaturen der einzelnen Objekte erforderlich. Bei der überwachten Klassifikation werden anhand von Bodeninformationen oder aufgrund des Vorwissens des Interpreten **Trainingsgebiete** bestimmt, die die einzelnen Objektklassen repräsentieren. Der Computer ordnet während des Klassifikationsverfahrens die zu bestimmenden Bildelemente (Pixel) nach ihren Reflexionswerten den vordefinierten Klassen zu. Dabei ist zu berücksichtigen, daß systematische Änderungen der Rückstrahlungswerte über die Streifenbreite zur Folge haben, daß z.B. in der Mitte gelegene Trainingsgebiete für die Randbereiche nicht mehr repräsentativ sind. Die Auswahl der Trainingsgebiete hat daher in allen Teilbereichen eines Bildes zu erfolgen. Eine neuere Möglichkeit stellt das Signaturentraining unter Zuhilfenahme externer Daten dar. Auch in der vorliegenden Studie ist es möglich, den Satellitenbildern Vektordaten am Bildschirm zu überlagern, die als Abgrenzung von Trainingsgebieten genutzt werden können (z.B. Waldkarten, Vegetationskartierungen, Bodenkarten, sonstige ground truth information ...).

Maximum Likelihood

Bei dem bekannten und oft angewandten Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) werden anhand statistischer Größen der vorgegebenen Klassen die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die einzelnen Bildelemente zu diesen Klassen gehören, berechnet. Eine Zuordnung erfolgt dann zur Klasse der höchsten Wahrscheinlichkeit. Dazu werden die Mittelwerte der verwendeten Kanäle in den jeweiligen Trainingsgebieten und die Kovarianzmatrix herangezogen. Wenn ein bestimmtes Wissen über die Wahrscheinlichkeiten der auftretenden Klassen vorliegt, kann in der Variante des sogenannten *Bayesian Classifiers* vorab eine Gewichtung erfolgen (vergl. Erdas Field Guide S. 156).

Abb. 5.8.: Das maximum likelihood - Verfahren (LILLESAND and KIEFER 1987, S. 676)



Parellelepiped

Bei diesem Verfahren (deutsch am besten "*Quader-Verfahren*") wird in den einzelnen Spektralkanälen eine obere und untere Grenze der für eine Objektklasse gültigen Meßwerte definiert, was im zweidimensionalen Merkmalsraum zu rechteckigen Entscheidungsgrenzen führt. Probleme gibt es ebenso wie bei den anderen Verfahren besonders dann, wenn sich die Merkmalsräume, d.h. die Rechtecke, vielfach überschneiden oder ineinanderliegen.

5.3.4. Wahl des Klassifikationsverfahrens

Die Auswahl des Klassifizierungsverfahrens wird stark durch die Fragestellung einer Untersuchung beeinflusst. Die Auswahl der Landnutzungsklassen ist aber auch von weiteren Parametern abhängig:

1. Die Frage des Maßstabs

Bei einer kleinmaßstäbigen Betrachtung erscheint eine Aufgliederung in viele, detaillierte Klassen als nicht sinnvoll. In derartigen Übersichtsdarstellungen von Regionen oder Ländern wird zumeist eine Beschränkung auf die Hauptklassen, z.B. Wasser, Wald, Wiese, sonstige Vegetation, Siedlung, als angemessen erachtet.

2. Die gewünschte inhaltliche Aussage

Je nach Ausgangspunkt der Untersuchung stehen bestimmte Themen im Vordergrund. Dies kann z.B. die Zusammensetzung der Vegetation sein, wobei in dieser dominanten Hauptklasse viele Unterklassen gebildet werden. Andere Hauptklassen sind dann von geringerem Interesse und werden daher weniger oder gar nicht weiter unterteilt. Man unterscheidet dann etwa die vegetationslose Fläche nicht in Siedlung und Ödland.

3. Die Verfügbarkeit der Bilddaten

Die Verfügbarkeit von Satellitendaten führt oft zu entscheidenden Einschränkungen in der Praxis. Während Landsat-MSS und -TM über lange Zeiträume ununterbrochen aufgenommen wurden und auch gegenwärtig werden, werden SPOT-Aufnahmen nur auf Bestellung angefertigt. Die Zeiträume, in denen der Aufnahmemodus deaktiviert ist, sind daher unwiederbringlich verloren. Auch stellen die hohen Kosten vielfach Beschränkungen dar. So kostet eine einzige Landsat-TM-Szene derzeit etwa 3300 US\$, für SPOT-Daten muß bei gleicher Fläche mit noch höheren Kosten gerechnet werden. Forschungsvorhaben in großen Raumausschnitten mit multitemporalen Daten können daher nur von wenigen großen Institutionen durchgeführt werden.

4. Die Hard- und Softwarevoraussetzungen

Rechen- und Speicherkapazität der zur Verfügung stehenden Anlage können durchaus limitierende Faktoren darstellen. Die Rechenzeit der maximum-likelihood-Klassifikation steigt exponential mit der Anzahl der Klassen/Signaturen an. In der vorliegenden Studie benötigt ein leistungsfähiger PC selbst für einen 1000 x 1000 Pixel großen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes z.B. bei 15 Signaturen mehrere (2 - 5) Stunden. Die Gesamtklassifikation in einem Stück über das Untersuchungsgebiet von 900 km² würde selbst eine Workstation vor eine große Aufgabe stellen.

5.4. Verwendete Hard- und Software

Der verwendete 386/33Mhz-PC mit ca. 400 Mb Festplattenkapazität und 4 Mb Arbeitsspeicher ist mit den gestellten Aufgaben mehrfach bis zu seiner Leistungsgrenze ausgelastet. Der graphische Teil des Arbeitsplatzes besteht aus einem 1024*1024 Bildschirm mit 2 Mb Bildschirmspeicher und dazugehöriger Graphikkarte. Damit ist es möglich, den in drei Kanälen (Rot, Grün, Blau = *RGB*) dargestellten Satellitenbildern weitere Daten, z.B. Vektordaten zu überlagern. Der Großteil der Arbeit wird durchgeführt mit der Bildverarbeitungssoftware *Erdas* (PC-Version 7.4), die mittels der integrierten Schnittstelle *LiveLink* mit dem Vektor-basierten Geographischen Informationssystem *Arc/Info* (PC-Version 3.4d) verbunden ist. Die Umwandlung von Raster- in Vektordaten (vergl. Kap 7.7.) erfolgt dagegen auf einer *Sun*-Workstation.

Die GIS-Software *Arc/Info* scheint sich in Österreich als Standard durchzusetzen. Die Verwaltungen der Bundesländer Salzburg, Steiermark, Burgenland, Tirol und Wien arbeiten bereits damit, während die Landesverwaltungen von Kärnten, Niederösterreich und Oberösterreich sich in einer Vorbereitungsphase befinden. Die Software wird in vielen Forschungseinrichtungen und Universitätsinstituten sowie in Bundesdienststellen (z.B. Forschungszentrum Seibersdorf, Umweltbundesamt, Geologische Bundesanstalt ...) eingesetzt und bietet durch die hohe Flexibilität ein breites Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. In der vorliegenden Arbeit wird weniger auf die analytischen Fähigkeiten des Geographischen Informationssystems zurückgegriffen, vielmehr wird *Arc/Info* als Visualisierungshilfe und Interpretationshilfe mittels Vektordaten sowie zum Erstellen von Karten verwendet.

ERDAS ist nach Wissen des Autors das meistverbreitetste Bildverarbeitungssystem mit über 2000 Installationen in über 70 Staaten und erscheint aufgrund seiner Bedienerfreundlichkeit und Zuverlässigkeit als geeignet, um in Planungsstellen, wie z.B. einem Nationalpark, eingesetzt werden zu können. Im Falle der vorliegenden Arbeit wird ein Großteil der benötigten Rechenoperationen durch das System abgedeckt. Als Schwachpunkte erscheinen z.B. die visuellen Möglichkeiten bei der Rektifizierung, das Fehlen von texturbeschreibenden Operatoren oder die geringen statistischen Auswertemöglichkeiten. Einige dieser Punkte sind jedoch für die nächste Version angekündigt. Als äußerst positiv ist der Aufbau des Systems in Modulen und die klare Menü- und Dialogführung einzuschätzen. Dadurch ist im Vergleich zu anderen Systemen der Einarbeitungsaufwand in das System sehr gering, wenn das fachlich-theoretische Wissen der Satellitenbildverarbeitung vorhanden ist. Im folgenden wird eine Übersicht über die einzelnen verwendeten Programme im Bildverarbeitungssystem *ERDAS* gegeben.

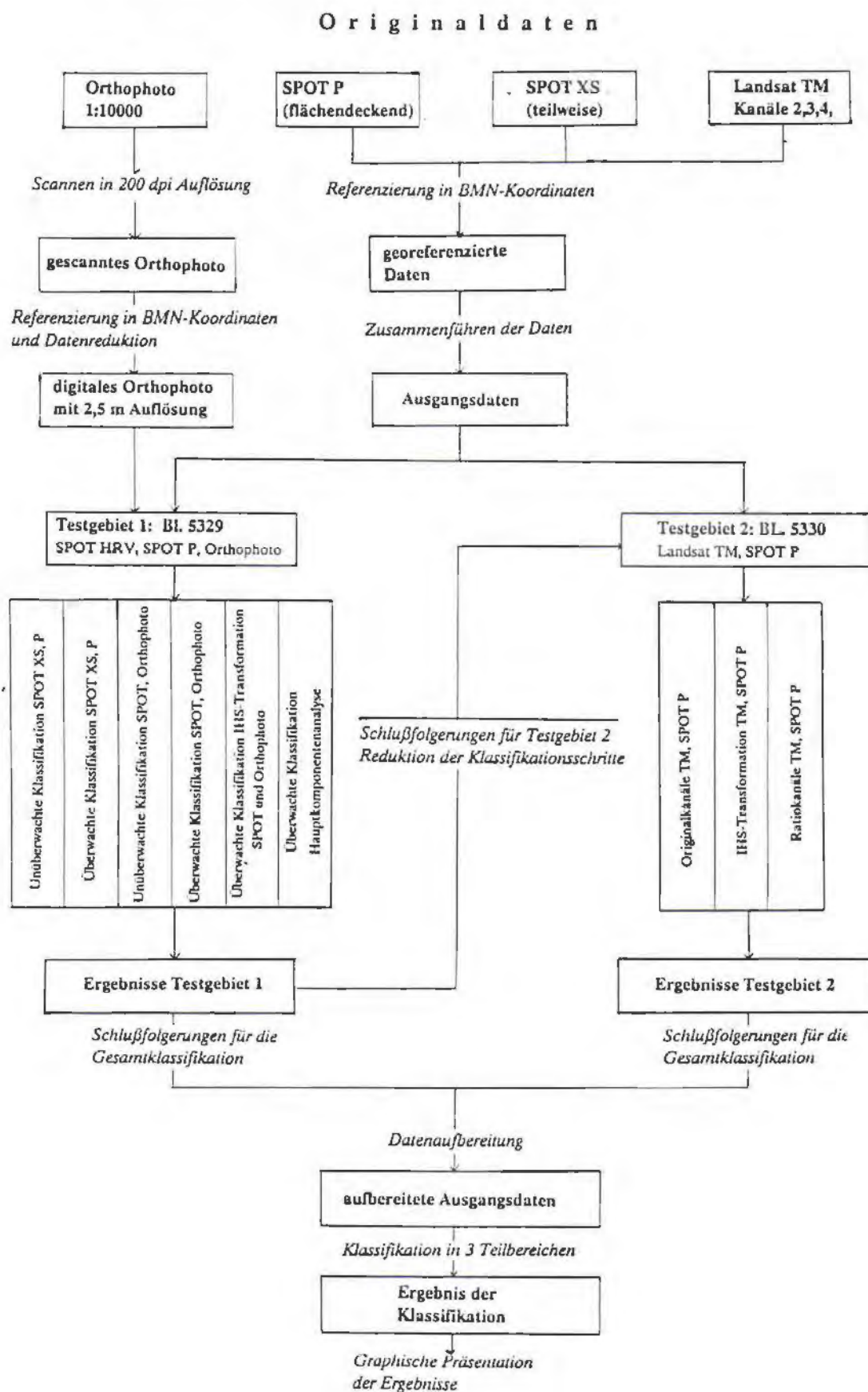
Abb. 5.9.: Verwendete Programme im Bildverarbeitungssystem ERDAS

Image Processing	Core	Raster GIS Modeling
<u>Enhancement:</u> ALGEBRA PRINCE STRETCH TEXTURE DHISTEQ DCONVLV HSTMATCH <u>Pre-Classification:</u> Training Sample Selection: SEED ISODATA STATCL SIGEXT Training Sample Evaluation: Manipulation: DIVERGE SIGDIST ELLIPSE CMATRIX SIGMAN SIGCVRT <u>Classification:</u> MAXCLAS PPDCLAS ISODATA CLUSTR <u>Post Classification:</u> THRESH RANDCAT POLYCAT CLASERR <u>Geometric Correction:</u> GCP COORDN NRECTIFY LRECTIFY PROGCP	<u>View:</u> READ DISPLAY DISPOL GISOVR CLASOVR BLANK TOGGLE MOVIE ZOOMER <u>File Management:</u> Header/Trailer: FIXHED CLASNAM BSTATS LISTIT CVT73 CVT74 Create/Subset: MAKEFIL CPYSCR SUBSET CUTTER MASK STITCH Special Purpose: DIGUTIL GRDPOL CCVRT EDPAT CHED LDDATA IMPORT EXPORT DATATAB ANTGRID	COLORMOD ANNOTAT <u>Cursor:</u> CURSES CURBOX DIGSCRN SMEASURE <u>Core Image Processing:</u> HISTOEQ WFM IPX RGBCLUS CLUSTR <u>Core Raster GIS:</u> GISEDIT RECODE OVERLAY MATRIX INDEX SEARCH AGGIE CLUMP DSCEDIT DSCASCII INQUIRE GISMO POLYFIL SCAN SIEVE

5.5. Der Projektablauf

Die von der Nationalparkplanungsstelle in Kirchdorf/Krems angekauften Satellitendaten werden über Magnetband an das Institut für Geographie der Universität Salzburg übermittelt. Nach einer Sichtung des Gesamtgebietes werden zwei Beispielsgebiete ausgewählt, um für die gegebenen Daten und die vorliegende Aufgabenstellung die geeigneten Verfahren der digitalen Bildverarbeitung herauszuarbeiten. Diese Phase dauert einschließlich der Dokumentation und einfachen graphischen Aufbereitung etwa von Mai bis Oktober 1991. Aufgrund der Ergebnisse dieser Detailstudien wird anschließend eine Landnutzungsklassifikation über ein Gebiet von 900 km² durchgeführt (größtenteils im Dezember 1991). Aufgrund zahlreicher technischer Schwierigkeiten (vor allem starke Inkompatibilität zwischen Workstation und PC) erfordert die Dokumentation und Visualisierung der Ergebnisse mehrere Wochen. Im folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Schritte gegeben:

Abb. 5.10.: Übersicht des Gesamtprojektablaufs

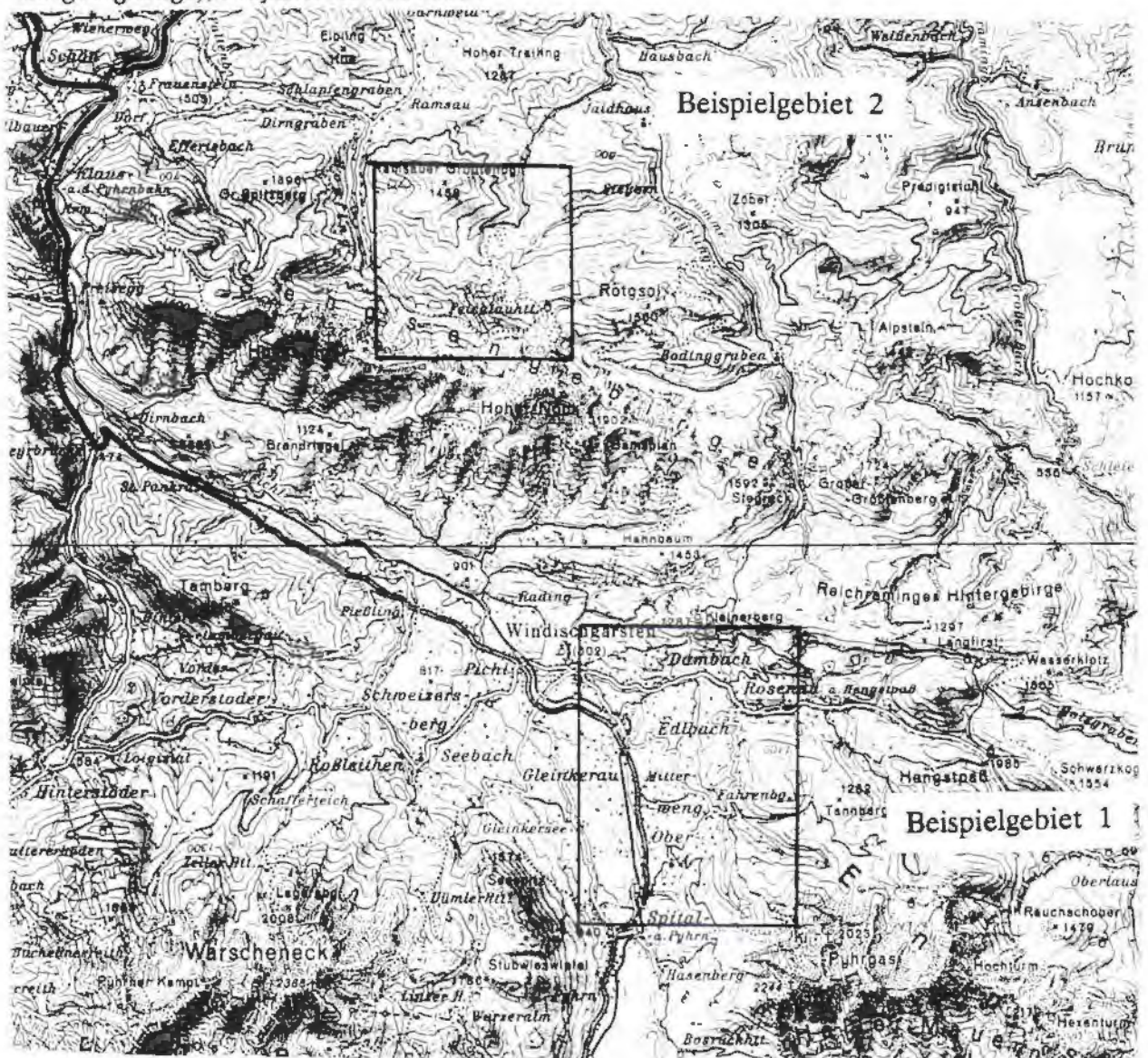


6. ANWENDBARKEITSSTUDIE VON VERFAHREN DER BILDVERARBEITUNG UND KLASSIFIKATION FÜR ZWEI BEISPIELSGEBIETE

6.1. Aufgabenstellung

Um aus der Vielzahl der Klassifikationen entsprechend der Aufgabenstellung (vergl. Kap. 1) ein geeignetes Verfahren für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen auszuwählen und den herrschenden Gegebenheiten des Geländes anzupassen, werden zunächst verschiedene Techniken der Bildverarbeitung und unterschiedliche Klassifikationsverfahren beispielhaft auf Teilen der Triangulierungsblätter 5329 (Windischgarsten) und 5330 (Sengsengebirge) durchgeführt. Im ersten Fall wurde dabei ein Gebiet ausgesucht, das zwar nur einen geringen Anteil am geplanten Nationalpark aufweist, jedoch im Gegensatz zu weiten Teilen des Planungsraumes vielfältig genutzt wird und daher günstig erscheint, verschiedene Verarbeitungs- und Klassifikationstechniken auf ihre Anwendbarkeit hin zu untersuchen. Beim zweiten Beispielgebiet handelt es sich um den Ostteil des Sengsengebirges sowie dessen nördliche Vorzone und damit um eine für den geplanten Nationalpark typische Landschaft mit einem Anteil an verkarsteten Hochlagen und großen Waldflächen unterschiedlicher Höhenlage und Nutzung.

Abb. 6.1.: Die Lage der Beispielgebiete (Blatt 5329, Windischgarsten und Blatt 5330, Sengsengebirge), Maßstab ca. 1:150000



Es ist bei allen beispielhaften Verfahren zu berücksichtigen, daß für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen (noch) keine homogenen multispektralen Satellitendaten zur Verfügung stehen. Dies bedeutet konkret, daß eine Vorgangsweise, die z.B. für die Kombination SPOT XS/SPOT P als günstig befunden wird, für Landsat TM/SPOT P nicht zwangsläufig geeignet ist und umgekehrt. Diese Tatsache erschwert die Gesamtklassifikation und bedingt einen relativ hohen Arbeitsaufwand für die Phase der Ermittlung der geeignetsten Methode (vergl. Abb. 5.10.).

Erschwert wird die Vergleichbarkeit der verschiedenen Testergebnisse durch die uneinheitliche Klassenauswahl. Dies kann jedoch kaum verhindert werden, da es bei der unüberwachten Klassifikation dem Interpreten nicht immer möglich ist, die vom Computer generierten Klassen zu den gewünschten Hauptklassen zusammenzufassen.

6.2. Datengrundlage

Satellitendaten

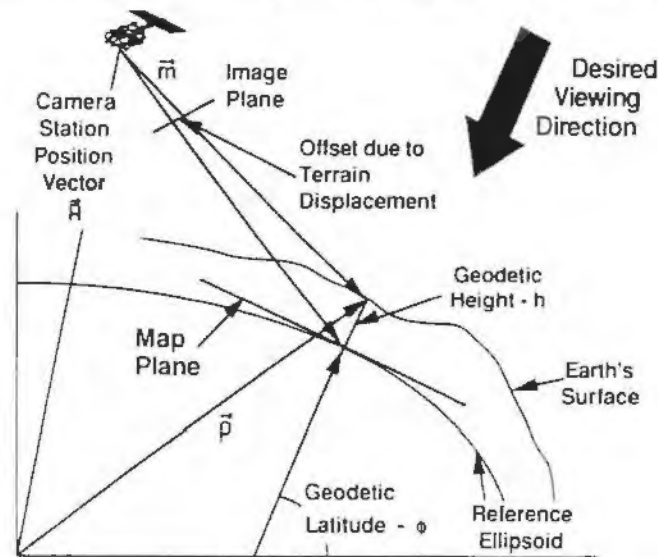
Die SPOT XS-Daten sind zu einem ungünstigen Termin aufgenommen worden (Ostteil: Oktober 1987; Westteil September 1987), während die panchromatischen Spot-Daten (in der Folge als SPOT P bezeichnet) von 1989 für das gesamte Gebiet einen einheitlichen Stand bieten. Durch den relativ niedrigen Sonnenstand zum Zeitpunkt der SPOT XS-Aufnahme ist das Relief schlecht ausgeleuchtet. Neben dem großen Problem der Schattenbildung differenzieren die SPOT-Kanäle 1 und 2 schlecht. Statt der im 8 Bit-Aufnahmemodus möglichen 255 Ausprägungen pro Kanal beschränkt sich die tatsächlich gemessene Rückstrahlung auf 70 bzw. 30 Werte. Durch die geringe Differenzierung können verschiedene Informationen auch durch Techniken der Bildverbesserung nicht herausgeholt werden. Für das Beispielsgebiet des Triangulierungsblattes 5329 stehen nur teilweise SPOT XS-Daten zur Verfügung. Es muß daher bei der Gesamtklassifikation ebenso wie für andere Bereiche auf eine Landsat TM-Aufnahme vom 28. 8. 1984 zurückgegriffen werden.

Das Digitale Orthophoto

Während das analoge Orthophoto seit Jahren vielseitig verwendet wird, steht die Verbreitung des digitalen Orthophotos erst am Anfang. Bei der Herstellung eines Orthophotos wird durch Differentialentzerrung ein Luftbild so umgeformt, daß es geometrisch die Eigenschaften einer Karte aufweist (ALBERTZ 1991, S. 137). Der Vorteil eines Orthophotos liegt demzufolge vor allem darin, daß geometrische Größen und Entfernungen gemessen werden können. Das digitale Orthophoto ist ebenso wie ein Satellitenbild aus in Reihen und Spalten angeordneten Bildelementen (Pixel) zusammengesetzt. Die Größe des Bildelementes kann mit der räumlichen Auflösung gleichgesetzt werden.

Das Orthophoto 1:10000, Blatt 5329-103 wurde in 200 dpi Auflösung gescannt. Nach entsprechender Verarbeitung, Rektifizierung und Umwandlung in das ERDAS-Format beträgt die Auflösung 1,25 m. Es wird für dieses Beispielblatt versucht, das digitale Orthophoto mit den Satellitenbildern zu kombinieren.

Abb. 6.2.: Die Geometrie eines Orthophotos (DUIVEN and COMPARATO 1991, S. B-52)



Um das Datenvolumen in einem vernünftigen Ausmaß zu halten und um das digitale Ergebnis sinnvoll mit den Satellitenbildern zusammenführen zu können, erfolgt zunächst eine rechnerische Transformation auf 2,5 m Pixelgröße. Das Ergebnis weist demnach 2000 x 2000 Pixel auf und bedeckt ebenso wie das Originalbild eine Fläche von 5 x 5 km. Zur Verknüpfung mit den Satellitendaten müssen diese auf die gleiche rechnerische Auflösung gebracht werden. Diese Vorgangsweise erscheint aus verschiedenen Gründen für eine flächendeckende Klassifikation über ein größeres Gebiet am PC als nicht durchführbar, doch können aus der Beispielsstudie Schlüsse gezogen werden auf die Anwendbarkeit der Methode allgemein, zumal es sich dabei um eine zukunftssträchtige Verarbeitungstechnologie handelt.

Da es sich bei der Gewinnung des Luftbildes um ein anderes Aufnahmesystem als bei den Satellitenbildern handelt, bestehen Unterschiede hinsichtlich der radiometrischen und geometrischen Eigenschaften sowie der Projektion. Der Hauptunterschied liegt darin, daß z.B. SPOT P im Wellenbereich von 0,51 bis 0,73 Mikrometer aufgenommen wird, während Luftbilder üblicherweise in einem Bereich von 0,3 bis 0,7 angesiedelt sind. Die geometrische Auflösung liegt, wie hinlänglich beschrieben, bei SPOT P bei 10 m und bei einem üblichen großmaßstäbigen Luftbild bei ca. 0,3 m (vergl. SUN, WOLF and SCARPACE 1991, S. B-77). Eine genaue Gegenüberstellung der Eigenschaften von Satellitendaten und Orthophotos (im weiteren Sinne) findet sich in SUN, WOLF and SCARPACE (1991). Das Datum dieses Aufsatzes (November 1991) sowie die sonstige Entwicklung der Veröffentlichungen zu dieser Thematik zeigen, daß die gemeinsame Betrachtung beider Datengrundlagen vor dem Hintergrund einer digitalen Kombination eine sehr junge Entwicklung darstellt.

Sonstige Daten

Daneben stehen für das Gesamtgebiet Vektordaten aus dem Nationalpark-GIS (NPK-GIAS) zur Verfügung, soweit sie bisher in digitaler Form vorliegen. Neben dem Straßen- und Gewässernetz, den Verwaltungsgrenzen sowie dem digitalen Geländemodell (DGM) und dem Kataster (teilweise digital) wurden und werden laufend aus den Arbei-

ten der Werkvertragsnehmer des Nationalparks für kleine Gebiete ökologische, hydrologische, geologische und zoologische Kartierungen digital erfaßt. So existiert beispielsweise für Teile des Sengsengebirges eine Vegetationskartierung in digitaler Form, die zur Genauigkeitsabschätzung der Ergebnisse als *ground truth* herangezogen werden kann.

6.3. Aufbereitung der Daten

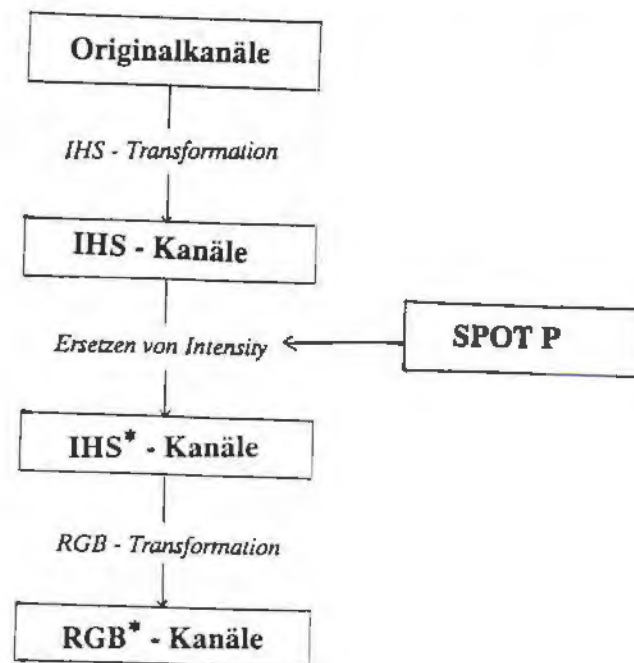
Zunächst wird versucht, die mäßige spektrale Differenzierung der Satellitenbilder durch verschiedene, in Kapitel 5.2. beschriebene Verfahren der digitalen Bildverarbeitung zu verbessern.

Durch die Verhältnissbildung (**ratio**) zwischen den SPOT-Kanälen XS 2 und XS 3 soll die Interpretierbarkeit vor allem in den Schattenbereichen erhöht werden. Dies bringt nicht das gewünschte Ergebnis, da durch die geringe Anzahl der tatsächlich vorkommenden Werte in beiden Kanälen durch die Rechenoperation bzw. durch die anschließende Streckung auf den 8 bit-Wertebereich Rastereffekte entstehen, d.h., daß durch die Streckung auf eine Skala von 0 bis 255 so große Wertesprünge entstehen, daß das Bild gerastert wirkt. Ein derartiges Phänomen bringt nicht nur einen optischen Nachteil sondern auch große Probleme beim Signaturentraining und der Klassifikation. Dagegen können die aus TM-Daten berechneten Ratiokanäle TM2/TM3, TM3/TM4 und TM2/TM4 (verg. Kap. 6.5.3.) durchaus als Grundlage der Klassifikation herangezogen werden.

Es wird auch versucht, das Verfahren der **Hauptkomponentenanalyse** zur Aufbereitung der Ausgangsdaten heranzuziehen. Da bei der Kombination SPOT P und SPOT XS die im panchromatischen Kanal enthaltene Information zu einem hohen Grad redundant ist, eignet sich in diesem Fall die Umwandlung der Originalkanäle in drei unabhängige Variablen nach meiner Ansicht nur bedingt als Ausgangsbasis der Klassifikation und wird aus konsequenterweise auch für die Landsat TM-Daten nicht angewandt. In Erwägung zu ziehen ist dagegen, einen Kanal der Hauptkomponentenanalyse mit anderen Kanälen zu kombinieren. Zum Zwecke der Kombination des digitalen Orthophotos mit den Satellitendaten wäre diese Vorgangsweise eigens zu untersuchen.

Die besten Ergebnisse liefert die **IHS-Transformation**. Sowohl die Kombination von multispektralen und panchromatischen SPOT-Daten als auch die Synthese aus SPOT-Daten und digitalem Orthophoto für das Beispielsblatt Windischgarsten (Siehe Kap. 6.4.5.) erfüllt die gestellten Erwartungen. Ebenso wie bei der Verknüpfung von Landsat TM und SPOT P für das Beispielsblatt 5330, Sengsengebirge, kommt dabei eine besondere Variante der IHS-Transformation zur Anwendung. Diese positive Aussage gilt jedoch zunächst nur für das entstehende synthetische Bild als solches, nicht jedoch für das Ergebnis als Grundlage einer Klassifikation. Hierzu existieren in der Fachliteratur praktisch keine Beispiele. Es ist jedoch zu erwarten, daß große Schwierigkeiten durch die unnatürliche Verteilung bzw. geringe Interpretierbarkeit der Rückstrahlungswerte in den einzelnen Kanälen auftreten.

Abb. 6.3.: Vorgangsweise der verbesserten IHS-Transformation



Zunächst werden die auf 10 m Auflösung gebrachten und in Bundesmeldenetzkoordinaten transformierten Landsat TM- bzw. SPOT XS-Daten mit dem SPOT P- Kanal in eine Datei zusammengeführt. Anschließend wird nach der bereits beschriebenen modifizierten IHS-Transformation (vergl. Kap. 5.2.4.) der *intensity* - Kanal durch SPOT P ersetzt und alle drei Kanäle in RGB-Format zurückgerechnet. In den nachfolgenden Abbildungen soll verdeutlicht werden, warum versucht wird, die räumliche Auflösung durch Hinzuziehen des SPOT P-Kanals zu verbessern, obwohl dies einen großen Aufwand bedeutet und die Methode in der Literatur eigentlich nur für die Erstellung von Satellitenbildkarten verwendet wird (vergl. EHLERS et al. 1990, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991, WELCH and EHLERS 1987). Trotz der verbesserten räumlichen Auflösung ist sich der Autor über die Nachteile der panchromatischen Aufnahme mit den starken Schatteneffekten bewußt. Dies kann jedoch gemindert werden, indem Radiokanäle mit dem IHS-transformierten Kanals verknüpft werden.

Folgende Seite:

Abb. 6.4.: Landsat SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte

Abb. 6.5.: IHS-Transformation der SPOT XS-Kanäle 1,2,3, Bl. 5428, Nordhälfte

Abb. 6.6.: Ergebnis der Kombination SPOT XS/SPOT P nach modifizierter IHS-Transformation, Bl. 5428, Nordhälfte



Das Ergebnis beeindruckt visuell. Wie zu erwarten, ist der Gewinn an räumlicher Auflösung bei den Landsat TM-Daten größer als bei SPOT XS. In dem unruhig wirkenden, da stark diversifizierten Bild sind die Licht-Schatten-Effekte gegenüber dem Ausgangsbild vermindert. Die großen, in den Originalkanälen weitgehend homogenen Waldflächen wirken nun stark in sich differenziert. Dieser Effekt erscheint auf den ersten Blick sehr positiv, doch ist das Bild visuell schwierig zu interpretieren.

6.4. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5329 (Windischgarsten)

Von dem Beispielblatt 5329 (Windischgarsten) wird ein 4,5 x 6,5 km großen Ausschnitt im südöstlichen Teil als Testgebiet genommen, da nur für etwa zwei Drittel des Blattes SPOT XS-Daten zur Verfügung stehen. Dies entspricht 450 x 650 Pixel oder 29,25 km². Der Abschnitt umfaßt einen Teil des Ortes Windischgarsten im äußersten NW und erstreckt sich im S bis Spittal am Pyhrn, im NE bis Rosenau am Hengstpaß und im SE bis an die Unterhänge des kleinen Pyhrgas bis max. 1300 m Seehöhe. Der Ausschnitt ist bewußt so gewählt, daß es sich dabei vorwiegend um die Beckenlandschaft von Windischgarsten handelt und damit kaum alpiner Formenschatz anzutreffen ist. Vielmehr dominieren im Beckenbereich die landwirtschaftlich genutzten Flächen, während auf den Kuppen sowie an mittelsteilen bis steilen Hängen der Wald vorherrscht. Das Gebiet liegt größtenteils außerhalb des geplanten Nationalparks bzw. in dessen Vorzone. Neben der Beckenlandschaft sind Teile der angrenzenden Gebirgszüge erfaßt. Dies sind im N die Ausläufer des Sengsengebirges, im äußersten NE die Ausläufer des Reichraminger Hintergebirges, im SE ein größerer Anteil des Warschenecks, einem Höhenzug, der nur durch das 1684 m hohe Salzsteigjoch von dem Massiv des Toten Gebirges im Westen getrennt ist. Im SE steigen ausgedehnte bewaldete Hänge zum kleinen Pyhrgas an, einem nordwestlichen Vorgipfel der Haller Mauern.

Abb. 6.7.: Typisches Landschaftsbild im Becken von Windischgarsten



Während im Westen des relativ dicht besiedelten Beckens eine von zahlreichen Gräben durchzogene Landschaft mit unruhigem Relief liegt, steigt im Osten die Höhe fast durchwegs gegen die Ausläufer des Warschenecks hin an, so daß eine Abgrenzung des Beckens hier nur über die Geologie erfolgen kann. Die fruchtbare Senke zwischen den Kalkalpenzügen wird hauptsächlich durch die fossilarmen Sedimente der Gosauschichten gebildet, daneben sind auch Werfener Schichten und Gosaukalke anzutreffen.

Der stark verkarstete Kalkstock des Warschenecks besteht in den zentralen Bereichen aus Dachsteinkalk und weist starke Verkarstungserscheinungen mit dem entsprechenden unterirdischen Entwässerungssystem auf. Erst in einer Höhe von 800 bis 1000 m trifft das Wasser auf undurchlässigere Schichten, zumeist Werfener Schiefer. Daher sind in dieser Höhenlage zahlreiche Quellen anzutreffen, wie z.B. der bekannte Pießlingursprung. Inmitten der vegetationsarmen Region liegen einige Karstmulden, wo die Kalkschichten durch wasserundurchlässige Mergel und Schiefer abgedichtet sind, wie die kleine Stubwiesalm und die Wurzeralm (nicht mehr auf Blatt 5329).

6.4.1. Unüberwachte Klassifikation

Vorgangsweise:

Ausgehend von den vier SPOT-Originalkanälen wird mit Hilfe des Programms *ISODATA* in *ERDAS* eine unüberwachte Klassifikation durchgeführt, wobei die Anzahl der Klassen auf 20 beschränkt wird.

In mehreren Einzelschritten werden die Klassen inhaltlich interpretiert und auf zunächst 9 Klassen, anschließend auf 6 Hauptklassen reduziert.

Ergebnis:

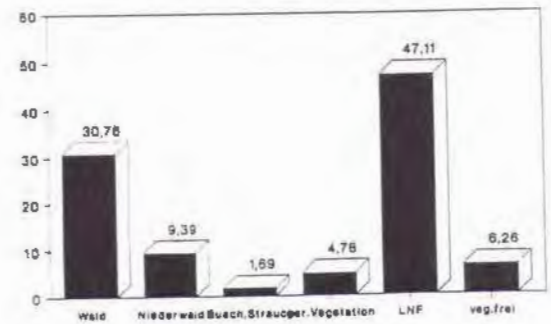
Das Ergebnis überrascht auf den ersten Blick durch seine Präzision bei visuellem Vergleich mit den Kartenunterlagen. Die beherrschenden übergeordneten Strukturen und Nutzungen wie Wege, Wald und "Nichtwald", die den optischen Eindruck bedingen, sind gut getroffen.

Eine generelle Schwierigkeit der unüberwachten Klassifikation besteht jedoch darin, daß Klassen oft schwierig zu interpretieren sind, bzw. daß sich einzelne Klassen inhaltlich nicht trennen lassen. So werden z.B. sechs verschiedene Waldklassen unterschieden, die offensichtlich durch unterschiedliche Expositions- und Beleuchtungsverhältnisse bedingt sind, jedoch nicht eindeutig in *Nadelwald* und *Laubwald* unterschieden werden können. Es sind ca. 5 bis 6 Arbeitsstunden notwendig, um vom ersten Ergebnis zu einer Klassifikation mit ansprechbaren Klassen zu gelangen. Abgesehen davon, daß der Wald nicht näher differenziert werden kann und daß allgemein nur Hauptklassen sinnvoll unterschieden werden können, stellt sich die Frage, ob eine unüberwachte Klassifikation überhaupt zeitsparend ist gegenüber einem Signaturentraining und einer überwachten Klassifikation.

Im vorliegenden Fall können in der ersten Variante aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten der unüberwachten Klassifikation nur fünf sinnvolle Hauptklassen abgeleitet werden:

Tab. 6.1. Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 5 Klassen

Klassen:	ha	in %
1) Wald	949,3	32,45
2) Busch, Strauch	274,7	9,39
3) Landw. Nutzfläche	1378,0	47,11
4) Feuchtgebiete	139,8	4,78
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	183,2	6,26

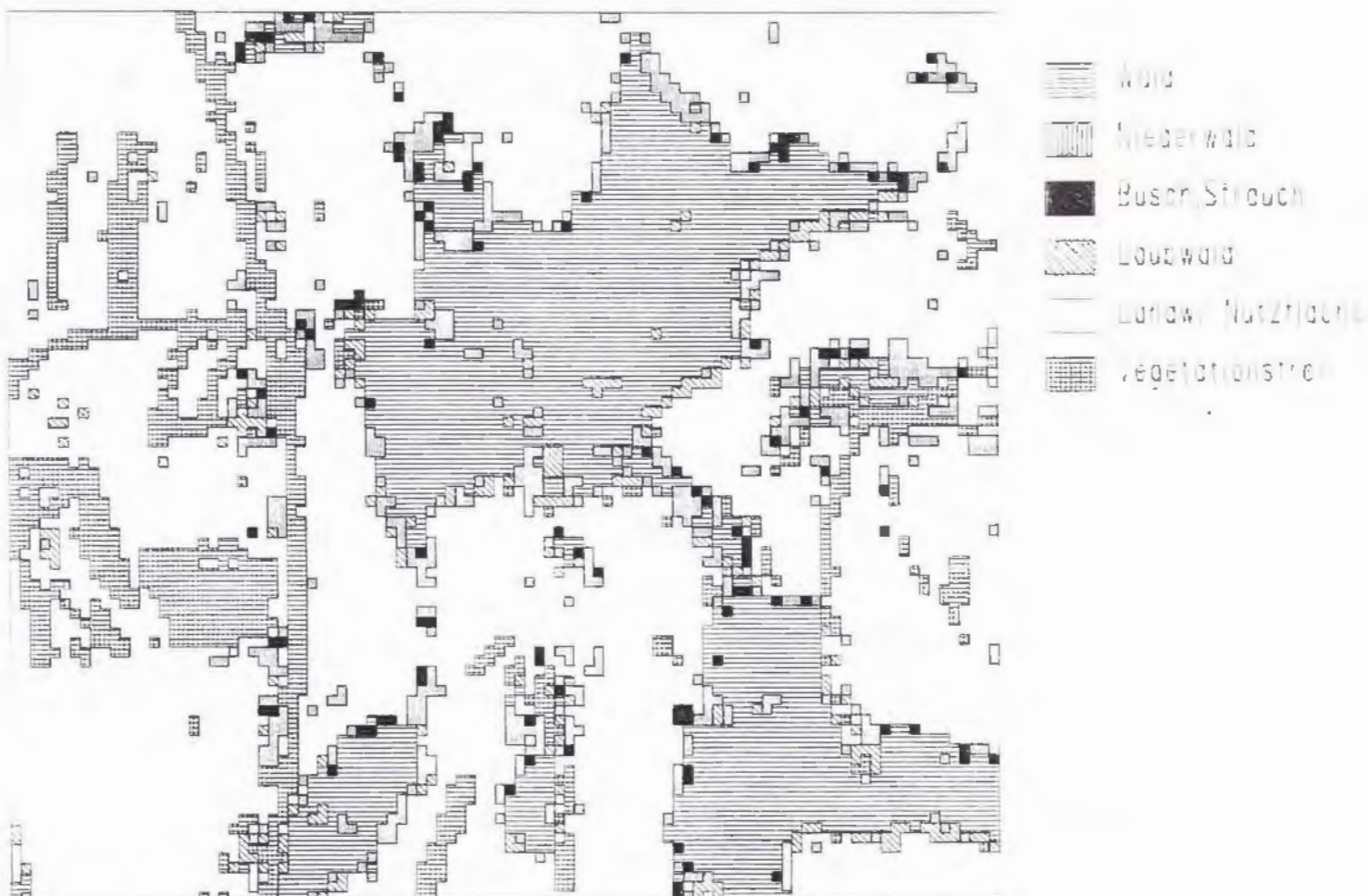


In einem zweiten Arbeitsgang wird versucht, die 20 Ausgangsklassen stärker zu differenzieren. Trotz mehrerer Anläufe können nicht mehr als 6 sinnvolle Klassen ausgewiesen werden, wobei der Gewinn gegenüber der ersten Version nicht sehr groß erscheint.

Abb. 6.8.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielgebietes 5329

Unüberwachte Klassifikation mit 10 x 10 m Auflösung

Grosse des Ausschnitts: 100 x 90 Pixel (1000 x 900 m)



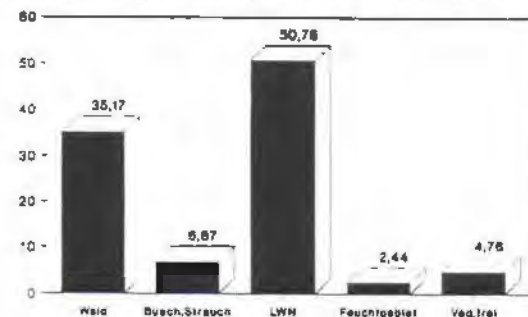
Tab. 6.2. Ergebnis der unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche mit 6 Klassen

Klassen:	in %
1) Wald	30,76
2) Niederwald	9,39
3) Busch, Strauch, Hecken	1,69
4) geringe Vegetation	4,78
5) Landw. Nutzfläche	47,11
6) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	6,26

In einem anschließenden Arbeitsschritt wird versucht, homogenere Ergebnisflächen zu erhalten, indem ein 3 x 3 low pass filter über die ursprüngliche Klassifikation gerechnet wird. Dies glättet zwar das Bild generell und wirkt annähernd in der gewünschten Weise, jedoch stellt sich ein merklicher Informationsverlust ein. Für die endgültige Klassifikation über das Gesamtgebiet erscheint eine solche Vorgangsweise aufgrund der vielen Einzelpixel zur Erzeugung homogenerer Flächen als wahrscheinlich notwendig.

Tab. 6.3.: Ergebnis der gefilterten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche

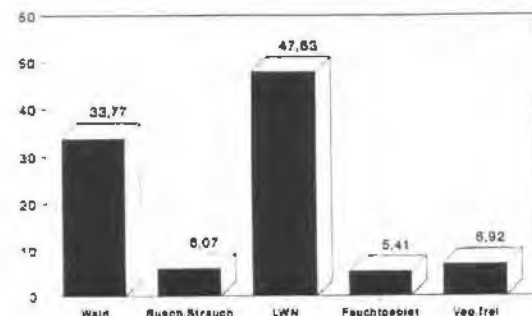
Klassen:	in %
1) Wald	35,17
2) Busch, Strauch	6,87
3) Landw. Nutzfläche	50,76
4) Feuchtgebiete	2,44
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	4,76



Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Klassen aus den gefilterten und ungefilterten Bildern zu kombinieren. Als Beispiel hierfür werden aus dem gefilterten Klassifikationsergebnis die Klassen 4 und 5 (*Feuchtgebiete*, *vegetationsfrei*) herausgeschnitten und der ungefilterten Klassifikation überlagert. Dadurch läßt sich der Effekt vermeiden, daß stark streuende oder nur punktuell oder linear auftretende Klassen überproportional stark herausgefiltert werden.

Tab. 6.4.: Ergebnis der überarbeiteten unüberwachten Klassifikation für die Beispielfläche 5329

Klassen	in %
1) Wald	33,77
2) Busch, Strauch	6,07
3) Landw. Nutzfläche	47,83
4) Feuchtgebiete	5,41
5) Vegetationsfreie Flächen, Siedlungen	6,92



Dieser Schritt ist in dem Bildverarbeitungssystem *Erdas* durch ein flexibles Modellierungsmodul (GISMO) relativ einfach durchzuführen. Durch die Verwendung einer eigenen Makrosprache kann dieses Vorgehen mit geringem Mehraufwand (Ändern der Datei- und Variablennamen) auch auf andere Bildausschnitte und Klassifizierungen angewandt werden. Diese Operationalisierungsmöglichkeit ist vor allem in Vergleich zu anderen Systemen, aber auch in Hinblick darauf, was in Zukunft in einem laufendem Betrieb an Aufgaben anfallen wird, als sehr positiv einzustufen (vergl. BLASCHKE und DOLLINGER 1991).

6.4.2. Überwachte Klassifikation (maximum likelihood)

Signaturentraining und Klassifikation

Ausgehend von den drei multispektralen SPOT-Originalkanälen und dem panchromatischen Kanal werden in dem Testgebiet des Blattes 5329 zunächst spektrale Signaturen festgelegt. Aus über 30 ursprünglichen Signaturen werden 10 Signaturen aggregiert und eine überwachte Klassifikation mit dem Verfahren der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) ohne spezielle Vorgaben durchgeführt.

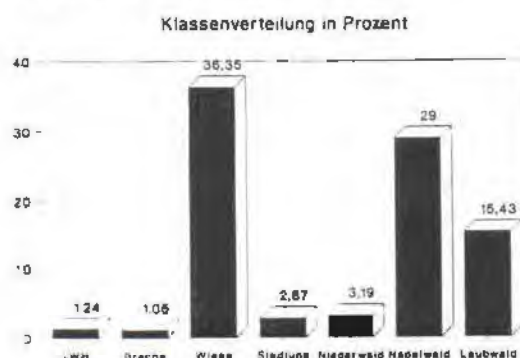
Beim Signaturentraining ergeben sich die allgemein bekannten Schwierigkeiten der Auswahl von homogenen Gebieten des gleichen Oberflächenmerkmals. Im speziellen Fall gestaltet sich die Definition des bebauten Gebietes schwierig, da es sich bei den Siedlungen größtenteils um Streusiedlungen und bei den Verkehrsflächen um lineare Elemente handelt und klare Bestimmungsflächen wie etwa große Parkplätze, Rollfelder usw. im gegebenen Gelände fehlen. Ansonsten bietet das abwechslungsreiche, stark gegliederte Gelände eine gute Grundlage zur Festlegung der spektralen Signaturen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation ist zufriedenstellend, im Vergleich zum Ergebnis der unüberwachten Klassifikation werden die Erwartungen jedoch nicht ganz erfüllt. Die Verteilung des Waldes erscheint plausibel, die Differenzierung der sonstigen Vegetation dagegen weniger. Weiters gestaltet sich der Versuch der Aufgliederung der vegetationslosen Flächen in *Bebauung*, *Verkehrsflächen* und *vegetationsfreier Boden* schwierig. Aus den ursprünglich 10 Signaturen können nur 7 sinnvolle Klassen abgeleitet werden.

Tab. 6.5.: Ergebnis der überwachten Klassifikation für die Beispielsfläche 5329

Klassen	in %
1) Landw. Nutzfläche	1,24
2) Brachflächen	1,06
3) Wiese	36,35
4) Siedlung, Verkehr	2,87
5) Niederwald	3,19
6) Nadelwald	29,0
7) Laubwald	15,43

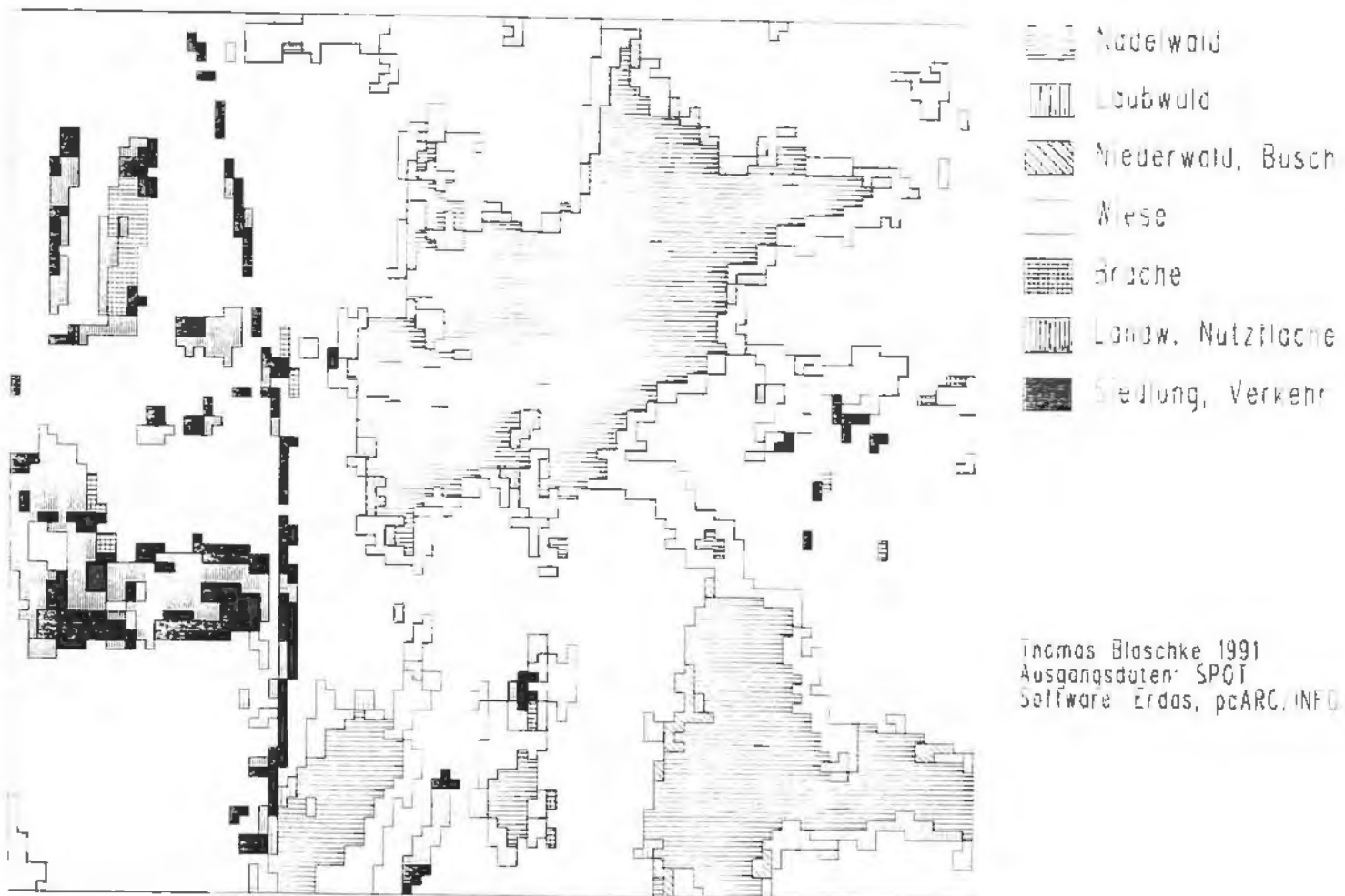


Das Ergebnis kann insgesamt nicht alle Anforderungen erfüllen, bzw. der Autor glaubt, daß bei einem noch genaueren Signaturentraining eine größere Klassenanzahl unterschieden werden kann. Vor allem die Einteilung des Waldes ist für einige Anwendungen zu ungenau. Um hier bessere Ergebnisse zu erzielen, wäre ein zusätzlicher Schritt des Signaturentrainings und eine erneute Klassifikation notwendig (vergl. Kapitel 5.3.4.). Für den Vergleich der verschiedenen Verfahren wird jedoch das zuvor beschriebene Ergebnis verwendet, um den Arbeitsaufwand in einem vertretbaren Maße zu halten und um die Vergleichbarkeit mit anderen Klassifikationsverfahren zu gewährleisten.

Abb. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle des Beispielgebietes 5329

Überwachte Klassifikation mit 10 x 10 m Auflösung

Größe des Ausschnitts: 1000 x 1000 Pixel (1000 x 1000 m)



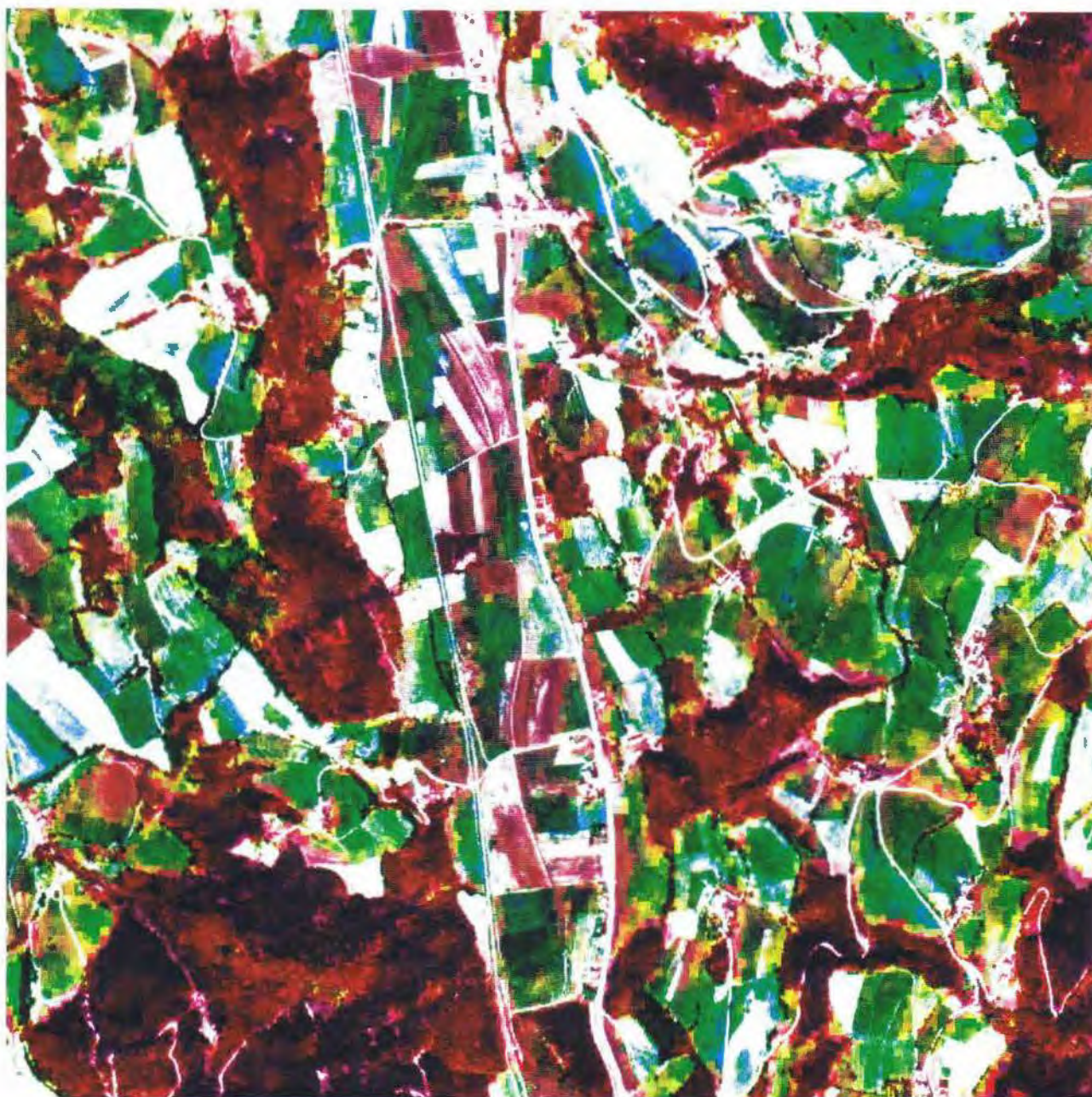
6.4.3. Unüberwachte Klassifikation SPOT-Daten und Orthophoto

Ausgangslage

Für den Bereich des Orthophotos 5329-103 (südöstliches Viertel der Karte 5329, d.h. 5 x 5 km) werden SPOT-XS und SPOT-panchromatisch herausgeschnitten und rechnerisch auf 2,5 x 2,5 m große Bildelemente (Pixel) vergrößert (*resampling*). Dabei kann die bestehende Situation zwangsläufig nicht hinsichtlich ihrer räumlichen Auflösung verbessert werden, vielmehr entstehen gegenüber der 10 x 10 m-Auflösung jeweils 16 identische Pixel.

Die Satellitendaten werden mit dem zuvor aufbereiteten digitalen Orthophoto kombiniert. Dieser Prozeß gestaltet sich etwas mühsam durch verschiedene notwendige Transformationen.

Abb. 6.10.: Aufbereitetes Ausgangsbild aus SPOT und Orthophoto



Das Ergebnis ist jedoch überaus beeindruckend. Den "künstlich" auf 2,5 m Bodenauflösung vergrößerten Pixeln kann in einem Kanal ein Bild mit echter 2,5 m Bodenauflösung überlagert werden. Dadurch werden Detailstrukturen sichtbar. Der *visuelle Vergleich* mit dem entsprechenden Kartenblatt der ÖK25V ergibt, daß teilweise genauere Verläufe der Topographie als die durch den Generalisierungsgrad der Karte (Ausgangsmaßstab 1:50000) Bedingten erkennbar sind (z.B. Verlauf der Waldgrenze). Das so geschaffene Bild hat einen Speicherbedarf von 20 MB, was für die Gesamtklassifikation zum Hindernis wird, da schätzungsweise 80 bis 100 Orthophotos zur Abdeckung des Nationalparkgebietes notwendig sind. Die Klassifikation wird zunächst auf das 1000 x 1000 Pixel (= 2,5 x 2,5 km) große nordwestliche Viertel des Orthophotos 5329-103 beschränkt. Das Ausgangsvolumen der Klassifikation beträgt dadurch 5 statt 20 Mb.

Durchführung

Mit dem bereits angewandten Verfahren der unüberwachten Klassifikation (*ISODATA*) wird das synthetische Bild klassifiziert. Die Anzahl der Klassen wird in einem ersten Versuch auf 20 begrenzt. Anschließend werden die Klassen inhaltlich interpretiert und schrittweise zusammengefaßt bis eine eindeutige Zuordnung inhaltlicher Merkmale erfolgen kann. Dabei treten die selben Probleme auf wie bei der in Kap. 6.4.1 beschriebenen unüberwachten Klassifikation der Originalkanäle. Vor allem die Hauptklasse *Wald* bereitet Probleme. Es können nur zwei Klassen eindeutig unterschieden werden, reiner *Nadelwald* sowie *Laub- und Mischwald*. Weiters lassen sich *bebaute Flächen* und *gemähte Wiesen* nicht eindeutig unterscheiden. In einem zweiten Versuch wird bei ansonsten unveränderten Parametern die Anzahl der Klassen auf 30 erhöht, was sich in einer deutlich längeren Rechenzeit niederschlägt. Das Ergebnis des zeitaufwendigen, schrittweisen Zusammenfassens ist jedoch das gleiche wie zuvor angedeutet.

Ergebnis

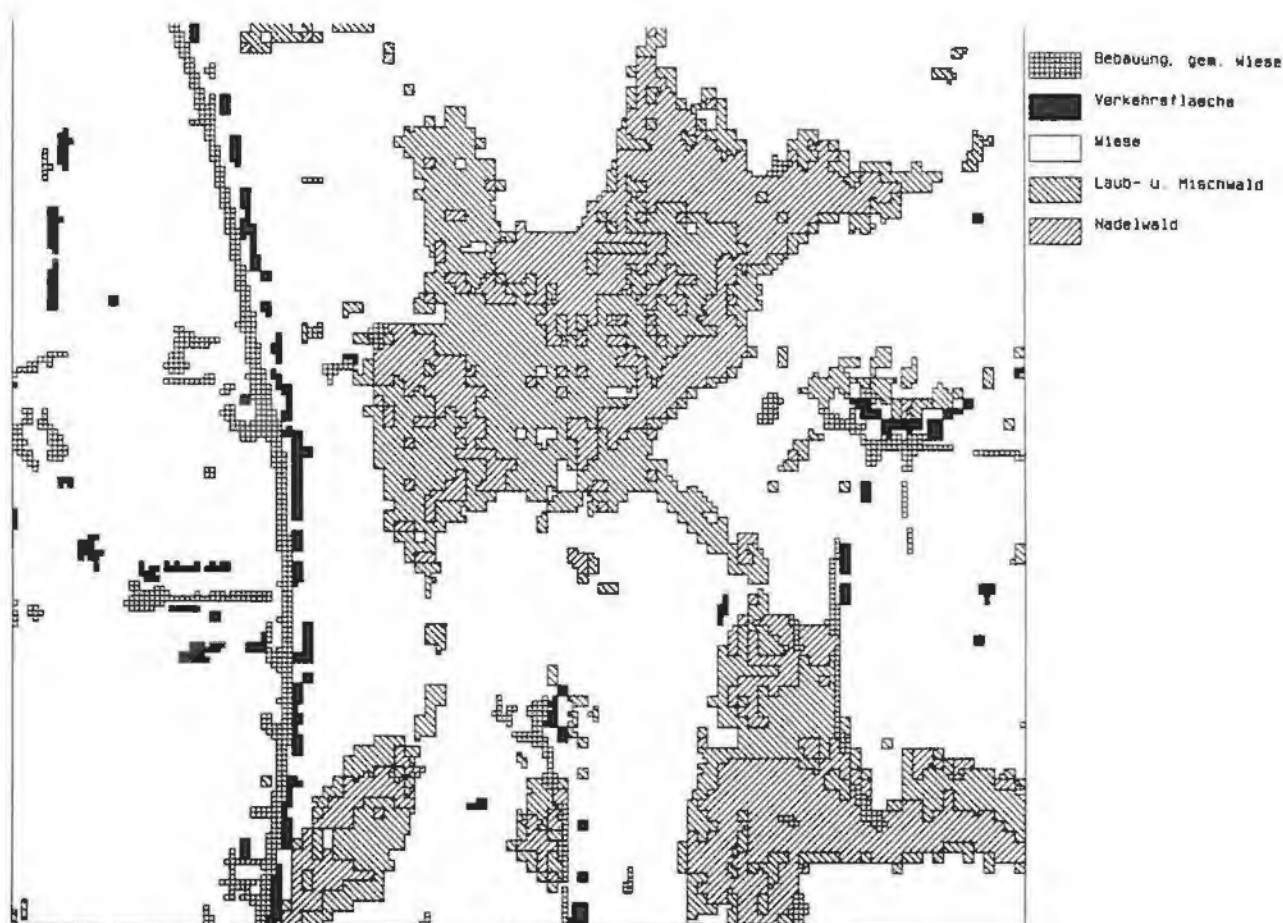
Durch die rechnerische Auflösung von 2,5 m (*Pseudoauflösung*) weist das Ergebnis zunächst relativ viele Einzelpixel auf (*salt and pepper-effect*). Die schrittweise Zusammenführung der Klassen gestaltet sich schwierig und arbeitsintensiv. Neben den bekannten Effekten, wie etwa des Einflusses der Exposition und damit des Einfallwinkels der Sonnenstrahlung, wirkt sich offensichtlich auch die Unterschiedlichkeit der Kanäle aus. Diese Erscheinung wird in der Literatur kaum beschrieben. Daher soll hier kurz darauf eingegangen werden.

Es fällt auf, daß die linearen Strukturen sich an einigen Stellen in zwei Klassen widerspiegeln. Ein schmaleres Band weist auf den Ursprung des Kanals mit echter 2,5 Meter Auflösung (also des digitalen Orthophotos) hin, ein parallel dazu verlaufendes, breiteres Band deutet auf die geringere reale Auflösung des SPOT-Bildes. Die Überprüfung dieses Phänomens ergibt, daß wirklich zwei inhaltlich sehr ähnliche Klassen (*Pseudoklassen*) auf diese Weise entstehen, die schwer voneinander zu trennen sind. Dadurch, daß auch digitalisierte Straßen in *Arc/Info*-Format herangezogen werden können, läßt sich eindeutig feststellen, daß dieser Versatz um 10 bis 20 m aus der ungenauen Rektifizierung der Satellitendaten entsteht. Während diese räumliche (Un)genauigkeit bei der alleinigen Verwendung der Satellitendaten durchaus tolerier-

bar erscheint (angesichts einer *realen* Auflösung von 20 m bei SPOT XS und 30 m bei Landsat TM) erscheint bei der vorliegenden Testergebnis mit einer 2,5 m-Auflösung diese Lageungenauigkeit der Satellitendaten als nicht tolerierbar. Eine Zusammenführung zweier inhaltlich identischer, jedoch räumlich versetzter Ergebnisklassen würde zunächst die dahinterstehende Thematik überbewerten, was jedoch mit einem nachfolgenden Filterverfahren bis zu einem gewissen Grad bereinigt werden kann. Dies erscheint jedoch nicht als grundlegendes Hindernis für eine Gesamtklassifikation.

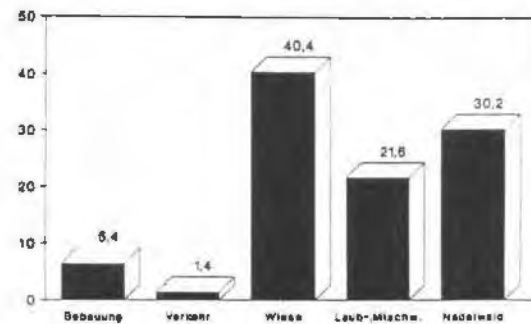
In der vorliegenden Klassifikation werden die Klassengrenzen der unüberwachten Klassifikation in einigen Fällen offenbar unglücklich gezogen. Speziell *frisch gemähte Wiesen* und die *versiegelte Fläche* wurden nicht klar getrennt. Als Lösungsansatz sind zwei Varianten denkbar: Entweder man gibt sich mit einer Klasse *bebaute Fläche und gemähte Wiesen* zufrieden oder man startet eine erneute unüberwachte Klassifikation mit anderen Vorgaben, wobei hier eine noch größere Klassenanzahl notwendig erscheint. Dies erhöht den Rechen- und Arbeitsaufwand deutlich. Diese weitere Vorgangsweise wäre bei der Klassifikation des Gesamtgebiets jedoch unbedingt notwendig, falls für eine unüberwachte Klassifikation entschieden wird. Die erste Variante kann auf jeden Fall als **unbefriedigend** bezeichnet werden, wobei diese Aussage ausschließlich für die verwendeten Daten und nicht allgemein gültig ist.

Abb. 6.11.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation aus SPOT XS und Orthophoto, BL 5329



Tab. 6.6.: Ergebnis der unüberwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto, Bl. 5329

Klassen	in %
1) Bebauung, gem. Wiesen	6,4
2) Verkehrsfläche	1,4
3) Wiese	40,4
4) Laub- und Mischwald	21,6
5) Nadelwald	30,2



6.4.4. Überwachte Klassifikation SPOT-Daten und Orthophoto

Ausgangslage

Mit der gleichen Datengrundlage wie bei der unüberwachten Klassifikation mit Orthophoto (Kap 6.4.3.) und über das gleiche Gebiet (1000 x 1000 Pixel = 2,5 x 2,5 km) wurde nach einem entsprechenden Signaturentraining eine überwachte Klassifikation mit der Methode der größten Wahrscheinlichkeit (*maximum likelihood*) durchgeführt.

Ergebnis

Es sind mehrere Versuche notwendig um zu einem einigermaßen plausiblen Klassifikationsergebnis zu gelangen. Durch die Unterschiedlichkeit der Kanäle entstehen teilweise Pseudogrenzen oder es werden Klassen falsch zugeordnet. Einige Trainingsgebiete liegen in den drei SPOT-XS Kanälen gut und variieren im Orthophotokanal oder umgekehrt, daher muß 6 bis 7 mal nach der Klassifikation wieder in das Signaturentraining zurückgekehrt werden, um neue Trainingsgebiete auszuweisen. Verschiedene Versuche, bei der *maximum likelihood*-Klassifikation unter Verwendung des *Bayesian Classifiers* (vergl. Kap. 5.3.3) anders zu gewichten, bringen kaum eine Änderung.

Das Ergebnis ist insgesamt **nicht befriedigend**. Die Klassen weisen zwar eine hohe Genauigkeit auf, wie eine stichprobenartige Kontrolle ergibt, für die Gesamtklassifikation ist die Differenzierung der Klassen jedoch zu gering. Auch wenn auf dem Bild Wasser, alpine Matten, vegetationsfreie Felsformationen und ähnliches nicht vorkommen, wie bei der Gesamtklassifikation zu erwarten, erscheint die Anzahl von sechs Klassen generell als zu wenig. Vor allem der Wald sollte genauer differenziert werden können.

Tab. 6.7.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für die Beispielfläche Bl. 5329

Klassen	in %
1) lichter Wald, Busch, Strauch	2,4
2) abg. Felder	0,11
3) Nadelwald	24,1
4) Siedlung, Verkehr	1,9
5) Wiese	69,8
6) Laub- und Mischwald	1,8

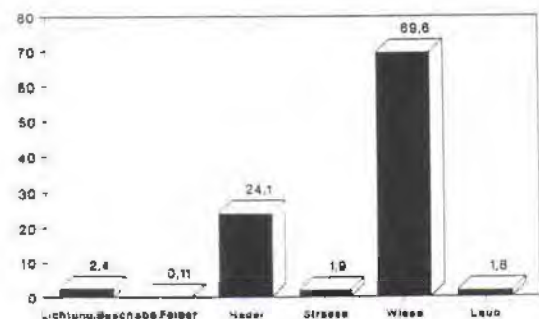
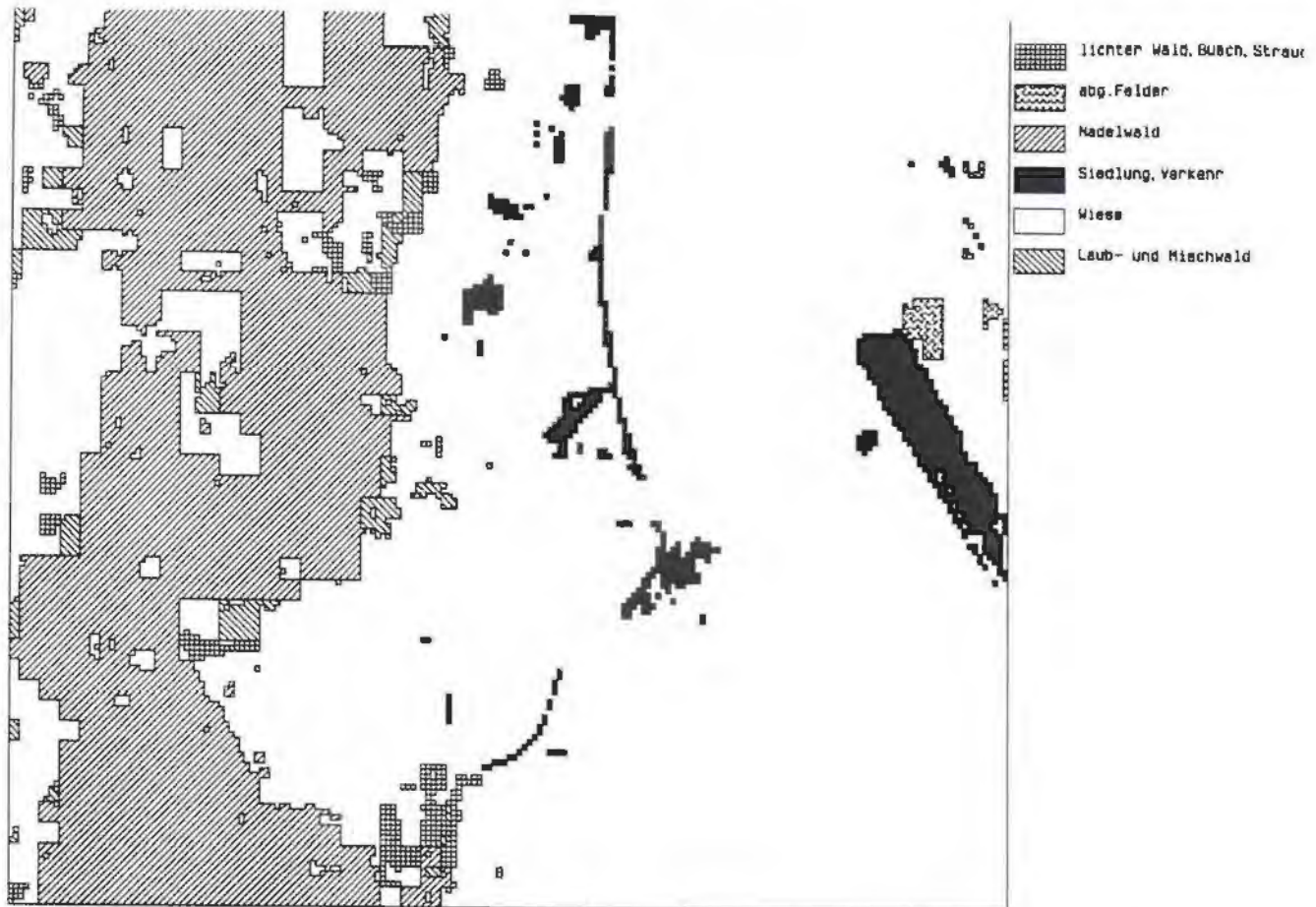


Abb. 6.12.: Ergebnis der überwachten Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto für das Beispielsgebiet 5329



6.4.5. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Orthophoto und SPOT

Ausgangslage und Durchführung

Das auf 2,5 Meter Auflösung gebrachte digitale Orthophoto wird mit den SPOT XS-Kanälen in einer verbesserten IHS-Transformation gemäß EHLERS et al. (1990) zusammengeführt (vergl. Abb. xx). Dabei wird der Kanal mit der hohen räumlichen Auflösung (in dem Fall der Kanal des Orthophotos) separat gehandhabt und ersetzt die Ausprägungen von *intensity*. Die Ausprägungen von *hue* und *saturation* werden übernommen und alle drei Kanäle in die RGB-Darstellung zurückgerechnet. Die Klassifikation wird dabei auf das gleiche Gebiet wie in Kap. 6.4.3. und 6.4.4. (1000 x 1000 Pixel = 2,5 x 2,5km) beschränkt.

Es tritt ein offensichtliches Problem auf: Einige Flächen werden weiß, d.h. sie erhalten den Wert 255 in allen drei Ausprägungen von *intensity*, *hue* und *saturation*. Es handelt sich dabei um *frischgemähte Wiesen* und um *umgeackerte Felder*. Dadurch lassen sich in diesem speziellen Fall *Straßen*, *gemähte Wiesen* und *Brachflächen* nicht sinnvoll unterscheiden. Um dieses Phänomen zu beseitigen, werden in einem zweiten Versuch die einzelnen Kanäle vor den Transformationen bearbeitet (*histogramm stretch*, vergl. Kap.

5.2.2). Das zuvor beschriebene Problem kann dadurch etwas reduziert werden, wenn auch nach wie vor die frisch gemähten Wiesen im spektralen Sinne sehr eng an die versiegelten Flächen grenzen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation weist dennoch eine **gute Qualität** auf, wenn man das zuvor beschriebene Problem *Brachflächen - Verkehrsflächen* in Kauf nimmt. Die Unterscheidung innerhalb der Klasse *Wald* gestaltet sich jedoch relativ schwierig. Die stichprobenhafte Überprüfung im Gelände ergibt, daß vor allem der *Mischwald* Probleme bereitet. Es können daher nur reine *Nadelwald*- bzw. *Laubwald*gebiete als solche ausgewiesen werden, während die Klasse *Mischwald* überrepräsentiert erscheint.

Tab. 6.8.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation

Klassen	in %
1) Nadelwald	7,5
2) Mischwald	13,9
3) vegetationsfrei	3,3
4) Laubwald	12,5
5) Landw. Nutzfläche	62,8

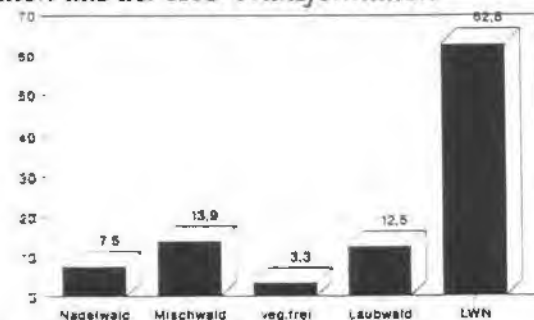
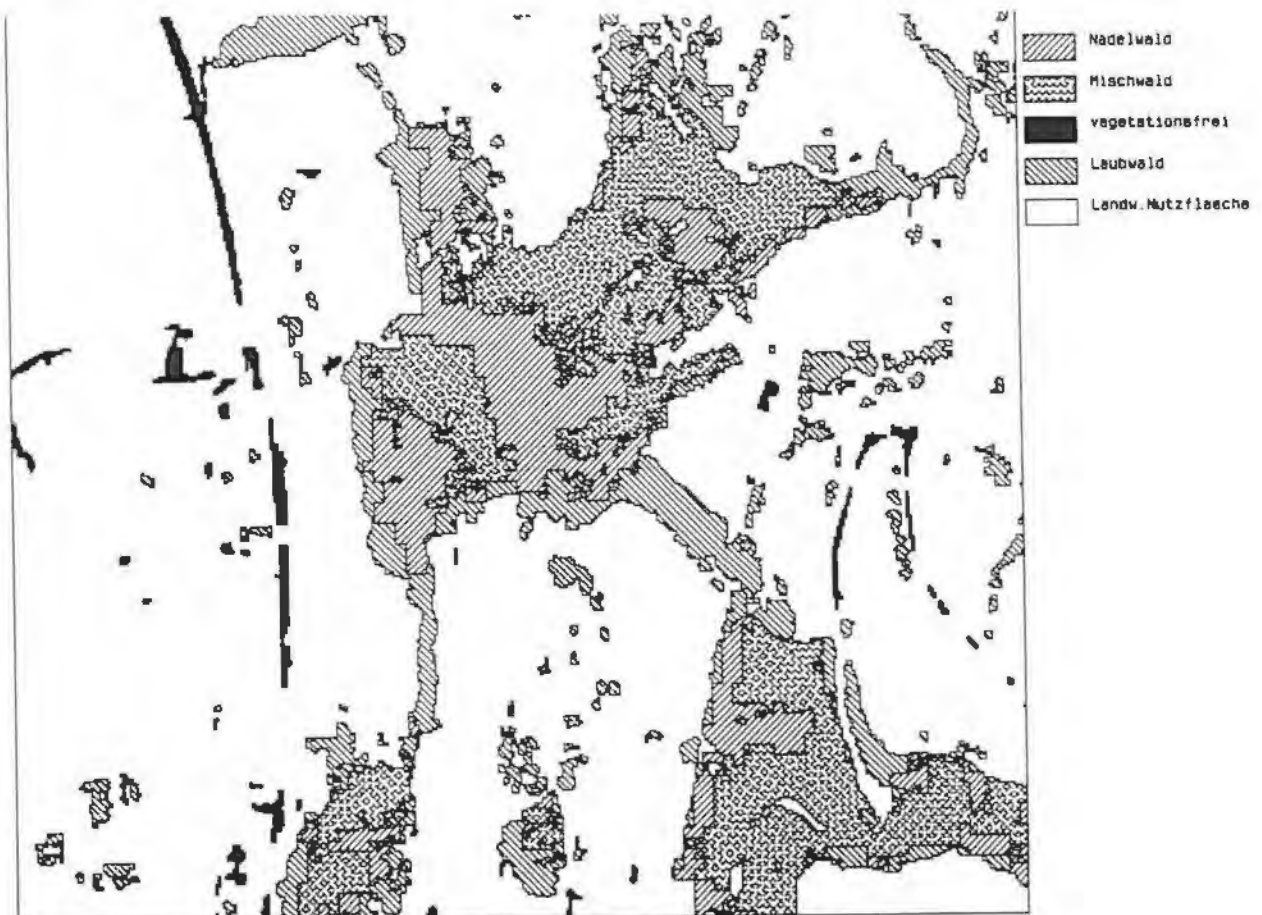


Abb. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation von SPOT-Daten und Orthophoto, BL 5329



Trotz der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten ergibt sich für dieses Beispielsgebiet eine brauchbare Klassifikation. Lediglich die Klasse *vegetationsfrei* fällt aus den zuvor beschriebenen Gründen etwas aus dem Rahmen. Da in diesem Gelände einige markante Landnutzungsklassen fehlen (Gewässer, alpine Matten, Felsregion) werden nur 5 Klassen unterschieden. Die landwirtschaftliche Nutzfläche ließe sich noch detaillierter darstellen, doch wurde hinsichtlich des Gesamtgebietes darauf verzichtet.

6.5. Vergleich der Klassifikationsverfahren am Beispiel des Blattes 5330 (Sengsengebirge)

Das Beispielblatt 5330 des Triangulierungsblattschnittes 1:20000 bedeckt den Ostteil des Sengsengebirges sowie einen Teil dessen nördlicher Vorzone. Während der Westteil des Sengsengebirges einen schmalen Verlauf nimmt, weitet sich der Bereich des Hochkarsts etwa ab dem Rohrauer Größtenberg (1810 m), der im W des Blattes liegt, deutlich aus und erreicht beispielsweise zwischen der Feichtauhütte und der Koppentalm eine N-S-Erstreckung von ca. 3 km. Dabei handelt es sich um eine stark verkarstete Hochfläche, die im Hohen Nock mit 1963 m ihren Kulminationspunkt erreicht. Im E wird das Sengsengebirge durch den meist kerbtalartig verlaufenden Einschnitt der Krummen Steyr vom Reichraminger Hintergebirge getrennt. Die beiden zentralen Landschaftselemente dieses Gebietes sind die verkarsteten Hochflächen einerseits und die angrenzenden, bewaldeten Hänge andererseits. Dadurch handelt es sich um ein für die Kernzone des geplanten Nationalparks typisches Gebiet.

Für das Blatt 5330 existieren nur für einen kleinen Teil SPOT XS-Daten. Aus diesem Grund sowie wegen des Reliefs, das im Gegensatz zum ersten Beispielsgebiet (Blatt 5329, Windischgarsten) als repräsentativ für die Kernräume des geplanten Nationalparks angesehen werden kann, sollen hier die Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten des Landsat TM getestet werden. Es wird darauf verzichtet, digitale Orthophotos miteinzubeziehen, da die Methodik in der ersten Studie (Blatt 5329) hinreichend verdeutlicht wird.

Ziel ist daher die bestmögliche Zusammenführung der zur Verfügung stehenden Landsat TM und SPOT P-Daten. Ein zentrales Thema spielt dabei die Frage, ob eine Integration der Daten in einem Satellitenbild in einfacher Überlagerung oder in der Verknüpfung über die in Kapitel 5.2.3. dargestellte und bereits mehrfach angewandte Methode (vergl. Kap. 5.5.3., Kap. 6.3., 6.4.5.) der verbesserten IHS-Transformation von CHAVEZ, SIDES and ANDERSON (1991) und EHLERS et al. (1990) erfolgen kann, welche Vorteile gegenüber einer normalen IHS-Transformation verspricht. In dem Beispielsgebiet Windischgarsten kann diese Frage nicht eindeutig beantwortet werden. Wegen der zeitraubenden Klassifikationsschritte wird ein 5 x 5 km (= 500 x 500 Pixel oder 25 km²) großer Ausschnitt als Testgebiet genommen, der genau dem Bereich des Orthophotos 5330-100 entspricht. Der Abschnitt umfaßt großteils die stark bewaldete nördliche Vorzone des Sengsengebirges mit dem Ramsauer Größtenberg (1458 m) als beherrschendes Element im NW und reicht über das Schöneck (1237 m) und den tiefen Einschnitt des Niklbachs (600 bis 800 m) zum Hauptkamm des Sengsengebirges mit dem Rohrauer Größtenberg (1810 m) und der Hohen Nock (1963 m), deren Gipfel gerade nicht mehr

in dem Ausschnitt liegen. Das Testgebiet weist damit große Anteile an bewaldeten Lagen von über 1000 m Seehöhe, geringere Areale verkarsteter Hochfläche im S des Bildes von 1 bis 2 km² sowie einen geringen Anteil an landwirtschaftlich genutzten Tallagen (Hopfing, wenige hundert ha) auf. Almflächen sind, dem Charakter des Sengsengebirges entsprechend, nur in geschützten Mulden mit einer Bodenschicht über dem verkarstungsfähigen Gestein vorhanden (Feichtaualm, 1320 bis 1400 m).

6.5.1. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Originalkanälen

Ausgangslage und Durchführung

Als erster Analyseschritt wird im folgenden eine überwachte Klassifikation mittels des *maximum likelihood-Verfahrens* auf dem zuvor beschriebenen Testgebiet für die Original-Landsat TM-Kanäle 2, 3 und 4 sowie SPOT P durchgeführt.

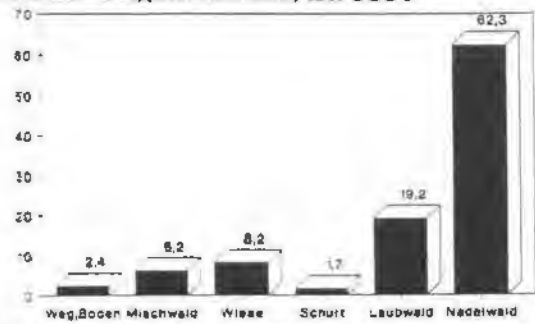
Das Signaturentraining gestaltet sich durch die Unterschiedlichkeit der Kanäle teilweise schwierig. Es tritt dabei zutage, daß zwischen den stark differierenden Aufnahmezeitpunkten (TM 8/84, SPOT P 1990) offensichtlich Änderungen der Landnutzung erfolgten. Dies betrifft, da Siedlungen weitgehend fehlen, fast ausschließlich den Wirtschaftswald. An den Stellen, an denen in diesem Zeitraum Schlägerungen erfolgten, ergeben sich Fehlklassifikationen. Es ist jedoch abzuwägen, ob ein solcher Effekt für das Gesamtgebiet quantitativ vernachlässigt werden kann. Ein weiteres generelles Problem, das aufgrund des Geländes im Beispielsgebiet 5329 (Windischgarsten) nicht so stark auftritt, ist der starke Licht-Schatteneffekt. Die in diesem Bereich etwa WNW-ESE verlaufende Hauptantiklinale des Sengsengebirges mit den entsprechend verlaufenden Einschnitten des Niklbaches, der Feichtaumulde und des Klausgrabens bewirkt teilweise eine scharfe Trennung in Sonn- und Schattenhänge. In den beschatteten Arealen ist die Unterscheidung beispielsweise zwischen Laub- und Nadelwald erschwert. Es ist daher für alle spektralen Signaturen unumgänglich, Trainingsgebiete in Licht- und Schattenlagen für alle Expositionen auszuwählen. Dies erhöht den Arbeitsaufwand wesentlich. Für eine einzige spektrale Signatur, z.B. *Nadelwald*, kann es erforderlich sein, 12 bis 15 einzelne, eng begrenzte Signaturen zu definieren und diese in mehreren Schritten der Signaturenmanipulation auch mit Hilfe der graphischen Visualisierung in einem zweidimensionalen Werteraum, zusammenzufassen.

Ergebnis

Das Ergebnis der Klassifikation kann angesichts der zuvor beschriebenen Schwierigkeiten insgesamt als **befriedigend** angesehen werden. Die Klasse *Mischwald* hat allerdings nicht nur statistisch eine geringe Genauigkeit (33%), sondern läßt sich in den meisten Teilbereichen des Bildes nicht sinnvoll nachvollziehen. Die Klasse *Weg, freier Boden* und die Klasse *Schutt, Felsen* weisen aufgrund ihrer ähnlichen Inhalte Überschneidungen auf. Dennoch wird versucht, eine derartige Trennung aufrechtzuerhalten, um zwischen einem vegetationslosen Boden und einer fehlenden Bodenschicht differenzieren zu können.

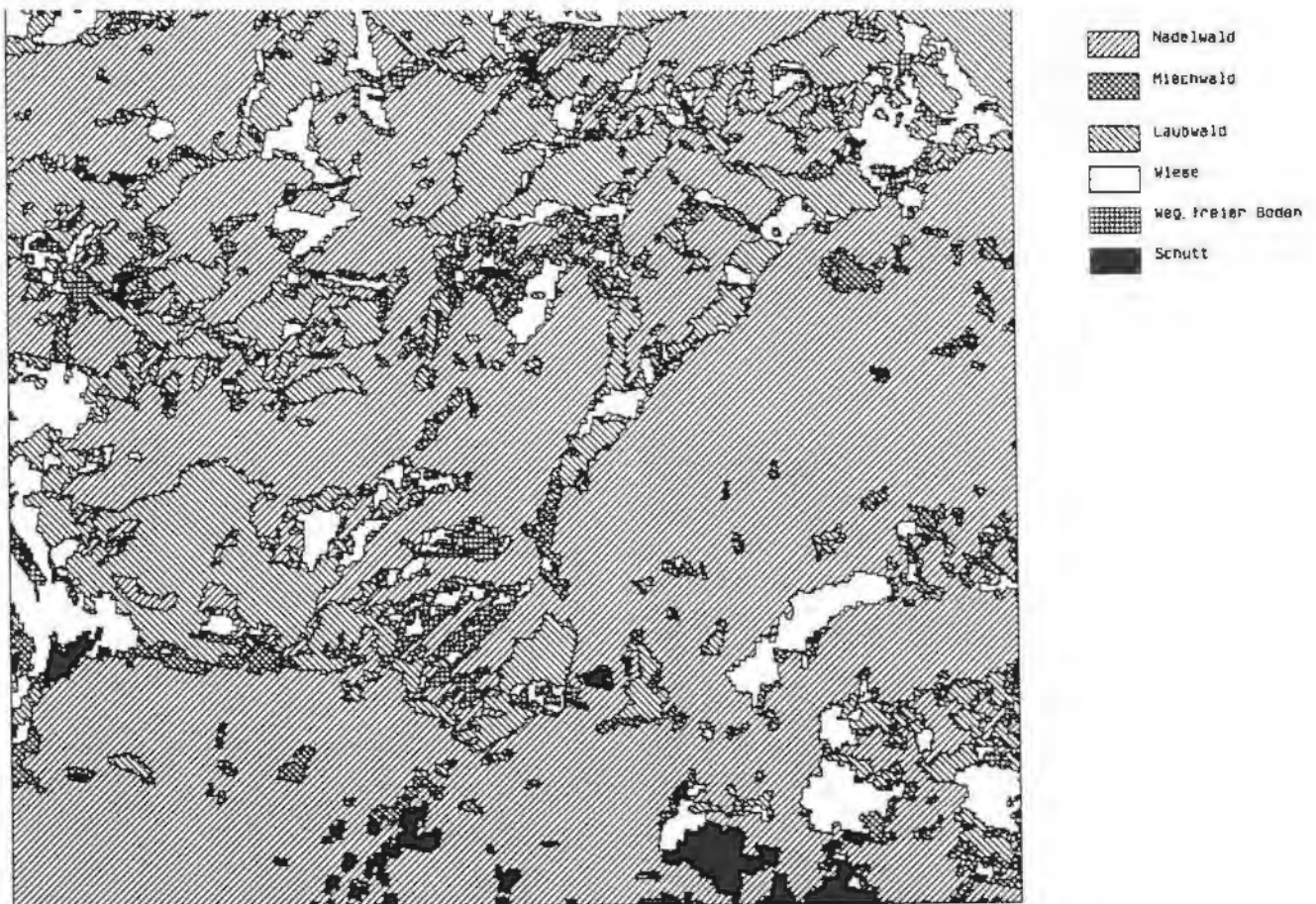
Tab. 6.9.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle, Bl. 5330

Klassen	in %
1) Weg, freier Boden	2,4
2) Mischwald	6,2
3) Wiese	8,2
4) Schutt	1,7
5) Laubwald	19,2
6) Nadelwald	62,3



Die daraus resultierenden Prozentwerte sind jedoch mit gewisser Vorsicht zu genießen. Zwar gilt die gewählte Stichpunktanzahl von 100 im allgemeinen als genügend groß, doch scheint für einzelne Klassen (z.B. *Weg, freier Boden* und *Mischwald* mit je 9 Pixeln) die Größe kritisch. Aufgrund des hohen Aufwandes, exakt definierte Kontrollpixel zu ermitteln muß diese Unsicherheit für das Testergebnis in Kauf genommen werden.

Abb. 6.14.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Originalkanäle, Bl. 5330



Das Ergebnis der Genauigkeitsabschätzung mit 100 Kontrollpunkten zeigt eine Gesamtwahrscheinlichkeit von 72%. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Klassen deutlich.

Tab. 6.10.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Originalkanälen

	freier Boden	Mischwald	Wiese	Schutt	Laubwald	Nadelwald	Gesamt
freier Boden	2			3			5
Mischwald	1	3	2		2		8
Wiese	3		17		2		22
Schutt	3			5			8
Laubwald		3	1		19		23
Nadelwald		3	1	1	3	26	34
Gesamt	9	9	21	9	26	26	100

6.5.2. Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P

Ausgangslage und Durchführung

Die Landsat TM-Kanäle 2,3 und 4 werden über die mehrfach beschriebene verbesserte IHS-Transformation mit dem panchromatischen SPOT-Kanal zusammengeführt. Wie in der vorhergehenden Klassifikation wird ein 5 x 5 km (= 500 x 500 Pixel oder 25 km²) großer Ausschnitt als Testgebiet genommen, der genau dem Bereich des Orthophotos 5330-100 entspricht und die stark bewaldete nördliche Vorzone des Sengsengebirges umfaßt. In den drei künstlichen RGB-Kanäle wird ein Signaturentraining und eine *maximum likelihood*-Klassifikation durchgeführt.

Es treten die gleichen Schwierigkeiten auf wie im Falle der Originalkanäle (vor allem der starke Licht-Schatten-Effekt). Das Signaturentraining selbst benötigt etwa den gleichen Zeitaufwand wie bei den Originalkanälen, obwohl eine andere Vorgangsweise gewählt wird: Für die Klassen *Nadelwald*, *Laubwald* und *Mischwald* werden für Licht- und Schattenbereiche getrennte Signaturen entwickelt, die erst nach der Klassifikation zusammengefaßt werden. Weder der Arbeits- und Zeitaufwand noch die Qualität des Ergebnisses beider Vorgangsweisen unterscheiden sich dabei signifikant.

Ergebnis

Das Ergebnis muß insgesamt als **wenig befriedigend** bezeichnet werden. Zwar sind die Klassen *Nadelwald* und *Laubwald* gut differenziert, doch vor allem zwischen den Klassen *Laubwald* und *Wiese*, *Schlägerung* kommt es trotz mehrmaligen neuerlichen Versuchen des Signaturentrainings nach wie vor zu deutlichen Fehlklassifikationen. Das Gesamtergebnis der Genauigkeitsabschätzung von 71% wird nur durch die extrem hohe Trefferquote der Klasse *Nadelwald* von 100% erreicht. Dies bedeutet, daß alle Kontrollpixel der Klasse *Nadelwald* richtig zugeordnet wurden. Darüberhinaus kommt es jedoch zu einer Überklassifikation. Berechnet man beispielsweise die weniger gebräuchliche *User's accuracy* (oder *reliability* gemäß STORY and CONGALTON 1986, S.398), ver-

gleicht man also, zu wieviel Prozent die klassifzierten Daten die Wirklichkeit repräsentieren, so gelangt man für die Klasse *Nadelwald* zu einer Genauigkeit von 64%. Das schlechteste Einzelergebnis weist wie in der Klassifikation aus den Originalkanälen die Klasse *Mischwald* auf.

Tab. 6.11.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation, BL 5330

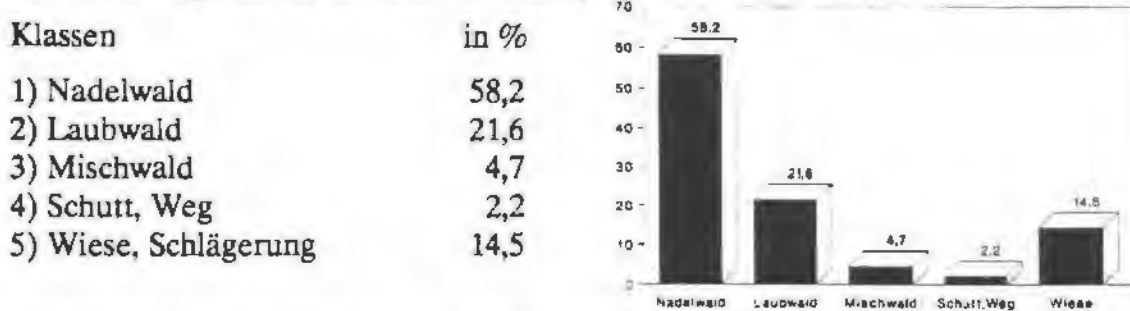
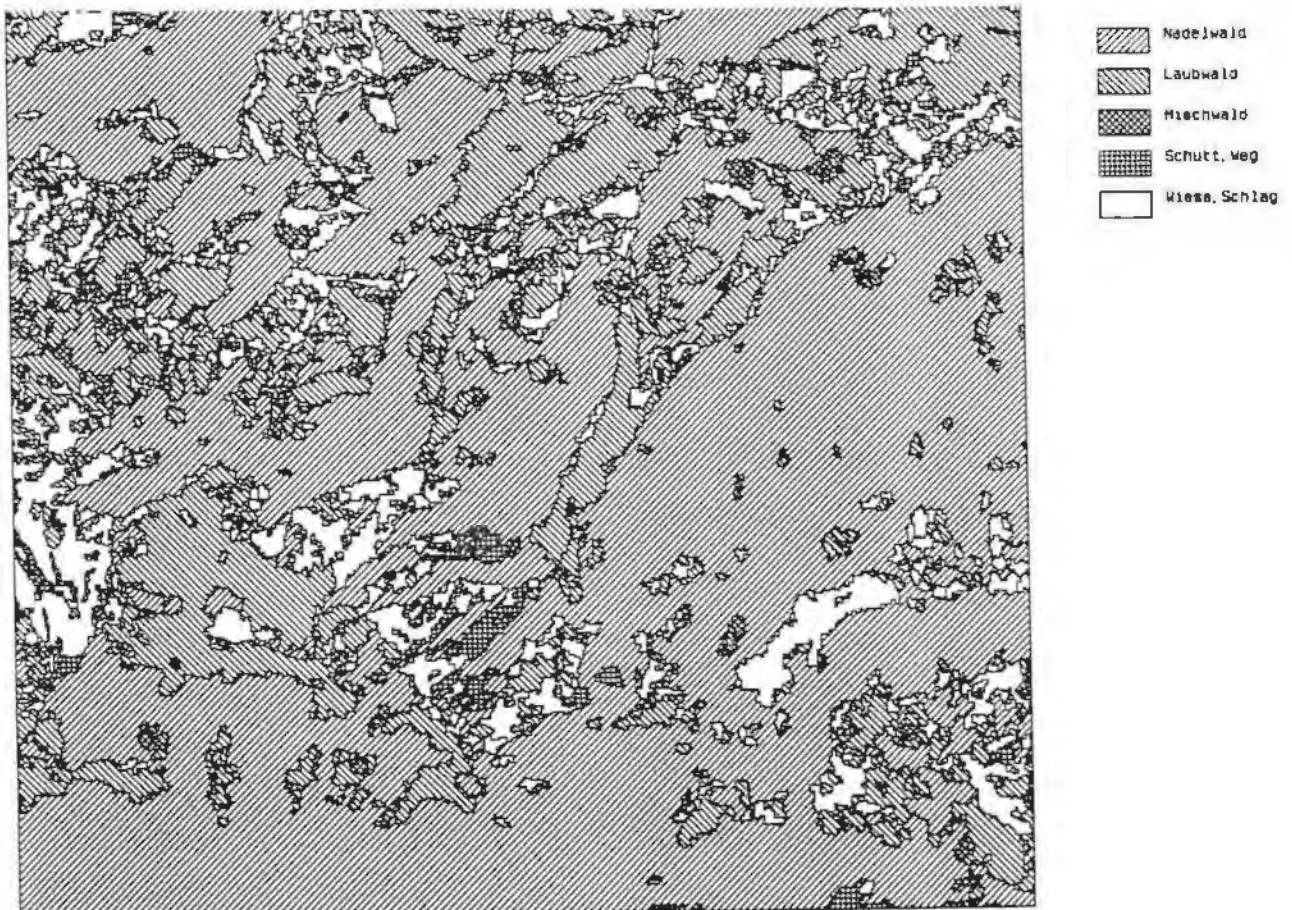


Abb. 6.15.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der IHS-Transformation von Landsat TM und SPOT P, BL 5330



Tab. 6.12.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus der IHS-Transformation, Bl. 5330

	Wiese	Nadelwald	Laubwald	Schutt, Felsen	freier Boden	Gesamt
Wiese	8			2	1	11
Nadelwald	3	25	5	1	2	36
Laubwald	14		22		1	32
Schutt, Felsen	1			7	2	10
freier Boden		1	1		9	11
Gesamt	21	26	28	10	15	100

6.5.3. Überwachte Klassifikation aus SPOT P und Landsat TM-Ratiokanälen

Ausgangslage und Durchführung

Aufgrund der Probleme mit den Licht-Schatten-Effekten in den Originalkanälen und in den über die IHS-Transformation modifizierten Kanälen wird eine weitere Klassifikation mit Ratiokanälen durchgeführt. Dazu wird ein Vierkanalbild erzeugt mit den Kanälen:

- 1: Ratio TM2/TM3
- 2: Ratio TM3/TM4
- 3: Ratio TM2/TM4
- 4: SPOT P

Beim Signaturentraining muß gegenüber den Originalkanälen hinsichtlich der Standardabweichungen der Trainingspixel großzügiger vorgegangen werden, da in den Ratiokanälen große Wertesprünge vorkommen und das Bild äußerst unruhig wirkt bzw. verschiedene Konturen nur durch das Visualisieren des panchromatischen Kanals zu erkennen sind. Dies erfordert daher ein gewisses Umdenken gegenüber gewohnten Vorgangsweisen. Dadurch, daß nur drei Landsat TM-Kanäle zur Verfügung standen, ergibt sich eine gewisse Redundanz. Vor allem die Kanäle TM2/TM3 und TM2/TM4 weisen in ihrer Verteilung Ähnlichkeiten auf. Dennoch kann in den Schattenbereichen inhaltlich wesentlich klarer differenziert werden. Die spektralen Signaturen lassen sich in der graphischen Darstellung als zweidimensionaler Merkmalsraum gut identifizieren und bearbeiten (z.B. zusammenfassen).

Ergebnis

Die abgeleiteten Signaturen sind der Klassifikation der Originalkanäle angepaßt, außer der Klasse *Mischwald*, auf die verzichtet wurde, da sie sich als nicht sinnvoll herausgestellt hat bzw. da deren Definition durch die großen Wertesprünge kaum möglich ist.

Dadurch ist die Vergleichbarkeit der verschiedenen Klassifikationsverfahren etwas beeinträchtigt. Das Gesamtergebnis der Genauigkeitsabschätzung von 71% unterscheidet sich nicht von den anderen beiden Vorgangsweisen auf dem selben Testgebiet. Während die Klasse *Wiese, alp. Rasen* nur eine Genauigkeit von 38% aufweist, scheint der Laubwald (*accuracy* 78%, *users accuracy* 79%) gut getroffen. Durch diese Vorgangsweise ist es offensichtlich besser möglich, zwischen einer vegetationslosen Bodenschicht (*Weg, freier Boden*) und einer fehlenden Bodenschicht (*Schutt, Felsen*) unterschieden werden, wie in Kap. 6.5.1. gefordert.

Tab. 6.13.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle, BL 5330

Klassen	in %
1) Wiese, alp. Rasen	7,6
2) Nadelwald	67,5
3) Laubwald	19,0
4) Schutt	1,2
5) Weg, freier Boden	4,8

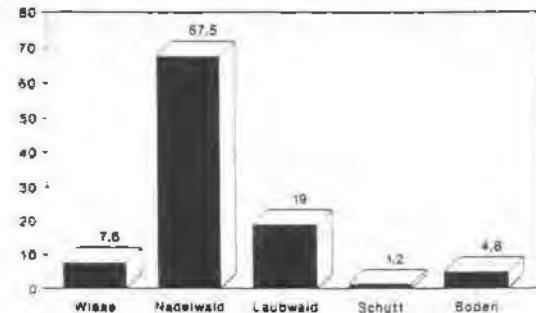
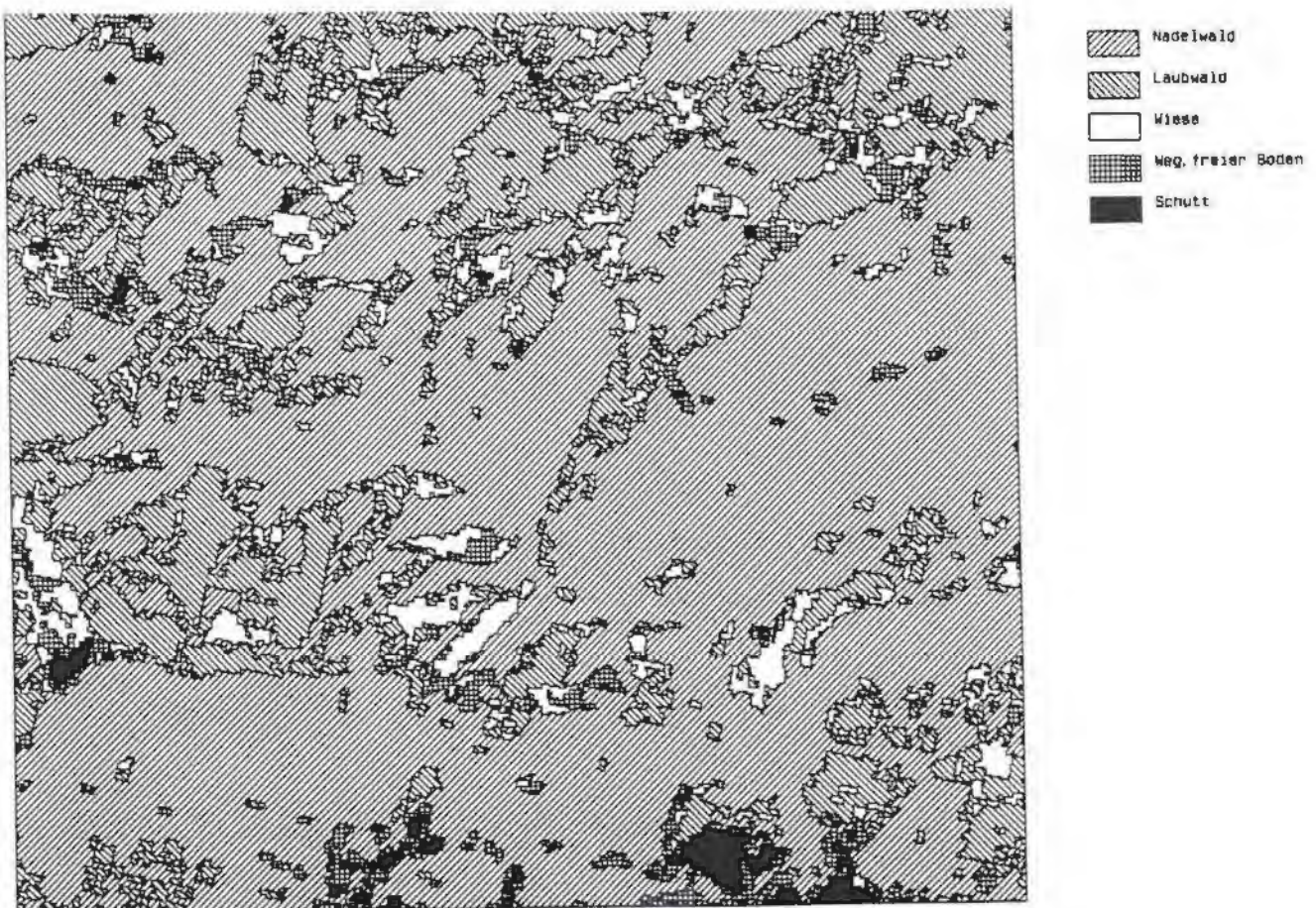


Abb. 6.16.: Ergebnis der überwachten Klassifikation der Ratiokanäle, BL 5330



Tab. 6.14.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation aus den Ratiokanälen, BL 5330

	Nadelwald	Laubwald	Mischwald	Wiese	Schutt, Weg	Gesamt
Nadelwald	28	2	3	3	8	44
Laubwald		19	3	4		26
Mischwald		1	2			3
Wiese		3		14	2	19
Schutt, Weg					8	8
Gesamt	28	25	8	21	18	100

6.6. Nachbearbeitungsschritte

Filter

Eine gängige Methode der Nachbereitung der Klassifikationsergebnisse ist das Filtern mittels Matrizen (vergl. Kap. 5.2.2.). Angewandt wird das Verfahren in Kap. 6.4.1 zur Glättung des Bildes durch einen 3×3 low pass filter. Wie die Ergebnisse dieser Vorgangsweise zeigen, sind unbedingt neben den Vorteilen auch die Nachteile zu beachten. Zwar werden Einzelpixel großteils eliminiert, doch verschwinden auch lineare Strukturen bzw. werden teilweise aus langgestreckten, teils nur ein Pixel breiten Arealen einzelne Klumpen.

Bei den GIS-Dateien erscheint im gegebenen Fall der nominalen Klassen einzig die Option, dem jeweiligen Mittelwert der Filtermatrix den Wert zuzuweisen, den die meisten Filterelemente aufweisen (*majority*), als sinnvoll und zulässig. Dabei kann eine Mindestanzahl von Pixeln angegeben werden, ab der eine Wertänderung erfolgt. Diese stellt eine grundlegende Unterscheidung gegenüber der Vorgangsweise bei den Satellitendaten dar.

Dort, wo es zur Reduktion von Einzelpixelphänomenen unbedingt notwendig erscheint, muß jedoch darauf zurückgegriffen werden. Beispiel hierfür ist die Konvertierung von Rasterdateien in ein Vektor-GIS, wo für den Aufbau der Topologie enorme Rechenkapazitäten notwendig sind. Selbst auf einer leistungsfähigen Workstation ist es nicht möglich, ein ungefiltertes Klassifikationsergebnis mit mehreren Millionen Pixeln in das Vektor-Format umzuwandeln. Dies erscheint insofern als Nachteil, da das Klassifikationsergebnis in einem Raster-GIS gezielter manipuliert werden kann, indem z.B. Polygone unter einer bestimmten Größe eliminiert und dem benachbarten Polygon mit der längsten gemeinsamen Grenze zugewiesen werden, was derzeit in dem verwendeten Raster-GIS über den Umweg einer Kontiguitätsanalyse mit anschließendem Filtern zwar möglich ist, jedoch als umständlicher und weniger steuerbar angesehen werden muß.

Angleichung der Klassen

Sofern bei den einzelnen Teilgebieten der Gesamtklassifikation nicht exakt die gleichen Klassen evaluiert werden können, ist ein weiterer Schritt der Klassenangleichung notwendig. Dieser Schritt wird in den einzelnen Testbeispielen nicht durchgeführt. Bei der Klassifikation ist ferner zu berücksichtigen, daß immer nur vom Speziellen zum Allgemeinen gearbeitet werden kann. Dies bedeutet, daß im Zweifelsfall besser mehrere Einzelklassen verwendet werden, die nachträglich leicht zusammengefaßt werden können während eine umgekehrte Vorgangsweise nicht möglich ist.

Thresholding

Es wurde am Beispiel der überwachten Klassifikation der SPOT Originalkanäle (vergl. Kap. 6.4.2.) versucht, das Klassifikationsergebnis durch ein Post-Klassifikationsverfahren (hier: *thresholding*, vergl. SCHOWENGERDT 1983, S. 68) zu verbessern: Die schlechtesten Pixel, d.h. die Bildelemente mit der größten spektralen Distanz vom Klassenmittelwert, werden eliminiert und der Klasse 0 (Hintergrund) zugeordnet. Dies bringt eine leichte Verbesserung indem Überklassifikationen vermindert werden mit dem Effekt, daß die unklassifizierten Bildelemente zunehmen bzw. überhaupt entstehen. Bei der Bewertung dieses Vorgehens ist die ursprüngliche Aufgabenstellung entscheidend: Dürfen unklassifizierte Pixel vorkommen oder aber soll das Ergebnis in ein Landesinformationssystem eingespeichert werden, wo zur Entscheidungsfindung bzw. zur Bereitstellung der Grunddaten unklassifizierte Elemente nach meinem Verständnis möglichst nicht entstehen sollen. Allerdings ist mit einem zu ungenauen Klassifikationsergebnis auch niemandem gedient. In der vorliegenden Arbeit wird die letztere Variante als gegeben angenommen und die zuvor beschriebene Technik der Genauigkeitsverbesserung für die Gesamtklassifikation nicht angewendet.

Versuch der Datenreduktion

In mancher Hinsicht stellt sich die Frage, ob eine Reduktion des Datenvolumens durch eine Aggregation von Bildelementen (*resampling*) notwendig ist. Dabei ist unbedingt zu berücksichtigen, daß dies nur im Zusammenhang mit einer verminderten räumlichen Auflösung möglich ist. Zwar stellt die generelle Auflösung von 10 m für alle Satellitendaten eine "künstliche" Auflösung dar, doch wären bei einer Aggregation auf beispielsweise 20 x 20 m auch inhaltliche Kriterien der Zuordnung notwendig, die entscheidende Veränderungen der Häufigkeiten bedingten. In dieser Studie wird daher keine Datenreduktion vorgenommen. Es wird für eine spätere Verwendung der Daten in einem Nationalpark-GIS vorgeschlagen, bei bestimmten rechenintensiven Verschneidungen mit anderen Datenschichten die Daten mit Hilfe effizienter und selektiver Werkzeuge eines vektororientierten Systems gezielt zu generalisieren (z.B. Eliminieren von Polygonen bestimmter Klassen unter einer bestimmten Größe und nachbarschaftsabhängige Zuordnung zu einer anderen Klasse).

6.7. Verifizierung der Ergebnisse im Gelände

Die Geländebegehung Ende Juli/Anfang August 1991 muß sich aus verschiedenen Gründen auf ein stichprobenartiges Kartieren von Testgebieten beschränken. Das

Hauptaugenmerk gilt dabei dem Becken von Windischgarsten sowie Teilen des Sengsengebirges (nördliche Vorzone, Feichtaualm, Feichtauseen).

Dabei ergibt sich u.a., daß die Kontrollmöglichkeiten durch die Orthophotos so gut sind, daß eine ausführliche Kontrollkartierung im Gelände nicht unbedingt notwendig erscheint. Weiters wird festgestellt, daß der geplante Zeitaufwand für eine Kontrollbegehung in der Planungsphase zu gering veranschlagt wurde. Konkret ist ein Arbeitstag auch für eine überblicksmäßige Begehung mit stichprobenartigen Eintragungen in die Kartierungsunterlagen viel zu wenig für ein fast 30 km² großes Gebiet, obwohl es sich dabei um das Becken von Windischgarsten und die angrenzenden Hänge und damit um ein überdurchschnittlich gut zugängliches Gebiet handelt. Mit An- und Abfahrt werden gut drei Arbeitstage benötigt. Dem Autor ist dabei bewußt, daß die Geländearbeiten insgesamt relativ gering ausfallen. Dies liegt jedoch zum Großteil an der Fragestellung: Bei einer überblicksartigen Darstellung der Hauptlandnutzungsklassen über ein relativ großes Gebiet können die spektralen Signaturen mit den üblichen Methoden der digitalen Bildverarbeitung gut definiert werden. Wenn dagegen beispielsweise die landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Nutzungsart und Anbaufrucht detailliert erfaßt werden müßte, wäre ein wesentlich höherer Aufwand an Feldarbeit notwendig.

Ähnlich wird beim zweiten Testgebiet vorgegangen. Von der Feichtaualm aus erlauben mehrere Wanderungen ein grobes Abschätzen der Treffergenauigkeit (nicht quantitativ wie in Kap. 6.8.). Auf ein wirkliches Kartieren wird dabei verzichtet, da sich, wie bereits erwähnt, die Differenzierung mit Hilfe von Kartengrundlagen, vor allem mit Hilfe von Orthophotos als zweckmäßiger erweist.

6.8. Genauigkeitsabschätzung durch Kontrolldaten

Vergleich durch visuelle Interpretation aus Orthophotos

Im Falle des ersten Beispielgebiets (Windischgarsten) werden die Klassifikationsergebnisse visuell mit dem Ergebnis der Orthophotointerpretation verglichen. Dabei können qualitative Aussagen über die Genauigkeit der einzelnen Klassen getroffen werden (vergl. Kap. 6.4.).

Eine der Haupterkenntnisse ist dabei, daß in den Tallagen die Wiesen im Prinzip alle sehr ähnlich sind. Es wäre zwar möglich, inhaltlich zu differenzieren, etwa in Mähwiesen und Weiden, dies erscheint jedoch angesichts des hohen Aufwandes, der zu erwartenden Unsicherheit der spektralen Abgrenzung und vor allem der Zielsetzung der Gesamtklassifikation (vergl. Kap. 1) als nicht sinnvoll.

Für das zweite Beispielgebiet (Sengsengebirge) wird auf einer maßstabsgetreuen Lichtpause des Orthophotos 5330-100 ein Referenzgitter von Bundesmeldenetzkoordinaten aufgetragen. Anschließend werden von 100 über das Blatt verteilten Kontrollpunkten die x- und y-Koordinaten ermittelt. Die Kontrollpunkte sollen in möglichst homogenen Arealen der Landnutzungsklassen liegen. Die Flächen sollen dabei so groß sein, daß die Kontrollpunkte einen Mindestabstand von 20 bis 30 Meter zur nächsten Klasse aufweisen, um zu verhindern, daß durch Ungenauigkeiten, die einerseits durch das Ermitteln der Koordinaten entstehen und andererseits durch Lageungenauigkeiten der referenzierten Satellitendaten bedingt sind, zu Fehlklassifikationen führen.

Die daraus resultierenden Prozentwerte sind jedoch mit gewisser Vorsicht zu genießen. Zwar gilt die gewählte Stichpunktanzahl von 100 im allgemeinen als genügend groß, doch scheint für einzelne Klassen (z.B. *Weg* und *Mischwald* mit 8 bis 10 Pixeln pro Klassifikation) die Stichprobengröße als kritisch. Aufgrund des hohen Aufwandes, exakt definierte Kontrollpixel zu ermitteln, muß diese Unsicherheit für das Testergebnis in Kauf genommen werden.

Für das Ergebnis der Gesamtklassifikation sollte eine höher Anzahl von Kontrollpunkten gewählt werden.

Das schlechteste Einzelergebnis weist in den Klassifikationen aus den Originalkanälen und aus der IHS-Transformation die Klasse *Mischwald* auf. Die Genauigkeit der anderen Klassen kann als zufriedenstellend bis sehr gut bezeichnet werden, zur detaillierten Beschreibung sei auf Kap. 6.5 verwiesen.

6.9. Bewertung und Einsatzmöglichkeiten der durchgeführten Klassifikationsverfahren in Hinblick auf die flächendeckende Landnutzungsklassifikation

Da weder SPOT XS noch Landsat TM flächendeckend zur Verfügung stehen, erscheint es für die Studie selbst nicht unbedingt als notwendig, detailliert herauszuarbeiten, welche der beiden multispektralen Aufnahmesysteme für das Gesamtgebiet besser geeignet wäre. Die Schlußfolgerungen hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten dieser Fernerkundungsdaten in Raumplanung und Naturraumanalyse erscheinen dagegen als wesentlich (vergl. Kap. 8).

Unüberwachte Klassifikation

Eine generelle Schwierigkeit der unüberwachten Klassifikation besteht darin, daß Klassen oft schwierig zu interpretieren sind, bzw. daß sich einzelne Klassen inhaltlich nicht trennen lassen. So werden z.B. rechnerisch oft 6 bis 12 verschiedene Waldklassen unterschieden, die offensichtlich durch unterschiedliche Expositions- und Beleuchtungsverhältnisse bedingt sind, jedoch nicht immer eindeutig in Nadelwald und Laubwald unterschieden werden können. Durch die Notwendigkeit des schrittweisen Zusammenfassens von Klassen ist dieses Vorgehen relativ zeitaufwendig. In diesem Fall sind oft 3 bis 6 Stunden notwendig, um vom ersten Ergebnis zu einer Klassifikation mit ansprechbaren Klassen zu gelangen, wobei jedesmal mindestens eine Wiederholung der Vorgangsweise erforderlich war.

Es stellt sich daher die Frage, ob eine unüberwachte Klassifikation gegenüber einem Signaturentraining und einer überwachten Klassifikation überhaupt zeitsparend ist, abgesehen von den sonstigen Nachteilen. Da im vorliegenden Fall des geplanten Nationalparks Kalkalpen auf umfangreiches Kartenmaterial, auf Orbophotos und auf eine gewisse Geländekenntnis zurückgegriffen werden kann, weist die Methode der unüberwachten Klassifikation **mehr Nachteile** als Vorteile auf und wird daher für das Gesamtgebiet aufgrund der Erfahrungen im Beispielsgebiet Windischgarsten **nicht verwendet**.

Überwachte Klassifikation (maximum likelihood)

Die Probleme der überwachten Klassifikation aus den Original-SPOT-Daten liegen im Testgebiet 5329 weniger in der Methode selbst, als in der Tatsache, daß die panchromatischen und auf die gleiche Auflösung gebrachten multispektralen Daten eine gewisse Redundanz aufweisen. Das Ergebnis der überwachten Klassifikation ist zwar **nicht voll zufriedenstellend**, doch kann davon ausgegangen werden, daß dies zum Teil an der Bearbeitung liegt. In der ersten überwachten Klassifikation liegt eine geringere Erfahrung und Detailkenntnis des aktuellen spektralen Verhaltens bei den spezifischen Rahmenbedingungen (Aufnahmezeitpunkt, Vegetationsstand, Gebietskenntnis ...) seitens des Interpreten zu Grunde. Es wird daher die These aufgestellt, daß mit der gleichen Vorgangsweise am Ende der monatelangen Arbeiten in beiden Beispielsgebieten ein besseres Ergebnis erzielt worden wäre.

Für verschiedene Tests der spektralen Signaturen wird teilweise das weniger rechenintensive *parallelipiped*-Verfahren verwendet, während sich die überwachte Klassifikation mit Hilfe der *maximum likelihood*-Methode für die Gesamtklassifikation als die **geeignete** herausstellt.

In der Studie des Beispielsgebiets 5330 (Sengsengebirge) steht deshalb nicht die Klassifikationsmethode im Mittelpunkt, sondern die Frage, welche Kanäle im Falle des Landsat TM in die Klassifikation eingehen sollen (Originalkanäle, Ratiokanäle, oder verbesserte IHS-Transformation aus Originalkanälen und SPOT P).

Dabei stellt sich heraus, daß bereits beim Signaturentraining Vor- und Nachteile zu Tage treten. Das größte Problem stellt durch die beschriebene Topographie (etwa W-E-Verlauf der Kämme und Taleinschnitte, vergl. Kap. 6.5.1.) der starke Licht-Schatteneffekt dar. Es ist daher bei allen spektralen Signaturen unumgänglich, Trainingsgebiete in Licht- und Schattenlagen für alle Expositionen auszuwählen. Dies erhöht den Arbeitsaufwand wesentlich. Für eine einzige spektrale Signatur kann es erforderlich sein, bis zu 15 einzelne, eng begrenzte Signaturen zu definieren und diese in mehreren Schritten der Signaturenmanipulation, auch mit Hilfe der wiederholten graphischen Visualisierung in einem zweidimensionalen Werteraum, zusammenzufassen.

Bei den IHS-transformierten Daten treten die gleichen Schwierigkeiten auf wie im Falle der Originalkanäle (vor allem der starke Licht-Schatten-Effekt). Das Signaturentraining benötigt etwa den gleichen Zeitaufwand wie bei den Originalkanälen, obwohl eine andere Vorgangsweise gewählt wird, indem für Licht- und Schattenbereiche getrennte Signaturen entwickelt werden, die erst nach der Klassifikation aggregiert werden (vergl. Kap. 6.5.2.). Weder der Arbeits- und Zeitaufwand noch die Qualität des Ergebnisses beider Vorgangsweisen unterscheiden sich dabei signifikant. Bei der Klassifikation mit den Ratiokanälen kann erwartungsgemäß in den Schattenbereichen am besten inhaltlich differenziert werden.

Die Genauigkeitsabschätzung der Klassifikationsergebnisse ergibt keine gravierenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Klassifikationen. Es wird daher für die Gesamtklassifikation eine kombinierte Vorgangsweise, d.h. teils Originalkanäle, teils Ratiokanäle, angestrebt.

Unüberwachte Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto

Das Ergebnis der unüberwachten Klassifikation unter Einbeziehung des digitalen Orthophotos ist insgesamt **unbefriedigend**. Trotz großen Arbeitsaufwandes gelang es nicht, eine genauere Landnutzungsklassifikation als mit den Satellitendaten allein durchzuführen. Im Gegenteil konnten diese vorliegenden Ergebnisse nicht erreicht werden, was die spektrale Trennung der Klassen anbelangt. Die zwangsläufig verbesserte räumliche Auflösung und Ausweisung linearer Strukturen steht in keinem Verhältnis zu Rechenaufwand, Speicherbedarf und Arbeitszeit.

Diese Vorgangsweise erscheint daher für die Gesamtklassifikation unter den gegebenen Bedingungen als ungeeignet und wird daher nicht weiterverfolgt. Dies soll jedoch kein generelles Urteil über die Methodik sein. Für andere Ausgangsdaten und Fragestellungen können durch diese Untersuchung keine Aussagen getroffen werden.

Überwachte Klassifikation von SPOT-Daten und Orthophoto

Das Ergebnis kann als **nicht sehr zufriedenstellend** bezeichnet werden. Zwar weist das Klassifikationsergebnis eine hohe Genauigkeit auf, wie eine stichprobenartige Kontrolle ergibt, für die Gesamtklassifikation erscheint die Differenzierung der Klassen jedoch zu gering. Auch wenn auf dem Bild *Wasser, alpine Matten, vegetationsfreie Felsformationen* und ähnliches nicht vorkommen, wie bei der Gesamtklassifikation zu erwarten, erscheint die Anzahl von vier Klassen generell zu wenig. Vor allem der Wald sollte genauer differenziert werden können. Es stellt sich hierbei die Frage, ob diese negative Erfahrung auf ein ungenaues Signaturentraining zurückzuführen ist, oder ob die reine Überlagerung (im Gegensatz z.B. zur IHS-Transformation) von Kanälen unterschiedlicher Herkunft die in der Detailstudie genannten Probleme (z.B. Pseudoklassen durch unterschiedliche reale Auflösung) mit sich bringt.

Überwachte Klassifikation aus der IHS-Transformation von Orthophoto und SPOT

Das Ergebnis ist unter verschiedenen Aspekten zu bewerten. Die Methode der verbesserten IHS-Transformation führt sicherlich die unterschiedlichen Kanäle **am besten** zusammen. Der stark verbesserten räumlichen Auflösung steht eine etwas verminderte spektrale Differenzierung verschiedener Oberflächenmerkmale durch den zusätzlichen Orthophotokanal gegenüber.

Die Probleme wurden bereits beschrieben. Es lassen sich *Brachflächen* und *Verkehrsflächen* kaum auseinanderhalten, ebenso gestaltet sich die Unterscheidung innerhalb der Klasse *Wald* relativ schwierig. Die stichprobenartige Überprüfung im Gelände ergibt, daß vor allem der *Mischwald* Probleme bereitet. Es können daher nur reine *Nadelwald-* bzw. *Laubwald-*gebiete als solche ausgewiesen werden während die Klasse *Mischwald* überrepräsentiert ist. Mit einem neuerlichen, verbesserten Signaturentraining könnte die Situation sicherlich noch verbessert werden doch erscheinen die grundsätzlichen Probleme als entscheidend für die Gesamtklassifikation, so daß auf diese Vorgangsweise verzichtet wird. Eine Schlußfolgerung aus den Detailstudien lautet daher: Wenn überhaupt das digitale Orthophoto in der Klassifikation mit verwendet werden soll, dann mit Hilfe der IHS-Transformation.

Demgegenüber stehen jedoch die technischen Beschränkungen. Der enorme Speicherbedarf der Satellitendaten und die erforderliche Rechenkapazität der Klassifikation machen es notwendig, sich (zunächst) auf ein eng begrenztes Gebiet zu beschränken. Die folgende Abbildung zeigt die Bedeckung des Planungsraumes mit vorhandenen SPOT XS und Landsat TM-Daten.

7.2. Ausgangsdaten (Datenlage)

Im folgenden werden die wesentlichen Eigenschaften und Anwendbarkeitskriterien der zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten sowie deren Qualität und flächenhafte Bedeckung des Gebietes dargestellt. Das Kriterium des Speicherbedarfs stellt heute (noch) eine Beschränkung dar und führt zu der zuvor beschriebenen engen Abgrenzung des Untersuchungsgebietes. Bereits in zwei bis drei Jahren wird durch die gegenwärtige rasante Weiterentwicklung der Speichermedien dieses Problem in den Hintergrund treten.

Satellitenbilder

Die zugrundeliegenden Satellitendaten erscheinen, wie bereits in Kap. 6 beschrieben, in mancher Hinsicht als nur **bedingt** für die durchzuführende Landnutzungsklassifikation geeignet. Neben der Inhomogenität der räumlichen, spektralen und zeitlichen Auflösung der Satellitenbilder (Landsat TM vom 28.8.84!) wird die inhaltliche Interpretierbarkeit durch die ungeeigneten jahreszeitlichen Aufnahmedaten (z.B. SPOT XS für den Ostteil vom 7.10.87) und die dadurch bedingte geringere Ausleuchtung der Szenen beeinträchtigt. Dadurch werden zwangsläufig einige in Lehrbüchern geforderte Kriterien verletzt. Aus pragmatischen Gründen muß dennoch mit den von der Nationalparkplanungsstelle angekauften Daten gearbeitet werden. Zwar wurde von der beauftragten Firma die Lieferung aktueller SPOT XS - Daten für Ende des Jahres (1991), wie schon für das Jahr 1990, zugesagt, doch soll die Klassifizierung bis Ende des Jahres 1991 abgeschlossen sein. Vor dem Hintergrund des Verwendungszweckes, nämlich einer Gesamtübersicht der Landnutzung des Planungsraumes (vergl. Kap. 1), kann aufgrund der Ergebnisse der Detailstudien davon ausgegangen werden, daß trotz der beschriebenen Probleme mit den Ausgangsdaten eine sinnvolle Landnutzungsklassifikation möglich ist.

Alle drei eingesetzten Arten von Satellitendaten werden zunächst, wie mehrfach beschrieben, in das Bundesmeldenetzkoordinatensystem transformiert und zur einfacheren Handhabung am PC entsprechend den Triangulierungsblättern in Teilbereiche zerlegt. Im Rahmen dieser Transformation durch das *nearest neighbour* - Verfahren (vergl. Kap. 5.2.1.) werden auch die multispektralen Daten auf eine künstliche Auflösung von 10 Meter gebracht, so daß alle drei Arten von Satellitenbildern am Computer durch die gleiche Dateistruktur und Pixelgröße dargestellt werden können. Dabei muß aus Kosten- und Zeitgründen darauf verzichtet werden, das Digitale Geländemodell (DGM) in die Transformation mit einzubeziehen. Statt dessen werden zahlreiche Paßpunkte herangezogen. Die Überprüfung der Lagegenauigkeit mit Hilfe von Vektordaten unter Berücksichtigung deren Erfassungsgenauigkeit ergibt auf den einzelnen Blättern unterschiedliche, jedoch insgesamt tolerierbare Abweichungen (vergl. Kap. 5.2.1.), auch wenn in der

Literatur für ein derartiges Relief eine Entzerrung über das DGM gefordert wird (z.B. BUCHROITHNER 1987).

Die rechnerische Auflösung von 10 Metern bringt aber auch den Nachteil mit sich, daß wesentlich mehr Speicherplatz zur Handhabung der Daten erforderlich ist. Während dieser Umstand für die Detailstudien im Bereich eines Triangulierungsblattes keine großen Probleme bereitet, wird eine simultane Klassifikation über das Gesamtgebiet am PC dadurch unmöglich.

SPOT P

Die referenzierten panchromatischen SPOT-Daten weisen über das Gesamtgebiet eine annähernd gleich gute Qualität auf. Die Detailerkennbarkeit ist entsprechend der Auflösung von 10 Metern sehr gut. Einzelne Gebäude und schmale Fahrwege sind deutlich zu erkennen. Die Schattenwirkung des stark gegliederten Reliefs stört jedoch sehr. Dies kann, anders als bei den multispektralen Aufnahmen, rechnerisch praktisch nicht korrigiert werden. Durch eine Kombination beider Datentypen beispielsweise über eine IHS-Transformation können beide Vorteile jedoch sinnvoll genutzt werden (vergl. Kap 5.2.3.). Im Gegensatz zu den multispektralen Kanälen verteilen sich im panchromatischen Kanal die vorkommenden Reflexionswerte (DN) über einen großen Teil des möglichen Wertebereichs von 0 bis 255 und bieten daher außer in den Schattenbereichen eine gute Differenzierung.

SPOT XS

Die auf eine Auflösung von 10 x 10 Meter gebrachten multispektralen SPOT-Daten des Ostteils des geplanten Nationalparks stammen vom 7.10.87. Sie erscheinen, wie bereits mehrfach erwähnt, durch die späten Aufnahmezeitpunkte und die dadurch bedingte mäßige Ausleuchtung des Geländes für die Landnutzungsklassifikation als ungünstig. Es wäre daher, wie in der Teststudie im Bereich des Sengsengebirges (siehe Kap. 6.5.) durchgeführt, in Erwägung zu ziehen, für eine Gesamtklassifikation nur auf Landsat TM - Daten zurückzugreifen. Die deutlich bessere Auflösung von 20 Meter wird dadurch gemindert, daß sich der Wertebereich im Falle des Beispielblattes 5329 (andere Bereiche ähnlich) statt von 0 bis 255 DN nur von

Kanal 1: 0 - 111 (sinvoll: 8 - 91)

Kanal 2: 0 - 75 (sinvoll: 16 - 35)

Kanal 3: 0 - 56 (sinvoll: 8 - 23)

erstreckt.

Landsat TM

Für die Bereiche, in denen keine SPOT-XS verfügbar sind, wurden die Kanäle 2, 3 und 4 einer Landsat TM Aufnahme vom 28.8. 1984 zur Verfügung gestellt. Auch mit der künstlich "verbesserten" Auflösung von 10 Metern liegt die Detailerkennbarkeit erwartungsgemäß deutlich geringer als bei den SPOT XS - Daten. Andererseits erreichen die Reflexionswerte eine etwas größere Bandbreite und bieten dadurch eine geringfügig bessere Grundlage zur Klassifikation. Im Falle des Beispielblattes 5330 wird folgender Wertebereich abgedeckt:

Kanal 2: 10 - 134 (sinvoll: 13 - 103)

Kanal 3: 10 - 66 (sinvoll: 11 - 30)

Kanal 4: 14 - 58 (sinvoll: 15 - 24)

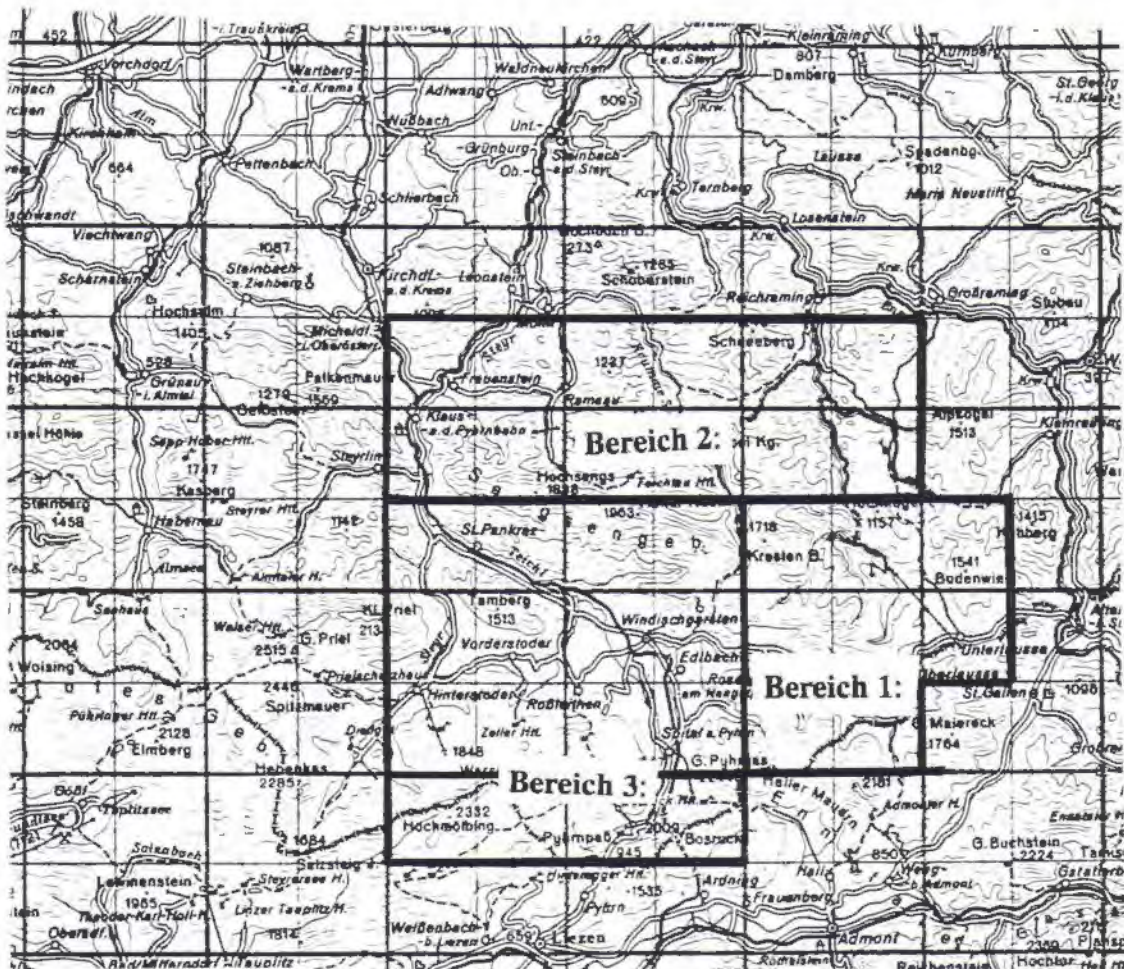
Aus pragmatischen Gründen werden die in Abb. 7.1. dargestellten Satellitendaten nur in vollen Vierteln der Triangulierungsblätter verwendet, was dem Blattschnitt der Orthophotos entspricht. Auf Grund der Handhabbarkeit der Daten im Bildverarbeitungssystem wird der langgestreckte Bedeckungsbereich der Landsat TM-Daten in zwei rechteckige Teile mit einem ausgewogeneren Längen-Breitenverhältnis zerlegt. Die Landnutzungsklassifikation für den Ostteil des geplanten Nationalparks erfolgt daher in drei Einzelschritten:

Bereich 1: Klassifikation mit SPOT XS-Daten

Bereich 2: Klassifikation mit Landsat TM-Daten

Bereich 3: Klassifikation mit Landsat TM-Daten

Abb. 7.2.: Einteilung der 3 Klassifikationsbereiche nach Triangulierungsblättern



Sonstige digitale Daten

Darüberhinaus stehen folgende Informationen aus dem NPK-GIAS zur Verfügung:

- Blattschnitte der ÖK50, der Orthophotos, des Katasters
- Digitales Geländemodell (50m-Raster)
- geplante NP-Grenzen
- Waldmaske (gescannte ÖK50 in 200 dpi)
- Kataster 1:5000, teilweise
- digitale Orthophotos (40 Blätter von Orthophotos 1:10000, gescannt in 200 dpi)

7.3. Konkretisierung der Klassifikationsziele aufgrund der Detailstudien

Hinsichtlich der möglichen Landnutzungsklassen zeigen die Detailstudien im Gebiet der Triangulierungsblätter 5329 (Windischgarsten) und 5330 (Sengsengebirge), daß einige durchaus gebräuchliche Klassen im gegebenen Fall problematisch sind. So erscheint bei der Auflösung von 10 m der kombinierten Daten eine Klasse *Mischwald* als nicht sinnvoll bzw. kaum sinnvoll berechenbar. Dies läßt sich dadurch erklären, daß bei einer Pixelgröße von nur 10 x 10 m auch bei einem durchmischten Wachstum meist Laub- oder Nadelbäume kleinräumig dominieren, in dem sie in kleinen Gruppen oder Haufen vorkommen und so die Reflexionswerte der einzelnen Pixel überwiegend der Klasse *Laubwald* oder der Klasse *Nadelwald* zugeordnet werden können. Bei der durchzuführenden Klassifikation wird daher auf eine Klasse *Mischwald* verzichtet.

Wie aus dem ersten Beispielen der Detailstudie hervorgeht, wäre eine Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzung in den Talräumen durchaus möglich. Da das Becken von Windischgarsten jedoch nicht zum eigentlichen Nationalparkgebiet gehört und ansonsten kaum solch begünstigte Tallagen anzutreffen sind, kann darauf verzichtet werden, die landwirtschaftlichen Nutzflächen genauer zu untergliedern. Dies geschieht auch vor dem Hintergrund der Planungsrelevanz und eines sinnvollen Datenvolumens für den Nationalpark.

Eine weitere Hauptklasse bildet die verbaute und versiegelte Fläche (Häuser, Straßen, Parkplätze etc.). Aus den gleichen Gründen wie zuvor beschrieben wird diese Klasse ebenfalls nicht weiter unterteilt, etwa in eine dichte und in eine lockere Verbauung. Geteerte Straßen nehmen eine sehr geringe Fläche ein. Dennoch sind sie meines Erachtens zu erfassen und, soweit möglich, von den zahlreicheren, nicht asphaltierten Fahrwegen zu trennen. Es soll jedoch unbedingt eine Überklassifikation vermieden werden, indem etwa frische Schlägerungen und unbewachsene Bodenareale dieser Klasse zugeordnet würden. Statt dessen wird in Kauf genommen, daß die schmälere Wege, vor allem in einem geschlossenen Waldbestand, nicht vollständig erfaßt werden. Diese linearen Erscheinungen sind ebenso wie Bäche und Flüsse besser nachträglich aus den teilweise vorhandenen digitalen Vektordaten des NPK-GIAS zu übernehmen.

Der Einfluß der Topographie schlägt sich, wie in Kap. 6.5.1. beschrieben, auf den Arbeitsaufwand beim Signaturentraining nieder. Aufgrund der vorhandenen technischen Ausstattung und der Datenlage wäre es möglich, die Höhendimension auch quantitativ

als Input in die Klassifikation, etwa als zusätzlichen Kanal, zu übernehmen. Darauf wird in der vorliegenden Studie jedoch verzichtet.

Die generelle Frage, ob unklassifizierte Bildpunkte vorkommen dürfen, was z.B. zur Kontrolle der Brauchbarkeit der Signaturen innerhalb des Klassifikationsvorgangs zunächst notwendig sein kann, wird bereits in Kapitel 6 beantwortet. Angesichts des Verwendungszwecks des Ergebnisses als Grundlage in einem Informationssystem sollen nach dem Verständnis des Autors möglichst keine unklassifizierten Bildelemente enthalten sein.

7.4. Durchführung der Klassifikation in drei Abschnitten

Teilgebiet 1 (SPOT XS)

Das erste Klassifikationsgebiet besteht, wie in Abb. 7.3. dargestellt, aus den Triangulierungsblättern 5429 (ganz), 5430-102, 5430-103, 5530-102 und 5529-100.

Folgende Kanäle werden bei der Klassifikation verwendet:

XS1/XS3

2. Hauptkomponente aus XS1, XS2, XS3 und P

SPOT P/XS3

Beim Signaturentraining wird analog zu den in Kap. 6.5. beschriebenen Vorgangsweisen verfahren. Da keine geeignete Wasserfläche auf dem Teilgebiet vorkommt, muß auf die Signatur *Wasser* verzichtet werden.

Teilgebiet 2 (Landsat TM)

Das Klassifikationsgebiet 2 deckt die nördlichen Teile des Planungsgebietes ab. Es besteht, wie in Abb. 7.3. dargestellt, aus den südlichen Hälften der Triangulierungsblättern 5231, 5331 und 5431 sowie aus den nördlichen Hälften der Blätter 5230, 5330 und 5430.

Folgende Kanäle werden bei der Klassifikation verwendet:

TM2/TM4

2. Hauptkomponente aus TM2, TM3, TM4, SPOT P

SPOT P/TM4

Aufgrund der langgestreckten Form erfolgt das Signaturentraining in mehreren Abschnitten, wobei ein häufiges Einlesen einzelner Bildausschnitte notwendig ist. Dies bewirkt einen relativ hohen Zeitaufwand und erschwert die Vergleichbarkeit einzelner Teilgebiete.

Teilgebiet 3 (Landsat TM)

Mit den gleichen Kanälen wie im zweiten Teilgebiet wird über die südlichen Hälften der Triangulierungsblätter 5230 und 5330, 5229 (ganz) und 5329 (ganz) sowie über die nördlichen Hälften der Blätter 5228 und 5328 mit der gleichen Kanalkombination wie im Teilgebiet 2 eine überwachte Klassifikation durchgeführt. Im Gegensatz zu den

ersten beiden Teilgebieten nehmen vegetationslose Felsflächen einen bedeutenden Anteil ein. Gerade hierbei ist eine genaue Auswahl von Trainingsgebieten in Licht- und Schattenbereichen und eine getrennte Vorgangsweise bei der Klassifikation notwendig. Probleme bereiten auch steile bewaldete Schatthänge, die spektral sehr schwer von der Signatur Wasser zu unterscheiden sind. Nach mehreren Versuchen diese Trennung jedoch zufriedenstellend.

7.5. Diskussion der Klassifikationsergebnisse und Abschätzung der Genauigkeit

Die Abschätzung der Genauigkeit (besser: accuracy assessment) für das Gesamtergebnis geschieht mit der gleichen Methode wie für die einzelnen Klassifikationen des Beispielsgebiets Sengsengebirge (vergl. Kap. 6.5.). Aus verschiedenen Orthophotos heraus werden unter der Vorgabe möglichst homogener Flächen mit einem Mindestabstand des Kontrollpixels von 20 bis 30 m zur benachbarten Landnutzungs-kategorie 200 Kontrollpunkte ermittelt. Dies erscheint im Vergleich zu verschiedenen Arbeiten (z. B. STORY and CONGALTON 1986, LUNETTA et al. 1991) als eine relativ hohe Anzahl und wird auch allen statistischen Anforderungen gerecht.

Im folgenden ist das Ergebnis der Kontrolle für die 8 Landnutzungsarten dargestellt.

Tab. 7.1.: Genauigkeitsabschätzung der überwachten Klassifikation für das Gesamtgebiet

Klassen:	1: Landwirtsch. Nutzfläche	81%
	2: Almfläche	63%
	3: Nadelwald	93%
	4: Laubwald	63%
	5: veg.freier Boden	63%
	6: Fels, Schutt	86%
	7: geringe Vegetation, alp.Rasen	83%
	8: Wasser	88%

(Reihen: Klassifizierte Daten, Spalten: Kontrolldaten)

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	Gesamt
1)	21	-	-	9	-	-	-	-	30
2)	-	10	-	-	2	-	-	-	12
3)	-	-	50	2	-	2	2	2	58
4)	4	6	2	20	4	-	1	-	37
5)	1	-	1	-	10	-	-	-	12
6)	-	-	1	-	-	19	-	-	20
7)	-	-	1	-	-	1	15	-	17
8)	-	-	-	-	-	-	-	14	14
Ges)	26	16	54	32	16	22	18	16	200

Die Gesamtwahrscheinlichkeit liegt daher bei 80 %. Dieser Wert liegt in einem normalen Rahmen und sagt alleine nicht sehr viel aus. Wie in Kap. 6.5. gezeigt, kann je nach Betrachtungsebene das Verhältnis von klassifizierten Daten zu Kontrolldaten (normalerweise als *accuracy* bezeichnet) oder das Verhältnis von Kontrolldaten zu klassifizierten Daten (*users accuracy* oder *reliability*) herangezogen werden. Insgesamt fällt das Ergebnis der Genauigkeitsüberprüfung der Gesamtklassifikation gut aus.

7.6. Graphische Präsentation der Ergebnisse und Einbindung in GIS

Für die graphische Präsentation der Ergebnisse sind mehrere Möglichkeiten denkbar. Die einfachste und schnellste Lösung hinsichtlich des Arbeitsaufwands wäre ein direktes Plotten von Bildschirmdarstellungen. Aufgrund Hard- und Softwaretechnischer Restriktionen kann dieser Weg jedoch nicht beschritten werden. Eine zweite, durchaus übliche Vorgangsweise wäre, den Bildschirm abzuphotographieren. Dies erscheint im gegebenen Fall als nicht sinnvoll, weniger aufgrund von Qualitätsbedenken hinsichtlich der Reproduktion, als vielmehr aufgrund des höheren Vervielfältigungsaufwands. Bei den ausschnittartigen Darstellungen der Testergebnisse sind daher kopierfähige Schwarz-Weiß-Vorlagen das Ziel. Der Produktionsprozeß von Schwarz-Weiß-Vorlagen mit Flächensignaturen gestaltet sich jedoch äußerst mühsam und zeitaufwendig. Die Rasterdateien müssen zur kartographischen Präsentation in das Arc/Info-Vektorformat umgewandelt werden, was den PC vor eine fast unlösbare Aufgabe stellt. Es wird daher der Umweg über die Workstation gewählt, wo aufgrund der Rechenkapazität zwar diese Transformation möglich ist. Dadurch, daß kein direkter Plotvorgang in der zur Verfügung stehenden Konfiguration technisch möglich war, wird der Arbeitsaufwand jedoch enorm erhöht.

Vor- und Nachteile beider Lösungen

Die graphische Qualität der Ausgabe und der Arbeitsaufwand stehen sich bei den beiden hier verfolgten Lösungsansätzen geradezu konträr gegenüber. Während der "direkte" Plotvorgang der Ergebnisse im Raster-GIS Format des Bildverarbeitungssystems *ERDAS* relativ wenig Arbeitszeit und Rechenaufwand erfordert, führt die Konvertierung der Rasterdateien in das Vektorformat *Arc/Info* zur Beanspruchung des PCs bis an seine Belastungsgrenzen. Eine Umwandlung der Ergebnisse des Gesamtgebietes in einem Schritt wäre am PC unmöglich und würde auch auf einer Workstation Probleme bereiten (vergl. BLASCHKE und DOLLINGER 1991, S. 268). Liegen die Daten jedoch erst einmal im Arc/Info-Format vor, steht eine breite Palette von Ausgabemöglichkeiten mit entsprechender kartographischer Gestaltung zur Verfügung. Dies bedeutet, daß der Aufwand hinsichtlich der Zielvorstellung abzuwägen ist. Dieser Punkt könnte jedoch in den kommenden Jahren durch die steigende Leistungsfähigkeit der Computer in den Hintergrund treten, so daß auch große Datenmenge problemlos transformiert werden können.

8. Diskussion der Ergebnisse in Hinblick auf den Einsatz von Fernerkundung und GIS in Raumplanung und Ökologie

In Hinblick darauf, daß immer wieder die Frage aufgeworfen wird, ob Satellitenfernerkundung für einen operationellen Einsatz in Behörden und Institutionen zu teuer und technisch zu aufwendig wäre, soll nochmals auf die weitreichenden Erfahrungen in Nordamerika hingewiesen werden. NYQUIST (1991, S. 291) kommt zu dem Schluß, "the use of satellite data, however, has become the method of choice to very efficiently and cost effectively develop vegetation/landcover information." Dies deckt sich auch beispielsweise mit den Ergebnissen von Arbeiten in Australien, Neuseeland und Großbritannien sowie in weiten Landstrichen Afrikas. TROTTER (1991, S. 225/226) stellt dazu fest: "Digital remote sensing has the potential not only to lower the cost of data acquisition and interpretation, but also to do so while meeting the other essential requirements for data in GIS."

Wie in der vorliegenden Studie gezeigt wurde, trifft diese Feststellung unter Zuhilfenahme der Kombinationsmöglichkeiten von multispektralen und panchromatischen Daten auch auf das "nur" 700 km² große Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen in Oberösterreich zu.

Der Autor zieht daher den Schluß, daß sich diese Aussage auch auf die im Vergleich zu nordamerikanischen Verhältnissen kleingliedriger strukturierten und zumeist kleiner dimensionierten Naturräume Mitteleuropas ausweiten läßt.

Über die untersuchten Methoden hinaus scheint eine Verbesserung der Klassifizierungsergebnisse (Genauigkeit, Klassenanzahl) durch Zuhilfenahme eines vergrößerten Datensatzes des NPK-GIAS ein vielversprechender Ansatz zu sein. Auch könnte versucht werden, durch Einbeziehung der Höhendimension aus dem Digitalen Geländemodell als zusätzlichen Kanal die Klassen weiter zu differenzieren. Für das Gesamtgebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen sollte angesichts der Größe von über 700 km² ein Ausgabemaßstab von 1:50000 als ausreichend angesehen werden. Die Ergebnisse dieser Arbeit erlauben jedoch durch die Einbeziehung des panchromatischen SPOT-Kanals auch Betrachtungen im Maßstab von 1:25000. Dies stimmt mit dem allgemein in der Literatur angegebenen möglichen Maßstabsbereich der hier verwendeten Daten überein (vergl. z.B. APFL 1989, S. 106).

Die geometrische Auflösung von SPOT P liegt, wie hinlänglich beschrieben, bei 10 m, die eines üblichen großmaßstäbigen Luftbildes von 1000 m Flughöhe bei ca. 0,3 m. Eine genaue Gegenüberstellung der Eigenschaften von Satellitendaten und Orthophotos (im weiteren Sinne) findet sich in SUN, WOLF and SCARPACE (1991). Das Datum dieses Aufsatzes (November 1991) sowie die sonstige Entwicklung der Veröffentlichungen zu dieser Thematik zeigen, daß die gemeinsame Betrachtung beider Datengrundlagen vor dem Hintergrund einer digitalen Kombination eine sehr junge Entwicklung darstellt.

Allgemein läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß durch die Kombination von multispektralen und panchromatischen Daten der in der Raum- und Landesplanung benötigte Maßstab von 1:50000 sowohl mit SPOT XS- als auch mit Landsat TM-Daten gut abgedeckt werden kann. Auch ein Maßstab von 1:25000 ist durchaus möglich, doch dürfte im Falle von Landsat TM/SPOT P die Grenze einer sinnvollen Auflösung hiermit

erreicht sein. Für den panchromatischen Kanal allein könnte unter Verzicht auf die multispektralen Charakteristika eine Darstellung durchaus im Maßstab 1:10000 erfolgen (beispielsweise zur Untersuchung der Siedlungstätigkeit). Zur exakten Festlegung gültiger Maßstabsbereiche für einzelne Anwendungen des Raumplanung und Umweltbeobachtung müßte jedoch nach den in Kap. 3 vorgestellten Forderungen (Feststellung eines Objekts, Erkennbarkeit eines Objekts, Identifizierung eines Objekts, Beschreibung eines Objekts) unterschieden werden.

Wie mehrfach dargestellt, ist das Ergebnis wesentlich stärker von inhaltlichen Fragestellungen und den Zielvorgaben der Klassifikation abhängig als von der Maßstabsfrage. Mit den gleichen Ausgangsdaten wären unter anderen Zielvorstellungen und Rahmenbedingungen (z.B. Aufnahmezeitpunkte, Homogenität der Daten, Gebietskenntnis, Fachkenntnis einzelner Disziplinen) auch andere Ergebnisklassen denkbar.

Wie lassen sich die Ergebnisse weiter verwenden?

Da die Satellitenbilder verhältnismäßig große Kosten und Investitionen in die Hard- und Software erfordern, ist die Frage aufzuwerfen, wie sich die Daten am effizientesten verwerten lassen, d.h., wie könnten die Daten über diese Studie hinaus genutzt werden. Dazu sind verschiedene Aufgabenstellungen denkbar, die goßteils mit der vorhandenen Konfiguration des NPK-GIAS (*Arc/Info* und *SPANS*) zu lösen sind. Vor allem den Analysemöglichkeiten in Zusammenhang mit dem digitalen Geländemodell sind kaum Grenzen gesetzt. Aus den vier Merkmalen Landnutzung, Exposition, Hangneigung und Höhenlage und ihrer statistischen Verteilung lassen sich vielfältige Aussagen ableiten. Einfache Fragestellungen, wie: "Wieviel Prozent der Almfläche liegt an südost- bis südwestgerichteten Hängen von über 30° Hangneigung (z.B. hinsichtlich der Plaikengefährdung bei starken Tauwetter im Frühjahr)?" können leicht berechnet werden. Daneben sind komplexere Verschneidungen dieser Daten mit anderen Datenschichten möglich. Eine interessante Fragestellung für Zoologen könnte etwa darin bestehen, Distanzkorridore (*buffer*) bekannter Punkte des Auftretens bestimmter Tierarten zu bilden und die so gewonnenen Polygone mit den zuvor beschriebenen Daten zu verschneiden, um statistische Schlußfolgerungen über die Umgebung des Brutplatzes oder Antreffpunktes ziehen zu können. Die Methode der Darstellung von Verbreitungsgebieten von Tierarten mit Hilfe eines GIS ermöglicht eine gute Abgrenzung der differenzierten Landnutzung und der ökologischen Ansprüche der verschiedenen Arten. Ein GIS kann darüberhinaus helfen, Verbreitungsmodelle und daraus abgeleitete Berechnungsvorschriften als allgemeine Regeln zu erstellen, die es erlauben, mit relativ geringem Aufwand zu einer guten Abschätzung der Verbreitung und Häufigkeit von Arten zu kommen (vergl. SCHUSTER 1990, S. 115 - 123).

Eine weitere Anwendung wäre etwa die Berechnung von Distanzkorridoren von Straßen und Fahrwegen, um das Ergebnis z.B. mit den Waldflächen zu verschneiden. Dabei könnte ein Erschließungsgrad berechnet oder Flächen über einer Minstdistanz von allen Erschließungen (Schutz- und Ruhezonon) ausgewiesen werden.

Die Landnutzung ist daher nur als *eine* Schicht von mehreren in einer **Naturraumana-**lyse zu sehen. Bei der Ermittlung des Naturraumpotentials und verschiedener Teilpo-

tentiale bzw. partieller Naturraumpotentiale werden zunehmend Geographische Informationssysteme verwendet. Unter dem **Naturraumpotential** wird die Leistungsfähigkeit eines Naturraumes für die Gesellschaft verstanden (HAASE 1978). Dabei wurden zunächst sieben, inzwischen meist 10 partielle Naturraumpotentiale unterschieden (*Naturschutzpotential, Biotisches Ertragspotential, Erholungspotential, Entsorgungspotential, Rohstoffpotential und Bebauungspotential*), die die Eignung eines Naturraums für eine bestimmte Nutzung oder Schutzfunktion beschreiben. Als bestehende praktische Anwendungsbeispiele seien die immer schwierigere Standortsuche für Mülldeponien oder Umweltverträglichkeitsprüfungen (UVP) im Zusammenhang mit Standortwahl oder Standorterweiterungen von Verarbeitungsbetrieben, Steinbrüchen oder Schottergruben genannt. Aber auch für das Gebiet eines geplanten Nationalparks erscheint dem Autor dieser Ansatz vielversprechend, wenn auch (oder gerade weil) bisher kaum Beispiele eines operationellen Einsatzes bekannt sind. Hinsichtlich von Vor- und Nachteilen sowie Problemen der praktischen Umsetzung in Vektor- und Raster-orientierten Geographischen Informationssystemen sei auf Aufsatz von BLASCHKE und DOLLINGER (1991) verwiesen.

In diesem Bereich eröffnet sich meines Erachtens durch die technische Entwicklung und die steigende Notwendigkeit der Erfassung des Naturraums sowie seiner Potentiale und Gefahren (z.B. Vermurungs- und Rutschungsgefährdung) in Zukunft ein breites und gesellschaftsrelevantes Betätigungsfeld. Dennoch darf nicht übersehen werden, daß auch hochqualifiziertes Personal notwendig ist und die Kosten hierfür im Gegensatz zur aktuellen Entwicklung bei Hard- und Software stark zunehmen.

9. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Allgemein

Im Laufe der vergangenen zwei Jahrzehnte seit dem Start von Landsat 1 hat sich die Qualität und die Vielzahl der verfügbaren Daten entscheidend verbessert. Nicht zuletzt durch die Kommerzialisierung des Datenvertriebs seit Mitte der 80er Jahre verlagerte sich der Schwerpunkt der Aktivitäten etwas von Forschung und Lehre hin zu kommerziellen, regionalen, kommunalen und privaten Anwendungsbereichen. Vor allem seit dem Start von SPOT 1 im Jahre 1986 stehen auch für planungsrelevante Maßstäbe von 1:50000 und darunter adäquate Satellitendaten zur Verfügung. Satellitenbilder im sichtbaren, infraroten und Mikrowellenspektrum werden in Zukunft bei hoher räumlicher und spektraler Auflösung für fast alle Teile der Erde zur Verfügung stehen. "The multisensor, multiresolution, multitemporal information will eventually be available for all parts of the earth" (EHLERS 1989, S. 41). Die verbesserte Rechenleistung bei gleichzeitigem Preisverfall ermöglicht auch "kleineren" Anwendern den Einsatz der digitalen Bildverarbeitung. Als neuer Trend erscheint dem Verfasser die vielseitigen Kombinationen von räumlich hochauflösenden mit spektral hochauflösenden Daten. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde auf diese Vorgangsweise zurückgegriffen, indem versucht wurde, SPOT P und Landsat TM - Daten miteinander zu verknüpfen. Aber auch gescannte Orthophotos wurden für Beispielsgebiete mit Satellitendaten vereinigt. Diese Technik beginnt sich gerade in den USA durchzusetzen, in Europa werden die vielfältigen Möglichkeiten dieser Entwicklung nach Ansicht des Autors bisher zu wenig erkannt, wenn auch diese Arbeit zeigt, daß durch das enorme Datenvolumen bei einer hohen räumlichen Auflösung (noch) Probleme der Handhabung bestehen.

Geographische Informationssysteme ermöglichen heute die Integration von Fernerkundungsdaten mit anderen georeferenzierten Informationen. Die Frage, ob Vektor- oder Rasterdaten sollte dabei zunehmend in den Hintergrund treten, auch wenn echt hybride Systeme noch kaum auf dem Markt sind.

Integration der Satellitendaten mittels IHS-Transformation

In der Literatur wird allgemein die Fähigkeit der Integration unterschiedlicher Kanäle über die IHS-Transformation als sehr gut bewertet (vergl. SCHOWENGERDT 1983, S. 120 - 124, LILLESAND and KIEFER 1987, S. 663 - 667, CARPER, LILLESAND and KIEFER 1990, CHAVEZ and BOWELL 1988, CHAVEZ, SIDES and ANDERSON 1991, WELCH 1985, WELCH and EHLERS 1987). Daher wurde in der vorliegenden Arbeit versucht, dieses Verfahren in der Praxis umzusetzen (vergl. Kap. 6.4.). Dabei ergab sich, daß hinsichtlich des jeweiligen Ziels der Verknüpfung differenziert werden muß. Zur Erstellung einer kontrastreichen und räumlich möglichst hochauflösenden Satellitenbildkarte ist diese Vorgangsweise sicherlich hervorragend geeignet.

Unter dem Aspekt, daß die Kombination bzw. Transformation die spektralen Charakteristika der multispektralen Daten möglichst wenig verändern soll, muß die IHS-Transformation nach den Erfahrungen des Autors als problematisch angesehen werden. Als

Zwischenschritt zur Aufbereitung für eine nachfolgende Klassifikation ergeben sich Schwierigkeiten. Wie in Kap. 6.4. gezeigt, werden die spektralen Werte so stark verändert, daß es zu Fehlklassifikationen kommt.

Ergebnis der Landnutzungsklassifikation

Der enorme Speicherbedarf der Satellitendaten und die erforderliche Rechenkapazität für die Klassifikation machen es notwendig, sich (zunächst) auf ein eng begrenztes Gebiet zu beschränken. Das Ergebnis der Klassifikation wird daher sicherlich nicht als langfristig unveränderliche Datenschicht in das NPK-GIAS eingehen, zumal die Ausgangsdaten nicht dem neuesten Stand entsprechen (Landsat TM von 1984!) und die Klassifikation sich auf den Ostteil des geplanten Nationalparks beschränkt. Dennoch ist der Autor der Meinung, daß mit der vorliegenden Arbeit gezeigt wird, daß für eine Institution wie die Planungsstelle des Nationalparks Kalkalpen, die über begrenzte finanzielle und personelle Kapazitäten verfügt, eine Landnutzungsklassifikation aus Satellitendaten rationell und zielführend ist. Denkbar wäre selbstverständlich auch eine Klassifikation aus Luftbildern oder Orhopotos, die in einem zweiten Schritt in digitale Form zur Integration in das NPK-GIAS umzuwandeln wäre. Es erscheint aber unwahrscheinlich, daß die Kosten einer derartigen Vorgangsweise niedriger liegen würden, da die hohen Qualifikationsanforderungen und die erforderliche Technik ebenfalls nicht von der Nationalparkplanung selbst abgedeckt werden könnten.

Die größte Schwierigkeit bei der vorliegenden Untersuchung ist die Tatsache, daß für das Gebiet des geplanten Nationalparks Kalkalpen (noch) keine homogenen multispektralen Satellitendaten zur Verfügung stehen. Dies bedeutet konkret, daß eine Vorgangsweise, die z.B. für die Kombination SPOT XS/SPOT P als günstig befunden wird, für Landsat TM/SPOT P nicht zwangsläufig geeignet ist und umgekehrt. Diese Tatsache erschwert die Gesamtklassifikation und bedingt einen relativ hohen Arbeitsaufwand für die Phase der Ermittlung der geeignetsten Methode (vergl. Abb. 5.10.). Das Gesamtergebnis mit einer ermittelten Genauigkeit von 80 % (vergl. Kap. 7.5) ist unter den gegebenen Bedingungen nach Ansicht des Autors als Erfolg zu werten.

Neben der mehrfach beschriebenen geometrischen Auflösung spielt auch die radiometrische Auflösung eine große Rolle. Die starke Differenzierung des Landsat Thematic Mappers in 7 Kanälen ermöglicht verschiedene Anwendungen, die durch SPOT XS nicht alle abgedeckt werden können. Da im vorliegenden Fall nur die Landsat TM-Kanäle 2,3 und 4 zur Verfügung standen, wird hier nicht näher auf diese Vorteile eingegangen. Generell erscheint dem Autor jedoch für ein umfassendes, naturräumlich orientiertes Informationssystem, wie das NPK-GIAS, der Einsatz von Landsat TM-Daten als überaus wünschenswert, auch wenn von Seiten der Anbieter von Satellitendaten teils ein anderes Bild gezeichnet wird.

Während die hohe räumliche Auflösung von SPOT beispielsweise für Fragestellungen der Siedlungsentwicklung hinsichtlich einer Planungsrelevanz zwingend erforderlich erscheint, kann die Auflösung des Landsat TM für viele naturräumliche Untersuchungen als durchaus ausreichend angesehen werden. Die höhere radiometrische Auflösung verschafft den Landsat TM-Daten ohnehin Vorteile vor allem für naturräumliche Fragestellungen bzw. als Ausgangsbasis von Klassifikationen.

Wie gut (genau) sind die Ergebnisse?

Die Genauigkeitsabschätzung (*accuracy assesment*) hat eine Gesamtgenauigkeit (besser Wahrscheinlichkeit) von 80% ergeben. Dennoch sind gewisse Fehlklassifikationen nicht auszuschließen. Im allgemeinen treten meist innerhalb von Hauptklassen (z.B. *Wald*) je nach Exposition Verfälschungen in eine Richtung (z.B. in Richtung *Laubwald* oder *Nadelwald*) auf. Dies ist in der vorliegenden Klassifikation jedoch weniger der Fall. Die Trennung zwischen Laub- und Nadelwald ist gut gelungen. Probleme treten großteils an steilen bewaldeten Schatthängen auf. Auch die vegetationslosen bis gering bewachsenen Schatthänge bereiten gewisse Schwierigkeiten. Dies muß jedoch vor dem Hintergrund des Verwendungszwecks gesehen werden. Solange kein systematischer Fehler beinhaltet ist, stellt dies keine Einschränkung der Landnutzungsklassifikation dar, für eine detaillierte Bestandeserfassung eines Forstbetriebes wäre dagegen eine Fernerkundungsanalyse mit Einzelbaumauswertung (Infrarotluftbild) vorzuziehen.

Die Lagegenauigkeit der einzelnen Bildelemente des Klassifikationsergebnisses entspricht der Lagegenauigkeit der Ausgangsdaten. Diese liegt zwischen 5 und 80 m, wobei die meisten Stichproben zwischen 10 und 20 m von den Kontrolldaten differieren. Diese Werte können für die vorliegenden, nicht über ein digitales Geländemodell entzerrten Satellitenbilder für die meisten Verwendungszwecke als ausreichend angesehen werden, erreichen jedoch bei der direkten (rechnerisch additiven oder multiplikativen) Integration mit räumlich höher auflösenden Daten, z.B. digitalen Orthophotos, die Grenze der Tolerierbarkeit. Es sollte jedoch für die Nationalparkplanungsstelle in Zukunft möglich sein, die Satellitendaten mit dem im 50 m-Raster zur Verfügung stehenden Digitalen Geländemodell aufzubereiten.

Ein entscheidender Punkt für die Genauigkeit eines einzelnen Bildelements ist die Aufbereitung des Ergebnisses im Sinne einer Vereinfachung bzw. Glättung. Dort, wo es zur Reduktion von Einzelpixelphänomenen unbedingt notwendig erscheint, wird darauf nicht verzichtet werden können. Beispiel hierfür ist die Konvertierung Rasterdateien in ein Vektor-GIS, wo für den Aufbau der Topologie enorme Rechenkapazitäten notwendig sind. Ansonsten kann das Klassifikationsergebnis in einem Raster-GIS gezielter manipuliert werden, indem z.B. für einzelne Klassen getrennt Polygone unter einer bestimmten Größe eliminiert und einer bestimmten anderen Klasse zugeordnet werden, was derzeit in dem verwendeten Raster-GIS über den Umweg einer Kontiguitätsanalyse mit anschließendem Filtern zwar möglich ist, jedoch als umständlicher und weniger steuerbar erscheint.

Es wurde darauf verzichtet, Fahrwege, Bäche und kleine Flüsse genauer herauszuarbeiten (vergl. Kap. 7.4.). Statt eine Überklassifikation in Kauf zu nehmen erscheint es sinnvoller, solche linearen Erscheinungen nachträglich aus den teilweise vorhandenen digitalen Vektordaten des NPK-GIAS zu übernehmen und in die Landnutzungsdarstellung zu integrieren, entweder in Form einer graphischen Überlagerung der Linien oder indem die Vektoren konvertiert ("aufgerastert") werden und die jeweiligen Bildelemente des Klassifikationsergebnisses ersetzen.

Aussichten

Die vielfältigen Auswertungs-, Analyse- und Simulationsmöglichkeiten eines GIS können in dieser Arbeit nur gestreift werden. Vielleicht gibt diese Untersuchung dennoch eine Anregung für verschiedene Anwendungen von Satellitendaten und Fernerkundung in Raumplanung und Landschaftsökologie. Auch die Verwendung von digitalen Orthophotos, die in der vorliegenden Arbeit in einem Beispielsgebiet mit Satellitendaten zum Zwecke der Verbesserung der räumlichen Auflösung kombiniert wurden, erscheint für die Zukunft überaus vielversprechend. Durch die technische Entwicklung sollte es in Zukunft möglich sein, die Vorteile hoher räumlicher und spektraler Auflösung in einem Bildverarbeitungssystem/GIS zu vereinen.

LITERATURVERZEICHNIS

ABLER, R., ADAMS, J., GOULD, P., 1971, Spatial Organisation. The Geographer's View Of The World, Englewood Cliffs.

Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), (Hrsg.), 1990, Einsatz graphischer Datenverarbeitung in der Landes- und Regionalplanung, Hanover. (= Forschungs- und Sitzungsberichte 183)

ALBERTZ, J., 1991, Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. Eine Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt.

APFL, G., 1989, Satellitenbilddaten als Teil eines Geographischen Informations-Systems. In: DOLLINGER und STROBL (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie, Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1989, S. 101 - 112, Salzburg. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 13)

ARONOFF, S., 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspective, Ottawa.

BARRET, E.C. and CURTIS, L.F., 1976, Introduction to Environmental Remote Sensing, New York.

BECKEL, L., 1986, Durch Satellitenaufnahmen zu einem besseren Österreichbild. In: Österreich in Geschichte und Literatur mit Geographie, 30. Jg., Heft 1, S. 63 - 75.

BECKEL, L., 1988a, SPOT- und Landsat TM-Daten für den Einsatz in der Kartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.), Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1988, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 54 - 65.

BECKEL, L., 1988b, GEOSPACE: Die autorisierte Vertriebsstelle von SPOT-IMAGE, EURIMAGE und EOSAT für Österreich. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 206 - 217.

BLASCHKE, T. und DOLLINGER, F., 1991, Naturraumanalyse mit Vektor- und Raster-GIS: Ein Vergleich zwischen Arc/Info und Erdas. In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie III, Salzburg, S. 265 - 276. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 16)

BOGNER, W., 1989, Überblick über das Landes-Umwelt-Informationssystem Steiermark (LUIS). In: DOLLINGER und STROBL (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie, Beiträge zum GIS-Symposium 5.-7. Juli 1989, S. 185 - 191, Salzburg. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 13)

BOLSTAD, P. and LILLESAND T.M., 1991, Automated GIS Integration in Landcover Classification. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers, Vol. 4, GIS, S. 23 - 32.

BRAEDT, J., 1989, Satellitenbilder als Baustein eines Informationssystems für Landesplanung und Umweltschutz. In: SCHILCHER, M. und FRITSCH, D. (Hrsg.), Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen, Karlsruhe, S. 247 - 259.

BRAEDT, J., 1990, Auswertung von Satellitendaten für Aufgaben der Landesplanung und des Umweltschutzes in der Region München. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 75 - 82. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)

BRENNAN, M., MOORE, T., SPENCE, B., 1989, 10 Meter Database Development Using LANDSAT Thematic Mapper and Digitized Map Data: Preliminary Results. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore, S. 165 - 172.

- BUCHANAN, M.D. and PENDERGRASS, R., 1980, Digital Image Processing: Can Intensity, Hue and Saturation replace Red, Green and Blue? In: *Electro-Optical Systems Design*, Vol. 12, Nr. 3, S. 29 - 36.
- BUCHROITHNER, M.F., 1986, Geologisch-geotechnische Anwendungsbeispiele von Fernerkundungsdaten verschiedener Sensoren. In: *Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung*, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 163 - 172.
- BUCHROITHNER, M.F., 1987, Fernerkundung zur Kartierung alpiner Räume. In: GIERLOFF-EMDEN, H.G. und WILHELM, H. (Hrsg.), *Entwicklung des Instituts für Geographie an der Ludwig-Maximilians-Universität München: Beiträge zur Hydrogeographie und Fernerkundung*, S. 121 - 137, München. (= Münchner Geogr. Abhandlungen, Bd. B 4).
- BUCHROITHNER, M.F., 1988, Computergestützte Auswertung von Satellitenbilddaten in der Forschungsgesellschaft Joanneum. In: MAYER, F. (Hrsg.), *Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986*, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 63 - 77.
- BUCHROITHNER, M.F., 1989, Fernerkundungskartographie mit Satellitenbildern - Digitale Methoden, Reliefkartierung, geowissenschaftliche Applikationsbeispiele, Wien. (= Enzyklopädie: Die Kartographie und ihre Randgebiete, Bd. IV/2)
- BURROUGH, P.A., 1986, *Principles of Geographic Information Systems for Earth Resources Assessment*, Oxford.
- CAMPBELL, J.B., 1987, *Introduction to Remote Sensing*, New York, London.
- CARPER, W.J., LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., 1990, The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformations for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 4, S. 459 - 467.
- CHAVEZ, P.S., 1986a, Digital Merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24000-scale image mapping. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 10, S. 1637 - 1646.
- CHAVEZ, P.S., 1986b, Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Poenix, Arizona region. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 12, S. 1699 - 1708.
- CHAVEZ, P.S. and BOWELL, J., 1988, Comparison of the Spectral Information Content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three Different Sites in the Phoenix, Arizona Region. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, Nr. 12, S. 1699 - 1708.
- CHAVEZ, P.S. and KWARTENG, A.Y., 1989, Extracting Spectral Contrast in Landsat Thematic Mapper Image Data using Principal Component Analysis. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 3, S. 339 - 348.
- CHAVEZ, P.S., SIDES, S.C., ANDERSON, J.A., 1991, Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, Nr. 3, S. 295 - 303.
- CIVCO, D., 1989, Knowledge-Based Land Use And Land Cover Mapping. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, S. 276 - 291.
- CLARK, B.P., 1989, Expert Systems for Image Processing; Past, Present and Future Trends. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, S. 81 - 90.
- CLICHE, G., BONN, F. and TEILLET, P., 1985, Integration of the SPOT Panchromatic Channel into its Multispectral Mode for Image Sharpness Enhancement. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, Nr. 3, S. 311 - 316.

- CRIST, E.P., LAURIN, R., CICONE, R.C., 1986, Vegetation and Soils Information contained in transformed Thematic Mapper Data. In: IGARSS '86 Symposium, Proceedings, Zürich, S. 1465 - 1470.
- CURRAN, P.J., 1985, Principles of Remote Sensing, London, New York.
- COLVOCORESSES, A.P., 1990, An Operational Earth Mapping and Monitoring Satellite System: A Proposal for Landsat 7. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 5, S. 569 - 571.
- Committee of Enquiry Chaired By Lord Chorley, 1987, Handling Geographic Information. Report to the Secretary of State for the Environment of the Committee of Enquiry into the Handling of Geographic Information, London.
- DAVIS, F.W., QUATTROCHI, D.A., RIDD, M.K., LAM, N., WALSH, S., MICHAELSEN, J., FRANKLIN, J., STOW, D., JOHANNSEN, C.J., JOHNSTON, C.A., 1991, Environmental Analysis Using Integrated GIS and Remotely Sensed Data: Some Research Needs and Priorities. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 689 - 697.
- DORNINGER, G., 1990, Begründung und Konzeption eines Geographischen Informationssystems für den "Nationalpark Kalkalpen". In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie II, Salzburg, S. 125 - 131. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 15)
- DORNINGER, G., 1991, Das Geographische Informations- und Analyse-System im Nationalpark Kalkalpen. In: DOLLINGER, F. und STROBL, J. (Hrsg.), Angewandte Geographische Informationstechnologie III, Salzburg, S. 243 - 250. (= Salzburger Geographische Materialien, Heft 16)
- DRURY, S.A., 1990, A Guide to Remote Sensing. Interpreting Images of the Earth, Oxford.
- DUIVEN, F.M. and COMPARATO, C.P., 1991, Quick-Photo - Efficient Computation of Orthophotos from SPOP Imagery. In: GIS/LIS '91, Proceedings, Vol. 2, S. B-51 - B-60.
- DYKSTRA, J., 1990, Data Fusion: Image Processing in the spatial context of a topologically structured GIS. In: ISPRS Commission II/VII International Workshop Proceedings, Advances in Spatial Information Extraction and Analysis for Remote Sensing, 13-17 January 1990, Orono, Maine, S. 2 - 10.
- ECKHARDT, D.W., VERDIN, J.P., LYFORD, G.R., 1990, Automated Update of an Irregular Lands GIS Using SPOT HRV Imagery. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 11, S. 1515 - 1522.
- EHLERS, M., 1989, The Potential of Multisensor Satellite Remote Sensing for Geographic Information Systems. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 4, GIS/LIS, Baltimore, S. 40 - 45.
- EHLERS, M., EDWARDS, G., BEDARD, Y., 1989, Integration of Remote Sensing with geographic information systems: A necessary Evolution. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 11, S. 1619 - 1628.
- EHLERS, M., JADOWSKI, M.A., HOWARD, R.R., BROSTUEN, D.E., 1990, Application of SPOT Data for Regional Growth Analysis and Local Planning. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 2, S. 175 180.
- EHLERS, M., GREENLEE, D., SMITH, T., STAR, J., 1991, Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 669 - 675.
- ENDLICHER, W. und GOSSMANN, H., 1986, Zur Bedeutung der Fernerkundung in der Geographischen Forschung und Lehre. In: ENDLICHER, W. und GOSSMANN, H. (Hrsg.), 1986, Fernerkundung und Raumanalyse, Karlsruhe, S. 1 - 18.
- Erdas Field Guide, 1990, Version 7.4, Atlanta.

- FAUST, N., ANDERSON, W. and STAR, J., 1991, Geographic Information Systems and Remote Sensing Future Computing Environment. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 655 - 668.
- FISCHER, D., 1989, Einsatz von Fernerkundungssystemen für Aufgaben des Umweltschutzes. In: MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, Fernerkundung: Daten und Anwendungen, Karlsruhe, S. 31 - 44.
- FRITSCH, D., 1989, Zur Raster- und Vektorüberlagerung in Hybriden Graphischen Systemen. In: SCHILCHER, M. und FRITSCH, D. (Hrsg.), Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen, Karlsruhe, S. 261 - 269.
- van GENDEREN, L., 1988, The Production of Thematic Maps using Satellite Imagery. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 90 - 98.
- GLASER, R., 1990, Flächenbilanzierungen aus Landsat 5-Thematic-Mapper-Daten. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 57 - 64. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)
- GÖPFERT, W., 1987, Raumbezogene Informationssysteme: Datenerfassung - Verarbeitung - Integration - Ausgabe auf der Grundlage digitaler Bild- und Kartenverarbeitung, Karlsruhe.
- GONG, P. and HOWARTH, P.J., 1990, An Assessment of Some Factors Influencing Multispectral Land-Cover Classification. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 5, S. 597 - 603.
- GOODENOUGH, D.G., 1988, Thematic Mapper and SPOT Integration with a Geographic Information System. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 54, Nr. 2, S. 167 - 176.
- GOSSMANN, H., 1983, Erfassung und Darstellung des Reliefs der Erde durch Weltraumbilder. In: Geoökodynamik, Bd. 4, 249 - 286.
- GOSSMANN, H., 1989, Satelliten - Fernerkundung. Stand und Perspektiven. In: GR 41, H. 12, S. 674 - 680.
- LaGRO, J., 1991, Assessing Patch Shape in Landscape Mosaics. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, Nr. 3, S. 285 - 293.
- GUANGPING, H., 1989, Bildverbesserung mittels digitaler Filterung, Wien. (= Studienrichtung Vermessungswesen TU Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 31)
- GUGAN, D.J., 1988, Satellite Imagery as an Integrated GIS Component. In: GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world, San Antonio, Vol. 1, S. 174 - 180.
- HAASE, G., 1978, Zur Ableitung und Kennzeichnung von Naturraumpotentialen. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Jg. 122, Heft 2, S. 113 - 125.
- HARRIS, J.R., 1987, Satellite Remote Sensing, An Introduction, London, New York.
- HARRIS, J.R., MURRAY, R., HIROSE, T., 1990, IHS Transformation for the Integration of Radar Imagery with other Remotely Sensed Data. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 12, S. 1631 - 1641.
- HASEKE, H., 1990, Hydrologie und Karstmorphologie des Sengsengebirges, Forschungsprojekt 2.1-90 Nationalpark Kalkalpen, Möltn, Salzburg.
- von HESLER, A., 1984, Zukünftige Informationsbeschaffung für die Planung. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), 1984, Was leistet die Fernerkundung für die räumliche Planung? Hanover (= Beiträge der ARL, Bd. 79), S. 7 - 16.

- ITTEN, K., 1980, Grossräumige Inventuren mit Landsat-Erderkundungssatelliten, Bonn-Bad Godesberg. (= Landeskundliche Luftbildauswertung im mitteleuropäischen Raum, Schriftenfolge der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Heft 15)
- JACKSON, M.J. and MASON, D.C., 1986, The Development of Integrated Geo-Information Systems. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 7, S. 723 - 740.
- JADOWSKI, M. and EHLERS, M., 1989, GIS Analysis of SPOT Image Data. In: ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's, April 2-7 1989, Vol. 4, GIS/LIS, Baltimore, S. 65 - 74.
- JANSEN, L.L., JAARSMA, M.N. van der LINDEN, E.T., 1990, Integrating Topographic Data with Remote Sensing for Land-Cover Classification. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 56, Nr. 11, S. 1503 - 1506.
- JENSEN, J.R., 1986, Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Englewood Cliffs.
- JOHNSON, L.B., JOHNSTON, C.A., PASTOR, J., 1988, Raster and Vector Data in Ecological Research Applications. In: GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world, San Antonio, Vol. 1, S. 386 - 394.
- KALLIANY, R., 1986, Vergleichende Untersuchungen zur Auflösung des Thematic Mapper. In: Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 109 - 120.
- KERL, I., 1989, Vegetationserfassung der Stadt München durch kombinierte Auswertung von Landsat-TM und Sojuzdaten in Verbindung mit vektorieller Liniengraphik. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1989, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1987, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 216 - 222.
- KEYDEL, W., 1991, Radarverfahren zur Satelliten-Fernerkundung am Beispiel des ERS-1. In: Die Geowissenschaften, Nr.4/5, S. 102 - 110.
- KONECNY, G., 1989, Stand und Entwicklung der Fernerkundung durch Satellitendaten und deren Einsatz in der Kartographie. In: MAYER, F. (Hrsg.), 1989, Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1987, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 2) S. 12 - 23.
- KRAUS, K. und SCHNEIDER, W., 1988, Fernerkundung - Physikalische Grundlagen und Aufnahmetechniken, Bd. 1, Bonn.
- KÜHBAUCH, W., 1991, Anwendungen der Radarfernerkundung in der Landwirtschaft. Erfassung der landwirtschaftlichen Landnutzung. In: Die Geowissenschaften, Nr. 4/5 91, S. 122 - 127.
- KUNDERT, K., 1988, Untersuchungen zur automatischen Klassifikation von räumlichen Einheiten, Zürich. (= Geoprocessing Reihe, Vol. 7)
- LANDAUER, G., 1990, Möglichkeiten der Waldschadenserkenkung mit multispektralen Scannerdaten. In: Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg.), Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung in der Landschaftsökologie, Laufen, S. 39 - 45. (= Laufener Seminarbeiträge 1/1990)
- LAUER, D.T., ESTES, J., JENSEN, J., GREENLEE, D., 1991, Institutional Issues Affecting the Integration and Use of Remotely Sensed Data and Geographic Information Systems. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 57, 6, S. 647 - 654.
- LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W., 1987, Remote Sensing and Image Interpretation (2nd Ed.), New York.
- LÖFFLER, E., 1985, Geographie und Fernerkundung. Eine Einführung in die geographische Interpretation von Luftbildern und modernen Fernerkundungsdaten, Stuttgart. (= Teubner Studienbücher der Geographie)

- LOGAN, T. and BRYANT, N.A., 1987, Merging CAD/CAM/Mapping with GIS and Image Processing. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 10, S. 1391 - 1395.
- LUNETTA, R.S., CONGALTON, R.G., FENSTERMAKER, L.K., JENSEN, J., McGWIRE, K., TINNEY, L.R., 1991, Remote Sensing and Geographic Information System Data Integration: Error Sources and Research Issues. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 6, S. 677 - 687.
- MA, Z. and OLSON, C.E., 1989, A Measurement of Spectral Overlap among Cover Types. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 10, S. 1441 - 1444.
- MACE, T.H., 1990, Multistage Remote Sensing for a National Environmental Monitoring Program Database. In: *GIS/LIS '90, 1990, Proceedings*, Vol. 2, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 691 - 700.
- MAFFINI, G., 1987, Raster versus Vector Data Encoding and Handling: A Commentary. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 10, S. 1397 - 1398.
- MAREK, K.-H., 1988, Zum Vergleich des Informationsgehalts verschiedener Fernerkundungsaufnahmen. In: *Vermessungstechnik*, 36. Jg., H. 5, S. 152 - 156.
- MARKWITZ, W., 1989, Vom Satellitensignal zur Bildkarte. In: MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, *Fernerkundung: Daten und Anwendungen*, Karlsruhe, S. 1 - 10.
- MARKWITZ, W. und WINTER, R. (Hrsg.), 1989, *Fernerkundung: Daten und Anwendungen*, Karlsruhe.
- MARSH, S.E., WALSH, J.L., HUTCHINSON, C.F., 1990, Development of an Agricultural Land-Use GIS for Senegal Derived from Multispectral Video and Photographic Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 3, S. 351 - 357.
- MASON, D.C., CORR, D.G., CROSS, A., HOGG, D.C., LAWRENCE, D.H., PETROU, M., TAILOR, A.M., 1988, The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images. In: *Int. J. Geographical Information Systems*, Vol. 2, Nr. 3, S. 195 - 215.
- MATHER, P.M., 1987, *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*, St. Edwards, GB.
- MAUSEL, P.W., KRAMBER, W.J., LEE, J.K., 1990, Optimum Band Selection for Supervised Classification of Multispectral Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 1, S. 55 - 60.
- MAYER, F., 1988, Einführung in das Symposium "Digitale Technologie in der Kartographie". In: MAYER, F. (Hrsg.), 1988, *Digitale Technologie in der Kartographie. Wiener Symposium 1986*, Wien. (= Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 1) S. 9 - 10.
- MORAN, S., 1990, A Window-Based Technique for Combining Landsat Thematic Mapper Thermal Data with Higher-Resolution Multispectral Data over Agricultural Lands. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 3, S. 337 - 342.
- MÜLLER, R., VOSS, H.-H., van der PIEPEN, H., 1989, Digitale Verarbeitung von Fernerkundungsdaten zur Erkennung von Umweltschäden. In: *GIS 4/89*, S. 13 - 25.
- MULLER, J.P. (Ed.), 1986, *Digital Image Processing in Remote Sensing*, London, Philadelphia.
- ÖTTL, H., 1991, Mikrowellenfernerkundung mit Radar. In: *Spektrum der Wissenschaft*, 3/91, S. 22 - 26.
- OSLIN, A.J., 1988, GIS to Integrate Remote Sensing and CADD for Engineering and Environmental Studies. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 407 - 416.
- PARLOW, E., 1985, LANDSAT-Thematic Mapper und SPOT. Fernerkundungssatelliten der 2. Generation. In: *Geographische Rundschau*, Jg. 37, H. 4, S. 194 - 198.

- PEUQUET, D.J. and MARBLE, D.F. (Ed.), 1990, *Introductory Readings in Geographic Information Systems*, London, New York, Philadelphia.
- PFEIFFER, S., 1985, Klassifizierung mit Zusatzinformationen. In: BÄHR, H.P. (Hrsg.), 1985, *Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung*, Karlsruhe, S. 317 - 347.
- VAN DER PIEPEN, H., DOERFNER, R., GIERLOFF-EMDEN, H.-G. unter Mitarbeit von AMMAN, V., BARROT, K.W. und HELBIG, H., 1987, *Kartierung von Substanzen im Meer mit Flugzeugen und Satelliten*, München. (= Münchner Geogr. Abhandlungen, Band A 37)
- QUIEL, F., 1985, Digitale Multispektrale Klassifizierung. In: BÄHR, H.P. (Hrsg.), 1985, *Digitale Bildverarbeitung - Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung*, Karlsruhe, S. 293 - 315.
- RADO, B., BURY, A. and SMITH, C., 1991, Raster-Vector Integration: Real World Solutions. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers*, Vol. 4, GIS, S. 166 - 172.
- RICHELSON, J.T., 1991, Perspektiven der Fernaufklärung per Satellit. In: *Spektrum der Wissenschaft*, 3/91, S. 44 - 52.
- ROBINSON, R. and NAGEL, D., 1990, Land Cover Classification of Remotely Sensed Imagery and Conversion to a Vector-Based GIS for the Suwannee River Water Management District. In: *GIS/LIS '90*, 1990, *Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim.
- ROTT, H., 1986, Fernerkundung von Schnee und Eis mittels neuer Sensoren. In: *Zweites Österreichisches Symposium Fernerkundung*, Wien. (= Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien), S. 91 - 98.
- ROTT, H., 1991, Aktive Mikrowellenverfahren zur Erforschung der Landkryosphäre. In: *Die Geowissenschaften*, Nr. 4/5, 150 - 155.
- SABINS, F., 1986 (2nd Ed.), *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, New York.
- SADER, S.A., STONE, T.A., JOYCE, A.T., 1990, Remote Sensing of Tropical Forests: An Overview of Research and Applications Using Non-Photographic Sensors. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 10, S. 1343 - 1351.
- SCHNEIDER, S., 1979/80, Die Problematik in der Anwendung von Fernerkundungsverfahren für Landesplanung und Umweltüberwachung. In: *Geographisches Taschenbuch 1979/80*, S. 100 - 108.
- SCHOWENGERDT, R.A., 1983, *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing*, Orlando.
- SCHULZ, B.S., 1988, Hypothesenfreie Landnutzungsklassifizierung aus LANDSAT 5 TM - Bilddaten. In: *Bildmessung und Luftbildwesen*, Heft 3, S. 89 - 97.
- SIEBERT, A., 1990, Die Integration von Satellitenbilddaten und vorliegenden Kartenmaterialien für Zwecke der Raumplanung. In: *GIS 3/1990*, S. 19 - 25.
- SILFER, A.T., 1988, Generating GIS Coverages from Satellite Imagery. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 52 - 57.
- SINGH, K.D., 1990, Design of a Global Tropical Forest Assessment. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 10, S. 1353 - 1354.
- STAR, J. and ESTES, J., 1990, *Geographic Information Systems. An Introduction*, Englewood Cliffs.

- STAR, J., ESTES, J. and DAVIS, F., 1991, Improved Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems: A Background to NCGIA Initiative 12. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 57, 6, S. 643 - 645.
- STOW, M. and CONGALTON, R.G., 1986, Accuracy Assessment: A User's Perspective. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, Nr. 3, S. 397 - 399.
- STOW, D., WESTMORELAND, S., MCKINSEY, D., MERTZ, F., NATHANSON, J., SPERRY, S., NAGEL, D., 1990, Efficient Creation, Correction and Updating of Vector-Coded GIS Coverages Using Remotely Sensed Data. In: *GIS/LIS '90, 1990, Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 209 - 218.
- TOWNSHEND, J.R. (Ed.), 1981, *Terrain analysis and remote sensing*, London.
- TROTTER, C.M., 1991, Remotely-sensed data as an information source for geographical information systems in natural resource management: a review. In: *Int. Geographical Information Systems*, Vol. 5, Nr. 2, S. 225 - 239.
- WALLACE, T. and CLARK, S.R., 1988, Raster and Data Vector Ingetration: Past Techniques, Current Capabilities and Future Trends. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 418 - 426.
- WALSH, S.J., COOPER, J.W., v.ESSSEN, I.E., GALLEGGER, K.R., 1990, Image Enhencement of Landsat Thematic Mapper Data and GIS Data Integration for Evaluation of Resource Characteristics. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 56, Nr. 8, S. 1135 - 1141.
- WEIBEL, R. and DeLOTTO, J.S., 1988, Automated Terrain Classification for GIS Modeling. In: *GIS/LIS '88 Proceedings accessing the world*, San Antonio, Vol. 1, S. 618 - 627.
- WELCH, R., 1985, Cartographic Potential of SPOT Image Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, Nr. 8, S. 1085 - 1091.
- WELCH, R. and EHLERS, M., 1987, Merging Multispectral SPOT HRV and Landsat TM Data. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 53, Nr. 3, S. 301 - 303.
- WESTMORELAND, S. and STOW, D., 1990, Use of Satellite Imagery and Ancillary Data of Update a Vector-Coded Geographic Information System. In: *GIS/LIS '90, Proceedings*, Vol. 1, 7 - 10 November 1990, Anaheim, S. 383 - 391.
- WHEELER, D., 1989, A Comparison of "Tasseled CAP" Transformed Values vs. Row TM Data for unsupervised Landcover Classification. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, 1989, Agenda for the 90's*, April 2-7 1989, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore S. 17 - 23.
- YOSHIMURA, M. and OSHIMA, T., 1991, Monitoring of the Vegetation Condition by Tasseled Cap Transformation. In: *ASPRS/ACSM Annual Convention, Technical Papers*, Vol. 3, Remote Sensing, Baltimore, S. 506 - 515.
- ZHOU, Q., 1989, A Method for Integrating Remote Sensing and Geographic Information Systems. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, Nr. 5, S. 591 - 596.

Lebenslauf

Name: Thomas Blaschke

geboren: 3.8.1965 in Laufen/Obb.

Eltern: Franz Blaschke, Dipl. Rechtspfleger, geb. 28.4.1928
Vera Blaschke, Hausfrau, geb. 1.10. 1933

Schule: 1971 - 1975 Grundschule Laufen

1975 - 1984 Gymnasium Laufen

1.7.1984 - 30.6.1986 Bundeswehr, Reserveoffiziersausbildung

1.7.1986 - 15.9.1986 Studienaufenthalt in den USA

Studium: seit WS 1986/87 Studium der Geographie an der Universität Salzburg

24.10.1988 Erste Diplomprüfung

10.7.1989 - 15.9.1989

Praktikum am Amt für Militärgeographie in
Euskirchen (BRD)