

**Rezente Landschaftsveränderungen im Nanga Parbat-Gebiet (Nordwest-Himalaya)**

Eine Untersuchung mit Hilfe einer integrativen Methode aus Photogrammetrie, Satellitenfernerkundung  
und Geographischen Informationssystemen (GIS)

**Dissertation**

zur

**Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat)**

der

**Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät**

**der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn**

vorgelegt von

**Regine Spohner**

aus

**Neubeckum  
Bonn (Mai) 2004**

Angefertigt mit Genehmigung der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

1. Referent: Prof. Dr. M. Winiger

2. Referent: Prof. Dr. G. Menz

Tag der Promotion: 16.11.2004

## Vorwort

Der Untersuchung von Landschaftsveränderungen in Hochgebirgsräumen wird aufgrund der hohen lokalen und regionalen Fragilität der Mensch-Umwelt-Interaktionssysteme hohe Priorität beigemessen. Nicht nur ein lückenhaftes Wissen über die lokal stark differenzierten naturräumlichen Ressourcen sondern auch die häufig fehlenden Kenntnisse über die zugrunde liegenden treibenden Faktorenkomplexe fordern raum-zeitliche qualitative und quantitative Forschungsansätze. Hier können fernerkundliche Erfassungsmethoden und GIS-basierte Analysen von Ressourcenpotenzial und Nutzungsintensität einen entscheidenden Beitrag leisten. Die vorliegende Arbeit stellt sich im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes „Kulturraum Karakorum - Naturraumausstattung und natürliches Potential der Karakorum-Region und deren raumzeitliche Veränderungen“ (CAK - Universität Bonn) dieser Herausforderung.

Das Gelingen der Arbeit wurde durch die Mitwirkung zahlreicher Personen unterstützt, von denen hier einige stellvertretend genannt werden. An erster Stelle möchte ich mich bei meinem akademischen Lehrer Prof. Dr. Matthias Winiger bedanken, der mich in die wunderbare Hochgebirgswelt des Karakorum und NW-Himalaya eingeführt hat und somit den Grundstein für diese Arbeit gelegt hat. Er hat die Arbeit mit kritischen und richtungsweisenden Diskussionen begleitet, das Fortschreiten der Analysen mit großem Interesse verfolgt und dabei die Freiräume wissenschaftlicher Betätigung nie eingeengt. Mein Dank gilt auch Prof. Dr. Irmtraud Stellrecht, Prof. Dr. Eckart Ehlers und Prof. Winiger in ihrer Funktion als Initiatoren und Koordinatoren des Schwerpunktprogrammes für die Unterstützung der wissenschaftlichen Organisation des Projektes und der Bereitstellung der Infrastruktur für die Feldarbeiten in Pakistan. Die Deutsche Forschungsgesellschaft ermöglichte durch Sach- und Personalmittel den Geländeaufenthalt in Pakistan, die Beschaffung von Hardware und Software sowie die Ausarbeitung des umfangreichen Daten-Pools. Das Photogrammetrische Institut der Universität Bonn stellte kostenlos eine hochwertige Mittelformat-Kamera-Ausrüstung zur Verfügung, die bei mehreren Geländeaufenthalten zum Einsatz kam. Umfangreiches Bildmaterial von Prof. Winiger, Dr. Marcus Nüsser und Dipl. Geogr. Andre Walter bereicherte und unterstützte den Aufbau des projekteigenen Bildarchives. Besonderer Dank gilt auch der Firma Definiens Imaging GmbH, die eine kostenlose zeitlimitierte Version von eCognition 2.1 für die Klassifizierung der Fernerkundungsdaten zur Verfügung stellte.

Stellvertretend für die erfolgreiche Zusammenarbeit im Schwerpunktprogramm und insbesondere für die wertvollen Diskussionen möchte ich mich bei Dr. Marcus Nüsser, Dr. Jürgen Clemens, Dr. Thomas Reineke und Dipl. Geogr. Andre Walter bedanken. Die Feldarbeit wurde durch den *Mountain Guide* Akhtar Hussain mit seinen fundierten Geländekenntnissen, seiner großen Gastfreundschaft und seiner assistierenden Tätigkeit bei den fotografischen Geländeaufnahmen wesentlich unterstützt und erleichtert - auch ihm gilt mein besonderer Dank. Sehr hilfreich bei der Vorverarbeitung und Archivierung der umfangreichen Bilddaten sowie bei der Digitalisierung der Vegetationskarte der Nanga Parbat-Region waren die unterstützenden Tätigkeiten von Dipl. Geogr. Georg Lieth und Ingo Meier. Bei der Programmierung war mir Uwe Ritzmann eine unverzichtbare Hilfe. Methodische Fragestellungen konnte ich immer mit Prof. Dr. Gunter Menz diskutieren, dem ich dafür und wegen seiner Bereiterklärung zur Zweitbegutachtung der Arbeit sehr dankbar bin. Während des Ausarbeitungspozesses der schriftlichen Fassung der Arbeit erhielt ich stetigen und aufmunternden Zuspruch von zahlreichen Personen, von denen ich hier stellvertretend Prof. Dr. Frauke Kraas, Ursula Dörken und Veronika Selbach nennen möchte. Für die Hilfe bei der Übersetzung der Zusammenfassung danke ich Siân Ölschläger. Zum drucktechnischen Gelingen der vorliegenden Arbeit hat Werner Gorzolla einen wesentlichen Beitrag geleistet. Auch das gute soziale Umfeld in meinem Heimatort Bandorf hat mir über so manche Hürde beim Zieleinlauf zu dieser Dissertation geholfen.

In besonderem Maße und aus ganzem Herzen möchte ich meinen Eltern danken für ihre finanzielle und emotionale Unterstützung während meiner bisherigen wissenschaftlichen Laufbahn. Ebenso gilt mein herzlichster Dank meinem Mann Stephan Spohner, der mir immer den nötigen Freiraum für diese Arbeit geschaffen hat, indem er sich um unsere beiden Kinder Naja und Ole gekümmert hat, die verständlicherweise nicht immer die notwendige Geduld für die wissenschaftliche Tätigkeit ihrer Mutter hatten. Ich widme die vorliegende Schrift meinen Eltern und meiner Familie!

Remagen, im Mai 2004

Regine Spohner



## Inhaltsverzeichnis (Textband)

Vorwort .....	I
Verzeichnis der Abbildung (Textband) .....	VI
Verzeichnis der Tabellen (Textband) .....	VIII
Verzeichnis der Abbildung und Tabellen (Anhangband) .....	X
Verzeichnis der Abkürzung .....	XVI
<b>1. Problemstellung und Forschungsansätze .....</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung .....	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung .....	3
1.3 Konzeption und Struktur der Arbeit - Begriffe und Definitionen .....	8
1.4 Integration von Fernerkundung und GIS als wertvolles Werkzeug für lokale und regionale <i>land-use/land-cover change</i> Analysen im Hochgebirge .....	12
<b>2. Untersuchungsraum – eine geographische Einordnung .....</b>	<b>17</b>
2.1 Lage und Topographie .....	17
2.2 Klima und Vegetation .....	18
2.3 Demographische Situation und Landnutzung .....	23
2.4 Regionale Ressourcennutzung und nutzungsrelevante Einflussfaktoren .....	26
<b>3. Datenlage .....</b>	<b>30</b>
3.1 Datenmaterial für die <i>land-use/land-cover change</i> Analyse .....	30
3.1.1 <i>Historisches Kartenmaterial</i> .....	31
3.1.2 <i>Vergleichendes Fotomaterial</i> .....	32
3.1.3 <i>Satellitenbilddaten</i> .....	34
3.2 Kombinierte Vorgehensweise aus qualitativer und quantitativer Bildanalyse - Kernräume der lokalen und regionalen Analyse .....	37
3.3 Hardware und Software .....	39
<b>4. Daten-Preprocessing für die qualitative und quantitative Auswertung .....</b>	<b>41</b>
4.1 Vorüberlegungen zur Aufbereitung der unterschiedlichen Datenebenen .....	41
4.2 Einschränkungen, Probleme und Homogenisierung der Abgrenzungskriterien .....	42
4.3 Aufbereitung des historischen Kartenmaterials .....	44
4.3.1 <i>Digitalisierung der topographischen und thematischen Karten</i> .....	44
4.3.2 <i>Berechnung eines digitalen Höhenmodells</i> .....	45
4.4 Preprocessing des Fotomaterials .....	45
4.4.1 <i>Vorlagenerstellung für den multitemporalen Bildvergleich: Digitalisierung,       Kontrastverbesserung, Panoramen, Bild-zu-Bild-Entzerrung</i> .....	45
4.4.2 <i>Reprotechnische Verkleinerung der historischen Messbilder</i> .....	47
4.5 Preprocessing der Satellitendaten .....	48
4.5.1 <i>CORONA-Satellitenbilder</i> .....	48
4.5.2 <i>KFA 1000 und KVR 1000-Bilder</i> .....	50
4.5.3 <i>IRS-1C Multispektralbild</i> .....	51

4.5.4	<i>ASTER Level 1B Multispektralbild</i> .....	53
4.6	Geokodierung der Zeitschnittbilder – Probleme und Lösungsansatz.....	53
<b>5.</b>	<b>Qualitative Bildanalyse - multitemporale Fotointerpretation</b> .....	56
5.1	Auswertung vergleichender Bildpanoramen und Fotografien im Untersuchungsgebiet - Methodische Vorgehensweise.....	56
5.2	Einflussfaktoren einer visuellen Bildinterpretation von Landschaftselementen und -strukturen aus multitemporalen Fotografien .....	59
5.3	Lokale qualitative Analyse der Nanga Parbat-Region .....	60
5.3.1	<i>Rupal, Tarishing und Churit</i> .....	62
5.3.2	<i>Gurikot - Astor</i> .....	65
5.3.3	<i>Harchu - Doian</i> .....	73
5.3.4	<i>Raikot und Muthat</i> .....	77
5.3.5	<i>Die Talkammer von Gor</i> .....	81
5.3.6	<i>Zusammenfassung der qualitativen multitemporalen Bildanalyse</i> .....	82
5.4	Bewertung der systematischen qualitativen Analyse der Landschaftsveränderung.....	85
<b>6.</b>	<b>Quantitative Auswertung raumbezogener Basisdaten - Photogrammetrie und Fernerkundung</b> .....	87
6.1	General baseline data für die quantitative lokale und regionale <i>land use/land cover</i> Analyse.....	87
6.2	Quantitative Bildanalyse von terrestrischen Stereobildern – Basisdaten für die Zeit- schnittanalyse im lokalen Maßstab.....	87
6.2.1	<i>Analytische Auswertung terrestrischer Stereomess- und Stereoamateurbilder</i> .....	88
6.2.2	<i>Grenzen und Möglichkeiten der Auswertung terrestrischer Fotografien</i> .....	95
6.3	Kartiergenauigkeit und Qualitätsindex der historischen Vegetationskarte.....	98
6.4	Basisdaten aus Satellitenbildklassifikationen für die quantitative Zeitschnittanalyse im regionalen Maßstab .....	102
6.4.1	<i>Multitemporale Auswertung von Kartendaten und Multisensor- Fernerkundungsbildern</i> .....	102
6.4.2	<i>Pixelbasierte und objektbezogene Klassifikation von multispektralen und panchromatischen Bildern</i> .....	103
6.4.3	<i>Fallstudie 1: objektorientierter Ansatz mit IRS-1C-Szene</i> .....	107
6.4.4	<i>Fallstudie 2: Halbautomatische Klassifikation von ASTER-Daten (pixelbasiert)</i> .....	112
6.4.5	<i>Fallstudie 3: visuelle Interpretation und semiautomatische Erfassung von land cover Information aus VHR-Satellitenbildern</i> .....	117
6.5	Zusammenfassung: raumbezogene Basisdaten der Nanga Parbat-Region.....	124
<b>7.</b>	<b>Analyse der Veränderungen im lokalen und regionalen Maßstab</b> .....	126
7.1	Change Detection aus Karten- und Klassifikations-Basisdaten .....	126
7.2	Regionale Analyse der Veränderungen im Untersuchungsgebiet.....	128
7.2.1	<i>Quantitative gesamtäumliche Analyse</i> .....	129
7.2.2	<i>GIS-basierte Bewertung der Veränderungen</i> .....	132

7.3	Lokale Analyse der Veränderungen in Teilgebieten des Untersuchungsraumes .....	139
7.3.1	<i>Die Talkammer von Gor</i> .....	139
7.3.2	<i>Die untere Waldgrenze des oberen Astor-Tales</i> .....	141
7.3.3	<i>Die untere Waldgrenze des unteren Astor-Tals</i> .....	144
7.3.4	<i>Raikot-Tal</i> .....	145
7.4	Fazit der Veränderungsanalyse des Nanga Parbat-Gebietes.....	146
<b>8.</b>	<b>Zusammenfassung und Abstract</b> .....	148
8.1	Zusammenfassung .....	148
8.2	Abstract .....	150
<b>9.</b>	<b>Literatur- und Materialverzeichnis</b> .....	152
9.1	Literatur .....	152
9.2	Kartenverzeichnis .....	165
9.3	Verzeichnis verwendeter Satellitendaten.....	165

## Verzeichnis der Abbildungen (Textband)

### 1. Problemstellung und Forschungsansätze

Abb.	1.1.1:	Ausschnitte aus den globalen Datensätzen des <i>Mountain Watch Reports 2002</i> .....	2
Abb.	1.2.1:	Lokal-Regionales Mensch-Umwelt-System der Nanga Parbat-Region .....	4
Abb.	1.2.2:	Lokal stark heterogenes Landschaftsbild der Waldressourcen und -nutzungsintensität in der Nanga Parbat-Region .....	6
Abb.	1.3.1:	Vereinfachter Konzeptionsrahmen, methodenpluralistischer Ansatz und Skalenbereich der <i>land-use/land-cover change</i> Analyse der Nanga Parbat-Region.....	9

### 2. Untersuchungsraum – eine geographische Einordnung

Abb.	2.2.1:	Klimadiagramm (Station Astor-Ort) .....	18
Abb.	2.2.2:	Vertikale Gradienten für das Gebiet des zentralen Karakorum.....	19
Abb.	2.2.4:	Expositionsabhängige Verteilung der Vegetation im Chichi-Tal (Rupal) .....	20
Abb.	2.2.5:	Vegetationsdifferenzierung nach Höhenstufen und Expositionen (regional) und für die südexponierte Talkammer von Gor (lokal).....	20
Abb.	2.2.8:	Mushkin: Verzahnung von expandierendem Kulturland mit tief herab reichenden feuchten Nadelwäldern und in Schattenexposition wachsenden <i>Pinus gerardiana</i> Bäumen .....	21
Abb.	2.2.9:	Birkenbestände in Lawinenbahnen (Rama-Tal).....	22
Abb.	2.2.10:	Auskeilen der Trockenkiefer im Becken von Gurikot .....	22
Abb.	2.4.1:	Komplexes Wirkungsgefüge von Naturraumpotenzial und politischen und sozio-ökonomischen Einflußfaktoren in der Nanga Parbat-Region.....	27

### 3. Datenlage

Abb.	3.1.3.1:	Abnahme der deutlichen Differenzierung der spektralen Kurven im NIR- und im sichtbaren Spektrum in der Seneszenzphase der Vegetation.....	35
Abb.	3.2.1:	Kombinierter Workflow der qualitativen und quantitativen Analyse für die <i>land use/ land cover change</i> Analyse der Nanga Parbat- Region (NW-Himalaya) .....	38
Abb.	3.3.1:	Hardware, Software, kombinierte Vorgehensweise der <i>land use/land cover change</i> Analyse.....	40

### 4. Daten-Preprocessing für die qualitative und quantitative Auswertung

Abb.	4.5.1.1:	Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Panoramastreifen (CORONA).....	49
Abb.	4.5.3.1:	Beleuchtungsmodelle IRS 1C und ASTER, Spektral-Profile aus IRS 1C und ASTER mit beleuchtungskorrigierten Spektraldaten für IRS 1C .....	52

### 5. Qualitative Bildanalyse - multitemporale Fotointerpretation

Abb.	5.1.3:	Hierarchischer Interpretationsschlüssel, Objektebenen-Hierarchie .....	57
Abb.	5.1.4:	Verknüpfungsschema Fotointerpretation, Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS .....	58
Abb.	5.2.1:	Deutliche Differenzierung der Birkenwälder von den Koniferenbeständen im Herbst .....	59
Abb.	5.3.1:	Ressourcenpotenzial der Teilgebiete der qualitativen Analyse abgeleitet aus der historischen Datenbasis (Vegetationskarte von TROLL 1939).....	61
Abb.	5.3.2.11:	Bewässertes Grasland und Nutzholzanpflanzungen auf den Erweiterungsflächen oberhalb von Finah.....	67
Abb.	5.3.2.22:	Geschneitete Pappeln entlang der alten Astor-Road in Eidgah.....	68
Abb.	5.3.2.25:	Unsicherer Straßenverlauf der neuen Astor-Straße unterhalb von Mushkin.....	70

Abb. 5.3.2.26:	Verlauf und Qualität der alten Astor-Straße oberhalb von Mushkin und Turbaling .....	70
Abb. 5.3.2.30:	Koniferenbestände oberhalb von Los (Astor-Tal) und Transportrinnen durch manuelles Ziehen der geschlagenen Baumstämme hangabwärts.....	71
Abb. 5.3.2.33:	Verstärktes Auftreten von <i>Juniperus squamata</i> als Anzeichen von erhöhtem Beweidungsdruck im Rama-Tal.....	72
Abb. 5.3.3.4:	Kulturland und Vegetationsformationen bei Luskum und Harchu 1937 .....	73
Abb. 5.3.3.5:	Dichter „Tschelgosa-Wald“ ( <i>Pinus gerardiana</i> ) oberhalb von Harchu 1937 .....	74
Abb. 5.3.3.7:	Expositionsabhängige Verteilung der Vegetation in der Talkammer von Mushkin nach TROLL 1939.....	75
Abb. 5.3.3.11:	Anhebung der unteren Waldgrenze in der Talkammer von Mushkin seit 1934.....	76
Abb. 5.3.3.12:	Vermeintliche Landschaftsveränderung oberhalb des Mushkin Forest (Degra- dierung der Birkenwaldbestände) durch starke Überschätzung der Birkenwälder von C. Troll .....	76
Abb. 5.3.3.14:	Vordringen der Kulturlandflächen der Dauersiedlung Doian (Einfacherntegebiet) in die montane Waldstufe.....	77
Abb. 5.3.4.6:	Weitgehend unveränderte submontane und montane Baum- und Waldbestände auf der westexponierten Talflanke oberhalb von Tato (Raikot-Tal).....	80
Abb. 5.3.5.1:	Landschaftsveränderung im Siedlungsbereich von Darang von 1937 bis 1994.....	82
Abb. 5.3.6.1:	Raumdynamik-Modell der Veränderungen im submontanen Baum- und Wald- bestand und Beeinträchtigung der unteren Waldgrenze im Astor-Tal.....	83
Abb. 5.3.6.2:	Sichtbare Intensivierung der Landwirtschaft in der Sommeranbausiedlung Pungadori (Raikot-Tal) von 1937 bis 1997 ohne große Flächenerweiterung, jedoch mit aktzentuierterer Ackerterrassenlandschaft .....	84

## 6. Quantitative Auswertung raumbezogener Basisdaten - Photogrammetrie und Fernerkundung

Abb. 6.2.1.1:	Ablauf der photogrammetrischen Auswertung und Veränderungsanalyse im lokalen Maßstabbereich.....	89
Abb. 6.2.1.2:	Mehrstufiger Orientierungsprozeß .....	89
Abb. 6.2.1.3:	Messmarken in den historischen Messbildern und aktuellen Vergleichsbildern zur Berechnung der inneren Orientierung.....	90
Abb. 6.2.1.4:	Das PC-gesteuerte analytische Auswertegerät Micro-Photogrammetric System (MPS 2) von ADAM Technology (Quelle: ADAM Technology 1990).....	91
Abb. 6.2.1.6:	Verzeichnung des Distagon T* 4/50mm .....	92
Abb. 6.2.1.10:	Aufstellung der lokalen Analysegebiete mit den zugehörigen Auswerteverfahren und raumbezogenen Basisdaten.....	95
Abb. 6.3.1:	Arbeitsablauf zur Erstellung der Qualitätsindexkarte.....	99
Abb. 6.4.3.1:	Workflow der objektorientierten Klassifikation der IRS-1C-Szene.....	107
Abb. 6.4.4.1:	Workflow der pixelbasierten Klassifikation der ASTER-Szene.....	112
Abb. 6.4.5.1:	Workflow der objektorientierten Klassifikation von VHR- und HR-Daten.....	117
Abb. 6.4.5.2:	Übersichtskarte der Talkammer von Gor .....	118
Abb. 6.4.5.3:	Bewässerungsflur von Gittile (Gor).....	119
Abb. 6.4.5.7:	Multi-Level-Vorgehensweise bei der Ausweisung von Waldflächen und Baum- gruppen aus panchromatischen Satellitenbilddaten (CORONA 1966/68).....	123

## 7. Analyse der Veränderungen im lokalen und regionalen Maßstab

Abb. 7.1.1:	Steuerung der Veränderungsanalyse durch die Ausweisung von zugelassenen und nicht zugelassenen Veränderungsklassen.....	126
Abb. 7.1.2:	Workflow der Veränderungsanalyse für die Nanga Parbat-Region.....	127

Abb. 7.2.2.1:	Vorgehensweise der GIS-Bewertung von detektierter <i>land-use/land-cover</i> Veränderung (2000) in der Nanga Parbat-Region .....	132
Abb. 7.3.1.3:	Ausgedehnte Steineichenwälder oberhalb von Gor 1934 und darüber liegend ein fast geschlossener Gürtel aus feuchten Nadelwaldbeständen .....	141
Abb. 7.3.2.1:	Submontaner Trockenwald in Harchu 1968 (oben) und stark degradierte <i>Pinus gerardiana</i> und <i>Juniperus semiglobosa</i> -Bestände oberhalb von Bulan 1966 ...	142
Abb. 7.3.2.2:	Brennholzvorräte aus <i>Juniperus semiglobosa</i> -Stämmen am westexponierten Hang im Astor-Tal oberhalb von Finah .....	143

## Verzeichnis der Tabellen (Textband)

### 1. Problemstellung und Forschungsansätze

Tab. 1.1.1:	Verändertes Verständnis von <i>land-use/land-cover</i> Veränderungen .....	3
Tab. 1.2.1:	Prioritätenliste der notwendigen Daten für die <i>land-use/land-cover</i> -Forschung .....	5
Tab. 1.4.1:	Zusammenstellung von Forschungsansätzen zur qualitativen/quantitativen Erfassung von Landschaftsveränderungen aus terrestrischen Fotografien .....	14
Tab. 1.4.2:	Zusammenstellung von Forschungsansätzen mit integrativen Ansätzen zur Erfassung und Bewertung von Landschaftsveränderungen .....	15

### 2. Untersuchungsraum – eine geographische Einordnung

Tab. 2.3.1:	Bevölkerungsentwicklung in der Nanga Parbat-Region .....	24
Tab. 2.3.2:	Regionaler Vergleich der Produktivität im Obstbau .....	25

### 3. Datenlage

Tab. 3.1.3.1:	Raumbezogene Projektdaten aus dem Weltraum .....	36
---------------	--	----

### 4. Daten-Preprocessing für die qualitative und quantitative Auswertung

Tab. 4.4.1.1:	Scanauflösung, Dateiformat und Bildgröße der diversen digitalen Bildprodukte .....	46
---------------	--	----

### 5. Qualitative Bildanalyse - multitemporale Fotointerpretation

Tab. 5.3.1:	Bevölkerung 1990 für ausgewählte Dörfer in der Nanga Parbat-Region, Bevölkerungsdichte in Bezug auf das kultivierte Land 1988/89 .....	62
Tab. 5.3.2.1:	Regionaler Vergleich der Anpflanzungsaktivitäten diverser Baumarten.....	65

### 6. Quantitative Auswertung raumbezogener Basisdaten - Photogrammetrie und Fernerkundung

Tab. 6.3.2:	Anteil des Höhenwaldes innerhalb der Distanzbuffer-Klassen (oben), Anteil des Höhenwaldes an den ausgewiesenen Qualitätsstufen der Kartierung von C. Troll (unten) .....	100
Tab. 6.3.3:	Prozentualer Anteil von unterschätzt bzw. überschätzten sowie gut kartierten Bereichen der Vegetationskarte von C. Troll (1939).....	101

Tab. 6.4.3.3:	Klassifikationsgüte der objektorientierten Klassifikation (IRS-1C 1997 - Nanga Parbat-Region) .....	109
Tab. 6.4.3.4:	Überprüfung der Klassifikationsgüte (IRS-1C 1997) mit Hilfe von Referenzpolygonen in eCognition 2.1 (Error Matrix based on TTA Mask).....	110
Tab. 6.4.4.1:	Verwendete Masken und die Kombination diverser Masken für die ISODATA-Klassifikation der Bewässerungsgebiete und der Waldflächen in den Nanga Parbat-Täler sowie der Talkammer von Gor .....	113
Tab. 6.4.4.2:	Klassifikationsgüte der pixelorientierten ISODATA-Klassifikation der bewässerten Kulturlandfläche anhand von <i>random samples</i> und der Kombination dieser mit einer visuellen Interpretation subjektiv gesetzter Referenzpunkte .....	114
Tab. 6.4.4.3:	Klassifikationsgüte der pixelbasierten Klassifikation (ASTER 2000 - Nanga Parbat-Region).....	115
Tab. 6.4.4.4:	Klassifikationsgüte der Kartierung von TROLL (1939) auf der Basis von <i>systematic samples</i> .....	115
Tab. 6.4.5.2:	Überprüfung der Klassifikationsgüte (KFA 1000/SPOT PAN 1988/90) mit Hilfe von Referenzpolygonen in eCognition 2.1 (Error Matrix based on TTA Mask) .....	121

## 7. Analyse der Veränderungen im lokalen und regionalen Maßstab

Tab. 7.2.1.1:	Flächengrößen der Objektklassen bezogen auf das Untersuchungsgebiet der regionalen Analyse basierend auf der ASTER-Klassifikation (2000).....	129
Tab. 7.2.1.2:	Ausmaß der Waldveränderung im Nanga Parbat-Gebiet und in den Teilgebieten der Region .....	130
Tab. 7.2.2.4:	Gewichtungsfaktoren abgeleitet aus dem Flächenanteil des jeweiligen RDSPF-Index in den Teilgebieten .....	134
Tab. 7.2.2.5:	Gewichtung des RDSPF-Index anhand der auf die Waldareale der Teilgebiete bezogenen Flächenanteile der RDSPF-Index.....	135
Tab. 7.2.2.6:	Anteil der Waldveränderungen und Anteil der Waldfläche 2000 der Synthesegebiete.....	135
Tab. 7.2.2.8:	Bestandesvolumen und Volumenzuwachsraten für die Testplots der Nanga Parbat-Region .....	137
Tab. 7.2.2.9:	Abschätzung des Brennholzpotenzials für x-Haushalte und Vergleich mit den für 2000 extrapolierten Bevölkerungszahlen (Haushalte) .....	138
Tab. 7.2.2.10:	Abschätzung Holzvorrat der Teilgebiete in der Nanga Parbat-Region (feuchter Koniferenwald) .....	139



## Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen (Anhangband)

### 2. Untersuchungsraum – eine geographische Einordnung

Abb.	2.1.1:	Hypsometrische Gliederung und klimatische Regime der Nanga Parbat Region .....	1
Abb.	2.2.3:	Höhen- und expositionsabhängige Vegetationsverteilung in der Nanga Parbat-Region und in den Teileinzugsgebieten Rama-Tal, Rupal-Tal und Raikot-Tal .....	2
Abb.	2.2.6:	Räumliche Verteilung der Vegetationsformationen nach TROLL .....	3
Abb.	2.2.7:	Verbreitung der feuchten Höhenwälder am Nanga Parbat nach TROLL.....	4
Abb.	2.3.1:	Lage und Differenzierung der Siedlungen und Straßennetz im Nanga Parbat-Gebiet (Landnutzungssysteme).....	5

### 3. Datenlage

Abb.	3.1.1:	<i>Land-use/land-cover</i> im Wassereinzugsgebiet des Astor Flusses (1979) .....	6
Abb.	3.1.1.1:	Übersichtskarte der Standlinien der 1934er Nanga Parbat Expedition.....	7
Abb.	3.1.1.2:	Sichttote Bereiche der Stereomodelldaten der 1934er Nanga Parbat-Expedition.....	8
Abb.	3.1.1.3:	Expeditionsroute von C. Troll 1937 und Sichtbarkeit der Landschaft von seiner Route aus gesehen.....	9
Tab.	3.1.2.1a:	Standlinien der 1934er Expedition und Vergleichstandorte aus den 1990er Jahren (hellgrau), digitale Panoramen (dunkelgrau) .....	10
Tab.	3.1.2.1b:	Standlinien der 1934er Expedition und Vergleichstandorte aus den 1990er Jahren (hellgrau), digitale Panoramen (dunkelgrau) - Fortsetzung .....	11
Tab.	3.1.2.1c:	Auswahl von Fotostandorten der 1937er Expedition für die Untersuchungsregion am Nanga Parbat .....	12-19
Abb.	3.2.2:	Lokale und regionale Untersuchungsgebiete .....	20

### 4. Daten-Preprocessing für die qualitative und quantitative Auswertung

Tab.	4.3.1.1:	Hierarchische Codierung der Objektdaten abgeleitet aus der ID-Belegung im Digitalisiermodus des analytischen Plotters (ADAM MPS II) und übertragbar auf Punkt-, Linien- und Polygondaten im GIS.....	21
Abb.	4.4.1.1:	Interaktives digitales Archiv zur Archivierung, Dokumentation und Präsentation der analogen und digitalen Projekt- und Fotodaten sowie der Ergebnisse der Veränderungsanalyse .....	22
Abb.	4.4.1.2:	Interaktive Fotostandort-Recherche nach visuellen und deskriptiven Kriterien mit Standort-Report.....	23
Abb.	4.5.3.2:	Geokodierte IRS-1C-Szene.....	24
Abb.	4.5.4.1:	Geokodierte ASTER-Szene.....	25
Abb.	4.6.1:	Abdeckung der geokodierten Satellitenbilddaten und deren räumliche Auflösung.....	26

### 5. Qualitative Bildanalyse – multitemporale Photointerpretation

Abb.	5.1.1:	Fotostandorte der qualitativen multitemporalen Bildanalyse .....	27
Abb.	5.1.2:	Gesamtlegende für die multitemporale Bildanalyse .....	28
Abb.	5.3.1.1:	Fotovergleich Rupalkamm und Rupal Pain .....	29



Abb. 5.3.1.2:	<i>Land use / land cover change</i> im oberen Rupal-Tal .....	30
Abb. 5.3.1.3:	Dauersiedlung Rupal Pain 1937 [3D Landscape] .....	31
Abb. 5.3.1.4:	Dauersiedlung Rupal Pain 1995 .....	31
Abb. 5.3.1.5:	Patch-Work-Muster des bewässerten Kulturlandes der Dauersiedlung Rupal Pain (3100m) aus bewässerten Ackerflächen und Grasland.....	31
Abb. 5.3.1.6:	Vergleich der Waldstandorte am NE-exponierten Rupalkamm aus historischem Foto (1934) und Vegetationskarte (1939).....	32
Abb. 5.3.1.7:	Vergleich der Waldstandorte am Rupalkamm und im Chichi-Tal aus historischer Vegetationskarte und aktuellem Geländefoto - zum Vergleich: Waldbestand 1968 aus Satellitenbilddaten .....	33
Abb. 5.3.1.8:	Landschaftsveränderung von Tarishing anhand von Einzelfotos unterschiedlicher Standorte .....	34
Abb. 5.3.1.9:	<i>Land use / land cover change</i> auf der Basis von Einzelfotos unterschiedlicher Standorte .....	34
Abb. 5.3.1.10:	Landschaftsveränderung in Tarishing abgeleitet aus annähernd gleichen Standortfotos .....	35
Abb. 5.3.1.11:	Landschaftsveränderung in Tarishing und Zaipur abgeleitet aus annähernd gleichen Standortfotos .....	36
Abb. 5.3.1.12:	Landschaftsveränderung Churit (2733 m, Vordergrund rechts), Zaipur (2712 m, Vordergrund Mitte) und Nahake (2981 m, Mittelgrund) I .....	37
Abb. 5.3.1.13:	Landschaftsveränderung Churit (2733 m, Vordergrund rechts), Zaipur (2712 m, Vordergrund Mitte) und Nahake (2981 m, Mittelgrund) II.....	38
Abb. 5.3.1.14:	Walddegradation im Zaipur Forest (Blick vom Rampur-Kamm in Richtung Rupal-Kamm) .....	39
Abb. 5.3.2.1:	<i>Land use / land cover</i> 1934 und 1995 im Gurikot-Becken und deren Veränderungen.....	40
Abb. 5.3.2.2:	Bildvergleich Gurikot-Becken 1937-1997 (Blick von Astor-Straße südwärts) .....	41
Abb. 5.3.2.3:	Dauersiedlungen Ahmedabad und Hilbiche 1995 .....	41
Abb. 5.3.2.4:	Degradation der Trockenwälder an der ostexponierten Talflanke bei Bulan I.....	42
Abb. 5.3.2.5:	Degradation der Trockenwälder an der ostexponierten Talflanke bei Bulan II.....	43
Abb. 5.3.2.6:	Siedlungsentwicklung und Dynamik in der Agrarlandschaft der Siedlungen Bulan und Finah.....	44
Abb. 5.3.2.7:	Fortschreitende Degradierung der montanen feuchten Nadelwälder und der submontanen Trockenwälder am ostexponierten Hang zwischen Bulan und Eidgah 1937-1993 .....	45
Abb. 5.3.2.8:	<i>Land use / land cover change</i> - Bulan/Bulan Gah - irrigated land, trees and scrub between Astor and Gurikot (Astor Valley / Nanga Parbat-Region) .....	46
Abb. 5.3.2.9:	Landschaftsveränderungen im Siedlungsraum Astor von 1934 bis 1995 .....	47
Abb. 5.3.2.10:	Erweiterung der bewässerten Flächen von 1934 bis 1997 zwischen Finah und Los .....	48
Abb. 5.3.2.12:	Bewässertes Grasland und Nutzholzanpflanzungen auf den Erweiterungsflächen zwischen Finah und Los (Blickrichtung E von Eidgah) .....	48
Abb. 5.3.2.13:	<i>Land use / land cover change</i> - Astor and Eidgah 1934 - 1993 .....	49
Abb. 5.3.2.14:	Bild-zu-Bild entzerrte Vergleichsbilder der zentralen Bewässerungsflur von Astor 1934-1993 .....	50
Abb. 5.3.2.15:	Status der Landnutzung der zentralen Bewässerungsflur von Astor 1934 (links) und 1993 (rechts).....	51
Abb. 5.3.2.16:	Unveränderte und veränderte Flächen im Bereich der zentralen Bewässerungsflur von Astor (1934 - 1993).....	52

Abb. 5.3.2.17:	Detailiert ausgewiesene qualitative Veränderungen in der zentralen Bewässerungsflur von Astor von 1934 bis 1993 .....	53
Abb. 5.3.2.18:	Veränderungen in den Bewässerungsfluren von Majini Dar und Bari Dar (1937-1995).....	54
Abb. 5.3.2.19:	Siedlungserweiterung im Bereich des Bazaar von Astor (1937-1997) .....	55
Abb. 5.3.2.20:	Siedlungsentwicklung und Dynamik in der Agrarlandschaft von Eidgah 1934-1995 ...	56
Abb. 5.3.2.21:	Veränderungen in der Bewässerungsflur von Eidgah 1934-1993 .....	57
Abb. 5.3.2.22:	Veränderungen in der Bewässerungsflur von Bakhat und im Waldbestand des Rama-Forest 1934-1993 .....	58
Abb. 5.3.2.24:	<i>Land use / land cover change</i> in Astor und den südlich anschließenden Hangbereichen des Bulan-Kammes.....	59
Abb. 5.3.2.27:	Veränderung der Waldbestände auf den orographisch rechten Talhängen des Astor-Flusses oberhalb von Los (Standort Latikani, Blickrichtung E).....	60
Abb. 5.3.2.28:	Veränderung der Waldbestände oberhalb von Los (Standort 116, Blickrichtung N).....	61
Abb. 5.3.2.29:	Starke Degradierung bis Totalverlust der submontanen/montanen Bestände von <i>Pinus gerardiana</i> und <i>Juniperus semiglobosa</i> auf der südwestexponierten Talflanke nördlich von Los (Standort 111, Blickrichtung E) .....	62
Abb. 5.3.2.31:	Fotovergleich: Degradierung der feuchten Nadelwälder am Bulan Kamm (Rama-Tal, Standort 113, Blickrichtung SE) .....	63
Abb. 5.3.2.32:	Degradierung der feuchten Nadelwälder am Bulan Kamm (Rama-Tal, Standort 113, Blickrichtung SE).....	64
Abb. 5.3.3.1:	Fotovergleich: <i>Land use / land cover</i> im Bereich Luskum und Harchu (Standort: alte Astor Straße, Blickrichtung S) .....	65
Abb. 5.3.3.2:	<i>Land use / land cover</i> im Bereich Luskum und Harchu 1937-1995 (Standort: alte Astor Straße, Blickrichtung S) .....	66
Abb. 5.3.3.3:	<i>Land use / land cover change</i> im Bereich Luskum und Harchu .....	67
Abb. 5.3.3.6:	Vergleichende Betrachtung - Wald- und Baumbestand am ostexponierten Hang im oberen Harchu-Tal (Standort 114, Blickrichtung W).....	68
Abb. 5.3.3.8:	Fotovergleich: Turbaling, Mushkin und Mushkin Forest 1934-1997 (Standort: oberhalb der alten Astor Straße, Blickrichtung SE) .....	69
Abb. 5.3.3.9:	Status <i>land use / land cover</i> - Turbaling, Mushkin und Mushkin Forest 1934 (Standort 12, Blickrichtung SE).....	70
Abb. 5.3.3.10:	<i>Land use / land cover change</i> - Turbaling, Mushkin und Mushkin Forest 1934-1997 (Standort 12, Blickrichtung SE).....	71
Abb. 5.3.3.13:	Veränderung der Verkehrsinfrastruktur in Doian/Mangdoian 1934-1997 (unteres Astor-Tal) .....	72
Abb. 5.3.4.1:	Geringe Erweiterung der landwirtschaftlichen Fläche in Pungadori von 1934 bis 1997. Vegetationssukzession auf Waldrodungsflächen im südlichen Bereich der Sommeranbausiedlung (Standort Bezar Gali, Blickrichtung SE).....	73
Abb. 5.3.4.2:	Fotovergleich der ostexponierten Talflanke des Raikot-Tales um 1934 (oben) und 1997 (oben), Gegenüberstellung von Geländefoto 1934 mit Vegetationskartierung von TROLL 1939 (Mitte).....	74
Abb. 5.3.4.3:	<i>Land use / land cover change</i> an der ostexponierten Talflanke des Raikot-Tales und auf dem Märchenwiesenplateau 1934 bis 1997; Fotovergleich des nördlichen Sporns von Pungadori - selektive Abholzung und Ausbau der Bewässerungsterrassen von 1953 (links oben) bis 1995 (links unten) .....	75
Abb. 5.3.4.4:	Brandflächen im südlichen Bereich der Sommeranbausiedlung Pungadori und Vegetationssukzessionsflächen 1995.....	76

Abb. 5.3.4.5a:	Abholzung der siedlungsnahen Baumbestände und leichte Degradation der submontanen Wacholderbäume und Trockenkiefern westlich von Tato um 1934 und 1995.....	77
Abb. 5.3.4.5b:	Illegaler Holzeinschlag oder Abholzungen im Rahmen des Kontraktorvertrages 1995 in der montanen Stufe am ostexponierten Hang westlich von Pungadori .....	77
Abb. 5.3.4.7:	<i>Land use / land cover</i> im mittleren Buldar-Tal 1934 und 1997 .....	78
Abb. 5.3.4.8:	Vergleich der Waldstandorte im oberen Buldar-Tal aus historischem Foto (1934), Vegetationskarte (1939) und CORONA-Bild (1968).....	79

## 6. Quantitative Auswertung raumbezogener Basisdaten - Photogrammetrie und Fernerkundung

Abb. 6.2.1.5:	„sekundäre“ Messmarken (in Anlage C).....	129
Abb. 6.2.1.7:	Photogrammetrische Auswertung der submontanen und unteren montanen Stufe von Astor bis Bulan aus den historischen Stereo-Messbildern von 1934 (links) im Vergleich mit der Kartierung von TROLL (rechts) .....	80
Abb. 6.2.1.8:	Photogrammetrische Auswertung der submontanen und unteren montanen Stufe im Bereich von Harchu und Luskum aus den historischen Stereo-Messbildern von 1934 (links) im Vergleich mit der Kartierung von TROLL (rechts) .....	81
Abb. 6.2.1.9:	Photogrammetrische Auswertung der submontanen und montanen Stufe der ostexponierten Talflanke des Raikot-Tales aus den historischen Stereo-Messbildern von 1934 (links) im Vergleich mit der Kartierung von TROLL (rechts) .....	82
Abb. 6.3.2:	Visueller Vergleich der Vegetationskartierung von TROLL (1939) mit CORONA-Bilddaten von 1968 und den Stereomodelldaten von 1934 .....	83
Tab. 6.3.1:	Aufstellung zum visuellen Vergleich von Messbildern 1934 und 3D-Szenen.....	84
Abb. 6.3.3A:	Visueller Vergleich der historischen Messbilder (1934) mit simulierten 3D-Landschaftsszenen mit überlagerter Textur der Vegetationskarte von C. Troll (1939).....	85
Abb. 6.3.3B:	Visueller Vergleich der historischen Messbilder (1934) mit simulierten 3D-Landschaftsszenen mit überlagerter Textur der Vegetationskarte von C. Troll (1939)..	86
Abb. 6.3.4:	Qualitätsindex der Waldkartierung von C. Troll (1939) .....	87
Tab. 6.4.3.1:	Klassenhierarchie der objektbasierten Klassifikation der IRS-1C-Szene mit eCognition 2.1, die Klassifikationsgüte der ausgegliederten Objektklassen und die Postklassifikation 1. (postcl) und 2. Ordnung (postcl2) .....	88
Tab. 6.4.3.2:	Absolute Anzahl der Objekte (oben) und relative Anteile (unten) der Zweitzugehörigkeits-Erwartung klassifizierter Objekte - <i>Bestmember</i> >50%, <i>stability</i> <20% ..	89
Abb. 6.4.3.2:	Spektrale Kurven der Objektklassen und Merkmalsausprägung der Ratiokanäle <i>red</i> und NIR.....	89
Abb. 6.4.3.3:	Konfliktklassen der objektbasierten Klassifikation (IRS-1C) - Kriterium: <i>Bestmember</i> >50%, <i>stability</i> <20%.....	90
Abb. 6.4.3.4:	Objektorientierte Klassifikation der Waldgebiete und Kulturlandflächen in der Nanga Parbat-Region - Objektebene 2 (IRS-1C 1997) .....	91
Abb. 6.4.3.5:	Objektorientierte Klassifikation der Waldgebiete und Kulturlandflächen in der Nanga Parbat-Region - Objektebene 1 (IRS-1C 1997) .....	92

**Verifikation der Ergebnisse aus objektbasierter Klassifikation (oben) und pixelbasierter Klassifikation (unten) mit dem aktuellen Geländefoto 1995/1997**

Abb. 6.4.3.6:	Astor und Bulan-Kamm - Objektklassenebene 1 .....	93
Abb. 6.4.3.7:	Rama Forest und Bulan-Kamm - Objektklassenebene 1 .....	94
Abb. 6.4.3.7b:	Rama Forest und Bulan-Kamm - Objektklassenebene 2 .....	95
Abb. 6.4.3.8:	Rama Forest und Rama-Kamm - Objektklassenebene 1 .....	96
Abb. 6.4.3.9:	Bulan-Kamm, Rama-Tal - Objektklassenebene 1 .....	97
Abb. 6.4.3.9b:	Bulan-Kamm, Rama-Tal - Objektklassenebene 2 .....	98
Abb. 6.4.3.10:	Zaipur Forest - Objektklassenebene 1 .....	99
Abb. 6.4.3.10b:	Zaipur Forest - Objektklassenebene 2 .....	100
Abb. 6.4.3.11:	Buldar-Kamm und Märchenwiese - Objektklassenebene 1 .....	101
Abb. 6.4.3.11b:	Buldar-Kamm und Märchenwiese - Objektklassenebene 2 .....	102
Abb. 6.4.3.12:	Buldar-Kamm, Pungadori - Objektklassenebene 1 .....	103
Abb. 6.4.3.12b:	Buldar-Kamm, Pungadori - Objektklassenebene 2 .....	104
Abb. 6.4.3.13:	Jalipur-Kamm und Märchenwiese - Objektklassenebene 1 .....	105
Abb. 6.4.3.13b:	Jalipur-Kamm und Märchenwiese - Objektklassenebene 2 .....	106
Abb. 6.4.3.14:	Jalipur-Kamm und Siedlung Witter - Objektklassenebene 1 .....	107
Abb. 6.4.3.14b:	Jalipur-Kamm und Siedlung Witter - Objektklassenebene 2 .....	108
Abb. 6.4.3.15:	Raikot-Gletscher und Jiliper Peak - Objektklassenebene 1 .....	109
Abb. 6.4.3.15b:	Raikot-Gletscher und Jiliper Peak - Objektklassenebene 2 .....	110
Abb. 6.4.3.16:	Buldar-Tal, Muthat - Objektklassenebene 1 .....	111
Abb. 6.4.3.16b:	Buldar-Tal, Muthat - Objektklassenebene 2 .....	112
Abb. 6.4.4.2:	Spektrale Signatur und Verbreitung der Cluster im Höhenprofil als Entscheidungshilfen zur Klassendifferenzierung der ISODATA-Cluster .....	113
Abb. 6.4.4.3:	Pixelbasierte Klassifikation der Waldgebiete und Kulturlandflächen in der Nanga Parbat-Region - Objektebene 1 (ASTER 2000 - ISODATA) .....	114
Abb. 6.4.4.4:	Pixelbasierte Klassifikation der Waldgebiete und Kulturlandflächen in der Nanga Parbat-Region - Objektebene 2 (ASTER 2000 - ISODATA) .....	115
Abb. 6.4.4.5:	Waldgebiete und Kulturlandflächen in der Nanga Parbat-Region 1939 - Objektebene 1 (Formationen nach TROLL 1939) .....	116
Abb. 6.4.5.4:	Georektifizierte Ausschnitte multisensoraler, multitemporaler Satellitenbilddaten für ein Teilgebiet der Talkammer von Gor und Anbauzyklus für die Nanga Parbat-Region .....	117
Tab. 6.4.5.1:	Klassenhierarchie der objektbasierten Klassifikation von SPOT PAN und KFA 1000 (RGB) für einen Teilausschnitt der Talkammer von Gor .....	118
Abb. 6.4.5.5:	Ergebnis der objektorientierten Klassifikation für den Teilausschnitt der Talkammer von Gor (Multisensor-Ansatz mit KFA 1000 und SPOT PAN) und Klassifikationsgüte ( <i>Best Classification, Stability</i> ) .....	119
Tab. 6.4.5.3:	Klassenhierarchie der objektbasierten Klassifikation des Teilausschnittes Gor der IRS-1C-Szene mit eCognition 2.1 und die Klassifikationsgüte der ausgegliederten Objektklassen .....	120
Abb. 6.4.5.6:	Ergebnis der objektorientierten Klassifikation für den Teilausschnitt der Talkammer von Gor (IRS-1C 1997) und Klassifikationsgüte ( <i>Best Classification Results, Classification Stability</i> ) .....	121
Abb. 6.4.5.8:	Klassenhierarchien der objektbasierten Klassifikation in eCognition 2.1 für die Teilgebiete Doian, Mushkin, Dashkin und Harchu auf der Basis von panchromatischen CORONA-Bilddaten und Klassifikationsergebnisse für Mushkin und Dashkin .....	122

Tab. 6.4.5.4:	Klassifikationsgüte der objektbasierten Klassifikation der CORONA-Bilddaten des unteren Astor-Tales ( <i>Best Classification Results, Classification Stability</i> ).....	123
Abb. 6.4.5.9:	Gegenüberstellung der Kartierung von C. Troll (links, 1939) mit den Ergebnissen der objektbasierten (Mitte, 1966/68) und pixelbasierten Klassifikation (rechts, 2000) für das untere Astor-Tal.....	124
Anlage A	: Meßprotokoll für die Feldarbeit.....	125
Anlage B	: Programm FIDUIST.....	126
Anlage C	: Programm DXDY .....	129
Anlage D	: Programm HORIZ.....	131

## 7. Analyse der Veränderungen im lokalen und regionalen Maßstab

Abb. 7.1.3:	<i>Change detection</i> Güte mit und ohne Berücksichtigung von nicht zugelassenen Veränderungsklassen (Veränderungen aus der Verschneidung von Vegetationskarte 1939 und pixelbasierter Klassifikation der ASTER-Szene 2000).....	133
Abb. 7.1.4:	<i>Change detection</i> Güte mit und ohne Berücksichtigung von nicht zugelassenen Veränderungsklassen (Veränderungen aus der Verschneidung von Vegetationskarte 1939 und pixelbasierter Klassifikation der IRS-1C-Szene 1997).....	134
Abb. 7.1.5:	<i>Land use / land cover</i> Veränderungen in der Nanga Parbat-Region von 1939-2000 auf der Basis der Vegetationskarte 1939 (TROLL 1939) und der klassifizierten ASTER-Szene 2000 .....	135
Abb. 7.2.1.1:	Aufstellung der „from“-/“to“-changes für die Teilgebiete der Nanga Parbat-Region .....	136
Tab. 7.2.2.1:	Extrapolation der Bevölkerung von 1990 bis ins Jahr 2000 mit 2,5% und 3% jährlichem Wachstum, Berechnung der Bevölkerungsdichte pro ha Kulturland und Wald sowie die Ermittlung des PI- ( <i>people - irrigated land</i> ) und PF- ( <i>people - forest</i> ) Index .....	137
Tab. 7.2.2.2:	Ermittlung des RDS-Index ( <i>road-settlement</i> ) durch klassifizierte Siedlungs- und Straßen-Buffer.....	137
Tab. 7.2.2.3:	Ermittlung des RDSPF-Index durch Klassifizierung der Matrix aus Erreichbarkeit und Nutzungsdruck .....	137
Abb. 7.2.2.2:	Nutzungsintensität und Veränderung der Waldressourcen in der Nanga Parbat-Region (1939-2000).....	138
Tab. 7.2.2.7:	Abschätzung und Entwicklung des Brennholzbedarfs von 1900 bis 2000 in der Nanga Parbat-Region .....	139
Abb. 7.3.1.1:	Veränderung der bewässerten Kulturlandfläche in der Talkammer von Gor von 1966 bis 2000 .....	140
Abb. 7.3.1.2:	Veränderung der Steineichen- und Trockenwälder in der Talkammer von Gor von 1966 bis 2000 .....	141
Abb. 7.3.2.3:	Die untere Waldgrenze des Rama Forest von 1966 bis 1989.....	142
Abb. 7.3.3.1:	Veränderung der unteren Waldgrenze im unteren Astor-Tal von 1966 bis 2000 .....	143
Abb. 7.3.3.2:	Degradation der submontanen Trockenwälder und Anhebung der unteren Waldgrenze des feuchten Nadelwaldes bei Harchu in vier Zeitschnitten von 1934 bis 2000 .....	144
Abb. 7.3.4.1:	<i>Change detection</i> für den Wald in der Nähe der Sommeranbausiedlung Witter (Raikot-Tal) 1934 bis 2000 .....	145



## Verzeichnis der Abkürzungen

3D:	dreidimensional
AKRSP:	Agha Khan Rural Support Programme
ASTER:	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CAK:	Culture Area Karakorum
DAPLARCH:	Data Plan Development for Land Use and Land Cover Change Research
DFG:	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DGM:	Digitales Geländemodell
dpi:	dots per inch
EEA:	European Environmental Agency
EOS:	Earth Observation System
GIS:	Geographisches Informationssystem
GLIS:	Global Land Information System
GoP:	Government of Pakistan
GPS:	Global Positioning System
HMRSC:	High Mountain Remote Sensing and Cartography
HR:	high resolution (>4 m - 30 m)
ICIMOD:	International Centre for Integrated Mountain Development
IGBP:	International Geosphere-Biosphere Programme
IHDP:	International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change
IGARSS:	International Geoscience and Remote Sensing Symposium
IRS:	Indian Remote Sensing
ISPRS:	International Society of Photogrammetry and Remote Sensing
ISODATA:	Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique
LISS:	Inear Imaging and Self Scanning sensor
LUCC:	Land-Use and Cover Change
LU/LC:	land use/land cover
MENRIS:	Mountain Environmental Natural Resources Information Service
MIR:	middle infrared
MPS:	Micro Photogrammetric System
MSAVI:	Modified soil adjusted vegetation index
NELDA:	European and International Research Network for LUCC Data development
NIR:	near infrared
PAN:	panchromatisch
PLA:	Participatory Learning and Action
RDS-Index:	road - settlement Index
RDSPF-Index:	road-settlement/people-forest-Index, (Nutzungsintensität der Wälder)
RGB:	red, green, blue Farbmodell
RMS:	route mean square
SPOT:	Système Probatoire d'Oservation de la Terre
SWIR:	short wave infrared
TIR:	thermal infrared
TM:	Thematic Mapper
UN:	United Nations
UNEP:	United Nations Development Programme
USGS:	United States Geological Survey
VHR:	very high resolution (< 4 m)
VNIR:	visible and near infrared
WCMC:	World Conservation Monitoring Centre



„Until now, increasing human activities have altered nature.  
 In the new century nature may increasingly constrain human activities.“  
 (MESSERLI et al. 2000: 477)

## 1. Problemstellung und Forschungsansätze

### 1.1 Einleitung

Der Mensch verursacht offensichtlich im Zuge der Befriedigung seiner Bedürfnisse Veränderungen in der Natur. Dies führt im komplexen Zusammenhang mit der langfristig und unablässig sich ändernden natürlichen Umwelt (abgesehen von spontanen Naturkatastrophen) zu einschneidenden und rasch wirkenden Einflüssen auf die Erdoberfläche (IZRAEL 1990: 17). Die resultierenden Veränderungen differenzieren sich hinsichtlich ihrer Wirkungsrichtung, ihrer Qualität, ihres quantitativen Anteils sowie in ihrer zeitlichen und räumlichen Ausprägung. Dies kann im Zuge einer negativen Ausrichtung der anthropogenen Einwirkungen zur Übernutzung der Naturressourcen und somit auch zum Verlust der Wiederherstellung erneuerbarer Ressourcen führen. Besonders Hochgebirge sind anfällig für nicht ausgewogene Interaktionen im Mensch-Umwelt-System. Die Verknüpfung von beschleunigter Bodenerosion, *natural hazards* sowie der Verlust an Habitaten und genetischer Diversität mit der Übernutzung natürlicher Ressourcen im Zuge eines starken sozio-ökonomischen Nutzungsdruckes (demographische, soziale, politische, ökonomische Faktoren) führt zur Degradation der Hochgebirgs-Umwelt (UNEP WCMC 2002: 8/9, REASONER et al. 2002: 3). Die von der UN in der Agenda 21 formulierten Programme für eine nachhaltige Entwicklung der Hochgebirgsräume beinhalten zum einen den Aufbau fundierten Wissens über die Ökologie und eine nachhaltige Entwicklung der Hochgebirgsregionen und zum anderen die Förderung umfassender Teilgebietenentwicklung mit alternativen Möglichkeiten der Sicherung der Lebensbedingungen (UN 1999: Agenda 21, Chapter 13). Für ein tiefergehendes Verständnis der stattfindenden Veränderungen und der Generierung zukünftiger Szenarien sowie für die Entwicklung eines nachhaltigen Landnutzungs-, Wasser- und Ressourcen-Managements wird eine globale Hochgebirgsdatenbasis mit quantitativen und raumbezogenen Informationen über ökologische Prozesse, naturräumliche Potenziale und sozio-ökonomische Aktivitäten benötigt (LAMBIN et al. 2001: 27, UN 1999, BECKER et al. 2001, LAMBIN et al. 1999). Im Sinne dieser Zielformulierungen erfolgte die Erstellung des *Mountain Watch Reports*, in dem anhand globaler Datensätze und in Ergänzung mit regionalen und lokalen Studien in einer GIS-gestützten integrativen Analyse variierende Muster von Einflußfaktoren verdeutlicht und mögliche zukünftige Szenarien anhand von aktuellen Trends visualisiert werden (UNEP WCMC 2002: 10).

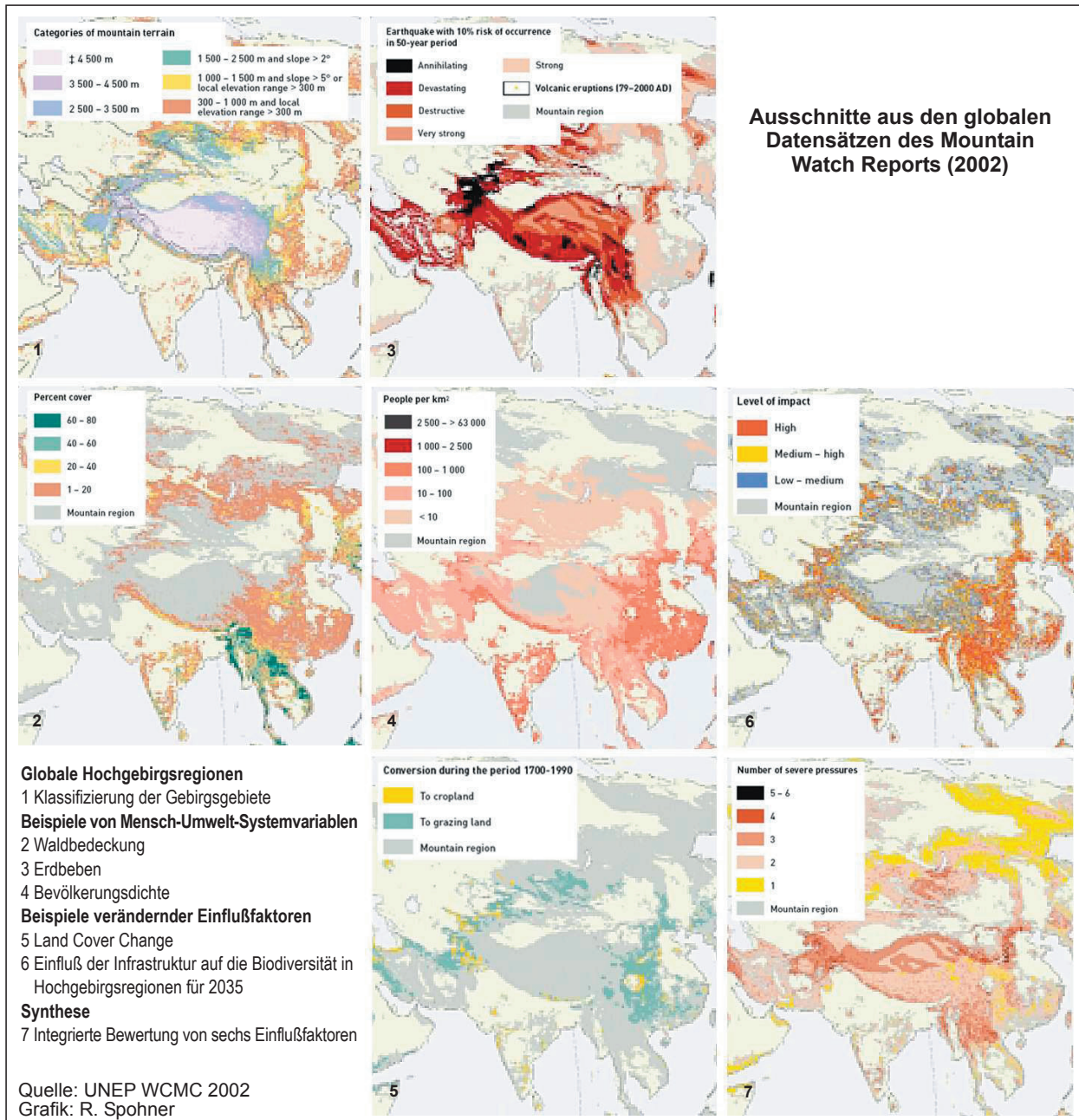


Abb. 1.1.1: Ausschnitte aus den globalen Datensätzen des Mountain Watch Reports 2002 (UNEP WCMC 2002)

Eine wichtige Kenngröße für die Bewertung von Modifikationen im Hochgebirgs-Ökosystem sind *land-use/land-cover*-Daten (Definition vgl. Kap. 1.3). *Land-use/land-cover* Veränderungen beeinflussen direkt die Biodiversität, tragen zu lokalen und regionalen Klimaveränderungen bei und sind primäre Ursache für Bodendegradation. Sie erhöhen somit die Verletzlichkeit von Ökosystemen, was zu einer Gefährdung ihrer Versorgungsfunktion für den Menschen führt (LAMBIN et al. 2001: 262). Forschungen im Rahmen von *IGBP Global Change* und der *Land-Use and Cover Change-Initiative* (LUCC) haben zu einem erweiterten Verständnis von *land-use/land-cover change*-Mustern und verursachenden Faktoren geführt (vgl. Tab. 1.1.1). Monokausale Erklärungsansätze, die das Bevölkerungswachstum als treibenden Faktor sehen, werden heute durch komplexe Mensch-Umwelt-Interaktionssysteme ersetzt, deren sozio-ökonomische und politische Einflussgrößen in Abhängigkeit der vorhandenen Umweltbedingungen zu differenzierten Ausprägungen von Landnutzungsveränderungen führen. Eine nichtangepasste Nutzung der natürlichen Ressourcen im Hochgebirgsraum kann schnell zu einer Degradierung des fragilen Ökosystems beitragen und somit die Nachhaltigkeit des Nutzungssystems gefährden.



<b>Verständnis von <i>land-use/land-cover</i> Veränderungen:</b>	
<b>bislang</b>	<b>heute</b>
<i>land-cover</i> Umwandlung	<i>land-cover</i> Modifikation generell vorherrschend in der jüngeren Vergangenheit
häufig in tropischen Wäldern	alle <i>land-cover</i> Typen, eingeschlossen Weideland, offene Wälder, peri-urbane Gebiete, Feuchtgebiete
natürliche Ausgangssituation angenommen	Landschaft wird seit Jahrtausenden vom Menschen verändert
dauerhafte Veränderungen	komplexe und reversible Trajektorien von Veränderung, <i>land-cover</i> unterliegt ständiger Veränderung
räumlich homogen	hohe räumliche Heterogenität; Landschafts-fragmentierung von besonderer Bedeutung
zurück zu führen auf Bevölkerungswachstum	ebenso zurück zu führen auf das menschliche Reagieren auf Veränderungen im Rahmen der ökonomischen Möglichkeiten und Politik, mit bio-physischen und sozio-ökonomischen Auslöser-Ereignissen
häufig lokal	starker lokal-globaler Zusammenhang; erweitert oder abgeschwächt durch Globalisierung
häufig Ausdehnung der Landwirtschaft	<i>land-use</i> Intensivierung und Diversifizierung sind allgemeine Reaktionen auf Nutzungsdruck und -möglichkeiten
beeinflusst C-Kreislauf	beeinflusst menschliche Gesundheit, Biodiversität, Albedo, Wasser-Kreislauf, Emission von C, Methan, NO <sub>x</sub> etc.
Einfluss ist abhängig vom Ausmaß der bio-physischen Veränderung	Einfluss ist häufig abhängig von der Verwundbarkeit von Mensch und Umwelt
überall	räumlich konzentriert in <i>hot spots</i> von Veränderung

Tab. 1.1.1: *Verändertes Verständnis von land-use/land-cover Veränderungen (verändert nach LAMBIN/GEIST 2001: 29)*

Zur Lokalisierung gefährdeter Gebiete müssen im Rahmen einer Monitoring-Analyse raumbezogene Zeitschnittinventare von Ökosystemvariablen (z.B. Boden-, Wasser-, Waldressourcen, Bevölkerungsdaten u.a.) mit systembeeinflussenden Faktoren (z.B. *land-cover change*, Klimawandel, Infrastruktur, Eignung für landwirtschaftliche Nutzung u.a.) kombiniert und einer Synthese zugeführt werden (PRICE 1999). In einem globalen Ansatz ist das im *Mountain Watch Report* verwirklicht worden (UNEP WCMC 2002, vgl. Abb. 1.1.1). Der Stellenwert lokaler Fallstudien wird unterstrichen durch die Erkenntnis, dass für ein *upscaling* für regionale und darüber hinaus gehende globale Aussagen nur ein Netzwerk von Fallstudien zulässig ist, da eine hohe räumliche Heterogenität der Veränderungsmuster im lokalen Maßstab besteht (LAMBIN/GEIST 2001: 27). In diesem Rahmen aus notwendiger Erfassung quantitativer raum-zeitlicher Informationen und der Überprüfung regionaler Aussagen über das *land-use/land-cover*-Potenzial mit möglicherweise divergierenden lokalen Trends und der Ausbildung von *hot spots* der Veränderung ist das Ziel der vorliegenden Arbeit zu sehen.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Hindukush-Himalaya-Region ist als charakteristischer Hochgebirgsraum gekennzeichnet durch ein besonders fragmentiertes und differenziertes Muster von Mensch-Umwelt-Interaktionssystemen, die jedes für sich komplexe *land-use/land-cover changes* beinhalten (NELDA 1999). Eine hohe lokale und regionale Fragilität und damit auch Verwundbarkeit ergibt sich aus der festen und sensitiven Verknüpfung von menschlicher Aktivität und dem jeweiligen Status der natürlichen Ressourcen, so dass Veränderungen in

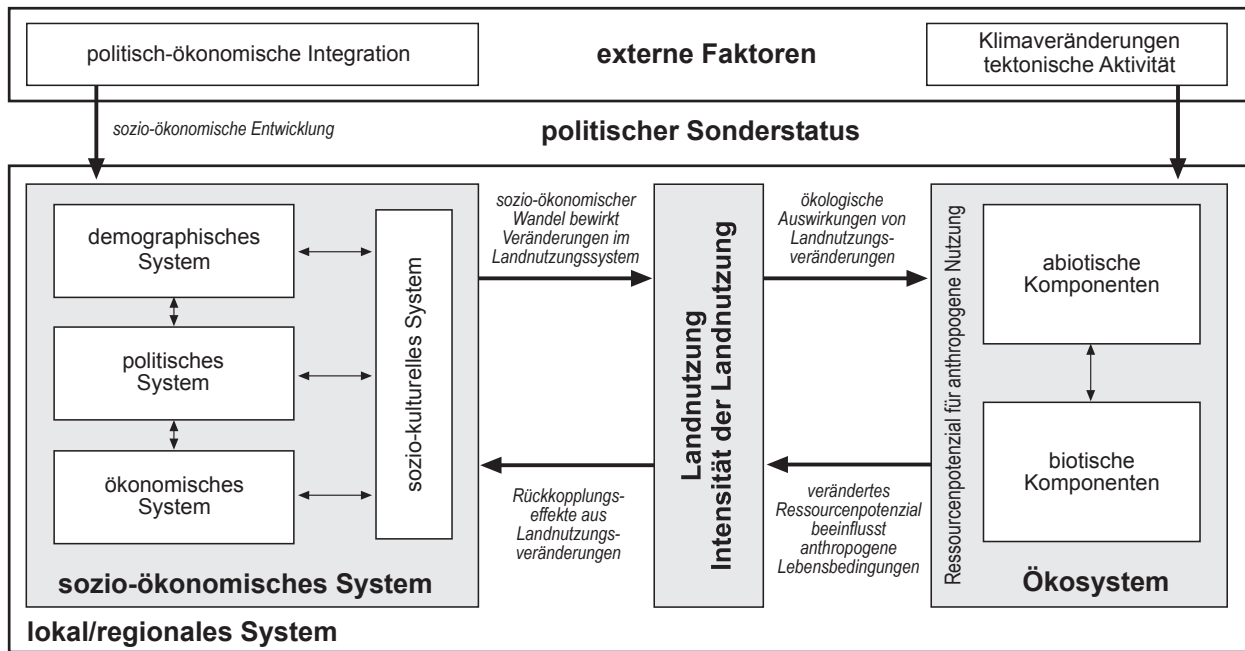


Abb. 1.2.1: Lokal-Regionales Mensch-Umwelt-System der Nanga Parbat-Region - NW-Himalaya (verändert nach IVES/MESSERLI 1990, SCHICKHOFF 2002)

der Waldbedeckung (Umwandlung in andere *land-cover* oder Modifikation) und Landnutzung (Intensivierung, Extensivierung) als kritische Veränderungen angesehen werden müssen (GRAUMLICH 1997: 56, vgl. Abb. 1.2.1).

Das Wissen über solche kritischen Entwicklungen mit den ihnen immanenten stark differierenden treibenden Faktorenkomplexen ist heute trotz fortschreitender Forschungen noch lückenhaft und wird im wissenschaftlichen Rahmen der LUCC-Initiative und der *Mountain Research Initiative* in vielfältigen lokalen bis globalen Projekten vorangetrieben (vgl. BECKER et al. 2001, LUCC-Homepage mit Verweisen auf eingebundene Projekte [www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html)). Die vorhandenen Informationslücken bestehen vor allem in einem Mangel an georeferenzierten temporalen *land-use/land-cover*-Daten mit genauen Angaben zur Veränderungsrate sowie Mängeln an der Verknüpfung von Datenbanken sozio-ökonomischer Einflußfaktoren mit raumbezogenen *land-use/land-cover* Veränderungen. Somit werden für eine integrative Analyse sowohl Daten zu einzelnen Komponenten eines *land-use/land-cover change*-Systems (*general baseline data*, vgl. Tab. 1.2.1) als auch Daten, aus denen die Interaktionsmechanismen der hauptsächlichen Einflussfaktoren abzuleiten sind, notwendig (vgl. DAPLARCH - **DA**tA Plan development for **LAN**d Use and **LAN**d **C**over **C**hange **Resear**CH [www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html)). Die Bearbeitung dieser Soll-Datenliste kann häufig nicht umfassend und/oder in der geforderten Genauigkeit erfolgen (fehlende historische Daten, keine disaggregierten Census-Daten, Mangel an geeigneten Fernerkundungsdaten und fehlende ausreichend genaue topographische Basis), sollte jedoch in Anbetracht der starken räumlichen Heterogenität der Hochgebirge für eine differenzierende Synthese angestrebt werden.

Im Gegensatz zu Nepal und Indien, wo eine weitgehend zufrieden stellende Datenlage bezüglich von *state of the art* Fernerkundungsbildern über Luftbildzeitreihen, landwirtschaftlichen bzw. demographischen Censusdaten bis zu Waldkarten und anderen *land-cover* Informationen besteht (NELDA 1999), ist der Datenpool für die pakistanischen Hochgebirgsregionen in der geforderten Datentiefe räumlich stark variierend, häufig nur unzureichend vorhanden oder durch Nutzungsrestriktionen nicht verfügbar (vgl. WINIGER 1996, 1999). Für ausgewählte Gebiete im NW-Karakorum (Zentrales Hunza-Tal) und NW-Himalaya (Nanga Parbat-Region) bietet sich jedoch aufgrund des aus den historischen Expeditionen resultierenden terrestrischen Bildmaterials, den daraus entstandenen topographischen Basiskarten und der für die Nan-

general baseline data				factors driving land-use/land-cover changes, acting at local and global levels
land-use/land-cover change	environmental	economics (at district level, for local studies better at village level)	societal	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- geo-projections of land-use/land-cover information</li> <li>- geo-projections of legally protected areas</li> <li>- historical geo-projections from historical data</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- climate data</li> <li>- topographical data</li> <li>- soil data</li> <li>- nutrient transport</li> <li>- land-resources degradation</li> <li>- water-resources degradation and pollution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- multisectoral production structure</li> <li>- input use (technology, agro-chemical inputs, labour, irrigation)</li> <li>- prices, subsidies and taxes (at province or national level)</li> <li>- infrastructure (physical location and rate of use)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- population census and spatial patterns</li> <li>- income distribution</li> <li>- migrations</li> <li>- institutional aspects</li> <li>- health</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- population growth, change in population structure and migration</li> <li>- demands for energy, products and amenities (consumption patterns, tourism)</li> <li>- life styles and rural-urban interactions</li> <li>- extreme events and variability in biophysical conditions</li> <li>- macro-economic drivers</li> <li>- national policy measures and directives</li> <li>- external drivers (globalisation, trade regimes, international agreements)</li> </ul>

Tab. 1.2.1: *Prioritätenliste der notwendigen Daten für die land-use/land-cover-Forschung (verändert nach den Schlussfolgerungen von DAPLARCH 1997, [www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html))*

ga Parbat-Region bestehenden historischen Vegetationskarte ein retrospektiver Ansatz zur Erfassung von Landschaftsdynamik an. Das DFG-Schwerpunktprogramm „Kulturraum Karakorum - Naturraumausstattung und naturräumliches Potential der Karakorum-Region und deren raum-zeitliche Veränderungen“ (Universität Bonn) hat sich die Erfassung der potenziellen und realen Naturraumausstattung in der räumlichen Differenzierung und zeitlichen Entwicklung zum Ziel gesetzt. Im Teilprojekt „Landschaftswandel“ stehen die Erzeugung von *general baseline data* für eine Veränderungsanalyse und die Methodenentwicklung aus Standardverfahren der Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS als potenzielles Monitoring-Tool für visuell erkennbare Landschaftscharakteristika in der Nanga Parbat-Region im Vordergrund. Die Notwendigkeit einer umfassenden integrativen Untersuchung der Landschaftsdynamik im Hochgebirgsraum des Nanga Parbat belegen folgende Zitate, die die Waldsituation in der übergeordneten Region der Northern Areas und im Astor-Einzugsgebiet (Süd-/Ostabdachung des Nanga Parbat) generalisiert beschreiben:

*„The Forest Department estimates that forest in Northern Areas will last for only another 30 years at present rate of cut“* (Government of Pakistan 1992: 10)

*„To keep up with current demand, between 3000 and 5000 ha per year must be replanted to maintain forestry level at what they are. Increasing awareness of the problem of the owners will be crucial for an ongoing and rapid afforestation. Without that, it seems to be unlikely, that the natural forests will exist after 2030.“* (AKRSP 1995: 88)

*„Die politisch-sozialen, ökonomischen und ökologischen Bedingungen für eine nachhaltige Waldnutzung müssen als äußerst ungünstig bezeichnet werden. .... Eine weiter fortschreitende Degradation der Gebirgswälder Nordpakistans wird sich nicht aufhalten lassen.“* (SCHICKHOFF 2002: 232/233)

*„Factors explained behind deforestation in Northern Areas.....Poverty coupled with flexible legislation, weak civil administration, lenient timber disposal policies, political pressures and lack of awareness among*



*the people of the Northern Areas are main reason that have caused huge deforestation in the region.*“ (The Dawn, 29.06.2003)

*„Astore is endowed with some rich forests, estimated at about 30000 ha in 1980.“* (AKRSP 1995:99)

*„The forests have registered a 40% decline since independence (Astor Watershed, R. S.) and if this trend is not arrested the meagre resource may well get extinct.“* (KHAN 1979: 47).



Abb. 1.2.2: Lokal stark heterogenes Landschaftsbild der Waldressourcen und -nutzungsintensität in der Nanga Parbat-Region. Oben: Raikot-Tal, Mitte: Rama-Tal, unten: Bulan-Tal und Hang zwischen Gurikot und Astor (Fotos: R. Spohner 1995)

Bezogen auf die Nanga Parbat-Region stellt sich mit Blick auf das sehr heterogene Bild der Waldressourcen im Landschaftsbild (vgl. Abb. 1.2.2) die Frage, ob dieser allgemeine Trend der Walddegradation auch für diese Region zutrifft oder ob lokal sehr variierende Muster des Waldpotenzials, deren Veränderungen und Nutzungsintensität bestehen. Zur Beantwortung dieser Frage muß zunächst die aktuelle Verbreitung der Waldressourcen nach Typ und Status erfasst werden, um dann mit Hilfe multitemporaler Daten Veränderungen in Qualität, Quantität und in ihrer raumzeitlichen Verortung zu detektieren. Mit der Ausgliederung differenzierter Veränderungsklassen können dann kritische Entwicklungen in der Nanga Parbat-Region räumlich belegt werden. SCHICKHOFF (2002: 211f) zeigt für die Northern Areas das lokale Ausmaß von Walddegradation im Zusammenhang mit dem Ressourcenpotenzial und sozio-ökonomischen Schlüsselfaktoren bezogen auf die in der Arbeit erhobenen Probestellen. Es wird verdeutlicht, dass bei vergleichbaren Ressourcenpotenzialen variierende Intensitäten der Mensch-Umwelt-Interaktionen sich im unterschiedlichen Degradationsgrad der Wälder widerspiegeln. Aufbauend auf die Bestandesstrukturdaten und Syntheseergebnisse von SCHICKHOFF (2002) und weiteren regionalspezifischen Arbeiten von CLEMENS (2001), NÜSSER (1998) und PILARDEAUX (1995) wird in der vorliegenden Arbeit die genaue räumliche Erfassung der aktuellen Wald- und Bewässerungsflächen (2000) der Nanga Parbat-Region sowie deren raumzeitliche Veränderungen mit einer anschließenden bewertenden Analyse der Nutzungsintensität der Holzressourcen erarbeitet. Folgende thematische und methodische Hypothesen werden im Rahmen der Arbeit aufgestellt:

- 1) Im Nanga Parbat-Gebiet dokumentieren sich die Veränderungen von land-use/land-cover in einem räumlich stark heterogenen Muster.
- 2) Die aktuelle Nutzungsintensität der Wälder im Nanga Parbat-Gebiet ist, bezogen auf die Siedlungsgebiete mit ihren lokal abgegrenzten Nutzungsterritorien, extrem unterschiedlich und im Rahmen des lokalen sozio-ökonomischen Systems primär abhängig von einer Konstellation aus lokalem Ressourcenpotenzial, Besiedlungsgeschichte, Bevölkerungsentwicklung und Zugänglichkeit.
- 3) Die systematische qualitative multitemporale Vergleichsanalyse terrestrischer Gegenhangfotografien leistet einen wertvollen Beitrag für eine *land-use/land-cover* Analyse im Hochgebirge. Sie trägt zur Dokumentation von Veränderung bei, ist für die Validierung von raumbezogenen Daten unumgänglich und unterstützt die GIS-gestützte Bewertung von Veränderung.
- 4) Die photogrammetrische Auswertung von konventionell aufgenommenen stereographischen Gegenhangfotografien liefert wichtige quantitative Daten für eine lokale *land-use/land-cover* Analyse.
- 5) Historische *land-use/land-cover* Daten sind unter Berücksichtigung einer intensiven Qualitätskontrolle wichtiger Informationsspeicher auch wenn objektive Klassenbildungskriterien fehlen.
- 6) Hochaufgelöste (VHR: *very high resolution*) Satellitenbilder der ersten Generation (1960er Jahre) sind ein adäquater Ersatz für die Inventarisierung rezenter *land-use/land-cover* Zeitschnitte, vor allem dann, wenn regionale Luftbilder nicht vorhanden oder nicht zugänglich sind.
- 7) Ein integrativer Methoden-Pool - bestehend aus einer systematischen qualitativen multitemporalen Bildanalyse, einer photogrammetrischen Auswertung ausgewählter terrestrischer Stereobildpaare, der Klassifizierung multitemporaler VHR- und HR (*high resolution*)- Satellitenbilddaten und einer GIS-gestützten Bewertung der detektierten Veränderungen - bietet einen umfassenden Analyserahmen für *land-use/land-cover change*-Forschung im Hochgebirge, aus dem ein lokales bis regionales Informationssystem zur Überwachung des Umweltzustandes resultiert. Zudem sind die Daten der Einzelkom-



ponenten dieses methodenpluralistischen Ansatzes für das Anwendungsgebiet einfach zu aktualisieren und tragen zum Monitoring der Waldgebiete und Kulturlandflächen einschließlich der anthropogenen und natürlichen Einflussfaktoren bei.

### 1.3 Konzeption und Struktur der Arbeit - Begriffe und Definitionen

Die Umsetzung der aus den Komponenten ‚Erfassung von *general baseline data*‘, ‚*change detection*‘ und ‚GIS-Analyse‘ bestehenden lokal-regionalen *land-use/land-cover change* Analyse erfordert einen umfangreichen Methoden-Pool. Ausgehend von einem sehr heterogenen Datenmaterial und den dafür notwendigen Vorverarbeitungsschritten resultiert ein methodenpluralistischer Ansatz aus Fotointerpretation, analytischer Photogrammetrie, Satellitenbildklassifikation und GIS-Analyse für die datenspezifische räumliche Bereitstellung von *land-use/land-cover* Daten in zwei Skalenbereichen und für die Veränderungsanalyse mit anschließender Bewertung detektierter Veränderungen (vgl. Abb. 1.3.1).

Die geographische Einordnung des Untersuchungsraumes (vgl. Kap. 2) bildet die notwendige Basis für das Verständnis der lokal-regionalen Ressourcenausstattung und Mensch-Umwelt-Beziehungen. Die bestehenden Interaktionsmechanismen werden in ihren verstärkenden oder abschwächenden Trends und in ihren synergistischen Verflechtungen und Wechselwirkungen anhand von Literaturlauswertungen zusammenfassend dargestellt.

Das für die Untersuchungsregion spezifische historische Bild- und Kartenmaterial und die für einen retrospektiven Ansatz wiederholt aufgenommenen Fotostandorte sowie das multitemporale Fernerkundungsmaterial wird in Kapitel 3 vorgestellt. Ein besonderer Augenmerk wird dabei auf die Datenqualität und -genauigkeit gelegt. In diesem Kapitel werden auch die kombinierte Vorgehensweise aus qualitativer und quantitativer Bildanalyse sowie die lokalen und regionalen Kernräume der Veränderungsanalyse verdeutlicht. Abschließend erfolgt eine Erläuterung der in diesem Projekt verwendeten Hardware- und Softwarekomponenten.

Vorüberlegungen zur Aufbereitung des sehr heterogenen Daten-Pools sowie Gedanken zu Einschränkungen, Problemen und Homogenisierungskriterien der vorhandenen Datengrundlagen bestimmen den einleitenden Teil von Kapitel 4. Die topographische Referenz der *land-use/land-cover change*-Analyse bilden die historischen Karten. Ihre digitale Aufbereitung zu topographischer Basisinformation, historischer *land-use/land-cover* Information sowie zu einem digitalen Geländemodell wird in seiner Vorgehensweise und Lagegenauigkeit beschrieben. Die Vorverarbeitung des umfangreichen Fotomaterials für die retrospektive qualitative Analyse und quantitative Auswertung sowie die Konzeption eines digitalen Bildarchives sind ebenso Inhalt von Kapitel 4, wie das Preprocessing der Satellitendaten, das von einfachen Kontrastverbesserungen über Daten-fehlerbeseitigungen bis hin zur zeitaufwändigen und nicht ganz problemlosen Geokodierung der Fernerkundungsbilder reicht.

Als erste umfangreichere qualitative Analyse erfolgt in Kapitel 5 die systematische multitemporale Bildauswertung der wiederholt aufgenommenen Fotostandorte im Untersuchungsgebiet. In einem Zusammenspiel aus Literaturarbeit und Bildinterpretationen nach einer projekteigenen homogenisierten Legende ergibt sich ein erstes differenziertes qualitatives Bild vom Ressourcenpotenzial und der lokalen Nutzungsintensität im Untersuchungsraum. Es wird ein einfacher jedoch umfassender und auch zukünftig leicht aktualisierbarer Monitoring-Ansatz aufgezeigt, der zudem eine wichtige Basis für die Validierung der klassifizierten *land-use/land-cover*-Daten ist.

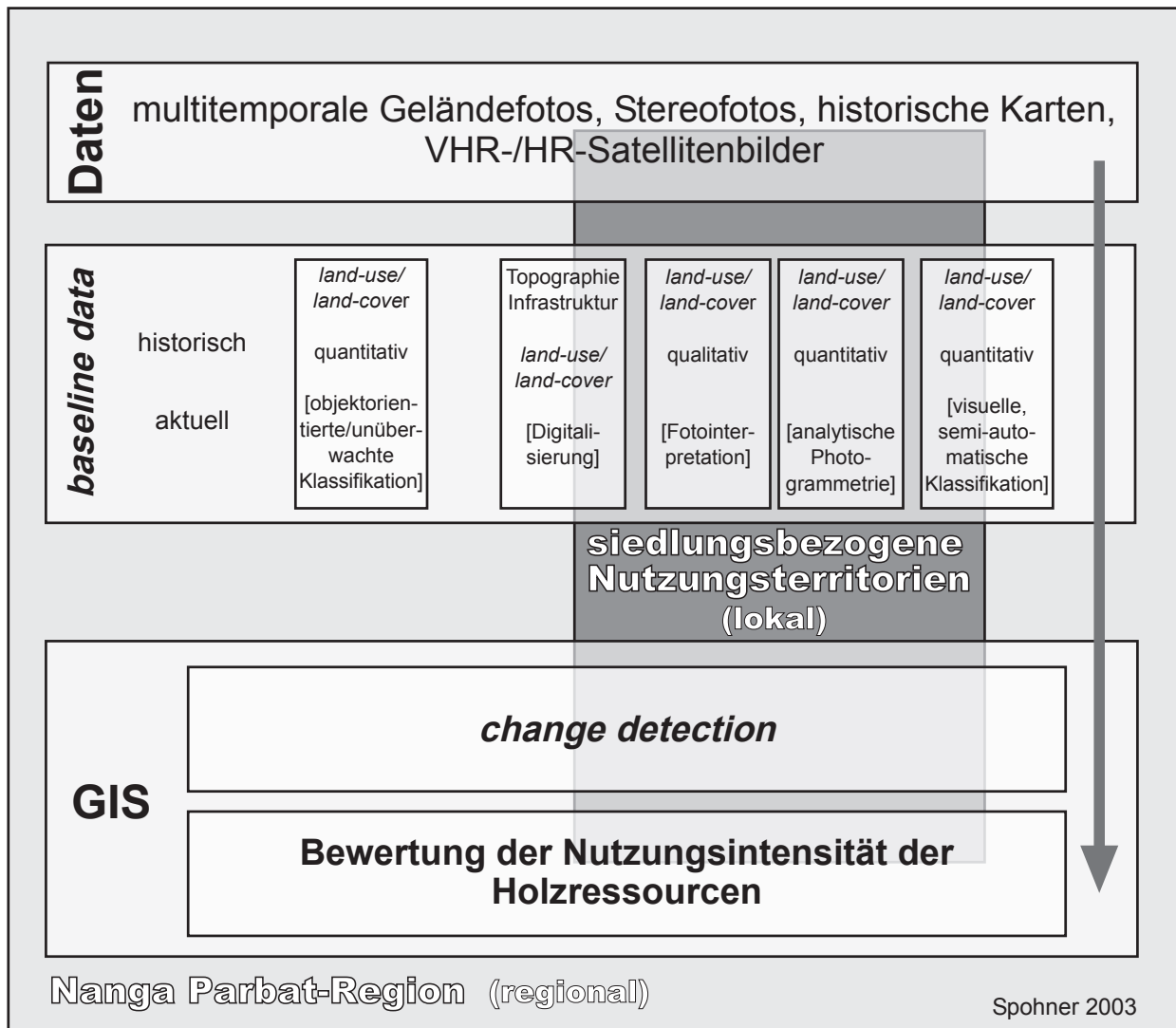


Abb. 1.3.1: Vereinfachter Konzeptionsrahmen, methodenpluralistischer Ansatz und Skalenbereich der land-use/land-cover change-Analyse der Nanga Parbat-Region.

Die raumbezogene Erfassung der *general baseline data* mit Hilfe der Photogrammetrie und diversen Fernerkundungsmethoden sind Inhalt von Kapitel 6. Möglichkeiten und Grenzen der Auswertung unkonventionell aufgenommenen terrestrischer Stereobildpaare werden aufgezeigt und Ergebnisse der lokalen analytischen Erfassung dargestellt. Der Kartiergenauigkeit der historischen Vegetationskarte wird besondere Beachtung geschenkt und anhand eines Methoden-Pools (Auswertung der Expeditionstagebücher und -bildarchive, Sichtbarkeitsanalysen von der Feldroute, Bildvergleiche historischer Fotos mit konstruierten 3D-Landschaftsbildern überlagert mit Kartentextur, Vergleichskartierungen aus CORONA-Bilddaten) wird ein Qualitätsindex des Basiszeitschnittes der *land-use/land-cover*-Analyse erstellt. Die Erstellung von Basisdaten aus Satellitenbildklassifikationen mit objektorientierten und pixelbasierten Verfahren für den regionalen Maßstab sowie mit Hilfe visueller und semi-automatischer Verfahren im lokalen Bereich stehen im Zentrum dieses Kapitels.

Die erstellten *baseline data* werden in Kapitel 7 einer *change detection* zugeführt. Sowohl in einer gesamtäumlichen als auch lokalspezifischen Analyse erfolgt eine Auswertung der Veränderungen nach Qualität und raumdifferenziertem Ausmaß. Darüber hinaus wird eine GIS-basierte Bewertung der Veränderungen vorgenommen, um Gebiete mit kritischer Entwicklung herauszufiltern. Ziel ist, die aktuelle Nutzungsintensität der Holzressourcen aufzuzeigen und Gebiete hinsichtlich einer nachhaltigen oder degradationsfördernden Waldnutzung zu klassifizieren und auszugliedern. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit werden

anschließend unter dem Gesichtspunkt eines zukünftigen Monitoring von Landschaftsveränderungen in der Nanga Parbat-Region und den angrenzenden Gebieten kritisch diskutiert (vgl. Kap. 8).

## Begriffe und Definitionen

Die in der anglo-amerikanischen Nomenklatur von LUCC-Forschung, Fernerkundungs- und GIS-Methoden bestehenden Fachtermini werden in der vorliegenden Arbeit weitgehend übernommen, da sie zum gebräuchlichen wissenschaftlichen Wortschatz der Methodenkomplexe geworden sind. Die verwendeten Fachbegriffe werden durch eine kursive Schreibweise im Text kenntlich gemacht. Ebenso erfahren die in den lokalen Analysen vorkommenden vielfältigen Ortsnamen eine Hervorhebung (Schriftschnitt: **fett**) zur Verbesserung der räumlichen Orientierung während des detaillierten Analyseprozesses. Der sehr umfangreiche Bild-, Tabellen- und Kartendokumentationsbereich der vorliegenden Arbeit wurde zur optimierten kombinierten Nutzung von textlicher Analyse und deren graphischen Umsetzungen zum größten Teil in einen Anhangsband ausgegliedert. Im Textband sind alle wichtigen konzeptionellen Grafiken zu finden. Auf die meistens ganzseitigen grafischen Analyseergebnisse im Anhangsband wird im Textband in den Abbildungsverweisen hingewiesen (Beispiel: vgl. Abb. 3.2.1, [A]). Im Folgenden wird kurz das dieser Arbeit zu Grunde liegende Verständnis einiger Schlüsselbegriffe verdeutlicht.

Abgeleitet aus dem inhaltlichen Fokus ‚Landschaftsveränderungen in der Nanga Parbat-Region‘ bestehen die zentralen miteinander in Beziehung stehenden Begriffe *land-cover* und *land-use*. Der Begriff ‚Landschaft‘ wird hier analog zur Definition der *European Landscape Convention* vom 20. Oktober 2000 verstanden: *Landscape means an area, as perceived by people, whose character is the result of the action and interaction of natural and/or human factors* (EEA 2004). *Land-cover* ist im weiteren Sinne die sichtbare physische Bedeckung der Erdoberfläche und beinhaltet sowohl die Quantität und den Typ von natürlicher und anthropogen angepflanzter Vegetation als auch die vegetationslosen Oberflächenbedeckungen inklusive menschlicher Konstruktionen wie z.B. Gebäude (MEYER et al. 1994: 5, TURNER II et al. 1995: 20, McCONNELL/MORAN 2001: 4). Veränderungen von *land-cover* äußern sich einerseits durch die Konvertierung einer *land-cover*-Klasse in eine andere (Umwandlung von Wald in Kulturland durch Abholzung). Andererseits werden veränderte Bedingungen innerhalb einer *land-cover*-Klasse, hervorgerufen z.B. durch selektive Einschlagstätigkeit im Wald, als Modifikation bezeichnet (MEYER et al. 1996). Der Begriff *land-use* beinhaltet sowohl die Art und Weise in der die biophysischen Eigenschaften der Landoberfläche vom Menschen manipuliert werden als auch den Zweck, der hinter der Nutzung der Naturressourcen steht (TURNER II et al. 1995: 20, McCONNELL/MORAN 2001: 9). *Land-use* Veränderungen können einen Wechsel zu einer anderen Nutzung oder eine Intensivierung bzw. Extensivierung des bestehenden Nutzungssystems bedeuten (MEYER et al. 1994: 5). Mit Blick auf das in Kapitel 1.2 vorgestellte lokal-regionale Mensch-Umwelt-System wird die enge Verknüpfung von *land-cover* und *land-use* deutlich. Bezogen auf das in der Nanga Parbat-Region bestehende Nutzungssystem der gemischten Hochgebirgslandwirtschaft (vgl. Kap. 2.3) zeigt sich, dass eine spezifische Landnutzung auf mehrere *land-cover*-Klassen (Kulturland, Wald, alpine Matten) angewiesen ist und umgekehrt eine *land-cover*-Klasse - z.B. Wald - diverse Nutzungen ermöglicht (Brennholz sammeln, Waldweide, Holzexploitation). Da im Untersuchungsgebiet die sichtbaren Landschaftscharakteristika zunächst die *land-cover* zeigen, jedoch eine Landnutzung impliziert ist, wird in der vorliegenden Arbeit der kombinierte Begriff der *land-use/land-cover*-Analyse verwendet.

Der Begriff ‚**Degradierung**‘ wird in dieser Arbeit primär im Zusammenhang mit der *land-cover*-Veränderung der Objektklasse Wald verwendet und beinhaltet analog zur Definition von HONERLA (2003) zum Begriff ‚Walddegradierung‘ die „dauerhafte nachteilige Veränderung der natürlichen Waldgesellschaft (Artenzusammensetzung, Struktur, Funktion) durch menschliche Eingriffe, natürliche Katastrophen (Feuer,



Orkan), Kalamitäten oder durch Änderung des Klimas“, wobei die anthropogenen Einflüsse im Untersuchungsgebiet deutlich stärker gewichtet werden müssen (vgl. SCHICKHOFF 2002). Es umfasst somit sowohl die Modifikation (*degradation* - i.e.S., LUND 2000) von Waldstandorten als auch die Umwandlung (*deforestation* - i.e.S., LANLY 2003) des Waldökosystems in eine andere *land-cover*-Klasse - z.B. Kulturland oder Grasland. Im generellen Sinne ist die Walddegradierung eine Komponente der *land degradation*, die eine temporäre oder auch permanente Verminderung der Produktivität von Land-Ökosystemen inklusive der bestehenden Nutzungssysteme und ökonomischen Ressourcen beinhaltet (STOCKING/MURNAGHAN 2000).

Der Begriff der ‚**Nachhaltigkeit**‘ bezieht sich auf das 1987 von der *World Commission on Environment and Development (Brundtland-Report)* formulierte Leitbild, was eine Entwicklung als nachhaltig betrachtet, „wenn sie den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“ (HAUFF 1987: 46). Bezogen auf eine nachhaltige Nutzung der Waldressourcen bedeutet das „*the stewardship and use of forests and forest lands in such a way, and at a rate, that maintain their biodiversity, productivity, regeneration capacity, vitality and their potential to fulfil, now and in the future, relevant ecological, economic and social functions, at local, national, and global levels, and that does not cause damage to other ecosystems*“ (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe 1993 in EEA 2004).

Die aus der Agenda 21 resultierenden Forderungen nach einem Informationssystem zur Ökologie und nachhaltigen Entwicklung der Hochgebirgsräume umfasst sowohl Aspekte einer Beobachtung natürlicher Ressourcen als auch die einer Bewertung und Prognose ihres aktuellen Zustandes unter Berücksichtigung anthropogener Einwirkungen. Als umschließende Klammer für diese Kombination aus Informationsbasis und Überwachungssystem wird der Begriff ‚**Monitoring**‘ verwendet (vgl. IZRAEL 1990). Ein Monitoringsystem sollte jedoch auch eine kontrollierende und steuernde Komponente enthalten, wobei die Beobachtungen, Bewertungen und Prognosen einer zielgerichteten Durchführung von Programmen und deren Umsetzung in Umweltpolitik und Gesetzgebung dienlich sein müssen (vgl. European Commission 1999 in EEA 2004).

Die vorliegende Untersuchung hat im Sinne der LUCC-Forschungsschwerpunkte den Charakter einer *case study* und analysiert die *land-use/land-cover changes* in dem regional begrenzten Raum der Nanga Parbat-Region. Aufgrund der in Kapitel 1.2 gestellten Frage nach einer möglichen maßstabsabhängigen divergierenden Aussage zu Landschaftsveränderungen in diesem Raum werden zwei Skalenbereiche zu Grunde gelegt. Die Basis der qualitativen Analyse wird aus der kleinsten Raumeinheit gebildet und bezieht sich auf Landschaftsausschnitte, die eine Siedlung oder eine Talflanke zeigen. Für die GIS-gestützte bewertende quantitative Auswertung der Veränderungen wird auf die siedlungsbezogenen Nutzungsterritorien zurückgegriffen (vgl. NÜSSER 1998, CLEMENS 2001). Die Grenzen dieser Raumeinheit werden im Regelfall durch topographische Objekte definiert (Teileinzugsgebiete des Nanga Parbat-Gebietes durch Kammlinien und Abflußlinien gegliedert). Zusammengefasst bilden diese beiden Bezugsebenen den **lokalen Maßstabsbereich** (analog zum Skalenniveau von *unit of production* bis *landscape* in TURNER II 1995 und *site* bis *small landscape mosaic* in BAILEY 1995). Als übergeordnete Analyseebene bzw. **regionaler Maßstabsbereich** fungiert das im Kartenblatt der Topographischen Karte der Nanga Parbat-Region abgedeckte Gebiet (analog zum Skalenbereich von *landscape* bis *region* in TURNER II 1995 oder *landscape mosaic* bzw. *landscape* bis *subregion* in BAILEY 1995).

#### 1.4 Integration von Fernerkundung und GIS als wertvolles Werkzeug für lokale und regionale *land-use/land-cover change* Analysen im Hochgebirge

Für das Verständnis rezenter Landschaftsveränderungen und für die Generierung von zukünftigen Entwicklungsszenarien sind quantitative und raumbezogene Daten unumgänglich. Besonders Hochgebirgsräume, mit ihrer durch die extremen topoklimatischen Voraussetzungen resultierenden funktionalen und strukturellen Heterogenität der Ökosysteme und deren dynamischen Veränderungen in Raum und Zeit, benötigen explizit groß- bis mittelmaßstäbige raumbezogene *land-use/land-cover*-Daten, da sowohl eine Generalisierung als auch eine Extrapolation diesem komplexen Raumkonzept entgegenstehen (LAMBIN/GEIST 2001, HEYWOOD et al. 1994, GOSH 2001). Die Bereitstellung, Speicherung, Analyse, Bewertung und Darstellung der raumbezogenen Daten bedeuten eine große Herausforderung für die Nutzung Geographischer Informationssysteme (GIS), die im Sinne von COWEN (1988) ‚*a decision support system involving the integration of spatially referenced data in a problem solving environment*‘ darstellen (BURROUGH/McDONNELL 1998). Dies macht GIS nicht nur zu einem mächtigen Werkzeug, um räumliche Muster von Phänomenen und deren umweltbeeinflussende raumwirksame Faktoren in einer Landschaft zu verstehen, sondern GIS bildet im Zusammenhang mit multitemporalen Fernerkundungsdaten gleichzeitig die Grundlage für ein Landschaftsmonitoring- und Managementsystem (BLASCHKE 2002).

Klassische Datenquellen für eine Veränderungsanalyse von *land-use/land-cover* im Hochgebirgsraum sind multitemporale Karten und Luftbilder sowie Vermessungen im Feld, zu denen auch die terrestrische Photogrammetrie zählt. Inzwischen gibt es eine über 40jährige Zeitreihe diverser analoger und digitaler HR- und VHR-Satellitenbilder, die für die Datengewinnung einer lokalen bis regionalen GIS-Applikation herangezogen werden können. Die Datenverfügbarkeit und -dichte in den Hochgebirgen - sowohl von historischen als auch von aktuellen Karten und Fernerkundungsdaten - ist stark abhängig von der Besiedlungsgeschichte, der aktuellen Landnutzung und vor allem politischen Einflüssen. Günstige Datenbedingungen finden sich in west-europäischen und amerikanischen Gebirgsräumen. Hier ist die multitemporale Datendichte auch im großmaßstäbigen Bereich wesentlich höher als in Hochgebirgen der weniger entwickelten Nationen, wo in politisch sensiblen Grenzregionen häufig militärische Restriktionen den Mangel an raumbezogenen Informationen verschärfen (HEYWOOD et al. 1994). Eine erste Zusammenstellung von GIS-Applikationsbeispielen im Hochgebirge weltweit haben HEYWOOD und PRICE (1994) in Buchform veröffentlicht. Einen Einblick in die große Vielfalt an Forschungsprojekten zum Themenbereich Umweltveränderungen im Hochgebirge zum Ende des 20. Jahrhunderts - u.a. auch *land-use/land-cover change* Untersuchungen - erfolgt im Proceedingsband zur *European Conference on Environmental and Societal Change in Mountain Regions* (PRICE 1999). In Vorbereitung ist eine im Rahmen der *Mountain Research Initiative* erfolgte Zusammenstellung aktueller Forschungsprojekte zu *Global Change and Mountain Regions* (HUBER et al. [in print]).

Seit Anfang der 1990er Jahre erfolgte eine rasante Entwicklung von diversen Foren und Initiativen, die einerseits die methodische Entwicklung von *land-use/land-cover-change*-Analysen dokumentieren und diskutieren und andererseits bestehende regionale bis nationale Applikationen als Hilfe für Entscheidungsträger oder partizipatorisches Management von natürlichen Ressourcen vorstellen. Die Standardisierung von Forschungsvorhaben und deren Umsetzungsstrategien sind ein Fokus der IGBP-IHDP LUCC- (TURNER II et al. 1995, LAMBIN et al. 1999) und der *Mountain Research-Initiative* (BECKER et al. 2001, <http://mri.sanw.net.ch/>). LUCC ist gleichzeitig eine Informationsplattform bestehender Forschungsvorhaben ([www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html)) und auch Dachorganisation der DAPLARCH-Initiative, die sich u.a. die Harmonisierung internationaler Datensysteme, die Priorität der benötigten Datensätze und Entwicklung der Methodologie für spezielle Datensätze als Ziel gesetzt hat (vgl. BAULIS et al. 1997, [www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/Lucc.html) - DAPLARCH). Weitere internationale Diskussionsforen und

Präsentationsplattformen für allgemeine und spezielle methodische Forschungen und Entwicklungen im Bereich der fernerkundlichen Datenerfassung sind u.a. die Workshops der *ICA-Commission on Mountain Cartography* (<http://www.kart.ethz.ch/ica-cmc/cmc-workshops/workshops.html>), die Symposien der *High Mountain Remote Sensing and Cartography* (HMRSC) und die internationalen Fernerkundungsforen der *International Society of Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) und das *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (IGARSS). Eine Vielzahl von national bzw. kontinental ausgerichteten Informationsplattformen fokussieren sowohl auf regionalspezifische GIS- und Fernerkundungsapplikationen als auch auf Methodenentwicklungen im Umfeld von *land-use/land-cover-change*-Analysen. Hier sollen - bezogen auf die in dieser Arbeit vorgestellte Region des West-Himalaya - v.a. die Foren der asiatischen und im speziellen der Hindu Kush-Himalaya Region genannt werden. Die Bündelung von Proceeding-Publikationen aus der *Asian Conference on Remote Sensing*, der *Map Asia* und *Map India* im GIS-Portal [www.gisdevelopment.net](http://www.gisdevelopment.net) bietet eine umfassende Zusammenstellung diverser Applikationen für *land-use/land-cover*-Analysen asiatischer aber auch internationaler Forschungsprojekte. Speziell für die Hindu Kush-Himalaya-Region wurde vom *Mountain Environmental Natural Resources Information Service* (MENRIS) des *International Centre for Integrated Mountain Development* (ICIMOD) ein Daten- und Informationsportal entwickelt (*GIS for Sustainable Mountain Development in the Hindu Kush Himalayas*, <http://www.icimod-gis.net/web/index.htm>). Zentrale Ziele dieser Aktivitäten sind die Entwicklung und Bereitstellung von regionalen geographischen Datenbanken aus topographischen Basisdaten, einem regionalen *land-cover*-Klassifikationssystem und homogenen Schlüsseldatensätzen (administrative Einheiten, Transport-Netzwerk, Hydrographie, Digitales Geländemodell, *land-cover*, Inventar von Biodiversität/Schutzgebieten/Gletscher und Gletscherseen) sowie einem Metadaten-Server und standardisierten Applikationen (*land-cover*-Kartierung und Monitoring von Satellitenbilddaten, Inventarisierung und Monitoring von Biodiversität und Gletscherseen) (BITTER 1999, BAJRACHARYA et al. 2001, PRADHAN 2002).

Vier methoden- und datenspezifische Aspekte lassen sich aus dem oben dargestellten integrativen methodologischen Rahmen für eine *land-use/land-cover-change*-Analyse im Hochgebirge ausgliedern:

- 1) Erfassung und Bereitstellung von *land-use/land-cover*-Information im lokalen bis regionalen Maßstabsbereich,
- 2) Detektion von *land-use/land-cover*-Veränderungen in ihrer qualitativen, quantitativen und raumbezogenen Ausprägung,
- 3) Bewertung der detektierten Veränderungen und Ausweisung von Gebieten mit kritischer Entwicklung,
- 4) Prognose zukünftiger Entwicklungen.

Die Aspekte 1 bis 3 sind in der jüngsten Forschung standardmäßig vertreten, jedoch in ihrem Klassifikationsschema stark projekt- und raumbezogen und daher selten überregional vergleichbar. Der Datentyp und die Verfügbarkeit von raumbezogenen Daten bestimmen den integrativen methodischen Ansatz für eine *land-use/land-cover change*-Analyse. Das Spektrum möglicher Datengrundlagen reicht von terrestrischen Mono- oder Stereo-Geländefotografien, über diverse Fernerkundungsdaten (Luftbilder und analoge bzw. digitale Satellitenbilddaten) bis hin zu topographischen und thematischen Kartenmaterialien. Der zugehörige Methoden-Pool zur Erfassung von *land-use/land-cover* Informationen beinhaltet sowohl die qualitative Interpretation der terrestrischen Fotografien, die terrestrische Stereophotogrammetrie- und Monoplottingverfahren, die digitale Aufbereitung raumbezogener Informationen aus analogen Karten, die Erstellung Digitaler Geländemodelle als auch die visuelle und semiautomatische Klassifikation der Fernerkundungsdaten. Die Tabellen 1.4.1 und 1.4.2 zeigen eine ausgewählte Zusammenstellung von Forschungsansätzen in Berggebieten, die zum einen primär auf terrestrischen Fotografien basieren und zum anderen mit einem integrativen Ansatz aus Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS arbeiten. Die Aufstellung zeigt, dass

Forschungsansätze	Autor(en)/Jahr	terrestrische Bilddaten			Fernerkundungsdaten		Karten		GIS					Thematik			Region					
		qualitative multitemporale Bildvergleiche	Stereoc-/Konvergenz Verfahren	Monoplotting	Luftbild	Satellitenbild	topographische Karten	thematische Karten	Change Detection			Bewertung		Geomorphologie	Gletscher / Gletscherseen	land-use / land-cover *						
									visuelle Interpretation	semi-automatische Klassifikation	visuelle Interpretation	semi-automatische Klassifikation	Post-Klassifikations-Overlay					spektrale Change Detection	Flächenberechnung (land-use/land-cover inventare)	Landschaftsmaße	Index-Overlay	Ausweisung kritischer Gebiete
qualitative und quantitative Erfassung von Landschaftsveränderungen mit terrestrischen Fotografien	ALLEN, C.D. et al. (2003)	X			X										X		X	USA				
	ASCHENBRENNER, J. (1992)			X												X		Österreich				
	ASCHENWALD, J. et al. (2001)			X													X	Italien				
	BEST, F. et al. (1981)	X	X														X	Pakistan				
	BYERS, A.C. (1987)	X													X		X	Nepal				
	BYERS, A.C. (2000)	X														X	X	Peru				
	CHANDLER, J.H. et al. (1989)		X												X			England				
	CORRIPIO, J.G. (2002)			X				X										X	Frankreich			
	Der Spiegel (1995)	X																X	Europa			
	Der Spiegel (2002)	X														X			Alpen			
	FAGRE, D. (2003)	X			X											X	X		USA			
	HAEBERLI, W. et al. (2003)	X														X			Alpen			
	HAUSER, W. (2002)	X														X			Alpen			
	IVES, J.D. et al. (1989)	X																X	China			
	IVES, J.D. (1997)	X																X	China			
	IVES, J.D. (1987)	X													X		X		Nepal			
	KAPPENBERGER, G. et al. (1993)	X	X													X			Nepal			
	KICK, W. (1972)	X	X													X			Russl./Pak.			
	KICK, W. (1989)	X	X													X			Pakistan			
	LANE, S.N. et al. (1993)		X													X			England			
	LUCKMAN, B.H. (2002)	X																X	Kanada			
	MASTROGIUSEPPE, R. et al. (1997)	X																X	USA			
	NÜSSER, M. (1998/ 2000/ 2001)	X																X	Pakistan			
	SCHICKHOFF, U. (2002)	X																X	Pakistan			
	SCHMIDT, S. (in Vorb.)			X				X										X	Schweiz			
	SHIYATOV, S.G. (2003)	X																X	Russland			
	SKOVLIN, J.M. et al. (2001)	X																X	USA			
	SPOHNER, R. (1993)	X	X					X		X		X						X	Pakistan			
	VUICHARD, D. et al. (1987)	X														X	X		Nepal			
	WALTER, A. (1999)	X	X					X		X		X						X	Pakistan			
	WARNER, W.S. et al. (1998)		X													X			--			

Tab. 1.4.1: Zusammenstellung von Forschungsansätzen zur qualitativen/quantitativen Erfassung von Landschaftsveränderungen aus terrestrischen Fotografien (\*: beinhaltet: Wald-, Weide-, Kulturlandnutzung / Vegetation, Schnee, vegetationslose Flächen)

sich eine Vielzahl von Analysen auf die visuelle Erfassung von Objektdaten aus Luftbildern und auch Satellitenbildern stützt. Topographische Karten sind in allen Projekten unumgänglich, einerseits als Referenz für die Fernerkundungsdaten und andererseits als Informationsspeicher von *land-use/land-cover*. Bei den semi-automatischen Klassifikationsverfahren überwiegen die pixelbasierten Ansätze mit überwachten (*Maximum Likelihood*) und unüberwachten Verfahren (ISODATA). Aktuell werden im Zuge der Nutzung höchstauflösender Fernerkundungsdaten objektorientierte Verfahren für den Hochgebirgsraum getestet und eingesetzt (vgl. JANOTH et al. 2002, BLASCHKE 2002). Bei den *change detection* Verfahren wird fast ausschließlich der Postklassifikations-Ansatz gewählt, was auf die ausgesprochen heterogene multitemporale Datenlage zurückzuführen ist. Eine quantitative Abschätzung der Zeitschnittinventare ist allen Projekten immanent. Jedoch wird in nur knapp 30% der Ansätze eine GIS-basierte Analyse zur Bestimmung der Nutzungsintensität von natürlichen Ressourcen und zur Ausweisung kritischer Gebiete vorgenommen. Neben den rein quantitativen Analyseansätzen gibt es eine Vielzahl an Projekten, die Archivdaten nutzen - in erster Linie terrestrische Fotografien - und in einem qualitativen Ansatz mit und ohne graphische Interpretationsumsetzung Landschaftsveränderung dokumentieren (vgl. Tab. 1.4.1). Mit der Entwicklung der analy-

tischen Photogrammetrie können auch unkonventionelle Aufnahmedispositionen (Konvergenzaufnahmen, Stereobildpaare nicht-metrischer Kameras) eingesetzt werden und quantitative lokale Auswertungen gerade für den Hochgebirgsraum werden ermöglicht (KICK 1972, SPOHNER 1993, WALTER 1999). Aktuelle Entwicklungen stützen sich auf digitale Monoplottingverfahren (ASCHENWALD et al. 2001, CORRIPIO 2002, SCHMIDT in Vorb.).

Forschungsansätze	Autor(en)/Jahr	terrestrische Bilddaten			Fernerkundungsdaten			Karten		GIS				Thematik			Region			
		qualitative multitemporale Bildvergleiche	Stereo-/Konvergenz Verfahren	Monoplotting	Luftbild		Satellitenbild	topographische Karten	thematische Karten	Change Detection		Bewertung		Geomorphologie	Gletscher / Gletscherseen	land-use / land-cover *				
					visuelle Interpretation	semi-automatische Klassifikation	visuelle Interpretation			semi-automatische Klassifikation	Post-Klassifikations-Overlay	spektrale Change Detection	Flächenberechnung (land-use/land-cover Inventare)					Landschaftsmaße	Index-Overlay	Ausweisung kritischer Gebiete
ABATE, S. (1994)				X			X		X	X			X		X	Äthiopien				
ARORA, N. et al. (2002)						X	X			X		X	X		X	Indien				
BAJRACHARYA, S.R. et al. (2002)				X			X	X	X	X			X		X	Nepal				
BANKO, G. et al. (1998)						X	X		X	X					X	Österreich				
BUCHROITHNER, M.F. et al. (1991)				X			X			X			X			Nepal				
CHO, S.-H. (2000)							X	X		X	X				X	USA				
CUSHMAN, S.A. (2000)							X	X		X	X	X			X	Russland				
GAUTAM, A.P. et al (2002b)				X			X	X	X	X	X				X	Nepal				
GAUTAM, A.P. et al. (2002a)				X			X	X	X	X					X	Nepal				
GRUBER, M. et al. (1990/1992)				X			X			X			X		X	Nepal				
JACKSON, W.J. (1998)				X			X			X					X	Nepal				
JANOTH, J. et al. (2002)							X	X		X					X	Österreich				
JHA, R. et al. (2002)				X		X	X		X	X					X	Nepal				
JORDAN, G. (1994)							X	X		X		X	X	X	X	Nepal				
KADMON, R. (1999)				X	X		X		X	X					X	Israel				
KARANTJIT, S. (2002)						X	X		X	X		X	X		X	Indien				
KHAN, A. et al. (1998)						X	X		X	X					X	Pakistan				
KOSTKA, R. (1993)		X				X	X			X			X	X	X	Nepal				
KOSTKA, R. (2002)		X		X			X			X				X		Nepal				
KUSTER, H. (1993)						X	X			X					X	Indien				
LIETH, G. (2002)						X	X	X		X					X	Pakistan				
MILLINGTON, A.C. et al. (2000)						X	X		X	X					X	Pakistan				
MOREIRA, F. (2001)				X			X	X		X					X	Portugal				
MÜLLEROVA, J. (1999)					X		X		X	X					X	Tschechien				
MUMINOV, I. et al. (2002)						X	X	X	X	X					X	Uzbekistan				
OLSSON, E.G.A. et al. (2000)				X			X	X		X					X	Norwegen				
PAHARI, K. et al. (1997)				X			X	X	X	X		X	X	X	X	Nepal				
PANDEY, A.C. et al. (2002)						X	X			X					X	Indien				
PANIKKAR, S.V. (2000)						X	X		X	X					X	Nepal				
PATANJALI, P.K. et al. (2003)						X	X		X	X		X	X	X	X	Indien				
REID, R.S. (2000)				X		X	X		X	X					X	Äthiopien				
RIEBSAME, W.E. et al. (1996)				X			X			X					X	USA				
SACZUK, E. (2002)	X					X	X	X	X	X		X	X		X	Nepal				
SCHWEIK, C.M. et al. (1997)				X			X		X	X		X			X	Nepal				
SEN, K.K. et al. (2002)						X	X		X	X		X			X	Indien				
SHARMA, R.R. (2002)						X	X		X	X		X			X	Nepal				
SOUTHWORTH, J. et al. (2001)						X	X		X	X		X	X		X	Honduras				
SULZER, W. et al. (1997)				X		X	X	X	X	X					X	Österreich				
TAMRAKAR, R.M. (1991)				X			X		X	X					X	Nepal				
TEKLE, K. et al. (2000)				X			X		X	X					X	Äthiopien				
THEBALD, D.M. et al. (1996)				X			X			X					X	USA				
VIRGO, K.J. et al. (1994)				X			X			X					X	Nepal				
ZELEKE, G. et al. (2001)				X		X	X			X					X	Ethiopien				
ZOMER, R.J. et al. (2001)						X	X		X	X					X	Nepal				

Tab. 1.4.2: Zusammenstellung von Forschungsansätzen mit integrativen Ansätzen zur Erfassung und Bewertung von Landschaftsveränderungen (\*: beinhaltet: Wald-, Weide-, Kulturlandnutzung / Vegetation, Schnee, vegetationslose Flächen)



Aktuell werden die Bestrebungen innerhalb der *land-use/land-cover change*-Forschungen auf die Entwicklung von lokalen und regionalen Modellen (*agent-based models*) erweitert (Aspekt 4), die zum verbesserten Verständnis von Landschaftsveränderung beitragen sollen und eine Schnittstelle zwischen biophysischen und sozio-ökonomischen Variablen herstellen. McCONNELL hebt den Menschen mit seinen individuellen Entscheidungen als kritisches Element der Landnutzung heraus und fordert folglich (McCONNELL 2002: xii)

- *development of intelligent agent-based models of local land use and regional land use. This involves the use of spatially explicit models of agents' behavior in a topographically explicit landscape wherein they encounter new challenges, their decision environment is uncertain, their behavior is adaptive, and they learn over time.*
- *development of regional models based on aggregate behavior, as expressed through the interplay of market forces, institutions, and demographic structural change.*

Eine Zusammenstellung aktueller Modellentwicklungen sind in PARKER et al. (2002) und AGARWAL et al. (2000) zu finden.

Der in der vorliegenden Arbeit vorgestellte integrative Ansatz leitet sich aus dem umfangreichen Fotoarchivmaterial, der topographischen Kartenbasis von 1934 (1:50.000) und der für diesen Kartenausschnitt bestehenden Vegetationskarte von 1939 ab. Diese Datenquellen bilden den historischen Ausgangspunkt der *land-use/land-cover* Analyse. Die Untersuchung ist regional beschränkt auf die Nanga Parbat-Region, da bis auf das Hunza-Tal (NW-Karakorum) keine weiteren mittel- bis großmaßstäbigen Kartengrundlagen zur Verfügung stehen. Aktuelle Vergleichsdaten (1997, 2000) sind hochauflösende Satellitendaten, die für das Projekt akquiriert wurden. Aufgrund der politischen Sonderstellung des Untersuchungsraumes und der bestehenden Datenrestriktionen standen für intermediäre Zeitschnitte keine der nationalen Luftbildreihen zur Verfügung, so dass auf die höchstaflösenden Satellitendaten der ersten Generation (CORONA) zurückgegriffen wurde. Insgesamt existieren für den Raum der Northern Areas (Pakistan) nur wenige *land-use/land-cover* Analysen. Dieses sind für das Hunza-Tal eine Vegetationsklassifikation sowie eine Klassifikation der Bewässerungsgebiete basierend auf Landsat TM Daten von 1990 (BRAUN 1996, HEYEN 1993). Des weiteren existiert eine *land-use/land-cover change* Analyse im lokalen Maßstabbereich für die Siedlungen Minapin und Nasirabad (Zentral-Hunza) aus IKONOS und CORONA Bildern (LIETH 2002). Die Dokumentation von Veränderungen anhand bitemporaler Bildvergleiche für ausgewählte Landschaftsausschnitte in der Nanga Parbat-Region wurde von CLEMENS (2001) und NÜSSER (1998, 2000, 2001) durchgeführt. SCHICKHOFF (2002) hat in den Jahren 1992-1994 waldökologische Untersuchungen anhand von 62 Probeflächen in 36 Tälern Nordpakistans vorgenommen und mit sozio-ökonomischen und politischen Variablen in einem integrativen Ansatz analysiert. Die Notwendigkeit einer raumbezogenen Erfassung der *land-use/land-cover* für die Täler Nordpakistans in lokalen bis regionalen Projekten wird anhand der oben zitierten Prognosen für die Waldstandorte nur zu deutlich. Aufgrund der für die Nanga Parbat-Region im Vergleich zu den benachbarten Talregionen noch positiven Datenlage kann eine integrative Analyse der Wald- und Kulturlandentwicklung seit 1934 erfolgen.

## 2. Untersuchungsraum – eine geographische Einordnung

### 2.1 Lage und Topographie

Die der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegende Untersuchung konzentriert sich auf den Kartenausschnitt der Topographischen Karte der Nanga Parbat-Gruppe (1936) der Deutschen Himalaya Expedition von 1934. Mit ca. 1600 km<sup>2</sup> umfasst das Gebiet das zentrale Nanga Parbat-Massiv in den Northern Areas Pakistans von 35° 10' bis 35° 35' nördlicher Breite und 74° 29' bis 74° 52' östlicher Länge. Als nordwestlicher Eckpfeiler des 2500 km langen Himalaya-Hauptkammes dominiert das Nanga Parbat-Massiv als „herausragende Erscheinung“ (KICK 1996: 5) seine nähere Umgebung und überragt diese mit seinen Gipfeln um 2000 bis 3000 m (FINSTERWALDER 1936: 322). Der Nanga Parbat ist mit 8126 m der höchste Gipfel im Massiv, welches mit seinen Höhenunterschieden von 7000 m an der Nordflanke (bei nur ca. 26 km Horizontalstrecke) und der steil abfallenden Rupal-Flanke an der Südseite (4575 m) ein topographisch stark variables, extremes Relief mit lokal hohen Denudationsraten von mindestens 2 mm/J bis zu 25 mm/J aufweist (KICK 1996: 5,6; SHRODER 1999: 126, SHRODER & BISHOP 2000: 172). Die in der Literatur genannten hohen Abtragungsraten sind jedoch nicht ausreichend, um die aktive Hebung des westlichen Himalaya von 5 mm/J (NÜSSER 1998: 36, nach ZEITLER 1985) zu kompensieren. Die Gründe für die Stellung des Nanga Parbat-Massivs hinsichtlich seiner absoluten Höhe, seiner Reliefausprägung und seiner Abtragungsprozesse liegen in den jungen tektonischen Vorgängen im Zusammenhang mit der Kollision des indischen Subkontinents mit der eurasischen Landmasse. Zugehörig zur so genannten Nanga Parbat-Haramosh-Syntaxis (NPHM) bildet das Massiv einen von der indischen Platte vordringenden Sporn, der den zwischen den Kontinentalplatten liegenden Kohistan-Ladakh-Inselbogen zusammenpresst. Ausgehend von der hohen Reliefenergie, der aktiven Tektonik, der großen Variabilität der Gesteins- und Sedimenttypen und den zeitweise in Form von Starkregen auftretenden Niederschlägen (vgl. Kap. 2.1.2) sind katastrophale Massenbewegungen (*slope failure*) ein häufiges Phänomen in dieser Region (SHRODER 1998: 102). Die destruktive Kombination von Erdbebenaktivität, extremen Relief und Winter- bzw. Frühjahrsniederschlägen zeigte sich erst jüngst nach den heftigen Erdstößen im November 2002 in der Nanga Parbat-Region. Als direkte Folgen der Erdbeben sind nicht nur die vielen Toten und Verletzten in den eingestürzten Häusern zu beklagen. Indirekt bewirkt die Zerstörung von wertvollem Kulturland sowie die stark eingeschränkte Versorgung der Bevölkerung aufgrund der durch Erdrutsche verschütteten Straßen eine länger anhaltende Notsituation der Menschen (Informationen dazu siehe Nachrichtenarchiv bei [www.northernareas.org.pk](http://www.northernareas.org.pk) und [www.irinnews.org](http://www.irinnews.org)). Zu diesen sich aufgrund ihrer kurzen Distanz lokal auswirkenden Erosionskräften treten die intensiven glazialen und fluvialen Prozesse mit lokaler bis regionaler Wirkung (SHRODER et al. 1998). Im Untersuchungsgebiet bildet das Entwässerungssystem des Rupal-Astor-Flusses, einem südlichen Tributär des Indus, die lokal-regionale Denudationsbasis für die durch die Massenbewegungen mobilisierten Schuttmassen.

Als Konsequenz aus den oben angesprochenen Prozessen und in Anlehnung an die Untersuchungen von HEWITT (1989) im angrenzenden Karakorum ergibt sich, dass die Hypsometrie des Nanga Parbat-Massivs ein Ergebnis komplexer Interaktion von Tektonik, klimatischen und erosiven Prozessen ist (BISHOP & SHRODER 2000: 181) und eine ausgeprägte höhenstufenabhängige Zonierung von klimatischen, ökologischen und geomorphologischen Regimen hervorruft. Die hypsometrische Kurve des Nanga Parbat-Gebietes (Abb. 2.1.1, [A]) in Verbindung mit einer klimatischen Höhendifferenzierung zeigt, dass mehr als 67% des Geländes im subhumiden bis humiden Höhenintervall zwischen 3000 bis 6000 m liegen (vgl. Tabelle in Abb. 2.1.1, [A]). Nur ca. 8% nehmen die steilen, tief eingeschnittenen unteren Talbereiche der Astor-, Buldar- und Raikot-Flüsse sowie des Indus ein, die durch trocken-heiße Talwüste gekennzeichnet sind. Daran anschließend entfallen auf die semiaride Stufe zwischen 2000 und 3000 m noch mehr als 21% Flä-

chenanteil, in der auch alle größeren Siedlungs- und Anbauflächen zu finden sind. Insgesamt befinden sich 96% der Höhenlagen unterhalb von 6000 m auf einer mittleren Höhe von ca. 3600 m, was nach BISHOP & SHRODER (2000: 185, 197) auf eine dominant glazial geformte Landschaft mit herausragenden Nunataka (unter 4% Flächenanteil) aus dem späten Pleistozän und frühen Holozän hinweist. Eine detaillierte Zusammenstellung der geomorphologischen Grundstrukturen ist bei NÜSSER (1998: 38-43) zu finden.

## 2.2 Klima und Vegetation

Bereits TROLL betonte die klimatisch „interessante Brückenstellung“ (TROLL 1939: 178) der Nanga Parbat-Region zwischen der monsunale beeinflussten Himalaya-Südabdachung und den Trockenräumen im zentralasiatischen Hochland. In der Arbeit von WEIERS (1995) wird der generell südwest-nordost verlaufende hygrische Gradient mit abnehmenden Jahresniederschlägen unterstrichen. Dieser großräumige Trend setzt sich zusammen aus den regionalen Feuchtegradienten einer südwest-nordöstlichen Abnahme der sommerlichen monsonalen Einflüsse und einer west-östlichen Abnahme winterlicher Niederschläge aus ektrischen Zirkulationsmechanismen (MIEHE et al. 1996: 194). Das Vordringen feuchter monsonaler Luftmassen in das Gebirgsmassiv des nordwestlichen Himalaya erfolgt innerhalb reliefbedingter Leitbahnen, wie z.B. im großen Talsystem des Indus. Der weit nach Norden vorgelagerte Nanga Parbat-Gebirgstock bildet hier eine Barriere für die sommerlichen Niederschläge, was zu einem feuchteren Regime an der Südabdachung und einer hygrisch benachteiligten trockeneren, von monsonalen Einflüssen abgeschirmten Nordabdachung der Nanga Parbat-Region führt. Im Jahresgang der Niederschläge zeigt sich für das Untersuchungsgebiet eine bimodale Verteilung, bei der die Winter- und Frühjahrsniederschläge dominieren und im Sommer ein sekundäres Maximum aufgrund der monsonalen Einflüsse erscheint. MIEHE et al. (2001) stellt anhand einer 38jährigen Messperiode für die Station Astor eine Jahressumme der Niederschläge von 576 mm fest, von denen mehr als 50% auf die Monate Januar bis April entfallen (Abb. 2.2.1). Die Talstation Astor ist aufgrund ihrer Lage in der semiariden submontanen Höhenstufe allerdings nicht repräsentativ für die Niederschlagsverhältnisse im Untersuchungsgebiet. Der großräumige horizontale Feuchtegradient wird durch einen vertikalen Gradienten regional modifiziert, der zu maximalen Niederschlägen von mehr als 2000 mm/J in Höhen über 6000 m führt (MIEHE et al. 1996: 194, MIEHE et al. 2001, vgl. Abb. 2.2.2). Dies führt in der Zusammenschau mit den hypsometrischen Verhältnissen zu hohen Schneeniederschlägen im Winter und Frühjahr, die im Bereich der alpinen bis nivalen Stufe zu ausgedehnten Schneeakkumulationen führen und als Wasserspeicher in Form von Gletschern und Schneefeldern von entscheidender Bedeutung für die landwirtschaftliche Inwertsetzung der Region sind.

Der Jahresgang der Monatsmitteltemperaturen zeigt ein deutliches sommerliches Maximum mit Werten für Astor von über 20°C sowie mit einem winterlichen Minimum von -2.4°C im Januar (WEIERS 1995: 32, MIEHE et al. 2001, vgl. Abb. 2.2.1). Der thermische Höhengradient beträgt im Mittel 0.765 K/100 m und ist in den Sommermonaten steiler ausgeprägt (WEIERS 1995: 84). Neben den topographischen und

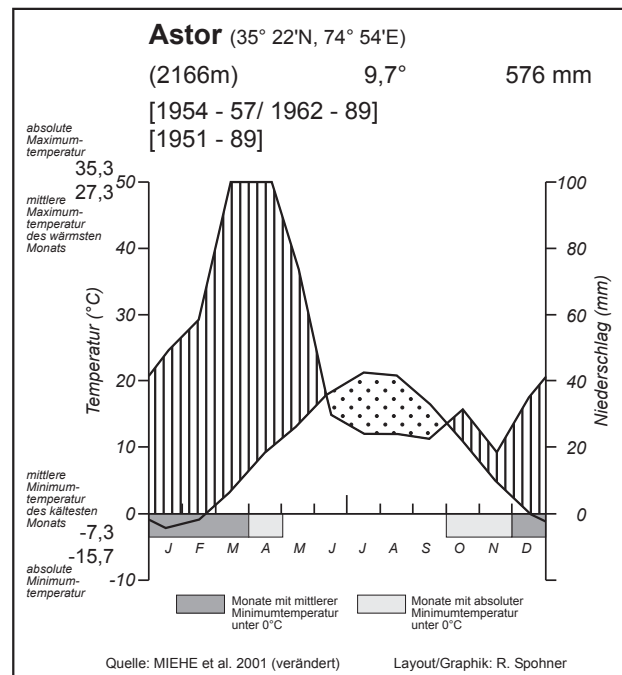


Abb. 2.2.1: Klimadiagramm (Station Astor-Ort)



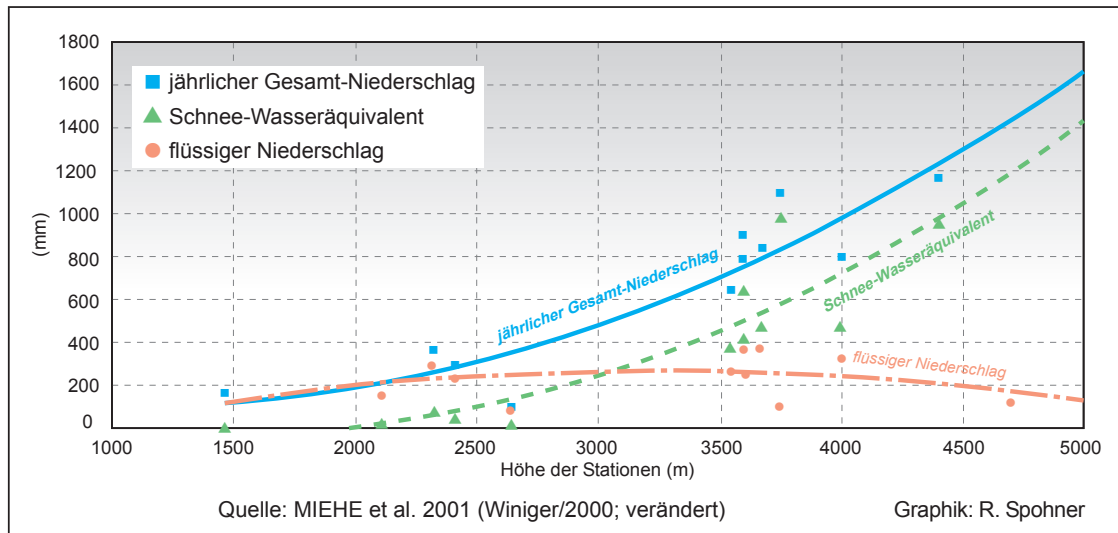


Abb. 2.2.2: Vertikale Gradienten für das Gebiet des zentralen Karakorum (flüssiger Niederschlag, Schnee-Wasseräquivalent, jährlicher Gesamt-Niederschlag)

hygrischen Voraussetzungen bilden vor allem die thermischen und strahlungsklimatischen Bedingungen die Grundlage und zugleich limitierende Faktoren für das Anbaupotenzial dieser Region. Die von WEIERS (1995) auf der Basis der 5°C-Tagesisotherme berechnete Karte der thermischen Vegetationsperioden und Nutzungspotenziale zeigt eindrucksvoll ohne Berücksichtigung der topoklimatischen Differenzierungen die begrenzten potenziellen Anbaugelände der Region Karakorum, Nordwest-Himalaya und Hindukusch. Für die Nanga Parbat-Region wurde diese Karte auf der Basis von Geländearbeiten ergänzt (NÜSSER & CLEMENS 1996: 162).

Das Verteilungsmuster der Vegetation im Untersuchungsgebiet wird durch eine übergeordnete zonale Höhengliederung bestimmt, die aufgrund topoklimatischer Phänomene lokal stark variieren kann. Thermische und hygrische Verhältnisse von Vegetationsstandorten sind in diesem extrem gegliederten Hochgebirgsrelief von der Wirkung der Strahlungsexposition abhängig, die zu einer erhöhten Feuchtigkeit abgeschatteter Standorte führt (Abb. 2.2.3, [A]). Darüber hinaus modifizieren edaphische Faktoren wie der Gesteinsuntergrund, der Boden, das Bodenwasser, das Bodenklima und das Mikrorelief das Verbreitungsmuster der Vegetation (TROLL 1967: 535). Insgesamt gesehen wird nach MIEHE et al. die Nanga Parbat-Region zum subhumiden Sequenz-Typ der Vegetationshöhenstufen gezählt (MIEHE et al. 1998: 108). Das bedeutet, dass die klimatisch indikative Vegetation, hier der feuchte Nadelwald mit *Picea wallichiana* und *Picea smithiana*, unter den in dieser Region nicht mehr vollhumiden Bedingungen auf die Schattenhänge ausweicht, was aus der Abbildung 2.2.4 deutlich hervorgeht.

In Abbildung 2.2.3 [A] wird in einer Gegenüberstellung der rein horizontalen Höhenstufung der Vegetation nach TROLL (1967: 518) und einem modellhaften Gesamtüberblick unter Berücksichtigung der Exposition- und Höhenlage nach NÜSSER (1998: 76) die Verteilung der Vegetation im Untersuchungsgebiet deutlich. Für den Gesamttraum zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung der historischen und aktuellen Höhen-Expositionsverteilung. Ein Erklärungsansatz für die Abweichungen der historischen Vegetationsverteilung gegenüber der aktuellen aus Feldarbeit abgeleiteten Verteilung - vor allem den historisch auf Südexpositionen kartierten montanen Waldbestände des feuchten Koniferenwaldes - findet sich in Kapitel 3.1.1 und 6.3. Aufgebrochen wird die modellhafte Höhen-Expositionsverteilung bei der Betrachtung der Teileinzugsgebiete des Untersuchungsraumes. Modifiziert durch die Ausrichtung der Täler, deren Anteil an den Vegetationshöhenstufen und einer variierenden Naturraumausstattung zeichnet sich eine eher höhenstufenabhängige und expositionsgesteuerte Verteilung der Vegetationsformationen ab. Im einzelnen gliedern DICKORÉ & NÜSSER (2000: 13ff) sechs Höhenstufen aus: die kolline, submontane, monta-

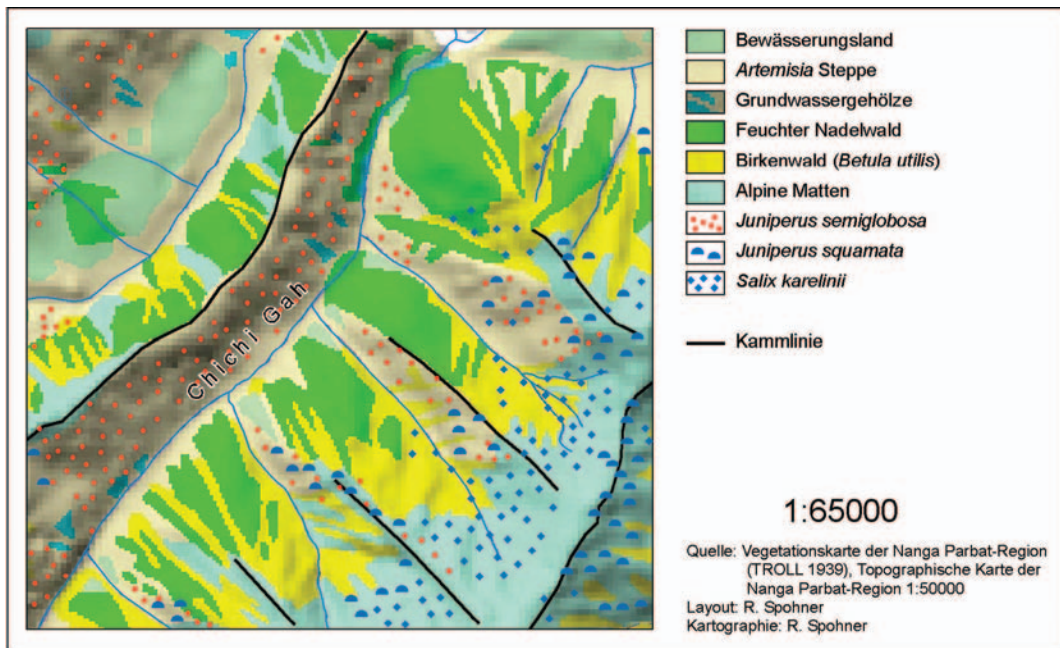
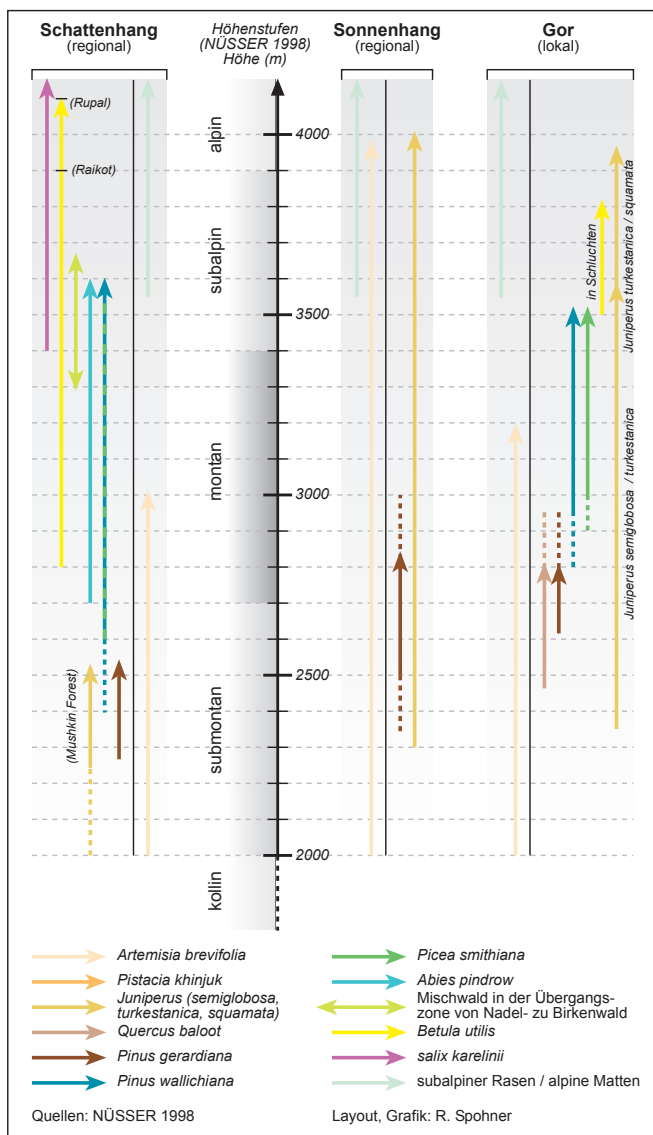


Abb. 2.2.4: Expositionsabhängige Verteilung der Vegetation im Chichi-Tal (Rupal)



ne, subalpine, alpine und subnivale Stufe. Die Abbildung 2.2.5 gibt einen Überblick über die einzelnen Formationen der Höhenstufen auf einem Schatten- und Sonnenhang sowie für die Sonderstellung der Talkammer von Gor mit ihren charakteristischen Arten (detaillierte Beschreibung vgl. TROLL 1939, 1967; NÜSSER 1998 und DICKORÉ & NÜSSER 2000). In der Abbildung 2.2.6 [A] ist die räumliche Verteilung dieser Formationen im Untersuchungsgebiet in der nach TROLL (1939) veränderten Vegetationskarte zu erkennen. Zur aktuellen raumbezogenen Waldverteilung im Untersuchungsgebiet siehe Kapitel 6.4.

Ein Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Untersuchung der Verbreitung der Waldstandorte im Vergleich zur Karte von TROLL (1939). Aus diesem Grunde erfolgt eine kurze zusammenfassende Beschreibung der Waldstandorte und Waldgesellschaften am Nanga Parbat unter Hinzunahme einer Verbreitungskarte der feuchten Höhenwälder, die aus der Vegetationskarte von TROLL (1939) abgeleitet ist (Abb. 2.2.7 [A]). Wie aus der Karte zu ersehen ist, bildet

Abb. 2.2.5: Vegetationsdifferenzierung nach Höhenstufen und Expositionen (regional) und für die südexponierte Talkammer von Gor (lokal)

der feuchte Höhenwald, bestehend aus den feucht-temperierten montanen Nadelwäldern und den subalpinen Birkenwäldern, keinen geschlossenen Waldgürtel, sondern ist aufgrund der humideren Standortbedingungen auf nördlich ausgerichtete Hänge begrenzt. Diese lassen sich durch die starke Strahlungsexposition in Verbindung mit mächtigen Schneedecken und späterem Ausapern der nördlich exponierten Hänge erklären. Für den feuchten Höhenwald ist die untere Waldgrenze von 2600-2700 m (lokal reicht sie bei Mushkin auch bis auf unter 2500 m herab, Abb. 2.2.8) hygri-sch, die obere thermisch bedingt (NÜSSER 1998: 61). Der feuchte Nadelwald erstreckt sich bis in Höhen um 3600 m und wird hier von Birkenwäldern abgelöst, die bis auf 3800 m waldgrenzbildend aufsteigen, mit einer Baumgrenze bei 4150 m im Rupal-Tal (NÜSSER 1998: 67). SCHICKHOFF (1996: 179) postuliert, dass für die Waldstandorte vor allem die Gründigkeit und Durchfeuchtung des Bodens und weniger das in dieser Region recht einheitliche Ausgangsmaterial ausschlaggebend ist. Bevorzugte Standorte sind somit vor allem die oberen flacheren Hanglagen und die Moränenablagerungen im Raikot- und Ramatal. Letztgenannter Standort wird in erster Linie begünstigt durch ein feucht-kaltes Lokalklima unterhalb des Sachengletschers (SCHICKHOFF 1996: 180).



Abb. 2.2.8: Mushkin: Verzahnung von expandierendem Kulturland mit tiefherab reichenden feuchten Nadelwäldern und in Schattenexposition wachsenden *Pinus gerardiana* Bäumen [Foto: R. Spohner 1995]. Das Kulturland liegt hier am Waldrand in ca. 2550 Höhe (Vordergrund). Im Bildhintergrund wird der Übergang vom Trockenwald zum feuchten Nadelwald sichtbar.

Die feuchten Nadelwälder werden von Blaukiefer-Gesellschaften vor allem im unteren Bereich der montanen Höhenstufe dominiert (SCHICKHOFF 1996: 179; NÜSSER 1998: 63). Begleitet wird die Blaukiefer durch *Abies pindrow* und *Picea smithiana*. Für *Abies pindrow* bildet das Nanga Parbat-Gebiet aufgrund ihrer stärkeren Hygrophilie das nördlichste Verbreitungsgebiet, ihre Standorte sind vor allem auf der Südabdachung des Nanga Parbat zu finden und werden im Raikot-Tal schon nicht mehr angetroffen (SCHICKHOFF 1996: 180). *Picea smithiana* ist der Blaukiefer an allen Standorten beigemischt, wobei sie meistens die höheren feuchteren Standorte des montanen Nadelwaldes einnimmt. Oberhalb des Koniferenwaldes schließt sich auf schattigen Hanglagen der subalpine bzw. alpine Birkenwald mit *Betula utilis* an, der in Lawinenbahnen bis weit in die montane Stufe herabreichen kann (TROLL 1939: 157, 169; Abb. 2.2.9). Der Übergang vom feuchten Nadelwald zum Birkenwald vollzieht sich meistens fließend und wird durch große Mischbestände in der subalpinen Stufe auf den Talflanken oberhalb von Doian bis Harchu deutlich (vgl. TROLL 1939: 169, vgl. Abb. 2.2.6). Begleitend zu den *Betula utilis*-Wäldern und darüber hinaus aufsteigend finden sich auf den sonnenabgewandten Expositionen *Salix karelinii*-Gebüsch. Lokal kommen auch Mischwälder mit *Juniperus semiglobosa* vor (westexponierte Flanke des Raikot-Tals, NÜSSER 1998:



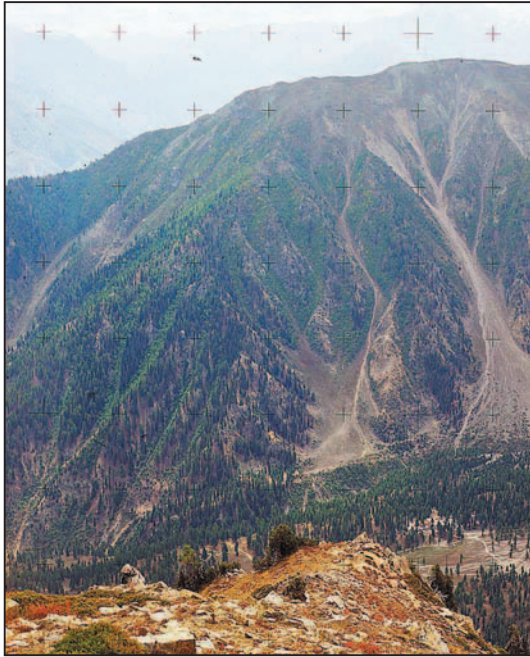


Abb. 2.2.9: Birkenbestände in Lawinenbahnen (Rama-Tal) [Foto: A. Walter 1997]

variieren können (TROLL 1939: 164). Das Vorkommen der Trockenkiefer ist keinesfalls nur auf die trockeneren Südhängen beschränkt. In den feuchteren Schatthängen ist sie an der Bildung der unteren Waldgrenze beteiligt und reicht hier bis ca. 2400 m herab (NÜSSER 1998: 58; SCHICKHOFF 1996: 180). Ihre südlichste Verbreitung findet die Trockenkiefer feuchtigkeitsbedingt im Becken von Gurikot (Abb. 2.2.10). Das Fehlen von *Pinus gerardiana* in der submontanen Stufe bei Doian ist wahrscheinlich auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen (Hinweise dazu vgl. NÜSSER 1998: 59).

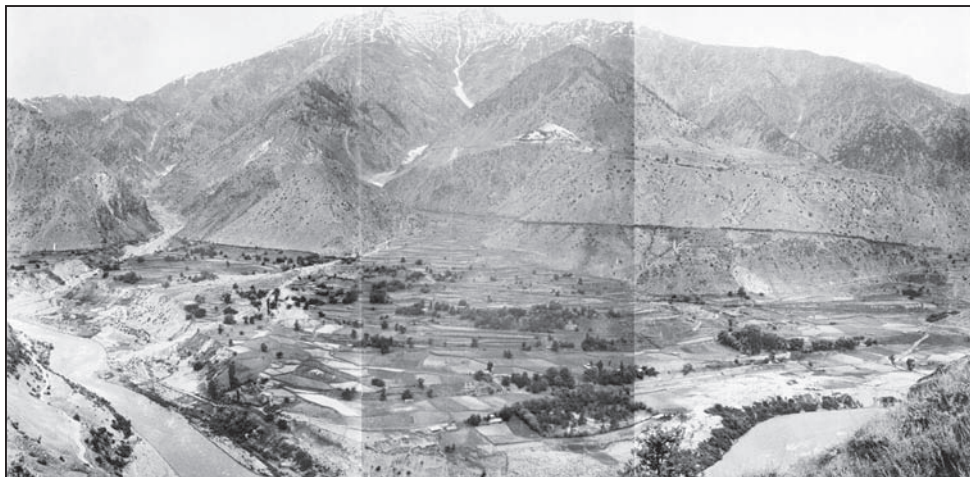


Abb. 2.2.10: Auskeilen der Trockenkiefer im Becken von Gurikot. Im Hangbereich im Bildhintergrund (rechts) sind dichte Trockenkieferbestände zu sehen. Diese fehlen oberhalb von Ahmedabad (Hangterrasse im rechten Bildmittelgrund) [Fotos: C. Troll 1937, Panorama: R. Spohner]

Eine besondere Ausprägung der submontanen und montanen Waldgesellschaften ist an den südostexponierten Hängen der Talkammer von Gor zu beobachten. Hier zeigt sich im Landschaftsbild in einer Höhe zwischen 2300 und 2950 m ein aus Wachholdern und Kiefern mit immergrünen Steineichen (*Quercus baloot*) durchmischter geschlossener Trockenwaldgürtel oberhalb der Dauersiedlungen von Gor (NÜSSER 1998: 49, DICKORÉ & NÜSSER 2000: 39; vgl. Abb. 2.2.5). Daran anschließend nimmt in ungewöhnlicher Exposition ein fast geschlossener feuchter Nadelwald die montane Stufe ein, dessen Standort SCHICKHOFF mit einer ausgeprägten Staulage monsunaler Strömungen an der Südabdachung der Gilgit-Kette begründet

67). Die Südhängen der montanen und subalpinen Stufe werden von xeromorphen Zwergstrauch-Formationen mit eingestreuten *Pinus gerardiana*- und *Juniperus semiglobosa*-Bäumen beherrscht. Die zunehmende Trockenheit in der submontanen Stufe führt zur durchgehenden Ausbildung der Artemisia-Steppe, die von TROLL auch als Stufe der Strauchsteppen und Steppenwälder bezeichnet wird (TROLL 1939: 162). Physiognomisch zeichnet sich diese Höhenstufe durch das gleichmäßige Vorkommen von *Artemisia brevifolia*-Sträuchern aus, die unregelmäßig von Busch- und Baumsträuchern *Juniperus semiglobosa* und verschiedenen Laubbüschern durchsetzt sind (wichtigster Vertreter der Laubbüschel ist die Heckenrose *Rosa webbiana*). Tritt zum Baumbestand des Wacholder noch die Trockenkiefer *Pinus gerardiana* hinzu, kommt es zur Ausbildung von submontanen Trockenwäldern zwischen 2200 und 2850 m Höhe, die nach TROLL in ihrer Bestandsdichte von einer „locker baum- und buschbestandenen Steppe bis zum geschlossenen Trockenwald“

(SCHICKHOFF 1996: 178). Der Wald wird hier im Gegensatz zu den benachbarten Standorten von der hygrophileren *Picea smithiana* dominiert, die aufgrund ihrer Flachwurzeln die edaphischen Bedingungen besser nutzen kann als die Blaukiefer. Das Nutzungspotential und die Gefährdung der verschiedenen Waldgesellschaften im Untersuchungsgebiet werden in den folgenden Kapiteln diskutiert.

### 2.3 Demographische Situation und Landnutzung

Das Astor-Tal stellte zu britisch-kolonialer Zeit eine wichtige Versorgungsrouten von Srinagar nach Gilgit dar und war für die Region, selbst wenn der Kamri-Pass nur wenige Monate im Jahr schneefrei war, von großer Bedeutung. Die Gilgit Agency bildete den nördlichsten Vorposten im so genannten kolonialzeitlichen *Great Game* zwischen britischen und zaristisch russischen Interessen. Diese Stellung als „montaner Durchgangsraum“ ging nach der Teilung des indischen Subkontinentes und der Errichtung einer Demarkationslinie (*line of control*) zwischen Indien und Pakistan im Jahr 1947 zu Ende (ausführliche Literatur zur kolonialen und post-kolonialen Entwicklung vgl. CLEMENS & NÜSSER 2000: 185f., STELLRECHT 1997; KREUTZMANN 1995, NÜSSER 1998). Die Aktivitäten der pakistanischen Armee in der Nähe der Waffenstillstandslinie (Verlauf ca. 50 km südlich von Astor) führten zur verstärkten infrastrukturellen Erschließung des Großraumes und der Talschaft. Schon Ende der 1950er Jahre wurde Astor zunächst mit einer Jeep-Piste an die Indus Valley Road angeschlossen. Jedoch bewirkte erst die Fertigstellung der *All Weather Road* des Karakorum Highways durch das Indus-Tal im Jahr 1978 und der Ausbau der Jeep-Pisten in die angeschlossenen Seitentäler eine Minderung der vorherigen zwangsweise erlangten peripheren Lage (vgl. Abb. 2.3.1 [A]). Heute gehört das Gebiet administrativ zu den Northern Areas von Pakistan. Der völkerrechtliche Status der Northern Areas ist jedoch aufgrund anhaltender Konflikte bezüglich der Gebietsansprüche von pakistanischer und indischer Seite ungeklärt.

Die Erschließung der Talschaft erfolgte in erster Linie unter militärischen Gesichtspunkten, erlangte im Gefolge aber auch große Bedeutung für die Versorgung der ländlichen Bevölkerung mit Gütern aus dem Tiefland. Eine ausgesprochen dynamische demographische Entwicklung mit mehr als 3% jährlichem Bevölkerungswachstum seit Mitte des 20. Jahrhunderts (NÜSSER & CLEMENS 1996: 160, NÜSSER 1998: 94, Tab. 2.3.1) reduziert die möglichen Spielräume traditioneller Subsistenzwirtschaft der Region und führt zu einer wachsenden Abhängigkeit in Bezug auf Grundnahrungsmittel von außen (vgl. KREUTZMANN 1995: 222). Dass die demographische Entwicklung in der Nanga Parbat-Region kein Einzelfall in den Northern Areas ist, belegt KREUTZMANN (1994: 347/348) mit Bevölkerungswachstumsraten zwischen 1951 und 1981, die insgesamt sehr hoch liegen, jedoch z.T. stark regional schwanken und Raten bis über 4% erreichen. Im Zusammenhang mit den begrenzten natürlichen Ressourcen und der traditionellen Subsistenzwirtschaft bedeutet dies einen enormen Druck auf die natürliche Umwelt (vgl. Kap. 2.4).

Die extremen naturräumlichen Voraussetzungen bedingten die Entwicklung eines integrierten Systems der Hochgebirgsländwirtschaft, die als *mixed mountain agriculture* bezeichnet wird (CLEMENS & NÜSSER 2000: 153, nach RHOADES & THOMPSON 1975; KREUTZMANN 1994: 338). Das System umfasst miteinander verknüpfte Bereiche der Viehhaltung, der Bewässerungsländwirtschaft und der Waldnutzung. In einem komplexen, zeitlich auf die Nutzung der verschiedenen Vegetationshöhenstufen ausgerichteten Anbau- und Weidestaffelsystem werden alle zur Verfügung stehenden Ressourcen für die Subsistenzwirtschaft genutzt. Das Staffelsystem bildet in mehrfacher Hinsicht die – allerdings begrenzte - Basis einer funktionierenden *mixed mountain agriculture*. Zum einen sind die natürlichen Ressourcen für Viehfutter im Bereich der Dauersiedlung beschränkt und reichen nicht für eine ganzjährige Beweidung aus, zum anderen würde eine Tierhaltung während der Vegetationsperiode auf dem begrenzten Areal der Bewässerungsoasen in Konflikt mit der Kultivierung der Felder stehen. Gleichzeitig sind einerseits der Tierdung und die



	1900			1981			1990		
	Haushalte	Einwohner	Haushaltgröße	Haushalte	Einwohner	Haushaltgröße	Haushalte	Einwohner	Haushaltgröße
<b>Doian</b>	18	149	8,28	150	1180	7,87	204	1754	8,60
<b>Turbaling</b>	7	49	7,00	48	303	6,31	47	364	7,74
<b>Mushkin</b>	(-)	(-)	(-)	47	308	6,55	49	402	8,20
<b>Khodkisht</b>	10	64	6,40	56	399	7,13	66	555	8,41
<b>Dashkin</b>	24	229	9,54	158	1393	8,82	212	1966	9,27
<b>Harchu</b>	17	160	9,41	140	1109	7,92	188	1540	8,19
<b>Astor</b>	101	636	6,30	393	2604	6,63	427	3409	7,98
<b>Eidgah</b>	48	332	6,92	216	1580	7,31	242	2042	8,44
<b>Bulan</b>	11	106	9,64	156	502	3,22	90	666	7,40
<b>Gurikot</b>	74	538	7,27	404	2567	6,35	483	3939	8,16
<b>Rehmanpur</b>	38	219	5,76	191	1360	7,12	241	2038	8,46
<b>Zaipur</b>	27	182	6,74	94	689	7,33	113	933	8,26
<b>Churit</b>	38	219	5,76	191	1360	7,12	241	2038	8,46
<b>Tarishing</b>	39	249	6,38	191	1387	7,26	233	1890	8,11
<b>Raikot</b>	(-)	(-)	(-)	47	345	7,34	82	677	8,25
<b>Buldar</b>	(-)	(-)	(-)	67	545	8,13	73	602	8,25
<b>Lichar</b>	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	8	66	8,25
<b>Gor</b>	300	1696	5,65	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
<b>Nordabdachung</b>	(-)	(-)	(-)	114	890	7,81	163	1345	8,25
<b>Astor-/Rupal-Tal</b>	452	3132	6,93	2435	16741	6,88	2836	23536	8,30

Tab. 2.3.1: Bevölkerungsentwicklung in der Nanga Parbat-Region (Quellen: General Staff India 1928, Government of Pakistan 1984, Revenue Office Astor 1990 zusammengestellt von J. Clemens und M. Nüsser 1995, vgl. NÜSSER 1998; (-): keine Angaben) - Lage der Siedlungen vgl. Abb. 2.3.1 [A]

Muskelkraft der Tiere wichtig für die Bewirtschaftung der Felder und andererseits die Ernterückstände und Wildheuvorräte wichtig für die winterliche Einstallung der Tiere (NÜSSER & CLEMENS 1996: 162).

Wie aus den klimatischen und topographischen Voraussetzungen ersichtlich wird, ist die agrarische Nutzung dieser Region sowohl von potenziell nutzbaren Flächen in dem stark reliefierten Gelände als auch vom Wasserdargebot für die potenziell zu bewirtschaftenden semiariden Talbereiche und der Dauer der thermischen Vegetationsperiode abhängig. Dies führt zu einer räumlichen Aufteilung der Bewässerungsgebiete in vier verschiedene Landnutzungszonen (vgl. dazu NÜSSER & CLEMENS 1996: 163). Für eine Doppelernte mit jährlichem Winterweizen und Sommermais sind nur die Oasen im Indus-Tal geeignet. Eine sich von 2000 m bis ca. 2370 m anschließende Übergangszone mit möglicher Doppelernte reicht bis Eidgah südlich von Astor und ins Parishing-Tal (vgl. Abb. 2.3.1 [A]). Bis ca. 3000 m ziehen sich die Gebiete der Einfachernten mit gesicherter Ertragssituation und dominierendem Sommerweizenanbau. Als höchste Anbaugrenze wird der Sommergerstenanbau in der Sommersiedlung Yackmy bei ca. 3340 m im mittleren Rupal-Tal genannt, der in dieser Landnutzungszone nur noch mit erheblichem Ertragsrisiko erfolgen kann (NÜSSER & CLEMENS 1996: 163). Als Anbaufrüchte sind neben den dominierenden Getreidearten (Winterweizen, Sommerweizen, Sommermais, Sommergerste und z.T. Buchweizen) vor allem Kartoffeln, Bohnen und Gemüse in hausnahen Gärten von Bedeutung (NÜSSER 1998: 102, PILARDEAUX 1995: 95). Der Obstbau spielt im Vergleich zu benachbarten Regionen nur eine untergeordnete Rolle (vgl. Tab. 2.3.2). PILARDEAUX (1995: 98) sieht neben den klimatischen Bedingungen (Höhengrenze für Walnüsse, Aprikosen und Pfirsich bei ca. 2650 m) vor allem auch die bislang eingeschränkten Vermarktungsmöglichkeiten als limitierende Faktoren an. Die agrarsoziale Struktur ist im Untersuchungsgebiet relativ homogen und wird durch kleinbäuerlichen Grundbesitz mit einer durchschnittlichen Landbesitzgröße von ca. 1 ha gekennzeichnet (KHAN 1979: 28; PILARDEAUX 1995: 100).

Frucht	durchschnittliche Produktion von Früchten (kg/Haushalt) 1997			
	Baltistan	Gilgit	Astor	Chitral
Aprikose	287	83	47	272
Apfel	65	101	33	117
Maulbeere	147	39	26	342
Weintraube	9	46	0	59
Kirsche	1	7	1	1
Birne	11	20	0	28
Pflaume	6	3	1	2
Granatapfel	3	6	0	6
Mandel	2	10	1	0
Pfirsich	8	15	1	14
Wallnuß	18	30	24	60
Andere	1	1	0	0

Tab. 2.3.2: Regionaler Vergleich der Produktivität im Obstbau (Quelle: AKRSP 2000: 34, verändert)

Die topographischen Voraussetzungen für die Bewässerungsflächen sind vor allem auf den breiten Moränenterrassen im Talraum von Rupal, im Gurikotbecken und im Bereich Astor auf stufenartig angeordneten Moränenterrassen des Sachengletschers gegeben (vgl. Abb. 2.3.1 [A], NÜSSER 1998: 99; TROLL 1939: 156). Talabwärts steigen die Siedlungen aufgrund des in die aride Wüstensteppe absinkenden Talbodens und aus Mangel an geeigneten Flächen zur Bewirtschaftung in die submontane Stufe unterhalb der feuchten Nadelwälder auf. Die zwei Typen der saisonalen Siedlungen resultieren aus dem komplexen Staffelsystem; man kann Sommeranbausiedlungen mit zusätzlichen Bewässerungsflächen und Sommerweidesiedlungen als Ausgangspunkt für tägliche Weidegänge ohne Ackerflächen unterscheiden.

Als dritte Komponente der *mixed mountain agriculture* umfasst die Waldnutzung in erster Linie das Sammeln von Brennholz und Schlagen von Bauholz sowie die Waldweide. Die Nutzungsrechte sind in den so genannten *settled areas* schon zu kolonialer Zeit in Land- und Steuerkatastern festgelegt worden und haben in postkolonialer Zeit ihr Regulativ weitestgehend erhalten (CLEMENS & NÜSSER 1997: 240). Die Siedlungen in der Astor-Talschaft gehören zu den *settled areas*, denen dorfweise Nutzungsrechte an den Wäldern zugesprochen wurden. Im Gegensatz dazu beinhalten die Nutzungsrechte auf der Nanga Parbat-Nordabdachung in den *unsettled areas* den Gemeinschaftsbesitz der Weide- und Waldareale mit differenzierter Nutzung, die z.T. abstammungsbezogen gebunden ist (CLEMENS 2001: 80). Die Klassifizierung der Wälder in Staats- und Privatwälder ist schon zu kolonialen Zeiten festgelegt und 1927 im *Pakistan Forest Act* festgeschrieben worden. Bis auf die Subdivision Chilas und Darel & Tangir, die den Status der Privatwälder besitzen, sind alle Naturwälder in den Northern Areas Staatseigentum und als *protected forests* ausgewiesen (BHATIA 2000: 4f., CLEMENS 2001: 80f.). Die Nutzung der Staatswälder ist für die Bevölkerung der angrenzenden Siedlungen in Bezug auf Deckung des Brennholzbedarfs und Bestockung mit Vieh kostenfrei. Für das Fällen von Bäumen muss aber mit Nachweis der Notwendigkeit (z.B. Hausbau) eine kostenpflichtige Genehmigung bei der Forstverwaltung eingeholt werden (SCHICKHOFF 2002: 163). Jedoch ist verbotener Einschlag von Stammholz als zusätzliche Einkommensquelle weit verbreitet (SCHICKHOFF 1996, 2002). Im Gegensatz dazu wurden v.a. militärischen Behörden günstige Einschlagsrechte in den Staatswäldern gewährt, was in den an die Waffenstillstandslinie angrenzenden Gebieten zu einer extremen Ausbeutung der Staatswälder geführt hat (vgl. Kap. 5.3). Ein derzeitiger Mangel an Holzvorräten für die Armee wird in heutiger Zeit z.T. mit Kerosin kompensiert (SCHICKHOFF 2002: 181/182; CLEMENS 2001: 98f.). Nach CLEMENS & NÜSSER (1997) bestehen heute keine kommerziellen Einschlagsrechte für Kontraktoren aus dem Tiefland. Das illegal eingeschlagene Holz aus der Region wird nur im Bereich der Northern Areas dem Markt zugeführt. In Abhängigkeit zu ihrem Nutzungspotenzial sind es v.a. *Pinus wallichiana*- und erst in zweiter Linie *Picea smithiana*- und *Abies pindrow*-Bestände, die für Bauholzzwecke eingeschlagen werden. Zuletzt genannte Arten werden aber auch für die Brennholzversor-

gung genutzt (SCHICKHOFF 2002: 46). Die wichtigsten Vertreter für die Sicherung des Brennholzbedarfs der Bevölkerung sind die Arten der *Juniperus*-Waldgesellschaften (*J. semiglobosa*, *J. turkestanica*, *J. communis*, *J. squamata*). Darüber hinaus werden in Abhängigkeit von den lokal vorhandenen Brennholzressourcen auch Pappelholz, Weiden, verschiedene Büsche und im subalpinen Bereich auch Birke als Brennholz gesammelt (vgl. CLEMENS & NÜSSER 1997: 254/255, saisonale abhängige Brennholzsammlung in Abhängigkeit der gesammelten Arten). Wo heute noch vorhanden, spielen *Pinus gerardiana*-Bestände eine große Rolle für den häuslichen Brennholzbedarf. Die ausgedehnten Steineichenwälder der Talkammer Gor werden in erster Linie durch Schneiteln der Bäume als Viehfutterressource genutzt und sind somit im Gegensatz zu den unter besonderem Nutzungsdruck stehenden *Juniperus*-Beständen vor einer Degradation oder sogar vollständigen Vernichtung geschützt.

## 2.4 Regionale Ressourcennutzung und nutzungsrelevante Einflussfaktoren

Im Sinne des eingangs vorgestellten lokal-regionalen Mensch-Umwelt-Systems bildet die Ressourcennutzung (Landnutzung, Intensität der Landnutzung) die Schnittstelle zwischen sozio-ökonomischem und ökologischem System im Untersuchungsgebiet und ist sichtbarer Ausdruck des wirtschaftenden Menschen in der Landschaft. Im Folgenden sollen die regionalen Mensch-Natur-Interaktionen in ihren Trends mit deren verstärkenden, abschwächenden, synergistischen Verflechtungen und Wechselwirkungen zusammenfassend dargestellt werden. Dies ist im Hinblick auf die Erfassung und Dokumentation der Landschaftsveränderung in der Nanga Parbat-Region von essentieller Bedeutung für das Verständnis der diesen Prozessen zu Grunde liegenden Ursachen (*driving forces*). Auf der Basis des von SCHICKHOFF (2002) für die Gebirgswälder der Northern Areas erarbeiteten Ursache-Wirkungsgefüges und mit Hilfe der regionsspezifischen Arbeiten von CLEMENS (2001) und NÜSSER (1998) werden die komplexen Interaktionszusammenhänge grafisch verdeutlicht, um die Vernetzung und Gewichtung der nutzungsrelevanten Einflussfaktoren zu zeigen (vgl. Abb. 2.4.1). SCHICKHOFF (2002) gelingt es anhand von Testplots (ökologische Analyse) und einer umfassenden sozio-ökonomischen Analyse lokale Differenzierungen der Walddegradation herauszuarbeiten, die räumlich je nach Gewichtung der Einflussfaktoren variieren. Dadurch können Trends in der lokalen Waldnutzung (für die Nanga Parbat Region bestehen 12 Testplots) aufgezeigt, jedoch keine räumlichen Extrapolationen von Degradation dokumentiert werden. Die vorliegende Arbeit kann aufgrund GIS-basierter Analysen dazu einen Beitrag leisten.

In der Nanga Parbat-Region hat sich basierend auf dem Naturraumpotenzial die gemischte Hochgebirgslandwirtschaft (*mixed mountain agriculture*) als spezialisierte Nutzungsform entwickelt. Die Verknüpfung von Bewässerungslandwirtschaft in den Tälern, einer höhengestaffelten Weidewirtschaft vornehmlich konzentriert auf die Weideressourcen in der montanen bis alpinen Höhenstufen, sowie einer Holz- und Weidenutzung der submontanen und montanen Wälder bildet als Schnittstelle zwischen Anthro- und Ökosystem die ideale adaptive Wirtschaftsweise für diese Region. Grundlegende Voraussetzung dieses Nutzungssystems sind die ökologischen Parameter, bestehend aus dem Wasserdargebot, den verfügbaren Weideflächen, den Waldressourcen sowie den durch Morphologie, Exposition und Höhenlage bestimmten potenziell nutzbaren Flächen für den Bewässerungsanbau.

In ihrer lokalspezifischen Ausprägung bewirken sie vor allem in der Gegenwart im Verbund mit sozio-ökonomischen Einflussfaktoren einen stark variierenden Nutzungsdruck auf die vorhandenen Ressourcen und erfordern lokal differenzierte Adaptionsstrategien, die sich in unterschiedlicher Weise in der Landschaft dokumentieren lassen. Bis 1950 waren die Nutzungssysteme in den Northern Areas aufgrund der relativen Isolation, ähnlicher ökologischer Rahmenbedingungen und einer die Wirtschaftsweise bestimmenden Dominanz der Feudalherrscher annähernd homogen (AKRSP 1995: 73). Einzig die höhenstufenabhängige

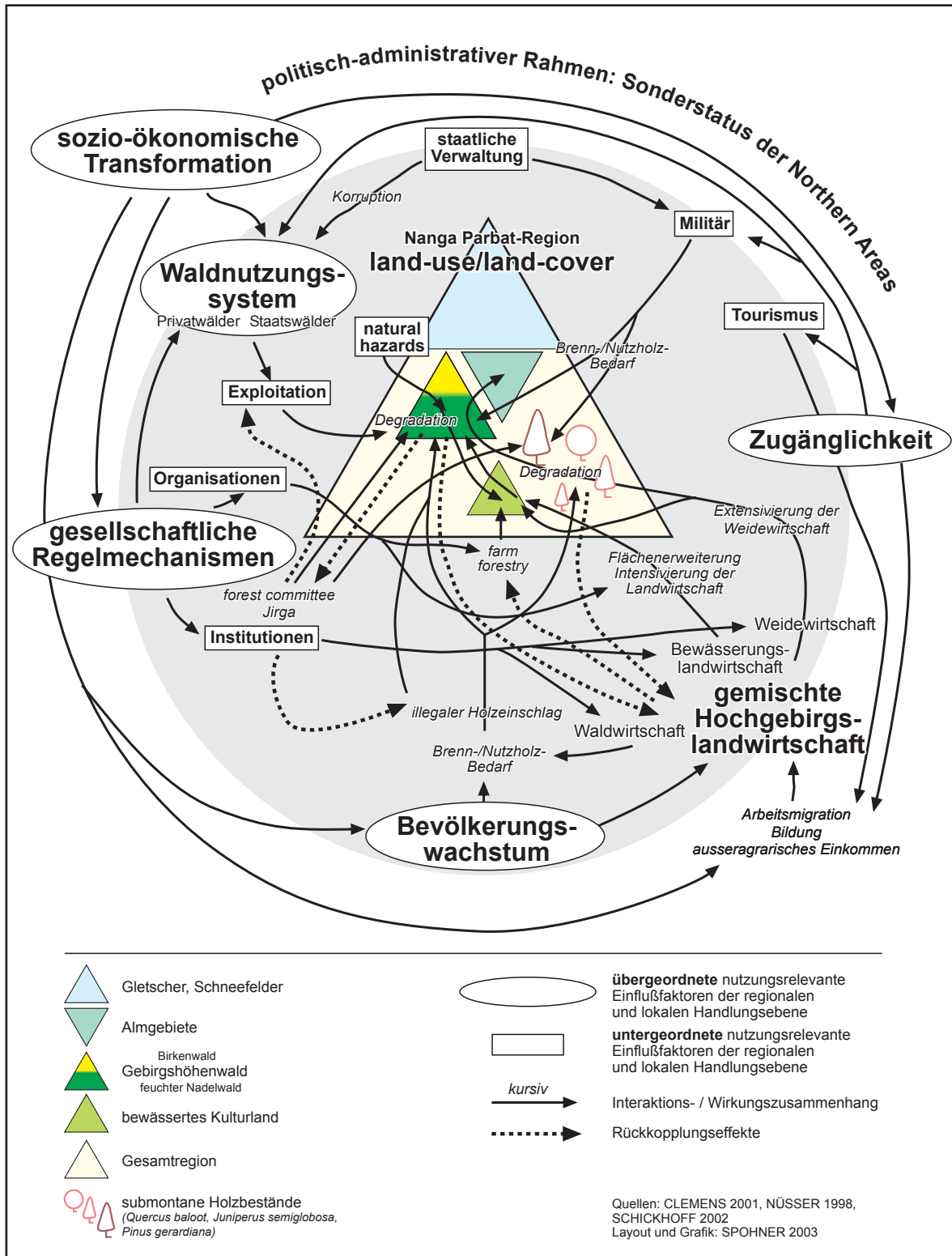


Abb. 2.4.1: Komplexes Wirkungsgefüge von Naturraumpotenzial und politischen und sozio-ökonomischen Einflussfaktoren in der Nanga Parbat-Region (die Flächen der Dreiecke entsprechen den Flächenverhältnissen im Untersuchungsgebiet)

Differenzierung der Vegetationsperiode führte zur Ausbildung von drei Nutzungssystemen (Einfachernte-System, System der Übergangszone, Doppelernte-System), die während der Kolonialzeit entlang der Transitrouten durch zusätzlichen Futterbau erste Zustandsänderungen der Landnutzung und dadurch Nutzungsdisparitäten aufzeigten. Laut AKRSP-Studie (1995) konnten diese Nutzungsstrategien bis 1950 nachhaltig die Grundbedürfnisse der Haushalte hinsichtlich ihrer Ernährungssicherung, der Viehfutterproduktion, der



Deckung des Energiebedarfs, der Bekleidung und monetärer Mittel sichern, auch wenn Ernteausfälle regelmäßig zu Versorgungsengpässen im Winter führten. Als ausschlaggebende Schlüsselgrößen für die folgende Veränderung der Landnutzung nennt SCHICKHOFF (2002: 150f) die durch hohe Dynamik gekennzeichnete jüngere demographische Entwicklung, das zu Grunde liegende Waldnutzungssystem, eine zunehmend verbesserte Erreichbarkeit, die zunehmende Degradierung der natürlichen Ressourcen und eine wachsende institutionelle Intervention (vgl. auch AKRSP 1995: 75). Zugleich wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass Adaptionstrategien der Landnutzung sich nur dann ändern, wenn Versorgungsengpässe regelmäßig oder permanent auftreten - „*it must be noted, that, if shortages occur occasionally, no adaption is likely to take place. However if shortages are regular or permanent, adaption will be swift*“ (AKRSP 1995: 75).

Ein sichtbares Resultat der veränderten Nutzung natürlicher Ressourcen im Untersuchungsgebiet ist die Degradation der submontanen und montanen Holzbestände (SCHICKHOFF 2002, NÜSSER 2000: 278). Die wachsende Bevölkerung deckt ihren Brennholzbedarf für Kochen und Heizen zum größten Teil aus biogenen Ressourcen (95% der ländlichen und 75% der städtischen Bevölkerung, RIJAL 1999: 151, nach HESS 1993). Dies bedeutet für den Zeitraum von 1951-1993 eine Verdreifachung des Pro-Kopf-Brennholzverbrauches (SCHICKHOFF 2002: 198). Die zunehmende Holzressourcenverknappung wird zusätzlich verschärft durch extern gesteuerte exploitative Aktivitäten, die zum einen kommerzielle Hintergründe besitzen und zum anderen in der Brenn- und Nutzholzversorgung der grenznahen Truppen bestehen. Vom kommerziellen Holzeinschlag sind in erster Linie die Privatwälder betroffen, da hier die Besitzverhältnisse oft ein auf Profitdenken basierendes Eigeninteresse steuern und eine verbesserte Zugänglichkeit die Ausbeutung der Waldbestände fördert. Aber auch in den Staatswäldern bestand bis zur Einführung von substituierenden Energieträgern (s.o. Kap. 2.3), oft unterstützt durch Korruption, ein starker vom Militär ausgehender Nutzungsdruck. Hinzu kommen die auf Existenzsicherung und auch auf Profitdenken basierenden illegalen bäuerlichen Holzeinschläge. Dem entgegen wirken oft mit stark überlagernder Wirkung gesellschaftliche Regelmechanismen (Dorfrat, *forest committees*), die anhand von territorialen Nutzungsrechten den Zugang und die Nutzungsintensität der Waldressourcen im Kontext einer nachhaltigen Nutzung und eines Ressourcenschutzes steuern (SCHICKHOFF 2002: 201). Allerdings sind bei Überschneidung verschiedener Nutzungsrechte (Staatseigentum, Gemeineigentum, *open access*), auch degradationsverstärkende Wirkungen möglich, wenn konkurrierende übermäßige Waldressourcennutzung das Nachhaltigkeitsprinzip gefährdet (*tragedy of the commons*-Syndrom, SCHICKHOFF 2002: 202). Eine durch steigenden Holzbedarf und limitierte Ressourcen wachsende Holzressourcenknappheit bewirkt positive Rückkopplungseffekte auf das Landnutzungs- und das sozio-kulturelle System, indem neue adaptive Nutzungsformen (*farm forestry*) entstehen, durch Programme gezielt unterstützt werden (staatliche/nichtstaatliche Organisationen) und Kontrollmechanismen zum Schutz der vorhandenen Ressourcen verstärkt werden (*forest committees, forest department*).

Als allumfassende Klammer und in synergistischer Wirkung mit den sozio-kulturellen, demographischen und verkehrstechnischen Einflussfaktoren bewirken die extern induzierten sozio-ökonomischen Transformationsprozesse adaptive Trends sowohl in der Waldnutzung (s.o.) als auch in der Bewässerungslandwirtschaft und Weidewirtschaft. Ein wachsender demographischer Nutzungsdruck induziert die notwendige Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche, was lokal zur Anhebung der unteren Waldgrenze beiträgt. Im Zusammenspiel von relativ kostenaufwändiger Neuanlage von Terrassen und Bewässerungskanälen mit den insgesamt limitierten potenziell nutzbaren Landflächen wird diese Entwicklung jedoch dem Bedarf an Anbauflächen zur Ernährungssicherung bei weitem nicht gerecht (AKRSP 1995: 85). Eine durch Realteilung und wachsende Haushaltsgröße verursachte zunehmende Fragmentierung des Landbesitzes führt zusätzlich zu einer größer werdenden Lücke zwischen ausreichender und nicht mehr gedeckter Selbstversorgung. Im Vergleich zu den von SAUNDERS (1983: 15/16) für eine ausreichende Selbstversorgung in den Einfacherntegebieten ermittelte Besitzgröße von 2,5-3 ha (50-60 kanals) bei einer Haushaltsgröße



von 7-8 Personen zeigen die aktuellen Zahlen zur Besitzgröße in Astor bei einer Haushaltsgröße von 10 Personen mit 1,72 ha Landbesitz (34 kanals: 14 kanals/0,71 ha Kulturland, 11 kanals/0,56 ha Weideland, 9 kanals/0,45 ha Ödland; AKRSP 2000: 8, 28) deutlich die bestehende Disparität. Vor allem die sozio-ökonomischen Veränderungen weichen die traditionell enge Verflechtung des Bewässerungsfeldbaus mit der Almwirtschaft auf, indem Arbeitsmigration, Bildung und zunehmend außeragrarisches Betätigung einer arbeitsintensiven Viehhaltung entgegenwirken. Eine Extensivierung der Weidewirtschaft lässt sich anhand reduzierter Viehzahlen, einer zunehmenden Stallhaltung im Dauersiedlungsbereich mit Flächenerweiterungen für einen wachsenden Futterbau dokumentieren (SCHICKHOFF 2002: 182). Somit konzentrieren sich die neuen adaptiven Strategien der Weidewirtschaft und die reproduktiven Maßnahmen zur Sicherung des Holzbedarfs auf den Wirtschaftsbereich der Taloasen, was in Konkurrenz bzw. Ergänzung (in Abhängigkeit der Flächenressourcen und des Wasserdargebotes!) zur notwendigen Flächenerweiterung des Ackerlandes für die Ernährungssicherung einerseits zu einer linienhaften Baum-Bepflanzung entlang der Bewässerungskanäle, Wege und Ackerraine führt und andererseits eine Bewässerung steiler, schwer terrassierbarer Terrassenhänge und Schuttfächer für den Futteranbau zur Folge hat. Als Lösung für das bestehende Flächendefizit an Ackerland postuliert AKRSP (1995: 114) eine Intensivierung der Landwirtschaft durch erhöhte Produktion pro Flächeneinheit, eine verkürzte Fruchtfolge und eine Reduktion des Brachlandes. Genau hier versucht AKRSP durch Programme zur Produktionssteigerung und zur Einführung neuer Varietäten einzugreifen (PILARDEAUX 1995: 101/102).

### 3. Datenlage

#### 3.1 Datenmaterial für die *land-use/land-cover change* Analyse

Für die Region der Northern Areas existieren eine Reihe von topographischen Karten, die jedoch für eine regionale bzw. lokale Analyse der Landschaftsveränderungen aufgrund ihres zu kleinen Maßstabes nicht herangezogen werden können. Topographische Karten größerer Maßstäbe (1:50.000), resultierend aus Luftbildauswertungen in den 1970er Jahren, sind flächendeckend für die Region vorhanden, stehen aber aufgrund der politisch-militärisch sensiblen Situation (Nähe zur Waffenstillstandslinie) für die Untersuchung nicht zur Verfügung. Auch die Luftbilder der 1970er Jahre-Befliegung sind nicht zugänglich. Im Rahmen des *Survey for Natural Resource Development/Aerial Forest Inventory Project* erfolgte 1979 für das Wassereinzugsgebiet des Astor eine Evaluierung der bestehenden Landnutzung (mit Kategorien wie: bewässertes Land, Waldbedeckung, Weideland u.a.) (KHAN 1979: ii), die auch kartographisch auf Basis-karten im Maßstab 1:50.000 erfasst wurden, jedoch für die vorliegende Arbeit nicht zur Verfügung standen. KHAN (1979: 37) bemerkt zu den Basiskarten, dass sie sehr ungenau seien; steile Hänge würden z.T. eine umgekehrte Hangneigung aufweisen, Maßstabsverzerrungen seien ebenfalls festgestellt worden. Die Dokumentation der Ergebnisse dieses Surveys für das Gesamtgebiet im Maßstab 1:250.000 sind aufgrund ihrer stark generalisierten Wiedergabe der Flächeninformation sowie offensichtlich zweifelhafter Ausweisung von Flächen für die vorliegende Untersuchung nicht geeignet (vgl. Abb. 3.1.1 [A]).

Als Glücksfall für das Forschungsvorhaben erwiesen sich die intensiven deutschen und österreichischen wissenschaftlichen und bergsteigerischen Interessen an der Nanga Parbat-Region im Rahmen der Expeditionen von 1934 und 1937 (zur Bergbesteigung und Forschung am Nanga Parbat vgl. KICK 1996). Neben der versuchten Besteigung des Nanga Parbat-Gipfels wurden jeweils auch wissenschaftliche Ziele verfolgt und es resultieren jeweils im Maßstab 1:50.000 eine topographische Karte (1936) und eine Vegetationskarte der Nanga Parbat-Gruppe (TROLL 1939). Einige vergleichbar gute Karten für diese Hochgebirgsregion existieren für das Hunza-Tal, das nördlich gelegene zweite Untersuchungsgebiet des CAK-Projektes, darunter Stereoautographenpläne 1:33.333, eine topographische Karte 1:100.000 (FINSTERWALDER 1996) und eine topographische Kartenprobe 1:50.000 (SCHNEIDER 1969, LIETH 2002).

Zusätzlich zu diesen „Meilensteinen“ der Hochgebirgskartographie und Vegetationskartierung standen dem CAK-Projekt die der Kartenherstellung zugrunde liegenden Stereo-Messbilder der 1934er Expedition und das Fotomaterial von C. Troll zur Verfügung. Die Idee, vergleichbare Messaufnahmen für eine detaillierte Dokumentation von möglichen Landschaftsveränderungen zu erstellen, wurde durch strenge Restriktionen seitens der pakistanischen Regierung an das CAK-Forschungsprojekt stark eingeschränkt. Jegliche Vermessungstätigkeiten, einschließlich der Aufnahme terrestrischer Stereo-Messbilder inklusive GPS-Vermessung und zunächst auch Satelliten- oder Luftbildauswertung wurden untersagt. Diese erschwerenden Umstände führten zu einem unkonventionellen Methodenansatz, der im Laufe des Projektes unter Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Bild- und Kartendaten zu einem eigenen Ansatz der Kombination photogrammetrischer, fernerkundlicher und GIS-gestützter Methoden ausgebaut wurde (vgl. Kap. 5 und Kap. 6).

Im Folgenden werden die zur Verfügung stehenden Bild- und raumbezogenen Datenquellen sowie die innerhalb des Projektes neu aufgenommenen Daten kurz vorgestellt und hinsichtlich ihrer Genauigkeit abgeschätzt. In den darauf folgenden Kapiteln erfolgt eine Erläuterung des methodischen Ansatzes der vorliegenden Arbeit sowie die Vorstellung der dazu verwendeten Hard- und Software.

### 3.1.1 Historisches Kartenmaterial

#### Topographische Karte der Nanga Parbat Gruppe (veröffentlicht 1936)

Mit dem Ziel einer „intensiven Detailforschung“ (KICK 1996: 48), die „den Formenschatz des reichgegliederten, vielgestaltigen und großartigen Nanga Parbat-Stocks festhalten und die Grundlage für die geographische und geologische Forschung bilden sollte“ (FINSTERWALDER 1935: 8), startete 1934 eine Expedition aus Bergsteigern, Geodäten, Geographen und Geologen in den Nordwest-Himalaya. KICK bemerkt dazu, dass „die wissenschaftlichen Arbeiten von 1934 [.....] die umfassendsten interdisziplinären Forschungen“ waren, „die bis heute dort stattgefunden haben“ (1996: 48). Ein großes Ziel war es, eine großmaßstäbige topographische Karte dieser Region auf der Basis terrestrischer Photogrammetrie zu erstellen. Zunächst war nur eine Karte im Maßstab 1:100.000 mit Äquidistanzen von 100m vorgesehen, was sich aber im Zuge der damaligen Auswertungen und der Genauigkeit der Stereomodelle zugunsten einer Karte 1:50.000 mit Äquidistanzen von 50m veränderte (FINSTERWALDER 1935: 71). In zweieinhalbmonatiger Feldarbeit wurde ein ca. 3000km<sup>2</sup> großes Gebiet mit 115 Standlinien erfasst und die terrestrischen Stereomodelle anschließend mit dem Stereoautographen von Zeiß (Modell 1914) photogrammetrisch in 6 Autographenplänen im Maßstab 1:33.333,3 umgesetzt (Standlinien und Abgrenzung der Autographenpläne vgl. Beilage 8 in FINSTERWALDER 1938; Standortbeschreibung und terrestrische Messbilder Kap. 3.1.2). Eine verkleinerte Übersichtskarte aus ARNBERGER (1970) zeigt die Verteilung der Standlinien für die Nanga Parbat-Region (vgl. Abb. 3.1.1.1 [A]).

Nach FINSTERWALDER bestanden für ca. 5-6% des Gebietes der 1:50.000 keine Modellinformationen, so dass diese Bereiche als interpolierte Gebiete mit gestrichelten Linien in der fertigen Karte erscheinen. In den meisten Fällen liegen diese Gebiete seiner Meinung nach in weniger wichtigen „Geländeteilen und schaden wenig“ (1938: 24). Eine im Rahmen des CAK-Projektes erstellte Visibility-Analyse (vgl. Abb. 3.1.1.2 [A]) zeigt die aus den einzelnen Standorten gerechneten sichttoten Räume, die ca. 18% des Gesamtgebietes umfassen. Zum größten Teil sind diese Bereiche relativ klein und liegen in den alpin bis nivalen Höhenstufen. Das Diamir-Tal konnte im Ganzen nicht eingesehen werden. Jedoch sind auch für das Projekt wichtige Talbereiche betroffen (nördliche Talflanke von Mushkin mit der Siedlung Turbaling, Astor-Talverlauf bis zur Siedlung Astor). Die Ungenauigkeiten, verursacht durch die Interpolation der Höhenlinien, bewirken für diese Gebiete Probleme bei der Geokodierung der Satellitenbilder auf die Karte (vgl. Kap. 4.6). Gleichzeitig bedeuten diese Bereiche für die Vegetationskarte von 1939 ebenfalls eine Ungenauigkeit, da TROLLs Kartierungen sich nach der topographischen Karte richteten. Für die Karte wurde eine Lagegenauigkeit von  $\pm 0,2$ mm angestrebt (graphische Zeichengenauigkeit, entsprechend  $\pm 10$ m in der Natur), diese konnte jedoch aufgrund z.T. nicht ausreichender Basislänge von Standorten bei großer Aufnahmeentfernung nicht immer erreicht werden. FINSTERWALDER (1938: 110f.) merkte an, dass vor allem die Gebiete über 5500-6000 m in ihrer Schichtlinienführung nicht mehr innerhalb der Zeichengenauigkeit erfasst werden konnten. Demgegenüber stehen aber vor allem auch Bereiche der mittleren und unteren Gletschergebiete, bei denen das Messbildmaterial eine detailliertere Auswertung zugelassen hätte (Zusammenstellung der Gebiete in FINSTERWALDER 1938: 112). Der gedruckten Karte liegt ein Gauß-Krüger-System im 3° Meridianstreifen mit dem Mittelmeridian 75° zugrunde (KICK 1996: 59). Schließlich muss gesagt werden, dass diese topographische Karte sowohl aufgrund ihrer terrestrischen Feldarbeit und anschließenden photogrammetrischen Auswertung als auch aufgrund ihrer kartographischen Umsetzung (Felszeichnung, geomorphologische Details) einen Meilenstein in der Hochgebirgskartographie darstellt und zusammen in einer Reihe mit der topographischen Karte des Mt. Everest zu sehen ist (SCHNEIDER 1957). Darüber hinaus besitzt diese Karte in Verbindung mit den zahlreichen Fotos einen großen dokumentarischen Wert zur Erfassung von Landschaftsdynamik, da sie wichtige Informationen zur Vegetationsbe-

deckung, zu Siedlungsstandorten, dem damaligen Wegenetz sowie detaillierte Informationen zur Geomorphologie enthält.

### **Vegetationskarte der Nanga Parbat-Gruppe (Nordwest-Himalaya) (veröffentlicht 1939)**

Die 1936 veröffentlichte topographische Karte der Nanga Parbat-Gruppe bot für Carl Troll eine hervorragende Grundlage für seine im Rahmen der Deutschen Himalaya-Expedition 1937 angestrebten Vegetationskartierungen in dieser Region. In zweieinhalb-monatiger Feldarbeit erfolgte entlang eines Routennetzes neben geographischen und botanischen Beobachtungen die Aufnahme einer Vegetationskarte auf Formationsbasis. Auf der Basis genauer Beobachtungen der räumlichen Verteilung der Pflanzenformationen und ihrer Standortbedingungen gelang es TROLL in kürzester Zeit, sich ein Gesamtbild möglicher topographischer Varianten des Pflanzenkleides zu erarbeiten (TROLL 1939: 152). TROLL richtet bei seiner Vorgehensweise den Blick ganz klar auf „die Landschaft, das Kartenbild und die ökologischen Abhängigkeiten der Vegetation von topographischen Faktoren“ (TROLL 1939: 152). Mit Hilfe der „Fernglasdiagnose“ konnte TROLL während der Routenbegehung direkt standortbezogen sowie kontrolliert extrapolierend und auch vorwärts kartierend mit anschließender Verifizierung seiner Annahmen arbeiten. Nur wenige Talbereiche blieben unbegangen oder konnten nicht eingesehen werden (TROLL 1939: 151, vgl. Abb. 3.1.1.3 [A], Kap. 6.3), so dass eine bis heute einzigartige und eine für den Maßstabsbereich mit der gewählten Erfassungsmethode genaue Vegetationskarte des Nanga Parbat-Gebietes entstehen konnte. Um nachvollziehen zu können, in welcher Weise TROLL Einblicke in die Landschaft erhalten hat und wie TROLLs Abgrenzungskriterien ausgesehen haben können, wurde die durch fast 600 Fotografien dokumentierte Route anhand von Eintragungen aus dem Expeditionstagebuch in ein GIS übertragen. Im GIS erfolgte eine Sichtbarkeits-Analyse entlang der eingetragenen Route zur Dokumentation einer potenziellen Sichtbarkeit für TROLLs Kartierung und zur Ausweisung nicht eingesehener Bereiche, was insgesamt für eine Indexkarte zur Genauigkeitsabschätzung herangezogen werden kann (Kap. 6.3).

Weiteren Untersuchungen zur Abschätzung der Genauigkeit der Vegetationskartierung lag der systematische Vergleich von Messbildern der 1934er Expedition mit vergleichbaren Kartenausschnitten zu Grunde (vgl. dazu auch WALTER 1999). Zur besseren Vergleichbarkeit der terrestrischen Bilder mit den zweidimensionalen Kartenausschnitten wurden dreidimensionale Geländeansichten der Vegetationskarte gerechnet und den fotografischen Geländeansichten gegenübergestellt (3D Surface Views, vgl. Kap. 5.3, 6.3, vgl. Abb. 6.3.3 [A]). Es kann festgestellt werden, dass im überwiegenden Maße eine sehr gute topographische Lageerfassung der Vegetationsformationen vorliegt, jedoch existieren immer wieder Talbereiche, in denen flächenscharfe Abgrenzungskriterien schwer nachvollziehbar sind. Dies muss bei der Analyse der Veränderungen in der Methodik unbedingt beachtet werden. In der vorliegenden Arbeit dienen u.a. die Messbilder der 1934er Expedition zur Validierung für die Abschätzung der Flächenscharfe der Vegetationskartierung (Kap. 6.3).

#### **3.1.2 Vergleichendes Fotomaterial**

Eine zentrale Säule der Analyse der Landschaftsveränderungen im Nanga Parbat-Gebiet bilden die fast flächendeckend vorhandenen terrestrischen Stereo-Messbilder der Deutschen Himalaya Expedition 1934 und die Expeditionsfotografien von TROLL 1937. In einer Zusammenschau ergeben diese Bilder für das Untersuchungsgebiet eine sehr gute objektive Dokumentation der Vegetations- und Landnutzungsverhältnisse vor über 60 Jahren. Vergleichende Fotografien und unkonventionelle Stereo-Aufnahmen, aktuell von verschiedenen CAK-Projektteilnehmern im Rahmen der Feldarbeiten des DFG-Projektes aufgenommen, die-

nen einer systematischen qualitativen bitemporalen Bildauswertung und können mit gewissen Einschränkungen auch für eine quantitative Abschätzung von Veränderungen herangezogen werden (vgl. Kap. 6.2).

### **Messbilder der Expedition von 1934**

Dem CAK-Forschungsprojekt lag ein vollständiger Satz an 13x18 cm-Positivtransparentkopien der Original-Spiegelglasplatten vor. Insgesamt umfasst das Messbildarchiv 374 Einzelbilder für 115 Standorte (jeweils Standort A und B mit Verschwenkungen). Nicht alle Bilder zeigen eine ausreichend gute Qualität für die Bildinterpretation, da z.T. die Glasplattenoriginale gesprungen waren oder aber schon während der Expedition die Filmemulsion durch Lichteinwirkung beschädigt wurde. Für den Aufbau eines Fotoarchives wurden 212 Bilder gescannt und 62 Panoramen aus den vorhandenen Verschwenkungsaufnahmen zusammengestellt. Die Originalaufnahmen wurden mit einem „leichten Feldphototheodolit“ von Zeiss mit einer Brennweite von 160mm und 13x18cm Bildformat aufgenommen. Bei vertikal gestellter Stehachse war die Bildebene entsprechend vertikal ausgerichtet. Das Objektiv konnte zusätzlich parallel zur Bildebene vertikal verschoben werden um einen größeren Tiefenwinkel auszunutzen; die Verschiebung wurde anhand eines auf das Messbild belichteten Horizontpfeiles kenntlich gemacht (FINSTERWALDER 1935: 49). Darüberhinaus wurden vier Messmarken zur Bestimmung der inneren Orientierung der Stereomodelle aufbelichtet.

Die Lage der Standorte für die topographische Aufnahme des Geländes ergab sich aus einer Kombination von Wirtschaftlichkeit und Genauigkeitsansprüchen. Dies erforderte Standorte auf den Höhen, denn je höher der Aufnahmestandort liegt, um so mehr Gelände kann erfasst und eine Vereinheitlichung des Bildmaßstabes bewirkt werden. Aus der direkten Abhängigkeit der Länge der Standlinie eines Stereo-Standortes zur Aufnahmeentfernung ( $1/10 - 1/20$  der weitesten Aufnahmeentfernung) ergibt sich eine geforderte Mindestlänge der Basis (bei 5-20km Aufnahmeentfernung 250-2000m Basislänge), die wiederum nur bis zu einer Höhe aufgebaut werden kann, in der Basislänge und Einsicht in die Täler noch gewährt werden können. Als ideale Standorte nennt FINSTERWALDER (1935: 51) für den Himalaya die gegen die Täler steil abbrechenden Ränder der großen in 4000-5000m Höhe gelegenen Verebnungsflächen. Im Nanga Parbat-Gebiet liegen die Standorte fast alle zwischen 3800 und 5000m Höhe. Nur zum Indus-Tal, im Raikot-Tal und im unteren Astor-Tal ergeben sich auch tiefer gelegene Standlinien. Die Wahl der Standorte war für eine topographische Erfassung des Gesamtgebietes sehr gut, ist jedoch nicht immer für eine detaillierte Erfassung der Landnutzung und Landbedeckung in den Tälern geeignet.

### **Fotografien aus dem Bildarchiv von Troll**

Aus den Beständen des Institutes für Länderkunde Leipzig stehen 773 Expeditionsfotografien von C. Troll als Kleinbildnegativkopien zur Verfügung. Zusätzlich zu den Fotografien existieren Kopien des Ansichtsexemplares der Originalfotografien mit Angaben zur Nummerierung der Bilder und mit Beschreibungen der Bildinhalte zu Thematik und Standort. Die professionelle Reproduktion der Fotografien erfolgte am Geographischen Institut der FU Berlin und wurde von M. Nüsser hinsichtlich der Bildqualität geprüft. In Verbindung mit TROLLs Expeditionstagebuch (1937) sowie ausreichenden Geländekenntnissen der Autorin und weiterer Projektmitarbeiter konnten die Fotografien einzelnen Standorten in den Tälern weitestgehend zugewiesen werden. Die Bildinhalte weisen ein breites Spektrum unterschiedlicher Inhalte auf und zeigen von Detailaufnahmen einzelner Pflanzen über Siedlungs- und Landnutzungsszenen bis zu geomorphologischen Detailausschnitten und Panoramaaufnahmen eine Fülle von Informationen über das Untersuchungsgebiet aus der Zeit von vor mehr als 60 Jahren.



## **Fotomaterial verschiedener Zeitschnitte aus den Jahren 1992 bis 1997**

Mit dem Ziel, bitemporale Bildvergleiche zur Erfassung von Landschaftsveränderungen im Untersuchungsgebiet durchführen zu können, wurde in den Jahren 1992 bis 1997 umfangreiches vergleichendes Fotomaterial zur Region erstellt. Angesichts der genannten Projektrestriktionen hinsichtlich vermessungstechnischer Tätigkeiten wurden mit Hilfe von konventionellen Kleinbild- und Mittelformat-Stereoaufnahmen gezielt die Expeditionsstandorte von 1934 und 1937 wiederholt aufgenommen (vgl. Kap. 5). Diese Wiederholungsaufnahmen beziehen sich sowohl auf das Forschungsgebiet Hunza-Tal im Nordwest-Karakorum sowie auf das hier zu bearbeitende Nanga Parbat-Gebiet. Erfahrungen aus den Untersuchungen von SPOHNER (1993) hatten gezeigt, dass die Bilddaten sowohl qualitativ als auch im beschränkten Maße und unter Verwendung photogrammetrischer Auswertetechniken quantitativ auswertbar sind und dadurch einen wertvollen Beitrag zur Erfassung von Landschaftsdynamik liefern können.

Während eines Feldaufenthaltes im Jahr 1995 wurden von der Autorin insgesamt 18 Vergleichsstandorte in den Regionen Hunza-Tal und Nanga Parbat aufgesucht und Mittelformat-Stereo-Aufnahmen erstellt. Da der Schwerpunkt der Forschungstätigkeit 1995 noch im Hunza-Tal lag, wurden nur 6 Standorte im Nanga Parbat-Gebiet aufgesucht. Die Wiederholungsaufnahmen umfassen sowohl Standorte der 1934er als auch der 1937er Expedition. Im Jahr 1997 erfolgte eine zusätzliche Feldkampagne (WALTER 1999), bei der für das Nanga Parbat Gebiet 12 Standorte der 1934er Expedition anhand von Mittelformatbildern wiederholt wurden. Weitere Kleinbildwiederholungsaufnahmen von Projektteilnehmern existieren für die Jahre 1992, 1993, 1994, 1995 und 1997. Insgesamt wurden 23 Standorte der 1934er und 13 Standorte der 1937er Expedition vergleichend aufgenommen. Einen Überblick der Standorte bieten die Tabellen 3.1.2.1a, b, c [A]. Darüber hinaus existieren nur aus dem Feldaufenthalt 1995 weit über 600 Geländefotos für die Nanga Parbat-Region. Detaillierte Standortinformationen und Quicklooks werden im digitalen Fotoarchiv bereitgestellt (vgl. Kap. 4.4.1).

### ***3.1.3 Satellitenbilddaten***

Mit dem Ziel der flächendeckenden Erfassung der Waldstandorte und Bewässerungsflächen im Vergleich zur Vegetationskarte von TROLL (1939) muss auf raumbezogene Daten wie Satelliten- oder Luftbilder zurückgegriffen werden. Aufgrund der bereits genannten Restriktionen waren die vorhandenen Luftbilder aus pakistanischen Quellen nicht verfügbar, so dass der Fokus auf aktuelle Bilder aus dem Weltraum gerichtet werden musste. Zu Beginn der vorliegenden Arbeit standen dem Gesamtprojekt bereits mehrere Landsat TM5-Szenen zur Verfügung, die v.a. für die Vegetationsklassifizierung im Hunza-Tal von BRAUN (1996) analysiert wurden. Für das Nanga Parbat-Gebiet existiert ebenfalls eine TM5-Szene, die jedoch starke Störungen aufweist, die sich als ungleichmäßig in den verschiedenen Spektralkanälen auftretende Fehlzeilen abzeichnen. Von einer Beseitigung der Fehlzeilen durch das von BRAUN (1996: 16f.) angewandte Verfahren eines lokaladaptiven Schwellenwertes wurde abgesehen, da sich die Störungen in allen Spektralbereichen sehr stark auswirkten und z.T. mehrere benachbarte Zeilen betraf. Weitere im CAK-Projekt vorhandene Satellitenszenen verschiedenster Sensoren, wie z.B. von SPOT XS und SPOT PAN, decken hauptsächlich die Forschungsschwerpunktgebiete Hunza-Tal, Gilgit mit Gilgit-Hauptkette, Yasin-Tal und Bagrot-Tal ab. Nur ein randliches Gebiet einer SPOT PAN-Szene der Gilgit Hauptkette überdeckt einen Teil der Talkammer von Gor. Weiterhin liegt eine KFA-1000-Szene mit 100%iger Abdeckung des Untersuchungsgebietes vor, die in der Arbeit von NÜSSER (1998: 33) für die räumliche Einordnung der horizontalen und vertikalen Gliederung des Untersuchungsgebietes rein qualitative Zwecke erfüllte. Auch diese Szene ist leider nicht flächendeckend für eine Vegetationskartierung zu verwenden, da Wolken und

v.a. Dunst wichtige Talbereiche verschleiern. Jedoch bildet die Szene in den nichtgestörten Bereichen eine ausgezeichnete Basis für eine visuelle und z.T. auch halbautomatische Bearbeitung (Kap. 6.4).

Die Beschaffung einer IRS 1C LISS III-Szene für die Gebiete Hunza-Tal und Nanga Parbat wurde abgestimmt auf die zweite Feldkampagne 1997. Leider konnte aus Kostengründen nur eine zeitparallele IRS 1C PAN-Viertelszene für das Hunza-Tal erworben werden, was hinsichtlich einer Bild-Fusion mit deutlicher Auflösungsverbesserung einen erheblichen Vorteil für die Vegetationskartierung im Untersuchungsgebiet dargestellt hätte. Grundlegende Voraussetzungen von Satellitenbildern zur Vegetationskartierung im Hochgebirgsraum Himalaya und Karakorum sind eine Wolkenbedeckung unter 10%, ein Aufnahmezeitpunkt optimalerweise während der vegetativ aktiven Phase der Pflanzen und ein Verlauf der Schneegrenze oberhalb der alpinen Vegetationsformationen. BRAUN (1996: 15) weist auf die Monate Juli, August und September als ideale Monate zur Kartierung der aktuellen Vegetation im Nordwest-Karakorum hin. Erfahrungsgemäß sind diese Bedingungen nicht immer optimal einzuhalten. Für das Untersuchungsgebiet konnte eine Szene

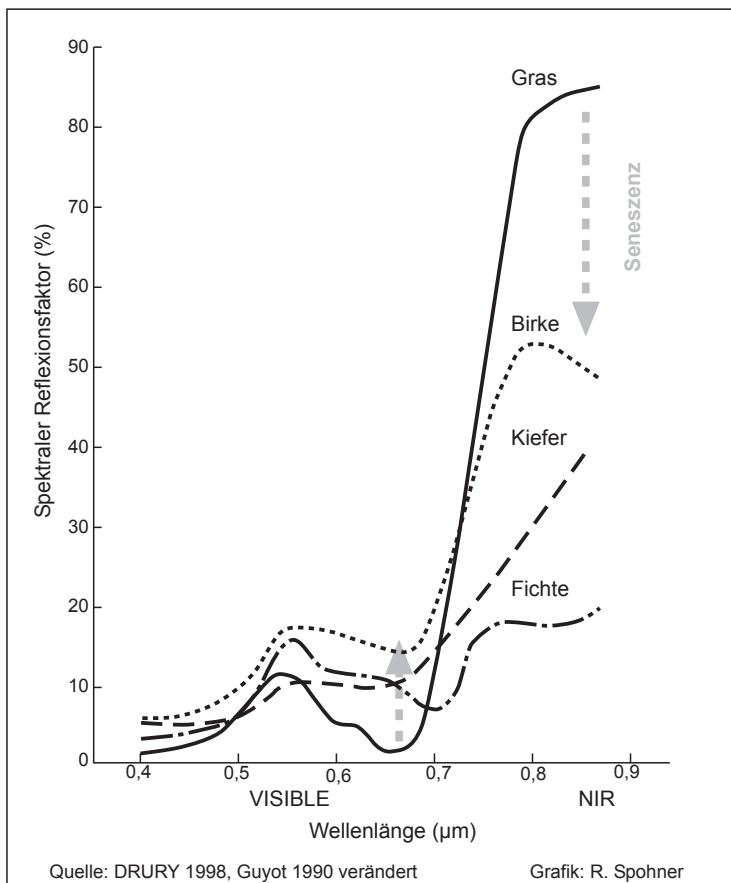


Abb. 3.1.3.1: Abnahme der deutlichen Differenzierung der spektralen Kurven im NIR- und im sichtbaren Spektrum in der Seneszenzphase der Vegetation

Nicht immer ist die Wolkenbedeckung der Szenen optimal, jedoch weist die vorliegende Szene lediglich Störungen durch Wolkenschatten bzw. Wolken in den Gipffluren über 5000m und in randlichen Bereichen auf. Sowohl die IRS-Szene als auch das ASTER Satellitenbild weisen keine 100%ige Abdeckung des Untersuchungsgebietes auf. Bis auf das südliche Astor-Tal von Astor bis südlich von Gurikot wird jedoch das Untersuchungsgebiet flächendeckend abgebildet (vgl. Abb. 3.1.3.2 [A]).

Zwecks Analyse des temporalen Verlaufs der Landschaftsveränderung und zur Ergänzung der regionalen Auswertung mit einem Fokus auf detaillierte lokale Untersuchungen erfolgte eine Recherche nach hoch-

vom 14.09.1997 erworben werden, die ideal mit dem Zeitpunkt der Feldkampagne übereinstimmt, wodurch der *ground truth* mit den erstellten Fotografien im Gelände im hohen Maße gegeben ist. Der Nachteil dieses Szene besteht im Aufnahmezeitpunkt am Ende der Vegetationsperiode, so dass z.B. in den höher gelegenen Talbereichen die Laubblätter der Birken schon eine Herbstverfärbung aufweisen und die typischen spektralen Reflexionskurven sich in der Seneszenzphase nachteilig für eine Differenzierung auswirken (Abb. 3.1.3.1, Kap. 6.4.3). Erst zum Schluß der Untersuchung stand eine ASTER Szene mit optimalem Aufnahmezeitpunkt (9.07.2000) zur Verfügung. Die zu diesem Zeitpunkt kostenlos aus dem Internet (EOS Data Gateway, <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>) herunterladbaren Szenen bieten mit ihrer Bodenauflösung von 15m im sichtbaren und nahen Infrarot sowie einer 30m Auflösung im mittleren Infrarot (vgl. Tab. 3.1.3.1) eine hervorragende Grundlage für die Erstellung von regionalen *baseline data*.

auflösenden panchromatischen Daten aus den 80er Jahren und älter. Es konnten zum einen eine KVR-1000-Szene und fast flächendeckend für die Northern Areas CORONA-Bildstreifen erworben werden, die nach deren Freigabe 1995 zu einem wichtigen Informationspool von raumbezogenen höchstaflösenden Bilddaten für retrospektive Analysen aus den 70er Jahren geworden ist (McDONALD 1997, vgl. Kap. 4.5.1). Die Tabelle 3.1.3.1 zeigt alle für das Untersuchungsgebiet zur Verfügung stehenden Satellitendaten mit Aufnahmedatum, Auflösung und Spektralbereich. Zur Abdeckung der einzelnen Szenen siehe Kapitel 4.5 und 4.6.

Sensor	Aufnahmedatum	Auflösung	Spektralbereich	Bildqualität, Bemerkung
<b>ASTER (Level 1B)</b>	9.07.2000	15m  30m  90m	1: 0,52-0,60 nm 2: 0,63-0,69 3N: 0,78-0,86 3B: 0,78-0,86 4: 1,600-1,700 5: 2,145-2,185 6: 2,185-2,225 7: 2,235-2,285 8: 2,295-2,365 9: 2,360-2,430 10: 8,125-8,475 11: 8,475-8,825 12: 8,925-9,275 13: 10,25-10,95 14: 10,95-11,65	digitale radiometrisch und geometrisch korrigierte Daten in UTM Projektion (WGS84), sehr gute Bildqualität
<b>IRS 1C LISSIII</b>	14.09.1997	25m (23,5)  70m (70,5) res. 25m	1: 0,52-0,59 nm 2: 0,62-0,68 nm 3: 0,77-0,86 nm 4: 1,55-1,70 nm	digitale radiometrisch und geometrisch korrigierte Daten, Zeilen- und Spaltenversatz im mittleren Infrarot, möglicherweise Datenfehler im mittleren Infrarot
<b>KFA 1000</b>	11.07.1988	5m	0,57-0,68 nm 0,68-0,81 nm	digitales RGB-Bild (Qualitätsverlust durch Digitalisierung), nicht uniforme Beeinflussung durch atmosphärische Störungen (Dunst, Wolkenschleier),
<b>KVR 1000</b>	27.05.1989	2m	0,40-0,70 nm	analoges Filmpositiv, temporäre Schneegrenze sehr niedrig, obere Waldgrenze schwer interpretierbar, starke Sensorstörungen (helle Flecken), mechanische Störungen (Kratzer), insgesamt kontrastarm in den schneefreien Bereichen
<b>CORONA 1035</b>	22.09.1966	KH-4A, 9'	panchromatisch	analoge Filmpositive dichte Wolkenbedeckung in den Höhen oberhalb der montanen Stufe, obere Waldgrenze nicht interpretierbar, Schatten
<b>CORONA 1047</b>	1.07.1968	KH-4A, 9'	panchromatisch	analoge Filmpositive Wolken- und Schneebedeckung in den Höhen oberhalb der montanen/subalpinen Stufe, starke Beschattung der N-NE Hänge
<b>CORONA 1115</b>	15.09.1971	KH-4B, 6'	panchromatisch	analoge Filmpositive nur Raikot Tal randlich, starke Verzerrungen aufgrund randlicher Lage im Panoramastreifen
<b>SPOT PAN</b>	16.09.1990	10m	panchromatisch 0,51-0,73 nm	nur randlich für die obere Talkammer von Gor vorhanden

Tab. 3.1.3.1: Raumbezogene Projektdaten aus dem Weltraum

### **3.2 Kombinierte Vorgehensweise aus qualitativer und quantitativer Bildanalyse - Kernräume der lokalen und regionalen Analyse**

Die in Kapitel 3.1 vorgestellte stark heterogene Datenstruktur der Untersuchung machte die eigene Entwicklung eines integrativen Ansatzes aus photogrammetrischen, fernerkundlichen und GIS-basierenden Methoden erforderlich (vgl. Abb 3.2.1). Zusätzlich bildet die Bildinterpretation einen grundlegenden Bestandteil der gesamten Analyse der unterschiedlichen Bilddaten. Aufgrund der verschiedenen Abdeckungen der Datensätze und deren räumlicher Auflösung wird nachfolgend in eine lokale und regionale Analyse aufgeteilt. Das historische und aktuelle terrestrische Stereophotomaterial sowie die hochauflösenden panchromatischen Satellitendaten bilden die Basis für die lokale Analyse, wo hingegen die historische thematische Karte und die multispektralen Satellitendaten mit ihrer gröberen Auflösung für die regionale Analyse herangezogen werden (vgl. Abb. 3.2.2 [A]).

Im Zentrum der lokalen Analyse stehen im Astor-Tal und in der Talkammer Gor die Veränderungen des submontanen Trockenwaldes und der unteren Waldgrenze. Regionale Veränderungen sollen hinsichtlich der Verteilung des montanen Hochwaldes erfasst werden. In beiden Skalen ist die Erfassung der bewässerten Flächen zur Bestimmung der aktuell bewirtschafteten Gebiete sowie ihre zeitliche Dynamik von besonderer Bedeutung. Im Hinblick auf eine Zusammenfassung der Veränderungen im Untersuchungsgebiet werden zusätzlich Ergebnisse aus abgeschlossenen CAK-Forschungsprojekten und der untersuchungsspezifischen Literatur hinzugezogen. Der Arbeitsablauf umfasst die Aufbereitung der fünf Basisdatenebenen zur digitalen Datengrundlage in 3 Zeitschnitten und zu den beiden Skalenebenen (lokal und regional) bis hin zur GIS-basierten Veränderungsanalyse mit anschließender Synthese der Ergebnisse für den Gesamttraum.

Grundsätzlich lassen sich vier verschiedene Methodenkomplexe ausscheiden, die in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Das Fotomaterial wird in erster Linie anhand bitemporaler Bildinterpretation ausgewertet (Kap. 5). Liegen Stereo-Fotografien vor, können sie einem photogrammetrischen Auswerteprozess zugeführt werden (Kap. 6.2). Die Aufbereitung der historischen und aktuellen raumbezogenen Daten umfasst die Digitalisierung, die Berechnung eines Digitalen Geländemodells, die Geokodierung der Satellitendaten, die pixel- und objektbasierte Klassifikation der aktuellen Zeitschnittdaten bis hin zur Erstellung eines Verifikations-Tool für die Qualitätsabschätzung der Vegetationskarte und der Klassifikation (Kap. 4, 5, 6.3). In einem abschließenden Arbeitsschritt erfolgt die Veränderungsanalyse im lokalen und regionalen Maßstab (Kap. 7.2 und 7.3) mit einer Bewertung der Veränderungen für das gesamte Untersuchungsgebiet.

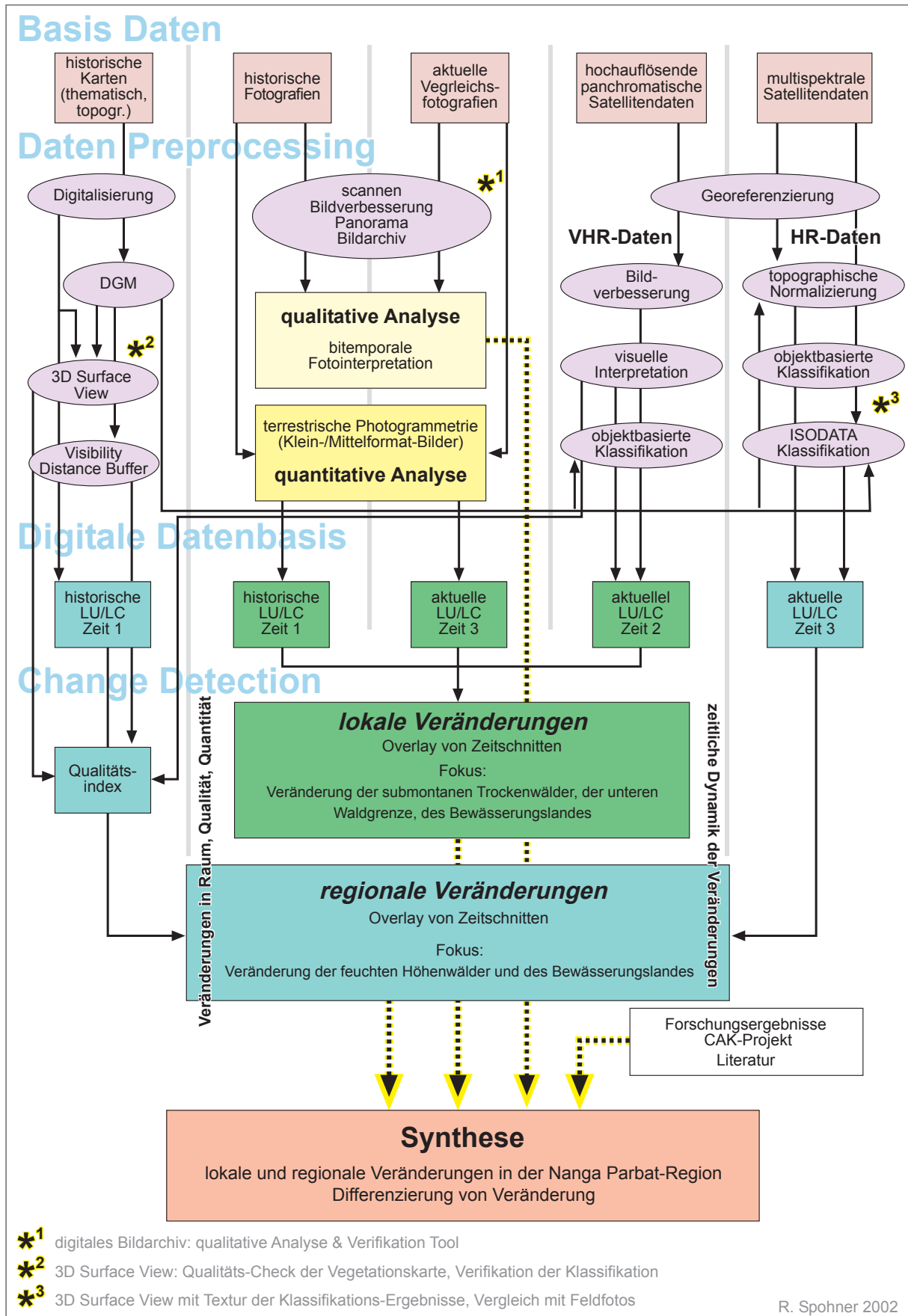


Abb. 3.2.1: Kombiniertes Workflow der qualitativen und quantitativen Analyse für die land use/ land cover change Analyse der Nanga Parbat-Region (NW-Himalaya)



### 3.3 Hardware und Software

Zu Beginn des Projektes „Landschaftswandel im Nordwest-Karakorum und Nordwest-Himalaya“ wurden die photogrammetrischen Auswertungen der historischen Messbilder und der vergleichenden Kleinbildnegative am analytischen Plotter *Planicom C 100* des Photogrammetrischen Institutes der Universität Bonn vorgenommen (SPOHNER 1993). Schon im Laufe dieser Arbeit konnte ein low-cost-System der Firma ADAM Technology getestet und als sehr gute Alternative v.a. auch für Nichtphotogrammeter für die folgenden Arbeiten erworben werden. Als PC-gestütztes System operiert der analytische Plotter *MPS* (Micro Photogrammetric Station) mit maximal 7x7cm großen Filmtransparenten, die mit der System-Software orientiert und ausgewertet wurden. Die einschränkenden Erfahrungen mit Kleinbildnegativen aus den ersten Arbeiten (SPOHNER 1993) machten für die folgenden Feldarbeiten eine Umstellung der vergleichenden Stereo-Standortphotos auf Mittelformat-Systeme erforderlich (Hasselblad, Rolleiflex 6006 mit Reseaux, WALTER 1999, Kap. 6.2.1). Kleine C-Programme zur Erfassung der Bildparameter der Mittelformat- und Messbildaufnahmen wurden zusätzlich in Eigenregie erstellt (vgl. Anhang A, B, C [A]). Weitere vorbereitende Arbeitsschritte umfassten v.a. die Digitalisierung des analogen Datenmaterials aus Fotos, Karten und Satellitenbildfilmen, was mit Hilfe von physisch hochauflösenden A4- und A3-Scannern mit zusätzlicher Scanmöglichkeit im Durchlichtmodus und der zugehörigen Scan-Software erfolgte (vgl. Abb 3.3.1). Zur digitalen Verarbeitung der Fernerkundungsdaten kam das Softwarepaket ENVI 3.2 zur Anwendung. Hier wurden v.a. die Geokodierung, die Bildverbesserung und die Fusion von panchromatischen und multispektralen Daten umgesetzt. Mit einer zeitlimitierten Lizenz von eCognition 2.1 (zweimonatige kostenlose Lizenz) konnte der relativ neue Ansatz der objektbasierten Klassifikation durchgeführt werden. Die GIS-Umgebung bestand für die vorliegende Arbeit aus den ESRI-Komponente ArcView 3.2 mit seinen vielfältigen Erweiterungen sowie ArcInfo 7.02 (später auch ArcGIS 8.01 unter Win NT). Für die Präsentation der Ergebnisse wurde ein Verbund aus den Software-Paketen Photoshop 5.0, Freehand 8.0, MaPublisher 3.5 und den Microsoft Office-Tools herangezogen. Zur Erstellung der 3D-Landschaftsszenen wurden dem Projekt eine Beta-Version des LandExplorers (Vers. 0.8 beta, [www.LandEx.de](http://www.LandEx.de)) zur Verfügung gestellt. Eine Umsetzung des Foto-Archives wird mit HTML, JavaScript und SVG realisiert (vgl. Kap. 4.4.1).

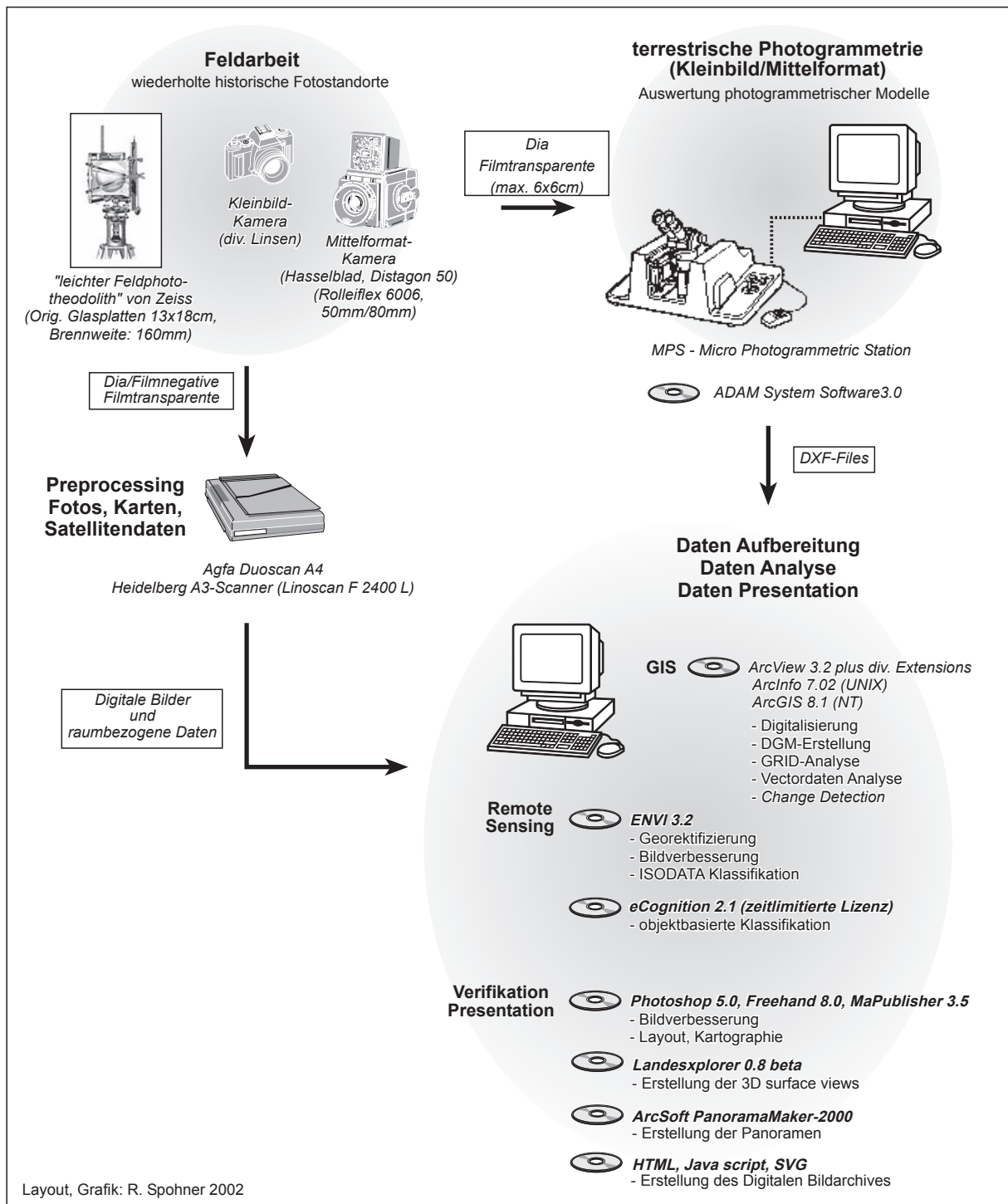


Abb. 3.3.1: Hardware, Software, kombinierte Vorgehensweise der land use/land cover change Analyse

## 4. Daten-Preprocessing für die qualitative und quantitative Auswertung

### 4.1 Vorüberlegungen zur Aufbereitung der unterschiedlichen Datenebenen

Wie aus Kapitel 3 deutlich wird, liegt dieser Untersuchung eine stark heterogene Datenstruktur zu Grunde. Die Heterogenität umfasst sowohl deutliche Unterschiede in der räumlichen als auch der spektralen Auflösung sowie der Aufnahmeart. Die Bandbreite reicht von analogen terrestrischen Fotografien und Stereo-Messbilder über analoges historisches Kartenmaterial bis zu analog und digital vorhandenen Satellitenbildern unterschiedlicher Sensoren. Die Unterschiedlichkeit der Datenstruktur liegt in der schwierigen Datenlage begründet, die im Vergleich zu Nachbarräumen des Untersuchungsgebietes jedoch noch als relativ gut angesehen werden kann. Geringe Komplikationen bei der Veränderungsanalyse aus Fernerkundungsdaten werden von YUAN bei Einschränkung auf eine Sensor-Serie, geringe Wolkenbedeckung und sorgfältige Auswahl der Vergleichszeitpunkte dokumentiert. Um den bei spezifischen, zum größten Teil nicht den optimalen Bedingungen entsprechenden Datenstrukturen aufkommenden Problemen zu begegnen, sind folgende Einflussfaktoren zu beachten (YUAN 1998: 22ff):

- 1) Die räumliche Auflösung und spektrale Bandbreite bzw. Auflösung der Fernerkundungsdaten beeinflusst die Erkennbarkeit von Objekten und kann bei der Klassifikation von Objekten zu starken Unterschieden führen. Ein Lösungsansatz liegt in der Verwendung von Bildern eines Sensorsystems.
- 2) Wolkenbedeckung, Wolkenschatten, Dunst und sonstige atmosphärische Störungen führen zu nicht interpretierbaren und nicht klassifizierbaren Gebieten. Eine Lösung kann durch Bildkomposite mehrerer aufeinanderfolgender Zeitpunkte erreicht werden, bei denen die radiometrische Anpassung und gleiche phänologische Bedingungen vorausgesetzt werden müssen.
- 3) Die phänologische Variationen der Vegetationsbedeckung während des Vegetationszyklusses kann erhebliche Veränderungen vortäuschen. So kann der Vergleich von Satellitenbildern vom Höhepunkt und zum Ende der Vegetationsperiode fälschlicherweise eine Abholzung suggerieren, da die stark veränderten Reflexionseigenschaften von laubtragenden Vegetationsformationen in ihrer Alterungsphase eine Auffichtung oder Degradation von Bestandsflächen vortäuschen (HILDEBRANDT 1996: 50). Liegen nur wenige Daten mit stark abweichenden Zeiträumen vor, muss eine Analyse mit einem Postklassifikations-Ansatz vorgezogen werden.
- 4) Auch Differenzen in der radiometrischen Performance zwischen verschiedenen Sensoren oder aus Alterungsprozessen resultierende radiometrische Veränderungen eines Sensors führen zu nicht vergleichbaren Datensätzen. Lösungsansätze liegen hier in der On-Board-Kalibrierung (falls vorhanden) oder in radiometrischer Bild-zu-Bild-Normalisierung.
- 5) Unterschiede in der solaren Einstrahlung und Sonnenstand beeinflussen die Grauwertverteilung und Lokalisierung von Schatten. Ein Lösungsansatz erfordert die Beschaffung von Bildern aus verschiedenen Jahren zu nahezu gleichem julianischen Tag und Sonnenstandsbedingungen oder entsprechende Programme für eine Beleuchtungskorrektur (vgl. SCHMIDT 2001)
- 6) Ein weiterer Unsicherheitsfaktor liegt in Bild-zu-Bild-Unterschieden von atmosphärischen Effekten (*scattering - absorption*), die vor allem dann problematisch werden, wenn keine uniforme Beeinflussung der Szene gegeben ist. Ein Lösungsansatz liegt bei gleichmäßiger Beeinträchtigung je nach Stärke der Störung in einer atmosphärischen Korrektur und radiometrischen Normalisierung der Szene (vgl. SCHMIDT 2001).
- 7) Ein letzter wichtiger Einflussfaktor für eine Veränderungsanalyse ist eine ausreichend genaue räumliche Anpassung der Datensätze. Generell sollte die Genauigkeit der Koregistrierung mindestens die Hälfte der Pixelgröße der Ausgangsbilder oder weniger betragen (YUAN 1998: 24).

Betrachtet man das für die Untersuchung vorhandene Datenmaterial mit seinen räumlichen Auflösungs- und spektralen Eigenschaften, Aufnahmemethoden, Aufnahmezeitpunkten und seiner räumlichen Abdeckung, wird schnell deutlich, dass nur ein Postklassifikations-Ansatz für die Aufdeckung von Veränderungen in Frage kommt (PETIT et al. 2001a: 786). Dieser Ansatz verfolgt die unabhängige Klassifikation zweier oder mehrerer Bilder verschiedener Zeitschnitte mit anschließendem Vergleich der Klassifikationsergebnisse in einer Veränderungsmatrix (SINGH 1989: 996, YUAN 1998: 22, 32; vgl. Kap. 7.1). Der Vorteil der Methode liegt in der Umgehung der Probleme, die aus Bilddaten verschiedener Jahreszeiten und Sensoren resultieren; zudem ist die Möglichkeit der Kombination von terrestrischen Fotos, Kartenmaterial und Orthogonalbildern gegeben. YUAN (1998: 32) stellt fest, dass für eine auf die Gesamtszene bezogene Analyse die Geokodierung und Koregistrierung weniger kritisch ist als für die flächenscharfe pixelweise *change detection*. Für Letztere ist eine hohe Genauigkeit der räumlichen Übereinstimmung zwingend notwendig, ähnlich wie für die spektrale Veränderungsidentifizierung. Ein Nachteil des Postklassifikations-Ansatzes ist eine geringere Genauigkeit der Analyse im Vergleich zu den anderen Ansätzen der Veränderungsanalyse, da die Genauigkeit der *change detection* bei dieser Technik generell von der Genauigkeit der angewendeten Klassifikation abhängt und in grober Annäherung das Produkt aus den Genauigkeiten der Einzelklassifikation darstellt (SINGH 1989: 996, YUAN 1998: 32). Im Hinblick auf die Ausgangsdatenlage für die vorliegende Arbeit wird auf diese Methode zurückgegriffen, wobei zur Vermeidung von Fehlinterpretationen und -klassifikationen eine Reihe von Vorverarbeitungsschritten erforderlich sind.

Zunächst folgen Bemerkungen zur inhaltlichen Abgrenzung der Veränderungsanalyse, an die sich die Erläuterung der Vorgehensweise bei der Vorverarbeitung und Datenaufbereitung der Kartendaten, des Fotomaterials und der Satellitenbilder für eine einheitliche raumbezogene Datenbasis zur *change detection* anschließt.

#### 4.2 Einschränkungen, Probleme und Homogenisierung der Abgrenzungskriterien

Das zentrale Ziel der Analyse von Landschaftsveränderungen in der Nanga Parbat-Region wird mit Hilfe eines integrierten Methodenansatzes zwecks Operationalisierung anhand zweier in den heterogenen multitemporalen Bildern und Daten besonders markant hervortretender Nutzungen verfolgt. Zum einen lassen sich die Wald- und Baumbestände und deren Veränderungen gut im Bildmaterial identifizieren. Zudem besitzen die Wälder wegen ihrer Bedeutung als Ressource für den Menschen besondere qualitative Aussagekraft für die Veränderung anthropogener Nutzungssysteme. Abholzung und Waldnutzungsveränderung sind in dieser Region eng im Zusammenhang mit Bevölkerungsdruck, erhöhter Zugänglichkeit, exploitativer Eingriffe und veränderter sozioökonomischer Rahmenbedingungen zu sehen (SCHICKHOFF 2002: 212). Zum anderen kommt in der Analyse den Bewässerungsoasen besondere Bedeutung zu, da sie sowohl optisch leicht in den verschiedenen Datensätzen zu identifizieren sind und zudem ebenfalls besonderen qualitativen Aussagewert für mittel- bis langfristige Landnutzungsveränderungen besitzen. Aus einer Ausweitung oder einem Rückgang von bewässerten Flächen können in Anbetracht der Qualität der neuen Nutzung und einem lokal bzw. regional vorhandenen Flächen- und Wasserdargebot Rückschlüsse auf sozioökonomische Strukturveränderungen und Prozesse geschlossen werden. Dies sei nachfolgend näher begründet.

Die Wälder stellen ein zentrales Glied des regionalen Landnutzungssystems dar. Sie werden in vielfältiger Weise genutzt als Waldweide, Bau- und Brennholzressource sowie als zusätzliche Einkommensquelle in Form der Entnahme von Stammholz zur Sicherung der Subsistenzwirtschaft. Sichtbare Veränderungen dieser Prozesse sind vor allem durch Abholzung der feuchten Nadelwälder und des submontanen Trockenwaldes zu erwarten. Nach SCHICKHOFF (1996: 181) hat sich die Walddegradation am Nanga Parbat, die zwar auch schon zu kolonialer Zeit in Siedlungsnähe an der unteren Waldgrenze bestand, vor allem seit der Unabhängigkeit verstärkt entwickelt (KHAN 1979: 47). Anhand waldökologischer Untersuchungen in Test-

gebieten lassen sich eine starke Aufflichtung der Bestände, die Zurückdrängung der Waldränder, eine unzureichende Naturverjüngung, eine regressive Sukzession sowie unnatürliche Altersstrukturen, die aus einem hohen Holzeinschlag und einem großen Beweidungsdruck resultieren, feststellen (SCHICKHOFF 1996: 181, 183). In der vorliegenden Arbeit soll diese Entwicklung mit Hilfe multitemporaler Datensätze auch hinsichtlich ihrer räumlichen Dimensionen quantifiziert werden. Im Zentrum der Betrachtung stehen zum einen die feuchten Höhenwälder bestehend aus den meist dichten montanen feuchten Fichten- und Kiefernbeständen (Kap 2.2) und den subalpin anschließenden Birkenwäldern, sowie zum anderen die submontanen Trockenwälder in ihrer stark differierenden Ausprägung. Grundlegend einheitliche Kriterien für die Abgrenzung von Waldbeständen sind nur für die von der Autorin ausgewerteten Datenbestände gegeben; dies erfolgt in Anlehnung an den Kriterienkatalog von MIEHE & MIEHE (2000, D-4). Eine physiognomische Differenzierung erfolgt in erster Linie anhand des Deckungsgrades der Bäume. Für die Vegetationskarte von C. Troll existiert in der Literatur keine Beschreibung, die eine vergleichbare Abgrenzung der Wälder nach objektiven Kriterien ermöglichen würde. Insofern läßt sich nur schwer nachvollziehen, aufgrund welcher exakten Kriterien C. Troll die Flächenabgrenzung der Waldstandorte vorgenommen hat und welche Walddefinition seiner Untersuchung zu Grunde liegt. Für die Kartierung der submontanen Trockenwälder verwendet Troll Zeichensignaturen, die auf den Variationen der Kiefernbestände von einzelnen Bäumen in der Steppe bis zu dichten geschlossenen Trockenwäldern beruhen (TROLL 1939: 152). Diese zeigen zwar eine Verbreitung der Bestände an, jedoch wird eine exakte Flächenabschätzung unmöglich gemacht. Einzig die fast flächendeckend vorhandenen Messbilder der 1934er Expedition und die Expeditionsbilder von C. Troll bieten eine Möglichkeit, die Vegetationskartierung lokal zu validieren. Im Gegensatz zu C. Troll erfolgt anhand der terrestrischen Fotografien sowohl eine Kartierung von Einzelbäumen und Baumgruppen als auch von dichter bestandenen Arealen mit einem geschätzten Deckungsgrad von über 10% („...a tree stand covering 10% in a herbaceous ground layer rather gives the impression of an open forest than of a grassland, especially if the trees are tall.“, MIEHE & MIEHE 2000: D-3). Diese Vorgehensweise ermöglicht innerhalb der quantitativen Analyse eine lagetreue Ermittlung der historischen Bestände und somit eine Abschätzung des Ausmaßes der Degradation der Trockenwälder.

Einen zweiten Analyseschwerpunkt bilden die Bewässerungsoasen. Sie umfassen das Ackerland, die Siedlungsflächen und das Wegenetz innerhalb der bewässerten Fläche sowie das bewässerte Grasland und die mit Überschusswasser extensiv kultivierten Hänge der Moränenterrassen und Schuttfächer. Auch die Baum- und Buschbestände entlang der Bewässerungskanäle und Abflussrinnen in Siedlungsnähe werden hinzugerechnet; sie sind wichtige Nutzungsflächen, da sie Futterressourcen für die Tierhaltung darstellen. In der Vegetationskarte von C. Troll ist in Siedlungsnähe die Pflanzenformation der Grundwassergehölze ausgewiesen, die sich hier häufig aus Weiden und Pappeln zusammensetzen und deren Standort durch Überschusswasser oder Nähe zu Bewässerungskanälen begründet ist. Dieser Differenzierung kann in der visuellen und semiautomatischen Klassifizierung im regionalen Maßstab aufgrund fehlender spektraler und visuell abgrenzbarer Eigenschaften nicht entsprochen werden. Die räumliche Auflösung (ASTER-Szene 15 m) oder auch die spektrale Differenzierung (z.B. RGB-Bild KFA-1000) lassen eine saubere Ausweisung der meist linienhaft und kleinflächig vorkommenden Grundwassergehölze in unmittelbarer Nähe oder innerhalb der Bewässerungsoasen nicht zu. Das bedeutet für eine Vergleichsanalyse aus historischem Kartenmaterial und aktuellen Satellitendaten die Zusammenfassung von Grundwassergehölzformationen der Vegetationskarte zum bewässerten Kulturland, die sich in unmittelbarer Siedlungsnähe befinden (potenzielle Gebiete mit Überschusswasser, Bewässerungskanäle).



### 4.3 Aufbereitung des historischen Kartenmaterials

Die historischen Karten des Untersuchungsgebietes besitzen ein Format von 75 x 108cm und liegen dem CAK-Projekt als gefaltete Papierkarten vor. Zunächst erfolgte eine fotografische 1:1-Sicherung der Vegetationskarte in 4 Teilstücken auf Halbton-Filmnegative. Zu Beginn des Vorhabens stand noch kein hochauflösender Großformatscanner zur Verfügung, so dass die Digitalisierung von Teilgebieten (Raikot-Tal und Astor/Bulan) auf fotografischen Filmvergrößerungen im Maßstab 1:25.000 mit der Software AtlasGIS vorgenommen wurde. Der Papierverzug aufgrund von normalen Feuchtigkeitsschwankungen im Laufe der Jahre und der deutlichen Abnutzung der Karte durch die Faltung konnte anhand der Koordinatenkreuze aus der Karte bei der räumlichen Einpassung auf das Gauß-Krüger-System (3°-Streifen, 75°-Mittelmeridian, Everest-Ellipsoid) kompensiert werden. Die Abweichungen lagen innerhalb der Zeichengenauigkeit. Die Ausdehnung der Analyse auf die gesamte Kartenregion und die Notwendigkeit eines digitalen Geländemodelles erforderte im Folgenden das Scannen der vier Halbtonnegative (Pixelauflösung: 4,225m) und die schnellere und vor allem genauere digitale Erfassung durch On-Screen-Digitalisierung in ArcView. Darüberhinaus wurde dadurch eine digitale Sicherung der analogen topographischen Karte als geokodierte Scans und abgeleitete Vektordaten vorgenommen.

#### 4.3.1 Digitalisierung der topographischen und thematischen Karten

Die vor der eigentlichen Digitalisierung notwendige Geokodierung und Mosaikierung der Teil-Scans der Vegetationskarte wurde mit dem Programm ENVI 3.2 durchgeführt. Dem Papierverzug und den daraus resultierenden deutlichen Verzerrungen des Kartenblattes konnte mit einer ausreichenden Anzahl unregelmäßig verteilter digitalisierter Passpunkte (v.a. Koordinatenkreuze und Höhenpunkte) begegnet werden, so dass die erreichte Genauigkeit mit einem RMS-Fehler von 1 bis 2 innerhalb der Zeichengenauigkeit der 1:50.000-Karte lag. Zusätzlich erfolgte eine visuelle Kontrolle anhand eines überlagerten 1km-Rasters, wodurch nur für einige zentrale Gebiete im Überlappungsbereich der Teil-Scans ein maximaler Lagefehler von 1mm festgestellt werden konnte. Die auf das Gauß-Krüger System entzerrte und mosaikierte Karte diente als Basis für die Koregistrierung der später gescannten topographischen Karte. Hier zeigte sich ein noch stärkerer Papierverzug als Ursache für den schlechteren RMS-Fehler zwischen 3 und 7 (Pixelauflösung: 4,2m), was einem Lageversatz von maximal 0,6mm in der Karte oder ca. 30m in der Natur entspricht. Den genaueren Datensatz stellt somit die geokodierte Vegetationskarte dar, die trotz der Graustufendarstellung eine gute Digitalisierungsgrundlage bildete und anhand von Farbkopien der Originalkarte eine kontrollierte Erfassung der Formationsgrenzen ermöglichte. Es wurden sowohl die Polyongrenzen der von TROLL ausgewiesenen Pflanzenformationen als auch die Punktsignaturen der unterschiedlich dichten und verschieden zusammengesetzten Holzbestände der kollinen bis alpinen Stufen erfasst und mit den projekteigenen Attributdaten der Landnutzung bzw. Landbedeckung verknüpft (TROLL 1939, vgl. Tab. 4.3.1.1 [A]). Die für die Generierung eines digitalen Höhenmodells notwendigen Höhenlinien, Höhenkoten und Tiefenlinien basieren ebenfalls auf dem genaueren Datensatz der mosaikierten Vegetationskarte. Für das Gesamtkartenblatt erfolgte die On-Screen-Erfassung der 100m-Höhenlinien mit einer Verdichtung durch die 50m Höhenlinien in morphologisch wichtigen Bereichen, wie z.B. in den Flachbereichen der Moränenterrassen und in Gletschergebieten. Ergänzt wurden die historischen Datensätze durch das Wegenetz und die Siedlungen von 1934.

### 4.3.2 Berechnung eines digitalen Höhenmodells

Die Berechnung eines digitalen Höhenmodells ergibt sich aus der Notwendigkeit einer topographischen Normalisierung der multispektralen IRS 1C-Szene (Kap. 4.5.3), als Eingangsdaten für die objektbasierte Klassifikation (Kap. 6.4.3), für die Erstellung der 3D-Landschaftsszenen (Kap. 6.3) und für die vergleichende Höhen- bzw. Expositionsanalyse der Klassifikation mit den historischen Vegetationsdaten (Kap. 7.1). In ArcInfo 7.02 wurden für die Erstellung des Höhenmodells sowohl das TIN- als auch das TOPO-GRID-Tool unter Einbeziehung von Tiefenlinien verwendet. Die Resultate zeigen ähnlich gute Ergebnisse, wobei für beide dieselben Probleme gelten. In beiden Vorgehensweisen tritt ein Treppeneffekt aufgrund der Interpolation aus Höhenkonturen auf (BRÄNDLI 1991: 66). An sehr kurvigen Höhenlinien kann es aufgrund einer relativen Punktdichte in gleicher Höhe zu flachen oder horizontalen Interpolationsdreiecken kommen. Trotz Veränderung der Eingangsparameter für die Interpolation konnte dieser Effekt nicht vermieden werden. Besonders stark sichtbar wird diese Störung bei einer Visualisierung des Höhenmodells durch Beleuchtungsschattierung (*Hillshading*). Durch die Umwandlung des TIN in ein Raster (Lattice) mit Quintischer Interpolation und Berücksichtigung des z-Faktors wurde eine Glättung der Treppen zwar nicht vollständig erreicht, jedoch konnte eine Verbesserung im Rahmen der Höhengenaugigkeit erzielt werden. Die Evaluierung des Höhenmodells erfolgte in zweierlei Hinsicht, durch visuelle Interpretation des schattierten Reliefs (*Hillshade*) und durch Zurückrechnen der Höhenkonturen aus dem Rastermodell mit anschließender Überlagerung der Eingangsvektorlinien. In beiden Fällen konnte ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. In einem abschließenden Schritt erfolgte durch Füllen von Senken die Erstellung eines hydrologisch konsistenten Höhenmodells.

## 4.4 Preprocessing des Fotomaterials

Das historische und aktuelle Bildmaterial für das Untersuchungsgebiet umfasst über 1000 Einzelbilder, die dem CAK-Projekt in unterschiedlicher Qualität zur Verfügung standen. Zur Unterstützung einer umfassenden qualitativen Analyse der Veränderungen des Wald- und Baumbestandes sowie der Bewässerungsflächen ist es unumgänglich, das umfangreiche Fotomaterial geordnet digital bereit zu stellen und mit den Möglichkeiten einer Standortsuche nach visuellen und durch Stichworte gegebenen Kriterien zu versehen.

### 4.4.1 Vorlagenerstellung für den multitemporalen Bildvergleich: Digitalisierung, Kontrastverbesserung, Panoramen, Bild-zu-Bild-Entzerrung

Die digitale Erfassung des Fotomaterials erfolgte durch Scannen der Filmtransparentoriginale. Im Hinblick auf die Sicherung der Filmoriginale mit ihrer Detailauflösung einerseits und der Erstellung eines digitalen Fotoarchives für die Darstellung am Monitor mit Möglichkeiten des Bildausdruckes auf Farb- oder Laserdrucker andererseits wurden die Originale zunächst hochaufgelöst gescannt und anschließend für die jeweilige Zielanwendung (Bildanalyse, Monitor-Quicklook, Printausgabe) in ihrer Pixelauflösung und Bildgröße Neuberechnet (*resampling*). In erster Linie stand also bei der Wahl der Scan-Auflösung die Erkennbarkeit von Details, im vorliegenden Fall die Abgrenzung von Wald bzw. Einzelbäumen und die Differenzierung innerhalb der Bewässerungsoasen im Vordergrund. Die historischen schwarz-weiß-Messbilder weisen aufgrund des hohen Auflösungsvermögens der Filmemulsion der Originalglasplatten trotz erfolgter Kontaktkopie eine ausgezeichnete Detailschärfe auf (FINSTERWALDER 1935: 49). Diese Bilder gewährleisten trotz der z.T. großen Aufnahmeentfernung (4-7km) mit ihrem relativ großen Abbildungsmaßstab die Interpretation von Einzelobjekten wie Bäumen, Büschen, Häusern und Feldgrenzen. Ein kleinerer Ab-

bildungsmaßstab der Vergleichsaufnahmen führt vor allem bei den aktuellen Kleinbildaufnahmen trotz hochauflösender Filmemulsionen (ISO 50/ 18 DIN) zu einer geringeren Detailschärfe. Im Vergleich zu den historischen Aufnahmen bieten die Mittelformatbilder der Feldaufenthalte 1995 und 1997 eine annähernd gleiche Bildqualität.

Für den Scanvorgang stand ein AGFA-DuoScan HiD-Flachbettscanner mit 1000x2000 dpi optischer Auflösung zur Verfügung. Der Vorteil dieses Gerätes liegt in seinen zwei Scanmodi, die einen Aufsicht- und Durchlichtscan von opaken und transparenten Vorlagen bis DIN-A4 zulassen. In Anbetracht der wachsenden Dateigröße von digitalen Bildern bei steigender Auflösung und Farbtiefe und deren erforderlichem Platzbedarf sowie einer wachsenden Rechenzeit für die Bearbeitung der Bilder wurde eine optimale Scanauflösung gewählt, die nicht an die Originalauflösung der analogen Filmtransparente heranreicht, jedoch für die Zielsetzung der qualitativen Bildinterpretation mehr als ausreichend ist. Die Tabelle 4.4.1.1 zeigt in zusammengefasster Form die verwendete Scanauflösung für die jeweiligen Bildoriginale, die verschiedenen Dateiformate der jeweiligen Ausgabevarianten und die Anzahl der gescannten Bilder. Aus Gründen der Datenreduktion beschränkt sich die Erfassung der historischen und aktuellen Stereobildpaare für das Fotoarchiv in erster Linie auf einen der Stereostandorte. Ausgewählt wurden die Standorte mit der besseren Bildqualität und Bildabdeckung, nur bei wichtigen Vergleichsstandorten erfolgte die digitale Aufbereitung beider Standorte. Der Scanvorgang wurde ohne automatische oder manuelle Tonwertkorrektur durchgeführt, um den Originaltonwertumfang in den hochauflösenden Scans zu erhalten, und erst in einem zweiten Schritt wurden individuell Kontrast- und Schärfekorrekturen eingebracht.

Original	Scan-auf-lösung	Skalie-rung	Bildanalyse		Print (Verkleinerung-Resampling)		Monitor (Quicklook)		Anzahl Scans
			Datei-format	Bildgröße	Datei-format	Bildgröße	Datei-format	Bildgröße	
13x18cm Halbtton-Film-transparent (Kontakkopien der Originalglas-platten)	700 ppi	200 %	TIFF	ca. 15 MB (8 bit)	JPEG hohe Qualität	250-500 KB	JPEG 100 dpi	50-90 KB	212
Kleinbild-Negativ (Reproduktion der Troll-Origina-le)	2000 ppi	200 %	TIFF	ca. 5 MB (8 bit)	JPEG hohe Qualität	150-500 KB	JPEG 100 dpi	50-90 KB	580
6x6cm Farbdia oder Negativ	900 ppi	300 %	TIFF	ca 15 MB (32 bit) ca 5 MB (8 bit)	JPEG hohe Qualität	500-1000 KB	JPEG 100 dpi	50-90 KB	135
Kleinbilddia oder Kleinbild-Negativ	2000 ppi	200 %	TIFF	ca 15 MB (32 bit) ca 5 MB (8 bit)	JPEG hohe Qualität	250-500 KB	JPEG 100 dpi	50-90 KB	600

Tab. 4.4.1.1: Scanauflösung, Dateiformat und Bildgröße der diversen digitalen Bildprodukte

Zur umfassenderen Auswertung ganzer Talflanken oder Talabschnitte wurden, wenn es die Einzelbilder eines Standortes zulies, Panoramen erstellt. Die relativ verzerrungsfreien Messbilder konnten ohne Probleme im Programm Photoshop zu insgesamt 62 Panoramen aneinandergesetzt werden. Soweit wie möglich wurden Kontrastübergänge benachbarter Fotos dabei angeglichen, was aufgrund des Kontrastumfangs der Ausgangsbilder nicht immer gegeben war. Die aufgrund der Aufnahmeoptik randlich stärker verzerrten Mittelformat- und Kleinbildfotografien eines Standortes mussten mit einer Software bearbeitet werden, die sowohl die randlichen Verzerrungen als auch die Farb- oder Kontrastübergänge zur Panoramabildung berücksichtigen kann. Dabei zeigte die von WALTER 1999 verwendete Software VideoBrush-Photogra-

pher einige Probleme hinsichtlich der Rechenleistung und fehlenden Möglichkeiten einer Feinjustierung der Einzelbildübergänge. Vorteile bietet hier der PanoramaMaker-2000 von Arcsoft (*lowcost software*), der sowohl aufgrund seiner Rechenleistung als auch durch die interaktive Bearbeitung der Bildübergänge überzeugt und schnelle Ergebnisse auch bei schwierigen, kaum überlappenden Bildserien liefert. Somit konnten aus den Bildern von C. Troll und den aktuellen Vergleichsaufnahmen ca. 100 Panoramen in relativ kurzer Zeit erstellt werden.

Bei standortgleichen terrestrischen Fotografien ohne starke Linsenverzerrungen wurde zur Unterstützung einer bitemporalen qualitativen Analyse anhand von Bildpaßpunkten eine Bild-zu-Bild-Entzerrung im Bildverarbeitungssystem ENVI vorgenommen. Die Registrierung der Bilder hat den Vorteil, dass komplexe Bildinhalte, wie z.B. eine kleinräumige Struktur der Bewässerungsoasen direkt in einer Veränderungsgrafik visualisiert werden können (vgl. Kap. 5.3, Abb. 5.3.2.15 [A]). Ein intensiver Vergleich sowie ein genaues Analysieren interpretierter Bildvergleiche mit möglichen aus Standortabweichungen oder Linsenverzerrungen resultierenden Bildverzerrungen wird somit entscheidend erleichtert.

### **Digitales Bildarchiv**

Die hohe Anzahl der projekteigenen Fotomaterialien und die unterschiedlichen raumbezogenen Daten inklusive ihres Herstellungsprozesses sowie ihren Qualitätsmerkmalen verlangt eine, auch für Projektfremde einfach nachvollziehbare, Ordnung und Dokumentation. Besonders geeignet für die Präsentation dieser Vielzahl an Landschaftsdokumenten (Fotos, Karten, Satellitenbilder) ist ein digitales interaktives Archiv, welches sowohl allgemeine Projektinformationen bereitstellt als auch als Plattform für eine detaillierte Foto-Recherche dienen kann (vgl. Abb. 4.4.1.1 [A], 4.4.1.2 [A]). Das Konzept beinhaltet somit einerseits die digitale Archivierung der gescannten Fotos und der in digitaler Form vorliegenden Rauminformation und bietet andererseits für die vorhandenen Zeitschnitte Einblicke in die Basisdaten der Veränderungsanalyse mit den aus den diversen *change detection* Prozessen (qualitativ/quantitativ, lokal/regional) resultierenden Ergebnissen. Darüberhinaus ist es eine ideale Ausgangsbasis für zukünftige Fotomonitoring-Ansätze.

#### **4.4.2 Reprotechnische Verkleinerung der historischen Messbilder**

Die über die rein qualitative Auswertung hinausgehende Zielsetzung einer Inventarisierung der unteren Waldgrenze und der submontanen Baumbestände sowie deren Analyse in Zeit und Raum erfordert die Erfassung der Bildobjekte anhand von Raumkoordinaten und somit mittels analytisch photogrammetrischer Methoden. Der Bildvorlagenhalter des dafür vorgesehenen analytischen Plotter MPS-2 bietet maximal 7x7cm Filmtransparenten Platz, so dass nur die Mittelformat- und Kleinbild-Originale direkt Verwendung finden. Für die historischen Messbilder wird eine reprotchnische Verkleinerung notwendig, die sowohl an das verwendete Filmmaterial als auch an das Personal des institutseigenen Fotolabors hohe Ansprüche stellte. Einerseits erfordert die verkleinerte Wiedergabe der oft zehntelmillimeter dünnen Messmarken einen hochauflösenden Grafikfilm (Körnung muss geringer sein als die Zeichnung) und andererseits ist eine Tonwertkorrektur der oft sehr kontrastarmen Originale nur schwierig und nicht immer mit zufriedenstellender Qualität zu erreichen. Jedoch ist es gelungen, verkleinerte Bildvorlagen zu erzeugen, die noch sichtbare und somit ausmessbare Messmarken zeigen und auch eine Auswertung von Einzelobjekten (Baum, Haus, Feldgrenze) im verkleinerten Bildmaßstab gewährleisten. Der Verkleinerungsfaktor auf 32,93% wurde exakt festgehalten und ist wichtig für die Reduzierung der Brennweite bei der Erstellung der inneren Orientierung (vgl. Kap 6.2.1). Alternative Tests zur digitalen Verkleinerung der historischen Messbilder mit Hilfe von hochauflösten Trommelscans (3600 dpi bei 600%) und einer anschließenden ebenfalls hochaufge-

lösten Diabelichtung auf Mittelformat (mit 8000 dpi) zeigten sehr gute Ergebnisse. Die Vorteile bei diesem Verfahren liegen eindeutig in der digitalen Kontrastverbesserung. Nachteilig wirkt sich vor allem der höhere Kostenaufwand (Aufträge außer Haus, da Gerätekosten sehr hoch) für das Scannen und Belichten der für ein Modell notwendigen Stereobildpaare aus. Sind neben einer Normalaufnahme auch noch Links- und Rechtsschwenks für die Auswertung einer Talflanke oder eines Talraumes notwendig, verdoppeln bzw. verdreifachen sich die Kosten schnell. Nicht alle historischen Messbilder lassen sich einer photogrammetrischen Auswertung zuführen, da aufgrund von Bildstörungen oder defekten Glasplatten nicht immer alle vier Messmarken zu erkennen sind (zum Messmarkenproblem WALTER 1999: vgl. Kap. 6.2.1).

## 4.5 Preprocessing der Satellitendaten

### 4.5.1 CORONA-Satellitenbilder

Mit der Freigabe der aus den Jahren des "Kalten Krieges" stammenden Spionagebilder ("*Intelligence Satellite Photographs*") amerikanischer Erderkundungssatelliten am 22. Februar 1995 für eine breite Öffentlichkeit wurden neue Möglichkeiten einer retrospektiven Analyse anhand von Satellitenbildern gegeben und der Betrachtungszeitraum auf nun über 40 Jahre Daten aus dem Weltraum ausgedehnt (McDONALD 1997: 169, LEACHTENAUER et al. 1997: 189). Schon 12 Jahre vor den ersten LANDSAT-1-Bildern mit 30m-Auflösung wurden während der CORONA-Mission (August 1960 bis Mai 1972) mit 2-10 m Bodenaufklärung hochaufgelöste, zumeist panchromatische fotografische Aufnahmen der Erdoberfläche erstellt. Die mehr als 860.000 Bilder decken nicht nur das damalige sowjetische Staatsgebiet ab, sondern zeigen auch wiederholt Aufnahmen aus anderen Regionen der Erde (McDONALD 1997: 70/71). Die Abdeckung und Verfügbarkeit sowie die Qualität der Bilder (z.B. Wolkenbedeckung) kann im USGS *Global Land Information System* (GLIS, Internet-Interface: WebGLIS) anhand von Metadaten und Quicklooks recherchiert werden.

Das Kamerasystem KH-4A der Missionen 1035 und 1047 besteht aus zwei Panoramakameras ( $f=609,6$  mm), die stereoskopische Bilder in einem Vorwärts- und einem Rückwärtsmodus  $30^\circ$  konvergent zueinander aufgenommen haben. Dabei ergab sich jeweils sechs Bildreihen zueinander versetzt das Stereopaar. Zusätzlich lieferten drei weitere Kameras Daten zur Lage des Aufnahmesystems im Raum (Horizontal-, Stellar- und Indexkamera, McDONALD 1997: 69/70). Mit rotierender Optik bzw. fester Optik über einem rotierenden Prisma besitzt die Panoramakamera ein dynamisches System, mit dem die Belichtung streifenweise quer zur Flugrichtung auf eine zylindrisch gekrümmte Fläche erfolgt (KAUFMANN et al. 1997: 168). Ein Bildstreifen ist  $55 \times 757$ mm groß und bildet bei  $9^\circ$  ( $2,74$ m) Bodenaufklärung eine Fläche von  $10,6 \times 144$ km der Erdoberfläche ab. Der mittlere Bildmaßstab beträgt im Nadirbereich 1:305.000 und ist entsprechend der für diese Aufnahmesysteme charakteristischen Panoramaverzerrung am Streifenende bzw. -anfang kleiner. Aufgrund einer hochauflösenden Filmemulsion von 120 l/mm ist maximal eine Vergrößerung um das 40fache bis auf einen Bildmaßstab von 1:7500 möglich (McDONALD 1997: 306). Dem Vorteil einer bestmöglichen optischen Auflösung in allen Bildbereichen steht als Nachteil eine komplexe Abbildungsgeometrie mit einer erschwerten geometrischen Auswertung aufgrund der Panoramaverzerrung entgegen. KAUFMANN et al. (1997) verwenden zwei parametrische Verfahren zur Rektifizierung der CORONA-Bildstreifen (Orthophotoherstellung mittels analytischem Plotter und Differentialentzerrung mit Geländemodell), die aufgrund mangelnder Hardware- bzw. Software-Ausstattung im CAK-Projekt nicht verwirklicht werden konnte.

Für das Gesamtprojekt konnten 56 Positivfilmstreifen von drei verschiedenen CORONA-Missionen fast flächendeckend für die Northern Areas von Pakistan erworben werden. Wie schon in Kapitel 3.1.3 ausgeführt,



wird das Untersuchungsgebiet von den Bildstreifen der Zeitschnitte 1966 und 1968 zwar flächendeckend abgedeckt, jedoch reduziert eine starke Wolkenbedeckung, Wolkenschatten und tiefer Sonnenstand die Auswertung auf die Gebiete des Astor-Tales. In der vorliegenden Arbeit wurden Teilausschnitte der Bildstreifen anhand einer nichtparametrischen Rektifizierung mittels Passpunkten entzerrt (vgl. Kap. 4.6). Die Lage der Bildausschnitte innerhalb eines Panoramastreifens wird in der Abbildung 4.5.1.1 deutlich.

Den geringsten Datenverlust zu den Originalbildstreifen stellen die Kontaktkopien auf Positivtransparentfilm dar. LEACHTENAUER et al. (1997: 194) postulieren für eine digitale Bearbeitung der CORONA-Bilder mit keinem oder nur sehr geringem Verlust eine Scanauflösung von 4-6 µm (6350-4200 dpi). Für KAUFMANN et al. (1997: 169) reicht für eine Bearbeitung ohne Informationsverlust eine Auflösung von 8,5µm (3000 dpi) aus. Dem CAK-Projekt stand ein Heidelberg-A3-Scanner (Linoscans F 2400 XL) mit einer optischen Auflösung von 2400 x 2400 dpi zu Verfügung, mit dem nach mehreren Testversuchen mit unterschiedlichen Auflösungen die Positivfilme im Durchlichtmodus mit 3600 dpi und 300% Skalierung gescannt wurden. Die leichte Interpolation wurde gewählt, um eine größere Detailschärfe durch Vermeidung eines leichten Rastereffektes bei der maximalen optischen Auflösung zu erzielen. 14 Teilausschnitte

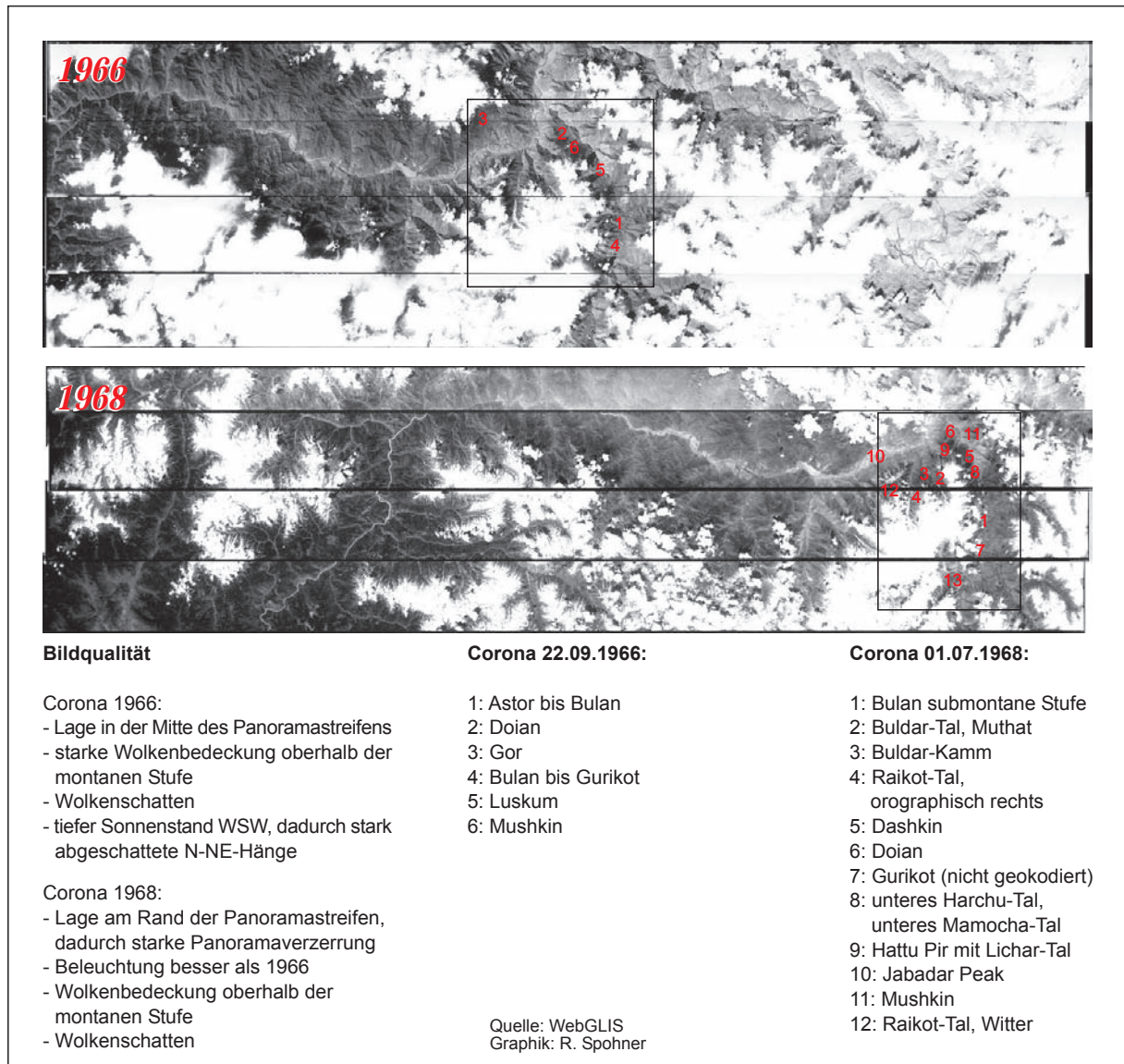


Abb. 4.5.1.1: Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb der Panoramastreifen (CORONA)

mit 1,35 GByte Datenvolumen (8bit Graustufenbilder) decken das Untersuchungsgebiet flächendeckend ab. Daraus wurden 18 Teilausschnitte dem Geokodierungsprozeß zugeführt (vgl. Abb. 4.5.1.1). Abschließend erfolgte eine leichte Tonwertkorrektur mit adaptiver Filterung im Programm ENVI (local sigma mit 5er Kernel, Sigma-Faktor: 2) zur Verbesserung des Kontrastes und zur Unterdrückung des Rauschens in den hochauflösten Bildern (STEINOCHEER et al. 1998: 147).

#### **4.5.2 KFA 1000 und KVR 1000-Bilder**

Ein weiterer Informations-Pool für hochauflösende Erderkundungsbilder, der Bilder aus den Jahren seit 1974 bereitstellt, sind die Archive der russischen Satellitenkameras KFA 1000 und KVR 1000. Auch hier handelt es sich um analoge Satellitendaten mit Auflösungen von 2m bis 10m, die 1992 für die kommerzielle und wissenschaftliche Nutzung freigegeben wurden. Die KFA 1000-Kamera kam auf den Missionen des RESURS-F-Satellitensystems zum Einsatz und lieferte 30x30cm-Frames mit panchromatischer oder farb-spektrozonaler Filmsensibilität (KOSTKA & SHAROV 1994). Die mittlere Bodenabdeckung einer Szene beträgt 80 x 80km mit einer Auflösung von 4-6m im panchromatischen und 6-10m im spektrozonalen Bereich und besitzt einen mittleren Bildmaßstab von 1:270.000 (panchromatisch) bzw. 1:350.000 bis 1:400.000 (spektrozonal) mit der Option auf Vergrößerung bis auf den Maßstabsbereich 1:50.000 - 1:10.000 (KOSTKA & SHAROV 1994, [www.sovinformsputnik.com](http://www.sovinformsputnik.com) Stand 2002, PRECHTEL & STRATHMANN 1994). An Bord der COSMOS-Satellitenmissionen ist die Panoramakamera KVR 1000 des KOMETA-Systems installiert und liefert 18x18cm-Frames mit einer Bodenabdeckung von 40 x 40km und einer Auflösung von 2 m (KOSTKA & SHAROV 1994). Der mittlere Bildmaßstab beträgt 1:221.000 (Datenblatt Sovinformsputnik) und erlaubt eine Vergrößerung bis auf den Maßstabsbereich 1:50.000 - 1:10.000 (KAUFMANN & FASTNER 1995). Beide Kameras weisen eine lange Brennweite von 1000mm auf, die zu radialen Verzerrungen und bei den KFA 1000-Bildern auch häufig zu einer Vignettierung (starker Lichtabfall zu den Bildrändern) führt.

Die vorliegende KFA 1000-Szene ist bereits digitalisiert und im RGB-Farbmodus abgelegt geliefert worden. Laut Datenblatt ist der Scan des analogen Originalframes mit 1600 dpi erfolgt und die Bodenauflösung beträgt 5m. Auch wenn die Bodenauflösung 5m aufweist, zeigt die Szene in der Vergrößerung eine Unschärfe, die als Detailverlust aus dem Digitalisiervorgang resultiert. Darüberhinaus weist die Szene eine nicht uniforme Beeinflussung durch Dunst und Wolken auf, die eine detaillierte Interpretation in Teilbereichen nicht zulässt und z.T. durch manuelle Bildstörungen (Kratzer und Staub) zusätzlich überlagert wird. Insgesamt gesehen ist die Szene aufgrund ihres Aufnahmedatums (11.07.1988) zur Mitte des Anbauzyklus und als vermittelnder Zeitpunkt zwischen IRS 1C- und CORONA-Daten eine wichtige Datenquelle für die Kartierung der Bewässerungsgebiete und in Teilgebieten auch der Wälder. Die geometrische Anpassung der KFA-Szene an die topographische Basis erfolgte mittels passpunktbasierter Rektifizierung (vgl. Kap. 4.6). Eine abschließende Tonwertkorrektur in ENVI führt zu einer verbesserten Kontrast- und Farbwiedergabe. Die als analoges Filmpositiv-Produkt vorliegende KVR 1000-Szene wurde auf dem Heidelberg-Linoscan mit 3600 dpi und 300%-Skalierung digitalisiert (vgl. CORONA Bilder, Kap. 4.5.1). Leider existiert im Archiv von Sovinformsputnik nur eine relativ frühe Szene vom 27.05.1989, in der die temporäre Schneegrenze bis auf ca. 3500m herunterreicht und somit die obere Waldgrenze nicht eindeutig identifizierbar ist. Aufgrund der relativ hohen räumlichen Auflösung und der daraus resultierenden Erkennbarkeit von Baumgruppen in der submontanen Stufe wurde trotz der relativ schlechten Bildqualität ein erheblicher Aufwand für das Datenpreprocessing betrieben. Starke Bildstörungen, wie helle überbelichtete Flecken (elektrostatische Einflüsse im Satellitensystem) und starke Kratzer, erfordern eine aufwändige Bildbearbeitung, die sich aber aufgrund der hohen Auflösung und der sichtbaren Objekte (Häuser, Felder, Bäume) lohnt. Die Arbeitsschritte umfassten die manuelle Nachbelichtung (Abdunkeln) der überbelichteten Bereiche im Programm Photoshop

mit einer anschließenden adaptiven Filterung in ENVI zur Trennung von Signal und Rauschen im Bild. Im Gegensatz zu den von KAUFMANN & FASTNER (1995) aufgrund von vorhandenen Stereobildpaaren verwendeten Stereokartierungsmethoden (analoge Filmtransparente ausgewertet im analytischen Plotter, digitale Bilder und Bildkorrelation) musste im CAK-Projekt auf eine Bild-zu-Bild-Registrierung mit Passpunkten in ENVI zurückgegriffen werden (vgl. Kap. 4.6).

#### 4.5.3 IRS-1C Multispektralbild

Seit Januar 1996 liefert der IRS 1C-Satellit mit seinen drei Kamerasystemen panchromatische und multispektrale Daten mit einer Bodenauflösung von 5,8 m (PAN), 23 m im sichtbaren Licht und 70m im mittleren Infrarot (LISS III) sowie 188m im fernen Infrarot (WiFS). Die Akquirierung der multispektralen LISS III-Szene für das Untersuchungsgebiet erfolgte anhand der für eine Vegetationskartierung in diesem Hochgebirgsraum notwendigen Kriterien: Aufnahmezeitpunkt während der Vegetationsperiode, Schneefreiheit und letztendlich eine geringe Wolkenbedeckung (vgl. Kap 3.1.3). Die erworbene Szene ist ein sogenanntes Path/Row-basierendes Produkt, als Fast Format gespeichert, und als Level 2-Daten radiometrisch und geometrisch unter Verwendung der Orientierungsdaten des Satellitensystems korrigiert (Data User Handbook IRS 1C 1995: 96/97, 113). Der LISS III (Linear Imaging and Self Scanning Sensor) liefert multispektrale Daten in 4 Kanälen, die in ihren jeweiligen Wellenlängenbereichen an die Kanäle 2, 3, 4 und 5 von Landsat TM 4/5 angelehnt sind (vgl. Tab. 3.1.3.1) und liegen als Digital Numbers (DN) mit 8bit pro Kanal vor.

Bei der Sichtung der Daten wurde für den Kanal 5 ein Offset in Spalten- und Zeilenrichtung festgestellt, der sehr wahrscheinlich aus einem Resampling-Fehler bei der Reduzierung der 70 m-Auflösung auf die 25 m-Endauflösung resultiert. Eine einfache Korrektur erfolgte durch Anpassung der Ausschnitte von Kanal 5 und den drei Kanälen 2, 3 und 4 nach folgendem Modus:

Kanal 5:	Spalte 5 bis Spalte 6020, Zeile 5 bis Zeile 5763
Kanäle 2, 3, 4:	Spalte 0 bis Spalte 6016, Zeile 0 bis Zeile 5759.

Das extreme Hochgebirgsrelief und der niedrige Sonnenstand während des Aufnahmezeitpunktes der IRS-Szene machen eine topographische Normierung vor der eigentlichen Klassifizierung notwendig. Zur Beseitigung von Besonnungs- bzw. Reflexionsunterschieden müssen die spektralen Signale sonnenabgewandter Hänge angehoben und entsprechend die überhöhten Reflexionswerte der sonnenzugewandten Hänge reduziert werden. Das im Rahmen des CAK-Projektes entwickelte Strahlungsmodell von SCHMIDT (2001) basiert auf einem für LANDSAT TM-Daten entwickelten Ansatz von PARLOW (1986, 1991) und setzt die potenzielle Globalstrahlung einer horizontalen Fläche in Beziehung zur real vorliegenden unter Berücksichtigung einer standardisierten Atmosphärenkorrektur. Notwendige Eingangsdaten sind ein digitales Geländemodell, der zugehörige Skyviewfaktor, die Hangneigung und Exposition sowie genaue Angaben zum Aufnahmedatum (Julianischer Tag, Uhrzeit der Aufnahme, geographische Breite). Die im Modell von SCHMIDT implizierten Korrekturfaktoren für eine kanalspezifische Normierung basieren auf den von PARLOW (1991) für LANDSAT TM entwickelten Parametern und sollten für eine Korrektur der IRS-Daten aufgrund ähnlicher spektraler Bandbreiten problemlos anwendbar sein (HÖRSCH 2001: 80). Jedoch zeichnete sich bei Verwendung der kanalspezifischen Standardkorrekturwerte (SCHMIDT 2001: 91) im „korrigierten“ IRS-Bild ein deutlich kleinräumiges Expositionsmuster ab, so dass die kanalspezifischen Eingangswerte für alle Kanäle in mehreren Testläufen und mit visueller Kontrolle modifiziert werden mussten. Dies führte zu einer starken Verkleinerung der Koeffizienten und zu einer geringen Senkung bzw. Anhebung der spektralen Werte (vgl. Abb. 4.5.3.1). Die Abbildung 4.5.3.2 [A] zeigt die korrigierte IRS-1C-Szene in einer angenäherten Echtfarbdarstellung. Zur Berücksichtigung der vorliegenden Reflexionsunter-



schiede in der IRS-Szene für die objektbasierte Klassifikation wurden daraufhin drei Beleuchtungsklassen als Klassifikationsmasken erzeugt (vgl. Kap. 6.4.3).

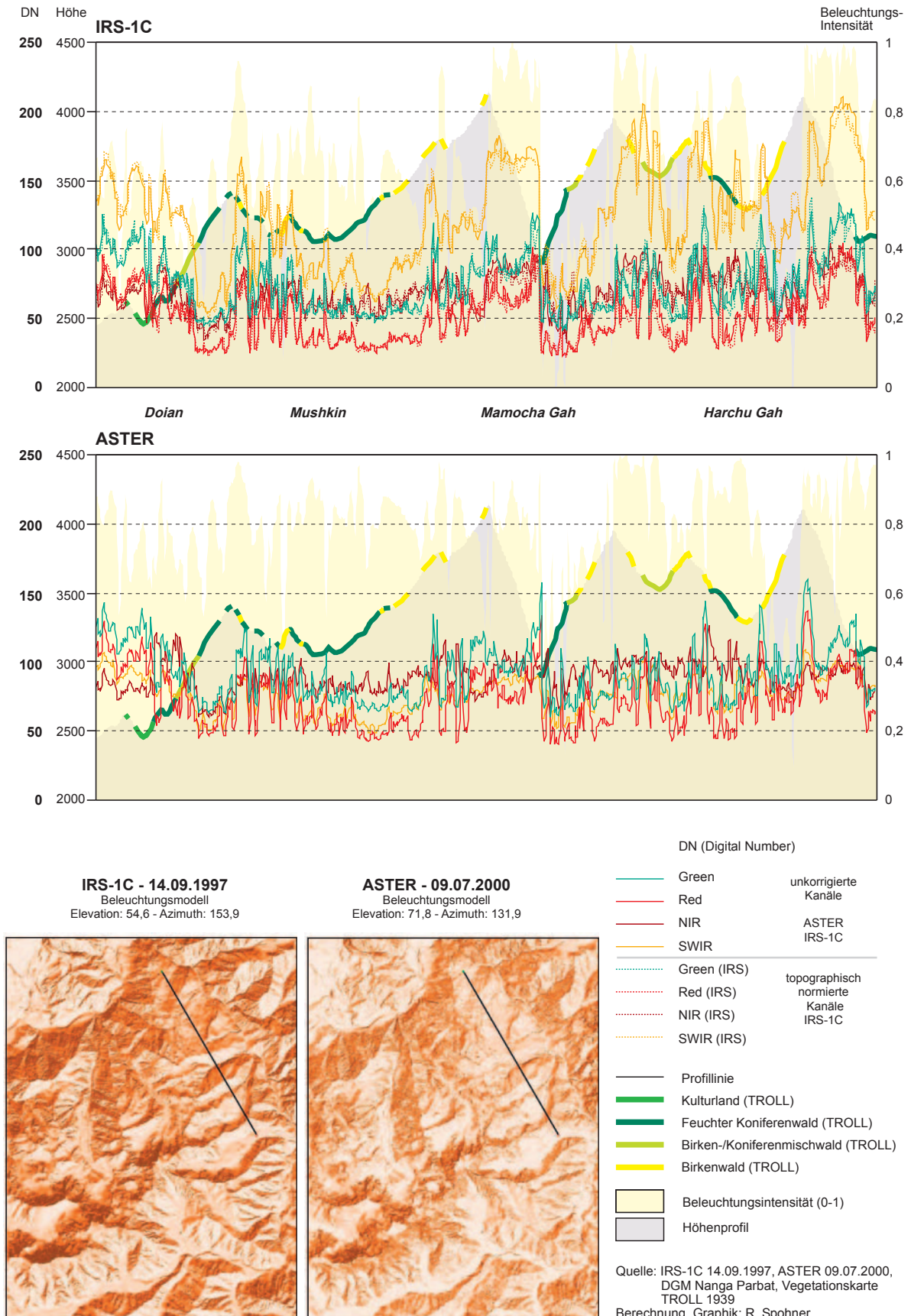


Abb. 4.5.3.1: Beleuchtungsmodelle IRS 1C und ASTER, Spektral-Profile aus IRS 1C und ASTER mit beleuchtungskorrigierten Spektraldaten für IRS 1C

#### 4.5.4 ASTER Level1B Multispektralbild

Die aus dem EOS-Datenarchiv stammende ASTER-Szene (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) liegt im Level 1B Format vor. Diese Bilder sind radiometrisch kalibriert und geometrisch auf die Kartenprojektion UTM (WGS84) registriert (User Guide I 2001:58; User Guide II 2001:42). Vor der Auswahl, der für die Klassifikation zu verwendenden spektralen Kanäle, erfolgte eine Anpassung der 6 SWIR- (kurzwelliger Infrarotbereich) und 5 TIR-Bänder (thermaler Infrarotbereich) auf die 15m-Auflösung der Bänder des sichtbaren und nahen Infrarot-Spektrums. Von einer späteren Verwendung der TIR-Kanäle wurde Abstand genommen aufgrund eines, aus dem Resampling-Prozess (*nearest neighbor*) resultierenden, die Klassifikationen stark überlagernden Clustermusters. Im Hinblick auf den zum Aufnahmezeitpunkt hohen Sonnenstand sowie der anvisierten unüberwachten Klassifikation mit *a posteriori* Zuweisung der *land use/land cover* Klassen (vgl. Kap. 6.4.4) kann auf eine topographische Normierung verzichtet werden. Diese Vorgehensweise wird unterstützt durch die Argumentation von KIMOTHI und JADHAV (1998: 2265), die für die Monate mit hohem Sonnenstand für die Gebiete im Zentral-Himalaya den Schatten-Effekt und den damit zusammenhängenden Informationsverlust als vernachlässigbar ansehen. Die Gegenüberstellung der Beleuchtungssituation zum Aufnahmezeitpunkt der IRS-1C- (September) und ASTER-Szene (Anfang Juli) entlang eines Höhenprofils der ostexponierten Astor-Flanke zeigt deutlich die trotz wechselhaft steilem Relief ausgeglichenerer Ausleuchtung zur Jahresmitte (vgl. Abb. 4.5.3.1). Jedoch müssen auch bei der ASTER-Szene bei quer zur Beleuchtungsrichtung liegenden extremen Taleinschnitten (Harchu-, Mamocha-Tal) und steilen sonnenabgewandten Hängen (nordexponierte Jabardar-Flanke, nordwestexponierte Hangbereiche Buldar-Flanke) Schattenklassen für die Klassifikation berücksichtigt werden (vgl. Abb. 4.5.4.1 [A]). Eine topographische Normierung wird erst dann unumgänglich wenn ein multitemporaler Ansatz auf der Basis eines direkten spektralen Vergleichs erfolgen soll (MILLINGTON et al. 2000: 212; YUAN 1998: 24f).

#### 4.6 Geokodierung der Zeitschnittbilder – Probleme und Lösungsansatz

Von grundsätzlicher Bedeutung für eine Veränderungsanalyse ist die absolute und relative geometrische Genauigkeit der einzelnen raumbezogenen Basiszeitschnitte. Jede Missregistrierung erzeugt zusätzliche Fehler bei einer Überlagerung der Input-Daten. Dies können sowohl postklassifizierte thematische als auch simultan analysierte multispektrale Layer sein, die zu Objektartefakten und zur Verfälschung der Interpretationsergebnisse führen (POHL et al. 1998: 825). Zur Vermeidung dieses Problems wird ein RMS-Fehler von  $\pm 0.5$  Pixel gefordert; typischerweise kann meistens nur eine Bild-zu-Bild-Registrierung diesen Fehler beheben (LUNETTA 1998: 9, KHORRAM 1999: 23). Üblicherweise erfolgt für einen Datensatz zunächst eine absolute Rektifizierung auf ein Landeskoordinatensystem, gefolgt von Bild-zu-Bild-Registrierungen weiterer multitemporaler Daten. Werden Bilder mit unterschiedlichen räumlichen Auflösungen für den Analyseprozess verwendet, ist die Entscheidung für eine minimale repräsentative Pixelgröße unumgänglich (KHORRAM 1999: 23). Vor allem im Bereich von *Image Fusion*-Methoden dient die höhere Auflösung als Referenz zur Anpassung der Bilder mit geringerer Auflösung (CHAVEZ et al. 1991, DJAMDJI 1993, SARAF 1999).

Aufgrund der am wenigsten durch das Aufnahmesystem verzerrten Scannerdaten des IRS 1C-Satelliten im Vergleich zu den durch Radial- und Panoramaverzerrung stark beeinflussten höher aufgelösten Datensätze erfolgte zunächst die geometrische Rektifizierung des IRS 1C LISS III-Bildausschnittes auf die topographische Karte 1:50000 mit einer Pixelgröße von 25 m. Unter Zuhilfenahme eines unter Aufnahmebedingungen beleuchteten digitalen Geländemodells wurden in Anbetracht des stark reliefierten Geländes 113 Passpunkte in ENVI erfasst. Die anschließende Polynomientzerrung dritten Grades (*nearest neighbor*) mit einem



RMS von  $\pm 1,348$  (33,7m) erzeugt ein für den Maßstab 1:50.000 gutes Rektifizierungsergebnis. Auch wenn der RMS größer als eine Pixelgröße ist, zeigt sich nach visueller Kontrolle eines aus Beleuchtungsbild und Hochpass gefiltertem Grün-Kanal der IRS-Szene kombinierten Bildes eine sehr gute Übereinstimmung der Satellitenszene mit der topographischen Karte. Nur die schon in Kapitel 3.1.1 erwähnten Interpolationsbereiche der topographischen Karte weisen deutlichere Abweichungen auf, die aber aufgrund fehlender übereinstimmender Geländeinformationen zu erklären und nicht zu vermeiden sind.

Die folgende Strategie sieht eine Bild-zu-Bild-Registrierung der KFA 1000-Gesamtszene auf die nun als Referenzgeometrie dienende geokodierte IRS-Szene vor. Der Vorteil besteht hier eindeutig in der höheren Geländeinformation der IRS-Szene im Vergleich zur Karte, so dass ausreichend Passpunkte gefunden wurden, um eine Polynomiale Verzerrung zweiten Grades (*cubic convolution*) durchführen zu können. Zur Beibehaltung der Originalauflösung der KFA-Szene von 5m bietet ENVI die Möglichkeit einer Passpunktsuche im Bild-zu-Bild-Modus mit einer anschließenden Bild-zur-Karte-Entzerrung. Die Entzerrung erfolgte in iterativen Schritten zur Vermeidung starker Deformationen in Gebieten mit geringerer Passpunktanzahl und zeigt in der abschließenden Entzerrung mit 300 Passpunkten einen akzeptablen RMS-Fehler von 4,9817 (24,9m). Die auch hier vorgenommene visuelle Kontrolle mit Hilfe eines Hochpass gefilterten Kanals der KFA-Szene (*resample* auf 25m!) überlagert auf das Beleuchtungsmodell und die IRS-Szene zeigten sowohl eine sehr gute geometrische Genauigkeit der Szenen zueinander als auch zur topographischen Basis. Der aufgrund der nicht flächendeckend vorhandenen IRS-1C-Szene fehlende KFA-Ausschnitt im südlichen Astor-Tal wurde durch eine absolute geometrische Rektifizierung zur topographischen Karte und dem Beleuchtungsmodell mit 89 Passpunkten und einem Lagefehler von  $\pm 6,277$  (31,385m) geokodiert.

Dieser zur Literatur umgekehrt hierarchische Ansatz der geometrischen Anpassung unterschiedlicher räumlicher Auflösungen (hier Geokodierung der hochaufgelösten Daten auf Bilddaten geringerer Auflösung) wird für die Datensätze KVR 1000, CORONA und dem einzelnen SPOT-Ausschnitt für Gor fortgesetzt. Jedoch werden nicht die kartenabdeckenden CORONA-Streifen oder die KVR-Gesamtszene als Ganzes entzerrt, sondern Teilausschnitte gewählt, die sich auf die Region Gor, Raikot-, Buldar-, Rupal- und Astor-Tal beschränken (vgl. Abb. 4.5.1.1). Nicht nur Probleme, die aus einer erschwerten Passpunktsuche in Schnee- und Gipfelbereichen resultieren, sondern auch die starken Verzerrungen (Panorama- bzw. Radialverzerrungen bewirken extreme Hangverlängerungen und -verkürzungen) in Verbindung mit dem stark reliefierten Gelände, führten zu einer kleinräumigen umfassenden Einschränkung der Bildregistrierung und somit zu einer thematischen Begrenzung im lokalen Maßstab auf die untere Waldgrenze und die Bewässerungsflächen. Die Lagegenauigkeit der acht KVR-Teilausschnitte liegt mit  $\pm 20$ -25 m im Bereich der Genauigkeitsanforderungen der geokodierten IRS-1C-Basiszene. Als wesentlich problematischer erwies sich die Registrierung der CORONA-Bildausschnitte, die aufgrund relativ instabiler Polynomiale Modelle nicht mehr anhand des RMS-Fehlers kontrolliert werden konnten. Hier musste auf das in ENVI implementierte Triangulationsverfahren zurückgegriffen werden. Eine große Anzahl sorgfältig ausgewählter Passpunkte mit anschließender Kontrolle durch hochpassgefilterte Überlagerung der Bilder (s.o.) ermöglichte dennoch eine gute Anpassung der insgesamt 18 Bildausschnitte. Eine sehr gute Anpassung der SPOT PAN-Szene für einen Teil der Talkammer von Gor auf die geokodierte CORONA-Szene zeigt einen Restfehler von  $\pm 2,145$ , der auch innerhalb der erwarteten Lagegenauigkeit liegt.

Die zu einem späten Zeitpunkt hinzugekommene, geometrisch auf die UTM WGS84 geokodierte ASTER-Level1B-Szene wurde mit Hilfe des Triangulationsverfahrens (198 Paßpunkte) an die Referenzgeometrie der IRS-1C-Szene entzerrt. Auch hier ergab die visuelle Kontrolle anhand von überlagerten High-Pass-Bildern eine gute Übereinstimmung. Insgesamt ergibt sich somit eine hierarchische Gliederung der geometrisch korrigierten Bilddaten hinsichtlich ihrer Bodenauflösung in die Gesamtszenen der HR-Systeme (high resolution, >5m - 30m Pixelauflösung) von IRS-1C und ASTER sowie der Gesamt- und Teilszenen

der VHR-Systeme (very high resolution, <5m Pixelauflösung) von KFA, KVR-, CORONA- und SPOT. Der Gesamtfehler für alle Datensätze bleibt im Fehlerbereich der IRS Szene und ist durch visuelle Kontrolle in allen Fällen geprüft worden. In Anbetracht der gewählten Postklassifikations-Methode zur Analyse der Veränderung im Untersuchungsgebiet ist eine Anpassung der räumlichen Auflösung nicht zwingend notwendig. Die Abbildung 4.6.1 [A] zeigt zusammenfassend die Abdeckung sowie die räumliche Auflösung für die oben genannten Bilddaten.

## 5. Qualitative Bildanalyse - multitemporale Fotointerpretation

### 5.1 Auswertung vergleichender Bildpanoramen und Fotografien im Untersuchungsgebiet - Methodische Vorgehensweise

Ausgangspunkt der multitemporalen Analyse ist das für das CAK-Projekt aus dem historischen und aktuellen Bildmaterial zusammengestellte Fotoarchiv (vgl. Kap. 3.1.2 und 4.4). Die Fotografien der retrospektiven Standorte bieten als objektiver Informationsspeicher umfassende visuelle Merkmalsdaten der Landschaft über einen langen Zeitraum mit hohem Dokumentationswert für sichtbare laufende oder vergangene Prozesse. BOSSHART definiert Foto-Monitoring generell als eine systematische Sammlung von Fotografien zur Analyse von Veränderungen und letztendlich zur Identifizierung von implizierten Prozessen und beeinflussenden Faktoren im Zuge der Planung, Realisierung und Evaluierung von Projekten (1997: 7). Er differenziert ein *Baseline*- und ein *Single-point*-Verfahren, wobei im erstgenannten das Erstellen von Stereobildpaaren im Gelände eine spätere dreidimensionale Auswertung unter einem Stereoskop (qualitativ) oder in besonderen Fällen auch eine photogrammetrische Auswertung (vgl. Kap. 6.2) zulässt. Im vorliegenden Fall geben die historischen Standorte die Analyse-Gebiete der Landschaft im Nanga Parbat-Region vor und stellen somit die Basis eines Monitoring-Ansatzes dar. Das bedeutet auch, dass das große Untersuchungsgebiet anhand der vorhandenen Fotoreplikat nicht lückenlos erfassbar ist. In einer systematischen Zusammenschau von Einzelstandorten kann jedoch eine wichtige Dokumentation der Veränderungen der Waldbestände und Bewässerungsflächen geleistet werden. Methodische Ansätze und vergleichende Beispiele der Region sind von NÜSSER & CLEMENS (1996), NÜSSER (1998, 2000, 2001), SPOHNER (1993) erarbeitet worden. In Erweiterung und Vertiefung der genannten Studien und der übergreifenden Arbeit zur Waldproblematik von SCHICKHOFF (2002) wird in der vorliegenden Analyse ein Monitoring-Ansatz mit folgenden Zielformulierungen durchgeführt:

- WAS hat sich verändert (Qualität)?
- WO fand bzw. findet Veränderung statt (räumliche Analyse)?
- WIEVIEL Fläche bzw. Objekte hat/haben sich verändert (quantitative Abschätzung)?
- WANN fand Veränderung statt (zeitliche Dynamik)?
- WARUM findet Veränderung statt (*driving forces*)?

Dieser Ansatz beinhaltet vier unterschiedliche Vorgehensweisen zur Erstellung und Auswertung von bi- bzw. multitemporalen Bildvergleichen für einen Zeitraum von ca. 60 Jahren:

- 1) Gegenüberstellung von Fotos vergleichender Standorte mit textlicher Interpretation. Eine der Grundvoraussetzungen für die direkte Vergleichbarkeit sind standortgenaue Vergleichsbilder.
- 2) Gegenüberstellung von Bildinterpretationen vergleichender Standorte mit textlicher Interpretation. Auch hier sind standortgenaue Vergleichsbilder Basis der Analyse, jedoch können in Einzelfällen leichte Abweichungen möglich sein.
- 3) *Change Detection*-Bilder als Synthese einer vergleichenden Interpretation von Fotostandorten auf der Basis von aufeinander entzerrten Fotografien. Als Grundlage müssen standortgenaue Vergleichsbilder mit relativ geringen Unterschieden in der Linsenverzerrung vorliegen.
- 4) Zusammenstellung von Einzelbildern unterschiedlicher Standorte aus historischen und aktuellen Bildarchiven zur ergänzenden Dokumentation von Veränderungen in der Landschaft (Einzelaspekte). Zur Interpretation von Veränderungen fotografischer Bilder im allgemeinen und von abweichenden Standortbildern im besonderen sind fundierte Geländekenntnisse notwendig.

Eine systematische Analyse der 25 retrospektiven Standorte erfolgt vom mittleren Rupal-Tal bis zur Mündung des Astor-Tales (vgl. Abb. 5.1.1 [A]). Ergänzende und vergleichende Betrachtungen können für das Raikot-Tal und die Talkammer von Gor aus der Literatur (WALTER 1999, NÜSSER 1998, 2000b) und einigen im Rahmen der vorliegenden Arbeit zusätzlich erfolgten Bildinterpretationen abgeleitet werden. Die Analyse basiert auf dem Datenmaterial des Projekt-Fotoarchivs, welches sowohl in Einzelaspekten Eingang in verschiedene Veröffentlichungen gefunden hat als auch in Einzelstudien anhand von Fotointerpretationen von Einzelbildern oder digital erzeugten Panoramen analog ausgewertet wurde. In dieser Zusammenschau geht die vorliegende Arbeit über die bestehenden Ansätze (NÜSSER & CLEMENS 1996, NÜSSER 2000a, 2000b, 2001) hinaus und dokumentiert detailliert und differenziert die Entwicklung in den einzelnen Tälern der Nanga Parbat-Region anhand eines gemeinsamen Interpretationsschlüssels mit Hilfe einer homogenisierten Gesamtlegende (vgl. Abb. 5.1.2 [A]).

Es ist notwendig und wichtig, die Bildinterpretationen von einem Interpreten mit guten Geländekenntnissen durchzuführen. Die Umsetzung der objektiven Fotoinformation erfolgt anhand eines hierarchischen Interpretationsschlüssels (vgl. Abb. 5.1.3), basierend auf den Formationsklassen der vorliegenden Vegetationskarte von TROLL (1939) und den Kartenobjekten der topographischen Karte. Während der ersten Projektphase geschah dies auf analoger Basis (Zeichnung auf Transparentfolie), im weiteren Verlauf anhand von digitalen *Overlays* in Freehand. Hinsichtlich eines zukünftigen Monitorings des Untersuchungsgebietes können mit Hilfe differenzierender Unterklassen individuelle Auswertungswiederholungen der historischen und aktuellen Bilder erfolgen (vgl. Tab. 4.1.1.3).

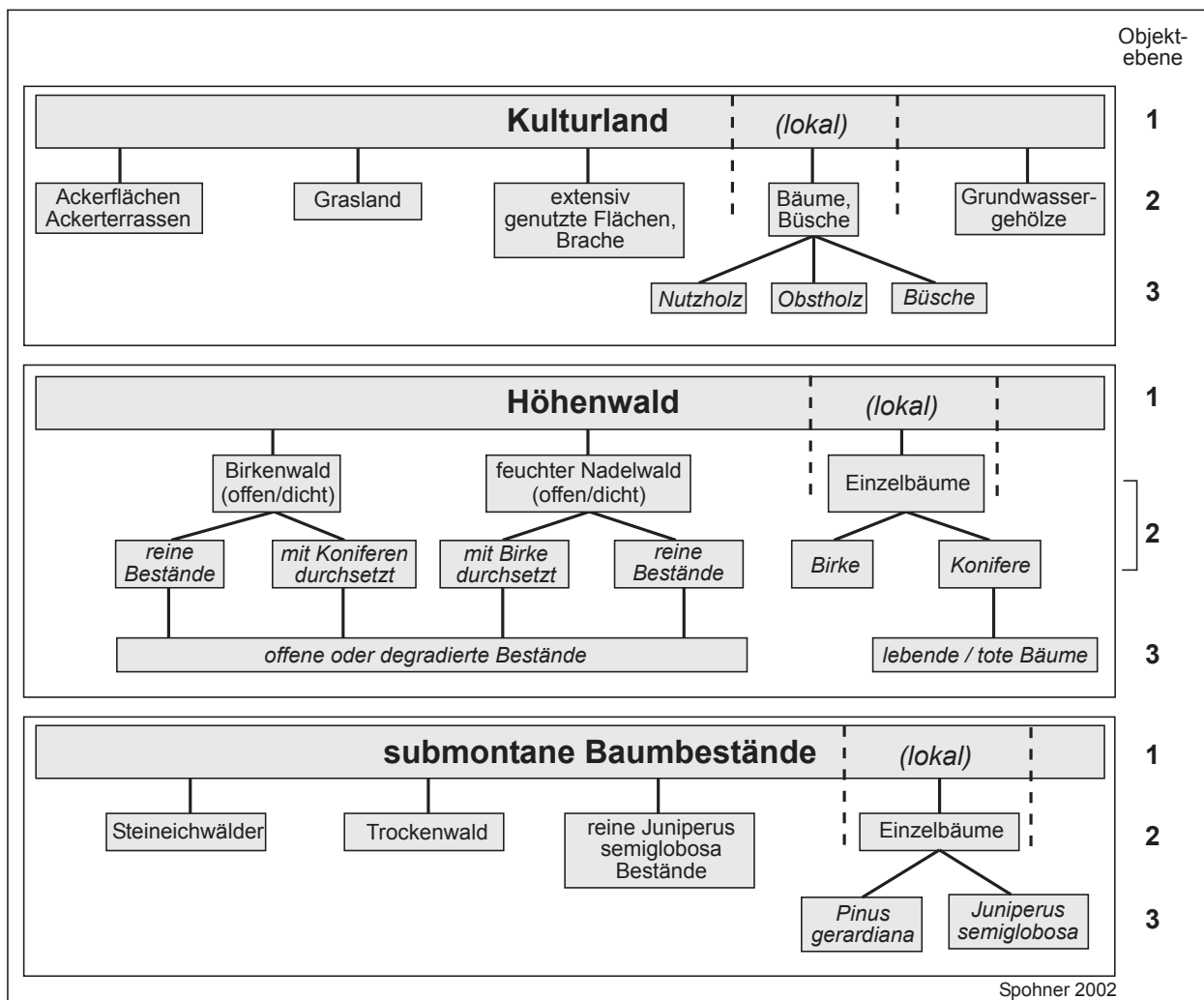


Abb. 5.1.3: Hierarchischer Interpretationsschlüssel, Objektebenen-Hierarchie

Die allgemeine Aggregationsebene bilden die Vegetations- und die topographische Karte. Trotz der nicht flächendeckend vorhandenen Bildstandorte handelt es sich jedoch um einen ersten, relativ einfach umzusetzenden Monitoring-Ansatz, der in dieser Form noch nicht für das Untersuchungsgebiet angewendet wurde. Dieser Ansatz stellt sowohl eine unumgängliche Voraussetzung für die quantitative inventarisierende Untersuchung auf lokaler Maßstabsebene dar (vgl. Kap. 6.2), als auch eine Ergänzung der Feldbegehung als wichtiges Tool für den *ground truth* der regionalen Analyse (Kap. 6.4). In dem Verknüpfungsschema von Fotointerpretation, Photogrammetrie und Fernerkundung der Abbildung 5.1.4 wird die Bedeutung der qualitativen Basisanalyse mit ihren graphischen Ergebnisdarstellungen deutlich. Die systematische qualitative Bildanalyse unterstützt die GIS-basierte Analyse der räumlichen Muster von Veränderungen und führt im Zusammenhang mit indizierten nutzungsrelevanten Einflußfaktoren schnell zu ersten Syntheseansätzen (vgl. Kap. 7.2.2). In Gebieten, in denen keine historischen Fotografien vorhanden sind, dienen die aktuellen Standort-Fotografien der Feldstudien als Grundlage für ein zukünftiges Monitoring. Dieser Aspekt steht in der Tradition von IVES (1997), welcher zur Förderung einer Forschung von Landschaftsdynamik im Hochgebirgsraum eine systematische Archivierung von terrestrischen Fotografien sowie deren multitemporale Interpretation integriert in ein Gesamtkonzept mit Satellitenbilddauswertungen und digitalen Karteninformationen fordert.

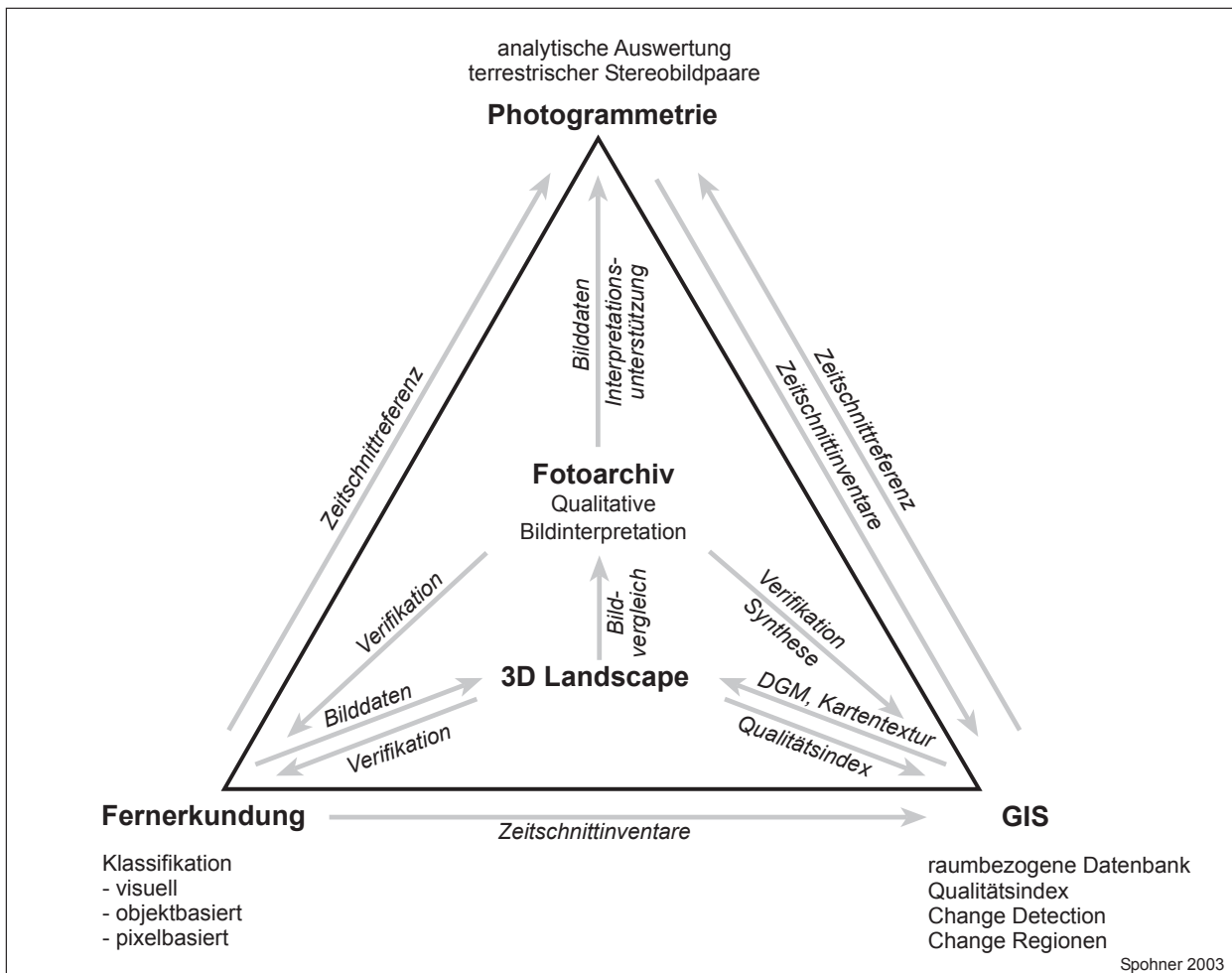


Abb. 5.1.4: Verknüpfungsschema Fotointerpretation, Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS



## 5.2 Einflussfaktoren einer visuellen Bildinterpretation von Landschaftselementen und -strukturen aus multitemporalen Fotografien

Das „Auffinden, Identifizieren und Darstellen [...] charakteristischer Eigenschaften und Zustände der Erdoberfläche aus fotografischen Steil- oder Schrägbildern“, die sich aus den „Grauwertabstufungen im Schwarzweißbild bzw. der Farbunterschiede im Farb- oder Falschfarbbild“ ableiten lassen (RÜGER 1987: 333), sind die grundlegenden Aufgaben der Bildinterpretation. Die Definition von RÜGER impliziert verschiedene Faktorenkomplexe, die auf den untersuchungsspezifischen Prozessablauf der vergleichenden Fotointerpretation einwirken können. Dies umfasst sowohl die Einflüsse auf die Objekteigenschaften der Landschaft, verursacht durch unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse zum Aufnahmezeitpunkt oder durch saisonale Unterschiede in der Phänologie der Vegetation, als auch die Aufnahmebedingungen beim fotografischen Prozess. Letztendlich ist auch die Qualifikation und Felderfahrung des Interpreten ausschlaggebend für die Güte der Interpretation (vgl. SPOHNER 1993: 36f, 43).

Die formale Erfassung von *land use/land cover* beschränkt sich bei der vorliegenden Fotointerpretation auf die strukturgebenden Objekte in der Landschaft. Aufgrund fehlender Grauwertunterschiede sowie Struktur- bzw. Texturmerkmalen in den historischen Bildern muss auf eine Ausweisung der Steppenstufe und der alpinen Matten-Stufe verzichtet werden. Ebenso konnte der zu Beginn des Projekts formulierten Zielvorstellung einer detaillierten Unterscheidung von Deckungsgraden der hochstämmigen montanen Waldbestände aus den terrestrischen Fotografien aus Gründen der unterschiedlich schrägen Aufsicht auf das Gelände nicht entsprochen werden. Somit reduziert sich die Interpretation der Waldbestände auf geschlossene Areale und Einzelbäume, wobei als Abgrenzungskriterium für Waldformationen ein Kronenschluss von mindestens 10% vorhanden sein sollte (MIEHE & MIEHE 2000). In der Mehrzahl der Fälle können - aufgrund der relativ großen Aufnahmeentfernungen und der Verdeckungsproblematik - in dichteren Beständen keine Baumarten im montanen Nadelwald differenziert werden. Eine Unterscheidung von Birke und Konifere ist in den meisten Fällen gegeben, solange es die Beleuchtungs- und Kontrastverhältnisse zulassen und keine Schneebedeckung vorhanden ist. Ideal für die Erfassung der Birkenwälder eignet sich das Fotomaterial mit Aufnahmezeitpunkten im Spätsommer (September), da eine herbstliche Verfärbung die Abgrenzung erleichtert (vgl. Abb 5.2.1). Wie schon in Kap. 4.2 erläutert, wird eine genauere Erfassung der Trockenwaldbestände aus dem historischen und aktuellen Fotomaterial angestrebt. Auch hier wird zur Abgrenzung dichterer Bestände ein Minimum von 10% Kronenschluss abgeschätzt. Wenn die Aufnahmeentfernung und das Vorhandensein von Stereobildpaaren eine detaillierte dreidimensionale Analyse unter einem Spiegelstereoskop zulassen, können sogar Baumarten (*Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa*) unterschieden und in Kombination mit der quantitativen Analyse Bäume pro Flächeneinheit bestimmt werden (vgl. quantitative Auswertung von Bulan, Abb. 6.2.1.7 [A], vgl. Kap. 7.3.2).



Abb. 5.2.1: Deutliche Differenzierung der Birkenwälder von den Koniferenbeständen im Herbst (Panorama Jalipurkamm, Raikot-Tal - 23.09.1995, Foto: R. Spohner)

### 5.3 Lokale qualitative Analyse der Nanga Parbat-Region

Das Analyseprofil der multitemporalen Bildvergleiche vom mittleren Rupal-Tal bis zur Mündung des Astorflusses beinhaltet sowohl Anbaugelände mit Einfachernte als auch Übergangsgelände mit möglicher Doppelernte. Variierende Waldressourcen- und Landnutzungspotenziale sowie deren Nutzungsintensität werden verdeutlicht (historische, bis zur vorliegenden Analyse bestehende Ausgangssituation vgl. Abb. 5.3.1, aktuelles Ressourcenpotenzial vgl. Kap. 7.2). Vergleichende Betrachtungen der Täler der Nordabdachung des Nanga Parbat-Gebietes (Raikot- und Buldar-Tal) ergänzen die Analyse und erweitern das Spektrum bei der Differenzierung von Veränderungen. Einer durch hohes Bevölkerungswachstum gekennzeichneten demographischen und durch stark veränderte sozio-ökonomische Rahmenbedingungen erfolgenden Entwicklung dieser Region müssen die Menschen mit angepassten Landnutzungsstrategien begegnen. Diese Nutzungsstrategien manifestieren sich in Abhängigkeit der naturräumlichen Ausstattung und den sozio-kulturellen, sozio-ökonomischen sowie politischen Einflussfaktoren (vgl. Kap. 2.4) in der Landschaft und können aus den objektiven Bilddokumenten indirekt abgeleitet werden. Dies erfolgt durch die multitemporale Erfassung der *land use/land cover* und der dadurch sichtbar werdenden raumzeitlichen Prozesse. Insbesondere die Dokumentation der in der postkolonialen Phase zunehmend beschleunigten und in der Literatur postulierten Degradierung der submontanen Trockenwälder und der montanen Nadelwälder (NÜSSER 1998, SCHICKHOFF 2002) steht dabei im Hinblick auf die nur langfristig zurück zu gewinnenden und in den überwiegenden Fällen sogar für die Zukunft verlorenen Waldressourcen sowie auch mit Blick auf die besondere Stellung von Wäldern als Erosionsschutz in den steilen Hanglagen und als Wasserspeicher im Vordergrund. Die folgenden Auswertungen der Bildvergleiche dokumentieren lokalspezifische Differenzierungen der rezenten Veränderungen der vergangenen 60 Jahre fokussiert auf die beiden Aspekte

- Entwicklung der Bewässerungsgelände (Ausdehnung, Intensivierung, Veränderung der inneren Struktur) sowie
- zunehmende Degradierung der *Juniperus semiglobosa*-Offenwälder bzw. submontanen Trockenwälder (*Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa*) und der montanen Höhenwälder (v.a. Veränderung der unteren Waldgrenze).

Die Tabelle 2.3.1. zeigt für ausgewählte Dörfer des Untersuchungsgebietes das Bevölkerungswachstum von 1900 bis 1990. Für 1990 ist in Tabelle 5.3.1 die Bevölkerungsdichte in Bezug auf das kultivierbare Land 1988/89 (visuelle Interpretation aus den KFA/KVR-Daten) dargestellt. Eine hohe Bevölkerungswachstumsrate und die limitierten potenziellen Flächen für eine Bewässerungslandwirtschaft bewirken einen enormen Nutzungsdruck auf das kultivierte Land und das Bestreben, dieses zu erweitern, soweit es das Wasserangebot und die Flächenressourcen zulassen. In den jüngsten Veränderungen dieser Areale zeigt sich nicht nur eine im unterschiedlichen Ausmaß erfolgte Erweiterung der bewässerten Fläche, sondern zudem eine Intensivierung des Anbaus sowie ein deutlicher Wandel der Siedlungsstruktur durch Erweiterung bzw. Streuung und ein Ausbau des Wegenetzes. Eine Intensivierung des Anbaus bedeutet in dieser Analyse die Umwandlung extensiv genutzter Flächen (Brachland innerhalb der Kulturlandflächen) in Ackerflächen oder bewässertes Grasland und ein verstärktes Anlegen von neuen Ackerterrassen. Nicht sichtbar im Bild ist eine Intensivierung, die eine Verkürzung der Rotationszeiten oder eine Nutzung neuer Varietäten beinhaltet (vgl. AKRSP 1995). Im einzelnen sind die oben genannten Aspekte auf den folgenden bi- bzw. auch multitemporalen Bilddokumenten erkennbar, in denen die Landschaftsdynamik systematisch dokumentiert ist.

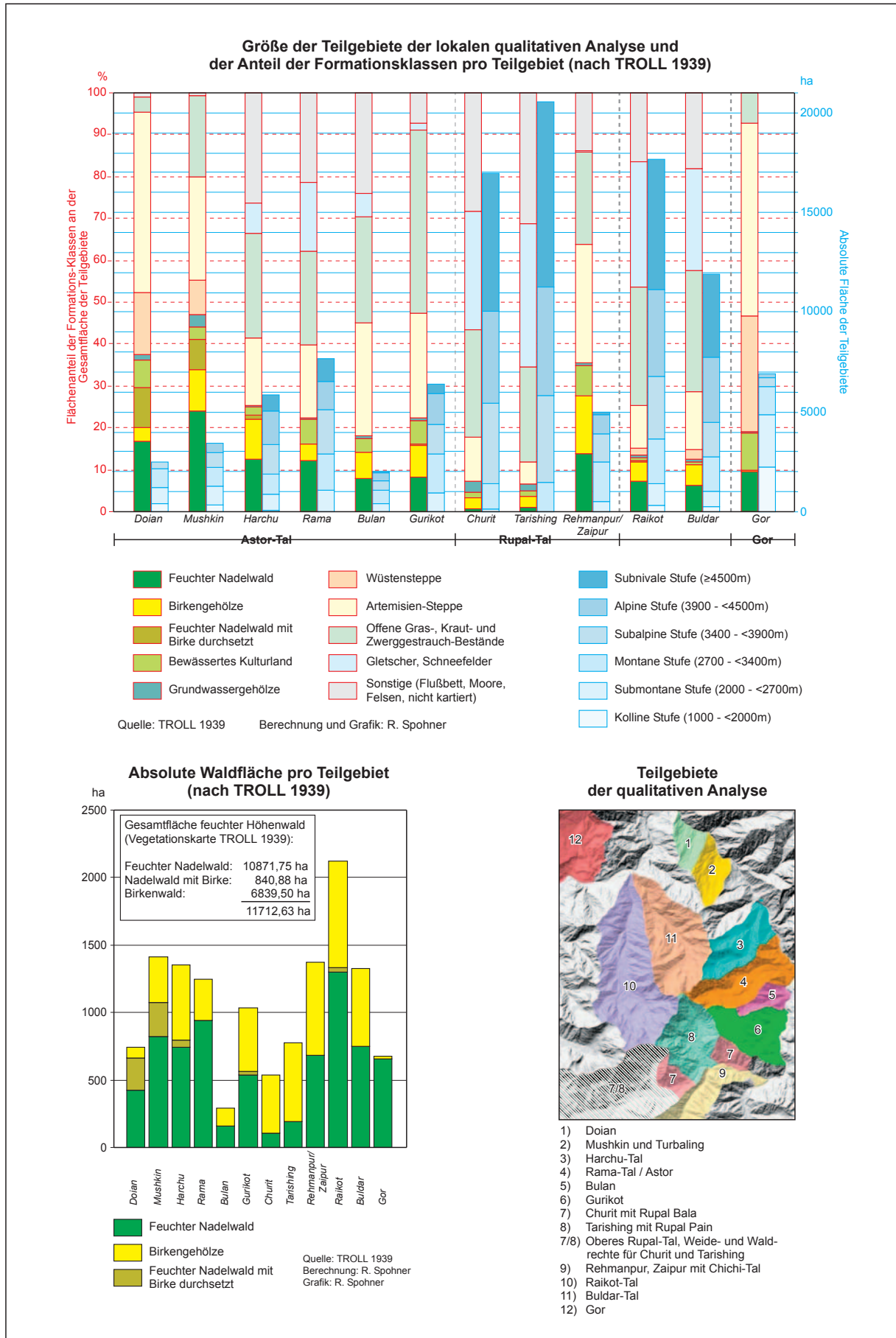


Abb. 5.3.1: Ressourcenpotenzial der Teilgebiete der qualitativen Analyse abgeleitet aus der historischen Datenbasis (Vegetationskarte von TROLL 1939)

	Einwohner 1990	Fläche Kulturland 1988/89	Bev./ha 1990
Doian	1754	180,1	9,74
Turbaling, Mushkin, Khodkisht, Dashkin	3287	445,5	7,38
Harchu	1540	168,2	9,15
Astor, Eidgah	5451	548,5	9,94
Bulan	666	102,0	6,53
Gurikot	3939	374,3	10,52
Rehmanpur, Zaipur	2971	386,9	7,68
Churit	2038	290,4	7,02
Tarishing	1890	303,2	6,23
Raikot	677	107,8	6,28
Buldar	602	101,2	5,95

Tab. 5.3.1: Bevölkerung 1990 für ausgewählte Dörfer in der Nanga Parbat-Region, Bevölkerungsdichte in Bezug auf das kultivierte Land 1988/89 (Quelle: NÜSSER 1998, KVR/KFA-Bildmaterial)

### 5.3.1 Rupal, Tarishing und Churit

Das Vergleichspaar der Siedlung *Rupal Pain* (3100m, vgl. Abb. 5.3.1.1 [A], 5.3.1.2 [A]) zeigt eine recht junge dynamische Entwicklung, die auch schon von NÜSSER (1996: 173/174, 2001) dokumentiert wurde. Eine Ausdehnung des 1934 bestehenden Siedlungskernes konzentriert sich einerseits entlang der Wegachsen (vgl. Bildvordergrund). Andererseits finden sich neue Häuser in Streulage in der gesamten Flur. Eine Erweiterung der Bewässerungsfläche wird v.a. im Vordergrund deutlich. Zusätzlich lässt sich eine Intensivierung des Ackerbaus anhand der Umwandlung von vorher extensiv genutzten Feldern in bewässertes Ackerland oder Grasland feststellen (Bildmittelgrund). Hierbei handelt es sich möglicherweise um Futterbauwirtschaft von Luzerne, die insgesamt jedoch eine untergeordnete Rolle spielt (CLEMENS & NÜSSER 1994: 376). Wahrscheinlich nutzten Bewohner aus *Tarishing* die Grundmoränenterrasse erst nach 1856 als Sommeranbausiedlung (KICK 1994: 12, NÜSSER 1998: 92f, 121f). Im Zuge des wachsenden Nutzungsdruckes durch das starke Bevölkerungswachstum (s.o, vgl. Kap. 2.3) und der damit verbundenen Notwendigkeit der Ernährungssicherung einer höheren Bevölkerungszahl wird sie seit den 1970er Jahren als Dauersiedlung bewohnt (KICK 1994: 36-37, vgl. Abb. 5.3.1.5 [A]). Aktuelle Fotos von abweichenden Standorten lassen anhand neuer, höher gelegener Bewässerungskanäle eine zukünftige Erweiterung der Bewässerungsfläche vermuten (vgl. Abb. 5.3.1.4 [A]). Darüber hinaus sind Ackerflächen auf den Niederterrassen des Rupal-Flussbettes zu erkennen, die in der Vegetationskarte von TROLL noch nicht vorhanden waren (vgl. Abb. 5.3.1.3 [A]).

CLEMENS & NÜSSER (1994: 374; 1996: 163) weisen auf die begrenzten Ernteerträge dieses Einfacherntegebietes mit hohem Ertragsrisiko hin. Im Zusammenhang mit dem starken Bevölkerungswachstum verdeutlicht dies den hohen Nutzungsdruck auf die zu bewirtschaftende Fläche. Dies hat zur Folge, dass schon seit Anfang des Jahrhunderts eine Außenversorgung durch subventioniertes Brotgetreide erfolgt, deren Umfang mehr als 50% der zur Ernährungssicherung erforderlichen Menge umfasst. Mit der erhöhten Bautätigkeit für die Siedlungserweiterung sowie dem Bedeutungswandel einer vormals saisonal zu einer aktuell permanent bewohnten Siedlung mit steigendem Brennholzbedarf geht die Abholzung der *Pinus wallichiana*-Bestände innerhalb der Bewässerungsflur von *Rupal Pain* einher, die weitgehend durch Wacholder-Gebüsche (*Juniperus semiglobosa*) ersetzt werden (NÜSSER & CLEMENS 1996: 174). Auch siedlungsnah Hangbereiche des nordwestexponierten Rupalkammes weisen Auffichtungen oder Abholzungen der feuchten Nadelwaldstandorte auf (vgl. Abb. 5.3.1.2 [A]). Der enorme Nutzungsdruck auf die geringen Waldressourcen von *Rupal Pain* (*Tarishing*) wird aus der kombinierten Betrachtung von Abbil-



dung 5.3.1 und 5.3.1.2 ersichtlich. Aufgrund der Schneebedeckung in den historischen Vergleichsaufnahmen lässt sich keine eindeutige Aussage über eine Veränderung der geschlossenen Fichten-Kiefernbestände unterhalb des Rupalkammes treffen, jedoch belegen Geländebegehungen von M. Nüsser auch hier einen starken Holzeinschlag (NÜSSER & CLEMENS 1996: 174). Eine eindeutige Präferenz von Wacholder und Kiefer für Brennholz (CLEMENS 2001: 110) begründet die starke Degradation des noch 1934 mit offenen Beständen aus *Juniperus semiglobosa* bewachsenen südostexponierten Hanges oberhalb von **Rupal Pain** (vgl. Abb. 5.3.1.2 [A]). Allerdings erweist sich hier die Vegetationskarte als problematischer historischer Informationsspeicher für die lokale Analyse von Veränderungen, da bei fehlenden historischen Vergleichsfotografien bei einer Gegenüberstellung der Karteninformation mit der aktuellen Waldbedeckung sowohl eine tatsächliche Abholzung als auch eine durch Fehlkartierungen suggerierte Abholzung bestehen kann (Abb. 5.3.1.6 [A], Abb. 5.3.1.7 [A], vgl. Kap. 6.3).

Die für **Rupal Pain** festgestellten Erweiterungen der Bewässerungsflächen, die Intensivierung der Flächennutzung und die Siedlungsverdichtung bzw. -erweiterung lassen sich in unterschiedlichem Maße sowohl für die Siedlungen in den Einfacherntegebieten mit geringem Ernterisiko (**Tarishing** bis **Bulan**) als auch für die Übergangsbereiche mit möglicher Doppelernte dokumentieren (**Eidgah** bis **Doian**). Zusätzlich nimmt generell der Obst- und Nutzholzbestand mit abnehmender Höhe innerhalb der Bewässerungsflächen zu, was in den folgenden Ausführungen herausgearbeitet wird (s.u.).

Für die Vergleichsstandorte **Tarishing** und **Churit** sind die oben genannten Veränderungsmerkmale der Bewässerungsflächen vor allem charakteristisch in den Sommeranbausiedlungen. Die Flächenerweiterung zeigt sich für **Bayal** in erster Linie in der Höhenstaffel zwischen Sommeranbau- und permanent bewohnter Siedlung (vgl. 5.3.1.9 [A]). Eine kleine Kulturlandfläche oberhalb des aktuell höchsten Bewässerungskanals, welche C. Troll 1939 schon ausgewiesen hat, wurde dagegen aufgegeben. Besonders deutlich wird die Intensivierung der Flächennutzung anhand der Zunahme der Ackerterrassen. Dies gilt sowohl für die Sommeranbausiedlung **Bayal** als auch für **Tarishing**, wo die steinigen Grundmoränenflächen terrassierten Feldern gewichen sind (vgl. Abb. 5.3.1.10 [A]). Die Siedlungstätigkeit zeichnet sich für die Streusiedlung **Tarishing** und die Sommersiedlung **Bayal** in einer Verdichtung bestehender Siedlungskerne sowie einer zunehmenden Besiedlung der Bewässerungsflur aus. Auffallend ist jedoch auch die offensichtliche Wüstung von Gebäuden in **Tarishing** (vgl. 5.3.1.11 [A]), die noch nicht abschließend geklärt werden konnte. Die Zunahme des 1934 eher spärlichen Laubbaumbestands innerhalb des bewässerten Landes von **Tarishing**, hier v.a. Weiden, (vgl. Abb. 5.3.1.8d [A], 5.3.1.10 [A], 5.3.1.11 [A], vgl. CLEMENS 2001: 205) weist bei gestiegenen Viehbeständen (CLEMENS & NÜSSER 2000: 161) auf Futterressourcensicherung für die Winterbestallung hin. Parallel dazu wird diese Anpassungsstrategie durch einen jungen Weizen- und Maisanbau unterstützt. Der angebaute Weizen liefert wesentlich mehr Stroh als die traditionellen Anbaufrüchte Buchweizen und Gerste (CLEMENS & NÜSSER 1994: 384). Die Höhengrenze des Maisanbaus liegt im Rupal-Tal bei ca. 2750m (NÜSSER 1998: 100).

Zwischen **Churit**, **Nahake** (2981m) und **Gageh** (3047m) schließen sich die Erweiterungsflächen hangaufwärts an die schon 1934 vorhandenen hoch liegenden Ackerterrassen an (vgl. Abb. 5.3.1.12 [A]). Nach NÜSSER & CLEMENS (1996: 163) wird bis in ca. 3300 m noch Gerstenanbau betrieben, höher befinden sich nur noch reine Almsiedlungen. NÜSSER (1998: 103) weist zur Ausdehnung der Anbauflächen von **Gageh** auf das Problem eines nicht ausreichenden Wasserdargebots hin. Kleinere Flächenerweiterungen befinden sich auf den Niederterrassen des Rupal-Flusses unterhalb (schon 1934 angelegt) und im Hangbereich östlich von **Churit** (vgl. Abb. 5.3.1.13 [A]) sowie in den an **Tarishing** angrenzenden Moränenterrassen von **Nahake** (vgl. Abb. 5.3.1.12 [A]). Die Zunahme der Bevölkerung zeigt sich in einer Verdichtung und Erweiterung der geschlossenen Siedlungen sowie der Errichtung neuer Häuser entlang der Wegachsen und in der Bewässerungsflur. Die südlich von **Churit** auf einem von der natürlichen Wasserzufuhr abge-



schnittenen Moränenplateau liegende Siedlung **Zaipur** zeigt eine differierende Entwicklung, welche sich bereits in den weniger stark gestiegenen Bevölkerungszahlen abzeichnet (vgl. Tab. 2.3.1, Abb. 5.3.1.12 [A]). Probleme der Wasserverfügbarkeit (Bewässerungswasser aus dem Chichi-Tal über Pipeline) und die Abschattung durch den Chugam-Kamm können Gründe für eine im Vergleich zu den umliegenden Dörfern eher mäßige Erweiterung und Intensivierung der Flächen auf der großflächigen Moränenterrasse sein.

Die nicht standortgleichen Fotografien für **Tarishing** lassen eine völlige Abholzung der feuchten Nadelwälder und der *Juniperus semiglobosa*-Bestände auf dem ostexponierten Moränenhang des Chungphar Gletschers erkennen (vgl. Abb. 5.3.1.8b, d, f [A]). Gleichzeitig zeigt das aktuelle Bild eine deutliche Zunahme des Baumbestandes (Wacholder) in den Bereichen der Sommeranbausiedlung **Bayal**, was auf eine gezielte Bewirtschaftung zur Brennholzbedarfsdeckung hinweist (vgl. Abb. 5.3.1.9 [A]). Auch das *Juniperus semiglobosa*-Vorkommen oberhalb **Bayals** scheint unverändert. Nach CLEMENS (2001: 153) bestehen für **Tarishing** heute aufgrund fehlender Waldbestände innerhalb der Nutzungsgrenzen des Dorfes größere Probleme hinsichtlich der Holzversorgung als für **Churit**, wo die Dorfbevölkerung Zugangsrechte zum Zaipur Forest und Chi Chi-Tal besitzt. Diese permanente Knappheit an Holz bewirkt eine wachsende Bereitschaft für reproduktive Maßnahmen zur Bedarfssicherung: „(...) *villages with no use-rights over nearby natural forest or those who are too distant from such forests, have developed good agro-forestry traditions.*“ (AKRSP 1991 zitiert aus CLEMENS 2001: 144). Seit 1993 ist AKRSP im Astor Tal aktiv und unterstützt unter anderem auch *farm forestry*-Projekte, die eine Bepflanzung von Arealen auf den Erweiterungsflächen der Bewässerungsflur vorsehen (CLEMENS 2001: 146). Die Dorfgemeinschaft **Tarishing** wurde im Rahmen eines Aufforstungsprojektes zeitweise finanziell von der GTZ unterstützt. Geplant war die Bewässerung des Osthanges der Chungphar-Seitenmoräne und eine Anpflanzung von Laubbäumen (vgl. Abb. 5.3.1.8f [A]). Aufgrund wiederholter Zerstörung der Zuleitungen konnte das Vorhaben aber bis 1999 nicht realisiert werden (CLEMENS 2001: 153). Die im Bildhintergrund im oberen Bereich der Seitenmoräne sichtbare Umzäunung weist auf ein gescheitertes Projekt zur Anpflanzung von Koniferen hin; auch hier konnten die Probleme einer ausreichenden Wasserversorgung nicht gelöst werden. Ergänzt werden die Maßnahmen im Rahmen der *farm forestry*-Projekte durch die Anpflanzungen von Weiden entlang der Bewässerungskanäle innerhalb der Ackerfluren, was für **Tarishing** deutlich sichtbar nachzuvollziehen ist (vgl. Abb. 5.3.1.8d [A], 5.3.1.9 [A], 5.3.1.11 [A]).

Für die Nachbarsiedlung **Churit** mit ihren Filialsiedlungen **Nahake** und **Gageh** sowie der Sommersiedlungen **Doai** lässt sich noch kein reproduktives Ressourcenmanagement bezüglich der Holzbestände im Landschaftsbild feststellen. Schon 1934 weist der südexponierte Hang oberhalb der Dauersiedlungen einen *Juniperus semiglobosa*-Offenwald mit geringem Kronenschluss unter 20% Deckungsgrad auf (vgl. Abb. 5.3.1.12 [A], 5.3.1.13 [A], vgl. CLEMENS & NÜSSER 1997: 258). In den aktuellen Bildern ist das weitständige Punktmuster aus Wacholderbäumen und -büschen nicht mehr zu erkennen, was auf eine völlige Abholzung der Bestände hindeutet. Dies widerspricht den Ausführungen von CLEMENS (2001: 117/119, Karte 8), der auf die Bedeutung des südexponierten Hanges als wichtigem Holzversorgungsareal im Winter hinweist. Dies kann durch die infolge der Degradierung der Wacholderbestände auftretenden kleinwüchsigen Gehölzpflanzen (Krüppelholz), die in den Geländefotos aufgrund der relativ großen Standortentfernung nicht mehr erkennbar sind, erklärt werden. Zusätzliche Nutzholzreserven bestehen in den Arealen der Grundwassergehölze an den Grundmoränenhängen und im Flussbett des Rupal-Flusses. Innerhalb der Bewässerungsflur lassen sich jedoch kaum Nutzholzanpflanzung erkennen. Da die Dorfgemeinschaft **Churit** so gut wie keine Naturwaldbestände in den Gebieten mit gewohnheitsmäßigen Nutzungsrechten besitzt (vgl. Abb. 5.1.3), erhält sie zusätzliche Nutzungsrechte für die Wälder oberhalb von **Zaipur** und im **Chi Chi-Tal** (vgl. CLEMENS 2001, Karte 8: 115). Dass hier der Nutzungsdruck auf die Wälder, die gewohnheitsmäßig von **Zaipur** und **Rehmanpur** genutzt werden, sehr stark ist und zu weitreichenden Degradati-

onen geführt hat, belegen die Vergleichsbilder im Anhangsband (vgl. Abb. 5.3.1.11, 5.3.1.14) sowie die Bestandanalysen von SCHICKHOFF (2002) für die Testflächen Zaipur I und II im Chichi-Tal.

### 5.3.2 Gurikot - Astor

Das Landschaftsbild der Bewässerungsgebiete wandelt sich mit abnehmender Höhenlage zu einer grünen Oase mit zunehmendem Baumbestand aus diversen Obst- und Nutzhölzern. Der Obstholzbestand wird vorwiegend von Apfel-, Aprikosen-, Maulbeer- und Walnussbäumen gebildet und durch die Nutzgehölze Pappel, Weide sowie in geringem Umfang Russische Olive ergänzt (vgl. Tab. 2.3.2, Tab. 5.3.2.1). Im Vergleich zu den benachbarten Regionen Chitral, Baltistan und der Region Gilgit hat der Obstbau im Nanga Parbat-Gebiet jedoch nur einen untergeordneten Stellenwert (AKRSP 2000: 34/35). In den aktuellen Vergleichsbildern lässt sich für die Siedlungen im Astor-Tal eine Zunahme der Baumkulturen feststellen, was sowohl als eine Anpassungsstrategie an die begrenzten Brennholz- und auch Winterfutterressourcen zu sehen ist, als auch auf eine mögliche Vermarktung der Früchte hinweist. Diese ist aufgrund limitierter Vermarktungsstrukturen jedoch noch stark eingeschränkt (PILARDEAUX 1995: 98).

Baumart	% der Bauern, die verschiedenen Baumarten anpflanzen			
	Baltistan	Gilgit	Astor	Chitral
Russische Olive	45	44	5	38
Pappel	86	66	21	53
<i>Ailanthus</i>	3	11	2	32
Weide	83	45	32	59
<i>Chinar</i>	1	1	0	21
Robinie	10	21	3	40
<i>Seabuckthorne</i>	2	23	0	18
Maulbeere	9	10	0	11
Quetta Kiefer	0	1	0	0
<i>Diyyar</i>	0	2	0	2
Wacholder ( <i>Chilly</i> )	1	1	10	1
<i>Bhoj Patta</i>	0	0	1	0
Andere	5	18	6	21

Tab. 5.3.2.1: Regionaler Vergleich der Anpflanzungsaktivitäten diverser Baumarten (Quelle: AKRSP 2000: 36, verändert)

Auch in den Bildvergleichspaaren von **Gurikot** (vgl. Abb. 5.3.2.1 [A], 5.3.2.2 [A]) wird der Trend zur Zunahme der Baumbestände deutlich. Nach PILARDEAUX (1995: 100) ist dies unter anderem auf die externen Einwirkungen durch Einrichtung von Baumschulen für Obstgehölze in **Gurikot** zurückzuführen. Die Entwicklung der Bewässerungsflächen von **Gurikot** lassen sich aus dem Fotomaterial aufgrund der fehlenden Übersichtsstandorte nur z.T. direkt dokumentieren. Schon um 1900 zählte **Gurikot** mit 74 Hauhalten (vgl. Abb. 2.3.2) zu den größten Siedlungen im Astor-Tal. Bis 1990 hat sich die Bevölkerung verachtfacht. Ausgedehnte Bewässerungsflächen auf den fluvialen Terrassensystemen im Gurikot-Becken (vgl. TROLL Tagebuch 1937, II Bl. 4-6) bieten hervorragende Flächenressourcen für die Landwirtschaft. PILARDEAUX (1995: 75) schätzt die Ausweitung der genutzten Areale von 1937 bis 1972 auf ca. 30 %. Erweiterungsflächen befinden sich im Norden von Gurikot, an den Hängen zur höher gelegenen Siedlungsterrasse von **Ahmedabad** (CLEMENS et al. 1998, früher **Partabgah**), südlich von **Gehrak** (vgl. neuer Bewässerungskanal in Abb. 5.3.2.1 [A], 5.3.2.2 [A]) und hang- bzw. seitentalaufwärts oberhalb von **Ahmedabad** und **Hilbiche**. Die Siedlungstätigkeit seit 1934 in den drei Dörfern **Gurikot**, **Ahmedabad** und **Hilbiche** weist charakteristische Unterschiede auf. In **Gurikot** lässt sich eine Verdichtung und Erweiterung bestehender Siedlungskerne sowie eine Entwicklung entlang der Hauptwegachsen feststellen. Die Vermu-

tung, dass **Ahmedabad** zunächst nur als Sommersiedlung genutzt und im Zuge des Bevölkerungsdruckes zu einer Dauersiedlung umgewandelt wurde, liegt in der starken Siedlungserweiterung begründet. Im südlichen Bereich der hochgelegenen Schotterterrasse liegt der alte Siedlungsnukleus, während sich nördlich eine Streusiedlung anschließt. In der Siedlungsentwicklung von **Hilbiche** zeigt sich das typische Bild eines Dorfes mit begrenzten Flächenressourcen. Neue Häuser entstehen außerhalb der Feldflur nur auf ackerbaulich nicht nutzbaren Flächen (vgl. Abb. 5.3.2.1 [A], 5.3.2.3 [A]). Sowohl **Hilbiche** als auch **Gurikot** besitzen direkten Anschluss an die Astor Valley-Road.

Nördlich an das Gurikot-Becken anschließend und noch zum Einfacherntegebiet zählend, befinden sich die Bewässerungsfluren von **Bulan** und **Finah** auf den von TROLL (1937, Tagebuch II, Bl.8) so genannten Gleithang-Schwemmkegel-Terrassen im Astor-Tal (vgl. Abb. 5.3.2.6 [A]). 1934 wurden neben den ausgedehnten Flächen des großen zweigeteilten Schwemmfächers von **Bulan** auch schon die tiefer liegenden Flussterrassen des Astor-Flusses in die ackerbauliche Nutzung einbezogen (vgl. Abb. 5.3.2.8 [A]). Bereits 1934 zeigten sich Bestrebungen, die Bewässerungsfläche mit Feldern oberhalb des nördlichen Schwemmfächers und im „Kleinen Bulan-Tal“ zu erweitern (Name nach TROLL 1937, Tagebuch III, Bl.41, vgl. Abb. 5.3.2.5 [A], 5.3.2.8 [A]). Erstere existieren heute nicht mehr. Aufgrund des schon 1934 ausgenutzten Flächenpotenzials zeigt sich für die letzten 60 Jahre keine wesentliche Ausweitung der Ackerterrassen mehr. Neue Bewässerungsgebiete finden sich auf dem nördlich anschließenden kleinen Schwemmfächer sowie der Sommersiedlung im „Kleinen Bulan-Tal“ (vgl. Abb. 5.3.2.8 [A]). Darüber hinaus deuten in jüngster Zeit angelegte Terrassen unterhalb des neuen Bewässerungskanals auf einen zukünftigen Ausbau der bewässerbaren Flächen hin (Bereich oberhalb der Astor-Straße, vgl. Abb. 5.3.2.5 [A], 5.3.2.8 [A]). Sehr deutlich zeichnet sich im Landschaftsbild der bewässerten Areale die Zunahme und Intensivierung der bewässerten Grasflächen und Baum- bzw. Buschbestände in den steilen Hangbereichen des Schwemmfächers sowie der potenziell überflutbaren jungen Schwemmfächerterrassen am Ausgang des Bulan-Tals ab. Weitere Graslandausweitungen sind in den unteren Hangbereichen der südlich anschließenden Talflanke, im oberen Bereich der Sommersiedlung und im Bulan-Tal erkennbar. Eine schon oben angesprochene Intensivierung des Obstbaus und ein zusätzlicher Anbau von Winterfutter begründen die deutliche Zunahme an Bäumen und Büschen in der bewässerten Flur, die in den jüngsten Bildern eine drei- bis vierfache Anzahl an großen Bäumen aufweisen (Obst- und Nutzholz, eigene Schätzung). Diese Aktivitäten sind in erster Linie auf *farm forestry*-Projekte von AKRSP und dem staatlichen *forest department* zurückzuführen. Eine von den seit 1993 bestehenden staatlichen Baumschulen (*nurseries*) befindet sich nach Angaben von CLEMENS (2001: 100) in **Bulan**. Auch in **Bulan** ist die Siedlungstätigkeit der letzten 60 Jahre gekennzeichnet durch eine Verdichtung und Erweiterung bestehender Siedlungskerne sowie eine Ausweitung in die Flur entlang des Wegenetzes.

Bedeutende Neulanderschließungen können den vergleichenden Bildpaaren für die Talhänge und Schuttfächer zwischen **Finah** und **Los** entnommen werden (vgl. Abb. 5.3.2.10 [A], 5.3.2.17 [A]). Mehrere neue Bewässerungskanäle, gespeist aus den Wasserressourcen des Kinebari, ermöglichen eine geschätzte Verdopplung der bewässerbaren Fläche, auf der vor allem Grasland und Nutzholzanpflanzungen kultiviert werden (vgl. Abb. 5.3.2.10 [A], 5.3.2.12 [A]). Dass aktuell im Talbereich zwischen **Finah** und **Los** vor allem bewässertes Grasland und Baum- bzw. Buschanpflanzungen auf den Erweiterungsflächen vorherrschen (vgl. Abb. 5.3.2.11), ist in den offensichtlich fehlenden Flächenressourcen für Ackerterrassen begründet. Diese könnten in den relativ steilen Hängen nur mit erheblichem Aufwand errichtet werden. Ein Grund für diese Entwicklung könnte die Veränderung der häuslichen Viehzusammenstellung von vormals 3 bis 4 Rindern mit 50-60 Schafen/Ziegen auf 6 bis 8 Rinder mit 15-20 Schafen/Ziegen sein (AKRSP 1995: 99). Somit werden siedlungsnahen Futterressourcen (Sommer: Gras; Winter: Blätter der Bäume) immer wichtiger und eine Überweidung der Almbereiche vermindert. Als Ursache für diese Umstrukturierung wird der Mangel an Arbeitskraft genannt, die auf eine zunehmende Arbeitsmigration und eine wachsende außeragrarisches



Tätigkeit (Servicebereich des Militärs, Angestellte und Arbeiter der öffentlichen Verwaltung, Tagelöhner, privates Transportgeschäft für zivile und militärische Versorgung, Tourismus, CLEMENS et al. 1998: 208) in dieser Region zurückzuführen ist.



Abb. 5.3.2.11: Bewässertes Grasland und Nutzholzanzpflanzungen auf den Erweiterungsflächen oberhalb von *Finah* [Foto: R. Spohner 08.09.1995]

Im Gegensatz zu den Siedlungsräumen *Los* und *Finah* bestehen für die Dörfer *Eidgah*, *Chongra* und *Patipora* schon 1934 ausgedehnte bewässerte Felder, die auf die historische Bedeutung dieses Talraumes hinweisen (vgl. Abb. 5.3.2.9 [A], 5.3.2.13 [A], 5.3.2.25 [A]). Die Kulturlandflächen von *Gurikot*, *Eidgah* und *Chongra* besaßen eine wichtige Futterdepotfunktion zur Versorgung der Trage- und Reittiere (Ponies, Esel und Mulis) auf der Transitroute der *Gilgit Agency* (Bandipur - Gilgit Road, NÜSSER 1998: 328f). Mit Blick auf das starke Bevölkerungswachstum ist die Flächenerweiterung jedoch für die letzten 60 Jahre aufgrund limitierter Flächenressourcen nur von sekundärer Bedeutung. Als primäre Anpassungsstrategie zur Sicherung der aktuellen Grundnahrungsmittelversorgung einer wachsenden Bevölkerung ist für diesen Talraum die Intensivierung der Flächennutzung innerhalb des schon 1934 bestehenden Kulturlandes zu sehen. Eine zunehmende innere Strukturierung des Kulturlandes durch Siedlungserweiterung, Bazaarvergrößerung und Ausbau des Wegenetzes verdeutlicht die zentrale Stellung des Siedlungsraumes (Standort des Thesildar und des Militärs). Nicht in den Bildern sichtbar, aber bei allen Bildinterpretationen zur Veränderung der landwirtschaftlichen Flächen zu beachten, ist die subventionierte Weizenversorgung der Region aus dem Tiefland, die heute zu fast 25-30% (AKRSP 1995: 85) die nicht mehr ausreichende Eigenversorgung der Bevölkerung ergänzt. Die oben genannten generellen Prozesse der Landschaftsveränderung werden im Folgenden detailliert mit Hilfe vergleichender Bildpaare verschiedener Standorte für *Astor* analysiert (zur Orientierung vgl Abb. 5.3.2.13 [A]).

Das Kulturland von *Astor* erstreckt sich auf den gestaffelten Grundmoränenterrassen des eiszeitlichen Sachen-Gletschers vom Rama Forest bis zum tief eingeschnittenen Astor-Fluss. Die rezente Waldgrenze liegt bei ca. 3000 m. Die Staffelung der Terrassen nachzeichnend, gliedert sich die Bewässerungsfläche in drei Anbauzonen (vgl. Abb. 5.3.2.13 [A]). In der Übergangszone ist bis ca. 2400 m eine Doppelernte möglich (NÜSSER & CLEMENS 1996: 162). In dieser Zone liegen die Siedlungen *Patipora*, *Chongra* und *Eidgah*. Oberhalb erstreckt sich bis ca. 2750m das Einfacherntegebiet mit geringem Ertragsrisiko der Siedlungen *Tuke Dar*, *Kassalla*, *Majini Dar* und *Bari Dar*. Durch eine Steilstufe vom Einfacherntegebiet mit Dauersiedlungen getrennt, folgt talaufwärts bis zum Rama Forest die Sommeranbausiedlung *Bakhat*. Schon

1934 wurden die Terrassenflächen intensiv ackerbaulich genutzt und durch extensiv bewässerte Flächen an den Terrassenhängen ergänzt (vgl. Abb. 5.3.2.13 [A]). Der Obst- und Nutzholzbestand innerhalb der Flur ist 1934 gering (vgl. Abb. 5.3.2.15 [A], 5.3.2.18 [A]), jedoch zeichnen sich *Astor Village* und die alte Astor-Straße in *Eidgah* 1934 durch dichten Pappelbestand aus (vgl. Abb. 5.3.2.14 [A], 5.3.2.19 [A], 5.3.2.20 [A]). Vornehmlich geschlossene Dorfstrukturen sind charakteristisch für die historische Besiedlung dieses Gebietes, welches mit fast 1000 Einwohner um 1900 den am stärksten besiedelten Raum im Astor-Tal repräsentierte (vgl. Abb. 5.3.2.15 [A], 5.3.2.21 [A]). Die Bedeutung von *Astor* als Verwaltungs- und Militärstandort wird deutlich im Siedlungsbild der 1934er Aufnahmen. Eine Verfünffachung der Bevölkerung bis 1990 mit weiterhin stark steigender Tendenz und begrenzte Landressourcen für die ackerbauliche Nutzung prägen das Landschaftsbild nachhaltig (NÜSSER 1998). Dies lässt sich für den Siedlungsraum Astor in den Vergleichsbildern gut dokumentieren (vgl. Abb. 5.3.2.14 [A] - 5.3.2.27 [A]).

Die unterschiedlichen Lichtverhältnisse führen in Einzelfällen zu Problemen bei der direkten Vergleichbarkeit der Kulturlandschaft. Insgesamt lässt sich jedoch in den aktuellen Bildern eine akzentuiertere Terrassenlandschaft feststellen. Diese ist begründet durch eine intensivere Nutzung der bewässerten Flächen sowie eine Erweiterung der Terrassen vor allem auf die steilen Grundmoränenhänge. Sichtbare Indikatoren für die Intensivierung der Landwirtschaft sind die Umwandlung vormals extensiv genutzter Flächen in ackerbaulich bewirtschaftete Felder auf den Moränenterrassen und an ihren Hängen (*Astor* vgl. Abb. 5.3.2.16 [A], 5.3.2.17 [A], *Eidgah* vgl. Abb. 5.3.2.21 [A], 5.3.2.22). Ein höherer Baumbestand sowie ein deutlicher Siedlungsausbau mit Streuung der Häuser in die Flur, verbunden mit dem Ausbau des Wegenetzes, führt zu einer verstärkten Gliederung des Kulturlandes (vgl. Abb. 5.3.2.15 [A], 5.3.2.18 [A], 5.3.2.21 [A]). Die Anpflanzung von Obstbäumen hält sich allerdings in Grenzen, was auf die untergeordnete Rolle des Obstbaus in dieser Region hinweist (s.o. Tab. 2.3.2, dazu auch Veränderung des Baumbestandes in Abb. 5.3.2.15 [A], 5.3.2.18 [A], 5.3.2.21 [A]). Als Nutzholz werden vornehmlich Pappeln und Weiden angepflanzt, die als *multipurpose trees* sowohl für Bau-, Futter- als auch für Brennholz verwendet werden (CLEMENS 2001: 143; AKRSP 2000: 36, vgl. Tab. 5.3.2.1). Auch wenn der alte Pappelbestand in *Astor Village* stark dezimiert wurde, finden sich neue Kompensationsflächen mit Anpflanzungen dieses Nutzholzes (vgl. Abb. 5.3.2.15 [A]). Interessant ist der Vergleich des Baumbestandes in *Eidgah*, hier wird zwar eine Zunahme sichtbar, jedoch zeigt sich bei genauerer Betrachtung eine Auflichtung der Baumkronen alter großer Bäume sowie 1993 eine Mehrzahl kleinerer Bäume und Büsche. Eine Ursache für diese Veränderung ist im verstärkten Schneiteln der Bäume zu sehen. Die Abbildung 5.3.2.22 zeigt deutlich den veränderten Habitus der Pappeln nach wiederholtem Schneiteln.



Abb. 5.3.2.22: Geschneitete Pappeln entlang der alten Astor-Road in Eidgah [Foto: R. Spohner 07.09.1995]



Großflächige Erschließungen von Öd- oder Brachland, wie auf den Hängen zwischen **Finah** und **Los** sind im Bereich **Astor** nicht zu finden. In Astor erfolgte die Flächenerweiterung durch Ausbau bzw. Ausweitung des schon 1934 bestehenden Bewässerungssystems und durch die Ausdehnung der Sommeranbauflächen in **Bakhat**, was eine Zurückverlegung der unteren Waldgrenze des Rama Forest von 100-150 m bewirkte (vgl. Abb. 5.3.2.23 [A], 5.3.2.24 [A]). Der Bau neuer größerer Bewässerungskanäle ist aus dem Bildmaterial für **Eidgah** oberhalb der alten Flur und im Bereich Astor-Bazaar feststellbar (vgl. Abb. 5.3.2.19 [A], 5.3.2.21 [A]). Der Bewässerungskanal unterhalb des Bazaar von Astor dient der Wasserzufuhr für das NAWPD Kraftwerk Astor I, welches 1976 als erstes Kraftwerk die Elektrifizierung des Astor-Distriktes einleitete (CLEMENS 2001: 47, vgl. Abb. 5.3.2.19f [A]). Als Ausdruck einer zunehmenden Bedeutung außerlandwirtschaftlicher Einkommen in Verbindung mit den stark steigenden Bevölkerungszahlen zeigt sich eine Verdichtung und Erweiterung der alten Siedlungskerne. Neue Bazaarstrukturen entwickeln sich seit den 70er Jahren, besonders aber in jüngster Zeit fast schon exponentiell entlang der Hauptverkehrsachsen (vgl. Abb. 5.3.2.19 [A], 5.3.2.21 [A]). Der Ausbau der alten Reitpfade nach **Astor** zur Jeep-Piste in den 60er Jahren induzierte diese Entwicklung und wird verstärkt durch den weiteren Ausbau der Strecke zur *truckable road*. Allerdings ist die Stabilität dieses Versorgungsstranges aufgrund unsicherer Wegführung bei **Mushkin** stark gefährdet durch Naturkatastrophen und meistens nur von Jeeps und Traktoren zu passieren (Erdbeben und Erdbeben verursachen Abrutschen der Fahrbahn auf unsicherem Untergrund, vgl. SHRODER et al. 1998: 39, SHRODER 1998: 83f, 94f, Abb. 5.3.2.25, vgl. Kap. 3.1.1). Als Ausweichroute existiert noch die alte Straße über **Doian**, **Turbaling** und **Dashkin** nach **Harchu**. Sie kann aber ebenfalls nur mit Jeeps und Traktoren befahren werden (vgl. Abb. 5.3.2.26). Unterhalb der Moränenterrassen von **Patipora**, **Chongra** und **Eidgah** erschließt die Astor Valley Road mit ihren Stichstraßen das Astor Tal bis ins Rupal Tal nach **Tarishing**. Das neue mit Jeeps befahrbare Wegenetz ersetzt die alten Reitpfade und verläuft in **Astor** vom Flusstal bis zum Rama Forest und von Astor Village durch **Eidgah** zur Astor Valley Road (vgl. Abb. 5.3.2.13 [A], 5.3.2.15 [A], 5.3.2.18 [A], Abb. 5.3.2.21 [A]).

Der stark besiedelte obere Talabschnitt des Astor Tales von **Astor** bis **Gurikot** weist schon in den historischen Bildern auf Degradationserscheinungen im submontanen Trockenwald (hier starke Durchmischung von *Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa*) und einer Zurückverlegung der unteren Waldgrenze des montanen Koniferenwaldes hin. Dieser Trend hat sich bis heute extrem verstärkt und zu einer völligen Abholzung der submontanen Trockenwaldbestände in diesem Talabschnitt geführt. Schon TROLL (1939: 164) bemerkt eine unregelmäßige Verbreitung von *Pinus gerardiana* im Bereich der Steppenstufe und nennt die Trockenkiefer einen „akzessorischen Bestandteil“ dieser Vegetationsstufe, die von einer „locker baum- und buschbestandenen Steppe bis zum geschlossenen Trockenwald“ ihre Ausprägung finden kann. Nach Süden im Gurikot-Becken bedingt steigende Feuchtigkeit ein Auskeilen der Trockenkiefer (TROLL 1939: 165), jedoch ist nicht auszuschließen, dass schon im Jahr 1937 auch aufgrund der zu diesem Zeitpunkt schon hohen Bevölkerungszahlen (vgl. Tab. 2.3.1) anthropogene Einflüsse eine Degradierung von Trockenkieferbeständen in Siedlungsnähe verursachten (vgl. Abb. 2.2.10, 5.3.2.1 [A]). Die für die Vegetationsstufe charakteristischen Trockenwälder zeigen sich in den historischen Aufnahmen an den Hängen über **Bulan** (vgl. Abb. 5.3.2.4 [A]). Diese nehmen jedoch zu den stärker bevölkerten Siedlungsräumen **Gurikot** und **Astor** jeweils ab (vgl. Abb. 5.3.2.5 [A], 5.3.2.7 [A], 5.3.2.24 [A]). Heute ist die „knorrige Kiefer“ mit ihrer „buschigen Krone“ (TROLL 1939: 164, vgl. Abb. 5.3.2.7 [A]) in diesem Talabschnitt an den Hängen nicht mehr aufzufinden (vgl. Abb. 5.3.2.1 [A], 5.3.2.4 [A], 5.3.2.5 [A], 5.3.2.7 [A], 5.3.2.8 [A], 5.3.2.13 [A], 5.3.2.24 [A]).

Auch eine gleichsinnige räumliche Aufflichtung der *Juniperus semiglobosa* Waldbestände deutet schon für 1934/37 auf einen erhöhten Nutzungsdruck hin. Die Wacholderbäume und -büsche unterliegen aufgrund des gewachsenen Brennholzbedarfes ebenfalls der starken Abholzung, so dass heute die submontane Höhenstufe zwischen **Gurikot** und **Astor** völlig baumfrei ist (vgl. kleines Panorama in Abb. 5.3.2.4 [A]). Die-



Abb. 5.3.2.25: Unsicherer Straßenverlauf der neuen Astor Straße unterhalb von Mushkin (oben: Blick von der alten Astor Straße astoraufwärts Richtung SE, Foto: R. Spohner 04.09.1995 - roter Pfeil: Standort und Blickrichtung für Foto rechts; rechts: einspuriger Verkehr mit wechselnder Richtung auf der ständig abrutschgefährdeten neuen Straße, Foto: R. Spohner 23.09.1995)



Abb. 5.3.2.26: Verlauf und Qualität der alten Astor Straße oberhalb von Mushkin und Turbaling (oben: Verlauf der alten Straße unterhalb des Kammes nach Doian - Pfeil, Standort: Sporn zwischen Mushkin und Dashkin auf der alten Straße mit Blickrichtung NW; links: einspurige Jeep- Piste bei Turbaling; Fotos: R. Spohner 04.09.1995)



ser Trend lässt sich auch für die westexponierte Talseite feststellen (vgl. Abb. 5.3.2.27 [A], 5.3.2.28 [A], 5.3.2.29 [A], eigene Feldbeobachtungen). Nicht nur das Abholzen der Bäume sondern auch der Abtransport der Baumstämme in die Siedlungen (Roller und Schleppen der Stämme hangabwärts, vgl. Abb. 5.3.2.30) führt zu einem erhöhten Erosionsrisiko. Die Gründe für die vollständige Zerstörung in den Hangbereichen über **Bulan** sind sicherlich in der Lage der Wälder zwischen zwei sich sehr dynamisch entwickelnden Siedlungsräumen zu suchen, wobei die Militärstandorte im Tal den Nutzungsdruck zusätzlich verstärkt haben. Der geschätzte Brennholzbedarf des Militärs lag bis zur Umstellung auf Petroleum in den 1980er Jahren bei ca. einem Fünftel des gesamten Brennholzbedarfs in Astor (CLEMENS 2001: 99).

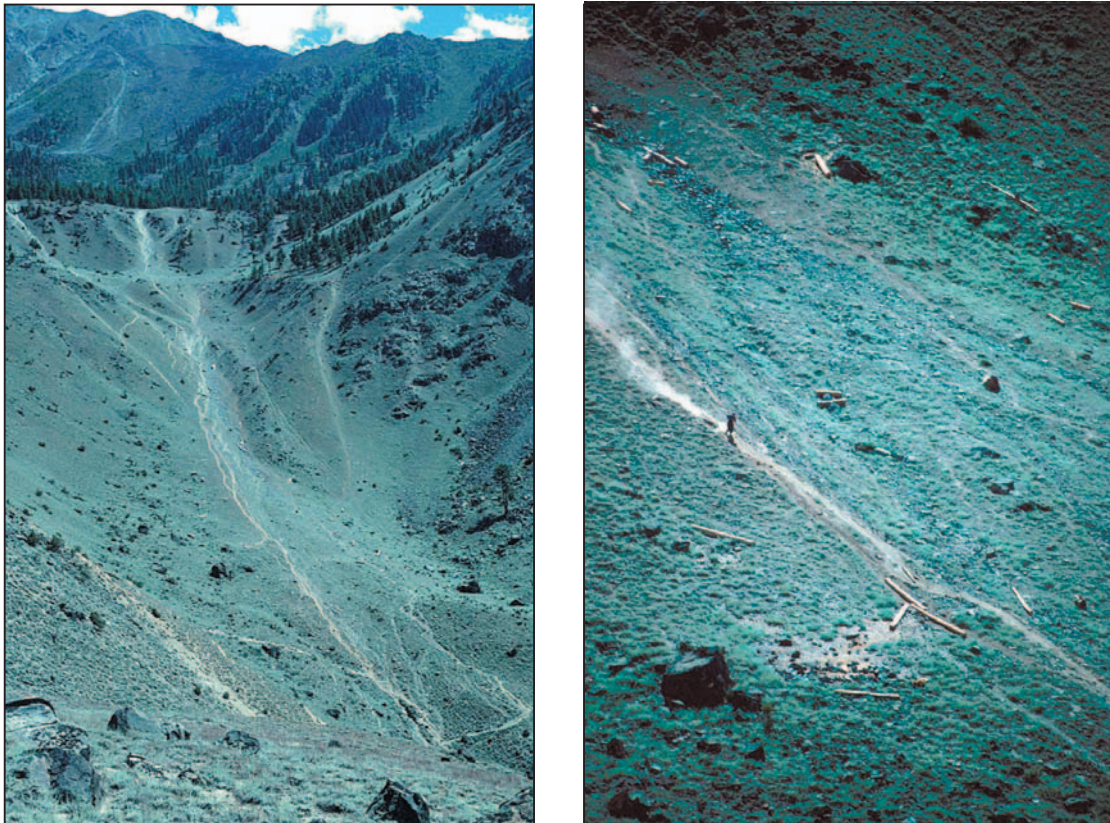


Abb. 5.3.2.30: Koniferenbestände oberhalb von Los (Astor-Tal) und Transportrinnen durch manuelles Ziehen der geschlagenen Baumstämme hangabwärts [Fotos: R. Spohner 06.09.95]

Hinweise auf eine frühe Beeinträchtigung der montanen Nadelwälder ergeben sich schon aus dem Tagebuch von TROLL (1937: III, Bl. 41). TROLL führt starke Lawineneinwirkung aus den kleinen Tälern zwischen **Eidgah** und **Bulan** auf die Steilheit und starke Abholzung der oberen Talbereiche zurück. Auch das Ansteigen der unteren Waldgrenze des feuchten Nadelwaldes von **Bulan** nach **Astor** (vgl. Abb. 5.3.2.7 [A], 5.3.2.24 [A]) deutet auf Einschlagaktivitäten in Siedlungsnähe in den 1930er/40er Jahren hin. Die starke Entnahme von Stammholz an den gestaffelten nordexponierten Hangbereichen zwischen **Astor** und **Bulan** bis in die heutige Zeit lässt sich sehr gut anhand der Vergleichsbilder dokumentieren. Mit zunehmender Distanz zum stark bevölkerten Talraum **Astor** nimmt die Anhebung der unteren Waldgrenze ab - von komplett degradiert bis zur Rückdrängung von 150 - 200m (vgl. Abb. 5.3.2.24 [A]). Eine ebenso deutlich sichtbare Verlegung der unteren Waldgrenze um 100-150m resultiert aus der Siedlungserweiterung der Sommersiedlung **Bakhat** in den Rama Forest (vgl. Abb. 5.3.2.23 [A], 5.3.2.31 [A]). Darüber hinaus weisen im nahen Einzugsgebiet der Siedlungen **Bakhat**, **Majini Dar** und **Bari Dar** sowohl der nord- als auch der südexponierte Hang starke Auffichtungen und teilweise völlige Degradationserscheinungen auf. Auf dem Hang unterhalb des Rama Eck von der unteren Waldgrenze des Rama Forest talabwärts entlang der südexponierten Flanke von **Latikani** bis ins Astor-Tal sind keine Wacholderbäume oder -büsche mehr

anzutreffen (vgl. Abb. 5.3.2.24 [A]; TROLL 1937, Tagebuch III, 25/26) Dass nicht nur der hohe Brennholzbedarf der nahen Siedlungen sondern auch hoher Beweidungsdruck einen Beitrag zur Degradierung der Gehölzfluren beiträgt, zeigt deutlich die Zunahme von *Juniperus squamata*-und *Juniperus communis* Beständen, die überall zu beobachten ist (negative Selektion verbissresistenter Arten, mündl. Mittlg. M. Nüsser 1995, vgl. Abb. 5.3.2.33). Der feuchte Nadelwald der nordexponierten Flanke des Bulan-Kammes ist, entgegen der Bemerkung von SCHICKHOFF (1998: 234), vom Astor-Tal bis zum Rama-See an vielen Stellen stark degradiert (vgl. Abb. 5.3.2.32 [A]). Weitere Abholzungsflächen finden sich unterhalb des nördlichen Zungenendes des Sachen-Gletschers im Umkreis der dort seit 1934 existierenden und seitdem stark erweiterten Sommerweidesiedlung *Shate Shayn* (3320 m, vgl. NÜSSER 1998: 129). Auch oberhalb der Sommerweidesiedlung *Kuttemus*, auf gleicher Höhe unterhalb des südlichen Gletscherendes liegend und laut Kartenskizze aus KICK (1994: 112) schon 1934 bestehend, zeigen sich deutliche Abholzungsspuren (vgl. Zoom 2a,b Abb. 5.3.2.32 [A]).

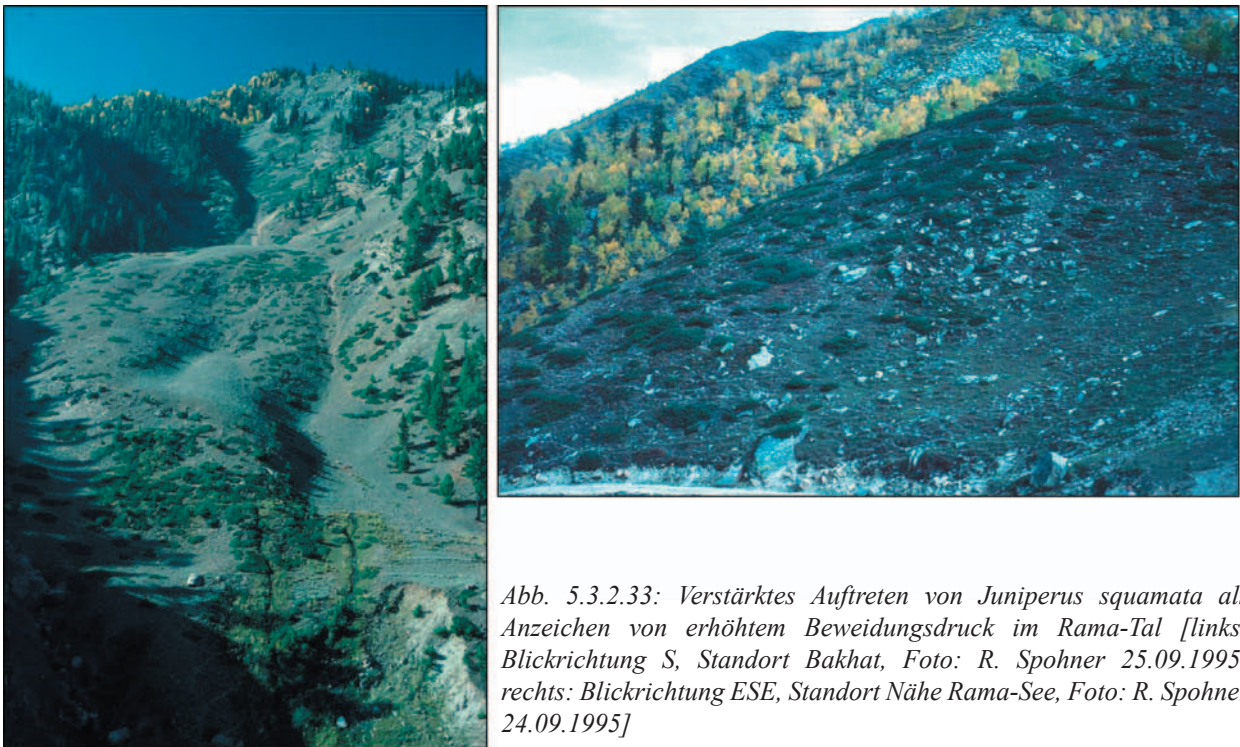


Abb. 5.3.2.33: Verstärktes Auftreten von *Juniperus squamata* als Anzeichen von erhöhtem Beweidungsdruck im Rama-Tal [links: Blickrichtung S, Standort Bakhat, Foto: R. Spohner 25.09.1995; rechts: Blickrichtung ESE, Standort Nähe Rama-See, Foto: R. Spohner 24.09.1995]

In jedem Fall weist die Entwicklung der Weidesiedlungen eine junge Dynamik auf, wobei sowohl die hohe Intensität der Waldweide als auch der Holzbedarf der saisonal bewohnten Siedlungen einen erhöhten Nutzungsdruck für die Waldareale bedeutet (NÜSSER 1998: 129). Darüber hinaus bestanden Einschlagsrechte der Armee bis in die späten 1980er Jahre, die noch überlagert werden durch illegalen bäuerlichen Holzeinschlag, der auch aktuell zur selektiven Abholzung des Rama Forest beiträgt (SCHICKHOFF 1996: 185, 1998: 274). Die von SCHICKHOFF (1996: 183, 1998: 102) analysierten Testplots im Rama Forest weisen eine Degradationsstufe von mäßig bis sehr stark gestört auf, was die obige Aussage bekräftigt, jedoch aus den Bildvergleichen aufgrund der ungünstigen Schrägsicht nicht kartiert werden konnte. Ähnliche Tendenzen der Naturwaldzerstörung lassen sich für die orographisch rechts des Astor Flusses gelegenen oberen Hangbereiche oberhalb von *Los* dokumentieren (vgl. Abb. 5.3.2.27 [A], 5.3.2.28 [A], 5.3.2.29 [A]). Interessant ist im Zuge der zunehmenden Abholzung der Naturwälder die gegenläufige Tendenz der Vegetationssukzession, die sich auf den Endmoränenwällen der nördlichen Gletscherzunge des Sachen-Gletschers und sogar auf dem Gletscher abzeichnen (vgl. Abb. 5.3.2.32a u. b [A], ähnliche Entwicklungen sind für das Vorfeld des Raikot Gletschers belegt, vgl. WALTER 1999). Dies deutet auf eine Stagnation oder sogar ein Rückschreiten der Gletscherzunge hin.



### 5.3.3 Harchu - Doian

Auch für **Harchu** und **Luskum** (2034m) lässt sich die oben beschriebene Entwicklung der bewässerten Gebiete dokumentieren. Dies belegt eine deutliche Ausweitung des Bewässerungslandes für **Luskum** verbunden mit der Zunahme des Baumbestandes innerhalb der Flur (vgl. Abb. 5.3.3.1 [A] Vordergrund, 5.3.3.2 [A]). Kanalneubauten in **Harchu** sichern neue bewirtschaftete Flächen auf Ödland (Schutthänge) oberhalb der alten Flur und zusätzliche Flächen an den nordwestexponierten Hängen im Harchu-Tal. Schon TROLL kartierte 1937 das Kulturland für die Nanga Parbat-Region in der Vegetationskarte, was aufgrund der Aufnahmemethode nicht flächenscharf erfolgen konnte (vgl. Kap. 6.3). Die Karte zeigt jedoch die Lage bestehender bewässerter Areale für das Jahr 1937. Die dreidimensionale Wiedergabe der Vegetationskarte weist auf die schon 1937 existierenden hochgelegenen Felder auf dem Sporn über **Harchu** hin, woraus auf die Existenz eines schon 1937 vorhandenen Bewässerungskanals geschlossen werden kann (vgl. Abb. 5.3.3.4). Dies ist aus dem historischen Bildmaterial jedoch nicht direkt erkennbar, da fehlende Kontraste und Baumbewuchs auf dem Hang den Kanal verdecken. Erst im Vergleichsbild 1995 wird der Verlauf aufgrund der Abholzung des Baumbestandes deutlich.

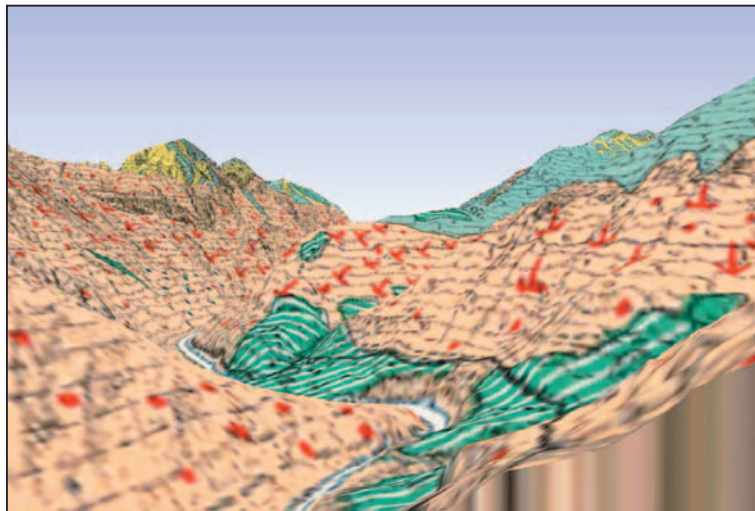


Abb. 5.3.3.4: Kulturland und Vegetationsformationen bei Luskum und Harchu 1937 (3D landscape, Textur: TROLL 1939, Berechnung: R. Spohner 2002)

Die bewässerten Areale sind bis heute auf ca. das Doppelte bis Dreifache der historischen Fläche erweitert worden (nur die Flächen, die im aktuellen Vergleichsbild sichtbar sind; im Harchu-Tal talaufwärts bestehen weitere Bewässerungsflächen, vgl. Kap. 6 und 7). Eine enorme Ausweitung der bewässerten Flächen wird im Bildvergleich für die höheren Lagen des Harchu-Kammes zw. 2600 m und 2800 m deutlich. Begünstigt durch die Höhenlage und eine ausreichende Wasserversorgung des Lotang-Gletschers, jedoch auf Kosten des submontanen Trockenwaldes und des feuchten montanen Nadelwaldes, sind ausgedehnte Bewässerungsflächen entstanden (vgl. Kap. 6.2., 6.4). Diese Entwicklung ist aufgrund der absolut begrenzten potenziellen Landressourcen im Astor-Tal zu sehen. Im Bildvergleich zeigt sich auch die Gefährdung des anthropogenen Kulturlandes durch Naturgefahren. Die Erosion des Prallhanges zwischen **Harchu** und **Luskum** (vgl. Abb. 5.3.3.2 [A], 5.3.3.3 [A]) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf extreme Flutereignisse des Astor Flusses zurückzuführen (vgl. ähnliche Prozesse für das Hunza-Tal, SPOHNER 1993: 90). Die linienhafte Abtragung (*gully erosion*) aus oberflächlich von den steilen Hängen ablaufendem Niederschlagswasser vergrößert die Angriffsfläche für das erodierende Flusswasser (*river undercutting*, vgl. SHRODER et al. 1998a, 1998b). Eine zunehmende Abholzung der submontanen Baumbestände (s.u.) fördert die Vergrößerung der Erosionsrinnen und somit eine Verstärkung der fluviatilen Abtragungsprozesse.

Die für das obere Astor-Tal von **Astor** bis **Gurikot** anhand fast lückenloser Bildvergleiche festgestellte völlige Degradation der submontanen Offenwälder sowie die deutliche Anhebung der unteren Waldgrenze der feuchten Koniferenwälder setzt sich in ähnlicher Weise im unteren Astor-Tal von **Harchu** bis **Doian** fort, jedoch liegen nur zwei bitemporale Sequenzen vor, die einen Blick auf die submontanen und montanen Wälder zulassen. Hier muss die quantitative lokale Analyse genauere flächenübergreifende Aussagen liefern (vgl. Kap. 6.2, 6.4.5, 7.3). Für den Raum **Luskum** und **Harchu** stellt TROLL (1937: Tagebuch, II Bl. 12, III Bl. 24) in Nordwestexposition über **Harchu** ab 200m über dem Talboden dichten „Tschelgosa-Wald“ (*Pinus gerardiana*, vgl. Abb. 5.3.3.5) fest, der ab 2600m mit Arten des feuchten Nadelwaldes (v.a. *Pinus wallichiana*) vermischt ist. Die Trockenkiefer war 1937 im montanen Nadelwald bis 2900 m vertreten. Die ostexponierten Hänge oberhalb **Harchu** und **Luskum** waren durch Artemisiasteppe mit lichtem Trockenwald (*Pinus gerardiana*, *Juniperus semiglobosa*) gekennzeichnet. Der Bildvergleich Abbildung 5.3.3.3 [A]

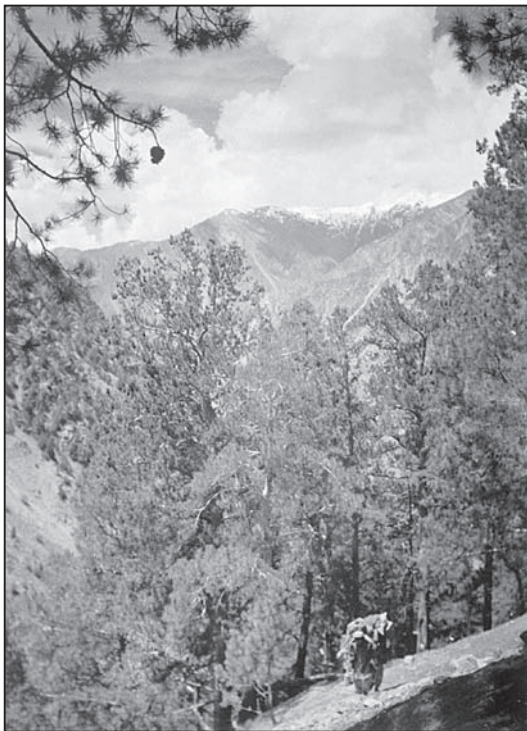


Abb. 5.3.3.5: Dichter „Tschelgosa-Wald“ (*Pinus gerardiana*) oberhalb von Harchu 1937 - im Jahr 1995 ist der hochständige Wald nicht mehr vorhanden [Foto: C. Troll 30.05.1937]

dokumentiert die extreme Degradation der Trockenwälder in allen Expositionen und eine für diesen Bildausschnitt geltende Zurückverlegung der unteren Waldgrenze des montanen Nadelwaldes um mindestens 150-200m (vgl. NÜSSER 2000: 352). Gründe für diese Entwicklung sind auch hier das hohe Bevölkerungswachstum in den letzten Jahrzehnten, aber auch Einschlagsrechte externer Kontraktoren bis zum Ende der 1960er Jahre, die das geschlagene Holz auf dem regionalen Markt verkauften (CLEMENS 2001: 99). Die Beschränkung der Abholzung des feuchten Nadelwaldes auf Bereiche in der Nähe der Verkehrsachse des Haupttales und der Siedlungsräume wird deutlich in der Abbildung 5.3.3.6 [A]. Der Bildvergleich zeigt den ostexponierten Tal- und Hangbereich im oberen Harchu-Tal. Die Birken- und Nadelwaldbestände haben sich im Zeitraum von 1934 bis 1993 kaum verändert. Lediglich eine geringfügige Sukzession und Verdichtung der Koniferen kann festgestellt werden. Ein völlig anderes Ergebnis ergibt sich aus dem Vergleich von Vegetationskarte und aktueller Situation. Hier entsteht fälschlicherweise der Eindruck, dass auch im oberen Harchu-Tal eine starke Abholzung der montanen Nadelwälder stattgefunden hat.

Die Abbildung 5.3.3.7 giebt einen Einblick in die nach Nordosten geöffnete Talkammer von **Mushkin** und **Turbaling**, die die größte zusammenhängende montane Waldfläche im Untersuchungsgebiet aufweist. Der Wechsel der expositionsabhängigen Vegetationsformationen tritt beim Umfahren des Spornes von **Dashkin** nach **Mushkin** auf der alten Astor Straße markant zu Tage und ist von TROLL ausführlich beschrieben worden (Tagebuch von TROLL 1937 II, Bl. 13/14). Die Siedlung **Mushkin** erstreckt sich aktuell vom Flusstal bis auf ca. 2600m und hat sich in den letzten 60 Jahren um ca. 100-200 Höhenmeter in den submontanen und montanen Waldgürtel vorgeschoben (vgl. Abb. 5.3.3.8 [A], 5.3.3.10 [A], 5.3.3.11; vgl. NÜSSER 2000b: 268). Den aktuellen Trend der Ausdehnung des Kulturlands erkennt man deutlich in den in jüngster Zeit entstandenen Rodungsinseln im Mushkin Forest, die in Abhängigkeit von der Höhenlage primär als Futterflächen (Gräser) dienen (schriftl. Mittlg. NÜSSER 2003). Weitere jüngere Anbauflächen schließen sich an die alten Felder von **Mushkin** in der submontanen Stufe der nordost-exponierten Talflanke an. Der von TROLL 1937 kartierte Bestand an Grundwassergehölzen (vgl. Abb. 5.3.3.10 [A]) in direkter Nachbarschaft zum Kulturland ist aktuell zugunsten von Ackerterrassen zurückgedrängt worden. Die bewässerten Flächen von **Turbaling**, die zweigeteilt unterhalb von 2500m und oberhalb von 2600m bestehen, sind

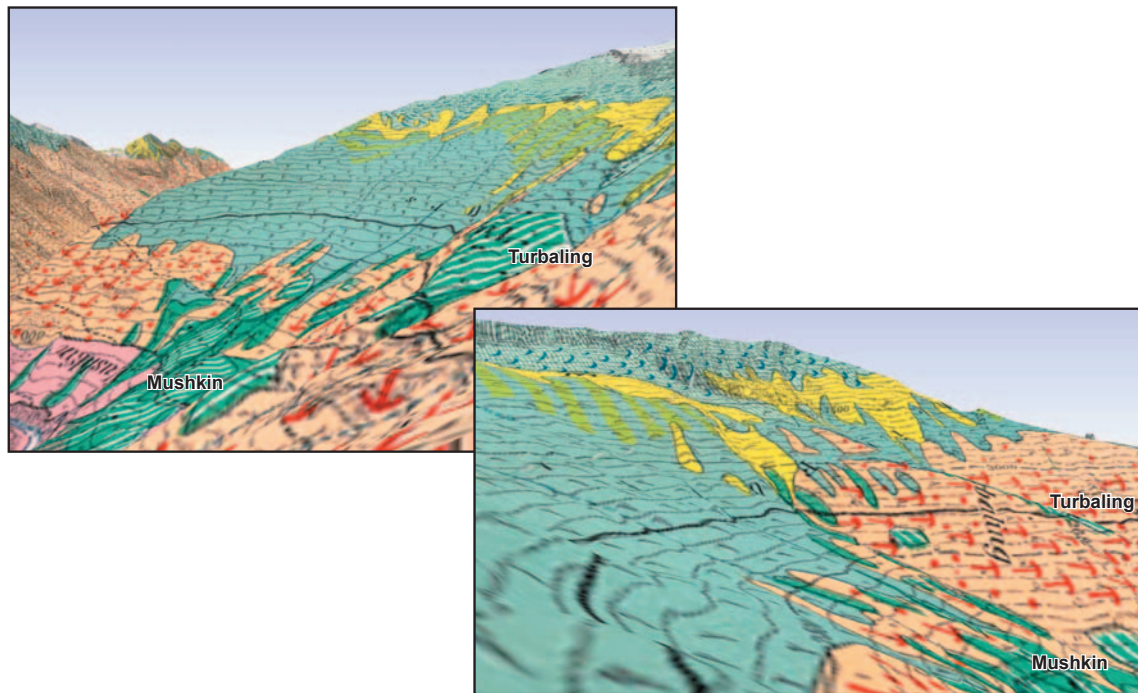


Abb. 5.3.3.7: Expositionsabhängige Verteilung der Vegetation in der Talkammer von Mushkin nach TROLL 1939 [oben links: NNW-exponierte südliche Talflanke mit dichten tief herabreichenden feuchten Nadelwaldbeständen; unten rechts: E-exponierte nördliche Talflanke mit ansteigender unterer Waldgrenze der inselförmigen feuchten Nadelwaldbeständen; Textur 3D Landscape: TROLL 1939, Berechnung: R. Spohner 2002]

ausgeweitet worden und haben zu einer Zurückverlegung der unteren Waldgrenze von ca. 50m geführt (vgl. Abb. 5.3.3.11). Insgesamt lässt sich keine deutliche Zunahme an Obst- oder Nutzholz innerhalb der Flur feststellen. Die großen Anbauflächen sind relativ baumfrei. Die Gründe dafür liegen in dem insgesamt geringen Stellenwert des Obstbaus im Astor Tal (s.o.). Darüber hinaus ergibt sich für diese Talkammer aufgrund der vorhandenen ausgedehnten Wälder keine zwingende Notwendigkeit für die Substitution geringer werdender Brennholzreserven durch Anpflanzungen von Nutzholz in der Bewässerungsflur.

Die untere Waldgrenze des Mushkin Forest wird in der Nordexposition durch dichte submontane Trockenwälder gebildet, die sich im Übergangsbereich zur montanen Stufe mit dem feuchten Nadelwald verzahnen (vgl. Abb. 2.2.8, 5.3.3.8 [A]). Im Zuge der oben beschriebenen Kulturlandentwicklung erfolgte eine Zurückdrängung der unteren Waldgrenze im Bereich der feuchten Nadelwälder um ca. 100-150m und des submontanen Trockenwaldes stellenweise um bis zu 400m (vgl. Abb. 5.3.3.11). Von der Abholzung ist in erster Linie der submontane Wald betroffen, jedoch lassen sich auch im feuchten Nadelwald aktuelle Tendenzen einer neuen Flächennutzung in Form von höhenabhängigem Sommeranbau und Futterbau anhand der Rodunginseln erkennen. Vor allem der östliche Bereich der großen Talkammer – im Bildhintergrund - zeigt starke Degradationserscheinungen, die im Zusammenhang mit der Anlage neuer Bewässerungsflächen und einem gestiegenen Brennholzbedarf zu sehen sind (vgl. Abb. 5.3.3.10 [A]). Weitere Flächenerweiterungen, die auf Kosten des montanen Koniferenwaldes entstanden sind, finden sich oberhalb der Siedlung **Turbaling**. Für die großen Flächen des Mushkin Forest lassen sich aus den Bildvergleichen außer den Rodunginseln keine weiteren sichtbaren Degradationen ableiten. Auch NÜSSER (2001: 268/269) und SCHICKHOFF (2002) kommen zu ähnlichen Ergebnissen, wobei SCHICKHOFF auch für die forstökologischen Flächen im Mushkin Forest eine zwar geringe, jedoch vorhandene Zerstörung evaluiert. NÜSSER (2001: 269) und eigene Feldbeobachtungen (1995) unterstützen diese Aussagen.



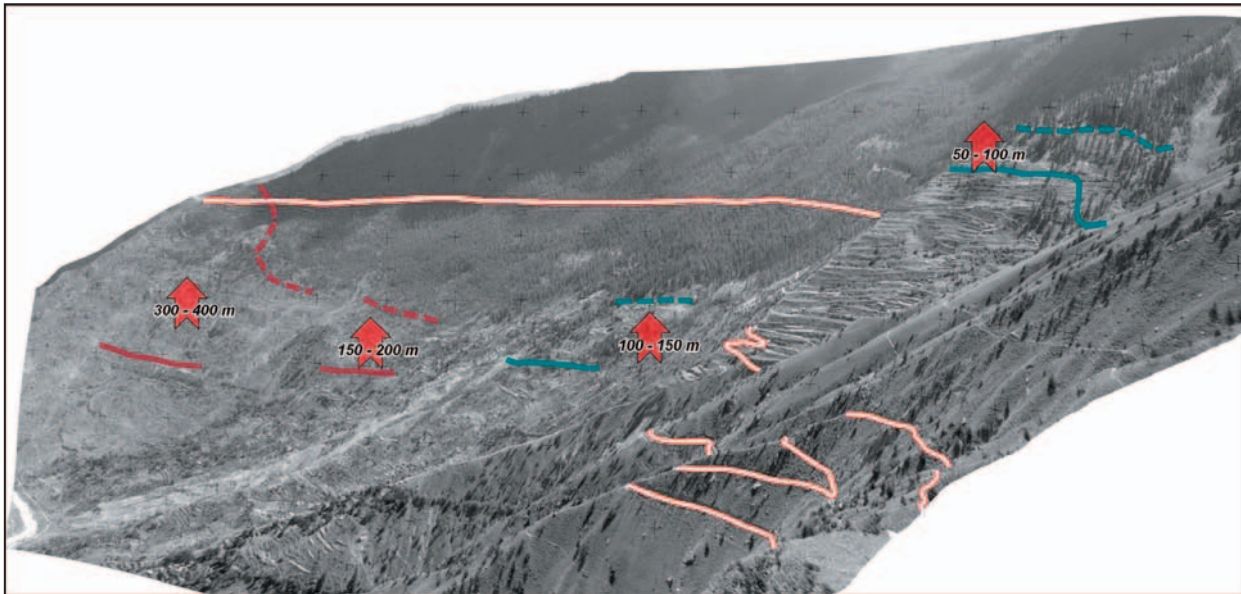


Abb. 5.3.3.11: Anhebung der unteren Waldgrenze in der Talkammer von Mushkin seit 1934 [Hintergrundbild: A. Walter 1997; Auswertung: R. Spohner, Legende vgl. Abb. 5.1.2 [A], S. 28]

Eine vermeintlich starke Abholzung der Birkenwälder oberhalb von **Mushkin** und **Turbaling**, die aus einem Vergleich von aktuellem Foto und *3D landscape* abgeleitet werden könnte (vgl. Abb. 5.3.3.12), besteht so nicht, auch wenn bei SCHICKHOFF (2002) eine Beeinträchtigung der oberen Waldgrenze dokumentiert ist. Hier liegt mit großer Wahrscheinlichkeit eine Überschätzung von C. Troll vor. Auch für den Mushkin Forest wurden in den 1960er Jahren Einschlagsrechte an externe Kontraktoren vergeben, woraus eine Abholzung von 1400m<sup>3</sup> Stammholz pro Jahr resultierte (SCHICKHOFF 1996: 184). Seit Ende der 60er Jahre wurden keine Konzessionsverträge für das Astor-Tal mehr vergeben und der Mushkin Forest genießt hohe Wertschätzung beim *forest department*, was sicherlich zur geringen Beeinträchtigung dieser Wälder beiträgt. Jedoch verweist SCHICKHOFF (1996: 185) darauf, dass nicht nur das hohe Bevölkerungswachstum einen Nutzungsdruck auf die Wälder verursacht, sondern im Zuge der sozio-ökonomischen Transformation die Bedeutung außerlandwirtschaftlichen Einkommens immer größer wird (s.o). Illegale bäuerliche Einschlagstätigkeit im Mushkin Forest bringt den Familien der Dörfer **Turbaling**, **Mushkin** und **Dashkin** pro Jahr 20.000 Rs aus Holzverkäufen auf lokaler und regionaler Ebene ein (SCHICKHOFF 1996: 185) und garantiert einen beträchtlichen Nebenverdienst bei geringem Risiko.

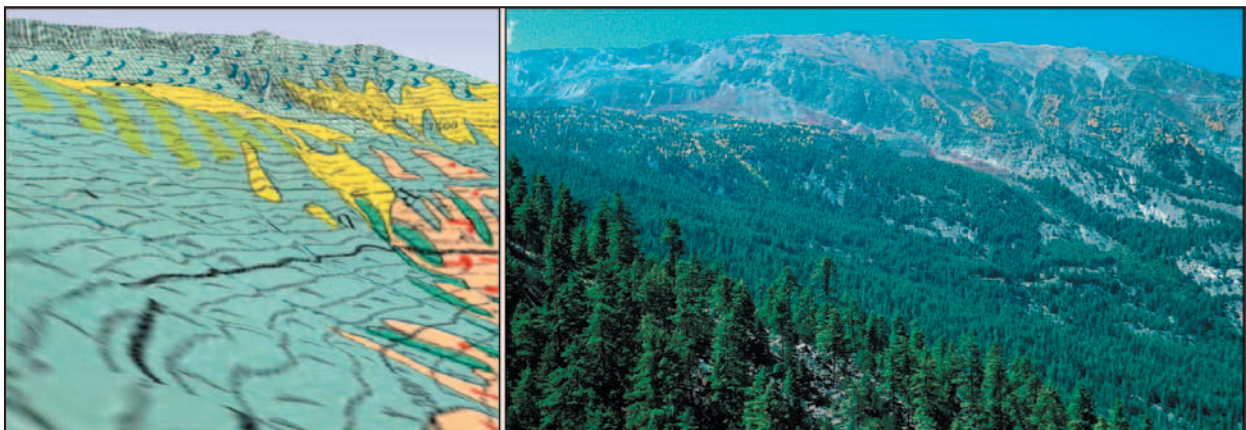


Abb. 5.3.3.12: Vermeintliche Landschaftsveränderung oberhalb des Mushkin Forest (Degradierung der Birkenwaldbestände) durch starke Überschätzung der Birkenwälder von C. Troll (Standort: alte Astor Straße, Blickrichtung NW [links: 3D landscape, Textur: TROLL 1939; Foto rechts: R. Spohner 25.09.1995])



Die für **Doian** bestehenden bitemporalen Bildpaare lassen kaum Aussagen zur Entwicklung der Kulturlandfläche zu, da sie nur kleine Teilbereiche der Bewässerungsflur von **Mangdoian** zeigen. Jedoch wird auch hier die Bestrebung nach Neulanderschließung durch die Anlage neuer Kanäle und die Bewässerung der in peripheren Bereichen bestehenden Anbauareale erkennbar (vgl. Abb. 5.3.3.13 [A]). NÜSSER (1998: 103) berichtet nach SINGH (1917) eine Vergrößerung der bewässerten Fläche von 18 auf mehr als 42 ha zwischen 1903/04 und 1916, die durch den Bau von Kanälen aus dem Lichar Gah und dem Mushkin Forest ermöglicht wurden. Dies betrifft in erster Linie die höher gelegenen Bewässerungsfluren zwischen 2500 und 3000m (vgl. Abb. 5.3.3.14). In der Abbildung 5.3.3.14 wird die Kulturländerweiterung in den montanen Nadelwald sichtbar, die im Jahr 1997 bis ca. 3100m heraufreicht. Ein weiteres Vordringen ist jedoch limitiert durch die absolute Anbaugrenze, die lokal zwischen 3100 und 3300m in dieser Region liegt. Zur quantitativen Veränderung des Kulturlandes seit 1937 siehe auch Kapitel 6.4.5 und 7.3.3. Sehr deutlich zeigt sich jedoch in dem Bildpaar (Abb. 5.3.3.13 [A]) die Veränderung der Verkehrsinfrastruktur. Die in den 50er Jahren entstandene Straße von **Bunji** nach **Rattu** über **Doian**, **Mushkin** und **Harchu** (vgl. SCHICKHOFF 2002) windet sich in **Doian** von ca. 1750m in einer Vielzahl von Serpentinaus dem Talgrund bis in die montane Stufe auf ca. 2700m im Mushkin Forest hinauf um dann wieder über **Dashkin** und **Harchu** ins Astor-Tal hinab zu führen. Der Bau der Straße resultiert aus den Versorgungsbestrebungen der pakistanischen Regierung für die grenznahen Truppenstandorte im Astor-Tal (vgl. SCHICKHOFF 2002) und bewirkte darüber hinaus eine Anbindung der in der submontanen Stufe des unteren Astor-Tales liegenden Dauersiedlungen an das überregionale Straßennetz (*Indus-Valley Road 1959-1965, Karakorum Highway 1978*; NÜSSER 1998: 83).



Abb. 5.3.3.14: Vordringen der Kulturlandflächen der Dauersiedlung Doian (Einfacherntegebiet) in die montane Waldstufe (Standort 13 oberhalb der alten Astor Straße, Blickrichtung WSW) [Foto: A. Walter 1997]

#### 5.3.4 Raikot und Muthat

Im Vergleich zum Astor-Tal sind die auf der Nordabdachung gelegenen Täler mit den Dauersiedlungen **Tato** (Raikot-Tal) und **Muthat** (Buldar-Tal) erst im 19. Jahrhundert von **Gor** aus besiedelt worden (NÜSSER 1998: 94f). Überwiegend befinden sich sowohl die Dauersiedlungen als auch die meisten Sommeranbausiedlungen auf Moränenterrassen und Schwemmfächern kleiner Seitentäler (vgl. Abb. 2.3.1). Nur die auf der ostexponierten Talflanke des Jalipurkammes in der montanen Stufe auf Hangverflachungen gelegenen

Sommeranbausiedlungen *Bezar Gali* und *Witter* weichen von diesem Muster ab. Begrenzte Kulturlandressourcen und eine späte Besiedlung der Täler spiegeln sich in einer relativ geringen Bevölkerungszahl wieder (vgl. Tab. 2.3.1), so dass die Zahl der Haushalte für das gesamte Raikot-Tal 1990 in etwa denen der Siedlung *Bulan* im Astortal entspricht (entsprechend Buldar-Tal und *Patipura*). Aber auch in den Tälern der Nordabdachung zeigt sich ein Anstieg der Bevölkerung in den Zahlen für 1981 und 1990.

Die vorhandenen Vergleichsbilder für das Raikot-Tal zeigen allerdings nur die submontanen und montanen Hangbereiche und Moränenterrassen und gewähren keinen Einblick auf die Bewässerungsflächen von *Tato*. Aus den bitemporalen Bildpaaren kann nur eine geringe Erweiterung der landwirtschaftlichen Flächen in den Sommeranbausiedlungen *Pungadori*, *Bezar Gali* und *Witter* abgeleitet werden (vgl. Abb. 5.3.4.1 [A], 5.3.4.3 [A]; vgl. WALTER 1999, BV 5, BV 6, BV 4, BV 7). In *Pungadori* wurden an die bestehenden historischen landwirtschaftlichen Flächen angrenzende Waldareale für neues Bewässerungsland gerodet. Die Zerstörung der Waldbestände im Süden von *Pungadori* (sichtbar im Vergleichsbild 1993, Abb. 5.3.4.1 [A]) geht auf einen Brand zurück (vgl. auch Abb. 5.3.4.4b u. d [A]), wobei hier anthropogener Einfluß sehr wahrscheinlich ist. Häufiges Legen von Feuer am unteren Stammende der Bäume zum Umgehen der restriktiven Fällquoten kann schnell zu größeren Waldbränden führen (vgl. Abb. 5.3.4.3e [A], WALTER 1999: 81). Jedoch wurde die zerstörte Fläche nicht in bewässertes Grasland oder Ackerterrassen umgewandelt, so dass sich durch aufkommenden Jungwuchs der Wald relativ schnell regeneriert (vgl. Abb. 5.3.4.4b u. c [A]). Akzentuiertere Ackerterrassen und die leichte Erweiterung der bewässerten Flächen in *Bezar Gali* und *Witter* weisen auf eine intensivere Nutzung der Sommeranbausiedlungen hin (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A]). Gleichzeitig zeigt sich aber auch eine Konzentration auf die zentralen Bereiche der Bewässerungsflur von *Witter*. Felder in peripherer Lage werden aufgrund des hohen Ertragsrisikos und aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben. Ähnliche Gründe können die Ursache für die Aufgabe der Felder in der kleinen Bewässerungsflur oberhalb *Tato* sein (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A]). Schon sehr früh führten in *Jut* sowohl wirtschaftliche Gründe als auch räumliche Konflikte der hier vorherrschenden Tierhaltung mit der in diesem für den Anbau von Feldfrüchten limitierten Grenzertragsraum zur Aufgabe des Gerstenanbaus und zur Umwandlung in eine reine Sommerweidesiedlung (NÜSSER 1998: 141). Bemerkenswert ist im Vergleich zur historischen Vegetationskarte das Fehlen der Kulturlandfläche der Sommeranbausiedlung *Bezar Gali*, wo doch die Messbilder von 1934 eine eindeutige Anlage von Ackerterrassen zu diesem Zeitpunkt nachweisen (vgl. Abb. 5.3.4.2 [A]). Dies belegt die kleinräumigen Ungenauigkeiten der Vegetationskarte, die bei der Veränderungsanalyse immer wieder zu beachten sind (vgl. Kap. 6.3).

Aufgrund der recht jungen Besiedlungsgeschichte des Raikot-Tales (s.o.) sowie der späten Erschließung durch eine Jeep-Piste (Fertigstellung 1986, SCHICKHOFF 1998: 312) bestand lange Zeit kein überhöhter Nutzungsdruck auf die submontanen und montanen Waldstandorte des Tales. TROLL bemerkt zwar schon in den 1930er Jahren eine starke Übernutzung siedlungsnaher Areale durch die Waldweide (TROLL 1939:169f), jedoch betonten PILLEWIZER (1961: 171) und REPP (1963: 211f) für die 1950er Jahre die stark eingeschränkte Zugänglichkeit des Tales. Somit kann bis zur verkehrstechnischen Erschließung des Tales auch vor dem Hintergrund der absoluten Bevölkerungszahlen (vgl. Tab. 2.3.1) primär von einer nachhaltigen lokalen Brenn- und Bauholznutzung der Wald- und Baumbestände ausgegangen werden. Wachsende Bevölkerungszahlen und steigende Bedürfnisse nach Erhöhung der Viehzahlen kombiniert mit der im Tal gewohnheitsrechtlich intensiven Waldweide bewirkte die Abholzung siedlungsnaher Waldbestände (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A]) darüber hinaus aber auch eine Zerstörung des Jungwuchses im Bereich der Waldweide und entlang der Wanderkorridore der Viehherden (NÜSSER 1998: 164/165). Überlagert wird diese Entwicklung durch massiven Holzeinschlag eines externen Kontraktors im Zeitraum von 1983 bis 1995 (6300 gefällte Bäume in drei ausgewiesenen *valley blocks*, entsprechen ca. 20.000m<sup>3</sup> Holz, WALTER 1999: 35/36, KHAN 1997: 15/16), wobei im Zuge der Erschließung des Tales das eingeschlagene Holz dem regionalen bzw. überregionalen Markt zugeführt werden konnte. Eine Rekonstruktion der Lage der

Konzessionsflächen aus der Literatur erweist sich als problematisch und kann nur anhand der ungenauen Lagebeschreibung in KHAN (1997) und anhand des aktuellen Waldzustandes abgeleitet werden.

Der zuerst geschlagene Block C2 unterlag einer durch das *forest department* kontrollierten Abholzung, bei der nur markierte Bäume (*over mature, top dry, dead standing, diseased, congested lots*; KHAN 1997: 18) eingeschlagen, die Äste und der Holzabfall entsorgt und somit der Wald einer guten Regenerationsmöglichkeit zugeführt wurde. Dieser Plot wird in der Literatur westlich von **Tato** angegeben, ebenso wie ein zweiter Plot (C3), der sich jedoch nach der Abholzung und dem Abtransport der Bäume in einem wesentlich schlechteren Zustand befand. Der stark unkontrolliert abgeholzte und überexploitierte Block C3 kann nur in den Waldgebieten um **Witter** vermutet werden (vgl. Kap. 7.3), denn KHAN (1997: 18) erwähnt als Folgen des Holzeinschlages an den Hängen Erdrutsche, die die Straße vor **Tato** blockierten. In beiden Fällen kann die Lage der Plots aufgrund der Schrägsicht ins Gelände und des selektiven Einschlages der Stämme aus dem Bildmaterial nicht abgeleitet werden. Bis auf Kahlschlagsflächen im Bereich der Sommeranbausiedlungen und in der unmittelbaren Nähe von **Tato** präsentieren sich die montanen Waldflächen nahezu unverändert (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A]). Die Betrachtung von vergrößerten Teilausschnitten der Vergleichsbilder beweist jedoch deutlich, dass 1995 noch eine beträchtliche Menge an Bäumen in den Wäldern am Jalipur-Kamm geschlagen wurden (vgl. Abb. 5.3.4.5b u. c [A]). Auch der stark gestörte Block C4 der Konzessionsflächen (3600 Bäume gefällt) südlich der Sommerweidesiedlung **Jut** kann in seinem Ausmaß nicht aus den terrestrischen Bildern entnommen werden, da auch hier die schräge Einsicht ins Gelände die selektive Vorgehensweise des Einschlages verdeckt (WALTER 1999: 91). Einen Eindruck über die Größe der gestörten Waldfläche kann nur unter Zuhilfenahme von Fernerkundungsdaten gewonnen werden (vgl. Kap. 6.4). Sowohl WALTER (1999: 95) als auch SCHICKHOFF (1998: 102) kommen zu dem Schluss, dass der Degradationsgrad für die Wälder eher leicht bis mäßig stark ist und ein wachsendes Bewusstsein der Bevölkerung für den Erhalt der Naturwälder v.a. im Hinblick auf eine erwartete touristisch geprägte Zukunft Anlass zu optimistischen Entwicklungstendenzen lässt (detaillierte Studie zur Landschafts- und Landnutzungsveränderung vgl. WALTER 1999). Dass die montanen Wälder bei nachhaltiger Nutzung ein gutes Regenerationspotenzial besitzen, wird anhand der Sukzessionsflächen nördlich von **Bezar Gali** und am südlichen Jalipur-Kamm (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A]) deutlich. Aktuell steht auf diesen Flächen wieder geschlossener feuchter Nadelwald, wo sich 1934 zerstörte Waldflächen mit kahl aufragenden Baumstämmen präsentieren (Ursache unbekannt - Waldbrand?). Aktuell bestehen keine exploitativen Aktivitäten im Raikot Tal, jedoch zeigt sich in der lokalen Bevölkerung die Tendenz zu illegalem Holzeinschlag zur Erweiterung des monetären Haushaltseinkommens (s.o.). Die für das Astor-Tal kennzeichnenden Siedlungserweiterungen auf Kosten des Koniferenwaldes lassen sich im Raikot-Tal nicht feststellen (s.o. Kulturlandentwicklung der Sommeranbausiedlung **Pungadori**).

Im Gegensatz zum wenig bis mäßig gestörten Zustand der montanen Wälder, wird in den Vergleichsbildern der zunehmende Druck auf die primär als Brennholz dienenden submontanen Holzbestände sichtbar. Aufgrund ihres höheren Brennwertes besteht eine deutliche Brennholzpräferenz der Haushalte für Wacholder- aber auch Kiefernholz (vgl. für Haushalte in **Churit**: CLEMENS 2001: 110; allgemein: SCHICKHOFF 2002: 181). Allerdings ist die ostexponierte Talflanke stärker von dieser Entwicklung betroffen als die gegenüberliegende Talseite (vgl. Abb. 5.3.4.3 [A], 5.3.4.6, vgl. WALTER 1997: BV5, BV6). Die ostexponierten Hänge präsentieren sich aufgrund einer Ausdünnung und dem selektiven Einschlag größerer Baumindividuen wesentlich lichter als die gegenüberliegende Talflanke. Im Gegensatz zu den Entwicklungen im Astor-Tal werden häufig die einzelnen *Juniperus semiglobosa*-Bäume nicht vollständig abgeholzt, sondern durch Schneiteln in ihrer Wuchsform verändert und in ihrer Vitalität herabgesetzt (vgl. Abb. 5.3.4.2 [A]; SCHICKHOFF 2002: 101/102). Die stärksten Degradationserscheinungen weisen auch hier die siedlungsnahen Hangbereiche auf.



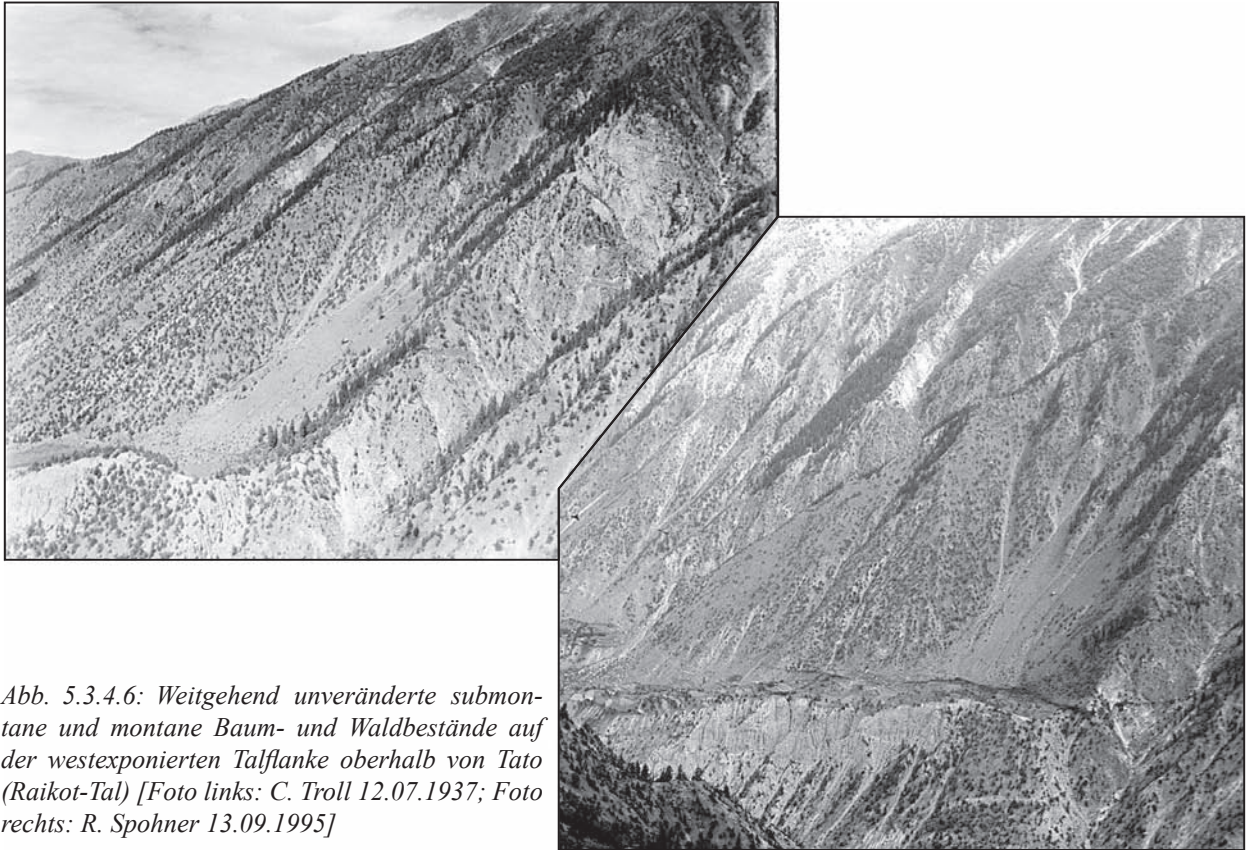


Abb. 5.3.4.6: Weitgehend unveränderte submontane und montane Baum- und Waldbestände auf der westexponierten Talflanke oberhalb von Tato (Raikot-Tal) [Foto links: C. Troll 12.07.1937; Foto rechts: R. Spohner 13.09.1995]

Die zentrale Bewässerungsflur von **Muthat** im benachbarten Buldar-Tal zeigt für den Zeitraum der letzten 60 Jahre eine deutliche Erweiterung der bewässerten Fläche (vgl. Abb. 5.3.4.7 [A]). Insbesondere hangaufwärts oberhalb der alten Flur von **Muthat** und talaufwärts auf den SW-exponierten unteren Hangbereichen des Buldar-Tales ziehen sich die neuen Ackerterrassen und Graslandflächen. Korrespondierend mit den Entwicklungen in den anderen Tälern des Nanga Parbat weist die aktuelle Bewässerungsflur eine starke Zunahme des Baum- und Buschbestandes auf, was auch im Buldar-Tal im Hinblick auf die erheblich degradierten submontanen Gehölzressourcen (s.u., hier v.a. *Juniperus semiglobosa*) mit der Sicherung von Brennholz und Viehfutter zu erklären ist.

Das einzige vorhandene bitemporale Bildpaar vom Buldar-Tal zeigt die Siedlung **Muthat**, aufgenommen vom Pass zwischen Buldar und Raikot Tal (vgl. Abb. 5.3.4.7 [A]). In diesem Bildausschnitt finden sich nur kleine Flächen montanen Koniferenwaldes, die vereinzelt einer Degradierung unterliegen. Abgeholzt wurden die offen stehenden Koniferen zwischen den beiden großen Bewässerungsflächen von **Muthat** und kleinere Bestände am südwestexponierten Hang talaufwärts in Richtung **Jail**. Zuletzt genannte Flächen mussten einem Kanalneubau und der damit zusammenhängenden Flächenerweiterung des Bewässerungslandes weichen. Die im Bildhintergrund sichtbaren feuchten Wälder zeigen sich über die Jahrzehnte unverändert. Aufgrund fehlender Bildpaare ist keine Aussage zu möglichen Veränderungen in den ausgedehnten Nadelwaldbeständen an der nordostexponierten Flanke des Buldar-Tales im Bereich des Zungenendes des Buldar-Gletschers möglich. Ein Vergleich von historischem Messbild und 3D *landscape* zeigt wiederum sehr deutlich die Problematik der historischen Vegetationskarte (vgl. Abb. 5.3.4.8 [A]). Die Flächen des feuchten Nadelwaldes sind auch hier von C. Troll überschätzt worden. Jedoch läßt sich auch ohne vorhandenes terrestrisches Vergleichsmaterial anhand der fast Luftbildqualität besitzenden CORONA-Bilder eine deutliche Degradierung und Abholzung der hochstämmigen Nadelbäume im Gletschervorfeld des Buldar-Gletschers, an den Moränenwällen und an den fluvio-glazialen Terrassenhängen im Bereich der Siedlungen Fary und Jail bis 1968 feststellen (vgl. CORONA-Ausschnitt von 1968 in Abb. 5.3.4.8 [A]). Das Ausmaß der Abhol-



zung spricht gegen eine lokale Nutzung und läßt auf einen durch Kontraktoren verursachten Holzeinschlag schließen (Hinweise in SCHICKHOFF 1996: 181). Der Zeitraum der Abholzung im Buldar-Tal vor 1968 korreliert mit den hohen Holzausfuhrmengen aus den kommerziell ausgebeuteten Waldbeständen von Chilas und Darel/Tangir in den Jahren 1965/66 (Buldar-Tal gehört zur *Chilas Forest Division*, SCHICKHOFF 2002: Kap. 4.1.2). Das Holz musste zu diesem Zeitpunkt noch zum Indus gefloßt werden, da erst 1986 eine *jeep road* in das Tal fertig gestellt wurde (SCHICKHOFF 1996).

Deutliche Degradationserscheinungen in den submontanen Beständen des Wacholders weist der südwestexponierte Hang von *Thanout* über *Muthat* bis nach *Jail* auf. Bevölkerungswachstum und Flächenenerweiterung der Bewässerungsflur lassen auch hier Rückschlüsse auf einen erhöhten anthropogenen Nutzungsdruck auf die Holzressourcen zu. Jedoch ist im Buldar-Tal das Verhältnis von vorhandenem Holzressourcenpotenzial zur Bevölkerung wesentlich günstiger (vgl. Tab. 2.3.1, Abb. 5.3.1, 7.2.1.1 [A]) als für die Siedlungen im Astor-Tal (vgl. Buldar und *Bulan*), so dass das Ausmaß der Abholzung geringer ist als im Astor-Tal.

### 5.3.5 Die Talkammer von Gor

Für die Talkammer *Gor* liegt so gut wie kein Fotovergleichsmaterial vor. Da diese Talregion aufgrund logistischer Probleme während der Feldaufenthalte nicht berücksichtigt wurde, erfolgt in dieser Arbeit ein Rückgriff auf das veröffentlichte Bildpaar in NÜSSER (1998: Tafel 3; 2000: 270/271). Der Vergleich der Bilder von C. Troll (21.5.1937) und M. Nüsser (4.9.1995) gewährt einen Blick über die Siedlung *Dabote* hinweg auf den relativ dichten südostexponierten submontanen Steineichenwald, der durchsetzt ist mit *Juniperus semiglobosa* und *Pinus gerardiana*. Hangaufwärts schließt sich der feuchte Nadelwaldgürtel an. In der Talkammer Gor regeln klar definierte und effektiv durchgesetzte Nutzungsrechte den Gemeinschaftsbesitz der Wälder. Diese verbieten in den ausgedehnten Steineichenwäldern die Waldweide sowie ein Schneiteln der Äste und Blätter vor Mitte November (NÜSSER 2000: 268). Nicht nur die Dorfgemeinschaft ist betroffen von dieser Regelung, sondern auch die Bewohner des Raikot- und Buldar-Tales, da diese auch Rechte zur Schneitelung der Steineichen in festgelegten Arealen besitzen. Eine strikte und kontrollierte Einhaltung dieser Nutzungsrechte sichert eine nachhaltige Versorgung mit Futterressourcen, was sich im Landschaftsbild nach 60 Jahren durch ein kaum verändertes Erscheinungsbild der Steineichenwälder dokumentieren lässt (vgl. Bildvergleiche in NÜSSER 1998, 2000). Lediglich die siedlungsnahen unteren Hangpartien weisen Degradationserscheinungen und leichte Auflichtungen der Waldflächen auf. Bestätigt wird diese Aussage in der räumlichen Analyse hoch aufgelöster Satellitendaten aus den letzten 30 Jahren (vgl. Kap. 7.3). Der fehlende direkte Einblick in den montanen Koniferenwald verhindert eine Erfassung von Veränderungen in den *Picea smithiana*- und *Pinus wallichiana*-Beständen. Nach SCHICKHOFF (1996: 182) ist die Beeinträchtigung des feuchten Nadelwaldes aufgrund der besseren Eignung der Fichten- und Kiefern-Stämme als Bauholz höher (Testplot Gor I: stärker gestört) als die des submontanen Steineichenwaldes (Testplot Gor II: naturnah). Aber auch hier greifen die gesellschaftlichen Regelmechanismen der *forest committees* und verhindern trotz hohen Bevölkerungsdruckes eine stärkere Degradierung der feuchten Nadelwälder (SCHICKHOFF 1998: 351). Zur Entwicklung der Kulturlandfläche von *Gor* siehe Kapitel 7.3.

Die zunehmende Bedeutung von verfügbaren Holzressourcen, die einerseits für die Deckung des Brennholzbedarfes einer wachsenden Bevölkerung und andererseits als Futterressource für das Vieh notwendig sind, zeigt sich deutlich im Landschaftsbild der Teilgebieten der Nanga Parbat-Region. Allgemeine Adaptionsstrategie bei fehlenden Holzbeständen in Siedlungsnähe ist die Anpflanzung von Bäumen innerhalb der Bewässerungsflur und auf siedlungsnahen Flächen, die von überschüssigem Bewässerungswasser oder Wasser aus Bach- und Flußläufen profitieren können. Besonders wichtig ist die Schaffung von Holz- und

Futterressourcen für die Siedlungen in der trocken heißen kollinen Stufe des Indus-Tales, die weit von potenziellen submontanen und montanen Baum- und Waldbeständen entfernt sind. Ein gutes Beispiel für diese adaptive Entwicklung zeigt sich im Bildvergleich der Siedlung *Darang*, die in der kollinen Stufe unterhalb der Talkammer von Gor liegt (vgl. Abb. 5.3.4.9). Seit 1937 hat der Baum-/Buschbestand deutlich zugenommen.



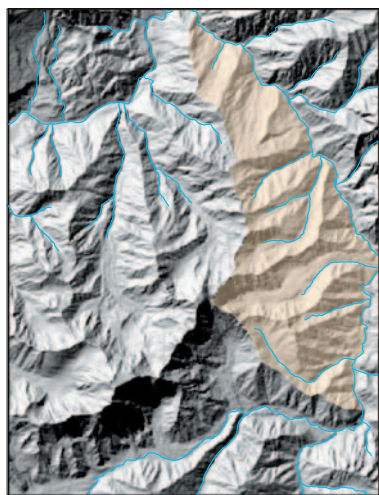
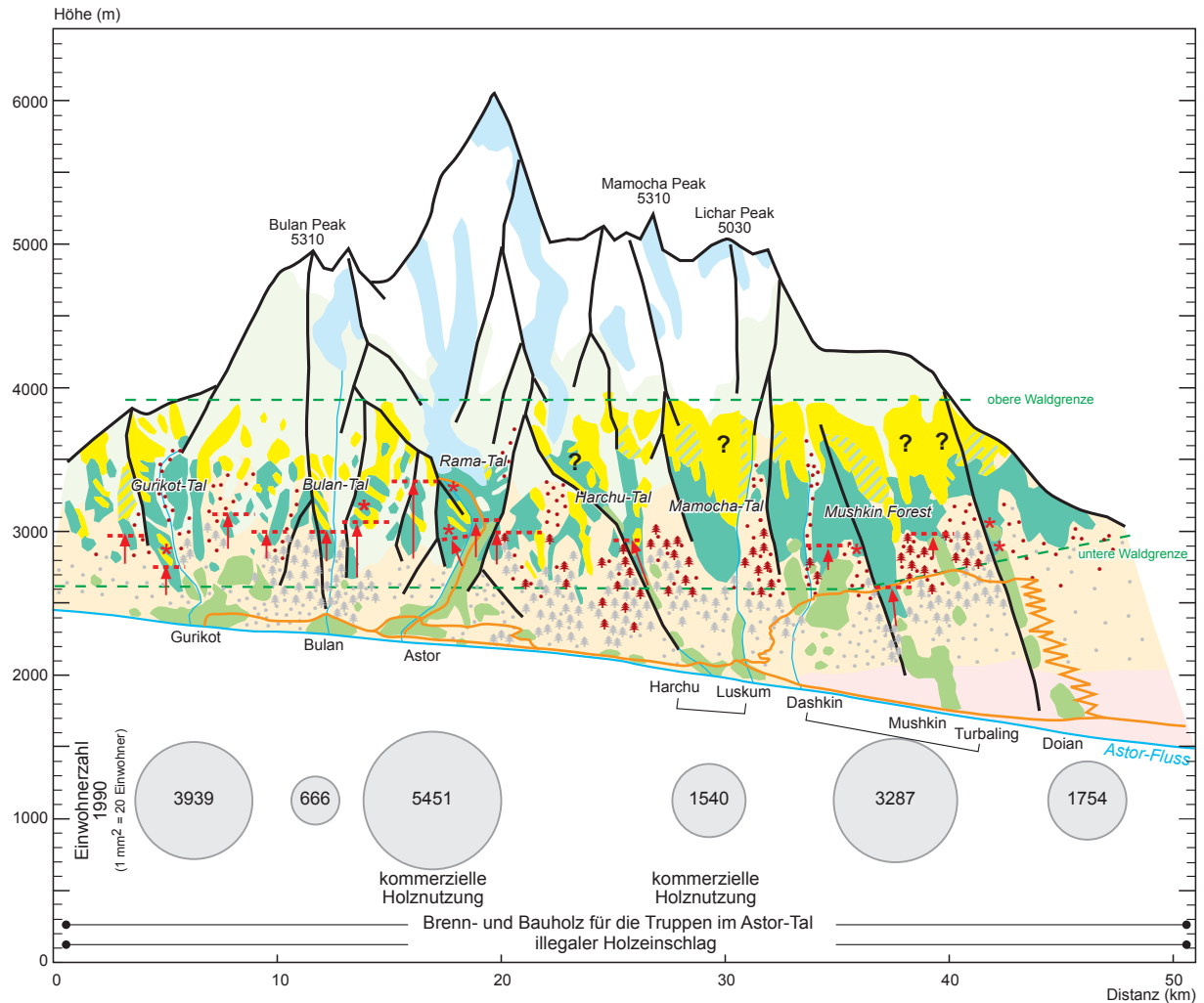
Abb. 5.3.5.1: Landschaftsveränderung im Siedlungsbereich von Darang von 1937 bis 1994 (Blickrichtung SSW) [Foto links: C. Troll 21.05.1937; Foto rechts: M. Nüsser 1994]

### 5.3.6 Zusammenfassung der qualitativen multitemporalen Bildanalyse

Die Ausführungen im Kapitel 5.3 zeigen im Kontext des komplexen Wirkungsgefüges aus naturräumlichen Vorgaben und sozio-ökonomischen Einflußfaktoren ein stark heterogenes Muster der Waldressourcen und deren Nutzungsintensität in der Nanga Parbat-Region im Zeitraum von 1934 bis 1997. Mehr als ein Drittel der Waldressourcen der Nanga Parbat-Region (ohne Gor) bestehen im unteren Talabschnitt des Astor-Tales (von Harchu bis Doian). Ebenfalls ca. ein Drittel des Waldbestandes befinden sich in den Tälern der Nordabdachung (Raikot-, Buldar-, Lichar-Tal), wo jedoch 1990 nur ein Zwanzigstel der Bevölkerung der Region siedelt. Den größten Nutzungsdruck erfahren die Talbereiche des oberen Astor-Tales (Astor bis Gurikot) und des Rupal-Tals, die zusammen genommen weniger als ein Drittel der Waldressourcen, jedoch mehr als zwei Drittel der Bevölkerung (1990) der Region besitzen. Überlagert wird diese aus dem Bevölkerungsdruck resultierende Nutzungsintensität im Astor- und Rupal-Tal durch die bis in die 1980er Jahre andauernde hohe Bedarfsdeckung an Brenn- und Bauholz für die Armeestandorte. Zusätzlich beeinflussen kommerzielle Einschlagrechte (Harchu, Zaipur, Rama - z.T. als Kontraktorverträge für die Armee, vgl. CLEMENS 2001), eine gute Erreichbarkeit und das illegale Abholzen durch die lokale Bevölkerung das Ausmaß der Nutzungsintensität. Auch die Täler der Nordabdachung wurden kommerziell bewirtschaftet und temporär sind erhebliche Degradierungen in den Waldbeständen entstanden, jedoch bestehen aktuell

keine Kontraktorverträge mehr, der Bevölkerungsdruck ist gering und das Regenerationspotenzial der Wälder hoch, so dass die Nutzungsintensität als gering angesehen werden kann..

Sichtbare Veränderungen der Waldbestände im Landschaftsbild sind die Anhebung der unteren Waldgrenze, eine Degradierung der submontanen und montanen Nadelwälder in ihrer Bestandesstruktur bis hin zur vollständigen Abholzung sowie eine besonders hohe Beeinträchtigung und Abholzung siedlungsnaher Holz-



- Legende nach TROLL 1939:**
- Gletscher und Schneeflächen
  - ohne Vegetation
  - Alpine Matten
  - Birkenwald
  - Gemischter Bestand Birke / Koniferen
  - feuchter Koniferenwald
  - Artemisia
  - Wüstesteppe
  - Kulturland
  - Pinus gerardiana* / degradiertes Baumbestand
  - Juniperus semiglobosa* / degradiertes Baumbestand
  - Waldgrenze feuchter Höhenwald
  - Degradierung der unteren Waldgrenze des Höhenwaldes
  - aus den Bildvergleichen festgestellte Degradierung des feuchten Nadelwaldes
  - ? von C. Troll stark überschätzte Bestände
  - Astor-Straße, Jeep-Pisten
- Layout: R. Spohner  
 Quelle: Vegetationskarte (TROLL 1939), DGM Nanga Parbat  
 Profilberechnung: R. Spohner  
 Kartographie: R. Spohner

Abb. 5.3.6.1: Raumdynamik-Modell der Veränderungen im submontanen Baum- und Waldbestand und Beeinträchtigung der unteren Waldgrenze im Astor-Tal (Quelle: multitemporale qualitative Analyse terrestrischer Fotografien)



bestände, welche in allen Talbereichen zu beobachten ist. Besonders starke Veränderungen zeigen sich im Astor-Tal, wo sowohl eine deutliche Anhebung der unteren Waldgrenze (v.a. oberes Astor-Tal) als auch eine im besonderen Maße abgelaufene Zerstörung der submontanen Bäume und Wälder sichtbar werden (vgl. Abb. 5.3.6.1). Da wo die Nutzungsintensität der Holzbestände die nachhaltige Versorgung der Bevölkerung mit Brenn- und Bauholz gefährdet, können Adaptionstrategien in der Landschaft beobachtet werden. Diese umfassen die Anpflanzung von verschiedenen Baumarten innerhalb der Bewässerungsflur (*farm forestry*-Projekte), entlang der Bewässerungskanäle und auf Flächen, die von Überschußwasser profitieren.

Die landwirtschaftlichen Flächen sind in dem beobachteten Zeitraum in allen Talbereichen erweitert worden. Jedoch limitieren erhebliche Kosten, ein hoher Aufwand für die Bereitstellung geeigneter Terrassen (Bau von Kanälen, Anlegen von Terrassen in zunehmend steileren Lagen) und das geringe vorhandene Flächenpotenzial für Ackerflächen den Flächenausbau. Das starke Bevölkerungswachstum und die begrenzten landwirtschaftlichen Flächenressourcen bewirken schon lange keine ausreichende Eigenversorgung mehr, so dass die Region auf eine subventionierte Aussenversorgung angewiesen ist. Eine Verbesserung der Versorgungslage wird anhand einer Intensivierung in der Landwirtschaft mit neuen ertragsreicheren Varietäten der Ackerfrüchte, verkürzten Fruchtfolgen und einer Reduktion von Brachland angestrebt. Im Landschaftsbild läßt sich diese Entwicklung nur schwer dokumentieren, lediglich die sich verändernde und wachsende Siedlungs- und Infrastrukturstruktur weist auf das starke Bevölkerungswachstum hin. Aktzentuiertere Terrassenlandschaften (nivellierte Terrassen, z.T. geteilt, Aufbau und Erneuerung der Ackerterrassenmauern, vgl. Abb. 5.3.6.2, 5.3.4.3 [A], 5.3.2.34 [A]) und eine intensivere Nutzung von Brachland innerhalb der Bewässerungsflur sowie von Flächen an Moränenterrassenhängen (vgl. Astor) und im Bereich der Flußläufe auf Schwemmfächern (Bulan) und niedrigen Uferterrassen (Rupal-Tal) geben weitere Hinweise. In wieweit die erkennbare Veränderung der Waldbestände und Bewässerungsflächen noch eine nachhaltige Nutzung der vorhandenen Ressourcen gewährleistet kann durch die qualitative Analyse nicht geklärt werden, dazu müssen bewertende quantitative GIS-Analysen mit raumbezogenen und statistischen Daten herangezogen werden (vgl. Kap. 7.2).



Abb. 5.3.6.2: Sichtbare Intensivierung der Landwirtschaft in der Sommerbausiedlung Pungadori (Raikot-Tal) von 1937 bis 1997 ohne große Flächenerweiterung, jedoch mit aktzentuierterer Ackerterrassenlandschaft [Foto oben: C. Troll 12.06.1937, Foto unten: A. Walter 1997]



#### 5.4 Bewertung der systematischen qualitativen Analyse der Landschaftsveränderung

Die systematische qualitative Analyse von Landschaftsveränderungen anhand von wiederholt aufgenommenen Fotografien birgt ein hohes Potenzial zur Dokumentation von raum-zeitlichen Prozessen im Hochgebirgsraum. Erhöhte Foto-Standorte geben eine überblickartige Einsicht in die Täler und auf Gegenhangareale, so dass mit Hilfe der Fotografien eine umfassende und relativ schnelle objektive Erfassung visueller Informationen der Landschaft möglich wird. Bei systematischem Ausbau eines Bildarchivs mit retrospektiven Vergleichsstandorten kann auf methodisch einfache und kostengünstige Weise ein Monitoring-Ansatz geschaffen und zukünftig ausgebaut werden, der nicht nur dem Wissenschaftler dazu dienen soll, sichtbare Veränderungen zu detektieren, sondern auch für partizipatorische Projektansätze in der Region eingesetzt werden kann. MATHER (2000: 155) bestätigt: *“when presented with authentic and reliable visual information about their resources, forest users are more inclined to take active roles in decision-making and, by using approaches, facilitators of community forestry processes and forest users are able to develop a clearer understanding of the community profile in the context of resource use”* (vgl. AKRSP Programme zu *Participatory Learning and Action - PLA*; CLEMENS et al. 1998: 222f). Systematische lokale Detailstudien erbringen eine räumliche Differenzierung der Input-Bedingungen des Landnutzungssystems und zeigen deutlich die Auswirkungen der Output-Anforderungen des Systems an die Landschaft. Somit kann eine qualitative vergleichende Fotointerpretation lokalspezifische Antworten auf das WO, WAS und WIEVIEL (in relativen Größenordnungen; nur in Verbindung mit GIS-Daten sind absolute Flächenangaben möglich) einer möglichen Landschaftsdynamik leisten, jedoch müssen umfassende Aussagen und Bewertungen zu den *driving forces* zusätzlich durch dorfspezifische sozio-ökonomische Daten, Interviews, Geländearbeit sowie die vorhandene historische Literatur gestützt werden (vgl. NÜSSER 2000: 354; SOUTHWORTH 2001).

Problematisch - aber in mancher Hinsicht auch vorteilhaft - ist die Schrägsicht in den Geländeausschnitten zu bewerten. Offensichtliche Degradationen, starke Auflichtungen, Vegetationssukzessionen und infrastrukturelle Veränderungen (Siedlungserweiterung, Straßennetz) sind eindeutig ablesbar aus den Fotografien. Im Gegensatz dazu lässt sich jedoch in den meisten Fällen die Dichte von Beständen nicht genau erfassen (vgl. WALTER 1999: 96; NÜSSER & SCHICKHOFF 1996: 101). Dem gegenüber bietet die aufrissähnliche Wiedergabe der Landschaft in terrestrischen Fotografien Vorteile im schnellen Identifizieren von markanten Strukturen anhand ihrer Form, Größe sowie Lage und garantiert für eine partizipatorische Anwendung einen höheren Wiedererkennungsgrad als bei der Verwendung von Senkrechtaufnahmen (Luftbilder, hoch auflösende Satellitendaten). Dem Problem von sichttoten Räumen kann entweder durch eine Erhöhung der Standortzahl oder durch zusätzliche Geländebegehungen begegnet werden. Ein weiterer zu beachtender Faktor ist die z.T. sehr unterschiedliche Aufnahmeentfernung der verschiedenen Vergleichsstandorte. Das führt häufig zum Problem der nicht eindeutigen Differenzierung von Objekten, wie z.B. der Obst- und Nutzholzbestände. Ist die Aufnahmeentfernung sehr groß, was aufgrund der exponierten Standorte im Hochgebirge häufig der Fall sein kann, ist es nur noch möglich den allgemeinen Habitus (Größe, Form: kernenförmig - Konifere, oval langgestreckt - Pappel, rundlich - Obst- oder Nutzholz z.B. Maulbeere, Walnuss, Weide etc.) zu bestimmen. Auch lässt sich z.B., wie für *Churit* erfolgt, aufgrund zu großer Entfernung, die Anpflanzung von über 4700 Jungbäumen (v.a. Pappeln, Apfel-, Kirsch- Maulbeer- und Aprikosenbäume) in der Bewässerungsflur nicht nachvollziehen (vgl. CLEMENS 2001: 153). Ein weiterer kritischer Punkt bei der quantitativen Ermittlung von Objekten aus terrestrischen Bildern ist das Problem der Verdeckung oder der schon oben angesprochenen sichttoten Räume. Flächengrößen können generell aufgrund der perspektivischen Verzerrung nur mit Attributen wie ‚größer‘ oder ‚kleiner‘ erfasst werden und ein ‚mehr‘ oder ‚weniger‘ an Objekten (Bäume, Häuser) erfolgt zwangsläufig anhand der Zählung sichtbarer Individuen ergänzt durch eine Abschätzung der verdeckten Objekte (Häuser im Dorfkern oder verdeckt durch Bäume). Zwingend notwendig für diese Analyse ist eine ausreichende Detailgenauigkeit der Aufnahmen,

die unter anderem abhängig ist von der Qualität der historischen und aktuellen Aufnahmen (Filmauflösung, Schmutz/Kratzer, defekte Filmemulsion/Glasplatten der historischen Bilder, Kontrast der Bilder, Filmentwicklungsprozess) und der Reproduktion von Duplikaten (Labor, Scannen). Einige Prozesse der Veränderung des landwirtschaftlichen Systems, wie z.B. das zunehmende Problem der Besitzersplitterung aufgrund des Realerbrechtes (vgl. PILARDEAUX 1995: 100) werden nicht zwangsläufig als physiognomischer Indikator im Bild der Bewässerungsflur sichtbar. Im überwiegenden Maße sind die Ackerterrassen über die Jahrzehnte gleich groß geblieben und keine neuen Abgrenzungskriterien, wie z.B. neue Ackerraine oder Bewässerungsfurchen, weisen auf die Verkleinerung der landwirtschaftlichen Flächen pro Haushalt hin (vgl. Bildvergleiche Astor im Anhangsband). Das lässt sich auf eine meist gemeinschaftliche Bewirtschaftung (Bewässern und Bestellen) der väterlichen Felder zurückführen (Mittlg. CLEMENS Febr. 2002). In diesem Zusammenhang soll noch einmal auf die Problematik vorhandener statistischer Daten verwiesen werden. Die aus den Bevölkerungsdaten und der kultivierten Fläche abgeleiteten Daten des Bevölkerungsdrukkes der einzelnen Dörfer aus den offiziellen Quellen können nur mit Einschränkung verwendet werden, da die Flächenangaben zur bewässerten Fläche fraglich sind. Grundlegender Informationsbedarf besteht auch hinsichtlich der Nutzungsrechte für Wald- und Weidewirtschaft eines Dorfes um die Ausmaße von Landschaftsveränderungen oder das natürliche Potenzial eines Talraumes hinreichend bewerten zu können (territoriale Basisdaten für das Nanga Parbat-Gebiet aus NÜSSER 1998 und CLEMENS 2001), was aus dem zwar umfassenden und auch objektiv vollständigen Bildmaterial aber trotzdem nicht abgeleitet werden kann. Dies weist auf die schon oben angesprochene Basisanalyse der qualitativen Bildauswertung hin, die in jedem Fall durch Zusatzinformationen gestützt werden muss.

Vielfältige Einflussfaktoren können auf diese Methode der *change detection* einwirken, wobei das Gros der Fehler aus dem Prozess der Datenerhebung und weniger aus dem Interpretationsprozess resultiert (vgl. Kap. 5.2, vgl. SPOHNER 1993: Kap. 4). Vergleichende Bildinterpretationen können auf unterschiedliche Weise erfolgen (s.o. Kap. 5.1), sollten jedoch in jedem Fall von geländekundigen Interpreten unter zu Hilfenahme ergänzender Informationen ausgewertet werden. Gerade das historische Bildmaterial birgt Informationsebenen, die durch das aktuelle Landnutzungssystem möglicherweise nicht mehr erklärbar sind, so dass, wenn möglich, Zeitzeugen und historische Literatur (Forschungsberichte, Reiseberichte) hinzugezogen werden müssen. Im Idealfall wird für die vergleichende Datenerhebung ein synchroner Aufnahmezeitpunkt sowie eine möglichst gleiche bzw. gleichwertige Ausrüstung angestrebt, dem jedoch in den meisten Fällen aus diversen Gründen nicht entsprochen werden kann. Zum einen sind häufig die alten Aufnahmesysteme (meist großformatige Systeme ohne relevante Linsenverzerrung) nicht mehr verfügbar, so dass auf handelsübliche Kleinbild oder im günstigsten Fall auf Mittelformatsysteme zurückgegriffen werden muss und es somit automatisch zu projektiven Verzerrungen bei den Fotoreplikaten kommt. Andererseits können selbst bei genauer Wiederholung des Aufnahmezeitpunktes unterschiedliche Wetterverhältnisse (Wolken, Wolkenschatten, Schneebedeckung) zu völlig veränderten Beleuchtungs- und Objektverhältnissen führen. Bei Nichterfüllen eines genauen Wiederholungszeitpunktes müssen die daraus resultierenden Vegetationsunterschiede der Laubgehölze und Ackerfrüchte im besonderen Maße für den Interpretationsprozess berücksichtigt werden. Farbaufnahmen erleichtern bei aktuellen Wiederholungsaufnahmen die Interpretation von Objekteigenschaften, was für das historische Material in den meisten Fällen nicht gegeben ist und sich letztendlich im Differenzierungsgrad der vergleichenden Legende ausdrückt (s.o., vgl. SPOHNER 1993: 47). Wie sich gezeigt hat, leisten Bildarchive mit retrospektiven Fotovergleichsstandorten einen grundlegenden Beitrag zur qualitativen Erfassung von Landschaftsdynamik. Unter Berücksichtigung der oben genannten Einflussfaktoren und möglichen Fehlerquellen können sogar nicht standortgleiche Fotografien verwendet werden und zu Erkenntnissen beitragen.

## 6. Quantitative Auswertung raumbezogener Basisdaten - Photogrammetrie und Fernerkundung

### 6.1 General baseline data für die quantitative lokale und regionale *land use/land cover* Analyse

Ein qualitativer Monitoring Ansatz, der aus einer systematischen bi- oder sogar multitemporalen Bildanalyse besteht, kann zwar einen fundierten Beitrag zur Erfassung von Landschaftsdynamik leisten (Kap. 5), jedoch wird die Frage nach dem quantitativen Status und der geoprojezierten Verbreitung von *land use/land cover* Information nur unzureichend beantwortet. Im Sinne der von DAPLARCH I 1997 formulierten Prioritätenliste zur Erfassung von *general baseline data* für *land use/land cover change* Studien sind dazu u.a. aktuelle und historische raumbezogene Daten zur *land use/land cover* Information notwendig (Kap. 1.2, Tab. 1.2.1), die sowohl den Status und die Verbreitung der Landbedeckung und -nutzung als auch eine Umwandlung oder Modifikation in seiner Stärke und Verortung dokumentieren. Die DAPLARCH-Initiative stellt fest, dass zur verbesserten Dokumentation eine Kombination aus historischer Rekonstruktion und aktueller Fernerkundung benötigt wird ([www.geo.ub.ac.be/LUCC/lucc.html](http://www.geo.ub.ac.be/LUCC/lucc.html) - *Data initiatives*). Die Satellitenfernerkundung gewährleistet heute für die Analyse von Veränderungen eine multitemporale Abdeckung von fast 40 Jahren. Über diese Zeitspanne hinaus müssen historische Datensätze, wie Karten, Luftbilder und Fotografien herangezogen werden. Für viele Studien kann sich somit ein Datenpool ergeben, der in seinen räumlichen und spektralen Eigenschaften stark variiert und dadurch einen differenzierten *level of detail* besitzt. Die Integration historischer Karten wird um so schwieriger, je weniger über ihre geometrischen und thematischen Eigenschaften bekannt ist (PETIT & LAMBIN 2001: 786). Ein Abgleich der heterogenen Ausgangsdaten hinsichtlich der thematischen Details und ihrer räumlichen Auflösung ist absolut notwendig. Dies kann erzielt werden durch eine hierarchische Legende, die alle *level of detail* umfasst und zu einer einheitlichen Abgrenzung von Wald in allen Datenmaßstäben führt (vgl. Abb. 5.1.3, Tab. 4.3.1.1 [A]). Darüber hinaus muß eine intensive Quellenkritik der historischen Daten vorgenommen werden, die - wenn möglich - in einem Qualitätsindex zusammengefasst werden (vgl. Kap. 6.3). Eine vergleichende Aussage aus einem heterogenen Ausgangsdatensatz kann abschließend nur anhand einer Postklassifikation vorgenommen werden (vgl. Kap. 6.4). Im vorliegenden Fall sind es die terrestrischen Stereobildpaare und die multitemporalen Satellitendaten in Kombination mit historischen Kartenwerken, die mit Hilfe analytischer Photogrammetrie sowie visueller und halbautomatischer Klassifikation raumbezogene Basisdaten für eine Veränderungsanalyse liefern.

### 6.2 Quantitative Bildanalyse von terrestrischen Stereobildern – Basisdaten für die Zeitschnittanalyse im lokalen Maßstab

„Aussagen und Messungen [...] aus photographischen Bildern“ sind „nachprüfbar, selbst wenn die abgebildete Landschaft sich längst geändert hat“ (KICK 1972: 147). Mit diesen Worten stellt KICK das Potenzial fotografischer Bilder als wertvolle Informationsquelle für Regionen in den Vordergrund, in denen eine unmittelbare Begehung nur schwierig und mit erheblichem Aufwand durchgeführt werden kann. Die Möglichkeiten einer messtechnischen Auswertung von Bildinformationen werden für den Bereich der Hochgebirgsforschung nur selten ausgeschöpft und in erster Linie für die flächenhafte Erfassung von Gletschern und deren Veränderungen eingesetzt. In europäischen und amerikanischen Hochgebirgen dominieren lokale und regionale Untersuchungen aus Senkrechtaufnahmen (Luftbild, Satellitenbild) die raumbezogene Erfassung von *land-use/land-cover* Analysen. In den meisten Fällen ist in diesen Regionen die historische Dokumentation durch die Zugänglichkeit zu historischen Luftbildzeitreihen gewährleistet. Politisch sensible Hochgebirgsregionen, wie der Gebirgsknoten des Hindukusch, Himalaya und Karakorum, weisen einen

Mangel an geeigneten Zeitreihen auf oder vorhandene Daten aus Befliegungen sind aufgrund militärischer Restriktionen nicht zugänglich. In Abwesenheit geeigneter Luftbilder stellen historische Waagerechtaufnahmen (Erdbildmessung) früherer Expeditionen die notwendige Datenbasis für eine raumbezogene Erfassung von Landbedeckung und -nutzung dar und gewährleisten neben einer photogrammetrischen Auswertung die Validierung von vorhandenem historischen Kartenmaterial (vgl. SPOHNER 1993, WALTER 1999).

Die vorliegende Arbeit ist vor allem aufgrund der Projektstruktur (begrenzter Kosten- und Personalrahmen) auf den Einsatz von photogrammetrischen Standardverfahren ausgelegt und nutzt die heutzutage verfügbaren, durch PC-gesteuerte Auswertegeräte unterstützten Auswerteverfahren, die auch von Nicht-Photogrammetern geleistet werden können. Auf zukünftige softwarebasierende Lösungen der photogrammetrischen Auswertung wird kurz im Kap. 6.2.2 eingegangen.

Folgende Zielvorstellungen liegen der photogrammetrischen Auswertung der historischen terrestrischen Stereobildpaare zugrunde:

- a) Die räumliche Erfassung der submontanen Trockenwälder und der feuchten Nadelwälder im ältesten vorhandenen Zeitschnitt, soweit sie aus dem Bildmaterial erkennbar sind.
- b) Die Verifikation der Vegetationskarte von TROLL (1939) in den vorhandenen Modellbereichen der Stereobildpaare.

Aus der im Kapitel 5.3 festgestellten starken bis totalen Degradation der Trockenwälder und der Tatsache, dass diese Formation in der Vegetationskarte von 1939 lediglich mit Hilfe einer raumrepräsentativen Signatur gekennzeichnet ist, ergibt sich die Notwendigkeit einer quantitativen Auswertung des historischen Bildmaterials hinsichtlich des flächenhaften Verlustes sowie der möglicherweise stattgefundenen selektiven Degradation der Bestände. Zusätzlich dazu dienen die photogrammetrischen Modellauswertungen zur Qualitätskontrolle der Kartierung der historischen Vegetationskarte. Auswertungen der aktuellen Stereomodelle dienen in Abwesenheit höchstauflösender Fernerkundungsdaten der Vegetationserfassung (Einzelbäume, Büsche, Waldflächen) im lokalen Maßstabsbereich.

### **6.2.1 Analytische Auswertung terrestrischer Stereomess- und Stereoamateurbilder**

Die Rekonstruktion von Objekten in ihrer Lage und Form aus fotografischen Bildern erfolgt mit Hilfe der Photogrammetrie, wobei die berührungslose Informationsgewinnung von Objekten und Objekteigenschaften auch als Fernerkundung bezeichnet wird (KRAUS 1997: 1). Der terrestrischen Photogrammetrie, auch Erdbildmessung, liegen Waagerechtaufnahmen zugrunde, bei denen im Regelfall die Bildebene vertikal zur Aufnahmeachse steht, die Aufnahmeachsen horizontal verlaufen und das Aufnahmeobjekt nach den Gesetzen der Zentralprojektion auf der Bildebene abgebildet wird. In Ausnahmefällen werden auch geeignete Aufnahmeachsen (Schrägaufnahmen) zur besseren Objektdeckung verwendet (RÜGER et al 1987: 65). Für die Erfassung topographischer Objekte und *land use/land cover* Informationen aus Fotografien kommen stereophotogrammetrische Standardverfahren zum Einsatz, bei denen dem Prinzip des stereoskopischen Sehens folgend von zwei erhöhten Standorten senkrecht zur ihrer Basis parallele Aufnahmen erzeugt werden. Die Aufnahme disposition des Normal- bzw. Verschwenkungsfalles liefert bei günstigem Basisverhältnis (Verhältnis der Basislänge zur Aufnahmeentfernung) überlappende Bildpaare, die mit Hilfe analoger oder numerischer Auswerteverfahren eine stereoskopische Erfassung und somit räumliche Messung der abgebildeten Objekte erlaubt (Abb. 6.2.1.1).



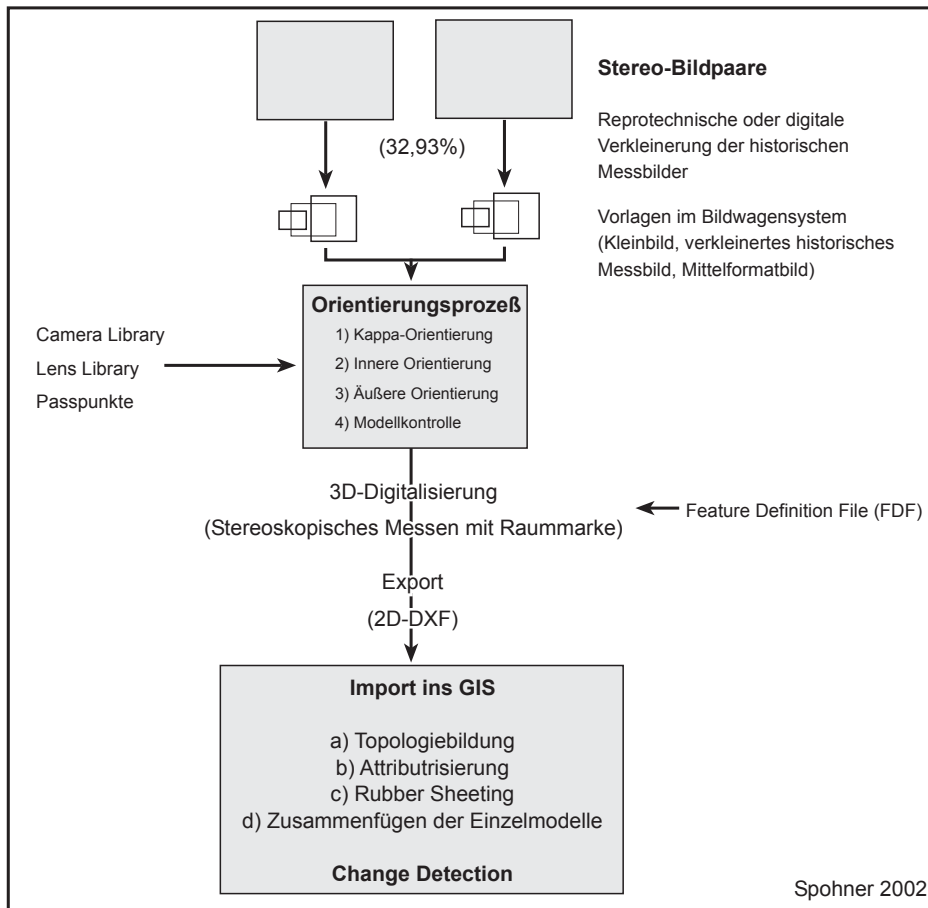


Abb. 6.2.1.1: Ablauf der photogrammetrischen Auswertung und Veränderungsanalyse im lokalen Maßstabbereich

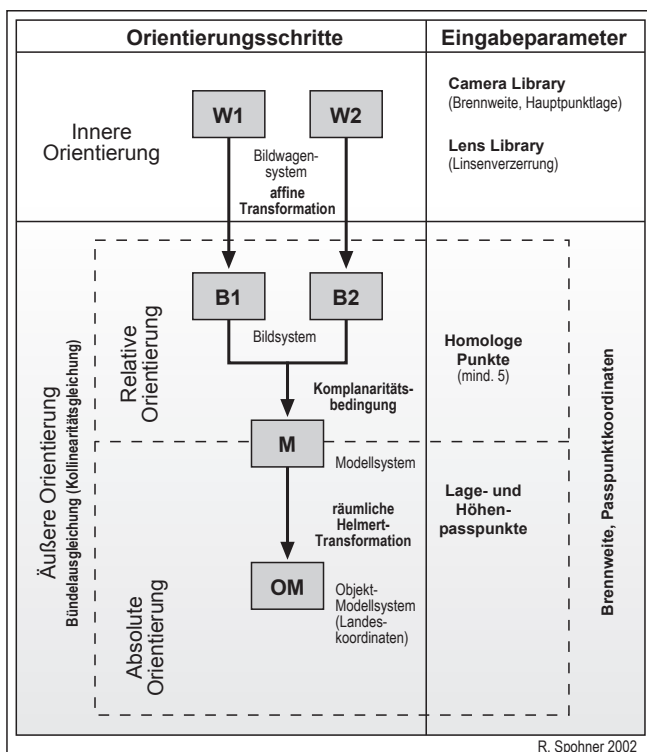


Abb. 6.2.1.2: Mehrstufiger Orientierungsprozeß

Voraussetzung für die räumliche Erfassung aus stereoskopischen Bildpaaren ist ein mehrstufiger Orientierungsprozess (Abb. 6.2.1.2), der eine Rekonstruktion des bildseitigen Strahlenbündels (innere Orientierung) sowie die Raumlage des Aufnahmestrahlenbündels in Bezug auf das Aufnahmeobjekt (äußere Orientierung) gewährleistet (RÜGER et al 1987: 18/19). Die notwendigen Eingangsparameter zur Bestimmung der räumlichen Lage des Projektionszentrums in Bezug auf die Bildebene sind die Kammerkonstante (Brennweite) des Aufnahmesystems und die Lage des Hauptpunktes, welcher anhand von Rahmenmarken oder dem Diagonalschnitt der Bildränder bestimmt werden kann und der das Bildkoordinatensystem definiert (Abb. 6.2.1.3). Im Idealfall sollte bei richtig justierten Kameras der Bildmittelpunkt mit dem Bildhauptpunkt zusammenfallen. Zur Rekonstruktion der inneren Orientierung erfolgt die Transformation der Ist- auf die Soll-Bildkoordinaten der Rahmenmarken, womit

regelmäßige Bilddeformationen aufgefangen werden können. Zusätzlich können in diesem Prozess die radialen optischen Verzerrungen berücksichtigt werden (KRAUS 1997: 40). Im allgemeinen wird heutzutage der genaue Aufnahmestandort nicht mehr eingemessen (unbekannte äußere Orientierung), so dass die Wiederherstellung der geometrischen Verhältnisse des Aufnahmevorganges bei numerischen Verfahren durch eine „digitale“ Projektion erzielt wird (KRAUS 1997: 114), die aus Passpunkten eines übergeordneten Landeskoordinatensystems abgeleitet werden kann. Dieser Vorgang läuft zweistufig ab, indem in der ersten Stufe anhand homologer Bildpunkte ein Stereomodell erzeugt wird (relative Orientierung), das in einem zweiten Schritt anhand von Passpunkten in ein übergeordnetes Objektsystem (absolute Orientierung) überführt wird (KRAUS 1997: 120f).

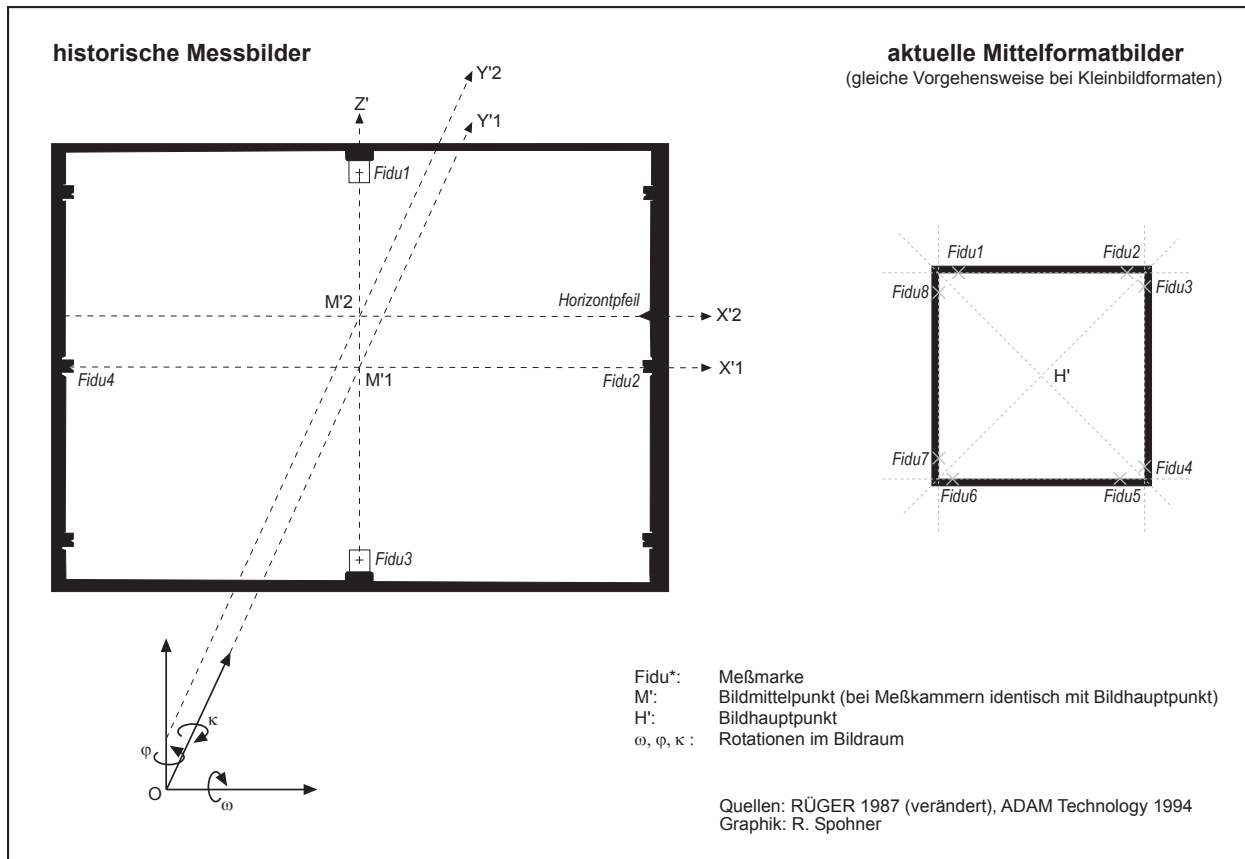


Abb. 6.2.1.3: Messmarken in den historischen Messbildern und aktuellen Vergleichsbildern zur Berechnung der inneren Orientierung

In der vorliegenden Arbeit bestimmen die Standorte der historischen Messbilder die Aufnahmedisposition der aktuellen vergleichenden Stereoamateurbildpaare. Erstere sind nach dem Prinzip der stereophotogrammetrischen Standardverfahren erstellt worden und in der Literatur sowie den zugehörigen Kartenwerken gut dokumentiert (FINSTERWALDER 1938, topographische Karte der Nanga Parbat-Gruppe 1:100.000 und 1:50.000 von 1936), so dass eine Wiederholung der Standorte in den meisten Fällen problemlos erfolgen konnte. Jedoch musste aufgrund der politischen Restriktionen in Bezug auf die vermessungstechnischen Aufnahmemethoden im Untersuchungsgebiet auf den Einsatz von Messkammern und GPS zur Lage- oder Passpunktbestimmung verzichtet werden, so dass die Aufnahme retrospektiver Standorte mit Hilfe von Kleinbild- und Mittelformatkameras mit unbekannter innerer Orientierung erfolgte. Die äußere Orientierung konnte durch Passpunkte aus der topographischen Karte 1:50.000 gewährleistet werden. War ein Aufsuchen der historischen Standorte nicht exakt rekonstruierbar oder möglich oder waren Neuaufnahmen weiterer Standorte notwendig, wurde ebenfalls dem Standardverfahren gefolgt - ohne genaue Einmessung der Standorte und nur mit genäherter Aufnahmerichtung anhand von Kompaßpeilungen (SPOHNER 1993,

WALTER 1999, Messprotokoll vgl. Anlage A [A]). Aufgrund der unbekanntenen äußeren Orientierung der historischen (bei der überwiegend nur Standortkoordinaten des rechten Standortes vorhanden waren) als auch der aktuellen Bildstandorte sowie einer nur angenähert erklärbaren inneren Orientierung der aktuellen Amateurbilder (kein Kalibrierungsprotokoll vorhanden) sind für die vorliegenden Auswertungen analytische Verfahren gefordert (KRAUS 1997: 161, REGENSBURGER 1990: 73, WARNER 1990: 26).



Abb. 6.2.1.4: Das PC-gesteuerte analytische Auswertegerät Micro-Photogrammetric System (MPS 2) von ADAM Technology (Quelle: ADAM Technology 1990)

Die numerische Auswertung der vorliegenden Stereomodelle erfolgte mit Hilfe des analytischen Plotters MPS-2 von ADAM Technology (Abb. 6.2.1.4), der in seiner Grundkonzeption aus einem optisch-mechanischen Grundgerät mit bidirektionaler Verbindung zu einem PC besteht. Das Bildformat ist auf 7cm x 7cm beschränkt. In Echtzeit werden die Projektbeziehungen zwischen Bild- und Objektkoordinaten vom PC gesteuert und ein praktisch verzögerungsfreies Abfahren des stereoskopisch wahrnehmbaren Objektmodells mit Hilfe der räumlichen Messmarke wird ermöglicht (zum Grundkonzept der analytischen Plotter vgl. KRAUS 1997: 198f, REGENSBURGER 1990: 194f, FELLBAUM 1992: 772f, PETRIE 1992). Der Vorteil eines universellen analytischen Auswertegerätes ist in seiner hohen Flexibilität hinsichtlich der Bildvorlagen zu sehen, da auch Bilder auszuwerten sind, deren innere Orientierung unbekannt ist. Darüber hinaus kann eine Genauigkeitssteigerung des Auswertemodells erreicht werden durch rechnerische Berücksichtigung aller mathematisch erfassbaren systematischen Fehlereinflüsse wie z.B. Filmverzug, Linsenverzeichnung, Erdkrümmung u.a. (REGENSBURGER 1990). Teilautomatisierte Arbeitsschritte, wie ein automatisches Anfahren von Bild-, Modell- oder Objektkoordinaten, die Beseitigung von Vertikalparallaxen und die Steuerung der Raummarke in beliebigen Ebenen beschleunigen die Modellbildung und den Messprozess (REGENSBURGER 1990: 76).

### **Problematik der Modellbildung und Digitalisierung aus historischem und aktuellem Stereo-bildmaterial**

Zur Vorbereitung der Modellbildung im MPS-2 erfolgte nicht nur eine Verkleinerung der historischen Bildvorlagen auf das Bildwagenformat (Kap. 4.4.2), sondern darüber hinaus mussten auch Lösungswege zur Rekonstruktion ihrer inneren Orientierung anhand der Rahmenmarken gefunden werden. Eine Messung der Bildkoordinaten der Rahmenmarken im MPS-2 in Kombination mit einem dafür entwickelten Programm lieferte die orthogonalen Abstände der Rahmenmarken und somit die Hauptpunktlage in den verkleinerten Bildvorlagen (vgl. Anlage B [A], Programm FIDUDIST). Zusätzlich war es möglich, durch Einmessen des Horizontpfeiles im MPS die Horizontverschiebung im Programm zu berücksichtigen. Da nicht alle Mess-

marken in den Verkleinerungen sichtbar sind, was v.a. bei den feinen Messkreuzen der Rahmenmarken 1 und 3 vorkommen kann, wurde mit Hilfe des Programmes DXDY (vgl. Anlage C [A]) eine „sekundäre Messmarke“ ermittelt, die in jedem Bild zu erkennen ist und in einer konstanten Beziehung zum Messkreuz steht (Abb. 6.2.1.5 [A], siehe dort Anlage C). Für den Fall, dass die Rahmenmarken 1 und 3 nicht sichtbar sind und eine Horizontverschiebung berücksichtigt werden mußte, kam das Programm HORIZ (vgl. Anlage D [A]) zum Einsatz. Die ermittelten reduzierten „Soll-Bildkoordinaten“ der Rahmenmarken sowie die reduzierte Brennweite (KRAUS 1997: 39) wurden in die „Camera library“ des Systems eingegeben und später während des Prozesses der inneren Orientierung mit den gemessenen Ist-Koordinaten verglichen. Waren keinerlei Rahmenmarken vorhanden, wie im Falle der Amateuraufnahmen (Kleinbild- und Mittelformat), bestand die Möglichkeit, durch einen Geradenschnitt der Ränder und einem folgenden Diagonalschnitt der Eckkoordinaten die Hauptpunktlage zu bestimmen (vgl. Abb. 6.2.1.3). Hier galt die Annahme, dass der Schnittpunkt der Diagonalen die Hauptpunktlage definiert. In der „Camera library“ konnten diverse Kameratypen festgelegt und den verschiedenen Jobs zur Modellbildung zugeordnet werden. Für die vorliegende Studie wurden vier Kameratypen etabliert, zwei zu den historischen Bildvorlagen und zwei für die aktuellen Vergleichsaufnahmen im Mittelformat. Eingaben für die „Lens library“ konnten nur für das 50mm-Distagon-Objektiv der Hasselblad-Kamera berücksichtigt werden. Die Angaben zur Brennweite und zur Verzeichnung der Linse wurden aus einem von ZEISS zur Verfügung gestellten Datenblatt zum Distagon-Objektiv entnommen (vgl. Abb. 6.2.1.6). Sowohl für die historischen Objektive als auch für die Objektive der Rolleiflex-Kamera sind die Verzeichnungen unbekannt.

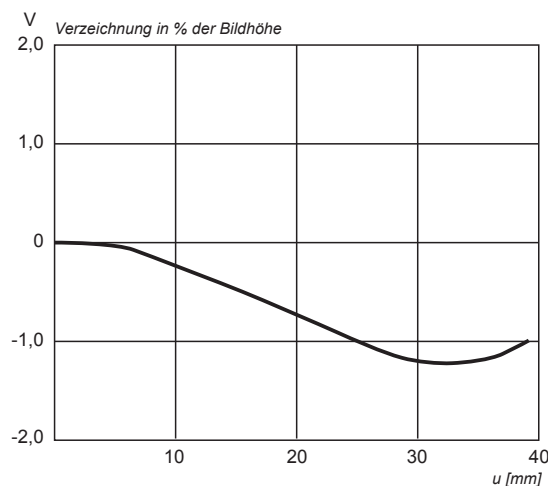


Abb. 6.2.1.6: Verzeichnung des Distagon T\* 4/50mm. Bei positiven V-Werten liegen die Bildpunkte weiter von der Bildmitte entfernt als bei exakt verzeichnungsfreier Abbildung (kissenförmige Verzeichnung). Negative V-Werte bedeuten eine tonnenförmige Restverzerrung (Quelle: ZEISS (verändert))

Der Modellbildungsprozess im MPS-2 gliedert sich in vier Arbeitsschritte (vgl. Abb. 6.2.1.1), wobei bei einmal erfolgter äußerer Orientierung eines Modells nur noch die innere Orientierung wiederholt werden muss. In einem **ersten Arbeitsschritt** wird eine Kappa-Justierung vorgenommen, um eine mögliche Rotation der Bilder um die Aufnahmeachse aufzufangen und einen verbesserten Stereoeffekt zu erzielen, was einer schnellen Ermüdung der Augen während des Messvorganges im virtuellen Modell vorbeugt. Als **zweiter Schritt** erfolgt die innere Orientierung, bei der die Rahmenmarken oder die Bildränder angefahren werden und der Abgleich der Ist- mit den Soll-Koordinaten erfolgt. Anhand der berechneten Residuen kann die Güte der inneren Orientierung bestimmt und durch erneutes Anfahren der Messmarken verbessert werden. Ein akzeptabler RMS-Fehler wird mit 0,01mm bis 0,02mm angegeben (ADAM Technology 1994: 82) und kann in Ausnahmefällen auch leicht höher liegen. Trotz der z.T. recht unsicheren inneren Orientierung der historischen und aktuellen Bildvorlagen liegen die ermittelten Residuen mit 0,018mm bis 0,035mm im Rahmen der Genauigkeitsanforderungen. Die jeweilige Messung von mindestens fünf homologen Punkten



im linken und rechten Bild in Kombination mit einer zu Beginn der Modellbildung erstellten Passpunktliste (Vollpasspunkte, Lagepasspunkte, Höhenpasspunkte) in Landeskoordinaten führt die relative und absolute Orientierung zu einer Lösung. Je nach Güte der Passpunkte und der zugehörigen Bildpunkte sowie der zuvor erfolgten inneren Orientierung gestaltet sich dieser **dritte Arbeitsschritt** sehr zeitintensiv, indem durch iteratives Vorgehen die Berechnung der äußeren Orientierung einer Lösung zugeführt und verbessert wird. Probleme bereitet hier v.a. die Bereitstellung geeigneter Passpunkte, da die Bildinformation der Bildvorlagen wesentlich höher ist als die Punktinformation in der dafür zugrundeliegenden Topographischen Karte 1:50.000. Die Akzeptanz des RMS-Fehlers der äußeren Orientierung hängt entscheidend vom Fotomaßstab und der Güte der Passpunkte ab (ADAM Technology 1994: 91). In der terrestrischen Photogrammetrie kann keine homogene Genauigkeit in der abzuleitenden Karte erreicht werden, da Lage- und Höhengenaugigkeit mit der Entfernung zum Aufnahmestandort abnehmen (RÜGER et al. 1987: 65). Die berechneten RMS-Fehler liegen mit wenigen Dekametern (10-20m) bei den historischen Modellen im allgemeinen um das dreifache niedriger als bei den Amateuraufnahmen, welches auf die relativ höhere geometrische Instabilität der Amateurkamera im Vergleich zur Messkamera zurückzuführen ist. Eine zusätzliche Kontrolle der äußeren Orientierung wird im MPS-2 mit der Bereitstellung der Orientierungsparameter (Standortkoordinaten, Basislänge, Höhendifferenz der Standorte, Konvergenzwinkel der Aufnahmeachsen) nach einer erfolgreichen relativen Orientierung gegeben. Zur abschließenden Überprüfung kann in einem optionalen **vierten Arbeitsschritt** das erzeugte Modell im Stereomodus durchfahren und mit der jeweils korrespondierenden Anzeige der Objektkoordinaten auf dem Monitor verglichen werden. Hier zeigt sich auch, ob das Modell parallaxenfrei ist.

Im allgemeinen wurden nach erfolgtem Orientierungsprozess zufriedenstellende Modelle mit gutem Stereoeffekt erzeugt, die mit Hilfe des stereoskopischen Messprinzips mit einer virtuellen Messmarke dreidimensional ausgewertet werden können. Die Erfassung von Objekten geschieht durch stereoskopisches „Aufsetzen“ der räumlichen Messmarke auf die Modelloberfläche, wodurch in beiden Bildvorlagen homologe Punkte fixiert und die zugehörigen Objektkoordinaten digitalisiert werden (KRAUS 1997: 175). Es entsteht ein digitales Objektmodell mit den Entitäten Punkt, Linie und Fläche, die jeweils eine zusätzliche Verschlüsselung mit eindeutiger Beschreibung der Objektart erhalten (vgl. FDF = Feature Definition File, Tab. 4.3.1.1 [A]). Erste Testauswertungen zeigten systematische Lageabweichungen der digitalen Objekte, die durch Modelldeformationen aufgrund der instabilen Kamerageometrie zu erklären sind (s.o.). Da in diesem Fall aufgrund fehlender Detailinformationen (innere Orientierung, Passpunkte) keine weitere Verbesserung der Modelle erfolgen kann, bekommt die relative Genauigkeit einen höheren Stellenwert als die absolute. WARNER (1990: 26) stellt dazu fest: „*To guarantee the required relativ accuracy, it is necessary to relate the small-format measurements to a sound geometric base, ie., an existing map or metric camera photograph. In this way the geometric instability of small-format camera photos can be corrected*“. In diesem Sinne erfolgte nicht nur eine Erfassung der Objekte für die thematische Zielsetzung (untere Waldgrenze, Verbreitung des Trockenwaldes), sondern eine zusätzliche Auswertung von Tiefenlinien, Formlinien, Graten und Straßen, die als Gerüst für eine anschließende Einpassung auf die topographische Karte oder hochauflösende Satellitenbilder diente (s.u. *Rubber Sheeting* Prozess in ArcInfo, vgl. SPOHNER 1993). Können Flächen aufgrund sichttoter Räume nicht geschlossen digitalisiert werden, repräsentieren Linien die Grenzen der Flächenobjekte und erfahren anschließend im GIS durch Interpolation ihre flächenhafte Ergänzung. Die digitalisierten Flächen umschließen Areale geschlossener Baumbestände sowie bewässerter Flächen. Wie zu Beginn definiert, werden geschlossene Baumbestände der submontanen und montanen Stufe nach MIEHE & MIEHE (2000) mit einem Deckungsgrad ab 10% (*sparse woodland*) erfasst.

Die Aufbereitung der digitalisierten Stereomolldaten erfolgt im GIS ArcInfo. Der Datentransfer vom photogrammetrischen Erfassungsgerät MPS zum GIS wird durch das DXF-Datenformat gewährleistet. Bevor eine Anpassung der systematisch verzerrten Molldaten an die Basisgeometrie der topographischen Karte

erfolgen kann, muß zunächst die Topologie der einzelnen Punkt-, Linien und Flächen-Datensätze erzeugt werden, die Attributisierung des Objektschlüssels erfolgen und die einzelnen Datentypen je Modellbereich zu einem Datensatz (*coverage*) zusammengefügt werden. Letztgenannter Schritt ist notwendig, damit der *Rubbersheeting*-Prozess kontrolliert in einem Durchgang für Punkt-, Linien- und Flächenobjekte ablaufen kann (vgl. dazu auch SPOHNER 1993). Das *Edgematch*-Modul in ArcInfo ermöglicht, anhand des Setzens von Verschiebungsvektoren (*link*) die verzerrten Modelldaten an die Basisgeometrie anzupassen. Aufgrund der im Vergleich zur topographischen Karte höheren Bildinformation der terrestrischen Fotografien und der daraus resultierenden Digitalisierung von Tiefen- und Formlinien zur verbesserten Einpassung der erfassten Baumbestände werden als Geometriebezugsbasis die geokodierten hochaufgelösten Satellitenbilder der CORONA- und KVR/KFA-Missionen bevorzugt. Im Anschluß an eine räumliche Entzerrung der Modelldaten erfolgt eine Reduktion der Datensätze auf die thematisch relevanten Objektdaten (Einzelbäume, Büsche, Waldflächen, Bewässerungsflächen), die flächenhafte Interpolation nicht geschlossener Polygone sowie ein Zusammenfügen einzelner Modellbereiche zu einem lokalen Datensatz.

Im Gegensatz zur Vegetationskarte von 1939, in der die Verbreitung des submontanen Trockenwaldes nur anhand von Signaturen gekennzeichnet ist, speichern die historischen Messbilder die räumliche Information objektiv und umfassend. Insgesamt fünf Modelle von drei verschiedenen Standorten im Astor-Tal liegen der Auswertung der historischen Situation zugrunde und zeigen trotz sichttoter Räume und schleifender Aufnahmestrahlen in den Seitentälern sehr gut die Vorkommen von *Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa* im Jahr 1934 (Abb. 6.2.1.7 [A], 6.2.1.8 [A]). Für einen Standort erfolgte eine vergleichende Auswertung aus dem Jahr 1995. Für einen weiteren Standort lag nur ein Modell aus Kleinbildern vor, welches trotz guter Stereoskopie erhebliche Lageverzerrungen aufwies. Der Standort „Dichilfinger“ konnte aufgrund schwieriger Geländebeziehungen nicht wiederholt aufgesucht werden. Für das Raikot-Tal liegen die Ergebnisse einer photogrammetrischen Auswertung von aktuellen Amateuraufnahmen aus der Arbeit von WALTER (1999) vor und wurden für die ostexponierte Jalipurflanke ergänzend erstellt (Abb. 6.2.1.9 [A]). In dieser Arbeit konnten für die westexponierte Talflanke aufgrund von nicht rekonstruierbarer innerer Orientierung die historischen Bildvorlagen nur qualitativ genutzt werden.

Die zeitliche Dynamik der Degradation der Baumbestände im Astor- und Raikot-Tal kann anhand der vorhandenen Zeitschnitte der terrestrischen Fotografien mit einer Zeitschnittdifferenz von 60 Jahren und mehr nicht immer nachvollzogen werden. Die Feststellung eines zeitlich und damit auch häufig räumlich differenzierend wirkenden Verlaufes der Degradation kann nur durch weitere Zeitschnittdokumentationen gestützt werden, um mögliche Aussagen zu den Ursachen der Veränderung einzugrenzen. In der vorliegenden Arbeit stehen zusätzliche Zeitschnitte aus den hochauflösenden Satellitendaten der CORONA- und KVR-Missionen zur Verfügung, die anhand einer rein visuellen Interpretation und auch semiautomatischen Klassifikation (vgl. Kap. 6.4.5) weitere Stützpunkte einer Zeitreihenanalyse liefern können. Zusätzlich für den lokalen Maßstabbereich und insbesondere für die Erfassung der Bewässerungsflächen ermöglichen die semiautomatisch aus den multispektralen Datensätzen der ASTER-Szene erzeugten *land cover* Daten eine Dokumentation der aktuellen Entwicklung (vgl. Kap. 6.4.4). Für die Gebiete der lokalen Analyse ergeben sich somit folgende zusätzliche Zeitschnitte, die im Kapitel 7.3 (vgl. Abb. 6.2.1.10) zusammenfassend in der Veränderungsanalyse dargestellt werden:

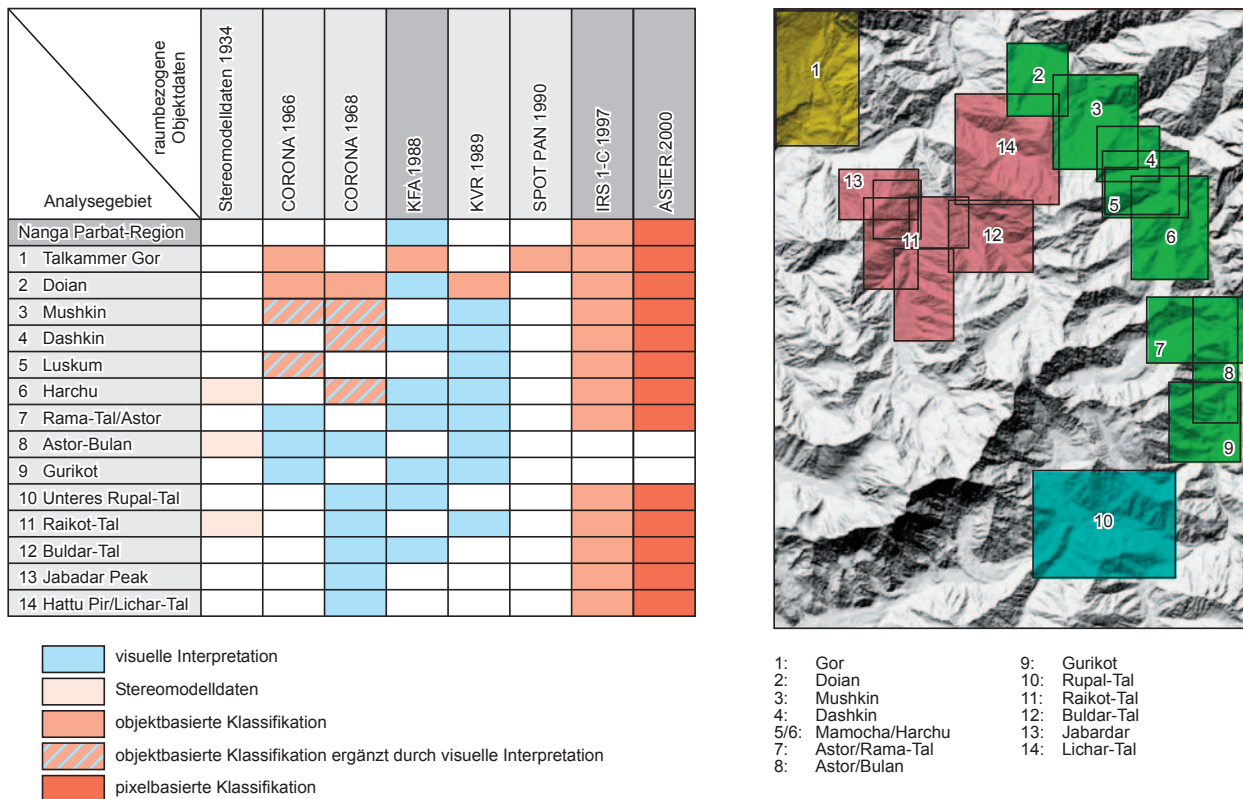


Abb. 6.2.1.10: Aufstellung der lokalen Analysegebiete mit den zugehörigen Auswerteverfahren und raumbezogenen Basisdaten (Grafik: R. Spohner)

### 6.2.2 Grenzen und Möglichkeiten der Auswertung terrestrischer Fotografien

Die Erfahrungswerte aus der photogrammetrischen Auswertung zeigen, dass sowohl im Falle der terrestrischen historischen Stereomessbilder als auch der aktuellen Kleinbild- und Mittelformatfotografien Messungenauigkeiten aus Problembereichen der inneren und äußeren Orientierungsprozesse resultieren. Die Grenzen einer absoluten Genauigkeit ergeben sich in erster Linie aus der angenähert rekonstruierten inneren Orientierung der historischen Bilder, der weitgehend unbekannt inneren Orientierung der aktuellen Vergleichsbilder, der Passpunktableitung aus der topographischen Karte 1:50000 sowie den relativ kleinen Auswertemaßstäben der Fotografien aufgrund ihrer hochgelegenen Standorte im Hochgebirgsrelief. WARNER (1990: 25) formuliert vier Kriterien, die eine akzeptable Genauigkeit für eine Datenerfassung aus "small format"-Kamerasystemen gewährleistet:

- Wahl brauchbarer Aufnahmeconfiguration (terrestrische Standardverfahren),
- Bereitstellen einer notwendigen Objekt-Raum-Kontrolle (Passpunkte)
- Entgegenwirken möglicher Kamerainstabilität durch Kombination des Kalibrierungsprozesses mit dem Messvorgang und
- Auswahl eines brauchbaren mathematischen Modells zur Korrektur von Linsenverzerrungen und Filmverzug.

In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Aufnahme der Stereobildpaare nach dem terrestrischen Standardverfahren sowohl für die Archivbilder als auch für die Vergleichsbilder (s.o.), sodass für eine rein qualitative Auswertung mit Hilfe eines Tisch-Stereoskopes gute Stereomodelle visualisiert werden konnten. Im Gegensatz zu den historischen Bildern mussten allerdings aufgrund der stärkeren Linsenverzerrungen die

aktuellen Bildpaare selektiv nachgeführt werden, um einen dreidimensionalen Modelleindruck für das Gesamtbild zu gewährleisten. Entscheidender als die Aufnahmeconfiguration ist für den quantitativen Auswerteprozess jedoch die Rekonstruktion der inneren und äußeren Orientierung, die für die Nanga Parbat-Arbeit nicht in allen Belangen erfüllt werden konnte. Die Bereitstellung einer notwendigen Objekt-Raum-Kontrolle anhand von Passpunkten konnte zwar mit Hilfe der topographischen Karte der Nanga Parbat-Region erfolgen, jedoch erwies sich die Passpunktlokalisierung in mehrfacher Hinsicht als problematisch. Zum einen kann im Kartenmaßstab von 1:50000 ein Ablesefehler von 0,5 mm zu einer Ungenauigkeit des Passpunktes von 25m im Weltkoordinatensystem führen. Andererseits ist die Genauigkeit der Passpunkte aufgrund der höheren Informationsdichte der Bilddaten im Gegensatz zur Karte und einer Generalisierung der Objektinformation in der Karte schwierig zu ermitteln und stark maßstabsgebunden. Diese Problematik erhöht sich durch die hohe geomorphologische Dynamik dieser Region, was sich in der Verlagerung bzw. Übertiefung von Erosionsrinnen und Bachläufen, der Erosion von Terrassenkanten sowie häufig vorkommenden Massenbewegungen belegen läßt. Auch anthropogene Objekte in der Landschaft können nur bedingt als Passpunkte genutzt werden, da sich im Laufe der letzten 60 Jahre in dieser Region der Verlauf des Verkehrsnetzes etwa durch den Bau neuer Jeep-Pisten stark verändert haben kann. Das bedeutet für die äußere Orientierung eine Genauigkeit, die stark gebunden ist an die Basis der Passpunktlokalisierung und darüber hinaus vom Bildmaßstab und der damit zusammenhängenden Messgenauigkeit der Passpunkte im Bild abhängt.

Als Fehlerquellen für die innere Orientierung sind vor allem die angenähert ermittelten Daten der Archivbilder und die insgesamt instabile Kamerageometrie der Vergleichsbilder zu nennen. Fehlende Informationen zur genauen Brennweite, zum Offset der Hauptpunktage zum Bildmittelpunkt, zur Radialverzerrung der Linse sowie zur genauen Größe des Bildausschnittes zuzüglich der Nichtbeachtung des Filmverzuges führten zu einer höheren systematischen Modelldeformation der aktuellen Modelle. Eine systematische Abweichung konnte hier häufig nur für die Frontalaufnahmen gewährleistet werden, da verschwenkte Modelle eine insgesamt höhere Instabilität aufwiesen, die sich in einem nicht parallaxenfreien Modell äußerten und zu einer erhöht unsicheren Punktlage beitragen. Die Genauigkeit einer Bildmessung hängt auch entscheidend von der Genauigkeit des verwendeten analytischen Plotters ab. WARNER (1990: 26) gibt das Potenzial der Punktlokalisierung eines Plotters mit 5µm Fotokoordinatenmessgenauigkeit bei einem Fotomaßstab von 1:30.000 mit +/- 15cm an. Der verwendete MPS-Plotter von ADAMS gewährleistet eine Messgenauigkeit von 4µm im Bild, was unter der Voraussetzung optimaler Passpunkte für die verkleinerten Bildvorlagen der Archivbilder eine genügende Genauigkeit für nahe bis mittlere Aufnahmeentfernungen (1-5km) liefert. Jedoch treten aufgrund der sehr hoch gelegenen Fotostandorte und den daraus resultierenden Aufnahmeentfernungen von 2-10km abnehmende Lage- und Höhengenaugigkeiten mit zunehmender Objektentfernung vom Aufnahmestandort auf (vgl. RÜGER et al. 1987: 65). Zusammenfassend ergeben sich die festgestellten Modelldeformationen bei den historischen und verstärkt bei den aktuellen Bildpaaren aus den nicht genügend genau bestimmbar Parametern der inneren und äußeren Orientierung, die zusätzlich überlagert werden durch die Fehlerquellen beim Aufsetzen der virtuellen Raummarke im stereoskopischen Kartiermodus (Güte des Modelles, Auflösung des Messsystems, Bildmaßstab). Aus diesen Gründen beschränkt sich der Auswertebereich der Archivbilder in erster Linie auf den Bildmittelgrund (2-5 km) und reduziert sich zusätzlich bei den aktuellen Vergleichsaufnahmen auf Frontalaufnahmen. Die systematische geometrische Instabilität der Auswertung wird durch den *Rubber Sheeting* Prozess im GIS aufgefangen.

Möglichkeiten zur Verbesserung des analytisch photogrammetrischen Auswertungsprozesses von terrestrischen Fotografien in Hochgebirgsregionen können zukünftig in den Software-Entwicklungen der *Softcopy Photogrammetry* gefunden werden. Die *Softcopy Photogrammetry* nutzt die traditionellen Technologien der Photogrammetrie auf PC-basierten Plattformen zur Erstellung von Punktkoordinaten, Karten und orthorektifizierten Bildern aus digitalen Vorlagen (LEBERL 1991: 5). Die heute zur Verfügung stehende



Produktpalette reicht von kommerziellen Systemen mit notwendigen Hardware-Ergänzungen über kostenintensivere kommerzielle Software-Produkte und low-cost-Systemen auf dem PC bis zu Implementationen von Forschungsinstitutionen sowie experimentellen Applikationen im Freeware-Bereich (PLUGERS 1999, LEBERL 1991, LEICHTER et al. 1999, POLLEFEYS et al. 1999, SCHWAGER 2000). In erster Linie sind die kommerziellen Entwicklungen auf Satelliten- und Luftbildvorlagen sowie Anwendungen in der Nahbereichsphotogrammetrie ausgerichtet. Jedoch weisen die Applikationen der Forschungsinstitute auf Anwendungen für terrestrische Einzel-, Stereo- und Multisequenzbilder hin, die auch für eine Erfassung von Landschaftselementen jenseits des Nahbereiches geeignet sind.

In der Fortführung von Monoplotting-Verfahren aus obliquen Luft- und Erdbildern (WALDHÄUSL et al. 1990, ASCHENBRENNER 1992, WARNER et al. 1992) ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Georektifizierung der gesamten Bildmatrix von Gegenhangfotos zu sehen, das im Rahmen des ECOMONT-Projektes auf der Basis von täglichen 35mm-Fotografien raum-zeitliche Einzelbildsequenzen für die Schneebedeckungsdauer liefert (LEICHTER et al. 1999, CERNUSCA et al. 1999: 187; ASCHENWALD et al. 2001). Eine ähnliche Entwicklung vollzieht CORRIPIO (2002) um anhand georeferenzierter terrestrischer Fotos die Schnee-Albedo in den Französischen Alpen zu erfassen. Die entwickelte Methode wird aktuell in einem Projekt zur Erfassung des Reliefeinflusses auf die Schneeverteilung im Lötschental angewendet (SCHMIDT in Vorb.), ließe sich aber auch auf andere landschaftsökologische Fragestellungen anwenden, die z.B. als Basisdaten eine *land-use/land-cover*-Verteilung benötigen. Dies ermöglicht gerade für Forschungsansätze im Hochgebirge ein flexibles und kostengünstiges Werkzeug für das Monitoring von Veränderungen im lokalen Maßstabbereich. Allerdings limitiert die räumliche Auflösung der diesem Ansatz zu Grunde liegenden digitalen Geländemodelle die Genauigkeit der lokalen Analyse. Dies ist für die Gebiete mit ausreichend genauen Kartendaten oder hochaufgelösten Geländemodellen aus Luftbild- oder sogar Laserscanner-Befliegungen weniger problematisch, stellt jedoch für viele Hochgebirgsregionen ohne adäquate Kartenbasis oder Möglichkeiten einer Befliegung eine enorme Hürde dar.

Eine zur Zeit im experimentellen Status befindliche Softcopy-Lösung, die als Freeware zur Verfügung steht, stellt das Programm Surveyor 2.1 dar. Mit diesem Programm können sowohl klassische Luftbilder als auch Schrägluftbilder und terrestrische Stereo-Fotografien mit Hilfe einer Doppelbilddarstellung auf dem PC-Bildschirm ausgewertet werden (SCHWAGER 2000). Für die Auswertung genügt als Grundlage eine relativ einfache und kostengünstige Aufnahmetechnik, die jedoch hinsichtlich ihrer inneren Orientierung bekannt sein sollte und bei genäherten Eingangsparametern zu ähnlichen Modelldeformationen führt wie bei den klassischen analytischen Verfahren. Im Gegensatz zum oben genannten Verfahren liefert diese Anwendung Vektordaten in Form von Punkten, Linien und Flächen, die integriert in ein GIS wiederum für landschaftsökologische oder *change detection*-Fragestellungen zur Verfügung stehen. Testauswertungen mit den vorliegenden historischen und aktuellen Bildpaaren zeigen ähnliche Ergebnisse wie die Modellauswertungen mit Hilfe des MPS. Nachteilig wirkt sich die fehlende Dreidimensionalität der Bildpaare auf dem Bildschirm aus, vor allem bei der Digitalisierung von relativ homogenen Flächen und amorphen Objekten. Dieser Nachteil kann zwar durch den Vorsatz einer stereoskopischen Optik verbessert werden, ist aber nur durch einen gewissen Konstruktionsaufwand zu gewährleisten. Vorteile bietet diese Softwareentwicklung jedoch in ihrer einfachen und flexiblen Handhabung und kann in Verbindung mit einem kalibrierten Aufnahmesystem und genügend genauen Passpunkten als ein kostengünstiges Auswertesystem für terrestrische Stereofotografien angesehen werden.

Vielversprechende Ansätze zur 3D-Modellierung und Kartierung von Objekten aus terrestrischen Multi-sequenzbildern bieten die zunächst für den Nahbereich entwickelten photogrammetrischen Softwarelösungen PhotoModeler Pro und die Forschungsentwicklung von POLLEFEYS et al. (K.U. Leuven, 1999). Beiden Applikationen liegt die Auswertung multipler Konvergenzaufnahmen zugrunde, die die relative

Position und Orientierung sowie deren Kalibrierungsparameter anhand der Bildinformationen von in allen Bildern sichtbaren Objekten automatisch abgeleitet (POLLEFEYS et al. 1999). Die Ableitung von digitalen Geländemodellen, Orthofotos und in Kombination mit Passpunkten die Transformation in ein benutzerdefiniertes Koordinatensystem ist in der Software impliziert. GRUBER et al. (2002) evaluieren für die Analyse von Gletscherveränderungen die Anwendbarkeit der 3D Modellierungssoftware über den Nahbereich hinaus für die Erstellung großmaßstäbiger Gletscherkarten des Cathedral Massif Glaciers (B.C., Kanada) und zeigt, dass durch die Methodenkombination moderner Geodäsie (GPS-Messung), digitaler Photogrammetrie und Kartographie ein Wechsel von der analogen zur rein digitalen Technologie stattgefunden hat. Auch POLLEFEYS (2000) demonstriert anhand archäologischer Ausgrabungsstätten, dass die Ableitung von 3D-Oberflächen aus Konvergenzbildern jenseits der Nahbereichphotogrammetrie anwendbar ist. Die Maßstabsunabhängigkeit der Methode gewährleistet die Berechnung eines 3D-Landschaftsmodells im großmaßstäbigen Bereich mit der Option, Orthofotos oder Geländemodelle zu erstellen. Die Möglichkeiten dieser Applikationen müssen in Zukunft für den Einsatz im Hochgebirgsraum mit den weitaus größeren Aufnahmeentfernungen zu den Untersuchungsobjekten bewertet werden. Anhand multipler Konvergenzaufnahmen wäre zu testen, ob die Software für *land use/land cover* Analysen im Hochgebirgsraum auch für mittlere Maßstäbe anwendbar ist. Würde sich eine Brauchbarkeit der Orthofotos und Geländemodelle für lokale bis regionale Landschaftsausschnitte im Hochgebirge herausstellen, wäre mit relativ einfacher Feldarbeit ein Monitoring der Waldstandorte oder der Bewässerungsgebiete im Nanga Parbat-Gebiet zu leisten.

### 6.3 Kartiergenauigkeit und Qualitätsindex der historischen Vegetationskarte

Die historische Basis für die Rekonstruktion einer möglichen Landschaftsveränderung sind in der vorliegenden Arbeit die historischen Bilddaten sowie die Vegetationskarte von TROLL (1939). Das Bilddatenmaterial bildet eine objektive Grundlage, aus der die *land use/land cover* Information extrahiert werden kann. Als generalisierte und vereinfachte Abstraktion der Realität beruht die Vegetationskarte auf einem Prozess aus subjektiver Interpretation des Autors und seinen Definitionen der *land cover* Klassen. Die Genauigkeit der Vegetations-Patches in der Karte wird durch diesen Prozess und der räumlichen Auflösung des Kartenmaßstabes gesteuert (PETIT et al. 2001a, MARTINEZ-CASASNOVAS 2000). Wie schon eingangs erwähnt, sind keine objektiven Abgrenzungskriterien der Vegetationskartierung von TROLL bekannt. Einzig seine ausführlichen Tagebücher und sein reichhaltiges Bildarchiv geben Hinweise auf die von ihm eingesehenen Talbereiche. Die Übertragung der anhand der „Fernglasdiagnose“ erfassten Vegetationsformationen in die topographische Karte sowie die Kriterien zur Ausweisung geschlossener Waldbestände bleiben unbekannt. WALTER stellt für das Raikottal zum Teil erhebliche Veränderungen für den Zeitschnitt 1937 bis 1997 fest, die jedoch nach intensiver Analyse des historischen Bildmaterials aufgrund fehlender Flächenschärfe der von TROLL kartierten Formationseinheiten relativiert werden mussten (WALTER 1999: 85f).

Zur Einschätzung der Qualität der Vegetationskarte als *general baseline data* für die Veränderungsanalyse im Nanga Parbat Gebiet ist eine Quellenkritik zur Genauigkeit der Karte unumgänglich. Zur Analyse der Zuverlässigkeit der Vegetationsflächen wurden in dieser Arbeit verschiedene Ansätze verfolgt und führen abschließend zu einem Qualitätsindex der Karte (vgl. Abb. 6.3.1, 6.3.2 [A]):

- a) - Auswertung der für das Untersuchungsgebiet relevanten Tagebücher und des Bildarchives von C. Troll (TROLL 1939) zur Rekonstruktion seiner Feldroute im Kartenblatt,
- Berechnung der potenziellen Sichtbarkeit von Talbereichen und deren Entfernung zum Beobachter entlang der Route (vgl. Kap. 3.1.1),

- Ausweisung von Qualitätszonen in Abhängigkeit von Sichtbarkeit und Entfernung.
- b) - Qualitative Vergleiche historischer Panoramen der 1934er Expedition mit simulierten 3D Landschaftsszenen gerechnet aus dem Digitalen Geländemodell und der Vegetationskarte als überlagernde Textur,
  - Visuelle Bestimmung einer Über- bzw. Unterschätzung für die Flächen des feuchten Nadelwaldes, des Birkenwaldes und der Bewässerungsflächen im Sichtbarkeitsbereich der Panoramen.
- c) - Flächenvergleich der Vegetationsformationen aus den Stereomodellauswertungen mit der Vegetationskarte zur Abschätzung der Flächenschärfe.
  - Ermittlung einer Über- bzw. Unterschätzung der Vegetation.
- d) - Abschätzung von möglichen Kartiergenauigkeiten anhand eines Vergleiches der CORONA-Bild-daten mit der Vegetationskarte und zusätzlichen Literaturinformationen für ausgewählte Talbereiche.

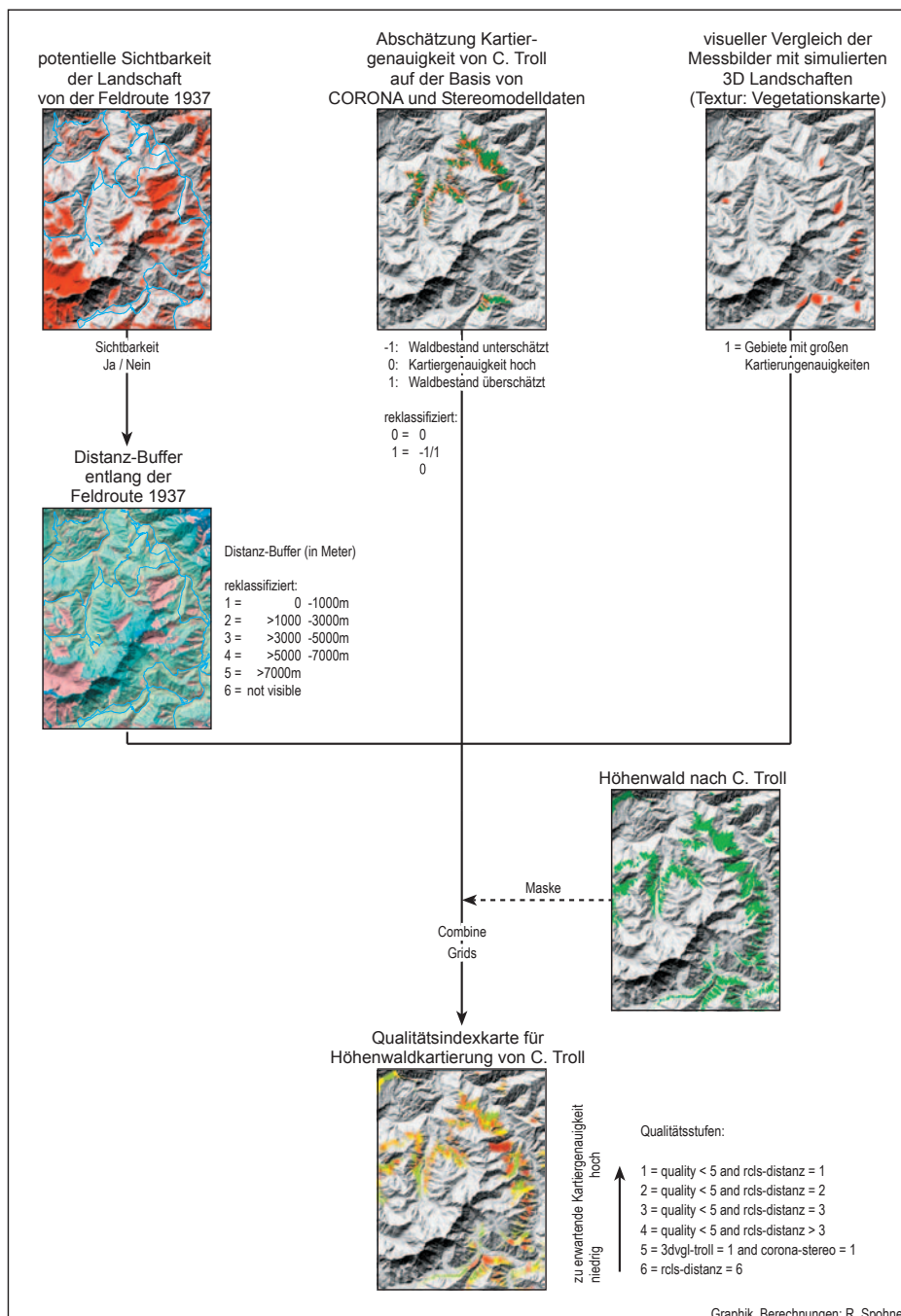


Abb. 6.3.1: Arbeitsablauf zur Erstellung der Qualitätsindexkarte

Die Abbildung 3.1.1.3 [A] (Kap. 3) zeigt die anhand der Tagebücher und des Bildmaterials rekonstruierte Feldroute von TROLL 1937. Anhand dieser Route erfolgte eine Sichtbarkeitsanalyse entlang des Routenpfades in ArcView sowie die Berechnung von Distanz-Buffern. Die Abbildung verdeutlicht die sichttoten Räume und die von der Feldroute weit entfernt liegenden Gebiete. Bis auf das Mamocha-Tal südlich von Dashkin ist die potenzielle Einsehbarkeit der Waldstandorte im Nanga Parbat-Gebiet durch die Route von 1937 weitestgehend gegeben. Über 80% der Waldstandorte liegen innerhalb des Distanz-Buffern von 3 km (vgl. Tab. 6.3.2). Lediglich die Waldbestände der nordexponierten Jabardar-Flanke konnten nur aus größerer Distanz kartiert werden. Allerdings ist nicht immer eine Frontaleinsicht auf die Wälder von der Route aus gegeben, was sicherlich zu den festgestellten Flächenüberschätzungen auch in geringerer Entfernung zur Feldroute geführt hat (z.B. nordexponierte Jabardar-Flanke und ostexponierte Bulan-Flanke).

Für insgesamt 54 der historischen Fotostandorte von 1934 wurden 3D-Landschaftsszenen mit der Vegetationskarte von 1939 als überlagernde Textur erstellt. Ein visueller Vergleich der Fotografien mit den 3D-Szenen ergab für 31 der 45 Standorte mit Waldinformation eine mäßige bis starke Überschätzung der Nadelwald-, Birkenwald- und Bewässerungslandflächen (vgl. Tab. 6.3.1 [A], Abb. 6.3.3A [A], 6.3.3B [A]). Sehr häufig wurden Einzelbaumbestände mit einem Deckungsgrad kleiner 10% als Waldfläche kartiert (vgl. Abb. 6.3.3A a-d [A]). Eine generalisierende Kartierung und Extrapolation führte ebenfalls in den meisten Fällen zur Überschätzung der Flächenanteile des Waldes (vgl. Abb. 6.3.3B e-f [A]) und der Bewässerungsflächen. Gründe für die festgestellten Abweichungen sind in der Subjektivität der Aufnahmemethode von TROLL sowie in der Zielsetzung seiner Vegetationserfassung zu suchen. Mit dem Blick auf die Landschaft dieser Region, die ökologischen Abhängigkeiten der Vegetation von topographischen Faktoren und den angestrebten Kartenmaßstab mußten zwangsläufig generalisierende Erfassungskriterien aufgestellt werden - im Gegensatz zu der detailgenauen Erfassung der Holzbestände mit den aktuellen fernerkundlichen Methoden (s.u., WALTER 1999: 86/87, TROLL 1939: 152).

Buffer	2210 (%)	2230 (%)	2235 (%)	2200 (%)
1	52,34	34,98	46,86	45,69
2	31,65	45,71	25,77	36,57
3	2,70	4,36	1,00	3,24
4	0,00	0,42	0,00	0,15
6	13,31	14,53	26,36	14,35
	100,00	100,00	100,00	100,00

Quality Index	2210 (%)	2230 (%)	2235 (%)	2200 (%)
1	40,36	26,60	29,34	34,79
2	25,70	34,84	21,24	28,87
3	2,67	4,27	1,00	3,19
4	0,00	0,42	0,00	0,15
5	17,95	19,34	22,06	18,65
6	13,31	14,53	26,36	14,35
	100,00	100,00	100,00	100,00

Tab. 6.3.2: Anteil des Höhenwaldes innerhalb der Distanzbuffer-Klassen (oben), Anteil des Höhenwaldes an den ausgewiesenen Qualitätsstufen der Kartierung von C. Troll (unten) [eigene Berechnungen]

Ein Vergleich der ausgewerteten historischen Stereomodelldaten mit der Vegetationskarte zeigt deutlich, dass in der Kartierung von C. Troll die Flächen überschätzt wurden. Für die drei lokalen Untersuchungsgebiete Bulan-Astor, Harchu und Raikot ergeben sich z.T. erhebliche Abweichungen in der Flächenbilanz von Nadelwald und Birkenwald. Die geringsten Flächenabweichungen mit 10-20% Überschätzung bestehen für Bulan-Astor. Hier wurden von C. Troll auf der ostexponierten Flanke hauptsächlich vereinzelt stehende



Einzelbäume zu Waldflächen zusammengefasst (Abb. 6.1.2.7 [A]). Für den submontanen Trockenwald kann keine Aussage getroffen werden, da C. Troll anhand der Punktsignatur nur das Verbreitungsgebiet, jedoch keine abgegrenzten Flächen kartiert. Für die Modellbereiche Harchu und Raikot wird sogar eine Abweichung der feuchten Höhenwaldflächen von ca. 35% deutlich (vgl. Tab. 6.3.3, Abb. 6.3.2 [A]).

Eine visuelle Interpretation der geokodierten panchromatischen CORONA-Bilder von 1968 gibt einen weiteren Einblick in die zu erwartende Kartiergenauigkeit der Vegetationskarte. Auch wenn zwischen der Karte und den frühesten Satellitenaufnahmen 30 Jahre Zeitdifferenz liegen, gewährleisten die Fernerkundungsdaten eine gute Abschätzungsmöglichkeit für die Flächenabweichungen (Fehlkartierungen, Generalisierung) der Höhenwaldformationen. Es ist nur im Astor-Tal mit einem verstärkten waldfächenverändernden anthropogenen Einfluß aufgrund der frühen Verkehrserschließung (Astor-Rattu-Jeppiste 1952 fertiggestellt, Raikot-Tal und Buldar-Tal erst 1986, SCHICKHOFF 2002), der höheren Bevölkerungszahlen und den Militärstandorten zu rechnen. In ausgewählten Tal- und Hangbereichen (vgl. Abb. 6.3.2 [A]) erfolgt ein Vergleich der von C. Troll kartierten feuchten Höhenwälder mit den tatsächlich vorhandenen Beständen 1968. Es werden in Bezug auf die Testgebiete überschätzte, unterschätzte und Gebiete mit hoher Kartiergenauigkeit ausgewiesen, wobei eine Überschätzung sowohl die Fehlkartierung von Flächen (Generalisierung) als auch die Waldflächenausweisung bei einem tatsächlichen Deckungsgrad kleiner als 10% beinhaltet. Eine Unterschätzung liegt dann vor, wenn Waldflächen von C. Troll nicht erfasst wurden. Insgesamt zeigt sich eine deutliche Überschätzung der Waldbestände von 20 bis 35% in den überprüften Gebieten (vgl. Tab. 6.3.3), die in erster Linie auf die Kartierungsmethode zurückzuführen ist. Fehlende Einsicht in Talbereiche, Schrägsicht in die waldbestandenen Talflanken und eine Generalisierung, die durch die Übertragung des im Feld Gesehenen auf das Kartenblatt zwangsläufig erfolgt, sind hier als vorrangige Einflussfaktoren zu nennen. Im Testgebiet Rupal kann sogar von einer stärkeren Überschätzung ausgegangen werden, da im CORONA-Bild vorhandene Schatten eine genaue Überprüfung erschweren. Unterstützt wird diese Vermutung durch die Überprüfung der historischen Messbilder (Standort 44/45 Hintergrund, Standort 26). Für das Rupal-Tal mit den Wäldern oberhalb der Siedlung Zaipur muss auch schon von einem frühen Nutzungsdruck durch Bevölkerung und Militär ausgegangen werden.

Vergleichsgebiet	- (%)	ok (%)	+ (%)	%
<b>1 Raikot W</b>	3,56	61,92	34,52	100,00
<b>2 Raikot E</b>	5,49	51,13	43,38	100,00
<b>3 Buldar</b>	3,15	57,93	38,92	100,00
<b>4 Lichar</b>	11,84	51,56	36,59	100,00
<b>5 Doian bis Dashkin</b>	2,76	71,28	25,96	100,00
<b>6 Mamocho, Harchu</b>	2,05	63,25	34,70	100,00
<b>7 Jabardar</b>	1,48	65,69	32,83	100,00
<b>8 Rupal</b>	1,20	79,30	19,50	100,00

- (%): unterschätzt (Flächen nicht ausgewiesen bei tatsächlichem Deckungsgrad > 10%)  
ok (%): hohe Kartiergenauigkeit  
+ (%): überschätzt (Flächenausweisung bei tatsächlichem Deckungsgrad < 10%)

Quellen: Vegetationskarte TROLL (1939), CORONA Bilder 1968, Stereo-Messbilder 1934  
Auswertung: R. Spohner

Tab. 6.3.3: Prozentualer Anteil von unterschätzt bzw. überschätzten sowie gut kartierten Bereichen der Vegetationskarte von C. Troll (1939) [vgl. auch Abb. 6.3.2 [A]]

Die Qualitätsindexkarte (vgl. Abb. 6.3.4 [A]) macht deutlich, dass einer flächenscharfen Analyse von Veränderungen in der Nanga Parbat-Region aus historischem Kartenmaterial und aktuellen Fernerkundungsdaten Grenzen gesetzt sind. Insgesamt gesehen zeigt die Vegetationskarte im regionalen Maßstab ein repräsentatives Höhen-/Expositionsmuster der Waldstandorte (vgl. Abb. 2.2.3, Kap. 2), sie kann jedoch im lokalen Maßstab den absoluten Lagebezug der Standorte nicht überall mit ausreichender Genauigkeit leisten. Eine Überlagerung von historischen Kartendaten mit aus Satellitenbildern klassifizierten Waldstandorten kann

nur unter Berücksichtigung der Qualitätsindexkarte sowie dem Bildarchiv bei großen Kahlschlägen und deutlichen Waldgrenzverschiebungen sinnvolle Informationen zu Veränderungsprozessen liefern (s.u. Kap. 7.1, 7.2.1). Je weniger sich historische Kartendaten für eine flächenscharfe Veränderungsanalyse eignen, bekommen historische Messbilder und VHR-Satellitendaten der ersten Generation als historische *baseline data* mit objektiver Informationsspeicherfunktion besondere Bedeutung.

## 6.4 Basisdaten aus Satellitenbildklassifikationen für die quantitative Zeitschnittanalyse im regionalen Maßstab

### 6.4.1 Multitemporale Auswertung von Kartendaten und Multisensor-Fernerkundungsbildern

Flächendeckende, über die einzelnen Talbereiche der Nanga Parbat-Region hinausgehende Analysen zur Veränderung von *land use/land cover* Klassen müssen sich auf raumbezogene Daten im mittleren Maßstabsbereich stützen. Diverse multitemporale VHR- und HR-Satellitendaten stehen dem Projekt zur Verfügung (vgl. Kap. 3.1.3), jedoch eignen sich nur die *high resolution* Systeme (SCHNEIDER et al. 2000) von IRS-1C und ASTER als Quelle für kartenblattdeckende *baseline data*. Gründe dafür sind vor allem eine flächendeckend homogenere Datenqualität der Szenen (Kap. 4.5), eine geringere Speicher- und Rechenleistung beim Klassifikationsprozess und damit ein besseres Datenhandling sowie eine dem Kartenmaßstab angepaßte räumliche Auflösung der Daten. Grundlage für den Vergleich der Zeitschnitte ist die *land use/land cover* Klassenbildung von TROLL 1939, diese bildet den Objektdaten-Katalog der Vergleichsanalyse. Das bedeutet für die Fernerkundungsdaten eine Vereinfachung der objektiv erfassten Realität aus den spektralen Eigenschaften der Objekte an der Erdoberfläche in eine subjektiv vorgegebene Anzahl von Klassen. Der Prozess der Informationsabstraktion von der Realität zum Datenmodell umfasst die Klassifikation, die Klassengeneralisierung, die Aggregation sowie die Assoziation von *land use/land cover* Klassen (MARTINEZ-CASASNOVAS 2000: 1825), wobei die ersten beiden Schritte im Zuge einer digitalen Klassifikation erfolgen. Problematisch für die Analyse von Veränderungen aus den heterogenen Ausgangsdaten erweisen sich vor allem die weitgehend unbekannt geometrischen und thematischen Charakteristiken der historischen Karte. Zur Vermeidung von Ungenauigkeiten und Inkonsistenzen muß im Vorfeld einer auf historischen Karten und aktuellen Fernerkundungsdaten basierenden Veränderungsanalyse eine genaue Quellenkritik der historischen Daten erfolgen (vgl. Kap. 6.3). Für die Erzeugung aktueller *baseline data* wurden sowohl die ASTER- als auch die IRS-Szene ausgewählt. Erstere weist aufgrund des Aufnahmedatums (9.06.2000), das mit dem Optimum der Vegetationsperiode dieser Region korrespondiert, einer geringen Wolkenbedeckung, die sich auf die Gipfelbereiche beschränkt, einem weiteren zur Verfügung stehenden Kanal aus dem mittleren Infrarot und der höheren Bodenauflösung Vorteile gegenüber der IRS-1C-Szene auf. Einzig die Doppelerntegebiete im Industal sowie die Bewässerungsflächen im Übergangsbereich zu den Einfachern-gebieten in Gor zeigen ein schwaches Vegetationssignal für gerade abgeerntete Felder oder mit neuer Saat bestellte Felder (vgl. u. Fallstudie 2, Kap. 6.4.4). Im Gegensatz dazu erwies sich die IRS-1C-Szene für eine kartenblattdeckende Klassifikation aufgrund ihres späten Aufnahmedatums (14.09.1997) zwar als problematisch, konnte jedoch mit einem objektbasierten Klassifikationsansatz dennoch zufrieden stellend klassifiziert werden (vgl. Kap. 6.4.3). Allerdings ist das Vegetationssignal der abgeernteten Felder bis auf die Doppelerntegebiete im Industal und die Übergangsbereiche in Gor und im Astor-Tal in den Einfachern-gebieten so schwach, dass eine scharfe Abgrenzung automatisch nicht erfolgen konnte. Darüber hinaus nähert sich die spektrale Kurve der im Herbstlaub stehenden Birkenwälder sowohl im sichtbaren als auch im NIR-Bereich den Kurven der Koniferenwälder an (HILDEBRANDT 1996: 33ff, HEYEN 1993: 28), so dass die Birkenwälder auf der Basis eines spektralen Klassifikationsansatzes (ISODATA) nicht mehr sicher klassifiziert werden können (s.u. Fallstudie 1, Kap. 6.4.3). Eine dritte Fallstudie testet die Anwendung der objektbasierten Klassifikation mit VHR-Daten in einem Multisensor-Ansatz für die Region Gor. Hier geht

es vor allem darum, die Flächen der Steineichenwälder herauszufiltern (s.u. Fallstudie 3, Kap. 6.4.5). Der allgemeine Arbeitsablauf der regionalen Analyse ist der Abbildung 3.2.1 zu entnehmen. Detailliert aufgeschlüsselte Vorgehensweisen finden sich zu den jeweiligen Fallstudien in Kap. 6.4.3, 6.4.4 und 6.4.5.

Als *change detection*-Methode muß ein Postklassifikations-Vergleich gewählt werden, da diese Methode vor einem Zeitschnittvergleich die unabhängige Generalisierung von Datenebenen aus heterogenen Ausgangsdaten zu einem gemeinsamen *land use/land cover* Schema zuläßt (PETIT et al. 2001: 786, Kap. 4.1). Dieser Ansatz beinhaltet jedoch auch einige Limitierungen, die bei der Bewertung von Veränderungen berücksichtigt werden müssen. In erster Linie sind hier die geringere Genauigkeit der Veränderungsanalyse, die sich aus dem Produkt der Genauigkeit der Einzelklassifikationen ergibt, sowie die Tatsache, dass nur *land use/land cover* Konvertierungen, jedoch keine Modifikationen erfasst werden können (SINGH 1989: 996, PETIT et al. 2001: 786) zu nennen. Die Zielvorstellungen der regionalen Analyse sind in den Rahmen der eingangs gestellten Fragen nach Verortung, Qualität sowie Quantität von Veränderungen der Vegetationsformationen feuchter Nadelwald, Birkenwald und Bewässerungsland einzuordnen.

#### **6.4.2 Pixelbasierte und objektbezogene Klassifikation von multispektralen und panchromatischen Bildern**

Die Zielsetzung der Erstellung von aktuellen regionalen *baseline data* für die Nanga Parbat-Region aus Fernerkundungsdaten ist in einer objektiven Basisinventur zu sehen, die einen aktuellen Überblick über das WAS und WO der aus dem historischen Datenmaterial vorgegebenen Vegetationsformationen gewährleistet. Das komplexe, klein gekammerte Hochgebirgsrelief und die daraus resultierende Verteilung der Vegetationsformationen und Bewirtschaftungsflächen fordert zur Erfüllung dieses Zieles die Verwendung von geometrisch hoch- bzw. höchstauflösenden Systemen (HR-Systeme: >4m-30m, VHR-Systeme: <4m, EHLERS 2002: 11). Eine wichtige Anforderung an die digitalen fernerkundlichen Auswerteverfahren ist im Gegensatz zu einer visuellen Interpretation die objektive und reproduzierbare Informationsextraktion in einer automatisierbaren Vorgehensweise (SCHNEIDER et al. 2000: 234). Traditionelle pixelbasierte Bildverarbeitungsalgorithmen filtern die Bildinformation der Fernerkundungsbilder basierend auf spektralen Homogenitätskriterien der Objekte der Landoberfläche (deKOK 2001: 21, MANAKOS et al. 2000). Stimmt der Objektmaßstab mit der geometrischen Auflösung des Sensorsystems weitgehend überein, führt eine Klassifikation mit klassischer Pixelanalyse relativ problemlos zum Ziel. Kritisch wird es erst dann, wenn die Geländeobjekte oder *land use/land cover* Klassen im Mittel durch weniger als zehn spektral homogene Pixel repräsentiert werden, da dann das Problem der Randpixel dominierend wird (deKOK 2001: 21). Die Entwicklung von VHR-Systemen erbringt mit einer verbesserten geometrischen Auflösung eine Reduktion des Mischpixelproblems, bewirkt im Gegenzug jedoch eine erhöhte Variabilität und ein Rauschen innerhalb einer *land use/land cover* Klasse (SCHIEWE et al. 2002: 42). Der Übergang von HR- zu VHR-Systemen korrespondiert mit einem Skalensprung bei den Größenverhältnissen der natürlichen Vegetation. Das Objekt „Wald“ kann im Bereich von 5m bis 0,75m Bodenauflösung nicht mehr anhand einer statistischen, auf Pixeln basierenden Auswertemethode erfasst werden, da auf diesem Skalenniveau eine Auflösung in die Objekte „Einzelbaum“ erfolgt (SCHNEIDER et al. 2000: 236). Um diesem Problem zu begegnen, ist ein objektbasierter Ansatz notwendig, der z.B. von der eCognition-Software geleistet werden kann. Im Gegensatz zum klassischen Ansatz beruht die Klassifikation nicht mehr auf der statistischen Auswertung von Einzelpixeln, sondern auf homogenen Objektprimitiven, die das Ergebnis eines vorausgegangenen Segmentierungsprozesses sind (SCHWARZ et al. 2001). Eine wissensbasierte Handhabung der Objektprimitiven, basierend auf der Kombination ihrer spektralen Eigenschaften, der kontextuellen und topologischen Eigenschaften sowie aus GIS-Layern integrierter Information, kann für die Klassifikation

herangezogen und für die Aggregation von *land use/land cover* Klassen genutzt werden (vgl. deKOK 2001: 33).

Im Folgenden wird kurz die Intention der angewendeten digitalen Auswerteverfahren im Hinblick auf eine aktuelle Basisinventur für die Nanga Parbat-Region erläutert. Drei Fallstudien verdeutlichen die Vorgehensweise zur Erzeugung aktueller Basisdatensätze.

### **Objektbasierter Ansatz mit Multispektral/Multisensor-Bildern (Fallstudie 1 und 3)**

Traditionelle Bildverarbeitungsmethoden auf der Basis multispektraler Klassifizierungsalgorithmen kommen bei problematischen Bilddaten, die eine wenig differenzierte Vegetation am Ende oder außerhalb der Vegetationsperiode zeigen, schnell an ihre Grenzen. Spektrale Ähnlichkeiten führen aufgrund des späten Aufnahmedatums zu Abgrenzungsproblemen der Objektklassen (*spectral confusion*, SCHNEIDER et al. 2001: 241), was unter Verwendung einer unüberwachten Klassifikation (ISODATA) für die IRS-Szene im Projekt getestet wurde. Anhand einer Fallstudie (Fallstudie 1) soll mit Hilfe eines objektbasierten Ansatzes geprüft werden, ob durch eine Segmentierung mit anschließender regelbasierter Klassifikation, Lösungsmöglichkeiten für die problematischen Bilddaten angeboten werden können. In einer zweiten Fallstudie (Fallstudie 3) werden die Lösungsansätze im Rahmen eines objektbasierten Ansatzes für panchromatische VHR-Daten sowie für einen Multisensor-Einsatz mit VHR-Daten aufgezeigt. Zum einen liegt hierbei die Zielsetzung auf der Erfassung der Steineichenwälder in der Region Gor aus einer Kombination aus multispektralem KFA-Bild und panchromatischer SPOT-Teilzone. Eine weitere Motivation ist in der Unterstützung einer visuellen Interpretation der panchromatischen CORONA Bilddaten zu sehen.

Das generelle Ablaufschema einer objektbasierten Analyse von Fernerkundungsdaten verdeutlicht die Möglichkeit der Integration unterschiedlicher Datentypen in den Analyseprozess sowie die zweistufige Vorgehensweise bestehend aus einer Klassifikation mit vorgeschalteter Segmentierung zur Ermittlung der Objektklassen. Ausgehend von der Zugehörigkeit benachbarter Pixel zu einer Objektklasse werden im Segmentierungsdurchlauf auf der Basis von Homogenitätskriterien (spektrale Ähnlichkeit, Formparameter: *Smoothness*, *Compactness*) Objektprimitive gebildet (deKOK 2001: 34f), die zusätzlich anhand eines Scale Parameters in ihrer Größe gesteuert werden können (Multiscale-Ansatz). Die Grundlage dieses Segmentierungsprozesses bilden die gewichteten Eingangsdaten (spektrale Kanäle, thematische Layer). Die als Basisdaten für die Klassifizierung dienenden Segmente, die zunächst noch ohne reale Bedeutung sind, müssen visuell auf ihre Deckungsgleichheit mit geophysischen Objekten (z.B. Wald, Baumkronen etc.) überprüft werden. Erst dann können mit einem Fuzzy-Logic-Ansatz den Objektprimitiven Daten-Merkmale zugeordnet werden, die anhand von Zugehörigkeitsfunktionen und Regeln die nutzerbedingten Objektklassen definieren. Der eindeutige Vorteil dieser Vorgehensweise gegenüber konventionellen, pixelorientierten Verfahren liegt in der Kombinationsmöglichkeit von mehrdimensionaler spektraler, textueller und formbezogener Information sowie der topologischen Beziehungen der ausgewiesenen Objektprimitive (Segmente). Ausführliche und tiefere Informationen zum Methoden-Pool von eCognition sowie eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen des objektbasierten Ansatzes können der aktuellen Literatur entnommen werden (BLASCHKE 2002, deKOK 2001; eCognition User Manual, SCHNEIDER et al. 2001, Literaturliste der eCognition Applikationen: <http://www.definiens-imaging.com/documents>).



## Pixelbasierter Ansatz für die ASTER-Daten (Fallstudie 2)

Nach SCHWARZ und deKOK bietet der objektbasierte Ansatz hinsichtlich der Klassifikationsgenauigkeit bzw. der Flächen-Abgrenzung für HR-Systeme keinen entscheidenden Vorteil gegenüber den traditionellen Verfahren (SCHWARZ et al. 2001, deKOK 2001: 85). Aus diesen Gründen und in Anbetracht der zeitlimitierten Verfügbarkeit der eCognition-Software, wurde ein pixelbasierter Ansatz zur Erstellung der aktuellen *baseline data* aus der ASTER-Szene gewählt. Von den in ENVI zur Verfügung stehenden Klassifikations-Algorithmen wurde auf das ISODATA-Verfahren (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*, JENSEN 1996: 236) zurück gegriffen. Dieses unüberwachte Klassifikationsverfahren gewährleistet mit einem Minimum an initialem Input die Identifikation von natürlichen Gruppen oder Strukturen mittels Segmentierung des multispektralen Raumes durch Clusterbildung (CAMPBELL 1996: 317, RICHARDS et al. 1999: 262). Mit einer *a posteriori*-Identifikation können die ermittelten Cluster (spektrale Klassen) mit einem *land use/land cover* Typ assoziiert werden (RICHARDS et al. 1999: 262). Vorteilhaft gegenüber überwachten Verfahren, wie z.B. der *Maximum Likelihood*-Klassifikation, wo für jede *land use/land cover* Klasse korrekt ausgewiesene Trainingsgebiete in ausreichender Anzahl und mit genauer Geländekenntnis erhoben werden müssen, erweist sich beim ISODATA-Ansatz, dass keine besonderen Kenntnisse im Vorfeld der Klassifikation notwendig sind. Die Fehleranfälligkeit durch menschliches Einwirken wird im Hinblick auf die spektralen Eigenschaften der Cluster bei unüberwachten Verfahren minimiert, da meistens spektral homogenere Klassen gebildet werden als bei einer überwachten Klassifikation (CAMPBELL 1996: 318). Allerdings sind bei der Ausweisung von sinnvollen *land use/land cover* Klassen aus den automatisch definierten Clustern raumbezogene Kenntnisse unumgänglich. Insgesamt gesehen kommt das unüberwachte Verfahren den nicht flächendeckend vorhandenen Referenzdaten (Fotoarchiv) und den nur punktuell aus der alpinen Stufe vorhandenen Feldkenntnissen entgegen, da unter Berücksichtigung der räumlichen Verteilung eines Clusters die spektral homogen ermittelten Klassen mit größerer Sicherheit einer *land use/land cover* Klasse zugeordnet und als Trainingsdaten für einen überwachten Ansatz ausgewiesen werden können. Letzteres ist vor allem problematisch, bei einer visuellen Delineation von Trainingsgebieten in Übergangsbereichen (Birke-Konifere, offener Koniferenwald).

## Verifikation der Klassifikationsergebnisse

Die Güte einer Klassifikation wird empirisch mit Hilfe einer Gegenüberstellung klassifizierter Pixel mit Referenzdaten in einer Konfusionsmatrix ermittelt (RICHARDS et al. 1999: 266). Die Referenzdaten sind im Normalfall sogenannte *ground truth* Daten aus der Feldarbeit oder einer visuellen Interpretation der Objektklassen aus großmaßstäbigen Luftbildern (CONGALTON 1993: 292). In der vorliegenden Studie stammen die Referenzdaten überwiegend aus den terrestrischen Bildern des Projektfotoarchives sowie den während des Feldaufenthaltes erlangten Geländeerfahrungen entlang der Feldroute. Aufgrund der nicht flächendeckend erfolgten Geländebegehung, die in diesem extremen Hochgebirgsraum einen erheblichen Zeitaufwand bedeutet hätte und nicht primäres Ziel der Feldkampagne war, kann keine absolut objektive Genauigkeitsabschätzung der Klassifikationen vorgenommen werden. Zur Einschätzung der Klassifikationsgüte sind folgende Lösungsansätze verfolgt worden:

1) In einem ersten Ansatz wurde sowohl das Ergebnis der objekt- als auch der pixelbasierten Klassifikation visuell überprüft. Da der Prozess der visuellen Kontrolle beiden angewandten Klassifikationsverfahren immanent ist, wird das Ergebnis sehr stark subjektiv vom Interpreten/Klassifikator beeinflusst und kann aufgrund der nicht flächendeckend vorhandenen Geländeerfahrungen nur eine angenäherte Abschätzung der Klassifikationsgüte liefern. Vor allem die Höhenstufen der oberen montanen bis alpinen Stufe können nur stichprobenartig überprüft und anhand extrapolierendem Wissens über die Region mit Bezug auf die

visuell interpretierten Satellitenbilder kontrolliert werden. Eine weitere Hilfe ist die Gegenüberstellung von 3D Landschaftsszenen überlagert mit den Klassifikationsergebnissen mit korrespondierenden aktuellen Feldfotos (vgl. Kap. 6.4.3, 6.4.4).

2) Die Interpretation von Echtfarbbildern aus IRS-1C- und ASTER-Spektralkanälen (RGB: Kanalkombination 5,4,3 mit Histogramm-Stretch) bildet die Basis für einen zweiten Lösungsansatz. Für ein regelmäßiges Kontrollpunktraster (*systematic sampling*, CONGALTON 1988: 71) mit Rasterweiten von 210m (abgeleitet aus der 15m Auflösung der ASTER-Szene) wird für jeden Punkt die Objektklasse aus den Echtfarbbildern interpretiert und als Attributspalte an die Punktdatei angehängt. Das Kontrollpunktnetz beginnt beim ersten Pixel in der linken oberen Ecke der jeweiligen Szene und beschränkt sich auf eine Maske, die die potenziellen Waldstandorte beinhaltet (ohne Berücksichtigung der Exposition, ohne die Täler östlich des Astor-Flusses, s.a. Beschreibung der Klassifikationsmaske „Wald“ Kap. 6.4.4). Die zu den Kontrollpunkten korrespondierenden Objektklassen der Klassifikation werden automatisch aus den Klassifikations-GRIDs extrahiert (ArcView Extension: MILA Grid Utilities 1.3) und ebenfalls als Attributspalte der Punktdatei angefügt. Für die von den Waldflächen getrennt interpretierten oder klassifizierten Bewässerungsgebiete (vgl. Kap. 6.4.4 und 6.4.5) erfolgt die Überprüfung der aus den Satellitenbildern ermittelten Objektklasse „Kulturland“ über ein zufällig erzeugtes Kontrollpunktnetz (*random sampling*) innerhalb der Kulturlandmaske (vgl. Kap. 6.4.5), das durch ein subjektiv erstelltes unregelmäßiges Punktraster ergänzt wurde. Auch diese Kontrollpunktdatei enthält abschließend in der zugehörigen Datenbank sowohl die Referenz- als auch die Klassifikationsinformation zu jedem Punkt. Im Folgenden kann nun wiederum eine Konfusionsmatrix aus Referenz- und Klassifikationspixeln zur Ermittlung der allgemeinen Güte der Klassifikation aufgestellt werden (*overall accuracy*). Noch wichtiger als die Genauigkeit der Gesamtklassifikation ist die Betrachtung der Klassifikationsgüte der einzelnen Objektklassen. Dazu wird zusätzlich die *producer accuracy* und die *user accuracy* ermittelt. Erstere ergibt eine Abschätzung über korrekt klassifizierte Referenzpunkte, letztere zeigt an, wie gut die klassifizierten Pixel einer Objektklasse diese im Referenzdatensatz repräsentieren (STORY & CONGALTON 1986: 258; HILDEBRANDT 1996: 555/556). Bei der abschließenden Bewertung der Klassifikationsgüte muß wiederum die lückenhafte Kenntnis der subalpinen bzw. alpinen Vegetationsstufe berücksichtigt werden, die sowohl Einfluß auf die Ausweisung von Referenzpunkten im Kontrollpunktnetz als auch auf die Objektklassenbildung im Klassifizierungsprozess hat (vgl. Konfusionsmatrizen der Fallstudien).

3) Der objektorientierte Ansatz bietet neben den auf Trainingsgebieten oder punktuellen Stichproben basierenden empirischen Methoden eine weitere Möglichkeit der Abschätzung der Klassifikationsgüte. Für jedes anhand der Fuzzy-Logic-Entscheidungskurve klassifizierte Objekt existiert in der zugehörigen Datenbank eine in Prozent ausgedrückte Klassenzugehörigkeit, die anzeigt wie groß die Erwartung ist, dass das Objekt einer Klasse X angehört (deKOK 2001: 74, vgl. Kap. 6.4.3). Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber der Konfusionsmatrix, da es nun möglich wird, kritische Objekte zu verorten. Für eine Klasse mit relativ hoher Gesamtgenauigkeit (*Best Classification Result*) können anhand einer einfachen Datenbankabfrage die Klassenobjekte lokalisiert werden, die eine geringere Klassenzugehörigkeit aufweisen. Darüberhinaus können kritische Objekte und Objektklassen auch aufgrund ihrer *Classification Stability* (Differenz zwischen der ersten und zweiten Klassenzugehörigkeits-Erwartung) hinsichtlich ihrer eindeutigen Klassenzuordnung abgeschätzt werden.

6.4.3 Fallstudie 1: objektorientierter Ansatz mit IRS-1C-Szene

Nachdem sich in Klassifikationstests (ISODATA) gezeigt hat, dass sich die vorprozessierte, geokodierte und aufgrund der spektralen Ähnlichkeiten der Objektklassen nur unzureichend topographisch normierte IRS-1C-Szene (Kap. 4.5.3) nicht zufriedenstellend klassifizieren läßt, wurde ein objektorientierter Ansatz für eine Fallstudie herangezogen. Die Zielsetzung für diese Vorgehensweise ist in einer möglicherweise verbesserten Klassifikation problematischer spektraler Satellitenbilder auf Objektbasis zu sehen, die mit Hilfe von Fuzzy-Logic-Zugehörigkeitsfunktionen sowie zusätzlichen thematischen Informationskanälen zur Klassenzuweisung genutzt werden soll. Der Arbeitsablauf ist der Abbildung 6.4.3.1 zu entnehmen.

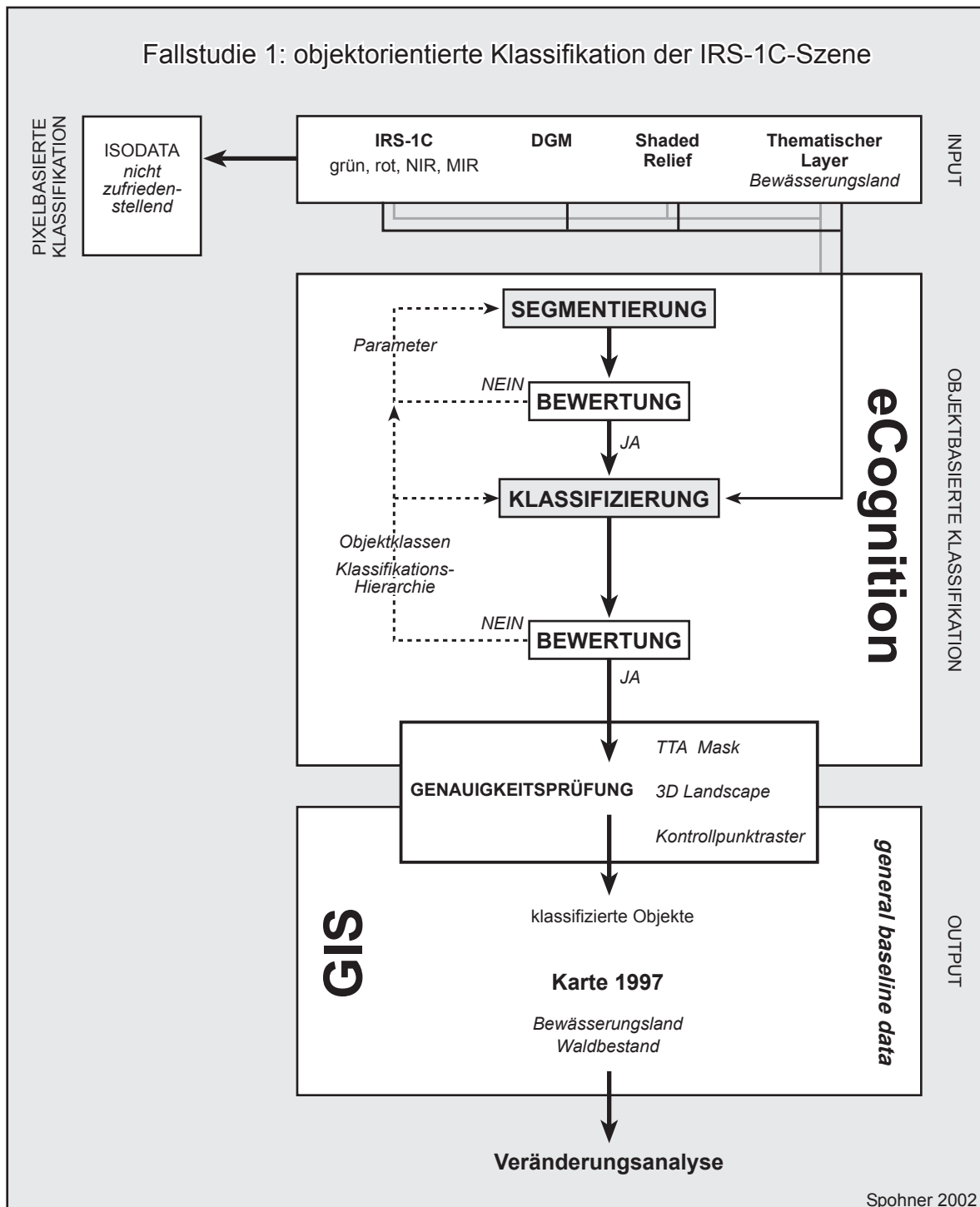


Abb. 6.4.3.1: Workflow der objektorientierten Klassifikation der IRS-1C-Szene

Neben den vier Kanälen der IRS-1C-Szene werden das Digitale Geländemodell, ein Beleuchtungsmodell zum Zeitpunkt der Aufnahme (*shaded relief*, Berechnung in ENVI 3.5) sowie der thematische Layer der aus den KFA-Daten visuell interpretierten und aus der IRS-1C-Szene ergänzten Bewässerungsflächen in das eCognition-Projekt geladen. Aufgrund der extremen Beleuchtungsverhältnisse erfolgt eine getrennte Klassifizierung der Region Gor (s. Fallstudie 3, Kap. 6.4.5). Die kombinierte Segmentierung erfolgt mit relativ kleinem *scale parameter* mit den spektralen Kanälen Grün, Rot und NIR sowie dem *shaded relief* und dem thematischen Layer. Der MIR-Kanal wurde aufgrund einiger Bildstörungen nicht mit einbezogen. Der *scale parameter* wurde so gewählt, dass mit Blick auf die 25 m-Pixelauflösung nicht zu große Objekte mit starkem Mischpixelanteil entstehen. Eine visuelle Kontrolle der ausgewiesenen Objektprimitive dient zur Überprüfung der Segmentierung. Der erzeugte Level1 wird als Klassifikationsebene genutzt. Zusätzlich ermöglicht eine Kopie von Level1 mit den identischen Objekten die Ausweisung von übergeordneten Objekten ohne die Klassifikation auf Level1 zu beeinflussen. Dieses Level2 beinhaltet lediglich die drei Beleuchtungsklassen Schatten (*shadow*,  $DN < 100$ ), besonnt 1 (*sun 1*,  $100 < DN < 156$ ) und besonnt 2 (*sun 2*,  $DN > 156$ ), die anhand von Schwellenwerten abgegrenzt werden.

Für die Abgrenzung der Klassen und den Aufbau der Klassen-Hierarchie wird ein Maskierungs-Ansatz gewählt, der in übersichtlicher Weise eine getrennte sukzessive Differenzierung maskierter und nicht maskierter Regionen zulässt. Dabei wird zunächst die Objektklasse ausgewiesen, die eindeutig aus der Merkmalsauswahl ausgeschieden werden kann. Allen anderen Gebieten wird die invertierte Ähnlichkeit zur ersten Klasse zugewiesen. So entsteht sukzessiv eine differenzierte hierarchische Baumstruktur, in der die oberen Klassen eine einfache Entscheidungsstruktur aufweisen und mit zunehmender Hierarchietiefe die Komplexität der Merkmalsauswahl zunimmt und somit durchaus auch Merkmalsüberschneidungen auftreten, die jedoch in natürlichen Systemen nicht vermeidbar sind (vgl. Tab. 6.4.3.1 [A]). Das System stellt eine umfangreiche Sammlung an Merkmalseigenschaften der Objekte zur Verfügung, von denen für diese Klassifikation vor allem die Höhe, die spektralen Entscheidungskurven des NIR und MIR-Kanals sowie die vom System auf der Basis der spektralen Kanäle bereitgestellten Ratio-Merkmalsräume des Roten und NIR-Bereiches verwendet werden (s.u.).

### Ratio:

$$r_L = \frac{x_L}{\sum_{i=1}^{n_L} x_i}$$

( $r_L$ : ratio Layer value - *red* oder *NIR*,  $\bar{x}_L$ : Mittelwert Object-Layer value,  $n_L$ : Anzahl der spektralen Kanäle - hier: green, red, NIR) (eCognition 2001: 3.43).

Zusätzlich werden auf oberster Klassifikationsebene der im System berechnete und bereitgestellte Vegetationsindex MSAVI2 (s.u. Kap. 6.4.4) und die Information des thematischen Layers (Bewässerungsflächen) genutzt. Die Ausweisung der Objektklassen mit dem zugehörigen Regelwerk der Merkmalsausprägungen orientiert sich zum einen an der aus der Literatur zusammengestellten Höhendifferenzierung der Vegetationsformationen (NÜSSER 1998, SCHICKHOFF 1998, TROLL 1939) und zum anderen an der Trennbarkeit der Fuzzy-Logic-Entscheidungskurven. Über verschiedene visuell kontrollierte Schwellenwerte in Kombination mit der Höhenstufung konnte eine Klassen-Hierarchie aufgebaut werden, die abschließend anhand ihrer Klassenzugehörigkeits-Erwartung und Stabilität in einem ersten Schritt verifiziert werden kann (vgl. Tab. 6.4.3.1 [A]).

Insgesamt zeigt sich eine hohe Klassenzugehörigkeits-Erwartung, die nur für die auf tieferen Hierarchie-Ebenen ausgegliederte Koniferenklassen (**Class ID: 21, 22, 46/47**) unter 80% liegt (vgl. Tab. 6.4.3.1



[A]). Dies ist mit der zunehmenden Komplexität der Merkmalsauswahl und einer nicht immer eindeutigen Fuzzy-Logic-Entscheidungsstruktur in tieferen Ebenen der *Class Hierarchy* zu erklären und wird zudem verdeutlicht durch die niedrigen *Class Stability*-Werte dieser Klassen. Durch eine Ausweitung der Fuzzy-Logic Entscheidungsstrukturen könnte die Klassenzugehörigkeit gesteigert werden, was jedoch nur auf Kosten der Zuverlässigkeit der Klassifikation durchführbar wäre. Eine Datenbankabfrage hinsichtlich der zweiten Klassenzugehörigkeits-Erwartung einer Klasse ermöglicht eine differenzierte Einsicht auf die Klassen, die von der Ausgangsklasse nicht eindeutig abgrenzbar sind und somit Konflikte im Merkmalsraum der ausgewiesenen Objektklassen aufzeigen (Tab. 6.4.3.2 [A], Abb. 6.4.3.2 [A]). Auffällig sind vor allem Merkmalsüberschneidungen der Koniferen-Klassen **13** und **46** mit den montanen Birken-Klassen **54** und **56**, was zurückzuführen ist auf den Überlappungsbereich beim Merkmal **DGM** und einen vermutlich stärkeren Grasunterwuchs der offenen montanen Koniferenbestände, der sich in den spektralen Werten niederschlägt. Im GIS wurden die Objektklassen **13** und **46**, die eine geringe *Class Stability* aufweisen und eine hohe Zweitzugehörigkeits-Erwartung zu den Klassen **54** und **56** zeigen, nachträglich anhand des Höhenmerkmals differenziert (*Class ID 14*: >3150m, *Class ID 47*: >3350m). Ebenso deutlich wird die Ähnlichkeit der Merkmalsausprägung der beiden Koniferenwald-Klassen *open wet conifer sun2 (11)* und *wet conifer sun (13)*. Weitere kritische Klassen sind *open wet conifer (46)* und *open wet conifer sun2 (23)*. Hier konnte eine Trennung offener montan bis subalpiner Nadelwaldbestände von submontan bis montanen Beständen nicht erreicht werden. Somit können diese Objektklassen in der Postklassifikation zu jeweils einer Gesamtklasse **2211 (open wet conifer forest: 11, 13)** und **2212 (very open wet conifer forest: 46, 23)** zusammengefasst werden, die wiederum in ihrer Hierarchie der Oberklasse *wet conifer forest (2210)* zugehörig sind (vgl. Tab. 6.4.3.1 [A]). Eine niedrige erste Klassenzugehörigkeits-Erwartung in Kombination mit einer Zweitzugehörigkeit zur Klasse *unclassified* deutet möglicherweise auf eine Fehlklassifikation hin. Dies trifft vor allem auf die Klasse *open wet conifer (46)* und die zwei *birch* -Klassen (**54, 56**) zu. Für Erstere gilt in den meisten Fällen eine Überschätzung der offenen Bestände, wo hingegen die Klasse der offenen Birkenbestände schwer von den subalpinen/alpinen Weidegesträuchen getrennt werden kann, die gemeinsam mit Rhododendron den Birkenbeständen oft beigemischt sind. Eine eindeutige Zuordnung dieser Objekte kann nur im Gelände geklärt werden. Der große Vorteil der objektbasierten Klassifikation besteht in der Lokalisierung problematischer Objekte, die eine genaue Überprüfung der Klassifikation im Feld zulässt (vgl. Abb. 6.4.3.3 [A]).

reference data		forest	no forest	sum	user accuracy
classified data	forest	1727	896	2623	0,66
	no forest	310	7413	7723	0,96
	sum	2037	8309	10346	
	producer accuracy	0,85	0,89		

overall accuracy: 0,88 (88%)

reference data		wet conifer	dry conifer	birch	transition	no forest	sum	user accuracy
classified data	wet conifer	960	7	62	65	399	1493	0,64
	dry conifer	17	8	0	0	35	60	0,13
	birch	148	0	259	40	428	875	0,30
	transition	39	0	70	53	34	196	0,27
	no forest	176	28	96	9	7413	7722	0,96
	sum	1340	43	487	167	8309	10346	
	producer accuracy	0,72	0,19	0,53	0,32	0,89		

overall accuracy: 0,84 (84%)

Tab. 6.4.3.3: Klassifikationsgüte der objektorientierten Klassifikation (IRS-1C 1997 - Nanga Parbat-Region), oben: Wald/Nicht-Wald-Klassifikationsgüte, unten: Klassifikationsgüte bezogen auf die Formationsklassen

Insgesamt zeigt sich, dass der geschlossene Koniferenwald und die Birkenwälder trotz der problematischen Ausgangslage recht gut klassifiziert werden konnten (vgl. Abb. 6.4.3.4 [A], Abb. 6.4.3.5 [A]). Dies läßt sich aus den relativ hohen Werte der *overall accuracy* von 88% bzw. 84% aus den Konfusionsmatrizen für Wald/Nicht-Wald und für die Formationen der visuell erstellten Referenzpunkte ableiten (vgl. Tab. 6.4.3.3). Betrachtet man jedoch die Erkennungsgüte (*user accuracy*) von Wald, wird schnell deutlich, dass doch noch Überprüfungsbedarf besteht. Diese Mängel sind zum einen im nicht ausreichend vorhandenen *ground truth* zu suchen, was vor allem zu Unsicherheiten insbesondere bei den visuell interpretierten Referenzpunkten im subalpinen und alpinen Bereich geführt hat. Zum anderen fehlen genaue Geländekenntnisse für die Übergangsbereiche der feuchten Nadelwälder zu den Birkenwäldern, was in erster Linie zu einem Interpretationsfehler, jedoch nicht zwingend zu einem Klassifikationsfehler führt. Diese Übergangsbereiche können auch nicht gesichert aus den Geländefotos entnommen werden. Die Interpretation der Punktraster beinhaltet insofern eine nur schwer zu kalkulierende Unterschätzung der Genauigkeit (BIGING et al. 1998: 284), da jeweils ein Pixel hinsichtlich seiner Zugehörigkeit zu einer Objektklasse interpretiert wird und eine fehlerhafte Lokalisierung bei einer Abweichung von einem Pixel zu einem falschen Referenzwert führt. Abweichungen zwischen Interpretation und Klassifikation bestehen vor allem im Randbereich der Klassen. Die Güte der IRS-1C-Klassifikation von 88% auf oberster Objekthierarchieebene ist insgesamt als gut anzusehen, was sowohl aus der Überprüfung mittels Punktraster als auch aus dem in eCognition erfolgten Abgleich der klassifizierten Objektklassen mit Referenzpolygonen abzuleiten ist (vgl. Tab. 6.4.3.4).

Reference	wet conifer	birch	sum
User			
wet conifer	4305	187	4492
birch	0	4709	4709
unclassified	53	228	281
sum	4358	5124	

## Accuracy

Producer	0,987838	0,919009
User	0,958370	1,000000
Hellden	0,972881	0,957795
Short	0,947195	0,919009
KIA per class	0,976891	0,839103

## Totals

**overall accuracy: 0,950643 (95%)**  
**KIA: 0,903955 (90%)**

Tab. 6.4.3.4: Überprüfung der Klassifikationsgüte (IRS-1C 1997) mit Hilfe von Referenzpolygonen in eCognition 2.1 (Error Matrix based on TTA Mask)

Wie aus den obigen Ausführungen zu entnehmen ist, liegt die zu erwartende Genauigkeit der submontanen und montanen Nadelwaldbestände höher als die der subalpinen Birkenwälder. Die visuelle Überprüfung der Klassifikation mit Hilfe von 3D-Landschaftsszenen im Vergleich mit Geländefotos zeigt eine hohe Genauigkeit der Kernbereiche der Waldstandorte, jedoch werden offene Bestände, Übergangsflächen und randliche Bereiche von Waldflächen oft entweder überschätzt oder nicht klassifiziert. Eine Ursache ist in der relativ großen Flächenabdeckung eines Pixels zu suchen (25 m!), was zu Objekten mit wenigen Pixeln und vor allem zu Mischpixeln führt. Dieses Problem wird vor allem bei den als Birkenwald oder als Mischwald klassifizierten Objekten deutlich (vgl. Abb. 6.4.3.6 [A] - 6.4.3.16b [A]).

Als Fazit muß für diese Fallstudie festgestellt werden, dass der objektbasierte Ansatz für eine Vegetationsklassifikation bei spektral nicht optimalen Daten (spätes Aufnahmedatum) in der Kombination mit zusätzlichen Informationsebenen (GIS-Layer, Geländemodellen) zu erfolgversprechenderen Ergebnissen führt als ein pixelbasierter Ansatz. Besonders vorteilhaft erweist sich die in der Attributtabelle für jedes Ob-

jekt festgehaltene Klassifikationsgenauigkeit, die im Gegensatz zu einer klassenbezogenen Genauigkeit des Pixelansatzes die Möglichkeit zu einer Absicherung des Klassifikationsergebnisses anhand topologischer Regeln oder einer zusätzlichen Spektralanalyse der betreffenden Objekte bietet.

6.4.4 Fallstudie 2: Halbautomatische Klassifikation von ASTER-Daten (pixelbasiert)

Die Vorgehensweise zur Erstellung der Waldstandort-Karte mit ausgewiesenem Bewässerungsland wird in Abbildung 6.4.4.1 verdeutlicht. Aus dem vorprozessierten, 9 Kanäle umfassenden ASTER-Datensatz (Kap. 4) wurden die 3 VNIR-Kanäle (Band 1, 2, 3N) und der erste und letzte SWIR-Kanal (Band 4 und 9) für die Klassifikation ausgewählt. Auf die räumlich angepassten TIR-Bänder musste bei der Klassifikation verzichtet werden, da ein geometrisches Muster resultierend aus dem *Resampling*-Prozess das Klassifikationsergebnis zu stark überlagerte. Als zusätzliche Information für grüne Vegetation, zur besseren Differenzierung der Vegetationsformationen (auch offenere Bestände) sowie zur eindeutigen Abgrenzung der bewässerten

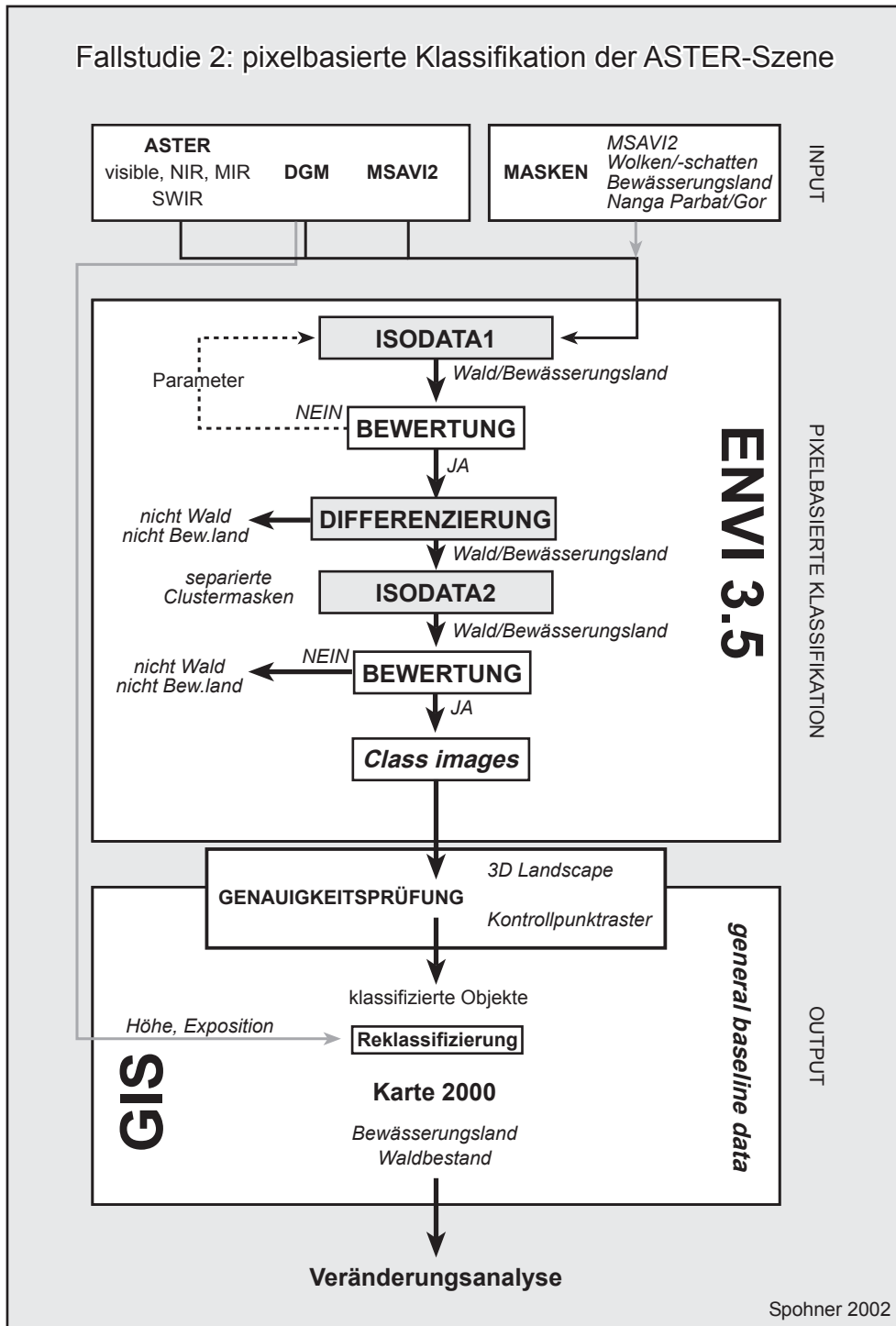


Abb. 6.4.4.1: Workflow der pixelbasierten Klassifikation der ASTER-Szene



Flächen wurde der *modified soil adjusted vegetation index* (RAY 1995: 166, LAWRENCE et al. 1998: 93 nach QI et al. 1994) berechnet und als 6. Kanal dem Input-Datensatz für die Klassifikation hinzugefügt:

$$MSAVI2 = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)}}{2}$$

Mehrere Masken dienen zur Einschränkung auf die für die Zielsetzung wichtigen räumlichen und spektralen Bereiche der Untersuchungsregion (Tab. 6.4.4.1). Die Talkammer Gor wird dabei aufgrund der besonderen Beleuchtungsverhältnisse (absolute Sonnenexposition) gesondert behandelt. Aus einer einfachen Kanal-Multiplikation resultieren vier Klassifikationsmasken für die Talkammer Gor und die Nanga Parbat Täler. Jeweils eine Maske diente zur Klassifizierung der Bewässerungsgebiete und jeweils eine Maske für die Waldstufe (Submontan bis alpin).

Ausmaskierte Objekte	Maskierungs-Prozess/Quelle	Gebiet/Thematik	Maskeninhalt
Wolken	Threshold Kanal 5	Nanga Parbat-Täler / Bewässerungsgebiete	Wolken, Wolkenschatten, MSAVI2, Maske Nanga Parbat Täler, ASTER-Szene
Wolkenschatten	Threshold Kanal 4	Nanga Parbat-Täler /Wald	Wolken, Wolkenschatten, MSAVI2, Waldstufe, Maske Nanga Parbat-Täler, ASTER-Szene
grüne Vegetation	MSAVI2 > DN 126	Talkammer Gor / Bewässerungsgebiete	Wolken, Wolkenschatten, MSAVI2, Bewässerungs-gebiete, Maske Gor, ASTER-Szene
Wald (submontaner Trockenwald, feuchter Nadelwald, Birkenwald bis Baumgrenze)	Höhenstufe 2300 m bis 4300 m	Talkammer Gor /Wald	Wolken, Wolkenschatten, MSAVI2, Waldstufe, Maske Gor, ASTER-Szene
Bewässerungsgebiete	grobe visuelle Interpretation (Interpretationsstütze 3. Hauptkomponentel), plus 50 m Buffer		
Talkammer Gor	manuelle Abgrenzung (Polygon)		
Nanga Parbat-Täler	manuelle Abgrenzung (Polygon)		
ASTER-Szene	DN > 0 (Bildinformation)		

Tab. 6.4.4.1: Verwendete Masken und die Kombination diverser Masken für die ISODATA-Klassifikation der Bewässerungsgebiete und der Waldflächen in den Nanga Parbat-Täler sowie der Talkammer von Gor

Die Berechnung der spektralen Cluster erfolgte mit der in ENVI 3.5 etablierten ISODATA-Klassifikation. Einzige Vorgaben waren die maximale Anzahl von 20 Klassen, die mit maximal 20 Iterationsschritten und einem 5%igen Threshold berechnet werden sollten. Mit Hilfe der Referenzdaten (Fotoarchiv, Felderfahrung) und anhand der räumlichen Verteilung der spektralen Klassen wurde der Identifikations- und Zuordnungsprozess zur Ausweisung von untersuchungsrelevanten Klassen gestützt. Kritische Klassen, bei denen die Möglichkeit bestand, mehrere *land use/land cover* Typen in einem Cluster wiederzufinden, mussten durch eine erneute ISODATA-Klassifizierung innerhalb der Clustermaske differenziert werden. Primäre Entscheidungshilfen für eine Differenzierung bildeten die spektrale Signatur der Cluster und Unter-Cluster (Abb. 6.4.4.2 [A]) sowie die potenzielle Verbreitung der Vegetationsformationen in den verschiedenen Höhenstufen. Dieser Arbeitsschritt erfolgte, gestützt durch höhenabhängige Clustermasken, innerhalb des Systems ENVI 3.5. Als sekundäres Ausscheidungskriterium wurden die 8 standardmäßig in ArcView berechneten Expositionsklassen hinzugezogen. Besonders in west- bis nordexponierten Hangbereichen und hier vor allem im Bereich der unteren Waldgrenze des Mushkin-Forest ergaben sich Abgrenzungsprobleme zwischen den trockeneren submontanen und feuchteren montanen Waldbeständen. Eine Kombination aus maximaler Höhenverbreitung weitestgehend geschlossener Trockenwaldbestände mit expositionsabhängigem Vorkommen dieser Cluster (**Cluster 3** und **4**, vgl. Abb. 6.4.4.2 [A]), unterstützt durch eine visuelle Kontrolle anhand der Geländefotos, führte zu einer angenäherten Differenzierung. Die Grenzziehung in den Schattenexpositionen ist zwar noch sehr starr (hier vor allem im Mushkin-Forest), weist jedoch eine

höhere Genauigkeit auf als die Clustergrenzen vor der GIS-basierten Trennung. Eine Vorgehensweise mit Hilfe der Fuzzy-Logic-Merkmalausprägungen in einem objektbasierten System, könnte hier von Vorteil sein. Es wurden unter Berücksichtigung einer späteren Aggregation der Cluster mehr als die vorgegebenen Klassen der Vegetationskarte ausgegliedert um offene oder möglicherweise degradierte Waldflächen zu erfassen. Die endgültig herausgefilterten, identifizierten und differenzierten Klassen können mit ihrer inhaltlichen Zuordnung der Abbildung 6.4.4.2 [A] entnommen werden. Das ArcView Shape-Format dient als Schnittstelle zwischen der Bildverarbeitungs-Software und dem GIS-Programm.

Die Feststellung der Klassifikationsgüte für die getrennt ermittelten Flächen des Bewässerungslandes und

<b>Random samples</b>					
<b>reference data</b>					
classified data		irrigation	no irrigation	sum	user accuracy
	irrigation	807	66	873	0,92
	no irrigation	195	922	1117	0,83
	sum	1022	988	1990	
	producer accuracy	0,81	0,93		
<b>overall accuracy: 0,87 (87%)</b>					
<b>Random samples plus visual interpretation</b>					
<b>reference data</b>					
classified data		irrigation	no irrigation	sum	user accuracy
	irrigation	2522	66	2588	0,98
	no irrigation	238	922	1160	0,80
	sum	2760	988	3748	
	producer accuracy	0,91	0,93		
<b>overall accuracy: 0,92 (92%)</b>					

Tab. 6.4.4.2: Klassifikationsgüte der pixelorientierten ISODATA-Klassifikation der bewässerten Kulturlandfläche anhand von random samples und der Kombination dieser mit einer visuellen Interpretation subjektiv gesetzter Referenzpunkte

der Waldklassen erfolgte auf der Basis eines unregelmäßigen Stichprobenrasters (*random sampling*, Kap. 6.4.2), dass durch Kontrollpunkte aus *ground truth*, Fotos und extrapolierendem Wissen des Interpreten ergänzt wurde. Die Bewässerungsflächen wurden mit 92% *overall accuracy* sehr gut erfasst (Tab. 6.4.4.2). Auffällig dabei ist die hohe *user accuracy* von über 98%, was auf eine hohe Glaubwürdigkeit der Klassifikation hinweist.

Auch die Klassifikation der Waldflächen allgemein weist eine hohe *overall accuracy* von 94% auf (Tab. 6.4.4.3). Jedoch deutet die geringere *user accuracy* auf eine weniger gute Glaubwürdigkeit des Ergebnisses hin. Dies wird durch die differenzierte Konfusionsmatrix auf der Basis der Formationen bestätigt. Hier zeigt sich, dass vor allem die Birken-/Koniferenmischwälder eine mangelnde *user accuracy* besitzen (32%). Das Kontrollpunktraster ermöglicht eine Lokalisierung dieser unsicheren Klasse und verdeutlicht das Interpretationsproblem aufgrund fehlender lokaler *ground truths*. Hier kommen ähnliche Probleme wie bei der oben diskutierten Genauigkeitsprüfung der IRS-1C-Klassifikation zum Tragen. Problematisch ist nicht in erster Linie eine mögliche Fehlklassifikation sondern die genaue Interpretation der Referenzpunkte. Bei genauer Betrachtung der Abweichungen von Referenz- zu Klassifikations-Daten, zeigt sich, dass vor allem in den Randbereichen der Waldflächen eine Klärung der Klassifikationsgüte schwierig wird. Insgesamt zeigt sich jedoch sowohl auf Objektebene 1 und 2 eine ausgezeichnete *overall accuracy* (94% bzw. 90%). Dies wird bei einer Gegenüberstellung von 3D-Landschaftsszene und Geländefoto bestätigt (vgl. Abb. 6.4.3.6 [A] - 6.4.3.16b [A]). Somit können die Ergebnisse der Fallstudie 2 als aktuelle *baseline data* akzeptiert und für eine regionale Bilanz der Waldflächen herangezogen werden (vgl. Abb. 6.4.4.3 [A], 6.4.4.4 [A]). Bezieht man eine Genauigkeitsbetrachtung der Vegetationskarte von TROLL (1939) unter Berücksichtigung der möglichen temporalen Differenzen der Datenebenen auf die Basis der *systematic samples*, werden ähnliche

		reference data			
classified data		forest	no forest	sum	user accuracy
	forest	1732	338	2070	0,84
	no forest	305	7971	8276	0,96
	sum	2037	8309	10346	
	producer accuracy	0,85	0,95		

overall accuracy: 0,94 (94%)

		reference data						
classified data		wet conifer	dry conifer	birch	transition	no forest	sum	user accuracy
	wet conifer	967	3	42	33	209	1045	0,93
	dry conifer	52	20	0	0	42	72	0,72
	birch	22	0	251	23	68	296	0,85
	transition	134	0	84	101	19	319	0,32
	no forest	165	20	110	10	7971	8276	0,96
	sum	1340	43	487	167	8309	10346	
	producer accuracy	0,72	0,47	0,52	0,60	0,96		

overall accuracy: 0,90 (90%)

Tab. 6.4.4.3: Klassifikationsgüte der pixelbasierten Klassifikation (ASTER 2000 - Nanga Parbat-Region), oben: Wald/Nicht-Wald-Klassifikationsgüte, unten: Klassifikationsgüte bezogen auf die Formationsklassen

Trends der Überschätzung und Generalisierung der Objektklassengrenzen deutlich wie sie schon in Kapitel 6.3. beschrieben wurden (Tab. 6.4.4.4). Nur 47% der von Troll kartierten Waldfläche kann in den aktuellen Referenzdaten vom Interpreten bestätigt werden, was jedoch nicht auf massive Kahlschläge im montanen bis alpinen Waldgürtel zurückzuführen ist, sondern von der Kartiermethode mit all ihren Einschränkungen und Zielsetzungen abhängt (vgl. dazu auch Kap. 6.3). Interessant ist die - trotz aller Abweichungen - noch recht hohe *overall accuracy* von 78%, was für die Güte der nach traditionellen Methoden erstellten historischen Vegetationskarte spricht (vgl. Abb. 6.4.4.5 [A]).

Insgesamt gesehen erweist sich das pixelbasierende Ergebnis als sehr zufriedenstellend. Jedoch resultiert

		reference data			
classified data		forest	no forest	sum	user accuracy
	forest	1620	1837	3457	0,47
	no forest	417	6472	6889	0,94
	sum	2037	8309	10346	
	producer accuracy	0,80	0,78		

overall accuracy: 0,78 (78%)

		reference data					
classified data		wet conifer	birch	transition	no forest	sum	user accuracy
	wet conifer	928	58	80	979	2045	0,45
	birch	53	246	47	805	1238	0,20
	transition	134	34	26	61	174	0,15
	no forest	165	149	14	6507	6889	0,94
	sum	1340	487	167	8309	10346	
	producer accuracy	0,69	0,51	0,16	0,78		

overall accuracy: 0,74 (74%)

Tab. 6.4.4.4: Klassifikationsgüte der Kartierung von TROLL (1939) auf der Basis von systematic samples, oben: Wald/Nicht-Wald-Klassifikationsgüte, unten: Klassifikationsgüte bezogen auf die Formationsklassen

die Klassifikation der vielfältigen Unterklassen in den zugehörigen Höhenstufen aus einer komplexen Vorgehensweise im Bildverarbeitungssystem ENVI mit vielen notwendigen Maskierungen und anschließender GIS-basierter Weiterverarbeitung (s.o. Abb. 6.4.4.2, Tab. 6.4.4.1). Eine engere Verknüpfung von GIS und

Fernerkundung, wie sie in der Software eCognition praktizierbar ist, würde den Klassifikationsablauf mit all seinem Regelwerk übersichtlicher und handhabbarer gestalten. Vor allem durch die Anwendung der durch Fuzzy-Logic definierten Merkmalsräume der Objektklassen wird sowohl eine verbesserte Abgrenzung offener Waldflächen als auch eine erhöhte Genauigkeit der Ausgrenzung der Mischwälder erwartet.





“feuchter Nadelwald” und “Steineichenwald” sowie die Objektklasse “Bewässerungsland” mit objektiv nachvollziehbaren Methoden ohne manuelle Digitalisierung von Objektgrenzen oder klassischen pixelbasierten Verfahren aus den panchromatischen Szenen und den spektral gering aufgelösten RGB-Bilddaten zu klassifizieren. Mit Blick auf die eingeschränkte Informationsbasis der Ausgangsdaten ist der Vorteil des zum Einsatz kommenden objektbasierten Ansatzes in der automatischen Ausgliederung von Bildobjekten (Segmentierung) zu sehen. Dabei werden Nachbarschafts- sowie Homogenitäts- und Heterogenitätskriterien beachtet, so dass einem hohen Rauschen in den VHR-Daten begegnet werden kann. Die Zuweisung der Segmentsemantik erfolgt wissensbasiert durch den sich anschließenden Klassifikationsprozess mit Hilfe des *a-priori* aufgestellten Objektkataloges (s.o.). Aufgrund der bis in die montanen Stufe vorhandenen bewässerten Flächen wird zur schnelleren und weniger komplexen semiautomatischen Ausgliederung der Objektklassen eine getrennte Erfassung des Kulturlandes und der Wälder vorgenommen. Eine weitere Differenzierung der bewässerten Fläche wird in der vorliegenden Arbeit aufgrund der geringen spektralen Bandbreite der VHR-Datensätze und der in Relation zu den Feldgrößen zu geringen räumlichen Auflösung der HR-Bilder (IRS-1C, ASTER) nicht angestrebt (Mischpixel-Problematik, vgl. dazu auch HEYEN 1993). Ein erfolgsversprechender objektbasierter Ansatz aus panchromatischen und multispektralen VHR-Bildern (IKONOS und CORONA) wurde hinsichtlich einer differenzierten Landnutzungs klassifikation von Bewässerungsflächen im Hochgebirgsraum des Nordwest-Karakorum sowie zur Analyse von Landschaftsveränderung im Rahmen des CAK-Projektes von LIETH untersucht (LIETH 2002). Die spezifische Vorgehensweise der beiden lokalen Analysen kann der Abbildung 6.4.5.1 entnommen werden.

### Erfassung der Bewässerungsflächen von Gor

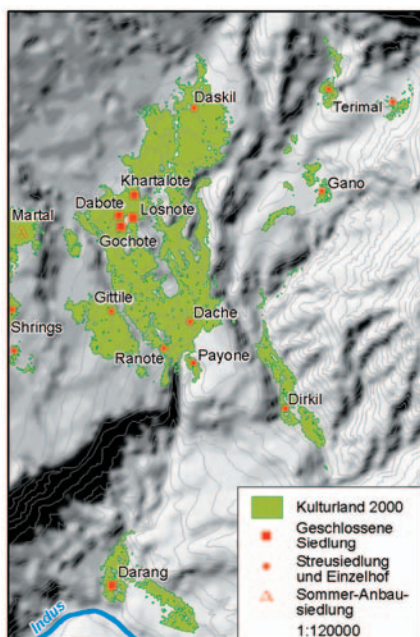


Abb. 6.4.5.2: Übersichtskarte der Tal-kammer von Gor (Quelle: NÜSSER 1998, ASTER 09.07.2000)

Das Untersuchungsgebiet der Region Gor umfasst die Höhenstufen von der kollinen bis zur subalpinen Stufe und beinhaltet Bewässerungsflächen mit Doppelernte im Indus-Tal (Darang 1250m) bis in 2100m Höhe (Dirkil, Dache, Ranote, tiefer gelegene Flächen von Gittile), Übergangsgebiete mit möglicher Doppelernte bis maximal 2400m (Gano, Losnote, Gochote, Dabote) und Einfacherntegebiete bis knapp über 3000m (Terimal, Daskil, Khartalote, Shings, Martal) (NÜSSER & CLEMENS 1996: 162; NÜSSER 1998: 101, vgl. Abb. 6.4.5.2). Je nach Aufnahmedatum der Fernerkundungsdaten weisen die Bewässerungsflächen ein stark unterschiedliches Reflexionsverhalten auf, was bei einer visuellen oder auch spektralen Klassifikation je nach räumlichem Auflösungsvermögen der Daten zu Problemen bei der Flächenausgrenzung führt. Die vorliegenden HR- und VHR-Daten repräsentieren zum einen den Zeitraum nach der ersten Ernte in den Doppelernte- und Übergangsgebieten (Juni/Juli, ASTER-Szene) mit einem reduzierten Vegetationssignal aufgrund der frühen Wachstumsphase der Zweitfrucht sowie einem deutlichen Vegetationssignal in den Einfacherntegebieten. Andererseits korrespondiert der zweite Zeitschnitt (September, IRS-Szene) mit der bevorstehenden bzw. laufenden Ernte im Bereich der

Doppelernte- und Übergangsgebiete oder den bereits abgeernteten Feldern im Einfacherntegebiet. Erstere weisen zu diesem Zeitpunkt insgesamt ein kräftiges Vegetationssignal auf, was in den Übergangsbereichen in ein stark wechselndes Muster aus mit Feldfrüchten bestandenen Feldern und bereits abgeernteten Bereichen wechselt. In den Einfacherntegebieten existiert dann nur noch ein schwaches Restsignal der gerade abgeernteten Felder, das selten durch noch bewässertes Grasland oder Kartoffelfelder unterbrochen wird.

In diesem Fall stößt eine spektrale Klassifikation von HR-Multispektralbildern schnell an ihre Grenzen und kann für die Einfacherntegebiete für den späten Zeitpunkt nur noch durch absolute Geländekenntnisse visuell ergänzt werden. Je nach Beleuchtungssituation und Bildqualität kann es zusätzlich zu Interpretationsschwierigkeiten kommen. Die meist panchromatischen VHR-Bilddaten zeigen zusätzlich zu den durch dunkle Grauwerte gekennzeichneten bewässerten und mit Feldfrüchten bestandenen Feldern die Strukturen der Bewässerungsflächen, so dass auch zu einem sehr späten Zeitpunkt der Vegetationsperiode die Bewässerungsflur visuell klassifizierbar bleibt (Abb. 6.4.5.3). Eine Zusammenstellung der panchromatischen und multispektralen Datensätze der Region ist der Abbildung 6.4.5.4 [A] zu entnehmen.

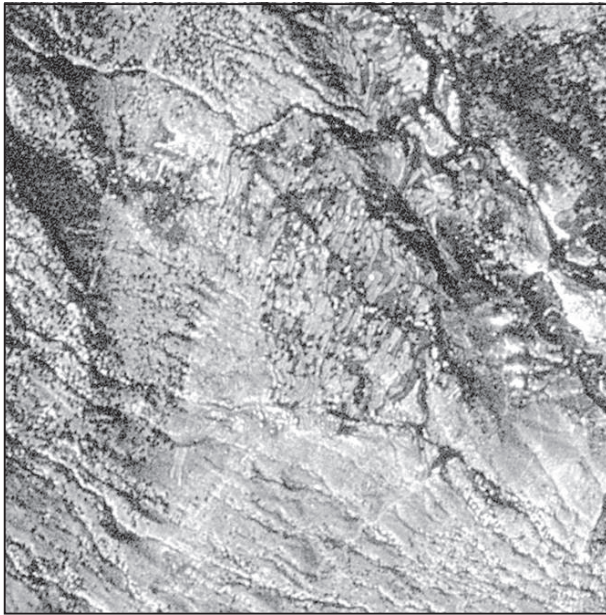


Abb. 6.4.5.3: Bewässerungsflur von Gittile (Gor) [Bild: CORONA 1035, 22.09.1966]

Aufgrund der oben genannten nicht eindeutigen spektralen Erkennbarkeit des bewässerten Kulturlandes erfolgt in einem ersten Schritt der Erfassung des Kulturlandes eine On-Screen-Digitalisierung der Flächen aus dem RGB-Bild der KFA-Szene. Die Flächen werden so genau wie möglich, jedoch mit vertretbarem Zeitaufwand digital erfasst, so dass die eingangs gestellte Forderung nach einer möglichst automatischen Verfahrensweise nur eingeschränkt, wie sich aber im Folgenden zeigen wird, mit gutem Grund und zur Verbesserung des Ergebnisses erfüllen lässt. Diese Art der Erfassung beinhaltet in den meisten Fällen eine autorenabhängige Generalisierung der Grenzen. Zur Verbesserung und Verfeinerung der Grenzen wird in eCognition mit den Inputdatensätzen aus visuell interpretierter Kulturlandmaske (thematischer Layer), den RGB-Kanälen der KFA-Szene sowie der

panchromatischen Information der SPOT-Szene eine Segmentierung gerechnet. Unter Zuhilfenahme des *manual classification tools* ist es durch einfaches Selektieren von Objektprimitiven an der Grenze zur Kulturlandmaske schnell und einfach möglich neue Klassenattribute zu vergeben und somit die generalisierte Interpretation des Kulturlandes zu verfeinern. Die neuen Klassengrenzen entsprechen nun aufgrund des Segmentierungsprozesses eher objektiv abgegrenzten Flächen, auch wenn eine manuelle (subjektive) Zuweisung der Objekte zur Klasse **cultivation** erfolgt. Die somit erlangte Objektklasse **cultivation** besitzt im späteren Klassifizierungsprozess für die Objektklasse „Wald“ als übergeordnete Klasse besondere Bedeutung für die Trennung von bewässertem Kulturland zu Wald- und offenen Flächen (s.u., Erfassung der Waldflächen).

Die visuelle Abgrenzung der Bewässerungsflächen aus den CORONA-Bildern erfolgt ebenfalls unter Zuhilfenahme einer Segmentierung in eCognition und einem **Rückwärtigen Editieren** (WITSCHAS 2002: 112; KIENAST et al. 1991) durch manuelle Korrektur der aus den SPOT Pan- und KFA-Datensätzen extrahierten bewässerten Fläche im objektbasierten System (s.o.). Dieser Ansatz führt wesentlich schneller und zuverlässiger zu einer vollständigen Kartierung der Flächen als eine manuelle On-Screen-Digitalisierung des panchromatischen Bildes im GIS. Von großem Vorteil erweisen sich hier wiederum die Objektprimitiv, die auf der Basis des panchromatischen Bildes sowie des thematischen Layers **cultivation** (s.o.) erzeugt wurden. Diese Objektprimitiv können nun wiederum sehr einfach anhand der manuellen Klassifikation in eCognition der Klasse **cultivation** (CORONA) hinzugefügt oder entfernt werden ohne das sogenannte *sliver polygons* zu einer Ungenauigkeit der Geometriedaten führen (OTT & SWIACZNY 2001: 97). Die



flächenvergleichende und -bilanzierende Analyse mit historischem Kartenmaterial und aktuellem HR-Datensatz (ASTER-Szene) ist dem Kapitel 7.3.1 zu entnehmen (vgl. Abb. 7.3.1 [A]).

### Erfassung der submontanen und montanen Wälder der Region Gor aus KFA und SPOT-PAN

Der wichtigste Aspekt bei der Klassifikation der Waldstandorte in der Region Gor ist zunächst in der Schaffung von Grundlagendaten für die Veränderungsanalyse zu sehen. Aufgrund der fehlenden flächenscharfen Ausweisung der submontanen Steineichenwälder in den historischen Kartendaten muß auf jüngere Datensätze zurückgegriffen werden. Problematisch erwies sich eine auf Schwellenwerten oder auf Form-Parametern basierende Vorgehensweise für die CORONA-Daten. Hier musste von einer objektbasierten Klassifikation abgesehen werden. Das CORONA-Bildmaterial dient bei der Vergleichsanalyse somit „nur“ als Hintergrunddatensatz zur visuellen Bestimmung von Veränderungen (Kap. 7.3.1). Als Ausgangspunkt für die räumliche Veränderungsanalyse werden die SPOT-PAN- und die RGB-KFA-Szene in einem Multisensor-/Multiresolution-Ansatz unter Zuhilfenahme des eCognition-Methoden-Pools zusammenfassend analysiert. Der Segmentierungsprozess wird gespeist mit den drei spektralen Kanälen der KFA-Daten sowie der Grauwert-Information des SPOT-Bildes. Voraussetzung für eine erfolgreiche Klassifizierung der Objektklasse „Wald“ mit ihren Unterklassen sind verschiedene Segmentierungsebenen, die durch ihre jeweiligen Segmentgrößen die Objekte der realen Welt ausreichend genau repräsentieren. Dies sind zum einen auf der untersten Ebene einzelne Baumgruppen und offene bis sehr offene Waldstandorte sowie der Verzahnungsbereich von Steineichen- und feuchten Nadelwaldbeständen im Übergang von submontaner zur montanen Vegetationshöhenstufe (Eingangsparameter für die Segmentierung: *scale parameter*: 5, *color*: 0.7, *shape*: 0.3, *smoothness*: 0.7, *compactness*: 0.3). Zum anderen wird auf einer höheren Ebene eine Objektgröße notwendig (*scale parameter*: 20, *color*: 0.7, *shape*: 0.3, *smoothness*: 0.7, *compactness*: 0.3), die auf Formationsebene eine Vergleichbarkeit der Klassifikationsergebnisse mit den HR-Datensätzen ermöglichen soll und somit einen Generalisierungsschritt beinhalten muß, der jedoch in einem zusammenhängenden Klassifizierungszyklus und unter Verwendung von unscharfen Abgrenzungskriterien (*Fuzzy-Logic*) erfolgen soll. Die Güte der Segmentbildung kann nur visuell kontrolliert werden.

Bei der Aufstellung des streng hierarchisch gegliederten Klassifikationsschemas (vgl. Tab. 6.4.5.1 [A]) wird sowohl auf die aus der Literatur bekannte Höhenstufung der Vegetation zurückgegriffen (NÜSSER 1998: 59, 65f) als auch eine Kombination aus gemittelten panchromatischen Schwellenwerten der SPOT-Daten und der Ratio-Kanäle der RGB-Szene (KFA) genutzt. Die Merkmale *ratio green* und *ratio red* werden auf der Basis der spektralen Kanäle (blau, grün, rot) von eCognition bereitgestellt (vgl. Kap. 6.4.3). In eCognition integrierte benutzerdefinierte Ratio-Kanäle sichern als bildabhängige Zusatzkanäle die Differenzierung der Waldklassen im eng vorgegebenen spektralen Merkmalsraum der Ausgangsdaten.

Dazu gehören der **einfache Ratio-Kanal**

$$r_{redgr} = \frac{red}{green}$$

sowie der **komplexe Ratio-Kanal**

$$cmplx = \frac{red}{(blue + green^2) * 100}$$

Letzterer diene vor allem zur Ausgliederung von Schattenflächen. Die semantische Information wird auf der untersten Ebene in erster Linie aus den spektralen Merkmalsausprägungen abgeleitet. Die Höhen-



information unterstützt im Zuge der angewendeten Maskierungstechnik die Klassentrennung während der Klassifikation. Einzig im submontanen-montanen Übergangsbereich werden für die Ausgliederung der Trockenwaldbestände (*dry conifer A* und *dry conifer B*) zusätzlich zu den spektralen Charakteristiken der Objekte *class-related features* definiert, die anhand von Nachbarschaftsbeziehungen (*Relation to Neighbor Objects: Relativ area of*) die Trennung von der Objektklasse *wet conifer B* gewährleisten soll. Mit zunehmender Hierarchietiefe wird die Differenzierung der Objektklassen aufgrund der geringer werdenden spektralen und textuellen Unterschiede im Merkmalsraum der Objekte immer schwieriger. Nur durch eine wissensbasierte und durch ständige visuelle Kontrolle gestützte iterative Vorgehensweise kann hier die Zuweisung der Objektbedeutung erfolgen. Der Multi-Level-Ansatz gewährleistet somit eine kontrollierte und zusammenhängende Klassifikation auf den zwei Skalenebenen. Die gewählten Ausgliederungskriterien mit ihren Objekt-Merkmalen können der Tabelle 6.4.5.1 [A] entnommen werden. Das Ergebnis der KFA-/SPOT-PAN-Klassifikation kann in der Abbildung 6.4.5.5 [A] eingesehen werden.

Insgesamt zeigt sich sowohl im Level1 als auch im Level2 trotz geringer spektraler Bandbreite eine sehr gute Klassenzugehörigkeits-Erwartung der einzelnen Objektklassen (vgl. Tabellen in Abb. 6.4.5.5 [A]). Bis auf die Objektklasse *dry conifer A* liegt sie im Level1 bei allen anderen Klassen über 80%. Auch die *classification stability* weist hohe Werte im Level1 auf. Lediglich bei den Objektklassen *wet conifer spot*, *wet conifer tree*, *dry conifer A* und *dry conifer C* deutet sich eine Klassifikationsungenauigkeit an, die jedoch bei genauer Betrachtung der zweiten Zugehörigkeits-Erwartung insofern relativiert werden kann, als dass sich die Instabilität der Ausscheidungskriterien bei den Nadelwaldklassen in erster Linie auf eine gegenseitige Ausweisungsunsicherheit bezieht. Dies gilt eingeschränkt auch für die Steineichenwald-Objekte, wobei hier zusätzlich geringe Konflikte im schmalen montanen Übergangsbereich mit den offenen Gras-Objektklassen auftreten. Im Level2 bestehen Klassifikationsunsicherheiten lediglich in den Nadelwaldklassen (*wet conifer*, *wet conifer B*, *conifer C*). Eine Untersuchung der zweiten Zugehörigkeitserwartung zeigt auch hier in erster Linie einen Konflikt der indirekt nach Dichtekriterien ausgewiesenen Objektklassen. Es zeigt sich, dass die Klassifikationsunsicherheiten primär in den Unterklassen einer übergeordneten Objektklasse bestehen. Somit kann für die Objektklassenebene 1 von einer hohen Klassifikationsgüte ausgegangen werden. Dies wird bestätigt anhand einer auf der Basis von Testgebieten erfolgten Gegenüberstellung von klassifizierten Daten mit visuell interpretierten Referenzdaten (vgl. Tab. 6.4.5.2).

Reference	wet conifer	dry conifer	sum
User			
wet conifer	32595	412	33007
dry conifer	61	19477	19538
unclassified	0	1391	1391
sum	32656	21280	

Accuracy

Producer	0,998132	0,915273
User	0,987518	0,996878
Hellden	0,9992797	0,954334
Short	0,985696	0,912656
KIA per class	0,995186	0,867148

Totals

overall accuracy: 0,965441 (96%)  
 KIA: 0,928972 (93%)

Tab. 6.4.5.2: Überprüfung der Klassifikationsgüte (KFA 1000/SPOT PAN 1988/90) mit Hilfe von Referenzpolygonen in eCognition 2.1 (Error Matrix based on TTA Mask)

### Erfassung der submontanen und montanen Wälder der Region Gor aus IRS-1C

Die gesonderte objektbasierte Klassifikation der Region Gor aus den IRS-1C-Daten resultiert aus dem durch die Topographie bestimmten starken Besonnungsgrad der südost-exponierten Waldhänge. Aufgrund fehlender aktueller VHR-Daten für diese Region, müssen die HR-Daten des IRS-1C-Sensors trotz der wesentlich geringeren räumlichen Auflösung als aktuellster Zeitschnitt für die Veränderungsanalyse herangezogen werden (vgl. Abb. 6.4.5.1). Wiederum wird nach erfolgter Segmentierung ein streng hierarchischer Maskierungsansatz gewählt, in dem mit Hilfe von Höhenstufenzugehörigkeit (DGM), Beleuchtungssituation (*shaded relief*) und spektraler Information (*green*, *red*, NIR, MIR) die Objektklassen-Hierarchie so konstruiert wird, dass zunächst wiederum die am sichersten abzugrenzenden Objekte klassifiziert werden (vgl. Tab. 6.4.5.3 [A]). Zusätzlich zu den vom eCognition-System zur Verfügung gestellten spektralen Merkmalsausprägungen (v.a. *mean red*, *mean NIR*, *ratio NIR*) wurden aus der Literatur vegetationsrelevante Ratio-Kanäle wie der **Complex Division**

$$CPLX = NIR / (Red + Green)$$

und der **Infrarot Index**

$$(NIR-MIR) / (NIR+MIR)$$

verwendet, die ein nachgewiesenes Potenzial für forstliche Fragestellungen besitzen (DARVISHSEFAT 1995: 75).

Im Gegensatz zur objektbasierten Klassifikation der Nanga Parbat-Region wird für Gor eine zusammenhängende Klassifikation von Kulturland und Wald vorgenommen. Unterstützt wird die Ausweisung der Objektklassen durch die Verwendung der bestehenden Kulturlandflächen aus der Analyse der KFA- und SPOT PAN-Daten (Merkmalsausprägung: Zugehörigkeit zum thematischen Layer Kulturland 1988/1990). In einem folgenden Schritt wird anhand von Nachbarschaftsbeziehungen und genau definierten Höhenstufen in Kombination mit Vegetationsindex und spektraler Information neu hinzugekommenes Kulturland erfasst. Erst danach erfolgt die Objektzuweisung für die feuchten und trockenen Waldstandorte. Die resultierenden klassifizierten Objekte weisen eine sehr gute Klassifikationsgüte auf. Sowohl die erste Zugehörigkeitserwartung der Objektklassen als auch ihre Klassifikations-Stabilität zeigt hohe Werte (vgl. Tab. 6.4.5.3 [A]). Lediglich die Objektklassen **wet conifer 1/2** und **wet conifer 1/3**, die zur Ausgliederung von Waldflächen in stärker beschatteten Hangbereichen dienen, besitzen eine geringe Erstzugehörigkeit und Stabilität. Eine Analyse der Zweitzugehörigkeit sowie der räumlichen Verteilung der Objekte zeigt deutlich die kritischen Bereiche in den eher sonnenabgewandten Hangpartien (vgl. Abb. 6.4.5.6 [A]). Für diese Gebiete kann keine hohe Klassifikationsgüte erreicht werden, jedoch kann mit dem Wissen ihrer räumlichen Lage bei einer anschließenden Veränderungsanalyse die Verortung und Qualität von Veränderung dementsprechend berücksichtigt werden (vgl. Kap. 7.3.1.). Das Ergebnis des Klassifikationsprozesses kann der Abbildung 6.4.5.6 [A] entnommen werden.

### Erfassung der unteren Waldgrenze im unteren Astor-Tal aus CORONA

Für das untere Astor-Tal konnte ein objektbasierter Klassifikationsansatz entwickelt werden, der wiederum mit einer streng hierarchischen Maskierung sowie einer Multi-Level-Vorgehensweise arbeitet. Mit Blick auf die aus den qualitativen Bildsequenzen festgestellten deutlichen Anhebungen der unteren Waldgrenze im Astor-Tal liegt dabei die Zielsetzung in der Verbesserung der genauen Delineation der unteren Wald-

grenze aus den CORONA-Bildern im Vergleich zu einer manuell durchgeführten Kartierung. Generelles Ausscheidungskriterium für Wald sind verschiedene Grauton-Schwellenwerte, die es ermöglichen sollen sowohl dichten Wald als auch kleine Baumgruppen zu erfassen und mit Kontext-Kriterien zusätzlich zu sichern. Im montanen Wald ist es allerdings nicht mehr möglich anhand der Grauwerte Nadel- von Birkenwald oder sogar deren Übergangsformen auszuweisen. Deshalb werden die Zielklassen der Klassifikation auf dem zur Objektebene 1 nächst höherem Level aggregierbar sein. Das bedeutet, dass die Objektprimitive, die dichten Wald und Baumgruppen repräsentieren, auf die Klassen submontaner Trockenwald (dicht und offen) sowie submontan/montaner Wald (dicht und offen) aggregierbar sein müssen. Zusätzlich werden die im CORONA-Bild im Bereich der Siedlung Mushkin deutlich abgrenzbaren ausgedehnten Flächen mit grundwassernahen Gebüschern erfasst. Die Delineation der Bewässerungsflächen erfolgt wiederum mit der Methode des *Rückwärtigen Editieren*, das ausgehend von der Kulturlandmaske der KFA-Gesamtszene und einem Segmentierungsprozess unter Berücksichtigung der Grauwerte des CORONA-Bildes eine genaue Ausweisung der bewässerten Fläche 1968 zulässt.

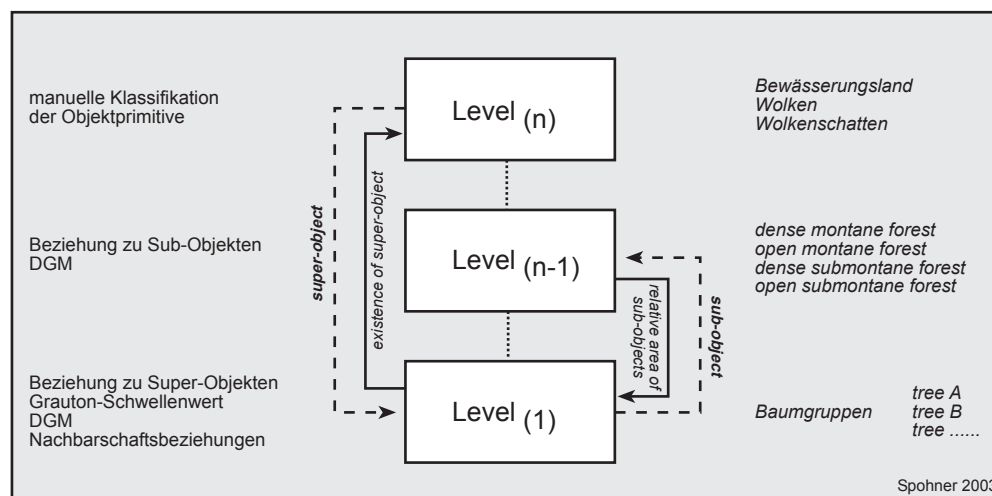


Abb. 6.4.5.7: Multi-Level-Vorgehensweise bei der Ausweisung von Waldflächen und Baumgruppen aus panchromatischen Satellitenbilddaten (CORONA 1966/68)

Der Analyseausschnitt ergibt sich aus einem vier Bilder umfassenden Mosaik, das aus dem Geokodierungsprozess resultiert und aufgrund der Passpunktlage und dem anschließenden Triangulationsverfahren sowie der Bedeckung durch Wolken und deren Schatten unregelmäßig begrenzt ist. Im Wesentlichen ist von Doian bis Harchu die untere Waldgrenze erkennbar (vgl. Abb. 7.3.3.1 [A]). Die Segmentierung liefert Objektprimitive, die im Gegensatz zu einer interpretenabhängigen Kartierung objektive und je nach Segmentgröße auch sehr detaillierte Strukturen der realen Welt wiedergibt. Generell wird die Klassifikation durch die in Abbildung 6.4.5.7 verdeutlichten Relationen und Regelwerke gesteuert. Auf dem niedrigsten Level werden anhand von Grauton-Schwellenwerten, lokal definierten Höhenbereichen, Beziehungen zu Nachbar-Objekten (*Relations to Neighbor Objects*) sowie durch Relationen zu Super-Objekten (Maskierung durch übergeordnete Objektklassen) Baumgruppen herausgefiltert. Durch die Beziehung zu den Unterklassen „Baumgruppen“ (*Relations to Sub-Objects*) werden in einem nächst höheren Niveau neue Objektklassen aggregiert. Die Ergebnis-Klassifikationen enthalten dann auf einem mittleren Level die Objektklassen *dense montane forest*, *open montane forest*, *dense submontane forest* und *open submontane forest*. Mit dieser kontrollierten Vorgehensweise ist es sogar möglich, die in den CORONA-Bildern stark durch Wolken gestörten Bereiche der Talkammer Mushkin in einem Multi-Image-Ansatz zu klassifizieren, indem die manuell aus den Bilddaten erstellten Wolkenmasken (*manuell classification tool*, CORONA 1966 und 1968) in einem höheren Level wechselweise als Masken für das niedrigste Level fungieren (vgl. Abb. 6.4.5.8 [A]).

Die Klassifikationsgüte ist für alle vier Bildausschnitte hoch und liegt immer über 90% (vgl. Tab. 6.4.5.4 [A]). Die erste Klassenzugehörigkeits-Erwartung ist sowohl für Objektprimitive eines niedrigen Levels als auch für aggregierte Objekte eines höheren Niveaus in den meisten Fällen größer als 97%. Die zugehörige Klassifikations-Stabilität weist ebenfalls auf ein stabiles Ergebnis hin. Auch wenn für einige Objektklassen die Stabilitätswerte kleiner als 80% oder sogar weniger als 1% betragen, bedeutet das nicht zwangsläufig eine geringere Genauigkeit der Klassifikation. Bei näherer Betrachtung der betroffenen Klassen wird schnell deutlich, dass die Ausscheidungskriterien und Merkmalsräume der Objekte sehr ähnlich sind. Da in erster Linie Dichtekriterien (dicht, offen) die Abgrenzung der Objektklassen bestimmen, können die kritischen Objekte schnell und einfach im GIS verortet und kontrolliert editiert werden (neue Attribute, Hilfsmittel: DGM). Somit repräsentieren die im GIS zusammengefaßten Einzelklassifikationen (*merge themes*) die untere Waldgrenze für das untere Astor-Tal zum Zeitpunkt 1966/68 (vgl. Abb. 6.4.5.9 [A]).

## 6.5 Zusammenfassung: raumbezogene Basisdaten der Nanga Parbat-Region

Der eingangs im Sinne von DAPLARCH formulierten Zielvorstellung zur Bereitstellung von raumbezogenen Basisdaten für eine *land use-/land cover-change* Analyse konnte mit der vorliegenden Arbeit entsprochen werden. Der stark heterogene Ausgangsdatensatz aus historischer Karte, historischen und aktuellen Stereofotografien sowie multitemporalen Multisensor-Satellitenbilddaten konnte trotz z.T. eingeschränkter Datenqualität, u.a.

- defektes historisches Bildmaterial
- fehlende Kalibrierungs- und nur angenäherte Georeferenzinformation der Fotos
- radiometrische Datenfehler der IRS-1C Szene
- starke Lagedeformation der Fernerkundungs-Bilddaten (Hochgebirgsrelief, randliche Ausschnitte aus Panoramastreifen),

bearbeitet und in einem Datenpool für die Veränderungsanalyse im lokalen und regionalen Maßstab bereitgestellt werden. Die historische Rekonstruktion der Landbedeckung und -nutzung erfolgte aus dem historischen Kartenmaterial (Vegetationskarte, topographische Karte - regionaler Maßstab) sowie aus den historischen terrestrischen Bildaufnahmen (lokaler Maßstab). Zur Nutzung der historischen Rauminformation musste die Karte einer intensiven Quellenkritik unterzogen werden (vgl. Kap. 3.2.1 und Kap. 6.3) bevor sie einer raumbezogenen Analyse von Veränderungen zugeführt werden konnte. Ein im GIS entwickelter Qualitätsindex gewährleistet zwar keine absolut gesicherten Genauigkeitsmaße, jedoch gibt er wertvolle Hinweise zur Güte von festgestellten Veränderungen auf der Basis der historischen Karten und aktuellen Fernerkundungsdaten (vgl. Kap. 7.2.1). Die räumliche Referenz bildet die topographische Karte der Nanga Parbat-Region. Im Vergleich zu vielen anderen Hochgebirgsregionen ist das Untersuchungsgebiet somit mit einer ausgezeichneten Georeferenz ausgestattet. Allerdings limitiert der Maßstab von 1: 50.000 die Genauigkeitsansprüche für lokale Analysen. Das aus den Kartendaten abgeleitete Höhenmodell ist zum einen selbst Basisdatensatz und zum anderen wichtiger und unumgänglicher Bestandteil zur Erstellung von weiteren *baseline data* (Klassifikation der Fernerkundungsdaten), es kann jedoch aufgrund seiner räumlichen Auflösung (25 m) auch nur regionalen Genauigkeitsansprüchen genügen. Die nicht ganz zufriedenstellende Geokodierung der multitemporalen Datenebenen ist das Resultat aus einem stark reliefierten Gelände und einer regional jedoch häufig nicht lokal ausreichenden Referenz (vgl. Kap. 4.6). Bei der folgenden Verschneidung der multitemporalen *land use-/land cover* Daten muß immer die problematische räumliche Anpassung der Bilddaten und deren Folgeprodukte berücksichtigt werden.



Die folgende Aufstellung zeigt die räumliche Abdeckung der erzeugten Basisdaten, die ausschließlich digital als reine Bilddaten zur visuellen Interpretation oder als Vektor- oder Rasterdaten vorliegen:

**regional:**

- Digitales Höhenmodell
- Vegetationskarte (Abb. 6.4.5.5 [A])
- Qualitätsindex der Vegetationskarte (Abb. 6.3.4 [A])
- IRS-1C-Klassifikation (Abb. 6.4.3.4 [A], Abb. 6.4.3.5 [A])
- Aster-Klassifikation (Abb. 6.4.4.3 [A], Abb. 6.4.4.4 [A])

**lokal:**

**unteres Astor-Tal** (Abb. 6.4.5.9 [A])

- Corona-Klassifikation
- KVR 1989 (visuell)
- Aster-Klassifikation

**mittleres/oberes Astor-Tal** (vgl. Kap. 6.2.1) (Abb. 6.2.1.7 [A], 6.2.1.8 [A])

- Corona (visuell)
- Analytische Daten historisch/aktuell
- Aster-Klassifikation (teilweise)

**Raikot-Tal** (Abb. 6.2.1.9 [A])

- Corona (visuell)
- Analytische Daten historisch
- Aster-Klassifikation

**Gor** (Abb. 6.4.5.5 [A], Abb. 6.4.5.6 [A])

- Corona (visuell)
- KFA/SPOT-Klassifikation
- IRS-1C-Klassifikation.

Im folgenden werden diese Basisdaten einer regionalen und lokalen Veränderungsanalyse zugeführt.

## 7. Analyse der Veränderungen im lokalen und regionalen Maßstab

### 7.1 Change Detection aus Karten- und Klassifikations-Basisdaten

Für die lokale und regionale Vergleichsanalyse werden die aus den verschiedenen Datenquellen unabhängig voneinander erstellten Zeitschnittinventare in einem Geographischen Informationssystem gespeichert und in Abhängigkeit ihrer räumlichen Genauigkeit einem Postklassifikations-Vergleich zugeführt. Bevor eine Veränderungsanalyse (*change detection*) durchgeführt wird, erfolgt jeweils eine Konvertierung der Vektordatensätze in ein Raster-GRID (regionaler Maßstab: 15m Auflösung; lokaler Maßstab: 5m, 2,5m Auflösung). Durch eine einfache Kombination der räumlich angepaßten GRIDS kann schnell ein Datensatz erzeugt werden, der in seiner Datenbank für jedes Pixel die Information zweier oder mehrerer Zeitschnitte enthält. Eine gezielte Datenbankabfrage ermöglicht die Aufstellung einer komplexen Veränderungs-Matrix (*change detection matrix*) aus der sowohl die Qualität („from-to“ *change*) als auch die Quantität (Anzahl der Pixel) einer zeitlichen Veränderung entnommen werden kann (KHORRAM 1999: 34). Diese *change detection* Methode gewährleistet eine detaillierte Einsicht in alle Kombinationsmöglichkeiten der Objekt-klassen zweier Zeitschnitte und lässt eine selektive Analyse von real möglichen oder auch nicht sinnvollen Objekt-(Pixel-)Veränderungen zu. Die Genauigkeit einer solchen Vorgehensweise ist stark abhängig von der Güte der Einzelklassifikationen und wird angenähert durch das Produkt aus den jeweiligen Genauigkeiten der Zeitschnittinventare (SINGH 1989: 996). Im Vorfeld der *change detection* wurde eine Rohmatrix der möglichen Veränderungsklassen mit einer eigenen Kodierung entwickelt, in der nicht sinnvolle oder für das Untersuchungsgebiet nicht relevante Veränderungen als „nicht zugelassen“ gekennzeichnet sind (vgl. Abb. 7.1.1). Auf regionaler Ebene stehen als Basisdaten die historische Vegetationskarte und die klassifizierte Satellitenbilder von IRS-1C und ASTER zur Verfügung. Die auf der Basis des Kontrollpunkttrasters (Kap. 6.4.2) bestimmten Genauigkeiten der Klassifikationen und eine angenäherte Kartierungsgüte der Vegetationskarte (vgl. Tab. 6.4.4.2, 6.4.4.3, 6.4.4.4) weichen z.T. erheblich voneinander ab und ergeben für den Postklassifikations-Ansatz eine geringere *change detection* Güte.

1939		land use/land cover code					
2000		2300	2100	2210	2230	2235	2220
land use/land cover code	2300	1	2101	2102	2103	2104	2105
	2100	2201	1	2301	2302	2303	2317
	2210	2202	2304	1	2305	2306	2318
	2230	2203	2307	2308	1	2309	2319
	2235	2204	2310	2311	2314	1	2320
	2220	2205	2313	2314	2315	2316	1

**2201** im Wesentlichen vorkommende Veränderungen

Codierung der Veränderungsklassen:

1: keine Veränderungen  
>2000: Veränderungen

2101-2105: Verlustflächen, Degradierung  
2201-2205: Erweiterungsflächen (Kulturland)  
Sukzessionsflächen (Wald)  
2301-2320: *land use/land cover* Umwandlungsklassen

keine Veränderung  
 zugelassene Veränderungen  
 nicht zugelassene Veränderungen

Konzeption und Grafik: R. Spohner

keine Veränderung

zugelassene Veränderungen

nicht zugelassene Veränderungen

Tab. 7.1.1: Steuerung der Veränderungsanalyse durch die Ausweisung von zugelassenen und nicht zugelassenen Veränderungsklassen

Trotz der zu erwartenden schlechteren Güte der Veränderungsanalyse erfolgt im regionalen Maßstab eine Überlagerung der historischen Kartendaten mit den aktuellen Basisdaten aus den Fernerkundungsbildern. In gewissem Maße kann die Güte der detektierten Veränderung anhand der Qualitätsindex-Karte gesteuert werden, indem nur die Gebiete mit einem Qualitätsindex kleiner als 5 zugelassen werden. Zudem ist es möglich Gebiete mit realer Veränderung anhand der „zugelassenen“ bzw. „nicht zugelassenen“ *change*-Klassen herauszufiltern. Die hier genannte Vorgehensweise (vgl. Abb. 7.1.2) dient trotz nicht flächenscharf gesicherter historischer Daten dazu, auf Gebiete mit realer Veränderung zu fokussieren und diese in einem nächsten Schritt im lokalen Maßstab zu überprüfen. Ein anderer Aspekt ist in der Ermittlung der am besten

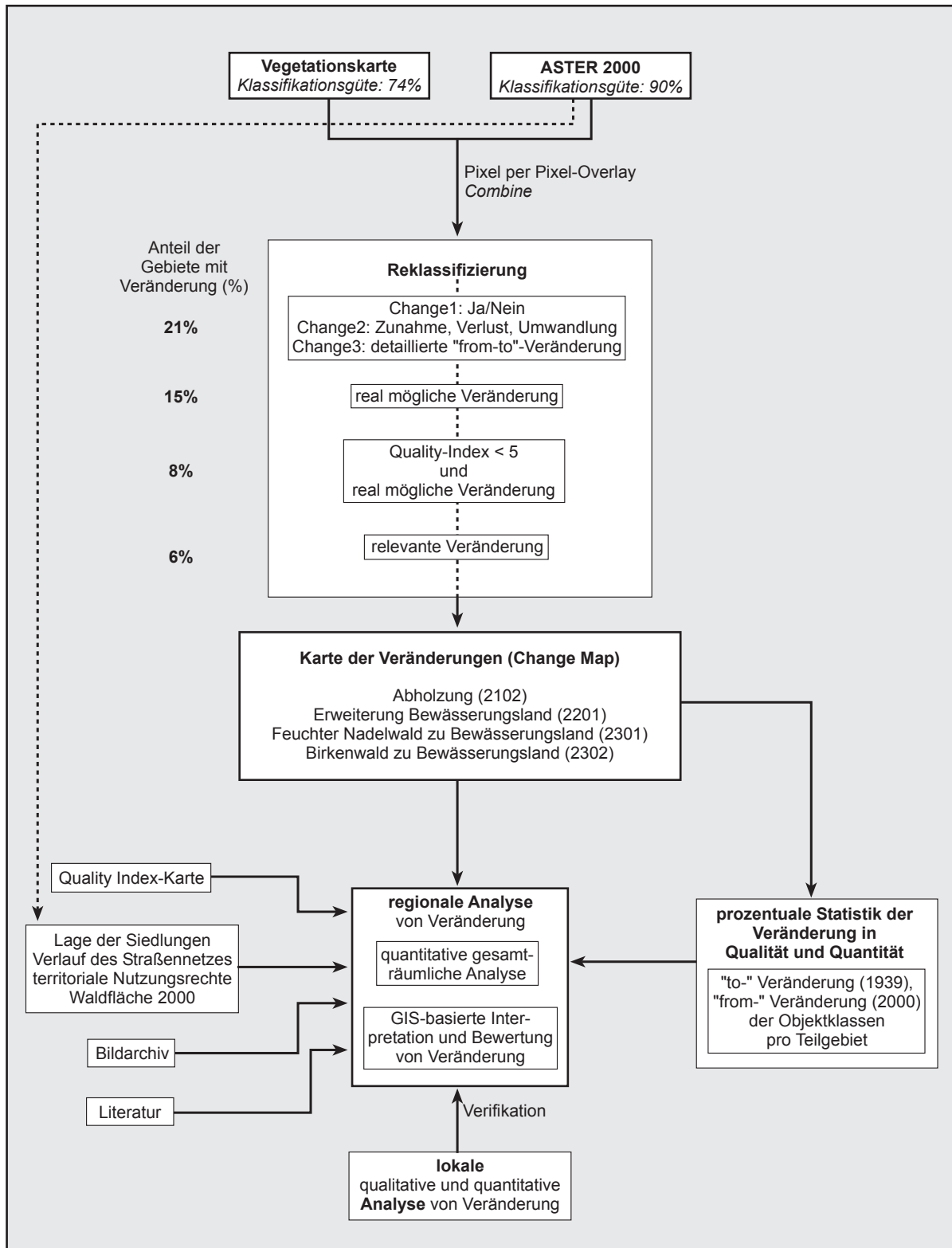


Abb. 7.1.2: Workflow der Veränderungsanalyse für die Nanga Parbat-Region

geeigneten aktuellen Basisdaten (IRS-1C- und ASTER-Klassifikation) zu sehen, die in Kombination mit der Vegetationskarte ein genaues Bild der Veränderungen wiedergeben. Überprüft werden die resultierenden Karten der Veränderung anhand der komplexen *change detection error matrix*, in der sich die klassifizierte Veränderungs- bzw. Nichtveränderungsklassen und die Referenzklassen gegenüber stehen (vgl. Abb. 7.1.3 [A], 7.1.4 [A]). Die Hauptdiagonale der Matrix zeigt die korrekt klassifizierte *change/no change*-Klassen, wo hingegen die abseits der Diagonale liegenden Veränderungsklassen auf Fehler der Ausgangsklassifika-

tionen oder auf falsche (*error of commission*) bzw. nicht detektierte Veränderungen (*error of omission*) hinweisen (BIGING 1998: 286).

Beide aktuelle Basisdatensätze zeigen nach der Einschränkung der Veränderungsklassen auf die zugelassenen Objektklassenkombinationen eine relativ hohe Gesamtgenauigkeit und ähnliche Veränderungsmuster. Bei genauer Betrachtung der Veränderungsmatrix aus IRS-1C- und ASTER-Klassifikation mit den „zugelassenen“ Veränderungen wird deutlich, dass die Differenzen sich ausschließlich auf die Zunahme oder Abnahme von Bewässerungsland in Bezug auf die „Nicht-Waldklasse“ beziehen, was auf die unterschiedlichen Kartierungsmethoden des bewässerten Kulturlandes in den beiden Zeitschnitten zurückzuführen ist (bei IRS-1C manuelle Kartierung aus KFA-1000 und objektbasierter Klassifikation, bei ASTER ausschließlich pixelbasierte Klassifikation). Aus Gründen der höheren Klassifikationsgüte der Ausgangsdaten wird für die weiteren Analysen auf die ASTER-Objektklassen zurückgegriffen. Auf eine flächenscharfe, auf Hektarangaben basierende Veränderungsbilanz muss aus den bereits genannten Gründen der nur angenähert ermittelten Genauigkeit der historischen Daten verzichtet werden. Allerdings lassen sich auf regionaler Ebene generelle Aussagen zur qualitativen Veränderung der Objektklassen sowie deren räumliche Verteilungsmuster und ihre relative Größenordnung treffen (vgl. Kap. 7.2). Trotz des problematischen Datenvergleiches bietet dieser Ansatz die einzige Möglichkeit, sowohl allgemeine regionale als auch unterschiedliche subregionale Trends zu verdeutlichen. Im vorliegenden Fall kann diese Vorgehensweise nur in Verbindung mit der Qualitätskontrolle der Ausgangsdaten (Kap. 6.3) sowie zusätzlichen Daten zur Abschätzung der Veränderung (z.B. systematische multitemporale Fotointerpretation, vgl. Kap. 5.3) erfolgen. Eine Lokalisierung und Bewertung von Veränderungen (Qualität, relative Quantität) ist immer vor dem Hintergrund der auftretenden Lagefehler aus den räumlich/inhaltlich nicht endgültig homogenisierten Zeitschnittinventaren sorgfältig zu interpretieren (OTT et al. 2001: 98). Es bietet sich an, für das stark gegliederte Untersuchungsgebiet neben dem Gesamtvergleich auch eine differenzierte Betrachtung von Teilgebieten vorzunehmen (vgl. Kap. 5.3), die mit Unterstützung der qualitativen und quantitativen lokalen Analyse eine abschließende Dokumentation der raum-zeitlichen *land-use/land-cover* Dynamik ermöglicht.

Die Karte der Veränderungen (*change map*) (Abb. 7.1.5 [A]) ermöglicht in Verbindung mit einer gezielten Datenbankabfrage sowohl die Analyse des räumlichen Verteilungsmusters als auch Aussagen zur Veränderung von Objektklassen in ihrer Qualität und Quantität. Letzteres erfolgt bezogen auf das Gesamtgebiet und deren Teilgebiete für die Darstellung der *from-to*-Veränderungen (vgl. Abb. 7.2.1.1 [A]). *Land-use/land-cover change* kann somit sowohl aus der historischen Perspektive (Flächenanteil von aktuellen Objektklassen an Veränderungen einer historischen Objektklasse) als auch in umgekehrter Sichtweise als Veränderung der rezenten Objektklassen auf Kosten einer oder mehrerer historischer Landbedeckungen dokumentiert werden.

Die lokale Analyse von *land-use/land-cover change* basiert sowohl auf der Verschneidung von Klassifikations-Basisdaten als auch auf den Auswertungen der Stereomodelle (vgl. Kap. 6.2.1). Zusätzlich stützen visuelle Interpretationen hoch aufgelöster Satellitenbilddaten die Bewertung der jeweiligen lokalen raum-zeitlichen Dynamik.

## 7.2 Regionale Analyse der Veränderungen im Untersuchungsgebiet

Die Aufstellung der sinnvollen und für das Untersuchungsgebiet relevanten Veränderungsklassen in Abbildung 7.1.1 verdeutlicht die hauptsächlich vorkommenden *land-use/land-cover changes* (6% des Untersuchungsgebietes unterliegen seit 1939 einer Veränderung). Aufgrund des *a priori* aus den historisch vorgegebenen Objektklassen erstellten Objektkatalogs der Vergleichsanalyse kristallisieren sich drei Verän-



derungsklassen heraus. Als positive Entwicklung, ohne Beeinträchtigung der Waldstandorte, kann man die Erweiterung der bewässerten Flächen in die *Artemisia brevifolia*-Steppe bezeichnen (Veränderungsklasse 2201). Von der Verwendung der detektierten Walsukzession (Veränderungsklasse 2202) wurde Abstand genommen, da diese zwar von NÜSSER für das Raikot-Tal bestätigt wird (NÜSSER 1998: 65) und in ihrer dortigen Lage auch in der nicht korrigierten *change map* (ohne Verwendung des Qualitäts-Index) vorhanden ist, jedoch die übrige Verteilung dieser Klasse auf die nicht kalkulierbaren Kartiergenauigkeiten von C. Troll zurückzuführen ist und deshalb in den meisten Fällen als nicht sinnvolle Veränderung in der Datenbank eingetragen wird. Die Degradation der feuchten Nadelwaldbestände zu offenen Flächen stellt eine negative Veränderung dar (Veränderungsklasse 2102). Als dritten Komplex repräsentieren die Veränderungsklassen 2301 und 2302 die Umwandlung von Waldstandorten in Bewässerungsland und beinhalten somit sowohl eine negative (Abholzung des Waldes) als auch eine positive Dynamik (Erweiterung der bewässerten Flächen).

### 7.2.1 Quantitative gesamträumliche Analyse

Insgesamt gesehen zeigt sich ein differenziertes räumliches Muster der Walddegradation im Untersuchungsgebiet (weitere Analyse vgl. Kap. 7.2.2). Mit 23% Verlust an Waldstandorten seit 1937 (vgl. Abb. 7.2.1.1 c [A]) liegt das Ausmaß allerdings tiefer als die mit 40% seit der Unabhängigkeit angegebenen Schätzungen von KHAN (1979: 47). Die in der vorliegenden Analyse ermittelte Waldflächenreduktion umfasst jedoch nur die offensichtlich aus dem Postklassifikationsansatz detektierten Verlustflächen (23% Abholzung davon ca. 4% Umwandlung in bewässertes Kulturland), ohne die großflächig aufgelichteten Waldareale (Exploitation oder illegaler selektiver Holzeinschlag) berücksichtigen zu können (SCHICKHOFF 2002: 143). Da sich jedoch in den ermittelten potenziellen Veränderungsflächen noch immer z.T. starke Überschätzungen der historischen Waldstandorte verbergen (s.u.), wird sich die noch bestehende Überschätzung mit dem Ressourcenverlust aus aufgelichteten Arealen in etwa ausgleichen. Aufgrund der nicht endgültig kalkulierbaren Genauigkeit des historischen Datensatzes kann zwar das Ausmaß der auftretenden Veränderungen nur in relativen Größenordnungen wiedergegeben werden, jedoch ermöglicht die GIS-basierte Verortung im Zusammenspiel mit den Bevölkerungsdaten und den Daten zu Verkehrsinfrastruktur und Siedlungsräumen eine detaillierte raumbezogene Bewertung der Veränderungen im Nanga Parbat-Gebiet (vgl. Kap. 7.2.2). Eine Überprüfung der ermittelten Waldverluste und Bewässerungslanderweiterungen erfolgt in der lokalen Analyse (vgl. Kap. 7.3). Für ein zukünftiges Monitoring der Waldflächen im regionalen Maßstab kann nun auf die ASTER-Klassifikationsdaten zurückgegriffen werden, die auf der obersten Objektklassenebene die Verteilung des montanen Höhenwaldes in der Nanga Parbat-Region mit hoher Genauigkeit wiedergeben (vgl. Kap. 6.4.4, Tab. 7.2.1.1). Auch die Objektklassen der Ebene 2 bieten sich als Basisdaten für eine Überwachung der offenen und in vielen Fällen schon degradierten Waldstandorte an. Lediglich die Übergangsbereiche von Nadel- zu Birkenwald müssen zukünftig durch zusätzliche *ground truth*-Daten gesichert, anhand von objektiven Mischkriterien (Verhältnis Nadelbäume zu Birken) klar definiert und möglicherweise verfeinert werden.

Objektklasse	Fläche (ha)	Bemerkung
2100 Bewässerungsland	2873	
2210 Feuchter Nadelwald	5424	davon fast 2700 ha offene, möglicherweise degradierte Waldflächen
2220 submontaner Trockenwald	426	
2230 Birkenwald (mit Weide, Rhododendron)	1668	
2235 Mischwald (Nadelbaum/Birke)	1448	

Tab. 7.2.1.1: Flächengrößen der Objektklassen bezogen auf das Untersuchungsgebiet der regionalen Analyse basierend auf der ASTER-Klassifikation (2000)

Mit Blick auf den Entscheidungsprozess zur Erstellung der *change map* (vgl. Abb. 7.1.2) und den qualitativen Ergebnissen aus Kapitel 5 wird das Verteilungsmuster der Veränderung verständlich (vgl. dazu auch SCHICKHOFF 2002: 139). Für das Astor-Tal wird die bereits aus den multitemporalen Bildvergleichen festgestellte Anhebung der unteren Waldgrenze in ihrer raumbezogenen Verbreitung bestätigt (vgl. Abb. 7.1.5 [A]). Von *Doian* über *Dashkin*, *Harchu* und insbesondere *Chongra* bis *Gurikot* zeichnet sich eine Rückdrängung der unteren Waldgrenze ab. Die Beeinträchtigung im Astor-Tal umfasst sowohl die reine Abholzung und Auflichtung der Waldstandorte (*Dashkin* oberhalb der Bewässerungsflur, *Chongra*: *Rama Forest* und Talflanken) als auch das Vordringen der Anbauflächen in die Waldstufe (*Doian* und *Mushkin*: Rodungsinseln und Ausweitung, *Dashkin*: Ausweitung, *Harchu*: starke Ausweitung im Bereich des Einfacherntegebietes und der Sommeranbausiedlungen, *Chongra*: Ausweitung der bewässerten Flächen und Abholzung der tiefer gelegenen Schluchtwälder). Die Größenordnung der auf die Objektklasse „feuchter Nadelwald“ (Code: 2210) bezogenen Veränderungen wird in Abbildung 7.2.1.1 [A] und Tabelle 7.2.1.2 deutlich.

Teilgebiet*	% von Region			% von Teilgebiet			
	Waldfläche 2000	Waldverlust	Abholzung für Kulturländerweiterung	Waldverlust generell	Kahlschlag	Abholzung für Kulturländerweiterung	offene oder aufgelichtete Waldflächen
1 Doian	6	5	5	19	15	3	32
2 Dashkin/ Mushkin	17	10	12	15	12	3	28
3 Harchu	15	10	30	17	8	8	18
4/5 Astor	11	17	11	32	28	3	52
6 Bulan	1	2	0	33	33	0	55
7 Gurikot	4	7	2	34	32	2	59
8 Churit	< 0,5	2	< 0,5	73	70	2	92
9 Tarishing	< 0,5	5	6	85	68	17	98
11 Rehmanpur/ Zaipur	8	11	8	29	25	3	46
12 Raikot-Tal	20	15	6	18	17	1	29
13 Buldar-Tal	9	13	18	28	22	7	42
14 Lichar-Tal	7	3	0	10	10	0	32
N.P.-Region	100	100	100	23	19	4	34

Tab. 7.2.1.2: Ausmaß der Waldveränderung im Nanga Parbat-Gebiet und in den Teilgebieten der Region (basiert auf der Verschneidung real möglicher Veränderungen aus historischer Vegetationskarte (1939) und klassifizierter ASTER-Szene (2000))

\* Lage der Teilgebiete vgl. Abb. 7.2.2.2 [A]

Betrachtet man den Anteil des Waldverlustes pro Teilgebiet bezogen auf den Gesamtverlust der Region, zeigt sich ein Muster, in dem sich eine offensichtliche Verknüpfung zwischen relativem Waldreichtum und stärkerer Abholzung abzeichnet (vgl. Tab. 7.2.1.2). Die größten Waldverluste finden sich im *Rama*- und *Raikot*-Tal gefolgt von den Talbereichen *Buldar*, *Rehmanpur* sowie *Dashkin/Mushkin* und *Harchu*. Werden die Waldverluste jedoch auf die Waldfläche der territorialen Nutzungsareale bezogen, zeigt sich das Ausmaß der Walddegradation für einzelne Teilgebiete. Geringe Anteile an der Gesamtdegradation der Region können hohe Verlustanteile für Teilgebiete mit geringem Waldpotenzial bedeuten (siehe Teilgebiet 8 [*Churit*] und 9 [*Tarishing*] in Tab. 7.2.1.2). Das heißt, dass zwar die größten Holzmengen aus den Teilgebieten mit hohem Waldanteil stammen, jedoch der Nutzungsdruck sich in den Gebieten mit geringem Waldpotenzial am stärksten auswirkt. Hier müssen für fundierte Aussagen zur kleinräumigen Degradation und deren Auswirkungen die eingangs in Kapitel 2.4 genannten Wirkungszusammenhänge der nutzungsrelevanten Einflussfaktoren für die jeweiligen Teilgebiete genauer untersucht werden (vgl. Kap. 7.2.2). Die ermittelten Größenordnungen von Veränderung beinhalten immer noch überschätzte Degradationsareale, die anhand der objektiv nachvollziehbaren Qualitätskriterien für die historische Karte (vgl. Kap. 6.3) und

den daraus abgeleiteten Gebieten mit sinnvollen Veränderungen (vgl. Kap. 7.1) nicht eliminiert werden konnten. Die aus der *change detection* gewonnenen Abholzungsflächen im **Rama**-Tal entsprechen sehr gut den tatsächlichen Zerstörungsflächen (vgl. Kap. 5.3.2). Dagegen finden sich im oberen **Raikot**-Tal östlich des Raikot-Gletschers größere Abholzungsflächen, die in diesem unzugänglichen Talabschnitt in dieser Größenordnung nicht realistisch sind. Ähnliches gilt für die südwestlichen Hangbereiche im **Buldar**-Tal. Auch im Teilgebiet **Rehmanpur/Zaipur** wird noch ein Anteil der Veränderungen auf historische Kartierungenauigkeiten zurückzuführen sein. Für **Harchu** können die Verluste als realistisch angesehen werden. Die Degradation am Sporn zwischen **Dashkin** und **Mushkin** sind im nördlichen Bereich auf Geokodierungsprobleme zurückzuführen und müssen um ca. 2% reduziert werden. Dass die für **Mushkin** aus den multitemporalen Bildvergleichen festgestellte Degradierung der hier bis weit in die submontane Stufe reichenden feuchten Nadelwälder und der Trockenwälder nicht in der *change map* sichtbar wird, liegt zum einen an der nicht berücksichtigten Objektklasse Trockenwald (für die historische Karte existieren keine Polygondaten für diese Objektklasse) und andererseits an der hier unsicher klassifizierten unteren Waldgrenze aufgrund der starken Verzahnung von montanem Nadelwald und submontanem Trockenwald.

Trotz der letztendlich immer noch vorhandenen Ungenauigkeiten zeigt sich doch im Zusammenhang mit der qualitativen Analyse ein Muster von Talräumen mit stärkerer und geringerer Degradation der Waldstandorte (vgl. Tab. 7.2.1.2). Bis auf die Teilgebiete des unteren Astor-Tales (**Harchu**, **Dashkin/Mushkin**, **Doian**) und die Täler der Nordabdachung (ausgenommen **Buldar**) ist die Waldfläche jeweils um mehr als ein Viertel der ursprünglichen Fläche verkleinert worden (in **Churit** und **Tarishing** aufgrund der geringen Waldressourcen sogar um dreiviertel der Fläche von 1937). Die hohen Werte für **Buldar** sind in erster Linie auf die schon oben erwähnten Kartierungenauigkeiten der historischen Datenbasis zurückzuführen. Für das **Rama**-Tal und **Rehmanpur/Zaipur** zeichnet sich bei einem im Vergleich zu den anderen Teilgebieten hohen bis mittleren Waldpotenzials (2000) ein starker Nutzungsdruck ab. Ein weitaus höherer Nutzungsdruck wird jedoch für die Teilgebiete **Bulan**, **Gurikot**, **Churit** und **Tarishing** deutlich, wo geringe Waldressourcen und dazu proportional hohe Abholzungswerte auf eine kritische aktuelle und zukünftige Holzversorgung hinweisen. Die flächenmäßig größten Degradierungen für Kulturländerweiterungen fanden im Teilgebiet **Harchu** statt, gefolgt von **Buldar**, **Dashkin/Mushkin** und **Rama**. Die aus der regionalen *change detection* ermittelten Waldveränderungen können weitestgehend anhand der qualitativen Bildvergleiche in Kapitel 5.3 bestätigt werden. Interessant ist, dass die auf der Objektebene 2 klassifizierten offenen Waldstandorte ein Drittel der Gesamtwaldfläche einnehmen, wobei wiederum die höchsten Anteile je Nutzungsareal mit fast 50% und mehr in den Teilgebieten mit prozentual hoher Veränderung zu finden sind. Diese im Postklassifikationsansatz der vorliegenden Analyse verdeckten offenen Waldflächen können z.T. natürliche Standortbedingungen widerspiegeln, weisen jedoch im Zusammenhang mit den Untersuchungen von SCHICKHOFF (2002), WALTER (1999) und NÜSSER (1998) oft auf selektiven Holzeinschlag hin. Hier sind u.a. die Waldbestände im **Chichi**-Tal (Testplots ZaipurI und II, SCHICKHOFF 2002: 67), der **Rama**-Wald und die selektiv gestörten Waldbestände auf dem Märchenwiesen-Plateau im **Raikot**-Tal (Block C4 südl. der Sommerweidesiedlung **Jut**) zu nennen.

In einem ersten Resumée zeigen die Bestandsaufnahme der Waldfläche 2000 und die detektierten Veränderungen seit 1937 ein räumliches Muster des Waldpotenzials der Teilgebiete und weisen bei anhaltender Tendenz der Degradation auf eine für einige Teilgebiete dramatische zukünftige Entwicklung hin. Eine weiterführende Bewertung kann jedoch nur mit Blick auf die in Kapitel 2.4 genannten wesentlichen nutzungsrelevanten Einflussfaktoren, wie das Bevölkerungswachstum, die Zugänglichkeit, das Waldnutzungssystem und die gesellschaftlichen Regelmechanismen erfolgen. Die beiden erstgenannten Faktoren können im GIS modelliert werden, die Bedeutung des Nutzungssystems kann interpretativ der Modellierung hinzugefügt werden. Über den Einfluss der institutionellen Regelwerke in den Teilgebieten können nur vereinzelt Hin-

weise gegeben werden. Die GIS-basierte Analyse der Veränderungen und der aktuellen Nutzungsintensität wird im Folgenden erläutert.

### 7.2.2 GIS-basierte Bewertung der Veränderungen

Die bisherigen Untersuchungen haben dazu beigetragen, das Waldpotenzial für das Jahr 2000 zu erfassen und anhand einer *change detection* von Satellitenbildklassifikation und historischer Karte das raum-zeitliche Muster von Veränderung zu bestimmen. Das bedeutet, die im Untersuchungsraum stattgefundenen Veränderungen konnten verortet, in ihrer Qualität identifiziert und in ihrer flächenhaften Größe abgeschätzt werden. Darüber hinaus ist es nun wichtig, das räumliche Muster von Veränderung im Kontext der in Kapitel 2.4 genannten maßgebenden Einflußfaktoren zu bewerten und Teilgebiete der Untersuchungsregion anhand von Veränderungsklassen mit ihren spezifischen Charakteristika auszuweisen. Die räumliche Differenzie-

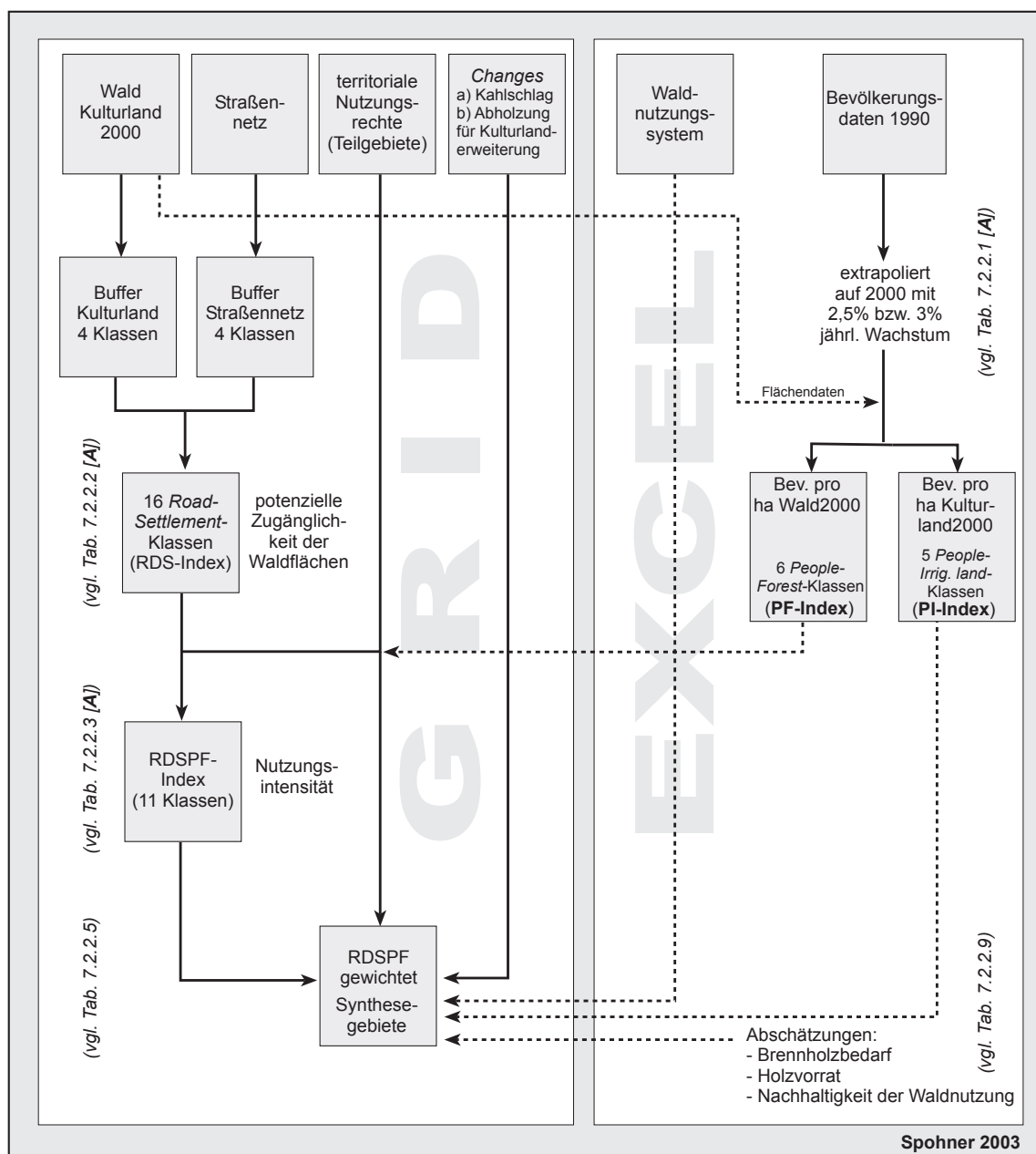


Abb. 7.2.2.1: Vorgehensweise der GIS-Bewertung von detektierte land-use/land-cover Veränderung (2000) in der Nanga Parbat-Region



rung von Veränderung kennzeichnet, v.a. hinsichtlich des zukünftigen Holzpotenzials und dessen mehr oder weniger nachhaltiger Nutzung, deren Bedeutung und Auswirkung im lokalen/regionalen Mensch-Umwelt-Interaktionssystem. Die Abbildung 7.2.2.1 verdeutlicht die Vorgehensweise zur Erstellung einer Synthesekarte, die sowohl das Waldpotenzial als auch die aktuelle und zukünftige Gefährdung der Teilgebiete in der Nanga Parbat Region visualisiert.

Ausgangspunkt der Synthese sind die ASTER-Klassifikation der Waldstandorte und des Kulturlandes, das Straßennetz, die durch territoriale Nutzungsrechte definierten Teilgebiete, die Veränderungen, die Waldnutzungssysteme und die Bevölkerungsdaten. Primäres Ziel ist es, anhand von Indexwerten eine räumliche Verteilung der Nutzungsintensität der Waldstandorte zu dokumentieren und damit zukünftig gefährdete Bereiche hinsichtlich einer nicht mehr nachhaltigen Brenn- und Bauholznutzung auszugliedern. Aufgrund der ASTER-Klassifikation liegt als Basiszeitschnitt das Jahr 2000 zugrunde. Die zur Verfügung stehenden Bevölkerungsdaten stammen aus dem Jahr 1990 und werden mit zwei verschiedenen Wachstumsraten auf das Jahr 2000 extrapoliert. Mit 2,5% jährlichem Bevölkerungswachstum wird eine Minimumannahme getroffen, bei der der leicht rückläufige Trend der Wachstumsrate seit den 1970er Jahren und eine wachsende Migration Berücksichtigung findet (SCHICKHOFF 2002: 197/198). Als Maximumannahme kennzeichnet eine jährliche Wachstumsrate von 3% die überregional übereinstimmend hohe Bevölkerungsentwicklung (vgl. KREUTZMANN 1995). Die Anzahl der Haushalte für das Jahr 2000 - später wichtig für die Abschätzung des Brennholzbedarfs und der Nachhaltigkeit der Waldnutzung - werden unter der Verwendung der für das Astor-Tal ermittelten mittleren Haushaltsgröße von 10 Personen (1997; AKRSP 2000: 8) aus den extrapolierten Einwohnerzahlen berechnet. In Kombination mit den aus der Klassifikation ermittelten Flächendaten des Gebirgshöhenwaldes und der Kulturlandflächen wird der Nutzungsdruck - ausgedrückt in Personen pro Hektar Fläche - auf den Wald und das bewässerte Kulturland berechnet (vgl. Tab. 7.2.2.1). Die klassifizierten Bevölkerungsdichtewerte fließen einerseits direkt (6 *people-forest*-Klassen, PF-Index) in die Ermittlung einer Nutzungsintensität der Waldstandorte ein und andererseits unterstützen sie die Interpretation der Synthesekarte (5 *people-irrigated land*-Klassen, PI-Index).

Der Faktor Zugänglichkeit der Waldflächen wird über die Distanz zu den Verkehrswegen und den Siedlungsflächen definiert. Sommerweidesiedlungen bleiben bei der *Buffer*-Bildung unberücksichtigt, um einer Überbewertung der temporär peripheren Waldnutzung vorzubeugen. Die aus der Literatur bekannten Standorte (NÜSSER 1998) werden jedoch zur interpretativen Berücksichtigung in die Karte eingetragen (vgl. Abb. 7.2.2.2 [A]). Berechnete Straßen- und Siedlungs-*Buffer* mit einer Äquidistanz von 1500m charakterisieren anhand von 16 ausgegliederten *road-settlement*-Klassen (RDS-Index) die potenzielle Zugänglichkeit von Waldarealen (vgl. Tab. 7.2.2.2 [A]). Dabei erfolgt keine Differenzierung in Abhängigkeit zur Hangneigung, da jegliche Wald- und Baumstandorte zu Fuß erreichbar sind und im Zuge einer zunehmenden Brennholzverknappung lange Wege auch in weniger zugängliche Hangbereiche notwendig werden. Steilbereiche oberhalb von Straßen und Wegen sind kein Hindernis für eine Abholzung. Das gefällte Stammholz wird entlang von Hangfurchen auf dem kürzesten Weg zum Abtransport auf die Wege (Eseltransporte) oder befahrbaren Straßen (Traktortransport) befördert (vgl. Kap. 5.3, Abb. 5.3.2.30). Die Ausweisung der Teilgebiete erfolgt anhand der in der Literatur dokumentierten territorialen Nutzungsrechte (vgl. NÜSSER 1998: Beilage 2; CLEMENS 2001: Beilage 2). Die Grenzen der Teilgebiete orientieren sich im wesentlichen an natürlichen Begrenzungen, wie der Wasserscheide der einzelnen Talräume, kleinere Käme und Sporne, dem Entwässerungssystem sowie dem Nanga Parbat-Hauptkamm. Die nördlich des Nanga Parbat-Kammes liegenden Täler Raikot, Buldar und Lichar werden anhand der begrenzenden Wasserscheide voneinander getrennt. Eine Kombination des RDS-Index-GRIDs mit den Teilgebieten in Verknüpfung mit den in der Datenbank abgelegten und über die Teilgebieten-ID verbundenen PF-Klassen führt zur Erstellung eines GRIDs, das die Nutzungsintensität der Waldflächen (RDSPF-Index) - ausgedrückt durch den Nutzungsdruck (PF-Index) und die Erreichbarkeit (RDS-Index) - verdeutlicht (Tab. 7.2.2.3 [A]).

Eine Klassifizierung der Teilgebiete basierend auf der Nutzungsintensität der Waldflächen wird gestützt durch den gewichteten RDSPF-Index. Die Gewichtung erfolgt durch einen einfachen Multiplikator, der aus den klassifizierten Flächenanteilen des RDSPF-Indizes bezogen auf die Teilgebietswaldareale ermittelt wird. Folgende Multiplikatoren ergeben sich für die Gewichtung der RDSPF-Indizes:

Waldflächenanteil des RDSPF-Index (pro Teilgebieten)	Multiplikator
< 25%	0
≥ 25% - < 50%	0,5
≥ 50% - < 75%	1
≥ 75%	2

Tab. 7.2.2.4: Gewichtungsfaktoren abgeleitet aus dem Flächenanteil des jeweiligen RDSPF-Index in den Teilgebieten

Nach erfolgter Gewichtung der Indizes ergibt sich eine in drei Klassen aufteilbare Strukturierung der Teilgebiete, die sich räumlich schon in der Abbildung 7.2.2.2 [A] abzeichnet (vgl. Tab. 7.2.2.5). Je kleiner der gewichtete RDSPF-Index ist, desto größer ist die Nutzungsintensität der Waldstandorte. Die Wälder der Synthesegebiete 1 (gewichteter RDSPF: 1,0 - 4,5) sind gekennzeichnet durch eine hohe Nutzungsintensität, d.h. die vorhandenen Waldressourcen befinden sich in guter Erreichbarkeit, sowohl zu Fuß als auch mit Fahrzeugen und unterstehen einem hohen Nutzungsdruck aufgrund hoher Bevölkerungszahlen. Mit 45% hat der größte Anteil an Veränderungen in diesen Gebieten stattgefunden und bewirkte eine Degradation der Waldfläche auf 65% der Ursprungsfläche von 1937 (vgl. Tab. 7.2.2.6). Im Jahr 2000 umfassen die Synthesegebiete 1 nur 25% der Waldfläche und sind Siedungsraum für 75% der Bevölkerung der Nanga Parbat-Region. Einem moderaten Nutzungsdruck mit guter Erreichbarkeit unterliegen die Waldstandorte der Synthesegebiete 2 (gewichteter RDSPF: 8,0 - 12,0). In diesen Teilgebieten befinden sich 23% der Waldfläche und siedeln 20% der Bevölkerung der Untersuchungsregion. Aus dem mit 15% geringsten Anteil an der Waldveränderungen der drei Synthesegebiete resultiert eine Waldflächenabnahme auf 84% der Fläche von 1937. Die Waldareale der Synthesegebiete 3 (gewichteter RDSPF: 15,5 - 27,0) sind gekennzeichnet durch einen generell niedrigen Nutzungsdruck. Nur 5% der Bevölkerung auf 52% der Waldfläche im Jahr 2000 bewirken trotz z.T. relativ guter Erreichbarkeit (Raikot-, Buldar-, Harchu-Tal) eine niedrige Nutzungsintensität. Auch wenn 40% der Waldveränderungen in diesen Teilgebieten zu finden sind, bestehen immer noch 81% der Waldressourcen von 1937. Das sich hinter gleichen gewichteten RDSPF-Indizes verschiedene Veränderungsmuster verbergen können, wird an den Teilgebieten nördlich des Nanga Parbat Hauptkammes im Vergleich zum Teilgebiet Harchu deutlich. Die Abholzungen im Harchu-Tal wurden zu über 50% zugunsten der Kulturlanderweiterung vorgenommen (vgl. Abb. 7.2.1.1, vgl. Tab. 7.2.2.5: 30% der Kulturlanderweiterung in die Waldstufe erfolgten in Harchu), wo hingegen in den direkt zum Indus-Tal entwässernden Tälern der Kahlschlag von Waldflächen vorherrscht. Nur noch im Buldar-Tal finden sich höhere Flächenanteile an Waldverlusten, die aus einer Flächenerweiterung des Bewässerungslandes resultieren (vgl. Tab. 7.2.2.5).

Teil- gebiet	RDSPF-Index (Waldflächenanteil in %)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1				95			5						100
2						98	2						100
3										75	25		100
4/5	95		3		1								100
6	100												100
7	69	21			10								100
8	53	26						21					100
9	75	24			1								100
11	41	22						37					100
12										73	27		100
13										90	10		100
14										25	75		100

Teil- gebiet	gewichteter RDSPF-Index											Summe gew. RDSPF	Synthese- gebiet	Changes [%]	Abholzung für Kultur- landerwei- terung [%]	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
1				8,0			0						8,0	2	4,6	5,1
2						12,0	0						12,0	2	10,2	12,4
3										20,0	5,5		25,5	3	10,3	29,9
4/5	2,0		0		0								2,0	1	17,0	1,5
6	2,0												2,0	1	2,3	0,0
7	1,0	0			0								1,0	1	7,0	2,4
8	1,0	1,0						0					2,0	1	2,3	0,5
9	2,0	0			0								2,0	1	5,4	6,5
11	0,5	0						4,0					4,5	1	10,7	7,5
12										10,0	5,5		15,5	3	14,9	6,4
13										20,0	0		20,0	3	12,5	17,9
14										5,0	22,0		27,5	3	2,8	0,0
															100	100

Tab. 7.2.2.5: Gewichtung des RDSPF-Index anhand der auf die Waldareale der Teilgebiete bezogenen Flächenanteile der RDSPF-Index

unten: Berechnung des gewichteten RDSPF-Index, Ausweisung der Synthesegebiete, Veränderungen pro Teilgebiet (in %, bezogen auf Waldveränderungen gesamt), Anteil der Abholzung für Kulturlanderweiterung (in %, bezogen auf Gesamtabholzung für Kulturlanderweiterung)

Synthese- gebiet	Changes [%]	Anteil Waldfläche 2000 von Waldfläche 1937 [% Synthesegebiet]	% Waldfläche 2000 [%]
1	45	65	25
2	15	84	23
3	40	81	52
	100		100

Tab. 7.2.2.6: Anteil der Waldveränderungen und Anteil der Waldfläche 2000 der Synthesegebiete

Bei der Ausgliederung der Synthesegebiete wurde das Waldnutzungssystem, was laut SCHICKHOFF (2002) zu den maßgebenden nutzungsrelevanten Einflußfaktoren in den Northern Areas gehört (vgl. Kap. 2.4), nicht berücksichtigt. Die Autorin sieht im Nanga Parbat-Gebiet in diesem Faktor eine eher untergeordnete differenzierende Einflussgröße, da in den letzten Jahrzehnten sowohl für die Privat- als auch für die Staatswälder Kontraktorverträge bestanden. Die Auswirkungen dieser Exploitationen haben zwar zu großflächigen Abholzungen geführt, bewirken jedoch nur im oberen Astor-Tal und im Rupal-Tal in Überlagerung mit dem aus dem starken Bevölkerungswachstum resultierenden Nutzungsdruck eine Verstärkung der Nutzungsintensität der Waldressourcen. Aktuell bestehen keine Kontraktorverträge und die weitverbreiteten illegalen Holzeinschläge führen in allen Teilgebieten zu unkontrollierten Abholzungen, so dass das Kriterium Waldnutzungssystem nicht für eine Differenzierung der Teilgebiete herangezogen wird. Über das lokale Ausmaß der gesellschaftlichen Regelmechanismen liegen diesem Projekt keine umfassenden Informationen vor. Somit kann diese Einflußgröße nicht berücksichtigt werden, was jedoch bei zukünftigen Bewertungen von Veränderungen mit einfließen sollte.

Wie sich gezeigt hat, sind fast ein Viertel der Waldfläche seit 1939 abgeholzt worden und über ein Drittel der Waldareale 2000 sind natürlich aufgelichtete oder stark selektiv degradierte Standorte. Aus der GIS-Analyse resultiert, dass sich in der Nanga Parbat-Region Gebiete hoher Nutzungsintensität mit gleichzeitig geringen Waldressourcen und Gebiete niedriger Nutzungsintensität mit einem hohen Waldpotenzial gegenüberstehen. Neben der Nutzholzentnahme ist die Brennholzbedarfsdeckung der wesentliche Faktor des Holzverbrauches in der Region (Brennholzverbrauch: 95% des Gesamtholzverbrauches, SCHICKHOFF 2002: 198). Die Entwicklung des Brennholzbedarfs in den letzten 100 Jahren zeigt in einer Abschätzung eine 6 bis 7fache Erhöhung des Holzverbrauches von 1900 - 2000 (vgl. Tab. 7.2.2.7 [A]). Für die Untersuchungsregion ergibt sich ein stark variierender Jahresbedarf in Abhängigkeit von lokaler Bevölkerungssituation und Jahresverbrauch der Haushalte (Astor-Tal: 4,3t/Jahr, CLEMENS 2001: 201 nach HANSEN 1994; Rupal-Tal: 9,5 t/Jahr, CLEMENS 2001: 136; für die Einfacherntegebiete im Raikot- und Buldar-Tal wird der Verbrauch dem im Rupal-Tal gleichgesetzt, für Lichar wird eine Verbrauchsmenge wie im Astor-Tal angenommen). Geht man von einem Brennholzanteil von 56% Rundholz aus (44% sind *low grade fuel*: Reisig, Äste, Strauchwerk etc.) ergibt sich die notwendige Anzahl der dafür zu schlagenden Bäume (vgl. Tab. 7.2.2.7 [A], SCHICKHOFF 2002: 182). Insgesamt wird deutlich, dass die walddreicheren Teilgebiete, wie die Täler der Nordabdachung und das untere Astor-Tal, wesentlich geringere Holzbedarfsanforderungen erfüllen müssen, als die waldärmeren Gebiete des oberen Astor- und Rupal-Tales. Hier stellt sich die Frage, ob die Holzproduktion in der Nanga Parbat-Region den Bedarfsansprüchen der Bevölkerung genügen kann und somit als nachhaltige Nutzung angesehen werden kann, oder ob die Nachhaltigkeit nicht mehr gegeben ist und in naher Zukunft die Entwaldung dramatisch zunehmen wird. Vor allem die Situation auf lokaler Ebene erfordert eine Abschätzung der Nachhaltigkeit der Holznutzung, da sich hier schon aus der GIS-basierten Bewertung eine kritische Entwicklung der Holzressourcen für das obere Astor-Tal und das Rupal-Tal abzeichnet.

Die in dieser Arbeit vorgenommene Abschätzung basiert auf den aus der Satellitenbildklassifikation resultierenden Höhenwaldflächen, den Volumenzuwachsraten der für das Untersuchungsgebiet relevanten Testplots aus der Arbeit von SCHICKHOFF (2001: A/9, A/10, vgl. Tab. 7.2.2.8) und den extrapolierten Bevölkerungsdaten für das Jahr 2000 (Haushaltsdaten für jährl. Zuwachsrate von 2,5 und 3,0%, s.o.). Die Berechnung des Brennholzpotenzials für die Teilgebiete erfolgt in Anlehnung an die Ausführungen von CLEMENS (2001: 136). Die dabei verwendeten Volumenzuwachsraten für die Birkenwälder leitet CLEMENS (2001: 136) aus den in STREEFLAND et al. (1995: 86) genannten Werten für die *scrub land production* (0,1-0,2 m<sup>3</sup>/ha/Jahr) ab, wobei CLEMENS den höheren Wert für die Birkenstandorte und den niedrigeren für die Artemisia-Steppe ansetzt. SCHICKHOFF (2002: 50) nennt zwar den mittleren potenziellen Gesamt-Volumenzuwachs für verschiedene Waldgesellschaften bzw. Baumarten, jedoch liegen keine Daten für *Be-*



Testplots	Bestandesvolumen [m <sup>3</sup> /ha]	Stammzahl/ha	Volumenzuwachs [m <sup>3</sup> /ha /a]	mittl. Volumenzuwachs [m <sup>3</sup> /ha /a]	Störungsklasse
Raikot I	474,6	720	3,27	7,850	SK III (mittl. Störungsintensität)
Raikot II	401,0	780	12,43		SK I (naturnah)
Mushkin I (Mushkin Forest)	329,1	800	22,06	12,800	SK II (geringe Störungsintensität)
Mushkin II (Harchu)	413,4	720	10,34		SK III (mittl. Störungsintensität)
Mushkin III (Harchu)	209,8	660	6,00		SK III (mittl. Störungsintensität)
Rama I (Rama Forest)	507,2	680	4,62	4,660	SK III (mittl. Störungsintensität)
Rama II (Rama Tal - Bulan Hang)	125,4	620	2,41		SK V (sehr hohe Störungsintensität)
Rama III (Rama Forest)	397,0	620	6,95		SK III (mittl. Störungsintensität)
Zaipur I (Chichi-Tal)	265,6	500	6,06	5,075	SK IV (hohe Störungsintensität)
Zaipur II (Chichi-Tal)	367,4	480	4,09		SK III (mittl. Störungsintensität)

Tab. 7.2.2.8: Bestandesvolumen und Volumenzuwachsraten für die Testplots der Nanga Parbat-Region (SCHICKHOFF 2002: A/9, A/10)

*tula utilis*-Standorte vor. Das hohe Brennholzpotenzial von Grundwassergehölzen und Gehölzen von *farm forestry*-Flächen (10,0 m<sup>3</sup>/ha/Jahr, CLEMENS 2001: 136, nach GoP/REID et al. 1992) kann aufgrund der unbekanntem Flächengrößen (nicht klassifizierte Grundwassergehölze, keine lokalen Angaben über *farm forestry*-Flächen) nicht in die Abschätzung einfließen. Da diese Flächen jedoch große Bedeutung für eine zukünftige Brennholz-sicherung haben, wird im Anschluss an die aus den Gebirgshöhenwäldern und der Artemisia-Steppe berechnete Brennholzpotenzialabschätzung für die Defizitgebiete eine Bedarfsbestimmung von *farm-forestry*-Flächen vorgenommen.

Insgesamt gesehen kann die Abschätzung des Brennholzpotenzials sowie die anschließende Bedarfsbestimmung von *farm-forestry*-Flächen nur eine grobe Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse in den Teilgebieten sein, da die Volumenzuwachsraten nur für wenige Testplots vorhanden sind und diese aufgrund der räumlich unbekanntem Baumartenmischung, Bestandesalter, Standortpotenziale und Bestandesdichten nicht repräsentativ auf die Fläche übertragen werden können. Jedoch sind es die einzigen genauen Werte für die Produktivität von Waldstandorten in der Nanga Parbat-Region, so dass die gemittelten Volumenzuwachsraten eine annehmbare Annäherung an die reale Situation darstellen. Darüberhinaus geben die mittleren Volumenzuwachsraten in Verbindung mit den lokalen Störungsklassen ein repräsentatives Bild des Waldzustandes der Teilgebiete wieder, was anhand der qualitativen Analyse (vgl. Kap. 5.3) und den lokal quantitativen Untersuchungen (vgl. Kap. 7.3) bestätigt wird. Die Tabelle 7.2.2.9 zeigt, dass eine regionale Betrachtungsweise des Brennholzpotenzials den Eindruck eines nachhaltigen Holznutzungssystems vermittelt, so dass sogar mehr als das Doppelte der Haushalte 2000 ausreichend durch die Holzproduktion der Gebirgshöhenwälder und die *low grade fuel*-Ressourcen der Artemisia-Steppe versorgt werden könnten. Ebenso deutlich wird, dass auf lokaler Ebene extreme Defizitgebiete wie das obere Astor-Tal und das Rupal-Tal existieren. Selbst wenn man im Rupal-Tal das, im Vergleich zu Tarishing und Churit, walddreichere Teilgebiet Rehmanpur/Zaipur ausgliedert, ergibt sich für diesen Talraum ein negatives Verhältnis von vorhandenem Brennholzpotenzial zu bestehendem Bedarf, da die Bevölkerung von Churit Waldnutzungsrechte im Zaipur Forest besitzen (CLEMENS 2001: Beilage 2). Das Ergebnis der Abschätzung unterstreicht die anhand der GIS-Analyse ausgewiesenen Synthesegebiete und führt zu den ergänzenden Kriterien „nicht nachhaltige Nutzung“ für die Synthesegebiete 1 und „nachhaltige Nutzung“ für die Synthesegebiete 2 und 3 (vgl. Abb. 7.2.2.2 [A]). Betrachtet man nun die Defizitgebiete genauer und bestimmt die für eine nachhaltige Nutzung notwendige Fläche an Grundwassergehölzen und *farm-forestry*-Arealen, ergibt sich für das obere Astor-Tal ein Gebiet von ca. 260 ha, was ungefähr einem Viertel der Kulturlandfläche dieser Teilgebiete entspricht. Für das Rupal-Tal ist bei einer ebenso großen Kulturlandfläche sogar eine Fläche von ca. 1000ha notwendig. Dies deutet darauf hin, dass die Substituierung des Brennholzdefizits durch *farm-forestry*-Projekte im oberen Astor-Tal realisierbar wäre, wenn der breiten Bevölkerung zusätzlich

alternative Brennstoffe zugänglich werden, da für den Talraum zwischen Astor und Gurikot ein hoher Nutzungsdruck auf das Kulturland besteht (vgl. Tab. 5.3.1). Für das Rupal-Tal sind *farm forestry*-Projekte in der notwendigen Größenordnung undenkbar, da auch hier ein mittlerer Nutzungsdruck auf das Kulturland besteht und der geforderte Flächenbedarf nicht zur Verfügung steht. Somit wird sich im Rupal-Tal die präkäre Brennholzsituation in naher Zukunft dramatisch zuspitzen.

	Astor-Tal	unteres Astor-Tal *1)	oberes Astor-Tal *2)	Rupal-Tal *3)	Täler Nordabdachung *4)	Nanga Parbat-Region
Fläche <b>2210</b> feuchter Nadelwald (2000) [ha]	<b>3117</b>	2036	1081	<b>376</b>	<b>1697</b>	<b>8307</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [m <sup>3</sup> /a]	<b>31098</b>	26061	5037	<b>1908</b>	<b>13321</b>	<b>77426</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [t/a]	<b>21769</b>	18243	3526	<b>1336</b>	<b>9325</b>	<b>54198</b>
Brennholzpotenzial für x-Haushalte *5) [HH]	<b>5063</b>	4242	820	<b>141</b>	<b>982</b>	<b>11247</b>
Fläche <b>2230</b> (2000) [ha]	<b>794</b>	481	313	<b>269</b>	<b>574</b>	<b>2431</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [m <sup>3</sup> /a] *6)	<b>159</b>	96	63	<b>54</b>	<b>115</b>	<b>487</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [t/a]	<b>111</b>	67	44	<b>38</b>	<b>80</b>	<b>341</b>
Brennholzpotenzial für x-Haushalte [HH]	<b>26</b>	16	10	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>64</b>
Fläche <b>2235</b> (2000) [ha] *8)	<b>696</b>	544	152	<b>0</b>	<b>571</b>	<b>1963</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [m <sup>3</sup> /a]	<b>3905</b>	3536	369	<b>0</b>	<b>2298</b>	<b>10109</b>
Volumenzuwachs pro Jahr [t/a]	<b>2734</b>	2475	259	<b>0</b>	<b>1609</b>	<b>7076</b>
Brennholzpotenzial für x-Haushalte [HH]	<b>636</b>	576	60	<b>0</b>	<b>169</b>	<b>1441</b>
Summe Brennholzpotenzial für x-Haushalte (Gebirgshöhenwald) *9) [HH]	<b>5724</b>	4834	890	<b>145</b>	<b>1159</b>	<b>12752</b>
Brennholzpotenzial für x-Haushalte - <b>2320</b> Artemisia *10) [HH]	<b>142</b>	71	71	<b>28</b>	<b>39</b>	<b>351</b>
Summe Brennholzpotenzial für x-Haushalte (Gebirgshöhenwald plus Artemisia) [HH]	<b>5866</b>	4905	961	<b>173</b>	<b>1198</b>	<b>13103</b>
Haushalte 2000 (2,5%)	<b>2192</b>	842	1350	<b>883</b>	<b>171</b>	<b>5438</b>
Haushalte 2000 (3,0%)	<b>2302</b>	884	1418	<b>927</b>	<b>181</b>	<b>5712</b>

Tab. 7.2.2.9: Abschätzung des Brennholzpotenzials für x-Haushalte und Vergleich mit den für 2000 extrapolierten Bevölkerungszahlen (Haushalte)

- \*1) Doian bis Harchu
- \*2) Astor bis Gurikot
- \*3) Rehmanpur bis Tarishing
- \*4) Raikot-, Buldar-, Lichar-Tal
- \*5) Brennholzbedarf pro Jahr  
- 9,5 t pro Haushalt für höher gelegene Siedlungen (Rupal, Tato, Muthat) nach CLEMENS 2001: 136  
- 4,3 t pro Haushalt für Siedlungen im Astor Tal nach HANSEN 1994 zitiert in CLEMENS 2001: 201
- \*6) in CLEMENS 2001: 137; scrub land production 0,1-0,2 m<sup>3</sup>/ha/a (STREEFLAND et al. [1995]: 86; für das Rupal-Tal muß von einer höheren Birkenwaldfläche ausgegangen werden, da das obere Rupal-Tal oberhalb des Bazhin-Gletschers nicht mehr von der ASTER-Klassifikation abgedeckt wird (Jahresbedarf für ca. 5 Haushalte)
- \*7) 1 m<sup>3</sup> = 0,7 t (CLEMENS 2001: 201 nach LAECH 1993: 67)
- \*8) 2235: Mischwald; wird zu 50% als Birkenwald und zu 50% als Koniferenwald angenommen
- \*9) Gebirgshöhenwald: Birkenwald, Birke-/Koniferenmischwald, feuchter Koniferenwald (ohne Brennholzpotenzial von Grundwassergehölzen bzw. farm forestry-Flächen)
- \*10) Artemisia-Flächen aus Vegetationskarte, Fläche annähernd gleich (bei 6% Veränderung im Gesamtgebiet!); Volumenzuwachs 0,1 t/ha/a (STREEFLAND et al. 1995:86)

Im Rupal-Tal würde der Holzvorrat des feuchten Nadelwaldes nach konservativer Schätzung bei ungebremster Einschlagstätigkeit und ohne reproduktive Maßnahmen oder alternative Energieträger bezogen auf die Bevölkerungszahlen 2000 gerade noch 10 Jahre reichen (vgl. Tab. 7.2.2.10). Damit würde der Holzvorrat des Rupal-Tals die Schätzungen des *forestry sector master plan* von 1992 für die Northern Areas (ca. 30 Jahre Holzvorrat; CLEMENS 2001: 132 nach GoP/REID et al. 1992) noch unterschreiten. Die für die Nanga Parbat-Region berechneten Zahlen können aufgrund der Nichtberücksichtigung des stetigen Bevölkerungswachstums sowie einer fortschreitenden Degradierung der Wälder und somit einer Verminderung der Holzproduktion nur grobe Schätzwerte bleiben. Gerechtfertigt werden diese Schätzungen durch den maßgebenden Anteil der Koniferenwälder am Brennholzpotenzial und Holzvorrat. Die Schätzwerte weisen jedoch auch trotz fehlender Daten der *farm-forestry*-Flächen auf die Dringlichkeit des Brennholzproblems und auf den Handlungsbedarf in den Defizitgebieten hin.

Teilgebiet	2210, 2235 (50%) [ha]	mittleres Bestandesvolumen m <sup>3</sup> (2210) *1)	Mittel 2,5-3,0% *2) BHB/Jahr (m <sup>3</sup> )	mittlerer Vorrat bei konstanter Bevölkerung (2210, 2235) [Jahre]
<b>Astor-Tal</b>	<b>3300</b>	<b>1046100</b>	<b>13804</b>	<b>76</b>
unteres Astor-Tal	2308	731636	5303	138
oberes Astor-Tal	992	314464	8501	37
<b>Rupal-Tal</b>	<b>406</b>	<b>128702</b>	<b>12283</b>	<b>10</b>
Churit	18	5706	3630	2
Tarishing	22	6974	3366	2
Rehmanpur/Zaipur	366	116022	5302	22
<b>Rehm./Zaipur/ Churit</b>	<b>384</b>	<b>121728</b>	<b>8932</b>	<b>14</b>
<b>Nordabdachung</b>	<b>1983</b>	<b>868335</b>	<b>2325</b>	<b>373</b>
Raikot	1044	457272	1201	381
Buldar	488	213744	1072	199
Lichar	451	197319	52	3779

Tab. 7.2.2.10: Abschätzung Holzvorrat der Teilgebiete in der Nanga Parbat-Region (feuchter Koniferenwald) (eigene Berechnungen)

\*1) berechnet aus dem mittleren Bestandesvolumen pro ha (vgl. Tab. 7.2.2.8)

\*2) Brennholzbedarf Haushalte 2000 (gemittelt zw. 2,5 und 3,0% Wachstumsrate): (Haushalte\*Jahresbedarf pro Haushalt/0,7t = Bedarf in m<sup>3</sup>)

### 7.3 Lokale Analyse der Veränderungen in Teilgebieten des Untersuchungsraumes

#### 7.3.1 Die Talkammer von Gor

Das auf den hochgelegenen großen Aufschüttungsterrassen (TROLL 1937: Bl.33) angelegte zentrale Kulturland von **Gor** zeigt sich in seiner Ausbreitung in der *change map* (Abb. 7.3.1.1c [A]) über 34 Jahre hinweg relativ unverändert. Als einzig deutliche Erweiterungsfläche tritt eine vormals mit Wacholder bestandene Fläche zwischen **Dache** und **Gochote** in Erscheinung (Abb. 7.3.1.1c [A], area B, ca. 17 ha). Neue Vorstoßrichtungen, jedoch mit geringem Flächenzuwachs, werden auch nördlich von **Daskil** und **Terimal West** sichtbar (Abb. 7.3.1.1c [A], area C). Weitere größere Ausweitungen des Kulturlandes sind östlich von **Darang** im Indus-Tal zu finden (Abb. 7.3.1.1c, area A, ca 24 ha). Die Bewässerung dieser Flächen erfolgt weitestgehend unabhängig von der Wasserversorgung aus **Gor**, da für diese Flächen das Wasser über einen großen Kanal aus dem östlich gelegenen Danachal-Tal herangeführt wird. Die Entwicklung ist nachweislich erst ab Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgt, da TROLL hier keine Flächen ausweist (Abb. 7.3.1.1a). Insgesamt zeigt sich somit bis auf die Flächen in **Terimal Ost** und den wenigen Erweiterungsflächen ein konstantes Bild der bewässerten Flächen. Dies ist auf das von temporären Schneefeldern abhängige Wasserdargebot zurückzuführen (NÜSSER 1998: 104), was eine Wasserknappheit in den Sommermonaten be-

wirkt und somit eine Erweiterung auf potenziell vorhandene Flächen absolut limitiert. In Anbetracht einer in diesem Raum seit Anfang des 20. Jahrhundert um 300-400% gewachsenen Bevölkerung ist heute im Raum **Gor** mit einer hohen Bevölkerungsdichte pro ha und einer akuten Landknappheit zu rechnen (der Arbeit liegen keine aktuellen Bevölkerungszahlen vor; die Ableitung der Zahlen erfolgt aus der regionalen Entwicklung der Bevölkerungszahlen vgl. Kap. 2.3). Weitere Aspekte wie die regionale oder auch nationale Migration der Bevölkerung (vgl. NÜSSER 1998: 104) sowie eine Intensivierung in der landwirtschaftlichen Produktion müssen jedoch in diese Schlussfolgerung miteinbezogen werden.

Auffallend ist die in der *change map* (Abb. 7.3.1.1c) neben den Erweiterungsflächen detektierte Verkleinerung von bewässerten Flächen. Hier treten in erster Linie die Verlustflächen zwischen 1990 und 2000 in den Vordergrund, die zum einen randlich und in einer Erosionsrinne (zwischen **Daskil** und **Kharta-lote**) der zentralen Bewässerungsflur liegen und zum anderen in der zentralen Flur von **Terimal-Ost** zu finden sind. Erstere können sowohl aufgelassene Felder (Umwandlung von Ackerterrassen in Heuwiesen oder Sukzession von *Artemisia*-Zwerggesträuch, NÜSSER 1998: 104) als auch kleinere Kartier- bzw. Geokodierungsfehler sein. Die Verlustflächen von **Terimal-Ost** sind sehr wahrscheinlich auf phänologische Unterschiede in der Feldfrucht aufgrund bereits abgeernteter Felder in 2000 zurückzuführen, da ein Auflassen von ca. 3/4 des Kulturlandes von **Terimal** seit 1966 sehr unwahrscheinlich ist.

Die in drei Zeitschnitten dokumentierte Verbreitung der submontanen und montanen Wälder weist auf eine eher mäßige bis schwache Veränderung der Bestände hin. Im Vergleich zur Vegetationskartierung von TROLL 1937 fand bis 1966 so gut wie keine Veränderung statt. TROLL hat das Verbreitungsgebiet der Wälder sehr genau mit seinen oberen und unteren Grenzen erfasst. Lediglich die Generalisierung jeglicher kleinerer und größerer Erosionsrinnen im feuchten Nadelwald führt zu einer Überschätzung der Gesamtfläche (vgl. Abb. 7.3.1.2 [A], links, Abb. 7.3.1.3). Relativ unverändert zeigt sich auch die zweite Vergleichsperiode von 1966 bis 1988/90 (vgl. Abb. 7.3.1.2 [A], Mitte). Hier weist die untere Waldgrenze nur oberhalb von **Dabote** in Siedlungsnähe eine leichte Aufflichtung der submontanen Waldbestände auf (Fläche A). Die zweite Fläche mit einer Abnahme der Steineichen-/Trockenwaldfläche ist auf einen Klassifikationsfehler der kombinierten KFA-/SPOT-Analyse zurückzuführen (Fläche B). Erst in dem folgenden Zeitschnitt von 1997 deutet sich ein verstärkter anthropogener Einfluß auf die untere Waldgrenze an, der auch im bitemporalen Bildermaterial oberhalb **Dabote** sichtbar wird (NÜSSER 2000: 270/271). Der postklassifikative Vergleich der Zeitschnitte 1988/90 und 1997 belegt eine Reduktion der Steineichen-/Trockenwaldbestände in Siedlungsnähe und im Südwesten der Talkammer von **Gor** (ca. 44% Verlustflächen, vgl. Abb. 7.3.1.2, rechts). Diese Größenordnung an Veränderung korrespondiert allerdings nicht mit der Interpretation des bitemporalen Bildpaares, welches zwar eine Aufflichtung der unteren Waldgrenze zeigt, jedoch keine massive Anhebung dokumentiert. Bei diesem Ergebnis muss die höhere räumliche Auflösung des jüngeren Zeitschnittes beachtet werden, die bei einer Aufflichtung der Bestände zu starker Mischpixelbildung und bei der Klassifikation zu einer möglichen Überbewertung des Bodensignales führen kann. Generell lässt sich feststellen, dass die ausgedehnten Steineichen-/Trockenwälder in ihrer zentralen Verbreitung die letzten 70 Jahre bestanden haben und durch die gemeinschaftlich kontrollierten Nutzungsrechte weitestgehend geschützt sind (vgl. Klassifizierung von Plot Gor II als nahezu naturnah, SCHICKHOFF 2002: 67). Jedoch deuten sich trotz institutioneller Regelung in Siedlungsnähe Aufflichtungen in den Beständen an, die auf einen einsetzenden Degradationsprozeß hinweisen. SCHICKHOFF analysiert für den montanen Nadelwald einen höheren Beeinträchtigungsgrad (mittlerer Zerstörungsgrad, SCHICKHOFF 2002: 67), der sich auf die fehlenden regelnden Nutzungsrechte sowie die bessere Eignung der *Pinus wallichiana*-Stämme für Bauholz zurückführen lässt (SCHICKHOFF 1996: 182). Im Postklassifikationsansatz kann dieser Trend nicht verdeutlicht werden, da Modifikationen einer *land cover*-Klasse von einem Zeitschnitt zum Nächsten nicht sichtbar werden. Es werden zwar 25% Verlustflächen des feuchten Nadelwaldes ermittelt (vgl. Abb.



7.3.1.2 [A], rechts), jedoch stimmen diese Flächen sehr häufig mit offenen Beständen in Waldrandnähe im Zeitschnitt 1988/90 überein, so dass auch hier ein Mischpixelproblem angenommen werden kann.



Abb. 7.3.1.3: Ausgedehnte Steineichenwälder oberhalb von Gor 1934 und darüber liegend ein fast geschlossener Gürtel aus feuchten Nadelwaldbeständen (Standort Gor Gali 106, Blickrichtung W) [Foto: Messbild W. Raechl 30.05.1934]

### 7.3.2 Die untere Waldgrenze des oberen Astor-Tales

Die historische Verbreitung der aus *Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa* bestehenden submontanen Trockenwälder (DICKORÉ & NÜSSER 2000: 16) wird in der Vegetationsklasse von TROLL (1939) gut dokumentiert, was durch einen Vergleich mit den historischen Fotografien leicht belegt werden kann. Jedoch lässt das historische Kartenwerk im besten Fall eine Ahnung bzgl. der Dichte der Trockenwaldbestände anhand der Punktsymboldichte zu. Für die orographisch linken Talflanken des Astor- und des Raikot-Tales zeigt sich somit für 1934/37 in einem Höhenbereich zwischen 2400 m und 2950 m ein fast durchgehendes Band von submontanem Trockenwald (DICKORÉ & NÜSSER 2000, TROLL 1939). Begrenzt wird diese Formation durch das feuchtigkeitsbedingte Auskeilen von *Pinus gerardiana* im Süden bei **Gurikot** und ein möglicherweise anthropogen induziertes Ausklingen im Norden bei **Doian** (NÜSSER 1998: 49, 59, TROLL 1939: 164-165). Fehlende Bestände von *Pinus gerardiana* in den Siedlungsbereichen von **Astor** und **Dashkin** lassen schon 1934 einen anthropogenen Nutzungsdruck auf die submontanen Wälder vermuten. Die schon in Kap. 5 anhand der bitemporalen Bildanalyse festgestellte dramatische Degradierung von *Pinus gerardiana*- und *Juniperus semiglobosa*-Beständen kann mit Hilfe der ausgewerteten Stereomodelldaten in Kombination mit den höchstauflösenden Satellitendaten nun in seiner unterschiedlichen zeitlichen Dynamik für die lokalen Untersuchungsräume **Bulan-Astor**, **Harchu-Luskum** und **Raikot** dargestellt werden.

Auf der ostexponierten Talflanke von **Bulan** zeigt sich schon 30 Jahre nach der Vegetationsaufnahme von TROLL eine starke Abnahme des Baumbestandes vor allem im submontanen Höhenintervall. Da die Kartierung der offenen Waldflächen und Einzelbäume aufgrund der Bodenauflösung der CORONA-Bilder (1966) an ihre Grenzen stößt, kann hier nur eine Schätzung des Baumbestandes erfolgen. Zusätzliche Einschränkungen wie Wolkenbedeckung, Wolkenschatten und dunkle Schattenhänge limitieren die Erkennbarkeit



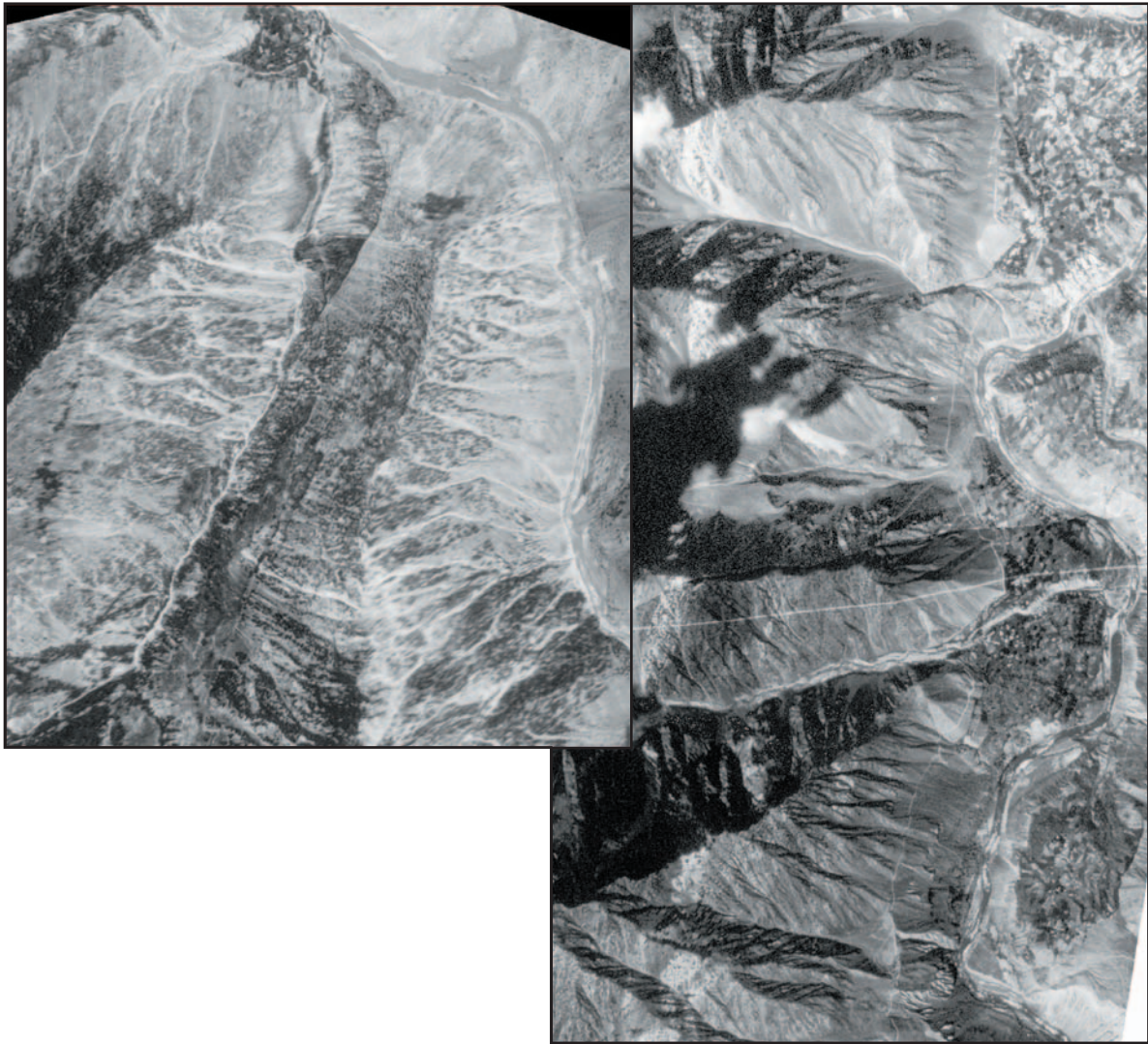


Abb. 7.3.2.1: Submontaner Trockenwald in Harchu 1968 (oben) und stark degradierte *Pinus gerardiana* und *Juniperus semiglobosa*-Bestände oberhalb von Bulan 1966 (rechts) [oben: CORONA 1047 01.07.1968; rechts: CORONA 1035 22.09.1966]

der Bäume. Vergleiche zu den CORONA Bildern von 1968 von *Harchu-Luskum* in denen der submontane Trockenwald noch erkennbar ist (Abb. 7.3.2.1), zeigen jedoch deutlich, dass der Degradationsprozess im Bereich von *Bulan* schon früher eingesetzt hat. Aus den sichtbaren Talbereichen der Stereomodelle 1934 von *Bulan* ergeben sich 2039 kartierte *Pinus gerardiana*-Einzelbäume, 191 *Pinus wallichiana/Picea smithiana* und ca. 6650 *Juniperus semiglobosa*-Bäume (vgl. Abb. 6.2.1.7 [A]). Abschätzungen der Baumdichte aus den kartierten Trockenwaldflächen (Deckungsgrad > 10%, 101ha Testflächen, Auszählung der Anzahl der Bäume pro Testfläche) ergaben einen Dichtewert von ca. 131 Bäumen pro Hektar. Insgesamt ergibt sich somit für die Testfläche um 1934 ein Baumbestand von ca. 22.200 Bäumen, der sich bis 1966 um schätzungsweise 90% verringert hat. Diese Entwicklung deckt sich mit den Angaben von CLEMENS zu den Holzeinschlagsraten aus den staatlichen Koniferenwäldern im Astortal seit 1949 von 450-1750 Bäumen pro Jahr zur Brenn- und Bauholzversorgung der in *Astor* stationierten Militäreinheiten (CLEMENS 2001: 98-99). Eine zusätzliche treibende Kraft in diesem Degradationsprozess muss in der Verdopplung der Bevölkerung und deren Brennholzbedarfsdeckung in der Verwaltungseinheit *Astor* für den Zeitraum von 1931 bis 1961 gesehen werden (1931: 13.337 Einwohner, 1961: 26.710 Einwohner, CLEMENS 2001: 83). Aus der KVR-1000 Szene von 1988 lässt sich ein fortschreitender Abholzungstrend bis zur Totaldegradation der Baumvegetation auf der Talflanke ableiten. Es können für diesen Zeitschnitt keine größeren Bäume mehr

festgestellt werden. Dies bestätigen auch die terrestrischen Stereobilder von 1995, aus denen detailliert nur noch Einzelbüsche erfasst werden konnten (Legwacholder und strauchartige Laubgehölze). Dass besonders der verbleibende buschartige Holzbestand weiterhin zur Brennholzsicherung der Bevölkerung wichtig ist, zeigen die Feldaufnahmen von 1995. Hier weisen aufgestapelte Krüppelhölzer der Wacholderbüsche in der submontanen Höhenstufe auf die Holzsammelstrategie der Bevölkerung hin. Ähnliche Holzstapel finden sich an vielen Stellen auf den westexponierten kargen Hängen oberhalb von *Finah* (vgl. Abb. 7.3.2.2). Diese Beobachtungen korrespondieren mit den Untersuchungen zur winterlichen Brennholzsammlung für das Rupal-Tal von CLEMENS (2001: 117), mit einer Zusammenstellung der dominierend gesammelten Holzarten. Aus den stark übernutzten und degradierten südexponierten Hängen des Rupal-Tales wird aufgrund seiner hohen Brennleistung in erster Linie das *Juniperus*-Holz geschlagen (in höheren Hanglagen Legwacholder).



Abb. 7.3.2.2: Brennholzvorräte aus *Juniperus semiglobosa*-Stämmen am westexponierten Hang im Astor-Tal oberhalb von *Finah* [Foto: R. Spohner 08.09.1995]

Quantitative Angaben zu der in Kap. 5 festgestellten Anhebung der unteren Waldgrenze der feuchten Nadelwälder im Talbereich der Siedlungen *Astor* und *Bulan* können aufgrund der fehlenden Einsicht in die nordexponierten Hänge aus den Stereomodelldaten nicht erfolgen. Zusätzlich limitiert die zunehmende Aufnahmeentfernung im Bildpaar 115 (1934) zum Rama-Wald oberhalb von Astor eine photogrammetrische Auswertung der unteren Waldgrenze. Auch wenn die VHR-Satellitenbilder (CORONA, KVR) aufgrund ihrer Wolken- bzw. Schneebedeckung und einer zusätzlich starken Schattensituation auf den nordexponierten Hängen keinen umfassenden Einblick in das Rama-Tal zulassen, können sie für die zeitlich Dynamik der Walddegradation Aussagen liefern. Für die untere Waldgrenze des Rama-Waldes zeigt sich im Zeitraum von 1966 bis 1988 nur eine geringfügige Verschiebung talaufwärts (Abb. 7.3.2.3 [A]). Insgesamt ist eine Aufflichtung der Baumbestände am südexponierten Hang und an der unteren Waldgrenze zu beobachten. Jedoch lässt sich aus dem Bildmaterial aufgrund der Schneebedeckung in der KVR-Szene keine Degradation des Rama-Waldes entsprechend den Untersuchungen von SCHICKHOFF (2002: 67) für die Plots



Rama I bis III detektieren (hierzu auch CLEMENS 2001: 99, Einschlag von bis zu 2000 Bäumen jährlich im Rama-Wald nach 1971 bis in die 80er Jahre). Der Autor vermerkt weiterhin, dass der in dieser Region erfolgte massive selektive Holzeinschlag in den großflächig mehr oder weniger aufgelichteten Waldflächen nur bei weitem Fortschreiten und extremer Auflichtung quantitativ aus Fernerkundungsdaten erfasst werden kann (SCHICKHOFF 2002: 143). Dieser Sachverhalt ist symptomatisch für die Nanga Parbat-Region und wurde als Problemfeld bereits in Kapitel 7.2 diskutiert. Historische Quellen wie die Vegetationskarte von 1939 und die um die Jahrhundertwende entstandenen Katasterkarten deuten auf eine frühe Anhebung der unteren Waldgrenze des Rama-Waldes von ca. 50 Höhenmetern hin (Abb. 7.3.2.3 [A]). Gründe für diesen Flächenverlust des Waldes sind in der Ausweitung des bewässerten Kulturlandes zu finden. Dass sich in den folgenden Jahrzehnten keine weiteren bezeichnenden Flächenexpansionen talaufwärts feststellen lassen, kann durch das feucht-kalte Lokalklima unterhalb des Sachengletschers erklärt werden (Kap. 3.1.1), welches zu einem erhöhten Ernterisiko in diesem Einfacherntegebiet beiträgt und somit eine natürliche Limitierung des Ackerbaus bewirkt.

Sowohl *Astor* und *Bulan* als auch *Harchu* und *Luskum* sind Talbereiche, die schon sehr früh durch eine Jeep-Piste erschlossen wurden. Jedoch beschränkt sich die Zugänglichkeit mit Fahrzeugen für *Harchu* und *Luskum* auf das Astor-Tal. Die 1952 fertig gestellte Jeep-Piste über *Astor* nach *Rattu* (SCHICKHOFF 2002: 188) begünstigte die Abholzung und den anschließenden Abtransport der mächtigen Trockenkiefern der submontanen Höhenstufe. Aber auch der Holzeinschlag in den feuchten Nadelwäldern wurde durch die leichter erreichbaren Waldflächen gefördert (SCHICKHOFF 2002: 185f). Allerdings bewirkt - im Gegensatz zum Harchu-Tal - das ausgebaute Pistennetz in den Rama Forest einen höheren Nutzungsdruck (vgl. Kap. 7.2.2, Abb. 7.2.2.2 [A]).

### 7.3.3 Die untere Waldgrenze des unteren Astor-Tals

Generell liegt die untere Waldgrenze in den Northern Areas bei 2500-2700m (SCHICKHOFF 2002: 139) und lässt sich auch weitestgehend, soweit keine anthropogenen Einflüsse zu einer Degradation geführt haben, für das Untersuchungsgebiet bestätigen. Für das untere Astor-Tal kann aus dem heutigen Bildmaterial (ASTER 2000) in den Talkammern von *Doian* und *Mushkin* sogar eine um 200m tiefer liegende Waldgrenze dokumentiert werden (Abb. 6.4.5.9 [A]). Schon TROLL weist auf eine „auffallend tiefe Lage“ der *Pinus wallichiana*-Bäume bis 2200m im Mushkin Forest hin (TROLL 1939: 170). Das hohe Nutzungspotenzial der Blaukiefer als Bauholz sowie die Siedlungsnähe und leichte Erreichbarkeit der Waldbestände im unteren Astor-Tal führen zu einer „intensiven marktorientierten Holznutzung“ (SCHICKHOFF 2002), die im Zusammenhang mit einer Ausweitung der Anbauflächen zu einer Verschiebung der unteren Waldgrenze um ca. 150m oberhalb von *Turbaling* und *Mushkin* geführt hat. Der Flächenbedarf auf Kosten des natürlichen Waldes für eine notwendige Erweiterung der Bewässerungslandwirtschaft ist unter anderem auf das verstärkte Bevölkerungswachstum seit Anfang des 19. Jahrhunderts zurückzuführen (SCHICKHOFF 2002: 139). Ein Vordringen der Anbauflächen in die Waldstufe lässt sich sehr gut anhand der Veränderungskarte von 1966/68 und 2000 dokumentieren (Abb. 7.3.3.1 [A]) und unterstützt die schon in Kapitel 5.3.3 getroffenen Aussagen zum Flächenbedarf der Bewässerungslandwirtschaft in dieser Region. Sowohl eine direkte Ausdehnung der vorhandenen Bewässerungsflächen als auch die Ausbildung neuer Rodungsinseln innerhalb der Waldstufe sind insbesondere für *Turbaling* und *Mushkin*, aber auch für *Doian* und *Dashkin* feststellbar. Hier zeigt sich ein Vorteil der VHR- und HR-Bilddaten gegenüber den terrestrischen Fotografien, da in den Orthogonalbildern keine Verdeckungseffekte durch hohen Baumwuchs die z.T. flächenmäßig kleinen Rodungsinseln unerkannt lassen.



Insgesamt bestätigt die Veränderungskarte die in Kap. 5 systematisch ermittelten und von SCHICKHOFF und NÜSSER aus den Geländebefunden und Fotografien abgeleiteten Aussagen zur Degradation der unteren Waldgrenze im unteren Astor-Tal in ihrer raumbezogenen Verbreitung (NÜSSER 1998: 63, NÜSSER 2000: 268, NÜSSER 2000b: 351, SCHICKHOFF 2002: 139f). Aus der Veränderungsanalyse lassen sich Baumgruppen- bzw. Waldflächenverluste von ca. 25% der 1966/68 klassifizierten Waldfläche (submontane und montane Holzbestände) ableiten. Davon sind zu dreiviertel die submontanen Trockenwaldflächen und die Übergangsbereiche zum montanen feuchten Nadelwald betroffen. Insbesondere in Siedlungsnähe zeigt sich eine starke Abholzung des Baumbestände (vgl. 7.3.3.1 [A]).

Für die submontanen Wälder im Talbereich *Harchu-Luskum* läßt sich seit 1934 ein ähnlicher Abholzungstrend wie für *Astor* und *Bulan* feststellen. Allerdings zeigt sich für diesen Talraum eine veränderte zeitliche Dynamik. Aus der Stereomodellkartierung für 1934 kann für die submontane Stufe eine Trockenwaldfläche von 332ha ermittelt werden (vgl. Abb. 6.2.1.8 [A]). Zusätzlich wurden im Untersuchungsausschnitt über 7500 Einzelbäume erfasst (Trockenkiefer, Fichte/Blaukiefer, Wacholder). Aufgrund der Schrägsicht ins Harchu-Tal hinein ist für diesen Talbereich eine wahrscheinliche Überschätzung der Bestände zu beachten. Bis 1968 wurde der submontane Wald- und Baumbestand um ca. 30% reduziert (Abb. 7.3.3.2 [A]). Auch für den montanen Nadelwald ist von einer Zurückdrängung der unteren Waldgrenze auf der westexponierten Flanke im Harchu-Tal auszugehen, wobei auch hier aufgrund der Schrägsicht in den Messbildern von 1934 nur eine konservative Schätzung von maximal 20% Abholzung für den Zeitschnitt 1934-1968 möglich ist. In den folgenden Zeitschnitten 1989 (KVR-1000) und 2000 (ASTER) setzt sich der Degradationsprozess mit ca. 75% Flächen- bzw. Baumverlust auf fast 90% im Vergleich zu 1934 fort (vgl. Abb. 7.3.3.2 [A]). Im Radius von 1-1,5km um die Siedlungen *Luskum* und *Harchu* ist bis 1989 der submontane Trockenwald bis an die untere Waldgrenze des feuchten Nadelwaldes zurückgedrängt worden. Bis zum Zeitschnitt 2000 sind alle größeren Trockenwaldflächen mit einem Deckungsgrad größer als 10% abgeholzt. Die untere Waldgrenze im Harchu-Tal verläuft im Jahr 2000 ca. 400m höher als 1934. Gleichzeitig hat sich die Bewässerungsfläche seit 1934 bis 2000 um mehr als das dreifache vergrößert (vgl. Abb. 7.3.3.1 [A]). Zurückzuführen ist diese Entwicklung auf die Verzehnfachung der Bevölkerung seit 1900 und den absolut limitierten potenziellen Erweiterungsflächen im Bereich der Dauersiedlungen von *Harchu* und *Luskum* im Astor-Tal. Weitere Gründe für die Degradation der Wälder im Harchu-Tal sind in den Aktivitäten der Kontraktoren zu suchen, die in den 1960er Jahren u.a. die Wälder von *Harchu* exploitierten (SCHICKHOFF 1996: 184, CLEMENS 2001: 99). Im Gegensatz zu *Bulan-Astor*, wo die Brennholzbedarfsdeckung von Militäreinheiten und einer stark wachsenden Bevölkerung eine frühe Degradierung der Trockenwälder verursachte, stehen für *Harchu-Luskum* als Gründe für die Abholzung mit einer verzögerten Wirkung ein Ursachenkomplex aus der Erweiterung von Bewässerungsland, talfremden Kontraktoren sowie der wachsenden Bevölkerung im Vordergrund.

#### 7.3.4 Raikot-Tal

Für das Raikot-Tal zeigt sich eine weniger dichte Datenlage zur Betrachtung der raum-zeitlichen Dynamik von Waldveränderungen. Letztendlich konnte nur einer der sechs Stereostandorte der 34er Expedition messtechnisch ausgewertet werden. Die CORONA-Satellitenbilder sind durch Wolken und Wolkenschatten stark gestört, die KVR-1000-Szene zeichnet sich durch tief herabreichende Schneebedeckung aus und der KFA-1000-Bildausschnitt wird durch Dunstwolken beeinträchtigt. Somit verbleibt für die räumlichen Zwischenzeitschnitte lediglich ein CORONA-Ausschnitt von *Witter* und das aktuelle ASTER-Satellitenbild. Eine Erfassung von Einzelbäumen ist aus den ASTER-Daten nicht mehr möglich, jedoch sind die Stereoaufnahmen von 1997 eine qualitative Stütze bei der Abschätzung von Veränderungen. Dennoch kann in Kombination mit der bereits erfolgten Detailstudie über das Raikot-Tal von WALTER (1999) und der

in Kapitel 5 ausgeführten qualitativen Analyse eine Abschätzung der Waldveränderungen vorgenommen werden.

Die ASTER-Klassifikation zeigt im Vergleich zur Auswertung der Stereomodelldaten von 1934 keine eklatanten Kahlschläge, abgesehen von den stark aufgelichteten Flächen bei *Witter* (vgl. Abb. 7.3.4.1 [A]). Letztere können jedoch nicht mit Sicherheit in ihrem Ausmaß bestätigt werden, da auch hier eine Überschätzung der historischen Baumbestände durch die Schrägsicht ins Gelände wahrscheinlich ist. Dies belegt der Vergleich der CORONA-Daten von *Witter* mit den photogrammetrisch ermittelten Daten (vgl. Abb. 7.3.4.1 [A]). Es wird deutlich, dass massive Abholzungsmaßnahmen erst nach 1968 stattgefunden haben. Auch bei diesem Plot oberhalb von *Witter* (C3, vgl. Kap. 5.3.4) kann das Ausmaß der selektiven Entnahme von Baumstämmen nur anhand der Fernerkundungsbilder abgeschätzt werden, da das Resultat des anthropogenen Eingriffs in die Waldflächen in den terrestrischen Fotos verdeckt bleibt oder unterschätzt wird. Insgesamt umfasste der kommerzielle Holzeinschlag bis 1995 auf drei ausgewiesenen Blocks eine Holzmenge von 6300 Bäumen (ca. 20.000m<sup>3</sup> Holz, S.R. KHAN 1997: 16) und entspricht damit bei 9,5t Jahresbedarf pro Person (CLEMENS 2001: 136) in etwa der Holzbedarfsdeckung der Talbevölkerung für den Zeitraum der Konzession (1983-1995). Seit 1995 ist der Kontrakt gestoppt, jedoch wurde weiterhin illegal Holz eingeschlagen. Es existieren lokale Bestrebungen die Waldbestände auch im Hinblick auf eine touristische Entwicklung des Tales zu schützen, so dass illegale Abholzungen in großem Stil unterbunden werden. Insgesamt zeigt sich zwar für die submontanen Hänge des Raikot Tales eine Degradation des Waldes, jedoch sind die Ausmaße wesentlich geringer als im Astor-Tal.

#### 7.4 Fazit der Veränderungsanalyse des Nanga Parbat-Gebietes

Der in dieser Arbeit gewählte integrative Ansatz aus Fernerkundungs-, Photogrammetrie- und GIS-Methoden gewährt eine – so weit es die Datenqualität zulässt - umfassende Beantwortung der eingangs gestellten Fragen: WAS, WO, WANN und WIEVIEL an Veränderung stattgefunden hat (vgl. Abb. 5.3, 6.2, 6.4, 7.2). Die enge Verknüpfung aus systematisch qualitativer Bildinterpretation mit raumbezogener Zeitschnittinventarisierung und raumzeitlicher GIS-Analyse ermöglicht die Visualisierung der historischen und rezenten Degradierung der montanen und submontanen Waldstandorte im Nanga Parbat-Gebiet. Die Verortung von Veränderung ergibt sich aus der Verschneidung der Zeitschnittinventare. Die zeitliche Dynamik von Veränderung lässt sich anhand des Zeitraumes aufeinander folgender raumbezogener Inventare eingrenzen und dokumentieren, wobei nicht für alle Teilregionen des Untersuchungsgebietes gleichwertige Zeitreihen aus dem vorhandenen Datenmaterial abzuleiten sind. Die Quantität erfolgter Veränderung kann auf regionaler Ebene aufgrund der nicht flächenscharfen historischen Kartendaten nur in relativer Größenordnung angegeben werden und wird für die sinnvollen *land use/land cover*-Konversionen mit ausreichender Qualitätsgüte der historischen Daten angegeben. Im lokalen Maßstab müssen die auf der Basis von aktuellen HR- und älteren VHR-Bildern ermittelten Waldverlustflächen in ihrer Ausdehnung hinsichtlich einer möglichen Überschätzung aufgrund der Mischpixelproblematik der HR-Daten kritisch betrachtet werden (veränderte Klassenzuordnung durch Überschätzung des Bodensignals; vgl. Steineichenwälder in *Gor*, Kap. 7.3.1).

Generell lässt sich für die bevölkerungsstarken Talräume des schon historisch wichtigen Astor-Tales (kolonialzeitlicher Transitraum) sowohl eine offensichtliche Anhebung der unteren Waldgrenze der feuchten Nadelwälder als auch eine z.T. bis zum Totalverlust fortgeschrittene Abholzung der submontanen Wald- und Baumstandorte aus dem *change detection*-Prozess direkt belegen. Existieren großflächige Kahlschläge, die auf kommerziellen Holzeinschlag zurückzuführen sind, können diese ebenso direkt nachgewiesen werden (vgl. lokale Analyse von *Witter* im Raikot-Tal, Kap. 7.3.4). Problematisch erweist sich die Erfassung selektiv eingeschlagener Waldbestände. Zum einen können aufgrund des Verdeckungseffektes aus dem terres-

trischen Bildmaterial die gestörten Flächen nicht bestimmt werden. Andererseits verschleiert der auf den Satellitenbildern und der Vegetationskarte basierende Postklassifikationsvergleich die Erfassung möglicher Auffichtungen von Waldarealen, da für die historische Karte keine Objektklasse für offene Waldbestände vorhanden ist. Ein Hinweis auf solche Flächen kann nur aus den differenzierten Klassifikationsergebnissen der aktuellen regionalen Fernerkundungsdaten (Objektebene 4: IRS, ASTER) abgeleitet (vgl. Abb. 6.4.4.4 [A], Märchenwiese, Rama-Forest, Zaipur-Forest) und im Gelände oder anhand des Fotomaterials bestätigt werden. Zukünftig sollten alle regionalen Analysen auf die aktuell erstellte regionale ASTER-Klassifikation bezogen werden. Im lokalen Maßstabsbereich können künftig sowohl VHR-Daten (z.B. Ikonos) als auch neue digitale photogrammetrische Verfahren (vgl. CORIPPIO 2002) zum Einsatz kommen. Eine wichtige Schlüsselstellung wird in Zukunft die Bereitstellung einer hoch aufgelösten topographischen Basis (2D und 3D) sein, die für eine ausreichend genaue Georeferenzierung der VHR- und/oder (digitalen) terrestrischen Daten sorgt.

Eine umfassende Rekonstruktion der Veränderungen des bewässerten Kulturlandes vom ersten historischen Inventar bis zum jüngsten Zeitschnitt lässt sich nur anhand der systematisch qualitativen Bildinterpretation leisten, die zudem eine sehr gute Einsicht in die zunehmend differenzierter werdende Struktur der Kulturlandfläche bietet (u.a. Ausweitung der Siedlungen in die Flur, Ausbau des Wegenetzes, Ausbau des Bewässerungssystems, Anlegen von *farm-forestry*-Flächen). Diese Einschränkung auf eine rein qualitative Analyse ist begründet in der relativ großen Ungenauigkeit der historischen Kartierung. Sinnvolle Veränderungsflächen lassen sich erst aus der Verschneidung der frühen VHR-Satellitendaten (CORONA, KVR/KFA) mit den aktuellen HR-Bilddaten ableiten und beinhalten die Umwandlung einer vormals als Waldfläche oder Ödland bestehenden Landbedeckung in bewässertes Kulturland. Differenzierte quantitative Aussagen zur inneren Strukturierung des Kulturlandes (z.B. Anzahl der Häuser, Anzahl der Bäume) können den terrestrischen Fotos entnommen werden. Eine raumbezogene Verortung der interpretierten Strukturen (Stereomodell-Auswertung) ist aufgrund einer nicht ausreichend differenzierten Referenz problematisch.

Bekanntermaßen sind keine monokausalen Erklärungsstränge auf die dokumentierten Veränderungen anwendbar (AKRSP 1995; CLEMENS & NÜSSER 1997; NÜSSER 1998, SCHICKHOFF 2002). Vielmehr besteht ein komplexes Wirkungsgefüge aus demographischen, politischen, wirtschaftlichen, verkehrstechnischen sowie sozio-kulturellen Einflussgrößen, die kleinräumig durch das Naturraumpotenzial und die Vegetationsproduktivität variiert werden (vgl. SCHICKHOFF 2002: 211f). Die abschließende Frage nach dem WARUM der im Nanga Parbat-Gebiet offensichtlich differenziert ablaufenden Veränderungsprozesse kann in dieser Arbeit nicht umfassend geklärt werden, da wesentliche Eingangsgrößen fehlen und daher eine zwingend notwendige Gewichtung der Einflussfaktoren nicht erfolgen kann. Der wesentliche Beitrag der qualitativen und quantitativen Auswertungen der vorliegenden Arbeit liegt in der Erarbeitung der räumlichen Analyse von Veränderung. Die dabei gelegten Grundsteine zur flächendeckenden topographischen Information sowie der aktuellen Verbreitung der feuchten Höhenwälder und Bewässerungsflächen mit ihren *hot spots* der Veränderung müssen zukünftig mit detaillierten, d.h. bis auf *village*-Ebene heruntergebrochenen, demographischen und ökonomischen Statistiken verknüpft werden, um regionspezifische Muster von *driving forces* herauszufiltern. Gerade hier bestehen noch große Informationslücken. Momentan stehen zwar auf repräsentativen Stichproben basierende regionale Datensätze zur Verfügung (AKRSP 2000), die jedoch nicht abschließend zur Klärung der lokalspezifischen Entwicklungsprozesse beitragen können. Zusätzlich muss die Wirkung der von SCHICKHOFF (2002: 209) auf lokaler Ebene als zentrale Einflussfaktoren bezeichneten gesellschaftlichen Regelmechanismen erfasst und bewertet werden. In der Unterstützung des Eigeninteresse fördernden Dialogs mit der lokalen Bevölkerung und dem daraus resultierenden partizipatorischen Ressourcenmanagement wird eine große Chance für eine zukünftig nachhaltige und damit degradationshemmende Waldnutzung gesehen (CLEMENS et al. 1998, SCHICKHOFF 2002).

## 8. Zusammenfassung und Abstract

### 8.1 Zusammenfassung

*Land use/land cover change* Analysen im Hochgebirge benötigen aufgrund der, aus den extremen topoklimatischen Voraussetzungen resultierenden, hohen funktionalen und strukturellen Heterogenität der Ökosysteme groß- bis mittelmaßstäbige multitemporale raumbezogene Datenebenen. Für das im Hochgebirgsraum des NW-Himalaya (Nanga Parbat-Region, Nord-Pakistan) liegende Untersuchungsgebiet besteht trotz militärischer Restriktionen eine im regionalen Vergleich gesehen positive Datenlage. Die Zusammenstellung aus historischen und rezenten terrestrischen Klein- und Mittelformatbilder, historischem Kartenmaterial und eine multitemporalen Sequenz aus Multisensor-Satellitenbildern resultiert jedoch in einem heterogenen Datenpool hinsichtlich der Datenqualität, -genauigkeit und -auflösung. Ein integrativer Ansatz aus Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS ist unverzichtbar zur Erfassung und Bereitstellung von *land use/land cover* Zeitschnittinventaren im lokalen und regionalen Mastabsbereich, einer GIS-basierten Bestimmung von *land use/land cover* Veränderungen (*change detection*) und einer abschließenden raumbezogenen Bewertung der detektierten Veränderungen mit der Ausweisung von Gebieten mit kritischer Entwicklung. Der thematische Fokus der vorliegenden *land use/land cover change* Analyse liegt auf der Inventarisierung der Wald- und Kulturlandressourcen der Nanga Parbat-Region für den Zeitschnitt der 1990er Jahre (lokal) und 2000 (regional) sowie deren Veränderungen über einen Zeitraum von über 60 Jahren bis in das Jahr 1934. Die Kenntnisse über das rezente Wald- und Kulturlandpotenzial und dessen räumliche Veränderungsmuster tragen zum Verständnis des komplexen lokal/regionalen Mensch-Umwelt-Wirkungsgefüges bei, indem das Ressourcenpotenzial im Kontext des vorherrschenden Landnutzungssystems (gemischte Hochgebirgslandwirtschaft) mit nutzungsrelevanten Einflußfaktoren (Bevölkerungswachstum, Waldnutzungssystem, Zugänglichkeit, gesellschaftliche Regelmechanismen, sozio-ökonomischer Transformation) in Beziehung gesetzt wird.

Mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) als zielorientierte Analyse-Umgebung für die Bewertung von Veränderungen (Bestimmung der Nutzungsintensität der Waldgebiete, Ausweisung von Gebieten mit kritischer Nutzung) beinhaltet das vorliegende methodologische Konzept die Verknüpfung von lokaler qualitativer und quantitativ analytischer Bildanalyse mit lokal bis regionaler visueller bzw. semi-automatischer Klassifikation der Satellitenbildsequenz und der digitalen Bereitstellung historischer Informationsebenen zur Vegetation und Topographie. Die Grundlage des methodenpluralistischen Ansatz bildet eine umfassende Quellenkritik der historischen Kartendaten mit abschließender Aufstellung eines Karten-Qualitätsindex, die Zusammenstellung und Aufbereitung des umfangreichen terrestrischen Bildmaterials für die qualitative und quantitative analytische Auswertung sowie die räumliche Anpassung der multitemporalen, multisensoralen Satellitendaten. Eine systematische multitemporale Vergleichsanalyse terrestrischer Gegenhangfotografien leistet im Vorfeld der quantitativen Auswertung einen wertvollen Beitrag zur Dokumentation von Veränderungen, ist für die Validierung der raumbezogenen Daten unumgänglich und unterstützt die GIS-basierte Synthese von Veränderungen. Die photogrammetrische Auswertung der historischen terrestrischen Stereobilddaten und der konventionell stereographisch aufgenommenen Vergleichsbilder liefert wichtige *land use/land cover* Daten im lokalen Maßstabbereich. Sehr hochaufgelöste Satellitenbilder (VHR: *very high resolution*) der ersten Generation (CORONA) sind ein adäquater Ersatz für regional nicht vorhandene oder nicht zugängliche Luftbilddaten zur Inventarisierung vermittelnder *land use /land cover* Zeitschnitte. Die primär visuelle Auswertung hochaufgelöster Fernerkundungsdaten (CORONA, SPOT-PAN, KFA-1000) kann durch eine objektbasierte Klassifikation (z.B. mit eCognition) wesentlich erleichtert und objektiviert werden. Auf der Basis von multispektralen HR-Satellitendaten (HR: *high resolution*, IRS-1C, ASTER) erbringen im regionalen Maßstabbereich sowohl pixel- (ISODATA)



als auch objektbasierte Verfahren gute Ergebnisse mit hoher Klassifikationsgüte. Beiden Ansätzen liegt ein komplexes Regelwerk aus spektralen, beleuchtungsspezifischen und topographischen Bedingungen zur Ausgliederung der Objektklassen zugrunde.

Historische qualitätsbereinigte Wald- und Kulturlanddaten und rezente Klassifikationsergebnisse werden in einem Postklassifikations-Ansatz verschnitten. Eine Steuerung der change detection erfolgt durch Ausschluß nicht sinnvoller Veränderungsklassen. Zugelassen werden die Veränderungsklassen, die eine Erweiterung der Bewässerungsflächen, den Verlust von Wald und die Umwandlung von Wald in Kulturland beinhalten. Etwa ein Viertel der Waldstandorte der Nanga Parbat-Region sind in den letzten 60 Jahren abgeholzt worden. Die auf territorialen Nutzungsrechten basierende Aufstellung der rezenten Waldpotenziale und Waldverlustflächen in Teilgebieten der Region zeigt ein stark heterogenes Muster der Degradation. Das räumliche Muster der Veränderungen wird im Kontext der nutzungsrelevanten Einflußfaktoren durch die Verknüpfung von potenzieller Zugänglichkeit (Siedlungs- und Wegenetz-Buffer) und Bevölkerungsdruck bezogen auf die Waldfläche (Einwohner/ha Wald) bewertet. Mit Hilfe einer Gewichtung der ermittelten Nutzungsintensität aus Zugänglichkeit und Bevölkerungsdruck erfolgt die Ausweisung von Gebieten mit kritischer Entwicklung. Als Ergebnis stehen in der Nanga Parbat-Region Gebiete mit hoher Nutzungsintensität und geringen Holzressourcen Gebieten niedriger Nutzungsintensität und hohem Waldpotenzial gegenüber. Auch wenn aufgrund fehlender statistischer Eingangsgrößen aus dem komplexen Mensch-Umwelt-Wirkungsgefüge keine umfassende Klärung der verursachenden Faktoren erfolgen konnte, weist die konservative Abschätzung für eine nachhaltige Holznutzung in der Nanga Parbat-Region ein regional ausreichendes Holzpotenzial aus. Jedoch werden in einer lokal differenzierenden Sichtweise extreme Defizitgebiete sichtbar, die im Rahmen des lokalen Mensch-Umwelt-Systems primär durch eine Konstellation aus aktuellem Ressourcenpotenzial, Besiedlungsgeschichte, Bevölkerungsentwicklung und Zugänglichkeit bedingt sind.

Der in der vorliegenden Arbeit angewendete integrative Methoden-Ansatz bietet einen umfassenden Analyserahmen von *land-use/land-cover changes* im Hochgebirge, aus dem ein lokales bis regionales Informationssystem zur Überwachung des Umweltzustandes resultiert. Zudem sind die Daten der Einzelkomponenten dieses methodenpluralistischen Ansatzes für das Anwendungsgebiet einfach zu aktualisieren und tragen zum Monitoring von anthropogenen wie auch natürlichen Einflussfaktoren auf die Waldgebiete und Kulturlandflächen bei.

## 8.2 Abstract

Land use/land cover change analyses in high mountainous regions require large to medium-scale, multi-temporal, spatial data due to the high functional and structural heterogeneity of the ecological systems. Despite military restrictions, a positive data situation exists in the high mountainous area of the NW-Himalayas (Nanga Parbat region, North Pakistan) in comparison to neighbouring regions. The combination of older and more recent small and middle format terrestrial images, historic maps and a multi-temporal sequence of multi-sensor satellite data results in a heterogeneous pool of data regarding the quality, accuracy and resolution of data. An integrative method of photogrammetry, remote sensing and geographic information system (GIS) is vital for the evaluation of multi-temporal land use/land cover inventories in local and regional scales, the GIS-based analysis of land use/land cover change (change detection) and the final spatial assessment of the detected changes with the identification of areas of critical development. This land use/land cover change analysis is focused upon the compilation of inventories of the forest and irrigation land resources of the Nanga Parbat region during the 1990s (local scale) and 2000 (regional scale) in addition to their changes over a period of more than 60 years until the year 1934. The knowledge of the recent potential of forest and irrigated land and its spatial pattern of change contributes to the understanding of the complex local/regional man-environment system. In explanation, the resource potential is set in relation to the context of the regional land use system (mixed mountain agriculture) with influencing factors relevant to use (population growth and migration, forest use, accessibility, institutional arrangements, socio-economic transformation).

Using a GIS as an analysis tool for the assessment of changes (determination of the intensity of usage of the forest areas, identification of areas of critical use) this methodological concept includes the integration of local qualitative and quantitative analytical image analysis with local to regional visual, i.e. semi-automatic, classification of the satellite image sequence and the digitalisation of historic data regarding vegetation and topography. A comprehensive source review of the historical map data with a concluding map quality index, the compilation and pre-processing of extensive terrestrial images for the qualitative and quantitative analytical analysis as well as geo-rectification of the multi-temporal, multi-sensor satellite data form the basis of this integrated method. The systematic multi-temporal comparative analysis of terrestrial images provides a valuable contribution to the documentation of changes prior to the quantitative analysis and is necessary for the validation of the spatial data as well as supporting the GIS-based synthesis of changes. The photogrammetric evaluation of the historic terrestrial stereo images and the conventional stereographic images taken for the purpose of comparison provides important land use/land cover data in local scale. Very high-resolution, first generation, satellite images (CORONA) are an adequate alternative for unavailable or inaccessible regional aerial images for the intermediate land use/land cover inventory. The primary visual interpretation of very high-resolution remote sensing data (CORONA, SPOT-PAN, KFA-1000) can be made easier and more objective by an object-orientated classification (e.g. with eCognition). Pixel (ISODATA) and object-based classification processes achieve good results with high classification accuracy, based upon multi-spectral high-resolution satellite images (IRS-1C, ASTER). Both classification methods are based upon a complex ruling of spectral, illumination-specific and topographic conditions for identification of object classes.

Qualitatively corrected historic forest and irrigation data and recent classification results are overlaid in a post-classification comparison. Control of the change detection process is ensured by the exclusion of senseless classes of change. Classes of change, which include an extension of irrigation areas, the loss of forest and the conversion of forest into irrigation areas are accepted. Approximately a quarter of montane forest areas of the Nanga Parbat region have been felled. The listing of recent forest potential and deforested areas in certain parts of the region, based on territorial right of access and utilisation, shows a strong

heterogeneous pattern of degradation. The spatial pattern of the changes is valued regarding the influential factors relevant to usage – in this study the connection between potential accessibility (settlement and road buffer) and demographic pressure with regard to forest areas (inhabitants/ha forest) has been examined. The identification of areas of critical development is achieved by weighting the calculated intensity of use of accessibility and demographic pressure. This results in the existence of areas of both high intensity of use with low wood resources as well as areas of low intensity of use and high forest potential in the Nanga Parbat region. Although no comprehensive explanation of the causal factors was possible due to missing statistical parameters from the complex man-environment system, a conservative estimate suggests a sustainable forest use with a sufficient regional wood potential in the Nanga Parbat region. However, extreme areas of deficit can be found within the region. The primary causes of these areas of deficit are a complex mixture of resource potential, history of settlement, demographic development and accessibility.

The integrative method applied in this study offers a comprehensive analysis framework of land use/land cover changes in high mountainous areas. A local to regional information system for the monitoring of the environmental situation has resulted from this. In addition, the data concerning the single components of this integrative method for the studied area can be updated very simply and will contribute to the future monitoring of the forest areas for the anthropogenic and natural factors of influence.

## 9. Literatur- und Materialverzeichnis

### 9.1 Literatur

- ABATE, S. (1994): Land Use dynamics, Soil Degradation and Potential for Sustainable Use in Metu Area, Illubabor Region, Ethiopia. Geographica Bernensia - African Studies Series A13, Bern.
- ABDULLAH, M; K. RIJAL (1999): Pattern of Energy Use in the HKH Region of Pakistan. In: RIJAL, K. (Ed.): Energy Use in Mountain Areas. Trends and Patterns in China, India, Nepal and Pakistan. Kathmandu, S. 145-180.
- ADAM Technology (1994): Using the ADAM System Software (Vers. 3.0). Bentley, Australia.
- AGARWAL, C.; G.M. GREEN; J.M. GROVE; T.P. EVANS; C.M. SCHWEIK (2000): A review and assessment of land-use change models: Dynamics of space, time, and human choice. United States Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, General Technical Report NE-297.
- AKRSP/Agha Khan Rural Support Programme (1991): Eighth annual Review, 1990. Gilgit.
- AKRSP/Agha Khan Rural Support Programme (1995): Contextual Study of the Northern Areas and Chitral. Gilgit.
- AKRSP/Agha Khan Rural Support Programme (2000): An Assessment of Socio-Economic Trends and Impact in Northern Pakistan (1991-1997). Findings from AKRSP's Farm Household Income and Expenditure Surveys. Gilgit.
- ALLEN, C.D.; J.L. BETANCOURT, T.W. SWTNAM (2003): Landscape Changes in the Southwestern United States: Techniques, Long-term Data Sets, and Trends. (<http://biology.usgs.gov/luhna/chap9.html> download Sept. 2003).
- ARNBERGER, E. (1970): Die Kartographie im Alpenverein. Wissenschaftl. Alpenvereinshefte 22. Wien.
- ARORA, N.; M.C. PORWAL (2002): Geo-spatial analysis of Lesser Himalayan landscape for characterizing resource utilization pattern (Nainital Lake Region). [Online Publikation], Map Asia 2002, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- ASCHENBRENNER, J. (1992): Orthophoto und Monoplotting in der Gletscherkartographie. Die herstellung von Kartengrundlagen für die Hochgebirgsforschung am Beispiel des Stubacher Sonnenblickkees, Hohe Tauern. Salzburg (=Salzburger Geographische Arbeiten 21).
- ASCHENWALD, J.; K. LEICHTER, E. TASSER; U. TAPPEINER (2001): Spatio-Temporal Landscape Analysis in Mountainous Terrain by Means of Small Format Photography: A Methodological Approach. In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, No. 4, 885-893.
- ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (2001): ASTER Higher-Level Product User Guide, Vers. 3.1, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
- ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (2001): ASTER User's Guide Part I, General, Vers. 3.1, ERSDAC Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (2001): ASTER User's Guide Part II, Level 1 Data Products, Vers. 3.1, ERSDAC Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- BAILEY, R.G. (1995): Ecosystem Geography. New York, Berlin, Heidelberg.
- BAJRACHARYA, B.; B. SHRESTA (2001): Sustainable development in the HKH mountains and the role of GIS. [Online Publikation] ([www.gisdevelopment.net/](http://www.gisdevelopment.net/)).
- BAJRACHARYA, S.R.; P.K. MOOL; S.P. JOSHI (2002): Spatial database development of glaciers and glacial lakes in the identification of potentially dangerous glacial lakes of Nepal using Remote Sensing and Geographic Information System. [Online Publikation], Asian Conference on Remote Sensing, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- BAULIS, X.; G. SZEJWACH (eds.) (1997): LUC Data Requirements Workshop: survey of needs, gaps



- and priorities on data for land-use/land-cover change research. (=LUCC Report Series 3)
- BECKER, A.; H. BUGMANN (2001): Global Change and Mountain Regions - The Mountain Research Initiative. IGBP Report #49, Stockholm.
- BEST, F.; G. GRUBER; W. KICK (1981): Das Ende des Chogo-Lungma-Gletschers 1979. Beobachtungen zu Veränderungen an einem der grossen Eisströme des Karakorums mittels Photogrammetrie (1902-1954-1970-1979). In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. 17, Heft 2, 177-189.
- BHATIA, A. (2000): Participatory Forest Management: Implications for Policy and Human Resources' Development in the Hindu Kush-Himalayas. Kathmandu.
- BIGING, G.S. COLBY, D.R.; CONGALTON R.G. (1998): Sampling Systems for Change Detection Accuracy Assessment. In: LUNETTA R.S. & ELVIDGE Ch.D.: Remote Sensing Change Detection - Environmental Monitoring Methods and Applications. Michigan.
- BISHOP, M.P.; J.F. SHRODER JR (2000): Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif. In: KHAN, M.A. et al (Eds): Tectonics of the Nanga Parbat Syntaxis and the Western Himalaya. Geological Society. London. Special Publikations, 170, 181-199.
- BITTER, P. (1999): A Spatial Data Infrastructure for the Hindu Kush-Himalayan Region: Some Institutional and Political Issues of Interpretation. In: Springer Lecture Notes on Computer Sciences, Vol. 1580, [Online Publikation] (<http://www.iciomid.org/focus/gis/interop99.htm>).
- BLASCHKE, T. (2002): A multiscalar GIS / image processing approach for landscape monitoring of mountainous areas. In: BOTTARIN, R. and TRAPPEINER, U. (eds.): Interdisciplinary Mountain Research, Blackwell Science, 12-25.
- BOSSHART, U. (1997): Photo-Monitoring. Bern.
- BRÄNDLI, M. (1991): Oberflächeninterpolation aus Höhenkurven. Geoprocessing Reihe, Vol.11, Geographisches Institut Universität Zürich.
- BRAUN, G. (1996): Vegetationsgeographische Untersuchungen im NW-Karakorum (Pakistan). Kartierung der aktuellen Vegetation und Rekonstruktion der potentiellen Waldverbreitung auf der Basis von Satellitendaten, Gelände- und Einstrahlungsmodellen. Bonner Geographische Abhandlungen, Heft 93, Bonn.
- BURROUGH, P.A.; R.A. McDONNELL (1998): Principles of Geographical Information Systems. New York.
- BYERS, A.C. (1987): An assessment of landscape change in the Khumbu Region of Nepal using repeated photography. In: Mountain Research Development, Vol. 7, No. 1, 77-81.
- BYERS, A.C.(2000): Contemporary Landscape Change in the Huascarán National Park and Buffer Zone, Cordillera Blanca, Peru. In: Mountain Research and Development, Vol. 20, No. 1, 52-63.
- CAMBELL, J.B. (1996): Introduction to Remote Sensing. London.
- CERNUSCA, A.; U. TAPPEINER; N. BAYFIELD (ed.) (1999): Land-Use Changes in European Mountain Ecosystems. ECOMONT - Concept and Results. Europäische Akademie Bozen - Fachbereich „Alpine Umwelt“, Berlin, Wien.
- CHANDLER, J.H.; M.A.R. COOPER (1989): The Extraction of positional data from historical photographs and their application to geomorphology. In: Photogrammetric Record 13 (73): 69-78.
- CHAVEZ, P.S.; S.C. SIDES; J.A. ANDERSON (1991): Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57, 295-303.
- CHO, S.-H. (2000): Digital Change Detection by Post-Classification Comparison of Multitemporal Remotely-Sensed Data. Journal of the Korean Society of Remote Sensing, Vol.16, No.4, 2000, 367-373.
- CLEMENS, J. (2001): Ländliche Energieversorgung in Astor: Aspekte des nachhaltigen Ressourcenmanagements im nordpakistanischen Hochgebirge. Bonner Geographische Abhandlungen

- 106, St. Augustin.
- CLEMENS, J.; R. GÖHLEN; R. HANSEN (1998): Dialogues on the Development Process in Astor Valley - Insiders' and Outsiders' Perceptions and Experiences. In: STELLRECHT, I. (ed.): Karakorum - Hindukush - Himalaya: Dynamics of Change, Part II, 207-229.
- CLEMENS, J.; NÜSSER, M. (1994): Mobile Tierhaltung und Naturraumausstattung im Rupal-Tal des Nanga Parbat (Nordwesthimalaja): Almwirtschaft und sozioökonomischer Wandel. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, 138, 6, 371-387.
- CLEMENS, J.; NÜSSER, M. (1997): Resource management in Rupal Valley, northern Pakistan: The utilisation of forests and pastures in the Nanga Parbat area. In: STELLRECHT, I. et al. (Eds.): Perspectives on history and change in the Karakorum, Hindukush, and Himalaya. Culture Area Karakorum, Scientific Studies 3, 235-263, Köln.
- CLEMENS, J.; NÜSSER, M. (2000): Pastoral management strategies in transition: Indications from the Nanga Parbat region (NW-Himalaya). In: EHLERS, E. et al. (Eds.): High mountain pastoralism in northern Pakistan. Erdkundl. Wiss., Wiesbaden.
- CONGALTON, R.G. (1993): A Practical Look at the Sources of Confusion in Error Matrix Generation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 59, No. 5, S. 641-644.
- CORRIPIO, J.G. (2001): Snow surface albedo estimation using 35 mm terrestrial photography. In: European Geophysical Society 26<sup>th</sup> General Assembly, Nice, France 25-30 March 2001.
- COWEN, D.J. (1988): GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54: 1551-1554.
- CUSHMAN S.A.; D.O. WALLIN (2000): Rates and patterns of landscape change in the Central Sikhotealin Mountains, Russian Far East. Landscape Ecology, 15, 643-659.
- DAPLARCH - Data plan development for land use and land cover change research (1997): Conclusions from DAPLARCH I - November 1997: Priority Information for land-use/land-cover change studies. ([www.geo.ud.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ud.ac.be/LUCC/Lucc.html) download: 16.12.1999).
- DARVISHSEFAT, Ali A. (1995): Einsatz und Fusion von multisensoralen Satellitenbilddaten zur Erfassung von Waldinventuren. Remote Sensing Series, Vol. 24. Zürich.
- Data Users Handbook IRS-1C (1995). National Remote Sensing Agency (Dep. of Space, Govt. of India), Hyderabad, India.
- Der Spiegel (1995): Gesund geschrumpft. In: Der Spiegel, 47/1995, 16.
- Der Spiegel (2002): Schmelzende Riesen. In: Der Spiegel, 29/2002, 46-47.
- DICKORÉ, W.B.; M. NÜSSER (2000): Flora of Nanga Parbat (NW Himalaya, Pakistan). An annotated inventory of vascular plants with remarks on vegetation dynamics. In: Englera 19, Berlin.
- DJAMDJI, J.P.; A. BIJAOU, R. MANIERE (1993): Geometrical Registration of Images. The Multiresolution Approach. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59, No. 5, 645-653.
- DRURY, S.A. (1998): Images of the earth. A Guide to Remote Sensing. Oxford.
- eCognition 2.0 (2001): User Manual. ([www.definiens-imaging.com](http://www.definiens-imaging.com)).
- EEA European Environmental Agency (2004): multilingual environmental glossary (<http://glossary.eea.eu.int/EEAGlossary/> download: 21.01.2004).
- European Commission. (1999): Integrating environment concerns into development and economic cooperation. Draft version 1.0. Brussels.
- EHLERS, M. (2002): Fernerkundung für GIS-Anwender - Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. In: BLASCHKE, T. (ed.) Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren - innovative Methoden. Heidelberg, 10-23.
- FAGRE, D. (2003): Global Change Research - A Focus on Mountain Ecosystems. (<http://www.nrmssc.usgs.gov/research/global.html> download April 2003).
- FELLBAUM, M. (1992): Low cost surveying systems in architectural photogrammetry. ISPRS, Bd. XXIX, Teil B5, 771-777.

- FINSTERWALDER, R. (1936): Die Formen der Nanga Parbat-Gruppe. Topographisch-morphologische Begleitworte zu den Karten der Nanga Parbat-Gruppe. In: Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 71, 321-341.
- FINSTERWALDER, R. (1938): Die geodätischen, gletscherkundlichen und geographischen Ergebnisse der Deutschen Himalaya-Expedition 1934 zum Nanga Parbat. Berlin.
- FINSTERWALDER, R. (1996): Accompanying text for the „Hunza-Karakorum 1:100 000“ map. In: Erdkunde, Bd. 50, H. 3, 169-172.
- FINSTERWALDER, R.; W. RAECHL; P. MISCH; F. BECHTOLD (1935): Forschung am Nanga Parbat. Deutsche Himalaya-Expedition 1934. Sonderveröffentlichung der Geographischen Gesellschaft zu Hannover, Hannover.
- GAUTAM, A.P.; E.L. WEBB; A. EIUMNOH (2002a): GIS Assessment of Land Use/Land Cover Changes Associated With Community Forestry Implementation in the Middle Hills of Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 22, No. 1, 63-69.
- GAUTAM, A.P.; E.L. WEBB; G.P. SHIVAKOTI; M.A. ZOEBISCH (2002b): Land Use Dynamics and Landscape Change Pattern in a Mountain Watershed in Nepal. [Online Publikation] Map Asia 2002 proceedings, (<http://www.gisdevelopment.net/application/environment>).
- GOSH, S. (2001): GIS application for mountain terrains: some considerations and options. [Online Publikation], (<http://www.gisdevelopment.net/> download 25.03.2003).
- Government of Pakistan (1992): Forestry Sector Master Plan, Volume 4: Northern Areas. Prepared by Reid, Collins & Ass./Silviconsult Ltd. under ADB-TA 1170/UNDP PAK/88/018. Ministry of Food, Agriculture & Cooperatives, Islamabad.
- GRAUMLICH, L.J. (1997): LUCC data requirements for regional initiatives in the Hindu Kush - Himalaya. In: BAULIS, X. et al. (eds.): LUCC Data Requirements Workshop, Barcelona 11-14 November, LUCC Report Series No. 3, 56-57.
- GRUBER, M.; R. KOSTKA (1990): Detailkartierung in Nepal mit unkonventionellen Luftaufnahmen. In: Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 5, 144-149.
- GRUBER, M.; R. KOSTKA (1992): Spezielle Fernerkundungstechnik für raumbezogene Forschungsprojekte. In: Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XVIIth ISPRS Congress Washington D.C., Vol. XXIX, Part B4, Commission IV, 589-593.
- GRUBER, W.; H. SLUPETZKY (2002): Remapping of the Cathedral Massif Glacier (B.C. Canada) - from traditional mapping to digital mapping. [Online Publikation], Mountain Cartography Workshop, Mai 2002, Timberline Lodge, OR, USA ([http://www.karto.ethz.ch/ica-cmc/mt\\_hood/proceedings.html](http://www.karto.ethz.ch/ica-cmc/mt_hood/proceedings.html), download 24.09.2002).
- GUYOT, G. (1990): Optical properties of vegetative canopies. In: STEVEN, M.D.; J.A. CLARK (eds.): Application of remote sensing in agriculture. London, 19-44.
- HAEBERLI, W.; HP. HOLZHAUSER (2003): Alpine Glacier Mass Changes during the past two Millenia. In: Pages News, Vol.11, No. 1, 13-14.
- HAUFF, V. (ed.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung.
- HAUSER, W. (Hrsg.) (2002): Klima. Das Experiment mit dem Planeten Erde. Stuttgart.
- HESS/‘Household energy demand handbook for 1991‘. Prepared for the Government of Pakistan by Energy Sector Management Assistance programm in association with The Energy Wing, under United Nations Development Programme PAK/88/036. Ohne Ort [Islamabad?], ohne Jahr [1993?].
- HEWITT, K. (1989): The Altitudinal Organisation of Karakorum Geomorphic Processes and Depositional Environments. In: DERBYSHIRE, E.; L.A. OWEN (eds.): Quaternary of the Karakorum and Himalaya (=Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., Suppl. Bd. 76), 9-32.
- HEYEN, M. (1993): Bewässerungsoasen im digitalen Satellitenbild - Ein methodischer Beitrag zur Landnutzungsanalyse im Karakorum, Pakistan. unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches

- Institut, Universität Bonn.
- HEYWOOD, D.I.; M.F. PRICE; J.R. PETCH (1994): Mountain regions and geographic information systems: an overview. In: PRICE, M.F.; D.I. HEYWOOD (eds.): Mountain Environment and Geographic Information System. London, 1-23.
- HILDEBRANDT, G. (1996): Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Heidelberg.
- HONERLA, S. (2003): Elemente einer Waldkonvention. Arbeitsberichte des Institutes für Weltforstwirtschaft, Univ. Hamburg ([www.bfafh.de](http://www.bfafh.de)).
- HÖRSCH, B. (2001): Zusammenhang zwischen Vegetation und Relief in alpinen Einzugsgebieten des Wallis (Schweiz) - Ein multiskaliger GIS- und Fernerkundungsansatz. Dissertation an der Universität Bonn [Online Publikation] [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online/math\\_nat\\_fak/2001/hoersch\\_bianca/index.htm](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2001/hoersch_bianca/index.htm).
- HUBER, K.; H. BUGMANN; M. REASONER (eds.) (in print): Global Change and Mountain Regions - state of knowledge overview. Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, New York, London.
- IVES, J.D. (1987): Repeat Photography of Debris Flows and Agricultural Terraces in the Middle Mountains, Nepal. In: Mountain Research and Development 7: 82-86.
- IVES, J.D. (1997): Landscape Change Based on Repeat Photography of Northwestern Yunnan and its Relevance to the Himalaya Hindu-Kush Region. (<http://www.ispe.arizona.edu/jackd.html> download 1999).
- IVES, J.D.; B. MESSERLI (1989): The Himalayan Dilemma. Reconciling Development and Conservation. London.
- IVES, J.D.; B. MESSERLI (1990): Progress in theoretical and applied Mountain Research 1973-1989, and major future needs. In: Mountain Research and Development 10, No. 2, 101-127.
- IZRAEL, J.A. (1990): Ökologie und Umweltüberwachung. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- JACKSON, W.J.; R.M. TAMRAKAR; S. HUNT; K.R. SHEPHERD (1998): Land-use changes in two Middle Hills Districts of Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 18, No. 3, 193-212.
- JACOBSEN, J.P.; U. SCHICKHOFF (1995): Untersuchungen zur Besiedlung und gegenwärtigen Waldnutzung im Hindukush/Karakorum. Vorläufige Ergebnisse aus laufenden Arbeiten des DFG-Schwerpunktprogrammes „Kulturraum Karakorum“. In: Erdkunde 49, 49-59.
- JANOTH, J.; M. EISL; F. KLAUSHOFER, F.; LUCKEL, W.: Segmentbasierte Verfahren zur Veränderungsanalyse und Waldklassifizierung mit hochauflösenden Satellitendaten. In: BLASCHKE, T. (ed.) (2002): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren - Innovative Methoden, Heidelberg, 98-117.
- JENSEN, J.R. (1996): Introductory digital image processing. A Remote Sensing perspective. New Jersey.
- JENSEN, J.R. (2000): Remote Sensing of the environment. An earth resource perspective. New Jersey.
- JHA, R.; M.D. HAWKES; B. RIMAL; P. De V. MOSS (2002): Monitoring of Landuse using 3S'S, a case study for Palung Sub-Watershed. [Online Publikation] Proceedings of the Asian Conference on Remote Sensing 2002, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- JORDAN, G. (1994): GIS modelling and model validation of deforestation risks in Sagarmatha National Park, Nepal. In: PRICE, M.F.; D.I. HEYWOOD (eds.): Mountain Environments and Geographic Information Systems. London.
- KADMON, R.; R. HARARI\_KREMER (1999): Studying long-term vegetation Dynamics using digital processing of historical aerial photographs. In: Remote Sensing Environment, 68, 164-176.
- KAPPENBERGER, G.; U. STEINEGGER; L.N. BRAUN; R. KOSTKA (1993): Recent changes in glacier tongues in the Langtang Khola Basin, Nepal, determined by terrestrial photogrammetry. In: Snow and Glacier Hydrology (Proceedings of the Kathmandu Symposium, Nov. 1992), IAHS Publ. 218, 95-101.
- KARANTJIT, S. (2002): Remote Sensing and GIS in Watershed Management. [Online Publikation], Asian



- Conference on Remote Sensing, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- KAUFMANN, V.; W. SULZER (1997): Über die Nutzungsmöglichkeiten hochauflösender amerikanischer Spionage-Satellitenbilder (1960-1972). In: Vermessung und Geoinformation, Nr. 3, 166-174.
- KAUFMANN, V.; U. FASTNER (1995): Some Experiments on Relief Mapping from Space Using Microwave and Optical Image Data: Looking at the Badlands in Southern Italy. In: EARSeL Advances in Remote Sensing 4 (2-X): 130-138.
- KHAN, A.A. (1979): Landuse Survey of Astor River Watershed (Diamir District). Peshawar: Aerial Forest Inventory Project, Pakistan Forest Institute (North-West Frontier Forest Record Inventory Series 13).
- KHAN, A.; D.A. GARNER; C.M. CONNER (1998): Feasibility of Geographic Information System (GIS) as a regional Planning Tool for Sustainable Development: A Case Study of Kurram and Orakzai Agencies of Federally administered Tribal Areas (FATA). In: ISRAR-DU-DIN (ed.): Studies in Pakistan Geography. Department of Geography, Applied Geography, Urban and Regional Planning, University of Peshawar, N-W.F.P Pakistan, 321-334.
- KHAN, S. R. (1997): Micro Case Study and Action Plan for Fairy Meadows. In: International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Discussion Paper MEI 97/3.
- KHORRAM, S. (ed.) (1999): Accuracy Assessment of Remote Sensing-Derived Change Detection. ASPRS Monograph Series, Maryland.
- KICK, W. (1972): Auswertung photographischer Bilder für die Untersuchung und Messung von Gletscheränderungen. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie, Bd. VIII, H. 1-2: 147-167.
- KICK, W. (1989): Bericht 1989 über das Chogo-Lungma-Gletscherende im Karakorum. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie, Bd. 25, Heft 1, 139-145.
- KICK, W. (1994): Gletscherforschung am Nanga Parbat 1856-1990. München: Deutscher Alpenverein (=Wissenschaftl. Alpenvereinshefte 30).
- KICK, W. (1996): Forschung am Nanga Parbat. Geschichte und Ergebnisse. - In: Kick, W. (Ed.): Forschung am Nanga Parbat. Geschichte und Ergebnisse. In: Beiträge und Materialien zur Regionalen Geographie 8, 1-133, Berlin.
- KIENAST, F.; C. FRANK; R. LEU (1991): Analyse raum-zeitlicher Daten mit einem Geographischen Informationssystem. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Nr.328.
- KIMOTHI, M.M.; R.N. JADHAV (1998): Forest fire in the Central Himalaya: an extent, direction and spread using IRS LISS-I data. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 19, No. 12, 2261-2274.
- deKOK, R. (2001): Objektorientierte Bildanalyse. Ein Lösungsansatz für den automatisierten Einsatz sehr hoch auflösender Satellitendaten für forstliche Fragestellungen. Dissertation an der Technischen Universität München.
- KHORRAM, S. (ed.) (1999): Accuracy assessment of remote sensing-derived change detection.
- KOSTKA, R. (1993): Cartographic activities in the Mustang district. In: Ancient Nepal. Journal of the Department of Archaeology 134: 82-88.
- KOSTKA, R. (2002): Topographic monitoring in High Mountain Areas using remote sensing data. In: BAX, G.; M. BUCHROITHNER (ed.): High Mountain Remote Sensing Cartography 1998, Proceedings of the 5<sup>th</sup> HMRSC, Karlstad University Studies, 83-90.
- KOSTKA, R.; A. SHAROV (1994): Russian Photographic Space Images of the Earth. Results of the Research Project on High Mountain Remote Sensing Cartography for the International Tauern Dachstein Testsite. TADAT-Report FWF Projekt P 8048 GEO.
- KRAUS, K. (1996): Photogrammetrie. Verfeinerte Methoden und Anwendungen. Bd. 2. Bonn
- KRAUS, K. (1997): Photogrammetrie. Grundlagen und Standardverfahren. Bd. 1, 6. Auflage. Bonn.
- KRAUS, K. (2000): Photogrammetrie. Topographische Informationssysteme. Bd. 3, Köln

- KREUTZMANN, H. (1994): Habitat Conditions and Settlement Processes in the Hindukush-Karakoram. In: Petermanns Geographische Mitteilungen 138, 337-356.
- KREUTZMANN, H. (1995): Globalization, Spatial Integration, and Sustainable Development in Northern Pakistan. In: Mountain Research and Development 15, 213-227.
- KUSTER, H. (1993): Dynamics of Forest Cover in Indian Himalaya: An Investigation in the Upper Beas Catchment (Kulu-Valley, Himachal Pradesh). In: MESSERLI, B. et al. (eds): Himalayan Environmental Pressure-Problems-Processes, 12 Years of Research. Geographica Bernensia G38, 55-61.
- LAMBIN, E.F. et al. (1999): Land Use and Cover Change Implementation Strategy. IGBP Report No. 48; IHDP Report No. 10. Stockholm.
- LAMBIN, E.F.; H.J. GEIST (2001): Global land-use and land-cover change: what have we learned so far?. In: IGBP Global Change Newsletter, No. 46, 27-30.
- LAMBIN, E.F. et al. (2001): The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. In: Global Environmental Change, 11, 261-269.
- LANE, S.N.; K.S. RICHARDS; J.H. CHANDLER (1993): Developments in photogrammetry; the geomorphological potential. In: Progress in Physical Geography 17 (3): 306-328.
- LANLY, J.-P. (2003): Deforestation and Degradation Factors. [Online Publikation], XII World Forestry Congress, 2003, Québec City, Canada.
- LAWRENCE, R.L.; W.J. RIPPLE (1998): Comparisons among Vegetation Indices and Bandwise Regression in a Highly Disturbed, Heterogeneous Landscape: Mount St. Helens, Washington. In: Remote Sensing Environment, 64, 91-102.
- LEACHTENAUER, J.C.; K. DANIEL, T.P. VOGEL (1997): Digitizing Corona Imagery: Quality vs. Cost. In: McDONALD, R.A. (ed.): CORONA between the Sun & the Earth. The first NRO Reconnaissance Eye in Space. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, 189-204
- LEBERL, F. (1991): The Promise of Softcopy Photogrammetry. In: EBNER H. et al.: Digital Photogrammetric Systems. 3-14, Karlsruhe.
- LEICHTER, K.; E. TASSER; J. ASCHENWALD; D. PÖHL; U. TAPPEINER (1999): Methodik zur Aufnahme, Georektifizierung und Auswertung von Gegenhangphotos im Rahmen landschaftsökologischer Untersuchungen. In: STROBL, J.; Th. BLASCHKE: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, 337-344.
- LIETH, G. 2002: Eine objektbasierte Analyse hochaufgelöster Satellitenbilder zur Landnutzungs-klassifikation der Bewässerungsoasen im Hunza-Tal (Nordwest-Karakorum). Unver-öffentliche Diplomarbeit, Universität Bonn.
- LUCKMAN, B.H. (2002): Recent Environmental Changes in the Canadian Rockies. [Online Publikation] Mountain Science Highlights (<http://www.forestry.ubc.ca/alpine/highlights> download Aug. 2003).
- LUND, H.G. (2000): Definitions of old growth, pristine, climax, ancient forests and similar terms. [Online Publikation], Manassas, VA: Forest Information Services. Misc. pagination. (<http://home.att.net/~gklundpristine.html>).
- LUNETTA, R.S; C.D. ELVIDGE (eds.) (1998): Remote Sensing Change Detection. Environmental Monitoring Methods and Applications. Chelsea.
- MANAKOS, I.; T. SCHNEIDER; U. AMMER (2000): A comparison between the ISODATA and the eCognition classification methods on basis of field data. In: ISPRS 2000, Vol. XXXIII, Supplement CD, Amsterdam.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J. (2000): A cartographic and database approach for land cover/use mapping and generalization from remotely sensed data. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 21, No. 9, 1825-1842.
- MASTROGIUSEPPE, R.; J. SALINAS (1997): Repeat Photography and Landscapae Change. [Online Publikation] Nature Notes, Vol. XXVIII (<http://www.nps.gov/crla/notes/vol28e.htm>).
- McCONNELL, W.J.; E.F. MORAN (ed.) (2001): Meeting in the Middle: The Challenge of Meso-Level

- Integration. An International Workshop October 17-20, 2000, Ispra. LUCC Report Series No. 5.
- McCONNELL, W.J. (2002): Preface. In: PARKER, D.C. et al. (eds.) (2002): *Agend-based models of land-use and land-cover change. Report and review of an International Workshop, October 4-7, 2001, Irvine, California, USA, LUCC Report Serie No. 6, xi-xiv, Indiana.*
- McDONALD, R.A. (ed.) (1997): *CORONA between the Sun & the Earth. The first NRO Reconnaissance Eye in Space. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland.*
- McDONALD, R.-A. (1997): *Corona, Argon, and Lanyard: A Revolution for US Overhead Reconnaissance.* In: McDONALD, R.A. (ed.): *CORONA between the Sun & the Earth. The first NRO Reconnaissance Eye in Space. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, 61-74.*
- MESSERLI, B.; M. GROSJEAN; Th. HOFER; L. NUNEZ, Ch. PFISTER (2000): *From nature-dominated to human-dominated environmental changes.* In: *Quarternary Science Reviews, 19, 459-479.*
- MEYER, W.B.; L. TURNER II (ed.) (1994): *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective.*
- MEYER, W.B.; B.L. TURNER II (1996): *Land-use/land-cover change: challenges for geographers.* In: *GeoJournal 39,3,237-240.*
- MIEHE, G.; S. MIEHE (1998): *Vegetation Patterns as Indicators of Climate Humidity in the Western Karakorum.* In: STELLRECHT, I. (ed.): *Karakorum - Hindukush - Himalaya: Dynamics of Change. Köln, 101-126.*
- MIEHE, G; S. MIEHE (2000): *Guidelines for the physiognomic classification of plant formations in mountain areas.* In: WINIGER, M.; J. BENDIX (eds.): *Field Guide for Landscape Ecological Studies in High Mountain Environments. Bonn.*
- MIEHE, S.; T. CRAMER; J.P. JACOBSEN; M. WINIGER (1996): *Humidity conditions in the Western Karakorum as indicated by climatic data and corresponding distribution patterns of the montane and alpine vegetation.* In: *Erdkunde 50, 190-204.*
- MIEHE, G.; M. WINIGER; J. BÖHNER; Z. YILI (2001): *The Climate Diagram Map of High Asia.* In: *Erdkunde, Bd. 55, 94-98.*
- Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 16-17 June 1993 in Helsinki, (<http://www.minconf-forests.net/>).
- MILLINGTON, A.C.; S. JEHANGIR (2000): *Mapping Vegetation in Complex, Mountain Terrain.* In: ALEXANDER, R.; A.C: MILLINGTON (eds.): *Vegetation Mapping: From Patches to Planet, Chichester, 209-231.*
- MOREIRA F.; F.C. REGO; P.G. FERREIRA (2001): *Temporal (1958–1995) pattern of change in a cultural landscape of northwestern Portugal: implications for fire occurrence.* *Landscape Ecology, 16: 557–567.*
- MÜLLEROVÁ, J. (1999): *Anthropogenous Vegetation Changes in Alpine Tundra, a Remote Sensing Study from the Krkono.e Mountains, Czech Republic. Preliminary Results. Proceedings EUROMAB-Symposium, Austrian Academy of Sciences Vienna - Gumpenstein, 15 - 19 September 1999, 39-41.*
- MUMINOV, I.; J. BENEDIKT (2002): *Dynamic Mapping of Vegetation Cover in Nurota Mountains - A Case Study on the development of an open GIS/RS system for environmental data exchange in Uzbekistan.* In: BLASCHKE, T. (ed.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren - innovative Methoden. Heidelberg, 141-149.*
- NELDA Expert Level Meeting (1999): *Hindu-Kush Himalayan Region and Land Use and Land Cover Change.* ([www.geo.ud.ac.be/LUCC/Lucc.html](http://www.geo.ud.ac.be/LUCC/Lucc.html) download: 23.03.2002).
- NÜSSER, M. (1998): *Nanga Parbat (NW-Himalaya): Naturräumliche Ressourcenausstattung und humanökologische Gefügemuster der Landnutzung. Bonner Geographische Abhandlungen 97, Bonn.*
- NÜSSER, M. (2000a): *Change and Persistence: Contemporary Landscape Transformation in the Nanga Parbat Region, Northern Pakistan.* In: *Mountain Research and Development, Vol. 20, No. 4, 348-355.*

- NÜSSER, M. (2000b): Recent Land Cover and Land Use Dynamics in the Nanga Parbat Area (NW Himalaya): Human-Ecological Landscape Monitoring Using Repeat Photography. In: MIEHE, G.; Z. YILI (eds.): Environmental Changes in High Asia, Marburger Geographische Schriften 135, 265-281.
- NÜSSER, M. (2001): Bildvergleiche und Kulturlandschaftsentwicklung am Nanga Parbat (Nordpakistan). Verhandlungen der Gesellschaft für Erdkunde, 16-21.
- NÜSSER, M.; J. CLEMENS (1996): Rezente Landnutzungsmuster am Nanga Parbat: Genese und rezente Entwicklungsdynamik. In: Beiträge und Materialien zur Regionalen Geographie, Heft 8, 157-176.
- NÜSSER, M.; U. SCHICKHOFF (1996): Traditionelle Methoden der Vegetationsgeographie im Wandel: Potentiale und Limitierungen der digitalen Verarbeitung vegetationsbezogener Datensätze. In: Die Erde 127, 93-112.
- OLSSON E.G.A.; G. AUSTRHEIM; N. GRENNE (2000): Landscape change patterns in mountains, land use and environmental diversity, Mid-Norway 1960–1993. Landscape Ecology, 15, 155–170.
- OTT, Th.; F. SWIACZNY (2001): Time-Integrative Geographic Information Systems - Management and Analysis of Spatio-Temporal Data. Heidelberg.
- PAHARI, K.; J.-P. DELSOL; S. MURAI (1997): Remote Sensing and GIS for sustainable watershed management - a study from Nepal. Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. [Online Publikation] ([http://www.kfunigraz.ac.at/geowwww/fernerkundung/site/gfe\\_start/symposium/hmrsc\\_4\\_contents.htm](http://www.kfunigraz.ac.at/geowwww/fernerkundung/site/gfe_start/symposium/hmrsc_4_contents.htm)).
- PANDEY A.C.; M.S. NATHAWAT (2002): Landuse-Land cover mapping through digital image processing of satellite data- a case study from Panchkula, Ambala and Yamunanagar districts, Haryana state, India. [Online Publikation], Map Asia 2002, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- PANIKKAR, S.V. (2000): Forest change detection. [Online Publikation], (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- PARKER, D.C.; T. BERGER, S.M. MANSON (eds.) (2002): Agend-based models of land-use and land-cover change. Report and review of an International Workshop, October 4-7, 2001, Irvine, California, USA, LUCC Report Serie No. 6, Indiana.
- PARLOW, E. (1991): Einstrahlungskorrekturen - eine Anwendung für digitale Geländemodelle in der Satellitenfernerkundung. In: Freiburger Geographische Hefte, Heft 34, 111-118.
- PATANJALI, P.K.; P.K. JOSHI; K.K. DAS (2003): Sustainable Development in Mountain Ecosystem at Watershed Level - A Geospatial Approach. [Online Publikation], Map Asia, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- PETIT, C.C.; E.F. LAMBIN (2001a): Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. In: International Journal of Geographical Information Science, Vol.15, No.8, 785-803.
- PETIT, C.; T. SCUDDER; E. LAMBIN (2001b): Quantifying processes of land-cover change by remote sensing resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 22, 3435-3456.
- PETRIE, G. (1992): Trends in analytical instruments. In: ITC Journal 4: 3646-383.
- PILARDEAUX, B. (1995): Innovation und Entwicklung in Nordpakistan. Über die Rolle von exogenen Agrarinnovationen im Entwicklungsprozeß einer peripheren Hochgebirgsregion. Freiburger Studien zur Geographischen Entwicklungsforschung 7, Saarbrücken.
- PLUGERS, P. (1999): Product Survey on Digital Photogrammetric Workstations, GIM, 13 (5/7).
- POHL, C.; J.L. van GENDEREN (1998): Multisensor image fusion in remote sensing: Concepts, methods and applications. In: International Journal of Remote Sensing, 19, 5, 823-854.
- POLLEFEYS, M. (2000): Tutorial on 3D Modeling from Images - Lecture Notes. 26 June 2000, Dublin, Irland (Katholieke Universiteit Leuven).
- POLLEFEYS, M.; R. KOCH; M. VERGAUWEN; L. VAN GOOL (1999): An automatic method for acquiring 3D models from photographs: Applications to an archaeological site. Proc. ISPRS International



- Workshop on Photogrammetric Measurements, Object Modeling and Documentation in Architecture and Industry, July 1999.
- PRADHAN, S. (2002): Regional land cover mapping of the Hindu Kush-Himalayan using satellite image: An approach to understand the dynamics of land use and land cover change. [Online Publikation] Asian Conference on Remote Sensing ([www.gisdevelopment.net/](http://www.gisdevelopment.net/)).
- PRECHTEL, N.; F.W. STRATHMANN (1994): KFA-1000 Photo Physiognomy: Object Analysis and Ground Truth Results from the TADAT Test Site (Austria). Results of the Research Project on High Mountain Remote Sensing Cartography for the International Tauern Dachstein Testsite. TADAT-Report FWF Projekt P 8048 GEO.
- PRICE, M. (1999): Global Change in the mountains: proceedings of the European Conference on Environmental and Societal Change in Mountain Regions, Oxford, 18-20 December 1997. New York, London.
- QI, J.; A. CHEHBOUNI; A.R. HEUTE, Y.N. KERR; S. SOROOSHIAN (1994): A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing Environment*, 48, 119-126.
- RAY, T.W. (1995): Remote Monitoring of Land Degradation in Arid/Semiarid Regions. Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- REGENSBURGER, K. (1990): Photogrammetrie. Anwendungen in Wissenschaft und Technik. Berlin.
- REID R.S.; R.L. KRUSKA, N. MUTHUI, A. TAYE, S. WOTTON, C.J. WILSON; W. MULATU (2000): Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia. In: *Landscape Ecology* 15, 339–355.
- REPP, G. (1963): Waldökologische Studien im westlichen Himalaya. *Mitteilungen der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft N.F.* 10, 209-222.
- REASONER, M.; L. GRAUMLICH; B. MESSERLI; H. BUGMANN (2002): Global Change and Mountain Regions: The need for an integrated approach. In: *IHDP UPDATE*, 01, 2-7.
- RHOADES, R.E.; S.I. THOMPSON (1975): Adaptive strategies in alpine environments: Beyond ecological particularism. In: *American Ethnologist* 2, 535-551.
- RICHARDS, J.A.; X. JIA (1999): Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction. Berlin.
- RIEBSAME, W.E.; H. GOSNELL; D.M. THEOBALD (1996): Land use and landscape change in the Colorado Mountains I: Theory, scale, and pattern. In: *Mountain research and Development*, Vol. 16, No. 4, 395-405.
- RIJAL, K. (1999): Energy Use in Mountain Areas. Trends and Patterns in China, India, Nepal and Pakistan. International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu.
- RÜGER, W.; J. PIETSCHNER; K. REGENSBURGER (1987): Photogrammetrie. Verfahren und Geräte zur Kartenherstellung. Berlin.
- SARAF, A.K. (1999): IRS-1C-LISS-III and PAN data fusion: an approach to improve remote sensing based mapping techniques. In: *International Journal of Remote Sensing*, 20, 10, 1929-1934.
- SACZUK, E. (2002): Has the Khullu district experienced an increase in natural hazard activity over the past 27 years? A case study in risk and land use/cover change. [Online Publikation] GIS development ([www.gisdevelopment.net/application/nrm/mountain/mount003.htm](http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/mountain/mount003.htm)).
- SAUNDERS, F. (1983): Karakoram villages. An agrarian study of 22 villages in the Hunza, Ishkoman & Yasin valleys of Gilgit District. FAO Integrated Rural Development Project, Pak/80/009. AKRSP, Gilgit.
- SCHICKHOFF, U. (1996): Die Wälder der Nanga-Parbat-Region: Standortsbedingungen, Nutzung, Degradation. In: KICK, W. (Ed.): *Forschung am Nanga Parbat. Geschichte und Ergebnisse*. In: *Beiträge und Materialien zur Regionalen Geographie* 8, 177-189, Berlin.
- SCHICKHOFF, U. (2002): Die Degradierung der Gebirgswälder Nordpakistans. Faktoren, Prozesse und Wirkungszusammenhänge in einem regionalen Mensch-Umwelt-System. *Erdwissenschaftliche Forschung*, Bd. 41, Stuttgart.

- SCHIEWE, J.; L. TUFTE; M. EHLERS (2001): Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. *Geo-Information-Systems*, Heft 6, S. 34-39.
- SCHIEWE, J., TUFTE, L. (2002): Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. In: BLASCHKE, Th. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS - Neue Sensoren - innovative Methoden*. Heidelberg, S. 42-52.
- SCHMIDT, S. (in Vorb.): Der Einfluss des Reliefs auf die Verteilung von Schnee von der Makro- zur Mikroskala im Lötschental (Schweiz), (in Vorb.) Dissertation, Universität Bonn.
- SCHMIDT, U. (2001): Modellierung des kurzwelligen solaren Strahlungshaushaltes im Hochgebirge auf der Basis von digitalen Geländemodellen und Satellitendaten am Beispiel des Hunza-Karakorum/Nordpakistan. unveröffentlichte Dissertation an der Universität Bonn.
- SCHNEIDER, E. (1957): Mahalangur - Himal. Begleitworte zur zur Karte des Everest-Gebietes 1:25000. In: *Jahrbuch de Deutschen Alpenvereins*, 1-12.
- SCHNEIDER, H.J. (1969): Minapin - Gletscher und Menschen im NW-Karakorum (Erläuterungen zur Expeditionskarte). In: *Die Erde* 2-4, 266-286.
- SCHNEIDER, T.; R. deKOK; A. BUCK; I. MANAKOS (2000): Objektorientierte Bildanalyse - Paradigmenwechsel in der thematischen Auswertung von Erdbeobachtungsdaten? Aktuelle Forschungsberichte, Festschrift zur Emeritierung Prof. Dr. U. Ammer, Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz (Hrsg.), TUM, Freising, 234-258.
- SCHWAGER, C. (2000): Handbuch Surveyor 2.1. Die photogrammetrische Software zur Vermessung und kartographischen Auswertung von Fotos. ([www.stereocarta.de](http://www.stereocarta.de) download: 23.06.2001).
- SCHWARZ, M. ; Ch. STEINMEIER, L. WASER (2001): Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high-resolution satellite data. In: 21<sup>st</sup> EARsel Symposium, Paris.
- SCHWEIK, Ch.M.; K. ADHIKARI; K.N. PANDIT (1997): Land-cover change and forest institutions: A comparison of two sub-basins in the Southern Siwalik Hills of Nepal. In: *Mountain Research and Development*, Vol. 17, No. 2, 99-116.
- SCHWEINFURTH, U. (1957): Die horizontale und vertikale Verbreitung der Vegetation des Himalaya. (=Bonner Geographische Abhandlungen 20) Bonn.
- SEARLE, M.P. (1991): *Geology and Tectonics of the Karakorum Mountains*. Chichester.
- SEN, K.K.; R.L. SEMWAL; U. RANA; S. NAUTIYAL; R.K. MAIKHURI; K.S. RAO; K.G. SAXENA (2002): Patterns and Implications of Land Use/Cover Change. A Case Study in Pranmati Watershed (Garhwal Himalaya, India). In: *Mountain Research and Development*, Vol. 22, No. 1, 56-62.
- SHAHID, M.I. (1997): *Forestry in Pakistan*. Lahore.
- SHARMA R.R. (2002): Monitoring forest resources using Remote Sensing data. [Online Publikation], Asian Conference on Remote Sensing, (<http://www.gisdevelopment.net/>).
- SHIYATOV, S.G. (2003): Rates of Change in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Ural Mountains. In: *Pages News*, Vol. 11, No. 1, 8-10.
- SHRODER, J.F. Jr. (1998): Slope failure and denudation in the western Himalaya. In: *Geomorphology*, 26, 81-105.
- SHRODER, J.F. Jr.; M.P. BISHOP; R.A. SCHEPPY (1998): Catastrophic Flood Flushing of Sediment, Western Himalaya, Pakistan. In: KALVODA, J.; C.L. ROSENFELD (eds): *Geomorphological Hazards in High Mountain Areas*. Dordrecht, Boston, London, 27-48.
- SHRODER, J.F. Jr.; R.A. SCHEPPY; M.P. BISHOP (1999): Denudation of Small Alpine Basins, Nanga Parbat Himalaya, Pakistan. In: *Arctic, and Alpine Research*, Vol. 31, No.2, 121-127.
- SHRODER; J.F. Jr.; M.P. BISHOP (2000): Unroofing of the Nanga Parbat Himalaya. In: KHAN, M.A. et al. (eds.): *Tectonics of the Nanga Parbat Syntaxis and the Western Himalaya*. Geological Society, London, Special Publikations, 170,163-179.
- SINGH, T. (1917): Assessment report of the Gilgit Tahsil. Lahore.

- SINGH, A. (1989): Digital change detection techniques using remotely-sensed data. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, 989-1003.
- SKOVLIN, J.M.; G.S. STRICKLER; J.L. PETERSON; A.W. SAMPSON (2001): *Interpreting Landscape Change in High Mountains of Northeastern-Oregon from Long-Term Repeat Photography*. General Technical Report PNW-GTR-505, May 2001, United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- SOUTHWORTH, J.; C. TUCKER (2001): The influence of accessibility, local institutions, and socioeconomic factors on forest cover change in the Mountains of Western Honduras. In: *Mountain Research and Development*, Vol. 21, No. 3, 276-283.
- SPOHNER, R. (1993): *Auswertung terrestrischer Photographien zur Quantifizierung von Landschaftsveränderungen. Exemplarische Auswertung im Hunza-Tal (Karakorum) 1959-1992*. unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bonn.
- STEINOCHEK, K.; G. KNÖTIG (1998): Nutzungskartierung aus hochauflösenden Fernerkundungsdaten für die Raumplanung. In: *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation*, Heft 3, 144-149.
- STELLRECHT, I. (1997): Dynamics of Highland-Lowland Interaction in Northern Pakistan since the 19<sup>th</sup> Century. In: STELLRECHT, I.; M. WINIGER (eds.): *Perspectives on history and change in the Karakorum, Hindukush, and Himalaya*. Culture Area Karakorum scientific studies 3, 3-22.
- STOCKING, M.; N. MURNAGHAN (2000): *Land Degradation - Guidelines for Field Assessment*. [Online Publikation], People, land Management and Environmental Change (PLEC) Database, United Nations University ([www.unu.edu/env/plec/l-degrade/index-toc.html](http://www.unu.edu/env/plec/l-degrade/index-toc.html)).
- STONE, P.B. (ed.) (1992): *The State of the World's Mountains. A Global Report*. London.
- STORY, M.; R.G. CONGALTON (1986): Accuracy Assessment: A User's Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 52, No. 3, S. 397-399.
- SULZER, W.; W. ZSILINCSAR (1997): Regional planning and structural change of landscape in the Steirische Randgebirge (Austrian Alps) - A regional analysis by means of remote sensing techniques. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography*. [Online Publikation] ([http://www.kfunigraz.ac.at/geowwww/fernerkundung/site/gfe\\_start/symposium/hmrsc\\_4\\_contents.htm](http://www.kfunigraz.ac.at/geowwww/fernerkundung/site/gfe_start/symposium/hmrsc_4_contents.htm)).
- TAMRAKAR, R.M.; K. JABEGU, B. SHRESTH (1991): Land-use change in the Jhikhu Khola Watershed area 1972-1990. In: SHAH, P.B.: *Soil fertility and erosion issues in the Middle Mountains of Nepal*. Workshop proceedings Jhikhu Khola Watershed, April 22-25, 1991, 201-207.
- TEKLE, K.; L. HEDLUND (2000): Land Cover Changes Between 1958 and 1986 in Kalu District, Southern Wello, Ethiopia. In: *Mountain Research and Development*, Vol. 20, No. 1, 42-51.
- The Dawn (2003): „Factors explained behind deforestation in Northern Areas“ (29.06.2003).
- THEPBALD, D.M.; H. GOSNELL; W.E. RIEBSAME (1996): Land use and landscape change in the Colorado Mountains II: A case study of the East River Valley. In: *Mountain Research and Development*, Vol. 16, No. 4, 407-418.
- TROLL, C. (1937): *Auszüge aus Tagebüchern der Nanga Parbat-Expedition 1937*. Aus dem Stenogramm übertragen von E. Troll. - Archiv Geographisches Institut Bonn, Bestand C. Troll (unveröffentlicht).
- TROLL, C. (1938): Der Nanga Parbat als Ziel deutscher Forschung. In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 73, 1-26.
- TROLL, C. (1939): Das Pflanzenkleid des Nanga Parbat. Begleitworte zur Vegetationskarte der Nanga Parbat-Gruppe (Nordwest-Himalaja) 1:50 000. In: *Wiss. Veröff. d. Dt. Museums f. Länderkunde zu Leipzig*, N.F. 7, 149-193.
- TROLL, C. (1967): Die klimatische und vegetationsgeographische Gliederung des Himalaya-Systems. In: HELLMICH, W. (ed.): *Khumbu Himal. Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya*, Bd. 1/5. Berlin, Heidelberg, New York, 353-388.

- TURNER II B.L.; D. SKOLE, S. SANDERSON, L. FRESCO, R. LEEMANS (1995): Land-Use and Land-Cover Change Science/Research Plan. IGBP Report No. 35; IHDP Report No. 7. Stockholm.
- UN Sustainable Development (1999): Agenda 21, Chapter 13 - Managing fragile ecosystems: Sustainable mountain development. ([www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter13.htm](http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21chapter13.htm) download: 13.07.2002).
- UNEP World Conversation Centre (2002): Mountain watch - environmental change and sustainable development in mountains. ([www.unep-wcmc.org](http://www.unep-wcmc.org) download: 3.12.2003).
- VIRGO, K.J.; K.J. SUBBA (1994): Land-use change between 1978 and 1990 in Dhankuta District, Koshi Hills, Eastern Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 14, No. 2, 159-170.
- VUICHARD, D.; M. ZIMMERMANN (1987): The 1985 catastrophic drainage of a moraine-dammed lake, Khumbu Himal, Nepal: Cause and Consequences. In: Mountain Research and Development, Vol. 7, No. 2, 91-110.
- WALDHÄUSL, P.; F. HOCHSTÖGER (1990): Monoplotting. Einzelbildauswertung für die beobachtung von Veränderungen auf der Geländeoberfläche. Mitteilung des Institutes für Geodäsie der Universität Innsbruck, VI. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 1990, Fachvorträge, Heft 14, 137-154.
- WALTER, A. (1999): Rezentler Landschaftswandel im NW-Himalaya (Pakistan). Fallstudie Raikot-Tal (Nanga Parbat). unveröffentlichte Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Bonn.
- WARNER, W.S. (1990): Accuracy and small-format surveys: the influence of scale and object definition on photo measurements. In: ITC Journal, 1, 24-28.
- WARNER, W.S.; W. CARSON (1992): Mapping monoscopically: an innovative system for vertical and oblique aerial photographs. In: ITC Journal, 3, 228-232.
- WARNER, W.S.; J. KVAERNER (1998): Measuring trail erosion with a 35-mm Camera. In: Mountain Research and Development 18: 273-280.
- WINIGER, M. (1996): Karakorum im Wandel. Ein methodischer Beitrag zur Erfassung der Landschaftsdynamik in Hochgebirgen. Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern 59, 59-74.
- WINIGER, M. (1999): Mountain systems in transition: a methodological approach for the investigation of recent landscape dynamics. In: PRICE, M. et al. (ed.): Global change in the mountains: proceedings of the European Conference on Environmental and Societal Change in Mountain Regions, Oxford, 18-20 December 1997, 29-30.
- WITSCHAS, S. (2002): Erinnerung an die Zukunft - sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. Kartographische Nachrichten, Heft 3, S. 111-117.
- WEIERS, S. (1995): Zur Klimatologie des NW-Karakorum und angrenzender Gebiete. Statistische Analysen unter Einbeziehung von Wettersatellitenbildern und eines Geographischen Informationssystems (GIS). (=Bonner Geographische Abhandlungen 92), Bonn.
- YUAN, D.; C.D. ELVIDGE; R.S. LUNETTA (1998): Survey of Multispectral Methods für Land Cover Change Analysis. In: LUNETTA, R.S.; C.D. ELVIDGE (eds.): Remote Sensing Change Detection. Environmental Monitoring Methods and Applications. Chelsea, 21-39.
- ZEITLER, P.K. (1985): Cooling History of the NW Himalaya, Pakistan. In: Tectonics 4, 127-151.
- ZELEKE, G., H. HURNI (2001): Implications of Land Use and Land Cover Dynamics for Mountain Resource Degradation in the Northwestern Ethiopian Highlands. In: Mountain Research and Development, Vol. 21, No. 2, 184-191.
- ZOMER, R.J.; S.L. USTIN; Ch.C. CARPENTER (2001): Land Cover Change Along Tropical and Subtropical Riparian Corridors Within the Makalu Barun National Park and Conservation Area, Nepal. In: Mountain Research and Development, Vol. 21, No. 2, 175-183.



## 9.2 Kartenverzeichnis

- Deutsche Himalaya-Expedition (1934): Karte der Nanga Parbat-Gruppe, 1:50.000.  
Deutsche Himalaya-Expedition (1934): Nanga Parbat-Gruppe und Nachbargebiete, 1:100.000.  
India and Pakistan 1:250.000, Serie U 502: Sheet NI 43-2 Gilgit (Edition 1962).  
TROLL, C. (1939): Vegetationskarte der Nanga Parbat-Gruppe, 1:50.000.

## 9.3 Verzeichnis verwendeter Satellitendaten

- ASTER (PG-PR1B0000-2001-082402\_172\_001), Level 1B, path oriented, UTM 43, WGS84, 09.07.2000  
(download: November 2001).  
CORONA DS1035, 1023DA029-1023DA032, Film-Positive 2,25“ x 30“, 22.09.1966.  
CORONA DS1047, 2166DF018-2166DF020, Film-Positive 2,25“ x 30“, 01.07.1968.  
CORONA DS1115, 1072DA224-1072DA225, Film-Positive, 2,25“ x 30“, 15.09.1971.  
IRS-1C LISS III, Path 91, Row 45, path oriented, fast format (revision C), International 1909, 14.09.1997.  
KFA-1000, RGB-Film Nr. 211, Negativ-Nr. 26619, 11.07.1988.  
KVR-1000, Film-Positiv, Shooting route: 11/48-4, Panoramastreifenr.: 0348, 27.05.1989.  
SPOT PAN, Spot2 HRV1 BIL Level1B, 197-279/0, 16.09.1990.