

UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR



STUDIENRICHTUNG LANDSCHAFTSPLANUNG UND
LANDSCHAFTSPFLEGE

DIPLOMARBEIT

Landbedeckungskartierung aus Satellitenbildern mit der kNN-Methode am Beispiel Tirol

ausgeführt am

Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation



Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur



A-1190 Wien, Peter Jordan Strasse 82

verfasst und eingereicht von

Matteo Mattiuzzi

unter der Betreuung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Werner Schneider

Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Tatjana Koukal

Wien, im November 2007

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem Großvater, weil er mich die Zeit, die einem gegeben ist, zu schätzen lehrte.

Danke meiner Mutter, die in Liebe meinen Werdegang unterstützt und ermöglicht hat.

Danke meinem Vater, der mir gezeigt hat, dass das Leben viele Seiten hat.

Danke an Professor Werner Schneider, der mir mit seiner Erfahrung richtungweisend war und genaues Arbeiten verlangte.

Danke an Tatjana Koukal, mit der das Zusammenarbeiten lehrreich, angenehm und produktiv war.

Danke auch an Franz Suppan und Gerhard Mocza, die, obwohl sie selbst sehr beschäftigt waren immer mit einem freundlichen Gesicht auf meine Anfragen reagierten.

Gewidmet ist diese Arbeit meiner Tochter Rafaela, dass Sie ihre Gabe die Welt als Wunder zu sehen immer beibehalten möge.

Kurzfassung

Automatisierte Verfahren zur Kartierung der Landbedeckung aus Satellitenbildern haben viele Vorteile gegenüber Methoden, die auf visueller Interpretation beruhen. Sie liefern homogenere, objektive Karten und erfordern weniger Arbeitsaufwand.

Es gibt mehrere Ansätze für die automatisierte Kartierung der Landbedeckung. In dieser Diplomarbeit wird die kNN (k Nearest Neighbour)-Methode verwendet. Es handelt sich dabei um ein Verfahren der „überwachten Klassifizierung“, das keine speziellen statistischen Verteilungen der Merkmale der zu unterscheidenden Landbedeckungskategorien voraussetzt. Jedes unbekannte Pixel wird jener Kategorie zugewiesen, die unter den k ähnlichsten Pixeln des Referenzdatensatzes am häufigsten vorkommt. Das Verfahren wurde für die Herstellung von Landbedeckungskarten von Tirol (einschließlich Osttirol) aus Landsat-Satellitenbildern adaptiert. Der Referenzdatensatz wurde durch visuelle Interpretation einer Rasterstichprobe gewonnen.

Das Hauptaugenmerk dieser Diplomarbeit gilt dem Zusammenhang zwischen der Beschaffenheit des Referenzdatensatzes, den verwendeten Berechnungsparametern und den Eigenschaften und der Qualität der damit hergestellten thematischen Karten.

Abstract

Automated methods for mapping land cover from satellite images have advantages compared to methods based on visual interpretation. Maps produced automatically have a higher degree of homogeneity and objectivity. The needed amount of work is lower.

There are different approaches for automated mapping of land cover. In this diploma thesis, the kNN (k Nearest Neighbour) method is used. This is a procedure of “supervised classification”, which does not presume any special statistical distribution of the features of the land cover categories to be discerned. Every pixel to be classified is assigned to the category occurring most frequently among the k most similar pixels of the reference data set. The method was adapted and applied for producing land cover maps of Tyrol (incl. East Tyrol) from Landsat satellite image data. The reference data set was obtained by visual interpretation of a dot grid sample.

The main focus of the diploma thesis is the relationship between the properties of the reference data set, the parameters of kNN classification and the characteristics and quality of the resulting thematic maps.

Danksagung.....	I
Kurzfassung.....	II
Abstact.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
-1- Einleitung.....	1
1.1. Motivation.....	1
1.2. Ziel.....	2
1.3. Fernerkundung in Österreich.....	2
1.4. Corine Landcover.....	3
1.5. Wegweiser durch die Diplomarbeit.....	3
-2- Datengrundlage.....	5
2.1. Landsat.....	5
2.2. Digitales Höhenmodell (DHM).....	6
2.3. Referenzdaten.....	7
2.3.1. Orthofotos.....	7
2.3.2. ÖK50.....	10
2.3.3. Waldvegetationskartierung nach Schiechl / Stern.....	10
2.4. Geländebegehung.....	10
-3- Klassifikationsmethodik.....	12
3.1. Klassifikationsmethoden im Allgemeinen.....	12
3.2. Klassifikation mit der „kNN“-Methode.....	13
3.3. Erstellung von Referenzdaten.....	13
3.3.1. Rastererstellung.....	14
3.3.2. Interpretation der Rasterpunkte.....	16
3.4. Kreuzvalidierung.....	16
3.5. Merkmale.....	17
3.5.1. Einsetzungsmöglichkeiten von Merkmalen.....	18
3.5.2. Gewichtung von Merkmalen.....	18

-4- Durchführung der Klassifikation.....	19
4.1. Verwendete Software.....	19
4.2. Vorbereitende Schritte.....	20
4.3. Referenzdaten.....	20
4.3.1. Klassen.....	20
4.3.2. Interpretationsschlüssel.....	21
4.4. Interpretation.....	25
4.4.1. Interpretationsschwierigkeiten.....	27
4.5. Qualitätsprüfung der Referenzpixel, die Kreuzvalidierung.....	28
4.6. Optimierung.....	28
4.6.1. Programminterne „kNN“-Parameter.....	28
4.6.1.1. Die Einstellungen für das „k“.....	29
4.6.1.2. Gewichtung.....	29
4.6.2. Arealgröße.....	30
4.6.3. Hinzufügen und Korrigieren von Referenzdaten.....	30
4.6.4. Anzahl der Referenzpunkte pro Klasse.....	31
4.6.5. Zusammenlegung von Klassen.....	32
-5- Ergebnis	
5.1. Nordtirol Ostteil.....	33
5.2. Ost-Szene.....	34
-6- Diskussion und Ausblick.....	35
6.1. Analyse.....	35
6.1.1. Eigenschaften von Klassen in der Realität.....	36
6.1.2. Eigenschaften der Klassen im Referenzdatensatz.....	37
6.1.3. Analyse der Referenzdaten.....	39
6.2. Zusammenlegung von Klassen.....	43
6.3. Gewichtungen der Bänder.....	47
6.4. Informationen über die Topographie.....	47
6.5. Verbesserungsvorschläge.....	48
6.5.1. Mehrstufiges erzeugen des Referenzpixelsatzes.....	48
6.5.2. Hierarchische Klassifizierung mit unterschiedlichen Gewichtungen.....	49

6.5.3. Verwendungsvorschlag für topographische Informationen.....	49
-7- Verzeichnisse.....	51
7.1. Literatur.....	51
7.2. Abbildungen.....	53
7.3. Tabellen.....	54
7.4. Diagramme.....	55

Anhang I: Histogramme

Anhang II: Fehlermatrix

1. Einleitung

Die Fernerkundung hatte ihren Ursprung in der militärischen Aufklärung, als man von einem höher gelegenen Punkt wie einem Berg oder Aussichtsturm nach den Bewegungen des Feindes spähte. Mit der Entwicklung von Ballons und Flugzeugen sowie der Fotografie änderte sich die Hauptbeobachtungsrichtung von der Horizontal- und Schrägsicht in die Draufsicht.

Die Entwicklung von Computern und digitalen Sensoren öffnete den Weg zur digitalen Bildverarbeitung. Bis zum heutigen Tag hat sich die digitale Bildverarbeitung weit entwickelt, jedoch sind die Fähigkeiten der Maschine, aus Bilddaten Strukturen zu „erkennen“ und zu klassifizieren, noch eingeschränkt und mit Fehlern und Unsicherheiten behaftet.

Die Fernerkundung ist die Gesamtheit der Verfahren zur Gewinnung von Informationen über die Erdoberfläche durch Messung und Interpretation der von ihr ausgehenden (Energie-)Felder. Als Informationsträger dient dabei die von der Erde reflektierte oder emittierte elektromagnetische Strahlung. [DIN 18716/3]

Eine der häufigsten Produkte, die aus Fernerkundungsdaten gewonnen werden, sind Landbedeckungskarten.

„Unter Landbedeckung versteht man die Art und die Ausstattung der Geländeoberfläche, den bio-physikalischen Ist-Zustandes der Geländeoberfläche. Der Begriff Landbedeckung im engeren Sinn wird bisweilen für die Vegetationsdecke alleine gebraucht. Meist schließt man aber in die Landbedeckung auch andere Objekte auf der Geländeoberfläche ein, wie etwa Gebäude, Verkehrsbauwerke, aber auch Gewässer usw.“ (SCHNEIDER, Grillmayer / Schneider 2003, S.9)

1.1. Motivation

Fernerkundungsdaten werden von fast allen Disziplinen verwendet, die etwas mit der Erdoberfläche, der Atmosphäre oder den Meeren zu tun haben. Sie sind wichtige Grundlage für Geowissenschaften, Katastrophenschutz, Klimatologie, Meteorologie, Archäologie, Rüstungskontrolle, Spionage und vieles andere.

Die Analyse von Bildern und von Bild-Zeitreihen großer Gebiete zur Herstellung von Landbedeckungskarten ist ein häufiges Thema in der Fernerkundung. Eine visuelle Interpretation ist nur mit großem Arbeitsaufwand zu bewerkstelligen. Aus diesem Grund werden große Bemühungen zur Entwicklung von automatisierten Arbeitsmethoden gemacht.

Es gibt mittlerweile viele Ansätze und Varianten, mehr oder weniger automatisiert eine Klassifikation durchzuführen. Jede Methode weist je nach Anwendungsbereich oder Problemstellung Vorteile und besondere Qualitäten auf. Diese Arbeit wendet eine dieser Methoden an, den Klassifikationsalgorithmus „kNN“ (k nächste Nachbarn), der in der Statistik bei einer Vielzahl von Anwendungsbereichen zum Einsatz kommt (Näheres im Kapitel 3.2.).

1.2. Ziel dieser Arbeit

Ziel ist die Ausarbeitung einer Methodik für die Herstellung von Landbedeckungskarten aus Satellitenbildern vom Typ Landsat durch kNN-Klassifizierung. Dabei sollen insbesondere die Zusammenhänge zwischen

Art und räumlicher Verteilung der Eichdaten

Anzahl und Art der Landbedeckungskategorien

Methodik der Berücksichtigung radiometrisch-topografischer Einflüsse

analysiert und beschrieben werden.

Die Methode wird am Beispiel der Herstellung einer Landbedeckungskarte von Tirol und Osttirol demonstriert und zu verifiziert.

1.3. Fernerkundung in Österreich

80 Prozent der Entscheidungen in den Verwaltungen sind orts- oder raumbezogen. Diese Tatsache macht die Unverzichtbarkeit von Geodaten beziehungsweise von Geoinformation deutlich. Diese sind somit eine wesentliche Voraussetzung für ein reibungsloses Funktionieren für eine Vielzahl öffentlicher Leistungen und Basisdiensten (vgl. HOCHWARTNER & GISSING, Grillmayer / Schneider 2003, S.2)

Auch privatwirtschaftlich haben Geodaten und insbesondere Landbedeckungsdaten vor allem in speziellen Branchen wie der Telekommunikation und Energiewirtschaft große Bedeutung.

1.4. CORINE Landcover

CORINE (*Coordinated Information on the European Environment*) ist ein Projekt zur Erfassung von Umweltdaten, das 1985 von der EU-Kommission initiiert wurde. Die Begründung für ein solches Programm war das Fehlen vergleichbarer Daten. Im Rahmen von CORINE Landcover 1990 (CLC90) erfolgte erstmalig die flächenmäßige Kartierung der Landbedeckung des Gebietes der europäischen Union sowie osteuropäischer und nordafrikanischer Staaten anhand von Satellitenbildern. Es konnten somit erstmals Aussagen über den Umweltzustand über das gesamte Gebiet der europäischen Union gemacht werden sowie die einzelnen Unionsstaaten untereinander verglichen werden. (vgl. HÖLZL, Grillmayer / Schneider 2003, S.21)

1.5. Wegweiser durch die Diplomarbeit

Primäres Ziel dieser Arbeit ist die Ausarbeitung einer Methodik, mit dem „kNN“ Algorithmus Landbedeckungskarten zu erstellen. Es soll untersucht werden, wie sich die Wahl der Referenzdaten und diverser Parameterwerte auf das Klassifikationsergebnis auswirken.

Kapitel 2 beschreibt die in dieser Arbeit verwendeten Daten und ihre Einsatzmöglichkeiten.

In Kapitel 3, Methodik, wird das „kNN“-Verfahren beschrieben und mit anderen gängigen Klassifikationsmethoden verglichen. Weiters werden die Datensätze, die im Zuge einer Klassifikation mit „kNN“ erzeugt werden, und deren Anwendungsmöglichkeiten beschrieben.

Kapitel 4, Durchführung der Klassifikation, beschreibt die Arbeitsschritte im Detail, wie die Erstellung des Interpretationsschlüssels, die Interpretation, und die erzeugten Datensätze. Um die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, werden

diese Arbeitsschritte und die im Zuge dieser Arbeit getroffenen Entscheidungen begründet.

Im Kapitel 5, werden die erzeugten thematischen Karten dargestellt.

Kapitel 6, Diskussion und Ausblick, bringt Schlussfolgerungen und Erkenntnisse, die im Zuge dieser Arbeit gewonnen wurden.

2. Datengrundlage

Für diese Arbeit wurden mehrere Datensätze herangezogen. Die wichtigsten waren die beiden Landsat-Szenen. Diese decken das Gebiet Tirol und Osttirol ab und bilden die Grundlage für die Klassifikation. Außerdem war Referenzmaterial für die Klassifikation der Pixel auf den Landsat-Szenen nötig. Dieses Referenzmaterial wurde durch Interpretation einer Stichprobe von Pixeln gewonnen. Das Ergebnis der Interpretation ist ein Referenzdatensatz zur spektralen und topographischen Charakterisierung der einzelnen Klassen. Zur Qualitätsabschätzung der Klassifikation wurde eine weitere Referenz-Stichprobe verwendet, die im Gelände durch Erhebung der tatsächlichen Landbedeckungsklasse und mit GPS-Lokalisierung der Stichprobenpunkte gewonnen wurde.

2.1. Landsat

Die in dieser Arbeit verwendeten Fernerkundungsbilder sind mit dem Sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+) auf dem Fernerkundungssatelliten Landsat 7 der NASA aufgenommen.

Es handelt sich um ein opto-mechanisches System zur Erfassung von Fernerkundungsdaten mit folgenden technischen Daten:

Aufnahmesystem	Spektrale Kanäle			geometrische Auflösung	radiometrische Auflösung
Landsat-ETM+	1.	0,45 μ m - 0,52 μ m	(blau)	30m x 30m	8 bit
	2.	0,53 μ m - 0,61 μ m	(grün)	30m x 30m	8 bit
	3.	0,63 μ m - 0,69 μ m	(rot)	30m x 30m	8 bit
	4.	0,75 μ m - 0,90 μ m	(nahes IR)	30m x 30m	8 bit
	5.	1,55 μ m - 1,75 μ m	(mittleres IR)	30m x 30m	8 bit
	6.	10,4 μ m - 12,5 μ m	(thermisches IR)	60m x 60m	8 bit
	7.	2,09 μ m - 2,35 μ m	(mittleres IR)	30m x 30m	8 bit

	pan	0,52µm - 0,90µm	(panchromatisch)	15m x 15m	8 bit
--	-----	--------------------	------------------	-----------	-------

Tabelle 01, Spektrale, geometrische und radiometrische Auflösung des Enhanced Thematic Mappers (ETM+) auf Landsat 7. (Verändert nach: RICHARDS und JIA 1999, S.13, und <http://landsat.gsfc.nasa.gov>, 2007-11-14)

Landsat 7 Bilddaten sind mit ihren 184 km x 184 km Ausdehnung für großflächige Abdeckungen der Erdoberfläche geeignet. Landsat-Szenen eignen sich aufgrund ihrer radiometrischen Eigenschaften besonders für Kartierungen von natürlichen Ressourcen. Die geometrische Auflösung mit 28,5 m x 28,5 m Pixelgröße erschwert jedoch die visuelle Interpretation der Einzelpixel und zwingt den Interpreten, sich auf zusätzliches Material zu stützen. Besonders schwierig ist das Erkennen von kleinflächig oder länglich ausgedehnten Strukturen und von Mischklassen, die aus mehreren Einzelklassen zusammengesetzt sind, da dadurch schwer definierbare Mischpixel entstehen.

Es wurden folgende Bilder verwendet:

Westteil: LandsatETM+_p193r027_19990913 (Path 193 Row 27 vom 13.9.1999)

Ostteil: LandsatETM+_p192r027_20000620 (Path 192 Row 27 vom 20.6.2000)

2.2. Digitales Höhenmodell (DHM)

Wichtige Zusatzinformationen über die Topographie dieses Gebietes kamen vom globalen digitalen Höhenmodell SRTM-3. Das digitale Höhenmodell zeigt die jeweilige Höhe des Geländes ohne Bewuchs und ohne Bebauung an. Es weist eine Rasterweite von 90 m x 90 m und eine Höhengenaugigkeit von +/-10 m auf. Aufgenommen wurde es in der „Shuttle Radar Topography Mission“ im Februar 2000, in Zusammenarbeit zwischen NASA (National Aeronautics and Space Administration USA), NIMA (National Geospatial-Intelligence Agency, USA) und ASI (Agenzia Spaziale Italiana, Italien). Der Datensatz steht unter <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2> zum freien Herunterladen bereit (Stand 2007-11-12).

Um diesen Datensatz verwenden zu können, musste jedoch die Rasterweite entsprechend den Landsat-Szenen auf 28,5 m x 28,5 m verändert werden.

Aus digitalen Höhenmodellen können nicht nur Höheninformationen entnommen werden, sondern auch eine Vielzahl anderer morphologischer Geländeinformationen, wie die Hangneigung, Beleuchtung und Hangrichtung, generiert werden. Die Kombination dieser Daten ermöglicht bessere Klassifikationsergebnisse.

2.3. Referenzdaten

Ein limitierender Faktor für die Interpretation des Referenzdatensatzes und folglich auch für die Klassifikation ist die Erkennbarkeit der Landbedeckung des untersuchten Geländes. Es gibt eine Vielzahl an Datenquellen für die Landbedeckung.

2.3.1. Orthofoto

Ein Orthofoto besitzt im Vergleich zu einem Landsatbild eine viel höhere räumliche Auflösung. Mit Orthofotos ist also eine sehr gute visuelle Erkennbarkeit von Objekten der Erdoberfläche möglich. Zudem ist durch die Orthorektifizierung der direkte Vergleich mit der Landsat-Szene möglich, wodurch das Auffinden korrespondierender Flächen erheblich erleichtert wird.

Die Orthofotos, mit denen hier gearbeitet wurde, sind in Echtfarben dargestellt und auf der Web-Seite des Geodatendienstes der Tiroler Landesregierung, Tiris, unter <http://tiris.tirol.gv.at> einzusehen (Stand 2007-11-12).

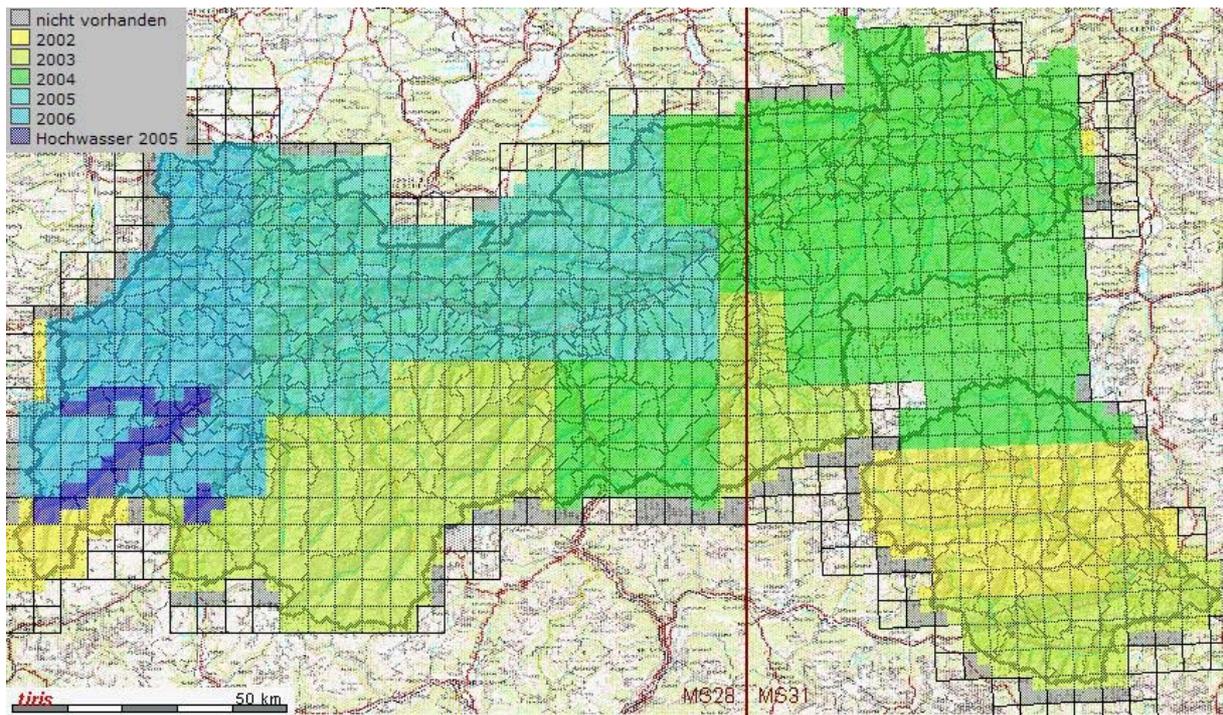


Abbildung 01, Übersichtskarte der Orthofotos und deren Aufnahmejahr (<http://tiris.tirol.gv.at>, 2007-11-12)

Die Interpretation der Referenzpunkte wurde fast ausschließlich mit diesem Luftbildatlas durchgeführt. Es war möglich, mit einem Maßstab von bis zu 1:5000 zu arbeiten, was in den meisten Fällen eine hohe Bestimmungsgenauigkeit ermöglichte.

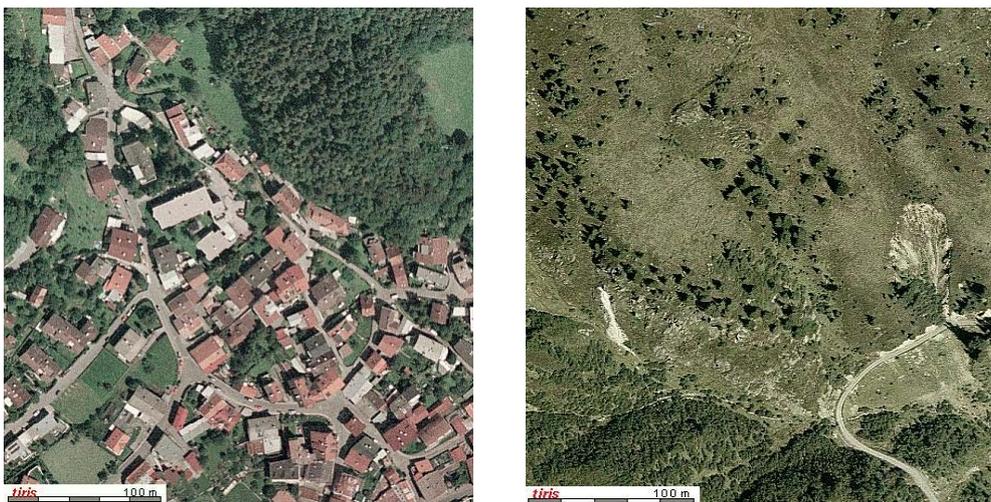


Abbildung 02 und 03, Zwei Beispiele für die Detailerkennbarkeit der online Daten (<http://tiris.tirol.gv.at>, 2007-11-12)

Zusätzlich kann man auf den Orthofotos eine Beschriftung der Landschaft einblenden, was die Orientierung besonders beim Vergleich mit der ÖK50 erheblich erleichtert.

Wie in der Abbildung 04 zu sehen ist, ist die Verlässlichkeit der Farbinformationen dieser Bilder nicht ausreichend. Es kommen je nach Orthofoto erhebliche farbliche Unterschiede ein und der selben Klasse vor. Dies erschwert eine objektive Bestimmung der Bodenbedeckung besonders in Klassen, in denen wegen ähnlicher Oberfläche vorwiegend die Farbe zur Bestimmung verwendet werden muss.

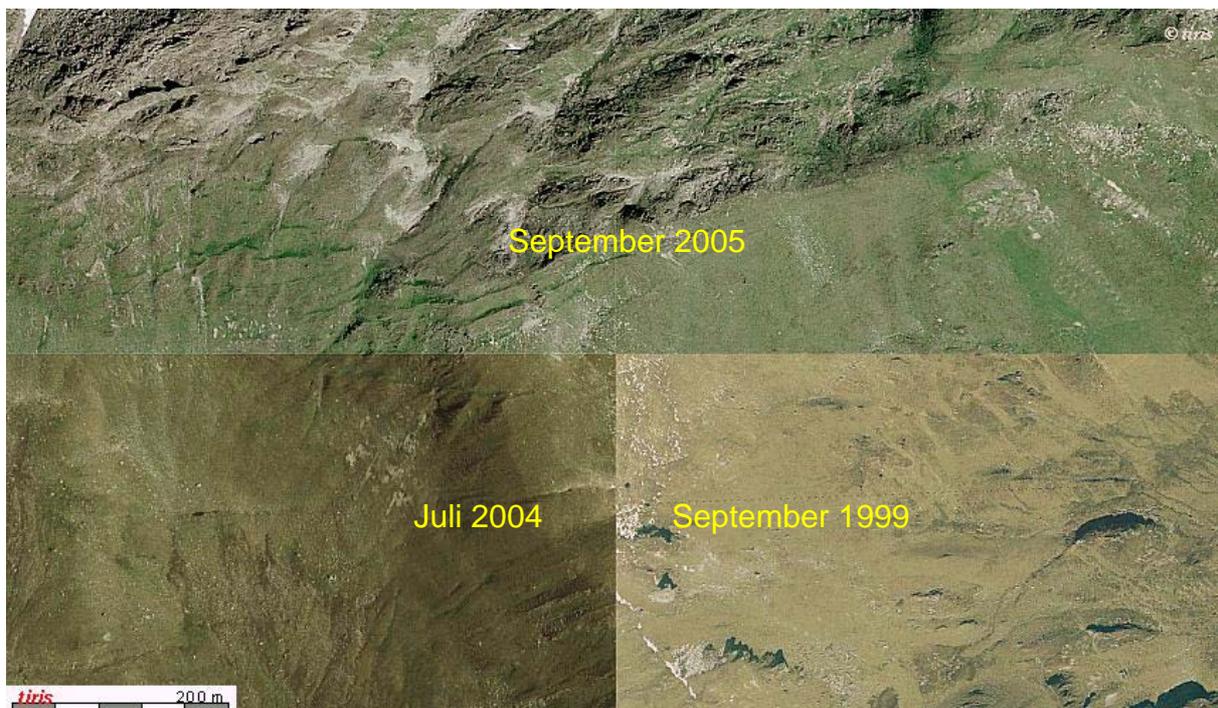


Abbildung 04, Farbunterschiede durch unterschiedliche Aufnahmejahre. <http://tiris.tirol.gv.at> (Stand, 2007-11-12)

In solchen Fällen musste je nach Situation mit mehreren alternativen Methoden gearbeitet werden, wie mit Abschätzungen anhand der Höhenlage oder des Umfelds. Aus vegetationsökologischer Sicht schließt zur Waldgrenze im Subalpin, häufig anthropogen entstandene almwirtschaftlich genutzte Fläche an, etwas höher befinden sich alpine Niederstrauchheiden und in den höchsten Regionen meist alpine Polsterrassen als letzte deckenbildende Vegetation vor den Felsen und Geröllhalden. Dies ist eine rein theoretische Abfolge der Vegetation in den Höhenstufen, und in der Praxis ist es oft schwer, auf Grund dieser Information eine verlässliche Bestimmung durchzuführen. Jedoch ist es bei der Betrachtung einer größeren Fläche oft möglich, im Landsatbild anhand der Farbe diese Abfolge ausfindig zu machen.

2.3.2. ÖK50

ÖK50 ist ein österreichisches amtliches Kartenwerk, herausgegeben vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV). Die Bezeichnung wird von „Österreich Karte 1:50.000“ abgeleitet. Trotz des hohen Generalisierungsgrades ist der Informationsgehalt sehr lagegetreu und detailliert. Damit ist die ÖK50 ein wertvoller Behelf im Zuge der Interpretation, aber auch der Qualitätskontrolle der klassifizierten Karte. Die ÖK50 ist insbesondere hilfreich bei der Lokalisierung von Latschen-Flächen, da diese im Orthofoto oft nur schwierig von Nadelwald oder Grünerlen zu unterscheiden sind.

2.3.3. Waldvegetationskartierung nach Schiechl und Stern

Auf derselben Webseite wie die Orthofotos findet man auch die aktuelle Waldvegetationskartierung nach Schiechl und Stern. An der Genauigkeit und Aktualität dieser Kartierung kann jedoch gezweifelt werden, da sie in manchen offensichtlichen Fällen vom Orthofoto und Landsatbild abweicht. Es können trotzdem mit gegebener Vorsicht wertvolle Informationen über die Waldvegetation zum Beispiel zur Erkennung von Laub- und Mischwaldtypen gewonnen werden.

Als besonders wertvoll erwies sich jedoch die Karte „Aktuelle Vegetation der Hohen Tauern“, Maßstab 1:25.000 aus der Veröffentlichung des Österreichischen MaB-Programms, ebenfalls von Schiechl und Stern. Leider deckt diese nur eine geringe Fläche des zu klassifizierenden Gebietes ab.

2.4. Geländebegehung

Im November 2006 wurde eine Geländebegehung durchgeführt. Ziel dieser Begehung war es, die Genauigkeit einerseits der Interpretation und andererseits der Klassifikation zu bestimmen. Für die Bestimmung der Interpretationsgenauigkeit wurden die GPS-Punkte anhand des Landsat-Bildes interpretiert und mit der im Gelände bestimmten Landbedeckung verglichen.

Für die Bestimmung der Klassifikationsgenauigkeit hingegen wurden die GPS-Punkte mit dem Klassifikationsergebnis verglichen.

Hierfür wurde entlang zweier Transekte, einer in Osttirol im Drautal südöstlich von Lienz und ein anderer im Tiroler Ötztal, die tatsächliche Landbedeckung bestimmt. Die Transekte sollten weitgehend alle Klassen beinhalten sowie deren statistische Flächenanteile wiedergeben.

Da ein Landsatpixel eine Ausdehnung von 28,5 m x 28,5 m hat, mussten die Referenzflächen eine entsprechende Größe haben.

Notwendige Ausrüstung war, zusätzlich zur angemessenen Kleidung und einem Auto, ein Fotoapparat zur Dokumentation, ein GPS-Gerät zur Bestimmung der Punktkoordinaten, Schreibmaterial, Landkarten sowie eine Liste der zu bestimmenden Klassen.

3. Klassifikationsmethodik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Klassifikationsmethoden und einen etwas genaueren Einblick in die hier angewandte „kNN-Methode“ und deren Arbeitsschritte.

3.1. Klassifikationsmethoden im Allgemeinen

Grundsätzlich unterscheidet man bei der computergestützten Klassifikation zwischen überwachten und nicht überwachten Klassifikationsmethoden.

Bei nicht überwachten Methoden, wie zum Beispiel Isodata, werden Pixel anhand ihrer spektralen Ähnlichkeit zu einer festgelegten Anzahl von Clustern zusammengefasst, die anschließend vom einem Bearbeiter thematisch gedeutet und in Klassen eingeordnet werden.

Bei überwachten Klassifikationsmethoden, zu denen auch „kNN“ gehört, werden im Vorfeld vom Bearbeiter Klassen vorgegeben und anschließend durch Referenzpixel in ihren Eigenschaften charakterisiert.

Unterschieden werden noch parametrische und nicht-parametrische Klassifikationsmethoden. Der Unterschied liegt darin, dass bei den parametrischen Methoden die Verteilung der spektralen und anderer Merkmale mit statistischen Parametern beschrieben wird, die aus dem Referenzdatensatz ermittelt werden. Beispiele hierfür sind Minimum-Distance, die ausschließlich die Klassenmittelpunkte berücksichtigt, ohne jedoch die Streuung der Pixelinformationen zu berücksichtigen, und Maximum-Likelihood, die in der Fernerkundung am weitesten verbreitete Methode, die jede Klasse mit Normalverteilungen und deren Parameter charakterisiert.

Nicht-parametrische Methoden und damit auch „kNN“ treffen keine Annahmen über die Verteilungen in den Klassen. Jede Klasse wird ausschließlich durch die Gesamtheit der Werte des Referenzdatensatzes beschrieben.

Normalverteilungen können in spektral oder topographisch homogenen Klassen vorhanden sein. Bei großen Beleuchtungsunterschieden oder inhomogenen Klassen, wie Siedlungsstrukturen mit Dächern, Asphalt und Bepflanzungen, oder landwirtschaftlichen Futterwiesen, die gemäht mit Heuaufgabe beziehungsweise nicht gemäht vorzufinden sind, ist diese Bedingung oft nicht gegeben (siehe Anhang I. Histogramme, und Kapitel 6.1.1.). So stellen für nicht-parametrische Klassifikationsmethoden Klassen mit abweichenden Ausprägungen ein geringeres Problem dar, als für parametrische Klassifikationsmethoden.

3.2. Klassifikation mit der „kNN“-Methode

Die Bezeichnung „kNN“ steht für „k“ (die Anzahl), „NN“ (nächste Nachbarn, nearest neighbours). Die Nachbarschaft wird mit der euklidischen Distanz definiert.

Um die Euklidische Distanz zweier Pixel zu berechnen, wird Kanal 1 von Pixel (a) mit Kanal 1 vom Pixel (b) verglichen und die Differenz berechnet. Dieser Vorgang wird mit jedem der zur Verfügung stehenden Kanäle wiederholt und die quadrierten Differenzen werden schließlich addiert.

Für die Klassifikation eines Pixels wird die Euklidische Distanz zu allen Referenzflächen berechnet. Das Pixel wird jener Klasse zugeordnet, welche die Mehrheit unter den „k“ nächsten Referenzpixeln (also den Referenzpixeln mit den geringsten euklidischen Distanzen) hat.

Somit muss ein Mindestmaß an Pixeln für jede mögliche Ausprägung einer Klasse im Referenzdatensatz vorhanden sein, damit diese Klasse auch die Möglichkeit hat, bei der Klassifikation eine Mehrheit zu bilden. Auf die möglichst vollständige Charakterisierung der Klassen sollte folglich bei der kNN-Methode besonderes Augenmerk gerichtet werden.

3.3. Erstellung von Referenzdaten

Ein wichtiger Arbeitsschritt bei der Erstellung von thematischen Karten ist die Erzeugung des Referenzdatensatzes. Die Referenzdaten bilden die Basis für die Klassifikation, da die Klassen erst durch die Referenzdaten in ihren spektralen und

topographischen Ausprägungen definiert werden. Die Referenzdaten bilden sozusagen die Grundinformation für das Klassifikationsprogramm, um ein Pixel einer Klasse zuordnen zu können. Es gibt mehrere Möglichkeiten, Referenzdaten zu erzeugen. In dieser Arbeit wurde ein regelmäßiger Punktraster über das Landsat-Bilder gelegt und jeder Rasterpunkt wurde visuell interpretiert. In den folgenden Kapiteln wird die angewandte Methode näher beschrieben.

3.3.1. Rastererstellung

Legt man ein regelmäßiges Netz aus Rasterpunkten über die Bildfläche und interpretiert man die Landbedeckung an diesen Punkten, so entsprechen die Mengenanteile der Klassen in diesem Raster den Flächenanteilen der Klassen in der Realität. Gleiches gilt für Ausprägungen einer Klasse: die Klassen im regelmäßigen Raster weisen anteilmäßig dieselben Ausprägungen wie die Klassen in der Natur auf. So entspricht zum Beispiel der Flächenanteil von Gewässer in einer gewissen Höhe oder das Verhältnis in Flüssen und Seen im Raster dem der Realität.

Je dichter dieses Netz gewählt wird, desto genauer wird diese Übereinstimmung, und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass auch Klassen mit geringem Flächenanteil oder seltene Ausprägungen von Klassen in diesem Raster vorhanden sind. Der Interpretationsaufwand steigt jedoch beträchtlich, je kleiner die Rasterweite gewählt wird.

Durch den regelmäßigen Raster wird vermieden, dass eine subjektive Wahl der Referenzpixel stattfindet und somit nicht alle Ausprägungen der Klassen im Referenzdatensatz vorhanden sind.

In dieser Arbeit wurde eine Rasterweite von 2 km x 2 km gewählt (Abbildungen 05 und 06).

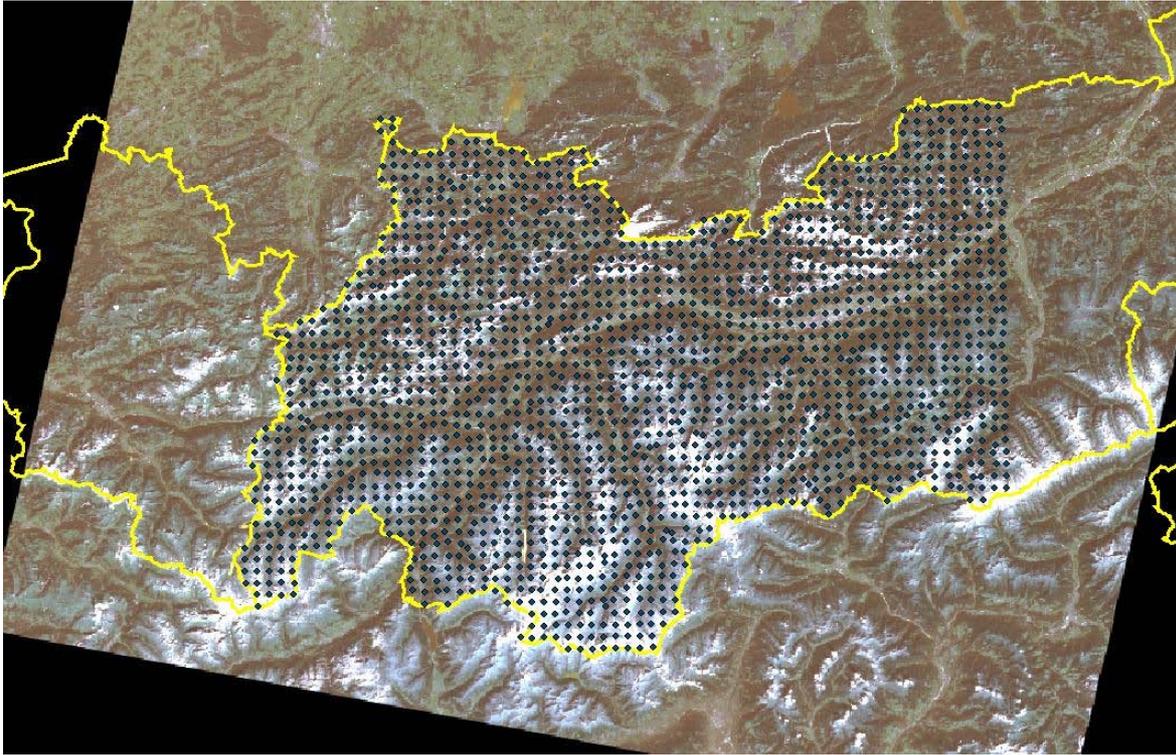


Abbildung 05, Landsat-Szene und Raster der Interpretationspunkte für den Westteil des Untersuchungsgebiets

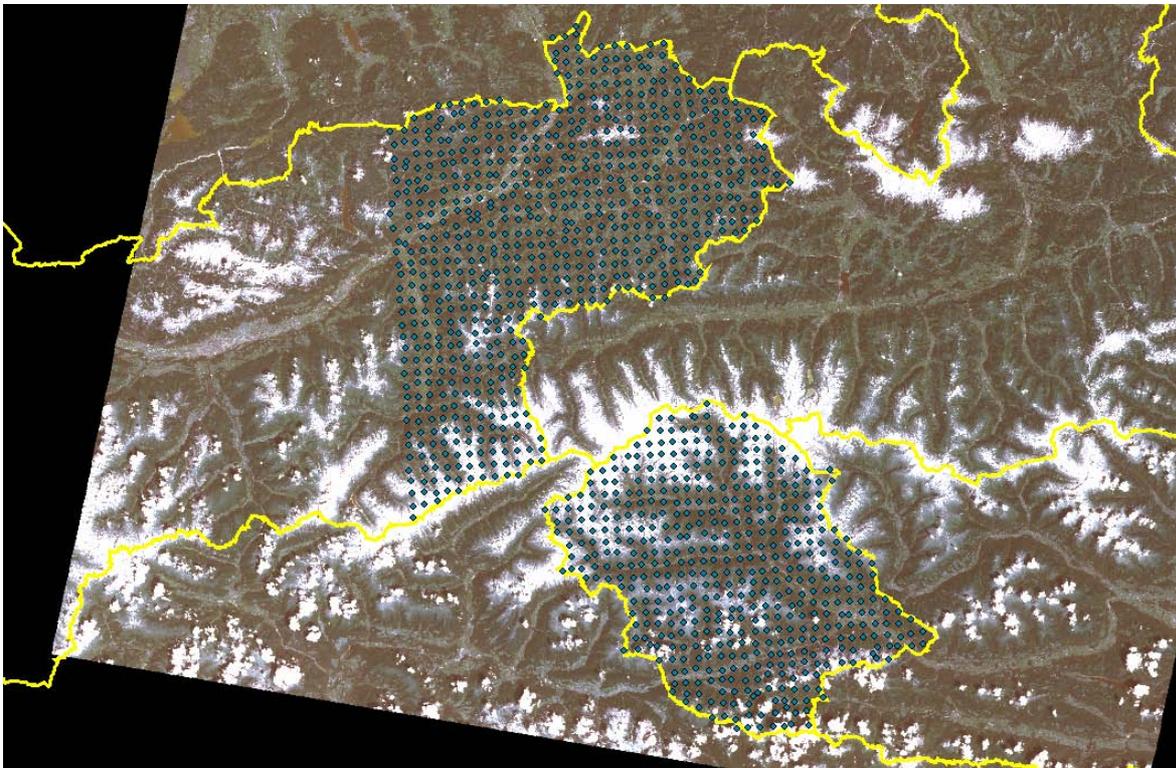


Abbildung 06, Landsat-Szene und Raster der Interpretationspunkte für den Ostteil des Untersuchungsgebiets

3.3.2. Interpretation der Rasterpunkte

Die Interpretation der Rasterpunkte erfolgte visuell. Unter Zuhilfenahme der Referenzdaten (Kapitel 2.3) und eines Interpretationsschlüssels (Kapitel 4.3.2.) wurde jedem Rasterpunkt die zutreffende Klasse zugeordnet. Zusätzlich zur Landbedeckungsklasse wurde ein Bereich um den Rasterpunkt festgehalten, der die Größe der Fläche mit der gleichen Klasse festlegt. Die maximale verwendete Fenstergröße betrug 7 x 7 Pixel.

In Abbildung 07 wird ein Ausschnitt von Lienz im Osttirol gezeigt.



Abbildung 07, Höchste Detailerkennbarkeit der online Referenzdaten von „Tiris“, Ausschnitt von Lienz in Osttirol. (<http://.tiris.tirol.gv.at>, 2007-08-12)

3.4. Kreuzvalidierung

Die Kreuzvalidierung ist ein Testverfahren der Statistik. Es wird in dieser Arbeit zur Qualitätsüberprüfung des Referenzdatensatzes, zur Optimierung der kNN-Parameter sowie zur Abschätzung der Klassifikationsgenauigkeit eingesetzt.

Bei einer Kreuzvalidierung wird der Referenzdatensatz in Teilmengen aufgeteilt. Im Zuge mehrerer Durchläufe wird eine Teilmenge nach der anderen als Testdatensatz

verwendet, während die Summe der übrigen Teilmengen als Lerndatensatz fungiert. Auf diese Weise wird jedes Element des Referenzdatensatzes zur Abschätzung der der Klassifikationsgenauigkeit herangezogen. Entspricht die Anzahl der Teilmengen der Anzahl der Elemente im Referenzdatensatz, so spricht man von Leave-one-out Kreuzvalidierung, ansonsten von Multi-fold Kreuzvalidierung. (EFRON & TIBSHIRANI, 1993).

In dieser Arbeit wird die Leave-one-out Kreuzvalidierung verwendet da, der Referenzdatensatz in diesen Testverfahren nicht geschmälert wird.

Das Resultat einer Kreuzvalidierung ist eine Fehlermatrix. Daraus können diverse Informationen entnommen werden:

-Werten außerhalb der Hauptdiagonalen betreffen Pixel, bei denen interpretierte Klasse und Klassifikationsergebnis nicht übereinstimmen. Das kann auf Fehlinterpretation oder auf spektrale und topographische Überschneidungen der Klassen zurückzuführen sein.

- Die Produzentengenauigkeit einer Klasse beschreibt den Anteil korrekt klassifizierter Pixel an der Gesamtanzahl der dieser Klasse bei der Interpretation zugeordneten Pixel.

- Die Benutzergenauigkeit einer Klasse beschreibt den Anteil korrekt klassifizierter Pixel an der Gesamtanzahl der dieser Klasse bei der kNN-Klassifikation zugeordneten Pixel.

- Der Kappa-Wert ist die vom Zufall bereinigte Gesamtgenauigkeit.

Der Grund, weshalb sich Klassen überschneiden, ist anhand der Kreuzvalidierung nicht feststellbar.

Bei der Kreuzvalidierung wird nur der Referenzdatensatz verwendet, der nur einen kleinen Teil aller Pixel einer Klasse enthält. Dadurch ist die Verlässlichkeit der Informationen einer Kreuzvalidierung von der Repräsentativität des Referenzdatensatzes abhängig.

3.5. Merkmale

Eine Klassifikation beruht auf den Merkmalen, die in den Kanälen enthalten sind. Dies können die spektralen Kanäle sein, die Informationen über den spektralen Reflektionsgrad der einzelnen Landbedeckungskategorien liefern. Um mehr

Informationen für eine Klassifikation zu erhalten, können zusätzlich Daten wie Meereshöhe, Hangneigung, Geologie, Beleuchtung, aus verschiedenen Datenquellen herangezogen werden.

3.5.1. Verwendung von Merkmalen bei kNN

Es gibt zwei Möglichkeiten, Merkmale in die Klassifikation einzubinden: sie werden entweder als Umgebungsvariable oder als „kNN-Merkmal“ eingesetzt.

Wird ein Merkmal als Umgebungsvariable eingesetzt, muss der Bearbeiter die Maximalabweichung festlegen. Es werden bei der Klassifikation nur Referenzpixel herangezogen, die innerhalb dieses Bereiches liegen. Merkmale, die als Umgebungsvariable eingesetzt werden, werden bei der Berechnung der euklidischen Distanz nicht miteinbezogen. Es ist eine Möglichkeit, jedem Referenzpixel einen Bereich zu geben in dem es als nächster Nachbar ausgewählt werden kann. Sinnvoll kann diese Methode sein, um „topographische Fehlklassifikationen“ einer Klasse wie versiegelte Flächen in einer Höhe von 2500 m zu unterdrücken. Problematisch ist jedoch einerseits, dass nur ein Bereich für alle Klassen gesetzt werden kann (Eigenschaft der verwendeten Software), und andererseits, dass ganz besonders auf die Repräsentativität der Referenzdaten geachtet werden muss, das heißt, dass Referenzdaten in hinreichender Anzahl in den relevanten Wertebereichen der Umgebungsvariablen vorkommen.

Wird ein Merkmal als kNN-Merkmal eingefügt, fließt seine Information in die Berechnung der euklidischen Distanz ein.

3.5.2. Gewichtung von Merkmalen

Für die Klassifikation kann man die vorhandenen Kanäle unterschiedlich gewichten. Es kann somit der Einfluss jedes Kanals auf die Berechnung der euklidischen Distanz individuell gesetzt werden. Es ist jedoch nicht möglich, klassenspezifische Gewichtungen vorzunehmen: setzt man eine Gewichtung, so gilt diese für den gesamten Referenzdatensatz, das heißt für alle Klassen.

4. Durchführung der Klassifikation

In diesem Kapitel werden die Arbeitsschritte zur Erstellung der thematischen Karten am Beispiel des Ostteils (Kapitel 2.1.) genauer beschrieben. Dieses Kapitel soll helfen, die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

4.1. Verwendete Software

Die im Zuge dieser Arbeit verwendeten Programme waren „ERDAS IMAGINE 8.7“, „ARCGIS 9.0“, „SPSS 15.0“, „EXCEL 2003“ und das von Tatjana Koukal am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur Wien entwickelte „kNN-Programm“. Die Interpretation wurde vorwiegend mit ERDAS IMAGINE gemacht, die nachträgliche Visualisierung der entstandenen thematischen Karten vorwiegend mit ARCGIS, Analysen über die Eigenschaften der Klassen mit SPSS. Mit EXCEL wurden die durch die verschiedenen Arbeitsschritte entstandenen Datensätze für weitere Berechnungen ergänzt und angepasst. Mit dem kNN-Programm wurde die Klassifikation durchgeführt. Es konnten Pixelwerte ausgelesen werden, Kreuzvalidierungen gemacht werden, die Klassifikationsparameter eingestellt und die Klassifikation durchgeführt werden.

4.2. Vorbereitende Schritte

Zunächst müssen die Anforderungen an das Ergebnis definiert werden. Hierzu ist der wichtigste Schritt die Wahl der Klassen. Wie detailliert soll die Unterscheidung der verschiedenen Landschaftsstrukturen sein? Welche Klassen sollen unterschieden werden?

In dieser Arbeit wurde eine relativ große Klassenanzahl gewählt, da Klassen im Nachhinein leicht zu vereinen, aber nur schwer aufzuspalten sind.

Die Wahl der Klassen ist von den Referenzdatenquellen abhängig. Alle Klassen sollten mit den zur Verfügung stehenden Referenzquellen erkannt und lokalisiert werden können.

4.3. Referenzdaten

Referenzdaten stellen das „Wissen“ eines Rechners dar, mit dem er die Pixel einer Klasse zuordnet kann. Aus diesem Grund spielt der Referenzdatensatz neben dem Landsat-Bild eine zentrale Rolle.

4.3.1. Klassen

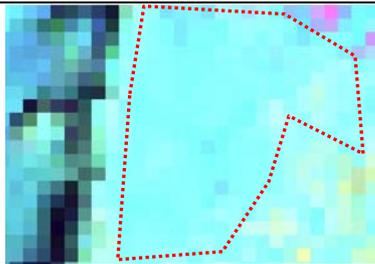
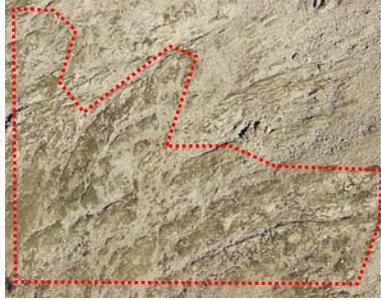
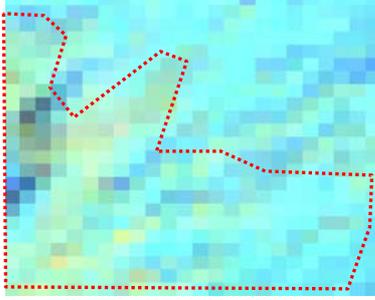
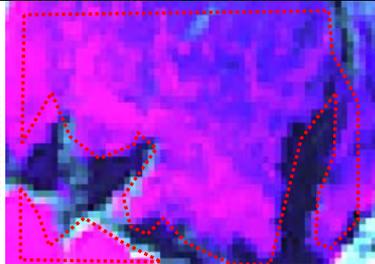
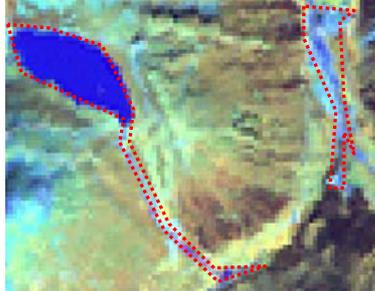
Es wurden die folgenden Klassen gewählt:

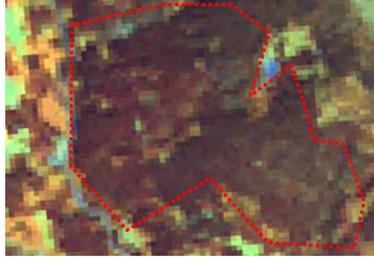
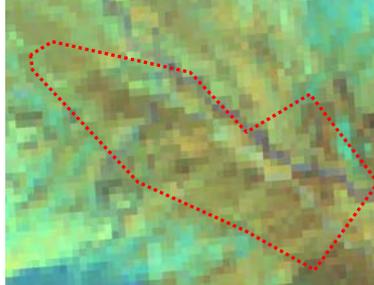
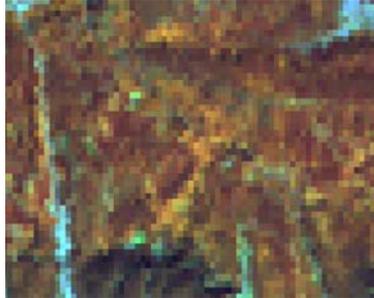
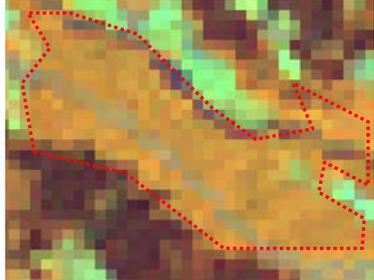
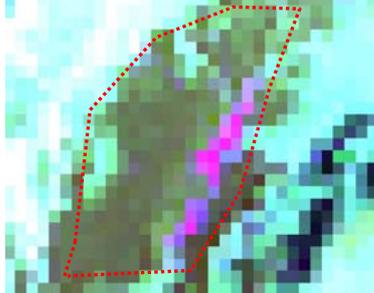
Klasse	Beschreibung	Höhenverteilung
11	Fels, Schotter, Gestein	überall
111	Fels, Schotter, Gestein mit Grün Anteil, z.B.: Hangrutschungen, bewachsene Felsen, Kampfzone der alpinen Polsterrassen	< 3200m
12	Schnee, Eis	> 2000m
20	Gewässer (See, Fluss)	< 2300m
311	Nadelwald dicht (Kronenschluss größer als 9/10)	< 3000m
312	Nadelwald schütter (Kronenschluss größer 5/10 bis 9/10)	< 2100m
313	Nadelwald sehr schütter (Kronenschluss 1/10 bis 5/10)	< 2300m
321	Mischwald dicht (Kronenschluss größer als 9/10)	< 1400m
322	Mischwald schütter (Kronenschluss größer 5/10 bis 9/10)	< 1400m
323	Mischwald sehr schütter (Kronenschluss 1/10 bis 5/10)	< 1400m
331	Laubwald dicht (Kronenschluss größer als 9/10)	< 1200m
332	Laubwald schütter (Kronenschluss größer 5/10 bis 9/10)	< 1200m
333	Laubwald sehr schütter (Kronenschluss 1/10 bis 5/10)	< 1200m
34	Latsche (Pinus mugo und)	< 2400m
35	Grünerle (Alnus viridis)	500-2300m
36	Alpine Niederstrauchheide mit Wachholder (Juniperus comunis), Erika (Calluna vulgaris) und Alpenrose (Rhododendron ferrugineum oder hirsutum) (36)	2000-2800m
61	Acker grün	< 800m
611	Acker geerntet und jeglicher vegetationsloser Erdboden (nicht Rohboden)	< 800m
612	Golfplatz	< 800m
62	Grünland, Mähwiese	<1200m
621	Grünland oder Mähwiese gemäht mit brachem Stroh	<1200m
63	Alpine Polsterrasengesellschaften	1800-2800m
64	Almweide	1700-2600m
65	Moor	< 3000m
70	Versiegelte Fläche	< 2000m
80	Wolke	überall
81	Schatten	überall

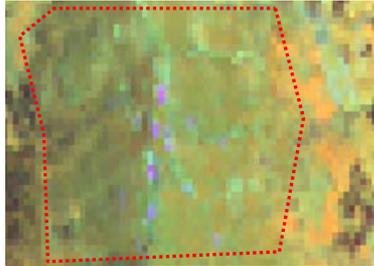
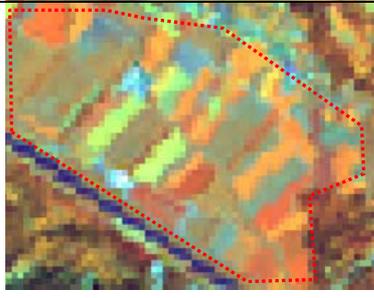
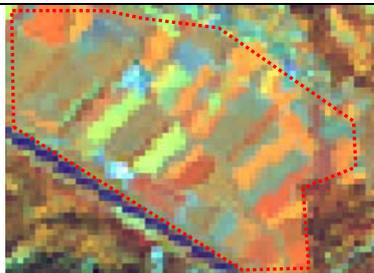
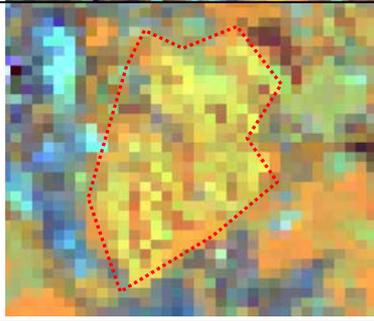
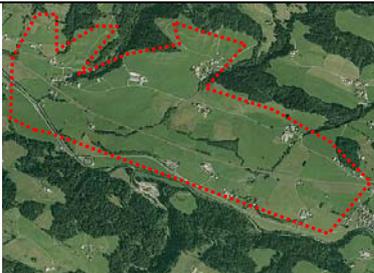
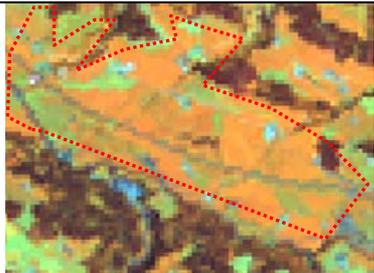
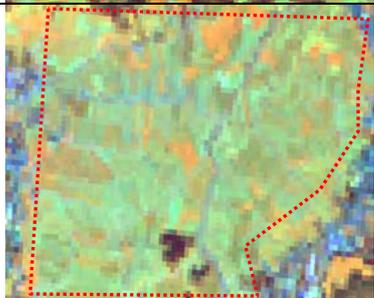
Tabelle 02, zeigt alle verwendeten Klassen im östlichen Landsat-Bild

4.3.2. Interpretationsschlüssel

Als Hilfsmittel zur Feststellung der Klassen an den Punkten des Referenzdatensatzes und zur Vereinheitlichung der dazu notwendigen visuellen Interpretation wurde der folgende Interpretationsschlüssel in Form eines Beispielschlüssels zusammengestellt:

Klasse	Orthofoto (Echtfarben)	Landsatszene (4-5-3)	Bemerkung
11 Fels, Schotter			Hangrutsch, Felsen, Flussbett, Geröllhalden und Schottermühlen
111 Fels oder Schotter mit Grünanteil			Je höher der Grünanteil, desto gelbgrüner die Färbung im Landsatbild. Fließender Übergang zu Klassen 63 und 36 bzw zu 11
12 Schnee, Eis			Altschnee (dunkel-blau) Neuschnee (lila)
20 Gewässer			Flüsse und Seen
35 Erle (Grünerle, Alnus viridis)			Meist kleinflächiges Vorkommen an Bachsäumen und Hangmulden

<p>311 Nadelwald dicht</p>			<p>Nadelwälder mit einer Überschirmung größer als 9/10 der Fläche</p>
<p>312 Nadelwald licht</p>			<p>Nadelwälder mit einer Überschirmung größer 5/10 bis 9/10 der Fläche</p>
<p>313 Nadelwald sehr licht</p>			<p>Typische Nadelwald Formationen der Kampfzone des Waldes. Überschirmung maximal 5/10 der Fläche.</p>
<p>321 Mischwald dicht</p>			<p>Auf Orthofoto schwer zu finden. Landsatbild zeigt orange Tönung. Überschirmung größer als 9/10 der Fläche.</p>
<p>331 Laubwald dicht</p>			<p>Überschirmung größer als 9/10 der Fläche</p>
<p>34 Latsche</p>			<p>Im Orthofoto leicht mit 311 und 35 zu verwechseln, im Landsatbild weniger rötlich als 311 und weniger gelblich als 35</p>

<p>36 Alpine Niederstrau- chheiden ,Alpenrose, Erika, Wachholder</p>			<p>Im Luftbild nicht immer so gut zu erkennen wie hier</p>
<p>61 Acker (Mais, Korn u.a.)</p>			<p>Typisch für Acker mit Vegetation ist die rötliche Färbung im Landsatbild. Orange deutet meist auf eine Mähwiese hin.</p>
<p>611 Acker gemäht und jeglicher vegetationsl oser Erboden</p>			<p>Gelbgrün sind Äcker mit erntereifen Pflanzen dunkelgraue Flächen geerntete Ackerflächen.</p>
<p>612 Golfplatz</p>			<p>Im Luftbild befindet sich dieser Golfplatz in der Bauphase. Im Landsatbild charakteristische intensive Gelbfärbung</p>
<p>62 Mähwiese, Grünland</p>			<p>Orange im Landsatbild ist die Färbung einer vitalen Grasfläche</p>
<p>621 Mähwiese gemäht</p>			<p>Die Heuaufgabe bewirkt die hellgrüne Färbung im Landsatbild</p>

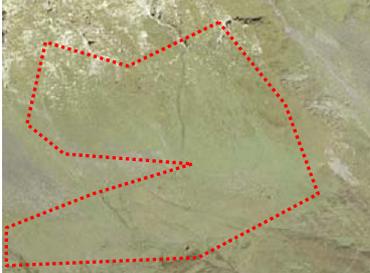
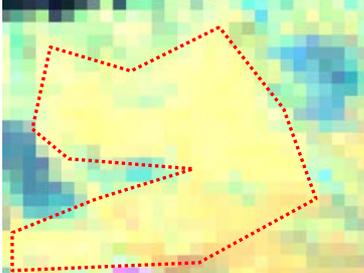
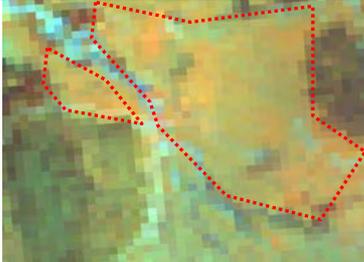
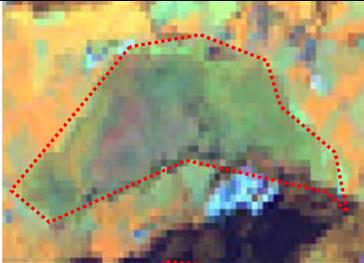
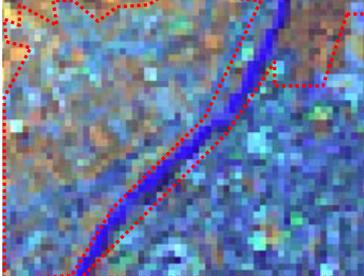
63 Alpine Polsterrase n			Teilweise schwer von Almwiese (64) und alpiner Niederstraucheiden (36) zu unterscheiden.
64 Almwiese			Teilweise schwer von alpinen Polsterrasen (63) und alpinen Niederstraucheiden (36) zu unterscheiden.
65 Moor			
70 Versiegelte Flächen			Rechts vom Fluss dichte Siedlung, links mit teilweise hohem Grünanteil
80 Wolken			Im Unteren Bildbereich in weiß die Wolken.
81 Schatten			Im zentralem Bereich der Schattenwurf der Wolke.

Tabelle 03, Interpretationsschlüssel

4.4. Interpretation

Wie im Kapitel 3.3.1. erklärt wurde, wurde für das Erzeugen des Referenzdatensatzes ein regelmäßiger Raster verwendet. Hier soll kurz der Raster im Zusammenhang mit der Interpretation beschrieben werden.

Zum Vergleich sieht man hier eine Fläche im Landsatbild mit den Rasterpunkten und die äquivalente Fläche im Orthofoto-Ausschnitt.

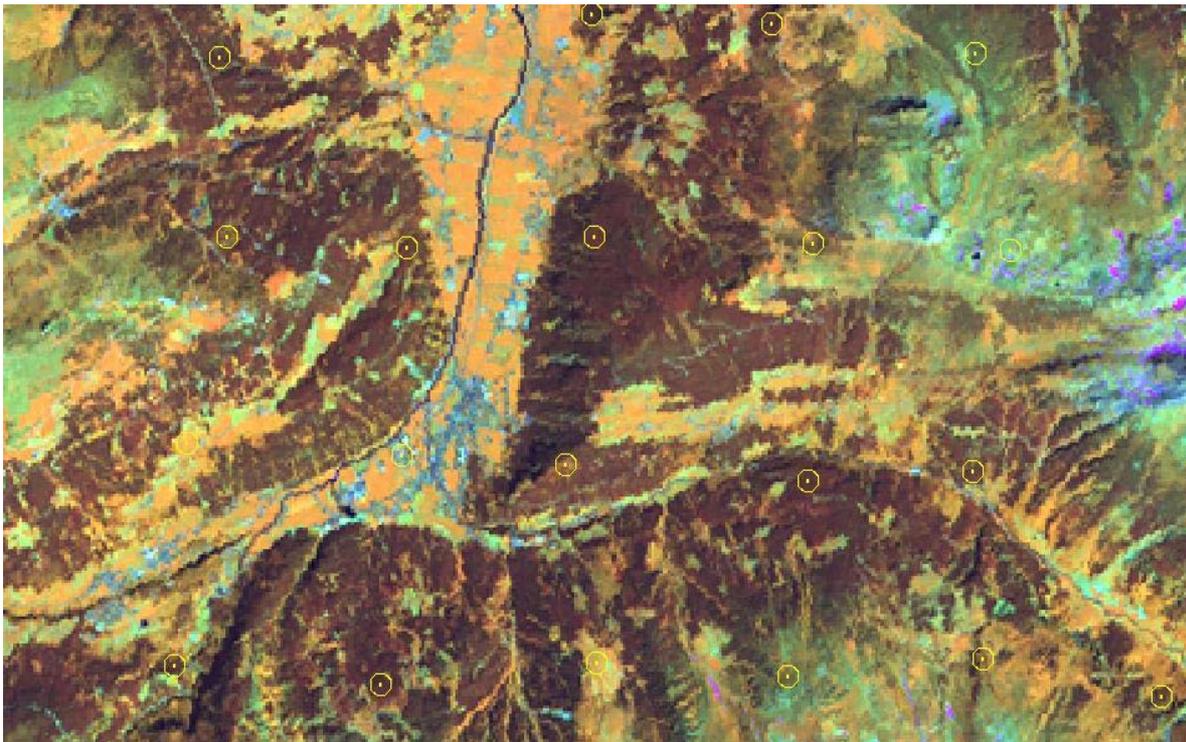


Abbildung 08, Landsat mit Rasterpunkten nach der Interpretation, zu erkennen an den teilweise verschobenen Rasterpunkten (siehe folgender Text), Bandkombination: 4-5-3.



Abbildung 09, Entsprechend zum Ausschnitt der Abbildung 08 das Orthofoto in Echtfarben (<http://tiris.tirol.gv.at>, 2007-11-09).

Wenn es nicht möglich war, ein Pixel im regelmäßigen Raster eindeutig zu interpretieren, was durch Mischpixel an Klassengrenzen öfters der Fall war, wurde der Rasterpunkt auf eine andere Stelle innerhalb des Bereichs jener Klasse verschoben, die den größeren Flächenanteil im Mischpixel einnahm. Im obigen Landsatbild kann man diese Verschiebungen erkennen. Dies gewährleistet, dass die Interpretationsfehler minimiert werden und zugleich die statistische Repräsentativität des Referenzdatensatzes so wenig wie möglich verfälscht wird.

Jedem Punkt wurden eine Klasse und eine Arealgrößenparameter zugewiesen. Der Arealgrößenparameter gibt die Anzahl der Pixel unmittelbar um das Zentralpixel an. So entspricht ein Arealgrößenparameter von 1 der Pixelfläche mit 28,5 m x 28,5 m. Ein Arealgrößenparameter von 3 entspricht einem Fenster von 3 x 3 Pixeln. Verwendete Größenparameter für das Areal waren 1, 3, 5 und 7, mit einer maximalen Pixelzahl von 49 Pixel und der entsprechenden Fläche von 199,5 m x 199,5 m.

So bekam zum Beispiel ein Rasterpunkt, der auf eine sehr große Mähwiese fiel, bei der Interpretation die Werte 62 für die Klasse „Mähwiese“ und einen Arealgrößenparameter von 7, der einer Fläche von 199,5 m x 199,5 m entspricht. Ein Rasterpunkt, der auf einen Fluss fiel, erhielt hingegen die Werte 20 für die Klasse

„Gewässer“ und einen Arealgrößenparameter von 1, der einer Fläche von 28,5 m x 28,5 m entspricht.

4.4.1. Interpretationsschwierigkeiten

Die Genauigkeit des Referenzdatensatzes ist durch die Interpretationsgenauigkeit bestimmt. Diese hängt unter anderem von der angestrebten „thematischen Auflösung“, das heißt von der Klassenanzahl ab. Eine zu große Klassenanzahl kann zu einem ungenauen Referenzdatensatz führen.

Es gab mehrere Problemklassen, deren Unterscheidung teilweise schwer möglich war.

So waren die Klassen Latsche (34), alpine Niederstrauchheiden (36), alle Waldformen (3xx) und Erle (35) in manchen Fällen schwierig voneinander zu unterscheiden. Diese unterschieden sich je nach Standort und Erscheinung oft kaum voneinander. In solchen Fällen wurde versucht, die Zuordnung anhand der Signatur der ÖK50 oder der Färbung im Landsatbild zu bestimmen.

Problematisch zu unterscheiden, besonders in der östlichen Szene, waren die Klassen Acker (61) und Mähwiese (62). Der Grund liegt nicht nur in der spektralen und morphologischen Ähnlichkeit der beiden Klassen, sondern auch an der Jahreszeit der Aufnahme. Im Juni befinden sich nämlich die Ackerflächen meist in einem grünen Zustand und sind somit vom Grünland oft kaum zu unterscheiden. Indizien, wie eine Auflage von Heu, Heuballen, Grundstückform, Lage, Spektralsignatur oder die typischen Mähspuren, ermöglichten in vielen Fällen eine einigermaßen verlässliche Zuordnung.

Bei der Unterscheidung zwischen Mähwiese (62) und Almwiese (64) war meist die Höhenlage ausschlaggebend. Wichtige Informationen gaben auch die Form und das Umland. Almwiese (64) und alpine Polsterrasen (63) hingegen waren in vielen Fällen nicht verlässlich zu unterscheiden.

Die Klasse Grünerle (35) war wegen ihrer geringen und kleinflächigen Ausbreitung schwer und selten eindeutig zu erfassen, jedoch besitzt ein Erlenbestand eine ziemlich auffällige spektrale Signatur, die eine Bestimmung in vielen Fällen ermöglichte.

4.5. Qualitätsprüfung der Referenzpixel, Kreuzvalidierung

Die Kreuzvalidierung (Kapitel 3.4. und Anhang II) eignet sich besonders, um Überschneidungen zwischen Klassen zu entdecken. Sie entspricht einer Klassifikation mit dem kNN-Algorithmus ausschließlich für die Referenzdaten. Sie ist vorausgehender Schritt viele Entscheidungen zur Optimierung von Referenzdaten und zur Auffindung optimaler Klassifikationsparameter. Der Informationsgehalt der Kreuzvalidierung beziehungsweise der Fehlermatrix ist jedoch nicht immer ausreichend. Es ist nur ersichtlich, dass sich Klassen überschneiden, die Ursachen sind nicht ersichtlich. Weiters bezieht sich die Kreuzvalidierung ausschließlich auf dem Referenzdatensatz, folglich können die Resultate der Kreuzvalidierung nur bedingt auf die thematische Karte übertragen werden.

4.6. Optimierung

Um das Klassifikationsergebnis zu optimieren, ist es möglich, eine Reihe von Einstellungen und Maßnahmen vorzunehmen. Einerseits bestehen diese aus programminternen Einstellungen, andererseits aus Maßnahmen, die direkt auf den Referenzdatensatz angewandt werden und zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen können. Die Optimierung der Parameter muss spezifisch auf dem Referenzdatensatz bezogen sein. Generell kann man sagen, dass Optimierungen zwar eine positive Wirkung auf das Ergebnis haben, diese aber meist eher gering ausfallen und zum Teil auch negative Nebenwirkungen haben können.

4.6.1. Programminterne „kNN“-Parameter

Die kNN-Parameter steuern den Klassifikationsvorgang und können an der Klassifikationssoftware eingestellt werden.

4.6.1.1. Einstellungen für das „k“

Das „k“ ist der Wert, mit dem die Anzahl der nächsten Nachbarn in der Klassifikation festgelegt wird. Bei Klassen mit einem kleinen Pixelumfang sinkt mit steigendem „k“-Wert die Wahrscheinlichkeit, ein Pixel den jeweiligen Klassen zuzuordnen. Andererseits wird das Verfahren mit steigendem „k“-Wert robuster, das heißt der Einfluss von falschen Referenzdaten sinkt. In dieser Arbeit hat sich ein „k“ zwischen 3 und 5 als bester Kompromiss erwiesen.

Im folgenden Diagramm 01 sieht man eine Auswahl verschiedener Klassen und ihre Produzentengenauigkeit (Kapitel 3.4.) im Bezug auf dem „k“ Wert.

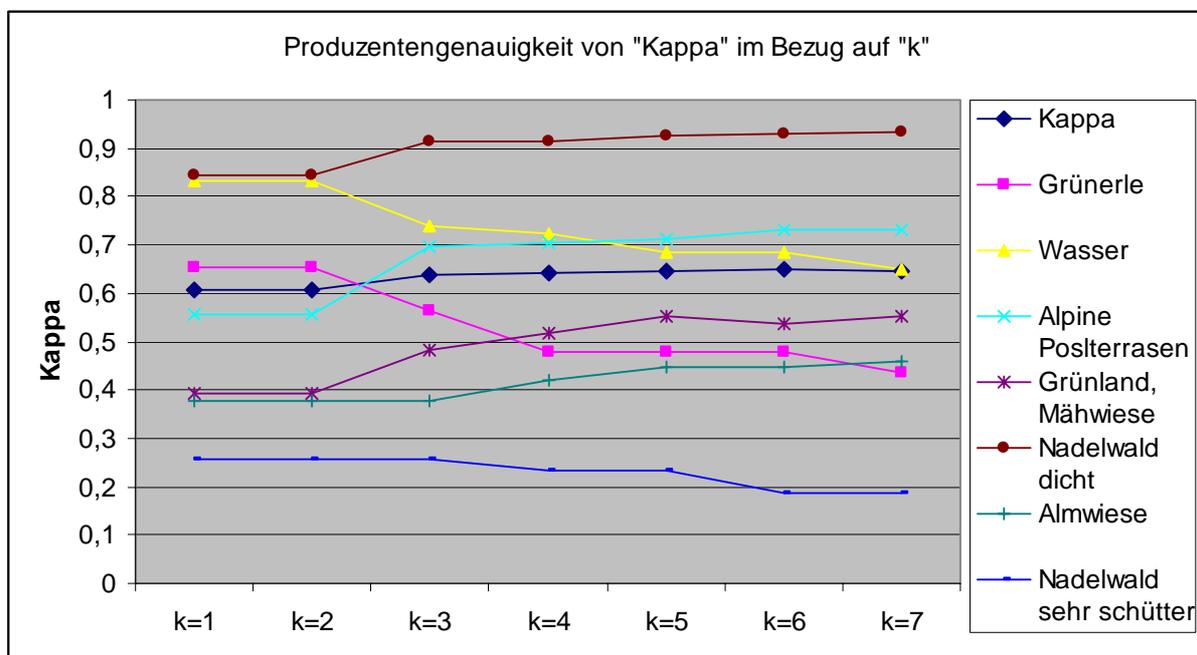


Diagramm 01, Produzentengenauigkeit ausgewählter Klassen in Abhängigkeit von „k“

4.6.1.2. Gewichtung

Versuche im Zuge dieser Arbeit haben gezeigt, dass die Gewichtung der spektralen Kanäle keine erheblichen Verbesserungen der Gesamtgenauigkeit bringen. Man kann nur in einem sehr bescheidenen Ausmaß die Genauigkeit einzelner Klassen verbessern. Da die charakterisierenden Eigenschaften der Klassen in unterschiedlichen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums liegen, ist es nicht möglich, eine für alle Klassen geeignete Gewichtung vorzunehmen. Die positiven

Auswirkungen einer Gewichtung der Spektralkanäle sind gering und die damit verbundenen Nebenwirkungen schwer zu überblicken, weshalb bis auf spezifische Anwendungen darauf verzichtet werden sollte. Solche speziellen Fälle könnten die bessere Abgrenzung zweier oder weniger Klassen sein, falls Auswirkungen auf anderen Klassen eine geringe Rolle spielen (etwa wenn eine thematische Karte ausschließlich die genaue Differenzierung der Waldvegetation zum Ziel hat). Da es in dieser Arbeit keine solchen Fragestellungen gab, wurde die Möglichkeiten der Gewichtung nicht weiter verfolgt.

Eine Gewichtung ist allerdings bei Zusatzinformationen wie Meereshöhe und Hangneigung wichtig, wenn deren Wertebereich nicht dem Wertebereich der übrigen Spektralkanäle nicht entspricht.

4.6.2. Arealgröße

Im regelmäßigen Raster wird prinzipiell immer nur ein Pixel interpretiert. Um den Referenzdatensatz zu vergrößern, gab es die Möglichkeit, zuzüglich ein Areal um dieses Pixel festzulegen, das derselben Klasse angehört. Es gab die Arealgrößenparameter 1, 3, 5 und 7, (siehe Kapitel 4.4.).

Damit konnten die Referenzdatensätze beträchtlich vergrößert werden. Der Referenzdatensatz des Ostteils wurde von 1.387 Pixel auf 18.037 Pixel und der des Westteils von 1.963 Pixel auf 29.459 Pixel vergrößert.

Die Datensätze, in denen nur das Zentralpixel vorhanden ist, werden in dieser Arbeit mit dem Namen „ALL1“ benannt, und jene Datensätze, in denen auch die Pixel der umgebenden Areale vorhanden sind, werden mit „ALL“ benannt.

4.6.3. Hinzufügen und Korrigieren von Referenzpixeln

Korrekturen am Referenzdatensatz fielen in dieser Arbeit sehr gering aus. Der Grund hierfür ist die schwere Abschätzbarkeit der Auswirkungen eines Referenzpixel im Zuge der Klassifikation.

Zweifelhafte Pixel wurden mit Hilfe der Histogramme (Anhang I.) ausfindig gemacht. Werte, die offensichtlich weit außerhalb des Verteilungsbereichs der übrigen Pixel

standen, wurden lokalisiert. Ein Pixel wurde nur dann entfernt, wenn es auch im Landsat-Bild und den Referenzdaten augenscheinlich zu einer anderen Klasse gehörte. Meist entstanden solche Fehler versehentlich durch die Wahl einer zu großen Arealgröße.

4.6.4. Anzahl der Referenzpixel pro Klasse

Da unterschiedliche Klassengrößen Einfluss auf das Klassifikationsergebnis haben, wurden durch systematisches Weglassen von Referenzpunkten zwei weitere Datensätze erzeugt, die eine ausgeglichene Pixelverteilung zwischen den Klassen aufweisen. Somit entstanden die Datensätze „Klassmax160“ (mit maximal 160 Referenzpixeln je Klasse) und „Klassmax600“ (mit annähernd 600 Referenzpixeln je Klasse). Der Datensatz „Klassmax160“ weist eine starke Homogenität auf. Die Pixelzahl 160 wurde gewählt, weil es Klassen gibt, die nicht ausreichend Referenzpixel haben. Ideal wäre jedoch ein etwas größerer Pixelumfang, weil mit der Verkleinerung des Umfangs die Repräsentativität der Daten beeinträchtigt wird. Der Datensatz „Klassmax600“ stellt ein Kompromiss zwischen „Klassmax160“ und den Datensätzen „ALL1“ und „ALL“ (Kapitel 4.6.2.) dar.

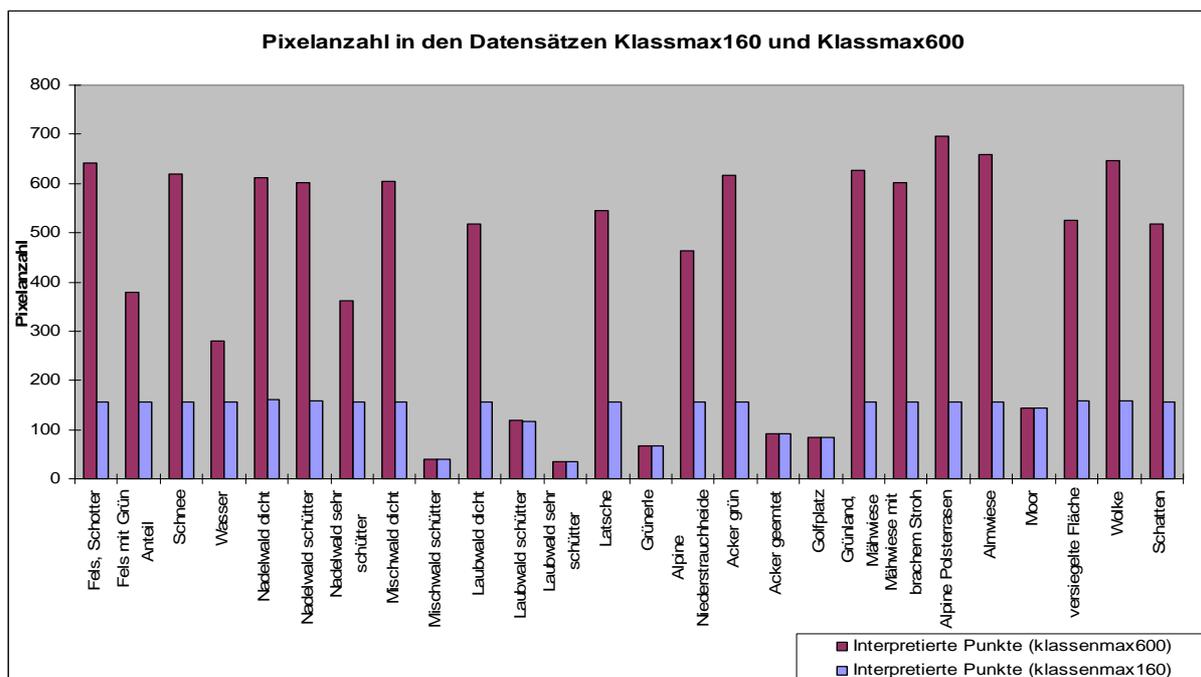


Diagramm 02, Pixelverteilung der Datensätze „Klassmax160“ und „Klassmax600“

4.6.5. Zusammenlegung von Klassen

Kann mit den im Kapitel 4.6.1. bis 4.6.4. erwähnten Methoden keine ausreichenden Verbesserungen der Produzentengenauigkeit erreicht werden, so bleibt nur die Zusammenlegung der betroffenen Klassen. Die Voraussetzung ist jedoch, dass dies thematisch möglich ist. Resultate von Klassenzusammenlegungen werden im Kapitel 6.2. gezeigt.

6. Diskussion und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Klassifikationsergebnisse analysiert. Stärken und Schwächen der Klassifikation mit „kNN“ werden diskutiert und es wird nach Möglichkeiten gesucht, Schwachpunkten entgegenzuwirken. Dieses Kapitel soll auch darstellen, wie Arbeitsschritte vereinfacht werden können, um in Zukunft unnötigen Arbeitsaufwand zu vermeiden.

6.1. Analyse der Klassifikationsmethode

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Referenzdatensätze und Klassifikationsergebnisse zu analysieren. Eine dieser Analysemethoden ist die Kreuzvalidierung, wie sie in den Kapiteln 3.4. und 4.5. beschrieben wurde. Bei der Kreuzvalidierung und den meisten anderen Analysemethoden muss man immer bedenken, dass diese sich nur auf den Referenzdatensatz bezieht und damit handelt es sich nur um eine Schätzung der möglichen Ausprägungen der Klassen (Kapitel 6.1.1. und 6.1.2.).

Die Kreuzvalidierung bietet Einblick in die gegenseitige Wechselwirkung der Klassen im Referenzdatensatz. In der Klassifikation werden jedoch nicht nur die Referenzpixel klassifiziert. Es werden vielmehr alle Bildpunkte, die nicht zum Referenzdatensatz gehören, mit diesem verglichen und, je nach Übereinstimmung, der Klasse zugeordnet, die in den „k“ ähnlichsten Pixeln am häufigsten vertreten ist.

Um Aussagen über die Klassifikationsgenauigkeit zu machen ist es nötig Geländeerhebungen zu machen und diese anschließend mit den Klassifikationsergebnissen zu vergleichen.

Da die Beschaffenheit des Referenzdatensatzes sich in großem Ausmaß auf das Ergebnis der Klassifikation auswirkt, wird hier besonderes Augenmerk auf den Referenzdatensatz und dessen Auswirkung auf die Klassifikation gelegt.

Wichtig bei der Analyse der Wirkung des Referenzdatensatz ist vor allem die Frage, welche Eigenschaften im Referenzdatensatz zu welchen Ergebnissen in der thematischen Karte führen. Dahinter steht letztlich die Frage: wie hat der Referenzdatensatz auszusehen, um als Ergebnis eine thematische Karte zu bekommen, die so nahe wie möglich an die Realität herankommt.

Der erste Schritt, der in diese Richtung unternommen wird, ist die Untersuchung der

spektralen und topographischen Ausprägungen der einzelnen Klassen (siehe Anhang I.).

6.1.1. Eigenschaften von Klassen in der Realität

Die spektrale und topographische Beschaffenheit der Klassen wird mit den Referenzpixeln nur angenähert beschrieben. So können Klassen in der Natur spektrale und topographische Ausprägungen aufweisen, die mit dem Referenzdatensatz nur schwer abschätzbar sind. Mängel im Referenzdatensatz führen unvermeidlich zu schlechten Klassifikationsergebnissen.

Die Verteilung in jedem Band einer Klasse kann in der Natur grundsätzlich folgende Ausprägungen besitzen:

- Enge oder breite Streuung

Klassen mit einer engen spektralen oder topographischen Verteilung sind in der Natur in wenigen verschiedenen Ausprägungsformen vorhanden. Wie in den Histogrammen (Anhang I.) zu sehen ist, ist fast jede Klasse in gewissen Bändern enger und in anderen breiter gestreut. Ein gutes Beispiel ist die Klasse Schnee (12). Bänder TM 1, 2 und 3 weisen eine kleine Streuung auf, Band 4 eine große, die Bänder 5 und 7 wieder eine sehr kleine Streuung. Die Verteilung in den topografischen Merkmalen Höhe und Hangneigung ist im Vergleich zu den spektralen Merkmalen mittelmäßig breit. Topographisch weit gestreut sind Klassen, die in vielen Höhenlagen oder Hangneigungen vorkommen. Ein Beispiel für eine breite Streuung in der Höhenlage ist die Klasse Gewässer (20) oder Fels, Schotter (11).

- Eingipfelige oder mehrgipfelige Verteilung

Klassen mit eingipfeligen Verteilungen haben meist nur eine Ausprägung in der Natur. Im Gegensatz dazu hat die Klasse Gewässer (20) bei einem Fluss, durch das Umfließen von Hindernissen und durch das Vorhandensein von Schwebstoffen, eine andere spektrale Ausprägung als bei einem See. Folglich kann Gewässer eine mehrgipfelige Verteilung aufweisen. Auch Ackerflächen (61 und 611) können, je nach Bepflanzung und Reife, mehrere Gipfel in ihren Verteilungen besitzen. Topographisch gesehen ist die Klasse „Acker“ jedoch durch die Verbreitung in ausschließlich tieferen Lagen und meist ebenem, leicht zugänglichem Gelände sehr eng und eingipfelig verteilt.

Prinzipiell gehen alle parametrischen Klassifikationsmethoden (Kap 3.1.) von einer eingipfeligen Verteilung in den Kanälen aus. Praktisch gesehen ist es meist schwierig, die Klassen so zu wählen, dass sie dieser Annahme auch wirklich gerecht werden. Die meisten Klassen besitzen mehr oder weniger ausgeprägte mehrgipfelige Verteilungen und Abweichungen von einer Normalverteilung. In solchen Fällen sollten nicht-parametrischen Klassifikationsmethoden parametrischen überlegen sein.

6.1.2. Eigenschaften der Klassen im Referenzdatensatz

Die Angaben in der folgenden Tabelle 03 beziehen sich auf die östliche Landsat-Szene. In diesem Kapitel wird, wegen der Vielfalt der Klassen, ausschließlich die östliche Szene verwendet.

Klasse	Anzahl der Referenzpixel	
	Einzel-Referenzpixel (ALL1)	Referenz-Flächen (ALL)
Fels, Schotter, Gestein (11)	76	748
Fels, Schotter, Gestein mit Grünanteil (111)	63	378
Schnee (12)	82	1525
Gewässer (20)	16	618
Nadelwald dicht (311)	264	2921
Nadelwald schütter (312)	78	646
Nadelwald sehr schütter (313)	42	361
Mischwald dicht (321)	65	839
Mischwald schütter (322)	4	39
Laubwald dicht (331)	36	517
Laubwald schütter (332)	6	116
Laubwald sehr schütter (333)	3	35
Latsche (<i>Pinus mugo</i>) (34)	23	545
Grünerle (<i>Alnus viridis</i>) (35)	3	68
Alpine Niederstrauchheide mit Wachholder (<i>Juniperus comunis</i>), Erika (<i>Calluna vulgaris</i>) und Alpenrose (<i>Rhododendron ferrugineum</i> oder <i>hirsutum</i>) (36)	16	462
Acker grün (61)	29	616
Acker gemäht, vegetationsloser Erdboden (611)	2	92
Golfplatz (612)	11	82
Grünland, Mähwiese (62)	56	760
Mähwiese gemäht mit Heuauflage (621)	74	864
Grünes Hochland (63)	161	1795
Almwiese (64)	74	964

Moor (65)	1	143
versiegelte Fläche (70)	30	524
Wolke (80)	22	930
Schatten (81)	28	517
Gesamt	1.255	17.105

Tabelle 03, Anzahl der Referenzpixel der östlichen Landsat-Szene.

Ein Referenzdatensatz kann Fehler (Interpretationsfehler) und Mängel in der Repräsentativität hinsichtlich spektraler und topographischer Eigenschaften aufweisen. Interpretationsfehler entstehen bei Klassen, die mit dem gegebenen Referenzmaterial nur unverlässlich interpretiert werden können. Diese Fehler sind nur schwer zu vermeiden. Bei zu häufigen Verwechslungen sollten die Klassen, sofern das thematisch möglich ist, zusammengelegt werden. Durch die Reduktion der Klassenvielfalt kann die Klassifikationsgenauigkeit gehoben werden.

Eine unvollständige Charakterisierung der realen Klassenausprägungen entsteht meist dann, wenn eine zu geringe Pixelzahl pro Klasse vorhanden ist. Es sind dann Bereiche der spektralen oder topographischen Verteilung einer Klasse nicht oder nur unzureichend abgedeckt. So kann es zum Beispiel vorkommen, dass Referenzpixel einer Klasse in einem gewissen Höhenbereich, trotz möglichem Vorkommen in der Realität, nicht vorhanden sind. Wenn der Referenzpixelsatz mit einem regelmäßigen Raster erzeugt wurde, dann betrifft das meist Klassen, die flächenmäßig einen geringen Anteil einnehmen.

Beheben kann man dies (a) durch die Verringerung der Rasterweite, was aber schnell zu einem übermäßig großen Arbeitsaufwand führt, (b) durch Klassenzusammenlegung, was thematisch nicht immer möglich ist, oder (c) durch Hinzufügen von Referenzpixel zum vorhandenen Datensatz. Das Problem der letzteren Möglichkeit ist die subjektive Wahl der Referenzpixel und die Schwierigkeit, genau die Pixel zu finden die, die Lücken im Referenzdatensatz ausfüllen sollen.

Ein weiteres Problem ergibt sich bei der Verwendung topographischer Informationen als kNN-Merkmal (Kap 3.5.1.) dadurch, dass jede mögliche spektrale Ausprägung einer Klasse in jeder für die Klasse prinzipiell möglichen topographischen Gegebenheit vorhanden sein sollte. Das heißt, dass in jeder Höhenlage, bei jeder Hangneigung und bei jeder Beleuchtung, jede mögliche spektrale Ausprägung einer Klasse im Referenzdatensatz vorhanden sein sollte. Dies ist ein Spezialfall des allgemeinen Problems, dass es bei steigender Zahl von kNN-Merkmalen (bei einem hochdimensionalen Merkmalsraum) schwierig ist, eine hinreichende Dichte von Referenzdaten im Merkmalsraum zu erreichen. Die Minimalzahl an Referenzpixeln steigt

jedenfalls stark mit der Zahl der Dimensionen des Merkmalraums.

Begrenzen kann man dieses Problem, indem man die topographischen Informationen so schwach wie möglich gewichtet damit fehlende topographische Pixelwerte im Referenzdatensatz einen geringeren Einfluss in die Berechnung der euklidischen Distanz haben. Ein weiterer Ansatz topographische Information zu Nutzen, ohne dabei die Repräsentativität des Referenzdatensatzes weiter zu verringern wird im Kapitel 6.5.3. beschrieben.

6.1.3. Analyse der Referenzdaten

Zunächst werden die vollständigen Referenzdatensätze betrachtet, um die Wechselwirkung zwischen den Klassen besser verstehen zu können. Im Bedarfsfall wird aber auch auf einzelne Klassen eingegangen.

Zur Untersuchung des Einflusses der Anzahl der Referenzpixel auf die Klassifikationsgenauigkeit werden die Datensätze „ALL1“ und „ALL“ (Kapitel 4.6.2), „Klassenmax160“ und „Klassenmax600“ (Kapitel 4.6.4.) verwendet.

Im Diagramm 03 sieht man für jede Klasse die Anzahl der Referenzpixel und die entsprechende Produzentengenauigkeit. Man kann erkennen, dass ein großer Pixelumfang einer Klasse nicht immer eine gute Produzentengenauigkeit bedeutet, und dass die Zunahme der Klassengröße nicht immer mit einer Zunahme der Produzentengenauigkeit in Verbindung steht. Es liegt die Vermutung nahe, dass hier der Einfluss der Klassen untereinander wesentlich ist.

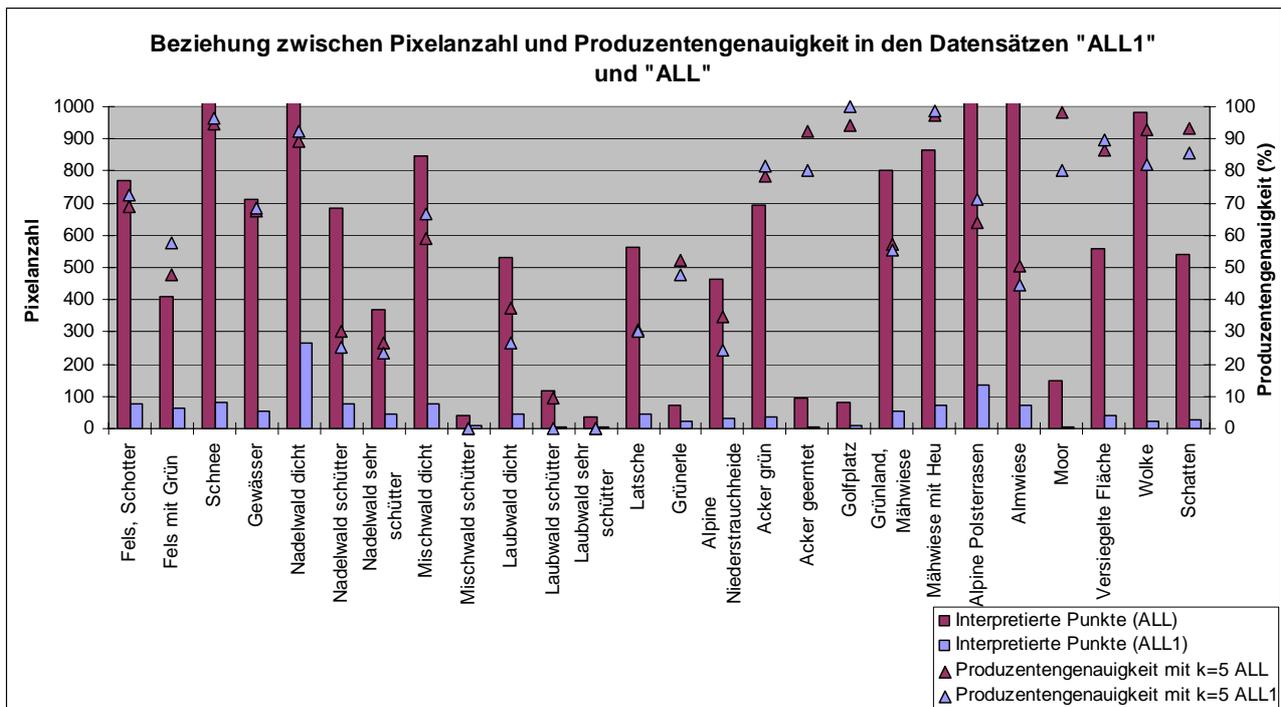


Diagramm 03, Beziehung zwischen Pixelanzahl pro Klasse und Produzentengenauigkeit in den Datensätzen ohne Arealgrößenparameter (ALL1) und mit Arealgrößenparameter (ALL) mit einem „k“ gleich 5

Um den Einfluss der Klassen untereinander zu untersuchen wurden, im Diagramm 04 die Datensätze „Klassmax160“ und „Klassmax600“ gegenübergestellt.

Der Datensatz „Klassenmax160“ stellt einen in der Pixelanzahl pro Klasse sehr homogenen Datensatz dar. In diesem Datensatz kann angenommen werden, dass die Konkurrenzwirkung der Klassen untereinander relativ homogen ist. Im Datensatz „Klassenmax600“ wird hingegen versucht durch eine höhere Anzahl von Pixeln eine bessere Charakterisierung der Klassen zu erreichen, da 160 Pixel pro Klasse als teilweise zu gering anzusehen sind. Es gibt im Datensatz „Klassenmax600“ sehr wohl unterschiedliche Klassengrößen, jedoch in abgeschwächter Form, verglichen mit den Datensätzen „ALL“ und „ALL1“ (siehe Kapitel 4.6.2 und 4.6.4.).

In den Diagrammen 03 und 04 kann man an den Produzentengenauigkeiten erkennen, dass die Wechselwirkung in den Klassen stark von der Pixelverteilung im Datensatz abhängig ist. Dass die Unterschiede der Produzentengenauigkeit unter anderem von Schwächen im Referenzdatensatz (Kapitel 6.1.1 und 6.1.2.) abhängig sind, lässt sich an den Klassen erkennen die durch unterschiedliche Klassengrößen teilweise große Veränderungen der Produzentengenauigkeit erfahren haben. Im Vergleich dazu wurde die Produzentengenauigkeit der Klassen wie Schnee (12), Versiegelte Fläche (70), Wolke (80) und Schatten (81), kaum beeinflusst.

Wenn eine Klasse im Datensatz „Klassmax160“ eine bessere Produzentengenauigkeit als im Datensatz „Klassmax600“ aufweist, kann das so gedeutet werden, dass die Vorteile durch einen geringeren Konkurrenzdruck anderer Klassen größer sind als Nachteile die durch die Reduktion der Anzahl der eigenen Referenzpixel. Weist eine Klasse jedoch im Datensatz „Klassenmax600“ eine höhere Produzentengenauigkeit auf, so ist zu vermuten, dass der Referenzdatensatz dieser Klassen nicht ausreichend repräsentativ ist, da die Vorteile durch eine Vergrößerung des Klassenumfangs größer sind als die Nachteile durch eventuelle Konkurrenz. Welche Eigenschaften einer Klasse diese Ergebnisse erzeugen, ist jedoch aus diesen Diagrammen nicht zu ersehen. Eine bescheidene Ergänzung können hier die Histogramme im Anhang I bieten. Welche Klassen untereinander konkurrieren, ist am besten in der Fehlermatrix der Kreuzvalidierung zu erkennen.

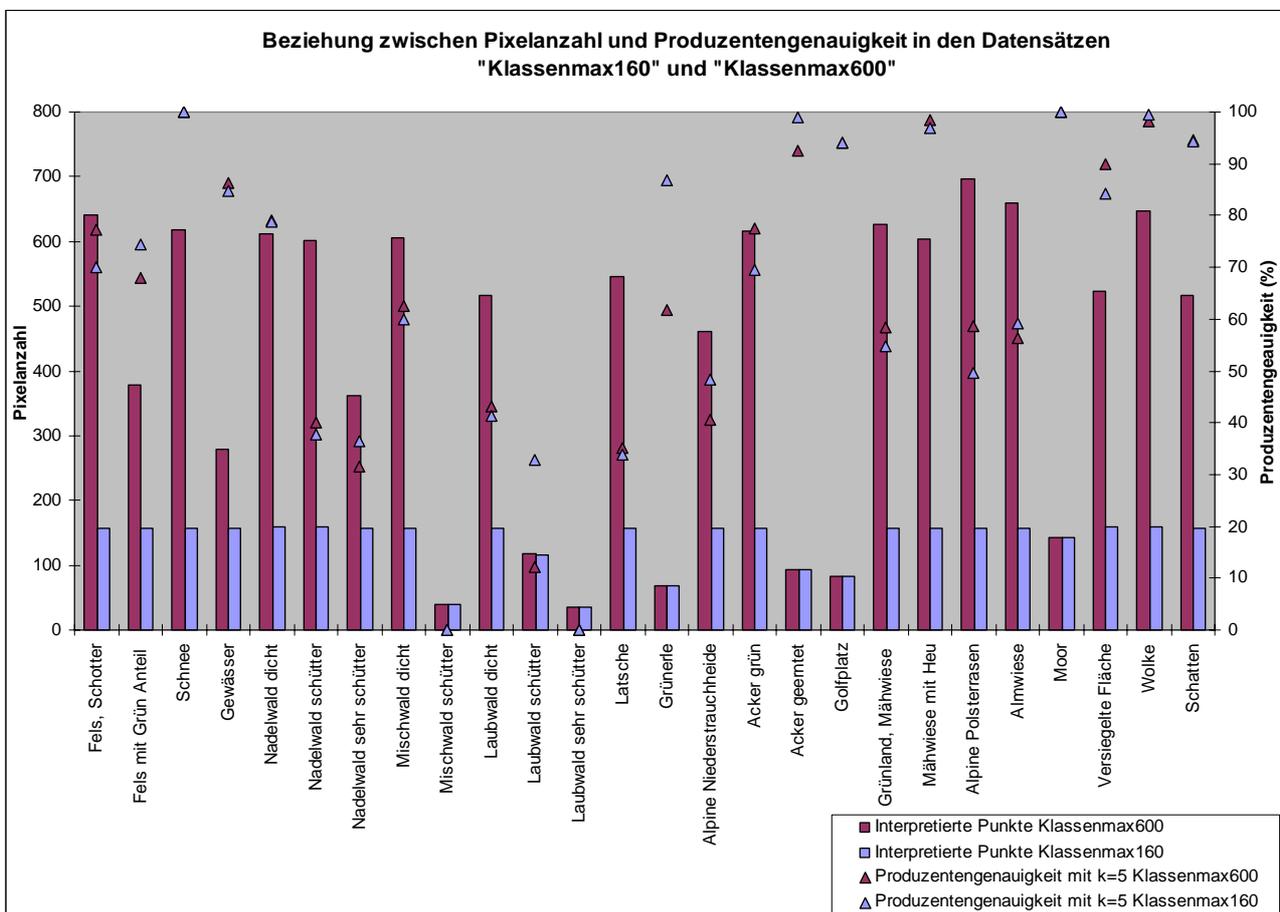


Diagramm 04, Beziehung zwischen Pixelanzahl pro Klasse und Produzentengenauigkeit in den Datensätzen „Klassenmax160“ und „Klassenmax600“ (Kapitel 4.6.4.) mit einem „k“ gleich 5

Im Diagramm 05 sind die Produzentengenauigkeiten aller Datensätze dargestellt. Klassen mit hohen Produzentengenauigkeiten (über 80 %) kleiner Varianz sind im Referenzdatensatz ausreichend repräsentiert.

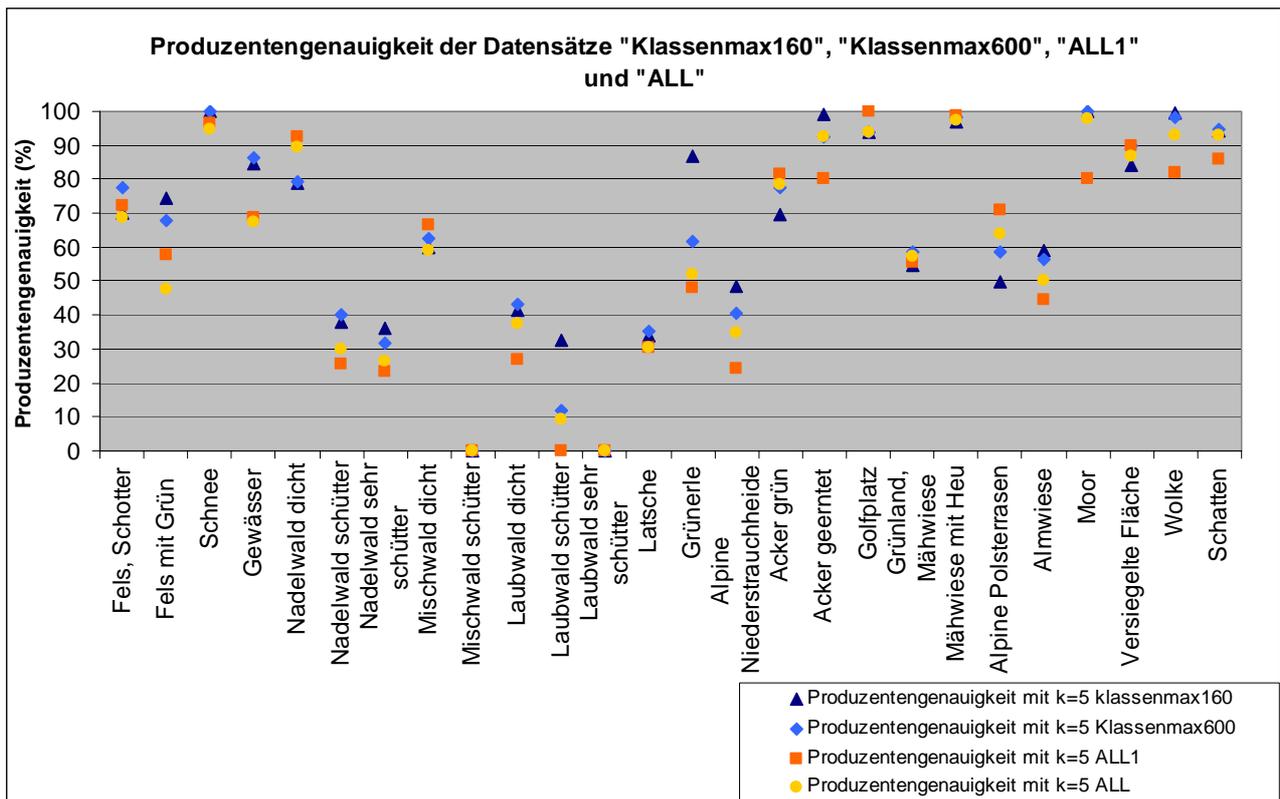


Diagramm 05, Produzentengenauigkeiten aller Datensätze im Vergleich.

Weiters kann man erkennen, dass die Anzahl der Pixel pro Klasse nicht immer direkt mit der Produzentengenauigkeit im Verhältnis steht. Klassen wie Schnee (12), Wolken (80) und Schatten (81) haben trotz geringer Pixelanzahl eine sehr hohe Produzentengenauigkeit. Hier liegt die Vermutung nahe, dass die spektrale und topographische Ausprägung dieser Klassen auf einen relativ kleinen Bereich begrenzt ist und geringe Überschneidungen zu anderen Klassen vorhanden sind (siehe Histogramme Anhang I.) und deshalb wenige Referenzpixel genügen, um gute und stabile Resultate zu bekommen. Bei Klassen, die im Einzelpixel-Referenzdatensatz (ALL1, Kapitel 4.6.2.) geringe Produzentengenauigkeit haben, wäre es zu empfehlen, weitere Referenzpunkte hinzuzufügen. Klassen wie hochalpine Polsterrasen (63), alpine Niederstrauheide (36) und Almwiese (64) haben im Datensatz „all1“ mit 135, 31 und 74 Referenzpixel bis auf die Klasse 36 eine theoretisch ausreichende Pixelanzahl. In dem folgenden Ausschnitt der Fehlermatrix (Tabelle 05) und in den Histogrammen (Anhang I.) wird klar, dass sich diese Klassen durch starke Überlappungen in den spektralen und topographischen Eigenschaften überschneiden. Wegen der schlechten visuellen Trennbarkeit könnten auch Interpretationsfehler eine Rolle spielen.

	Cat36	Cat63	Cat64
Cat11	0	1	0
Cat12	0	0	0
Cat20	0	0	0
Cat34	2	4	0
Cat35	0	2	0
Cat36	8	5	4
Cat61	0	0	2
Cat62	0	6	14
Cat63	5	66	28
Cat64	2	23	22
Cat65	n	n	n
Sum	31	135	74
producer's.Acc.	0.258065	0.488889	0.297297

Tabelle 05, Ausschnitt einer Fehlermatrix mit k=5, Einzelpixel-Referenzdatensatz (ALL1, Kapitel 4.6.2.)

Klassen wie Mischwald schütter (322), Laubwald schütter (332) und sehr schütter (333), Grünerle (35), Acker gemäht (611) und Moor (65) haben zumindest im Datensatz „all1“ nicht die notwendige Mindestpixelanzahl erreicht, um Klassifiziert zu werden. In den Waldklassen schütter (3x2) und sehr schütter (3x3) kann ein weiterer Grund für die schwache Produzentengenauigkeit in der Tatsache liegen, dass diese Klassen mit ihren Mischverhältnissen definitionsgemäß eine sehr breite Palette an Ausprägungen besitzen und somit eine gute Charakterisierung durch Referenzpixel schwer möglich ist.

Als Schlussfolgerung kann formuliert werden, dass nicht nur die spektralen und topographischen Eigenschaften einer Klasse großen Einfluss auf die Produzentengenauigkeit haben, sondern auch der Konkurrenzdruck von Klassen mit ähnlichen Eigenschaften. Man kann im Vorfeld also nicht sagen, wie viele Referenzpixel eine Klasse benötigt, um gute Werte zu erzielen.

6.2. Zusammenlegung von Klassen

Um Fehler zu beseitigen, die im Zuge der Interpretation entstanden sind, und um allgemein die Produzentengenauigkeit auf ein brauchbares Maß zu steigern, wurden Klassen zusammengelegt. Es ist von den Anforderungen an eine thematische Karte abhängig, wieweit Informationsverluste durch Zusammenlegung tolerierbar sind. Die folgenden Varianten von Klassenzusammenlegungen nehmen auf solche Anforderungen keine Rücksicht und sollen allein die Veränderungen darstellen.

Alle Klassen	Klassen vereint Version 1	Klassen vereint Version 2
Fels, Schotter (11)	Fels, Schotter (11,111)	Fels, Schotter (11,111)
Fels mit Grün Anteil (111)	Schnee (12)	Schnee (12)
Schnee (12)	Gewässer (20)	Gewässer (20)
Gewässer (20)	Nadelwald (311,312,313)	Nadelwald (311,312,313)
Nadelwald dicht (311)	Mischwald (321,322)	Mischwald (321,322)
Nadelwald schütter (312)	Laubwald (331,332,333)	Laubwald (331,332,333)
Nadelwald sehr schütter (313)	Latsche (34)	Latsche (34)
Mischwald dicht (321)	Grünerle (35)	Grünerle (35)
Mischwald schütter (322)	Acker (61,611)	Grünland der Tallagen (61,611,62,621,612,65)
Laubwald dicht (331)	Golfplatz (612)	Grünland der Hochalpinen und Alpinen Stufe (63,64,36)
Laubwald schütter (332)	Grünland, Mähwiese (62,621)	versiegelte Fläche (70)
Laubwald sehr schütter (333)	Alpine Polsterrassen und Niederstrauchheiden (63,36)	Wolke (80)
Latsche (34)	Almwiese (64)	Schatten (81)
Grünerle (35)	Moor (65)	
Alpine Niederstrauchheide (36)	versiegelte Fläche (70)	
Acker grün (61)	Wolke (80)	
Acker geerntet (611)	Schatten (81)	
Golfplatz (612)		
Grünland, Mähwiese (62)		
Mähwiese mit brachem Stroh (621)		
Alpine Polsterrassen (63)		
Almwiese (64)		
Moor (65)		
versiegelte Fläche (70)		
Wolke (80)		
Schatten (81)		
	Klassen vereint Version 3	Klassen vereint Version 4
	Fels, Schotter (11,111)	Fels, Schotter (11,111)
	Schnee (12)	Schnee (12)
	Gewässer (20)	Gewässer (20)
	Nadelwald (311,312,313,34)	Wald (311,312,313,321,322,331,332,333,34)
	Mischwald (321,322)	Grünerle (35)
	Laubwald (331,332,333)	Grünland der Tallagen (61,611,62,621,612,65)
	Grünerle (35)	Grünland der Hochalpinen und Alpinen Stufe (63,64,36)
	Grünland der Tallagen (61,611,62,621,612,65)	versiegelte Fläche (70)
	Grünland der Hochalpinen und Alpinen Stufe (63,64,36)	Wolke (80)
	versiegelte Fläche (70)	Schatten (81)
	Wolke (80)	
	Schatten (81)	

Tabelle 04, Darstellung der Klassen und deren Zusammenlegungen.

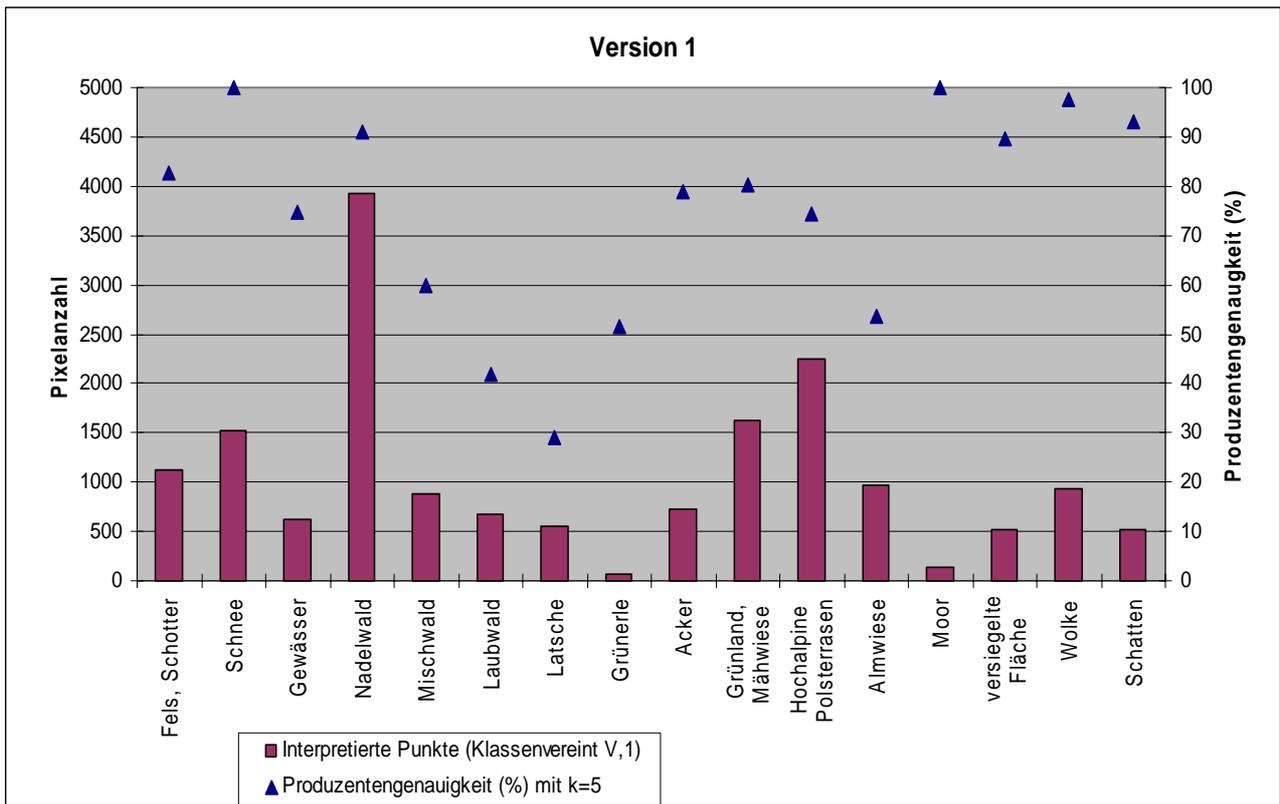


Diagramm 06, Klassenzusammenlegung Version 1 (siehe Tabelle 05)

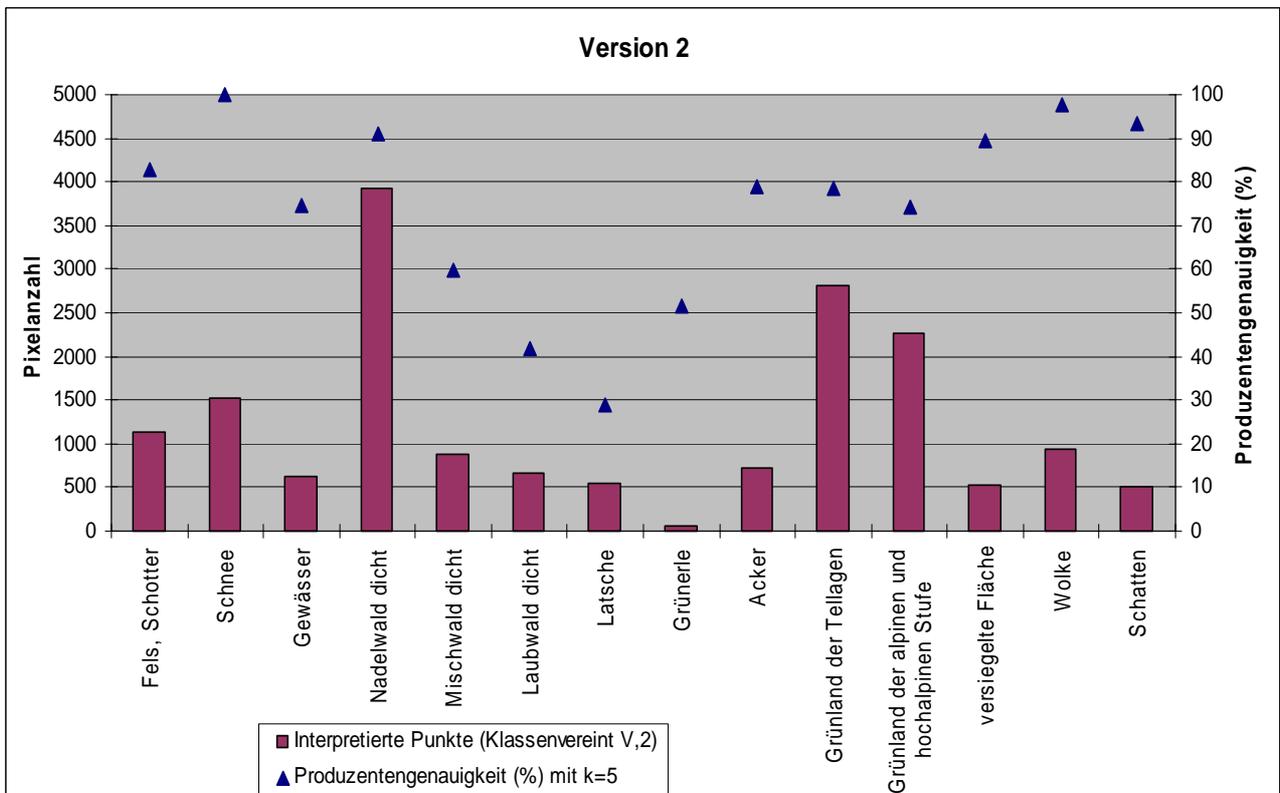


Diagramm 07, Klassenzusammenlegung Version 2 (siehe Tabelle 05)

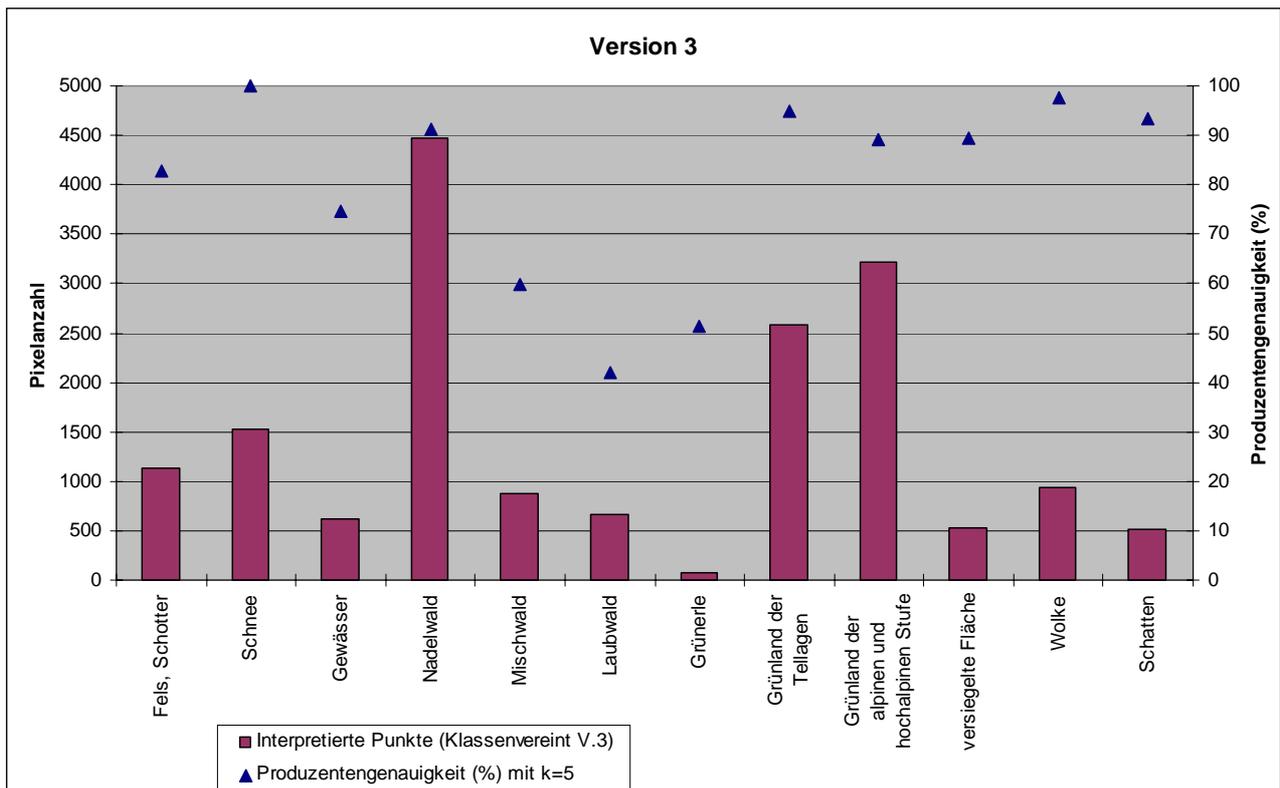


Diagramm 08, Klassenzusammenlegung Version 3 (siehe Tabelle 05)

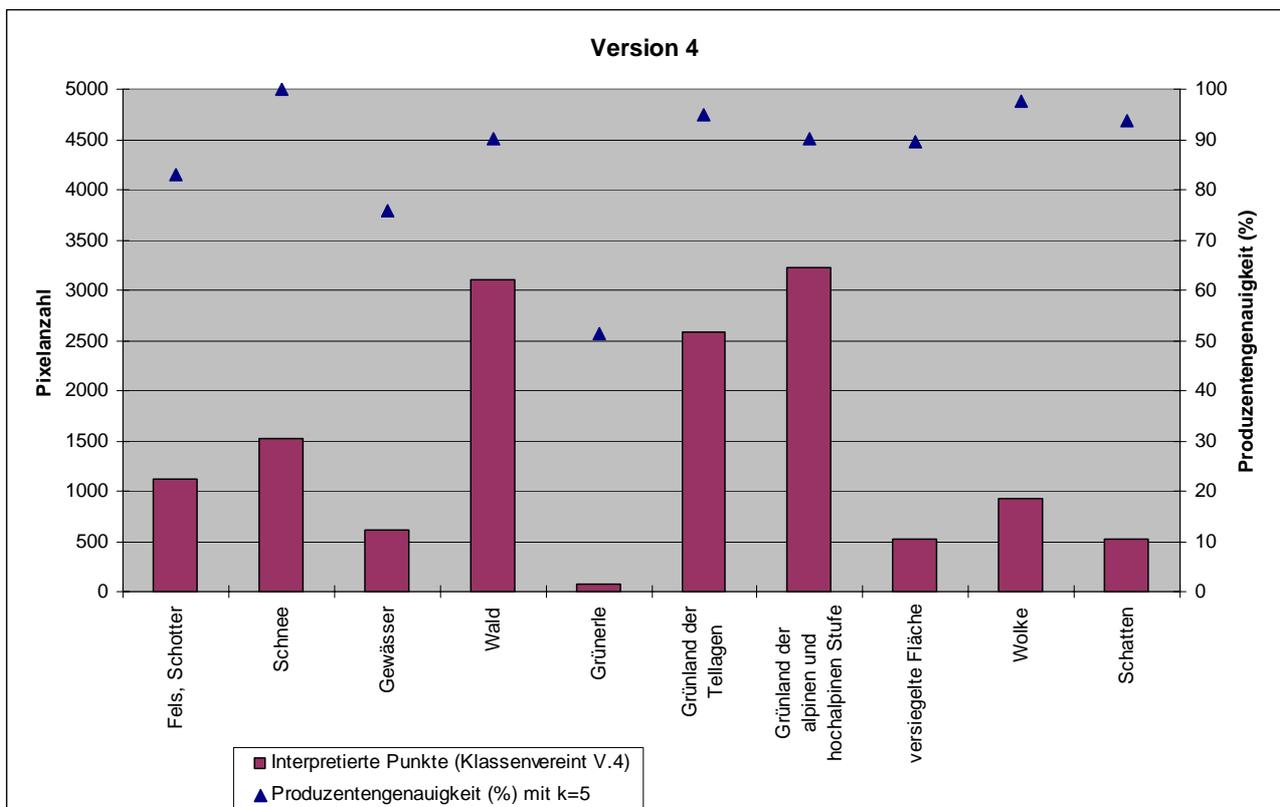


Diagramm 09, Klassenzusammenlegung Version 4 (siehe Tabelle 05)

Wie man sieht, ist eine Verbesserung der Produzentengenauigkeit möglich: Wenn zwei Klassen große spektrale und topographische Ähnlichkeiten aufwiesen, wird die Produzentengenauigkeit bei Zusammenlegung beider Klassen erhöht.

6.3. Gewichtungen der Bänder

Grundsätzlich sind jene Bänder höher zu gewichten, die in einer Klasse die geringsten Streuungen aufweisen. Die Information über die Streuung kann zum Teil aus den Histogrammen (Anhang I.) abgelesen werden.

Ist im Histogramm einer Klasse eine kleine Streuung durch eng liegende Werte zu erkennen, so ist die Information verlässlich. Ist jedoch die Streuung mehrgipfelig, so kann es von der Tatsache herführen, dass die Klasse in diesem Band mehrere, nebeneinander liegende Bereiche mit enger Streuung aufweist. Ein praktisches Beispiel wäre, wenn Grünland (62) verschiedene Feuchtigkeitsgraden aufweist. In den Bändern des sichtbaren Lichts wäre die Streuung in all diesen Fällen ähnlich, im nahen und mittleren Infrarot (TM 4, 5 und 7) jedoch würden trockenes Grünland, feuchtes Grünland und stark vernässtes Grünland mehr oder weniger ausgeprägt dreigipfelige Verteilungen zeigen. Nähere Untersuchungen wurden in dieser Arbeit jedoch nicht unternommen.

Ein weiteres Problem bei der Gewichtung der Bänder ist, dass es bei der vorhandenen Software keine Möglichkeit gibt, individuelle Gewichtungen vorzunehmen. Setzt man eine Gewichtung, so gilt diese für alle Klassen. Da es kein Band gibt, in dem die Trennbarkeit aller Klassen gegeben ist, kann kein besonderes Gewichtungsverhältnis empfohlen werden. Ansätze, um Gewichtungen klassenspezifisch zu setzen, werden unter 6.5.2 beschrieben.

6.4. Informationen über die Topographie

Der Nutzen der topographischen Informationen ist im Diagram 10 zu sehen. Nahezu in allen Klassen, aber besonders in Klassen mit geringen Streuungen in den topographischen Kanälen, ist mit Hinzunahme topographischer Informationen ein bedeutender Anstieg der Produzentengenauigkeit zu sehen. Die Gewichtung der topographischen Bänder wurde auf die Hälfte der spektralen Kanäle gesetzt, um zu verhindern, dass die spektralen Informationen zu sehr an Einfluss verlieren. Wäre die

Gewichtung zu hoch, so würden nur jene Klassen davon profitieren, deren topographische Eigenschaften geringe Streuungen aufweisen und in allen ihren Verbreitungsmöglichkeiten repräsentiert sind, andere Klassen würden zunehmend Verschlechterungen erfahren. Mangelnde topographische Charakterisierung zeigt sich hier durch Verringerung der Produzentengenauigkeit.

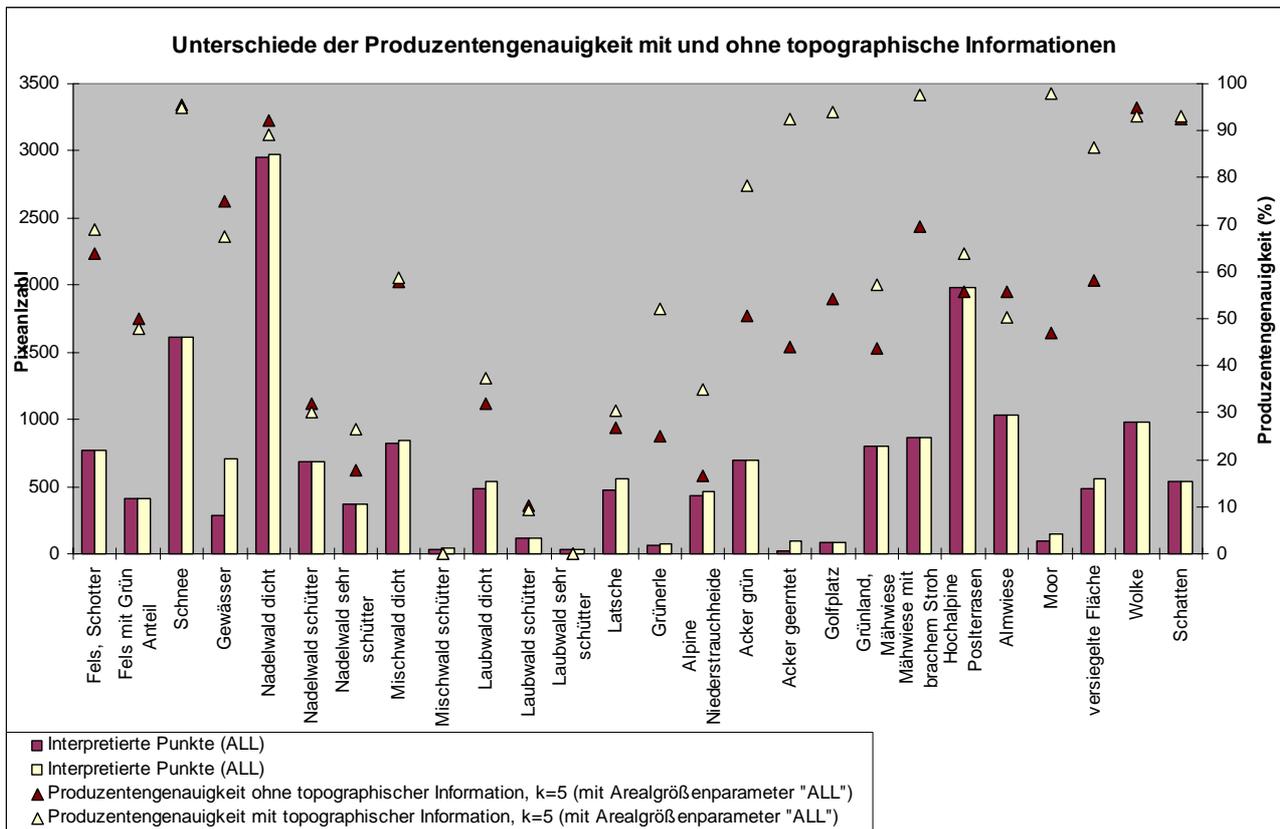


Diagramm 10, Änderung der Produzentengenauigkeit mit der Hinzunahme topographischer Informationen.

6.5. Verbesserungsvorschläge

Im Zuge dieser Arbeit wurden mehrere Ideen angedacht, wie man den Referenzpixeldatensatz oder den Klassifikationsvorgang verbessern könnte.

6.5.1. Mehrstufiges Erzeugen des Referenzpixeldatensatzes

Eine Methode, den Referenzpixeldatensatz zu verbessern, könnte darin bestehen, mit dem Referenzdatensatz Pixel zu klassifizieren und jene Pixel, die eine kleine euklidische

Distanz aufweisen, zum Referenzdatensatz hinzuzufügen. Diesen Vorgang könnte man bei Bedarf öfter wiederholen. Somit würde der Referenzdatensatz konsistent wachsen und verbessert werden. Diese Möglichkeit wurde jedoch aus technischen und aus zeitlichen Gründen nicht weiterverfolgt.

6.5.2. Hierarchische Klassifizierung mit unterschiedlichen Gewichtungen

Das Problem, dass Gewichtungen ausschließlich auf alle Klassen gemeinsam angewandt werden, macht Gewichtungen nahezu unbrauchbar (Kapitel 4.6.1.2.). Die folgenden Überlegungen wären ein Ansatz, Gewichtungen sinnvoll einsetzen zu können.

Man fasst die Klassen zusammen, die gemeinsame Ausprägungen aufweisen. So könnte man etwa all jene Klassen zusammenfassen, die vorwiegend Vegetation beinhalten, und all jene, die keine Vegetation beinhalten. Es wird eine Klassifikation mit diesen beiden Überklassen durchgeführt, wobei die Gewichte so gewählt werden, dass diese Klassifizierung optimal verläuft. Die beiden Überklassen werden hierauf weiter unterteilt und separat in jeweils zwei weitere Klassen unterteilt. Die Vegetationsklasse könnte zum Beispiel in Flächen mit Holzgewächsen und in Flächen ohne Holzgewächse unterteilt werden. Diese thematische Detaillierung setzt man so lange wie nötig beziehungsweise wie möglich fort. In jeden dieser Klassifikationsvorgänge könnten spezielle Gewichtungen vorgenommen werden. Deshalb und wegen der besseren Eingrenzung der Konkurrenz, da sich Klassen aus verschiedenen Überklassen in keinem Klassifikationsvorgang gegenüberstehen, könnte dieses Verfahren verbesserte Ergebnisse liefern, ohne auf eine Klassenvielfalt verzichten zu müssen.

6.5.3. Verwendungsvorschlag für topographische Information

Eine weitere Möglichkeit das Problem der Minderung der Repräsentativität durch Hinzunahme von topographischen Informationen (Kapitel 6.1.2) zu lösen, wäre die Möglichkeit im kNN-Programm jeder Klasse spezifisch einen Bereich in dem sie vorkommen kann, zuzuweisen. In der Landsat-Szene Ost zum Beispiel kommt die Klasse Schnee (12), ausschließlich in einem Bereich oberhalb von 2000 Meter, in einer Hangneigung von 0 bis 70° und einer Beleuchtung zwischen 0 und 255 vor. Ist einer dieser 3 Punkte eines noch unklassifizierten Pixels nicht gegeben, wird die Klasse Schnee nicht

auf dieses Pixel zutreffen können und bei der Klassifikation nicht in Betracht gezogen werden. Dies setzt voraus, dass man in jeder Klasse das mögliche Vorkommen kennt oder zumindest abschätzen kann. Eine Möglichkeit für diese Schätzungen sind die Histogramme (Anhang I.). Der Vorteil ist, dass auf die topographische Vollständigkeit der Referenzdaten weniger wichtig wird und dass jedes Pixel einer Klasse für den gesamten Bereich des Merkmalsraums dieser Klasse als Referenzpixel verwendet werden kann. Das würde aber auch bedeuten, dass die topographischen Informationen nicht mehr als kNN-Merkmal, sondern als Umgebungsvariable in die Klassifikation einfließen würden und somit nicht in die Berechnung der euklidischen Distanz einbezogen wären, das auch ein Nachteil sein kann.

7. Verzeichnisse

7.1. Literatur

Congalton, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.*, 37: 35-46, 1991.

Cover, T.M. and P.E. Hart. Nearest neighbour pattern classification. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1): 21-27, 1967.

Efron B., Tibshirani R., 1993: An introduction to the bootstrap; Chapman Hall, New York, New York.

Global Land Cover Facility [1]: Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Technical Guide; Institute for Advanced Computer Studies, Department of Geography, University of Maryland. http://glcfapp.umiacs.umd.edu/pdf/techguide_srtm.pdf am 20.11.2007

Grillmayer R., Schneider W. 2003: Geodaten zur Landbedeckung in Österreich; Institut für Vermessung Fernerkundung und Landinformation, Universität für Bodenkultur Wien; Shaker Verlag Aachen 2004.

Koukal T. 2005: User Guide to the kNN-Program; Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information, University of Natural Resources and Applied Life Sciences; Vienna, Austria.

NASA, 2006: Landsat 7 Science Data User Handbook. http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html am 20.11.2007

Tomppo, E. Multi-source national forest inventory of Finland. In Ilvessalo Symposium on National Forest Inventories IUFRO S4.02. Helsinki: Finnish Forest Research Institute, 1993.

Umweltbundesamt [2]: CORINE Landcover Österreich

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/raumplanung/1_flaechennutzung/corine/CORINE_Projektbeschreibung.pdf am 18.10.2007

7.2. Abbildungen

Abbildung 01, Übersichtskarte der Orthofotos und deren Aufnahmejahr (http://tiris.tirol.gv.at , 2007-11-12).....	7
Abbildung 02 und 03,Zwei Beispiele für die Detailerkennbarkeit der online Daten (http://tiris.tirol.gv.at , 2007-11-12).....	7
Abbildung 04, Farbunterschiede durch unterschiedliche Aufnahmejahre (http://tiris.tirol.gv.at Stand, 2007-11-12).....	9
Abbildung 05, Landsat-Szene und Raster der Interpretationspunkte für den Westteil des Untersuchungsgebiets.....	15
Abbildung 06, Landsat-Szene und Raster der Interpretationspunkte für den Ostteil des Untersuchungsgebiets.....	15
Abbildung 07, Höchste Detailerkennbarkeit der online Referenzdaten von „Tiris“, Ausschnitt von Lienz in Osttirol. (http://tiris.tirol.gv.at , 2007-08-12).....	16
Abbildung 08, Landsat mit Rasterpunkten nach der Interpretation zu erkennen an den teilweise verschobenen Rasterpunkten, Bandkombination: 4-5-3.....	27
Abbildung 09, Entsprechend zum Ausschnitt der Abbildung 08 das Orthofoto in Echtfarben (http://tiris.tirol.gv.at , 2007-11-09).....	28

7.3. Tabellen

Tabelle 01, Spektrale, geometrische und radiometrische Auflösung des enhanced thematic mappers (ETM+) auf Landsat 7.....	5
Tabelle 02, zeigt alle verwendeten Klassen im östlichen Landsat-Bild.....	21
Tabelle 03, Interpretationsschlüssel.....	22
Tabelle 04, Anzahl der Referenzpixel der östlichen Landsat-Szene, einmal nur die Zentralpixel und einmal mit den Pixeln die durch die Arealgröße resultieren.....	38
Tabelle 05, Ausschnitt einer Fehlermatrix mit $k=5$, Einzelpixel-Referenzdatensatz (ALL1, Kapitel 4.5.2.).....	44
Tabelle 06, Darstellung der Klassen und deren Zusammenlegungen.....	45

7.3. Diagramme

Diagramm 01, Produzentengenauigkeit ausgewählter Klassen in Abhängigkeit von „k“	31
Diagramm 02, Pixelverteilung der Datensätze „Klassmax160“ und „Klassmax600“	33
Diagramm 03, Beziehung zwischen Pixelanzahl pro Klasse und Produzentengenauigkeit in den Datensätzen ohne Arealgrößenparameter (ALL1) und mit Arealgrößenparameter (ALL) mit einem „k“ gleich 5.....	39
Diagramm 04, Beziehung zwischen Pixelanzahl pro Klasse und Produzentengenauigkeit in den Datensätzen „Klassenmax160“ und „Klassenmax600“ (Kapitel 4.5.4.) mit einem „k“ gleich 5.....	40
Diagramm 05, Produzentengenauigkeiten aller Datensätze im Vergleich.....	41
Diagramm 06, Klassenzusammenlegung Version 1.....	45
Diagramm 07, Klassenzusammenlegung Version 2.....	45
Diagramm 08, Klassenzusammenlegung Version 3.....	46
Diagramm 09, Klassenzusammenlegung Version 4.....	46
Diagramm 10, Änderung der Produzentengenauigkeit durch die Hinzunahme topographischer Informationen.....	48

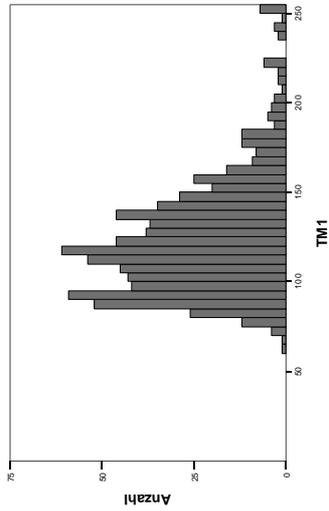
Anhang 1: Histogramme

In diesen Anhang sind die spektralen und topographischen Verteilungen der östlichen Landat-Szene in Form von Histogrammen dargestellt. Histogramme eignen sich zur Darstellung der Gesamtverteilung der einzelnen Kanäle. Beziehungen zwischen den Kanälen einer Klasse sind nur bedingt darstellbar. Wenn Klassen wie Mähwiese einmal mit Heuauflage (621) und einmal ohne Heuauflage (62) in einer Klasse zusammengefasst werden, verschmelzen die Charakteristiken der beiden Klassen zu einer und die Information der Einzelklassen geht in der Darstellung verloren.

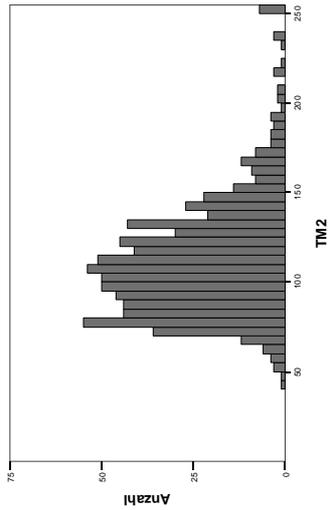
Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wurden verwandte Klassen, wie Nadelwald (311, 312 und 313), Acker (61 und 613), Grünland, Mähwiese (62 und 621) und andere, nebeneinander auf einen Blatt dargestellt.

Histogramme sind mit den hier erwähnten Einschränkungen wertvolle Hilfen der Klassenanalyse. So können sie bei der Charakterisierung von Klassen, bei Klassenüberschneidungen, bei der Wahl der Gewichtungen und zur Eingrenzung des Verbreitungsbereiches einer Klasse in den Kanälen herangezogen werden.

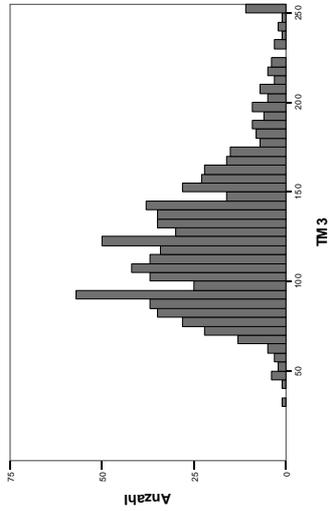
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



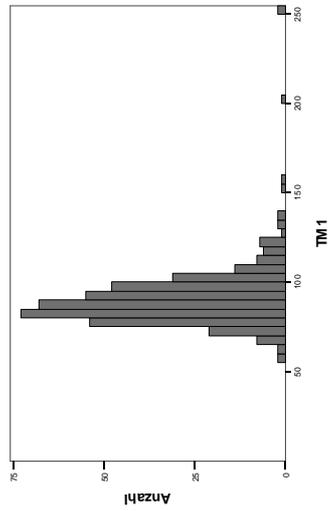
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



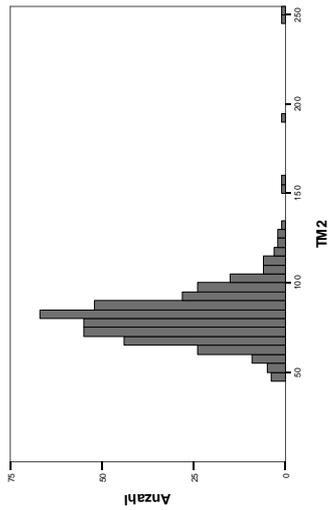
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



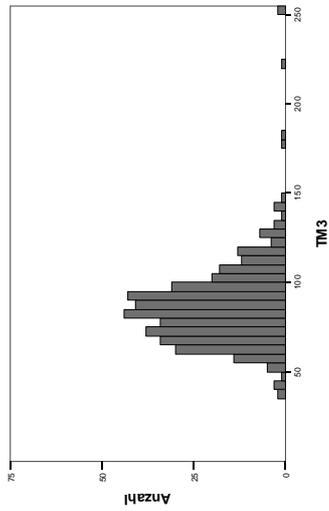
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz all



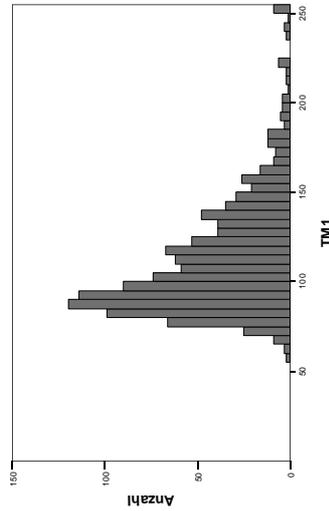
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz all



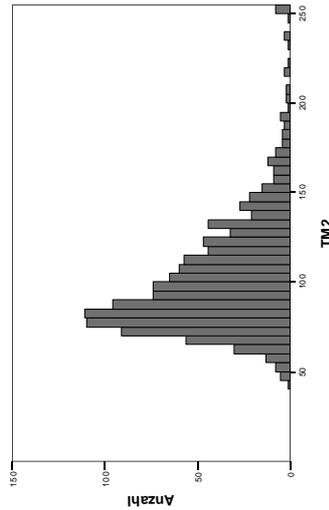
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz all



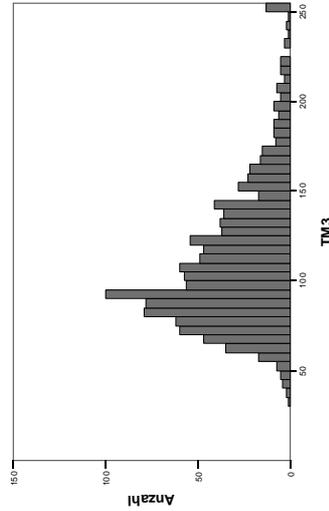
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



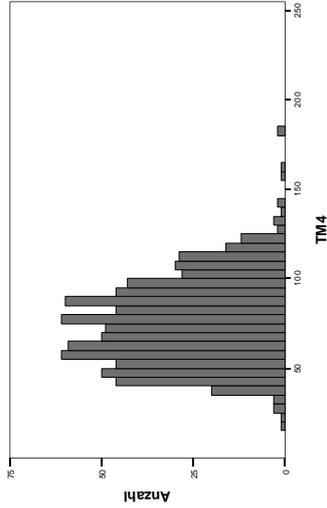
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



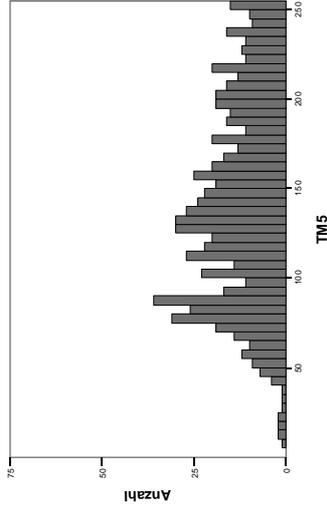
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



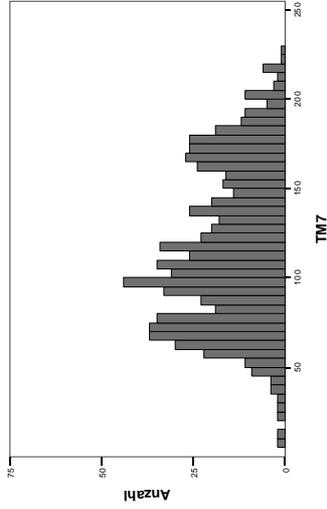
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



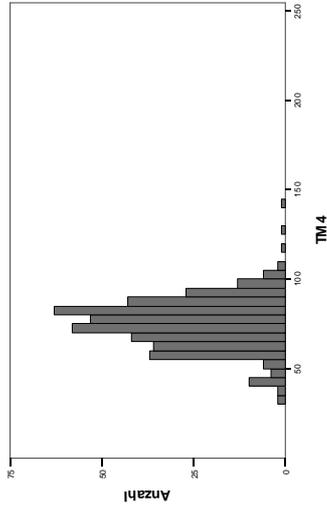
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz al



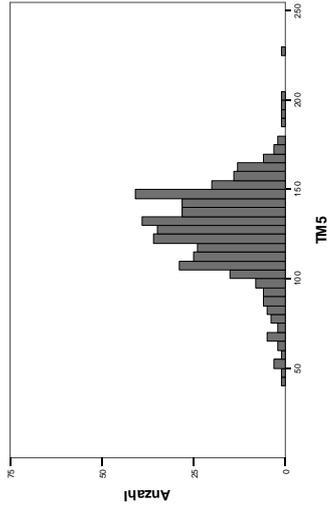
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



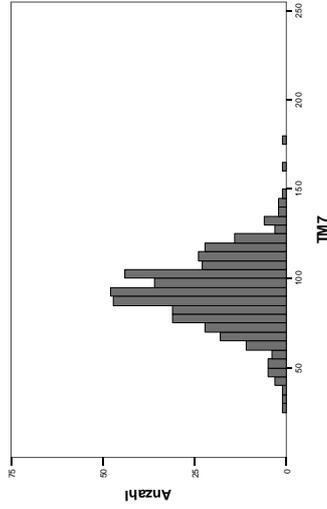
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz all



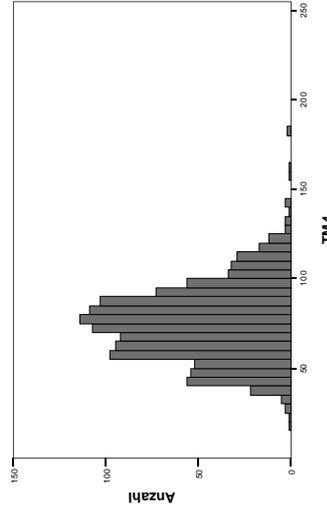
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz al



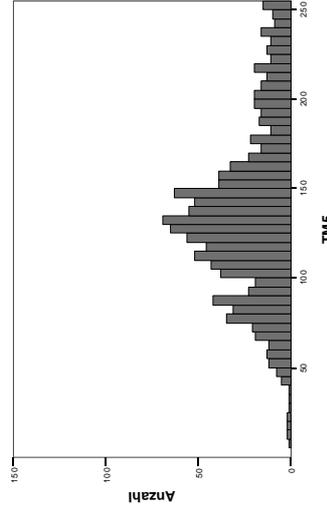
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (111) Datensatz all



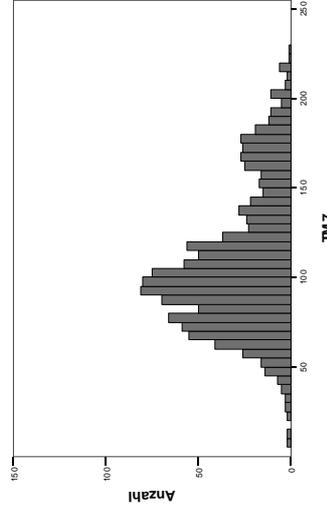
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



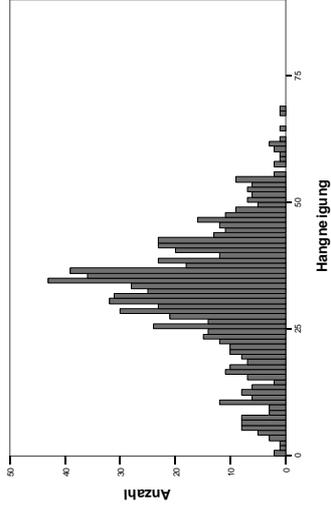
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz al



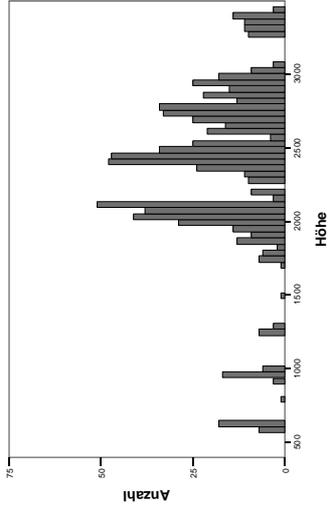
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



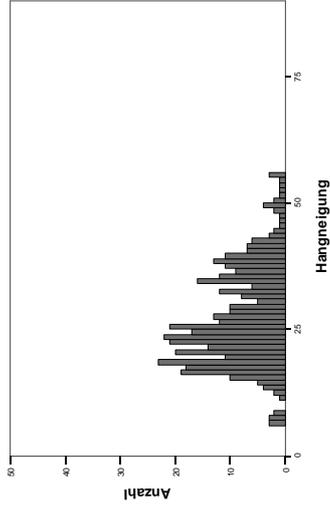
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



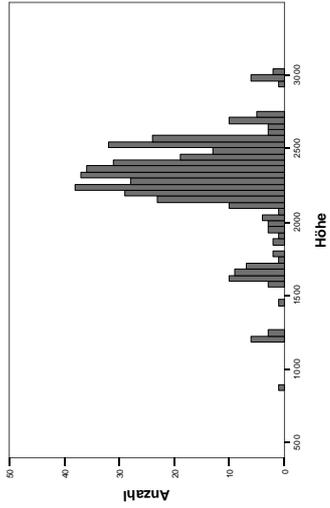
Verteilung der Klasse Fels, Schotter (11) Datensatz all



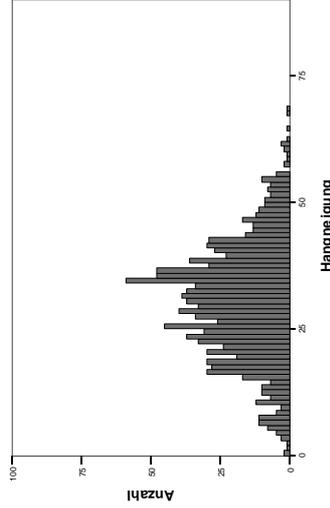
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (11) Datensatz all



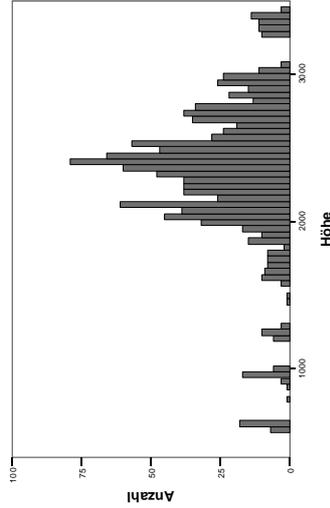
Verteilung der Klasse Fels, Schotter mit Grünanteil (11) Datensatz all



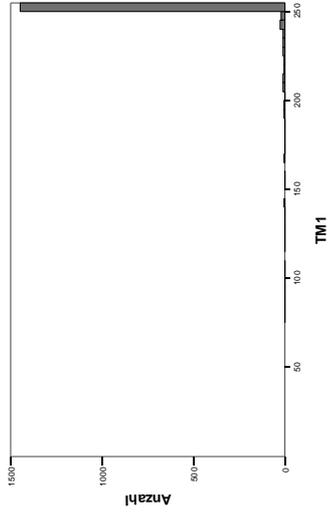
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



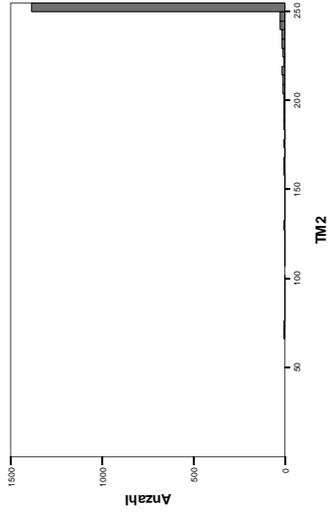
Verteilung der Klasse Fels, Schotter ohne und mit Grünanteil (11 u 111) Datensatz all



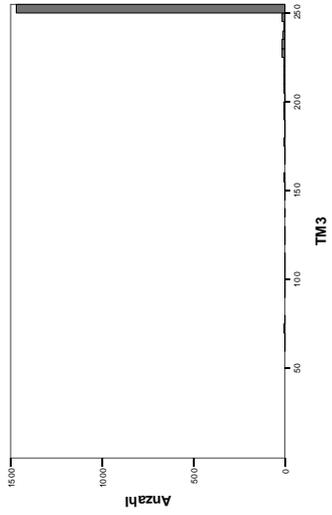
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



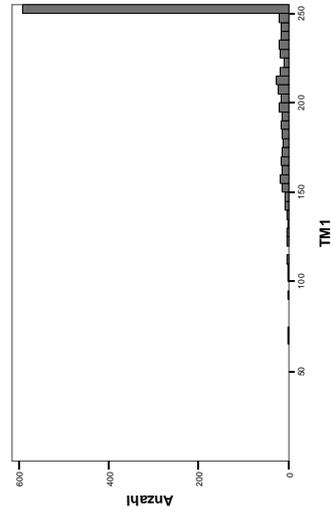
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



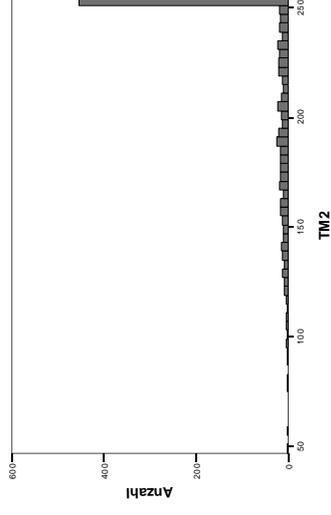
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



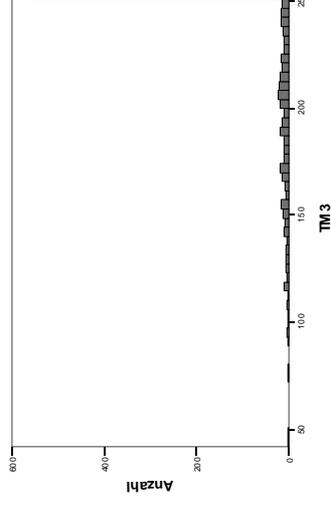
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



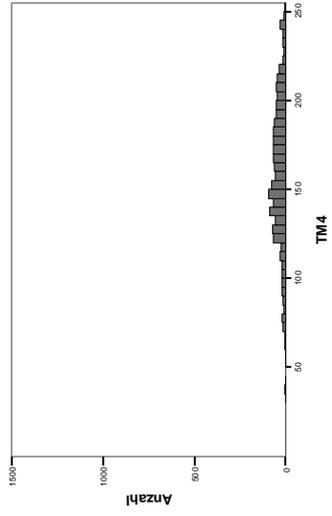
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



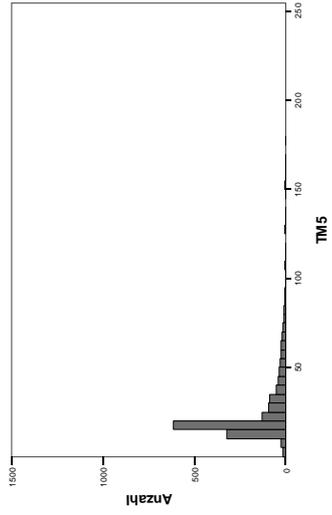
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



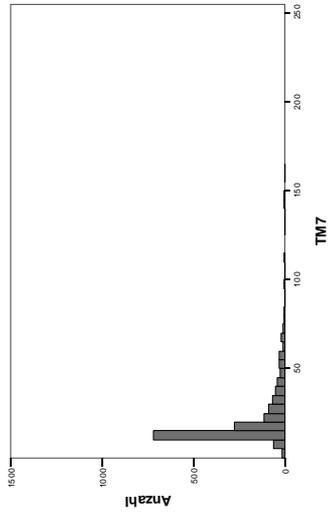
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



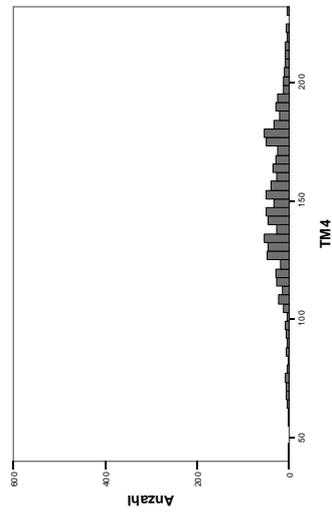
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



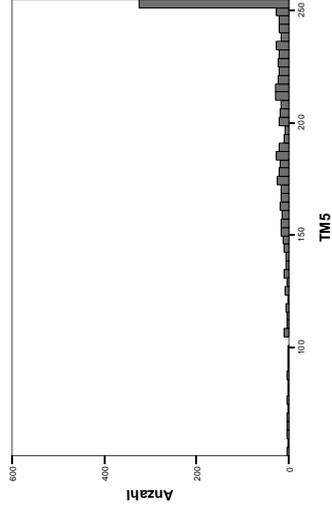
Verteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



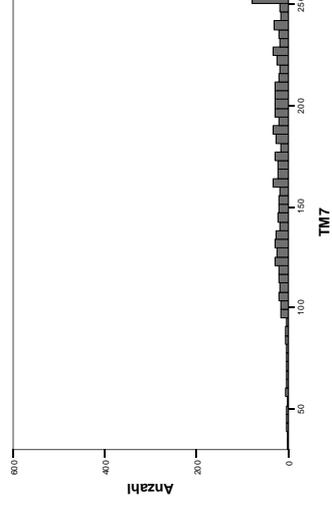
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



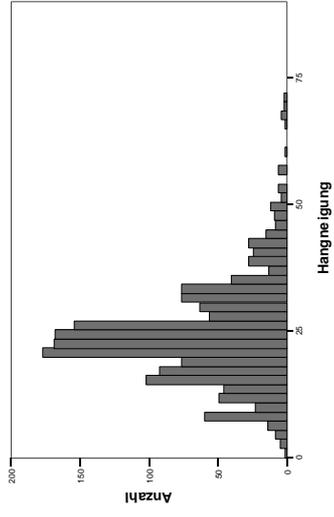
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



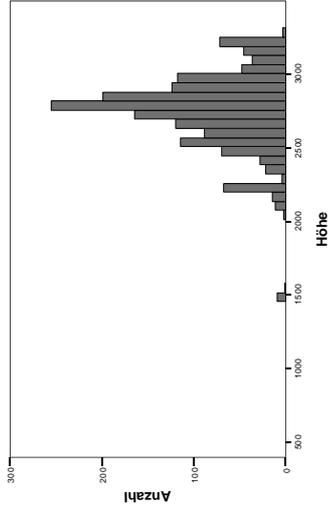
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



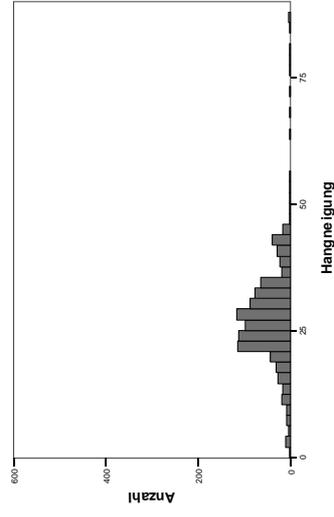
Hangneigung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



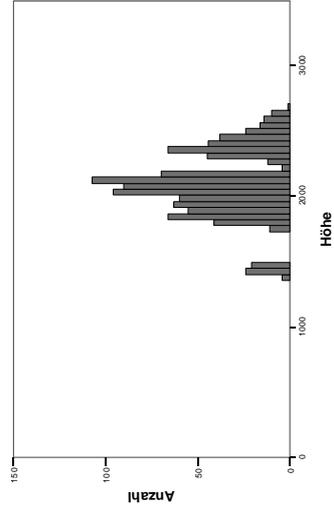
Höhenverteilung der Klasse Schnee, Eis (12) Datensatz all



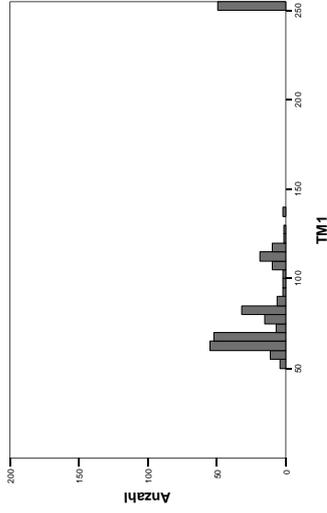
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



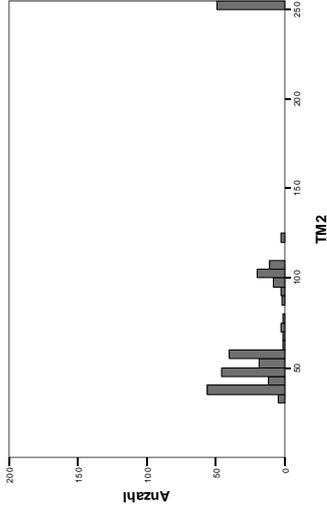
Verteilung der Klasse Wolken (80) Datensatz all



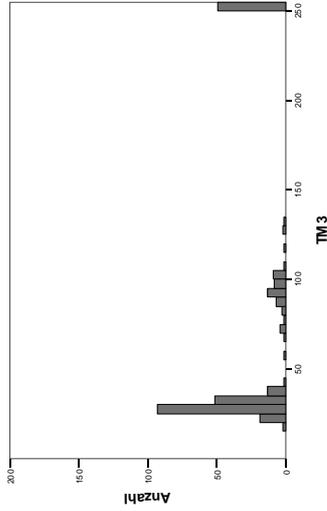
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



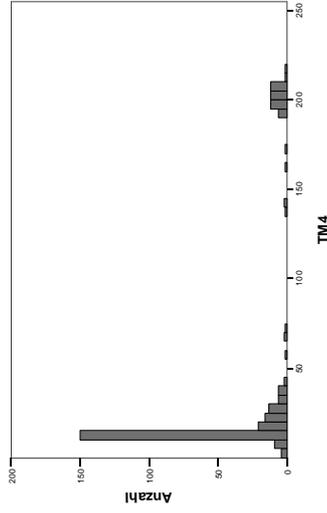
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



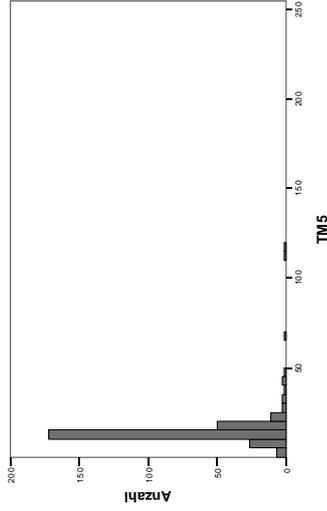
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



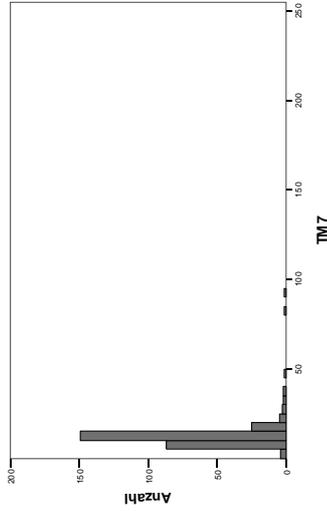
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



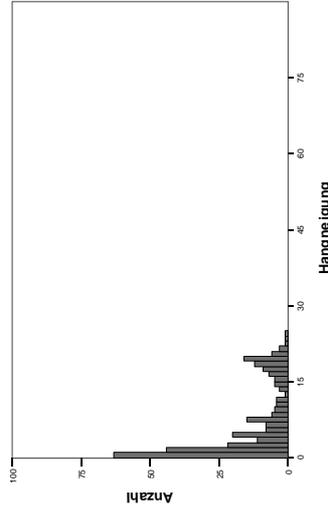
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



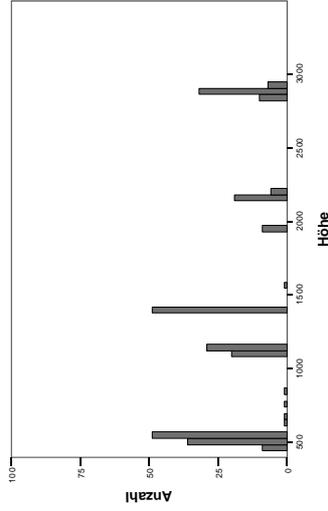
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



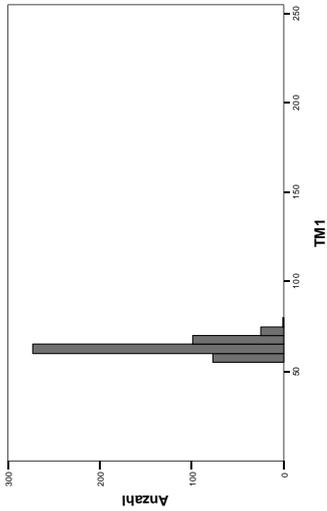
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



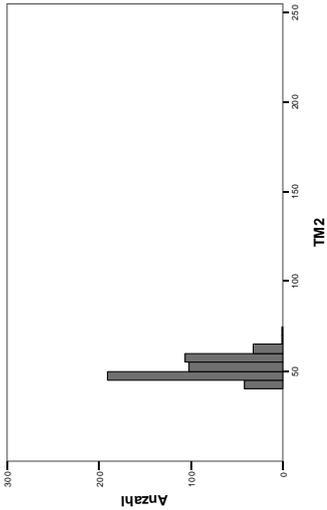
Verteilung der Klasse Wasser (20) Datensatz all



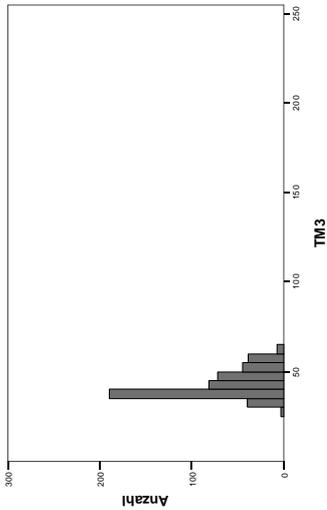
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



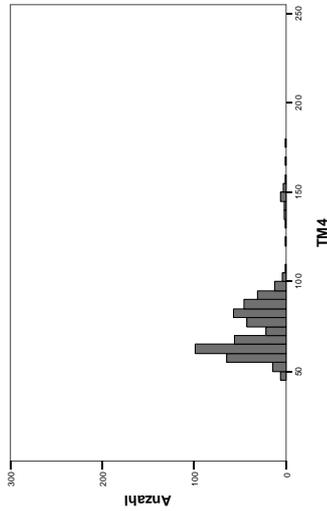
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



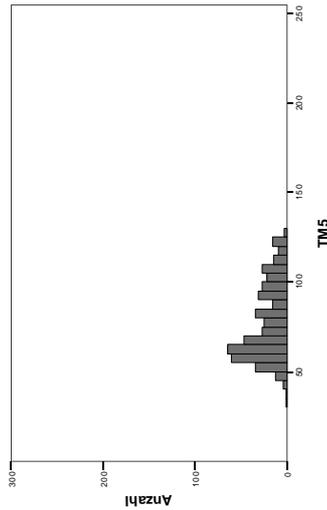
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



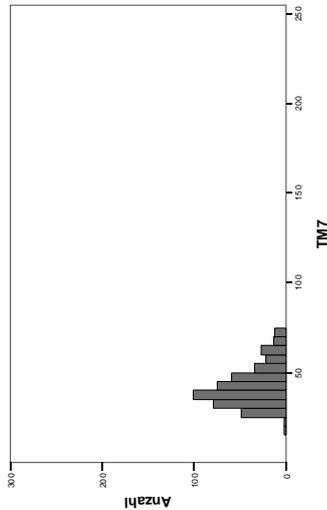
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



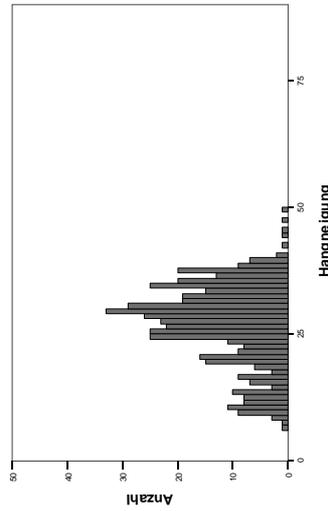
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



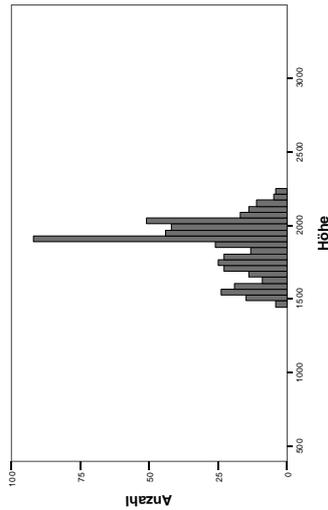
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



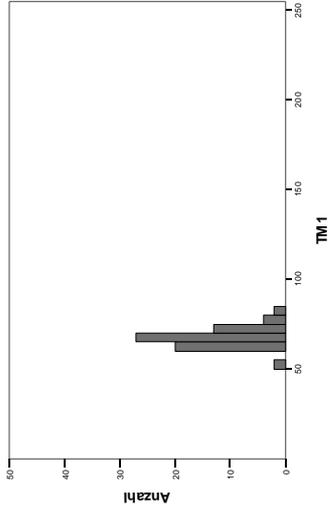
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



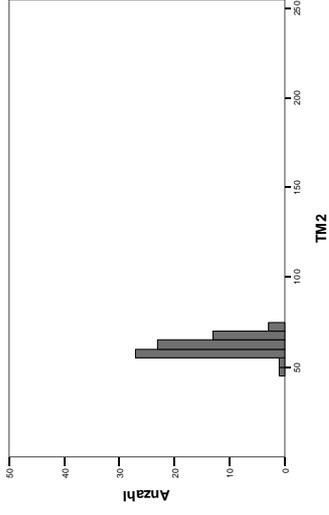
Verteilung der Klasse Latsche (34) Datensatz all



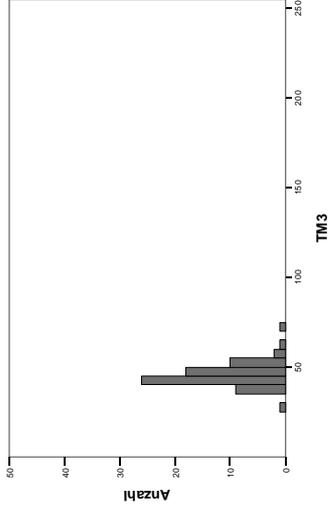
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



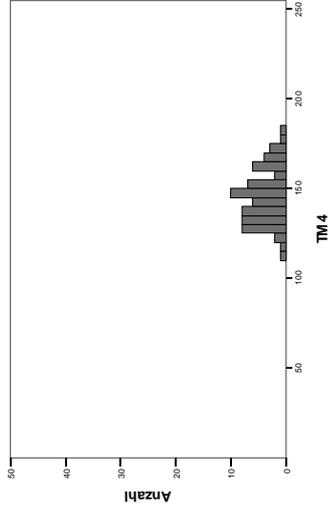
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



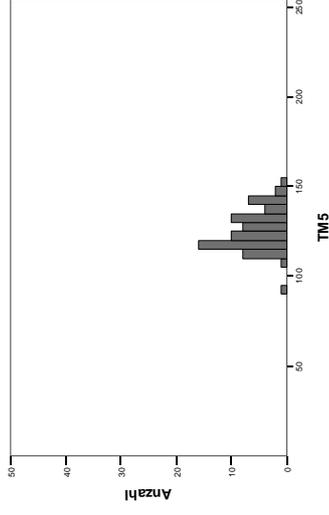
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



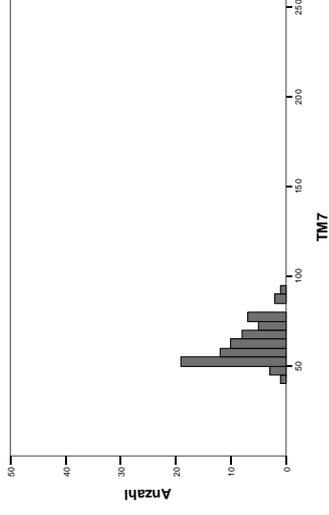
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



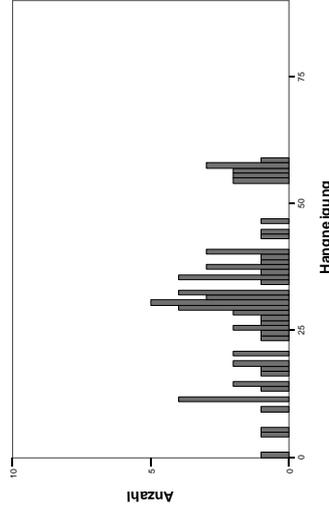
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



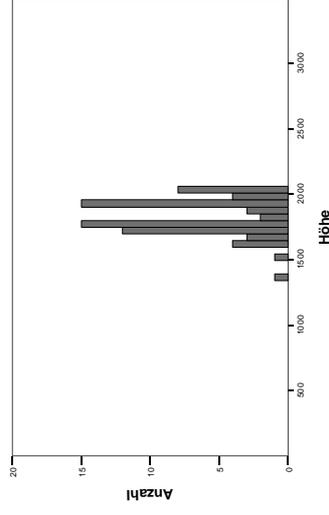
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



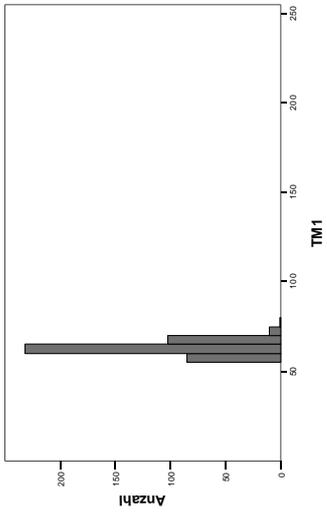
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



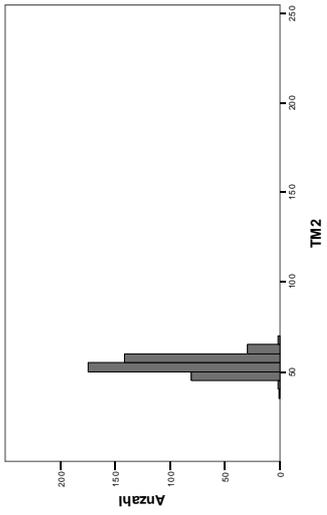
Verteilung der Klasse Grünerle (35) Datensatz all



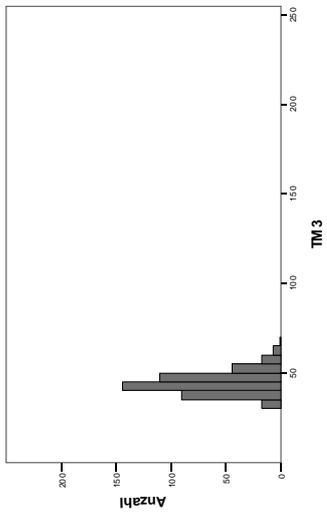
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36), Datensatz all



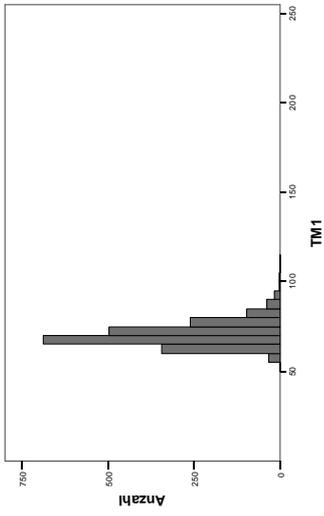
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36) Datensatz all



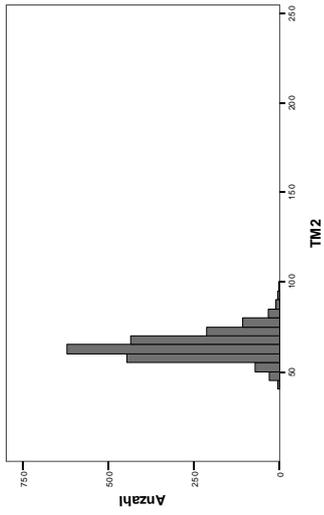
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36) Datensatz all



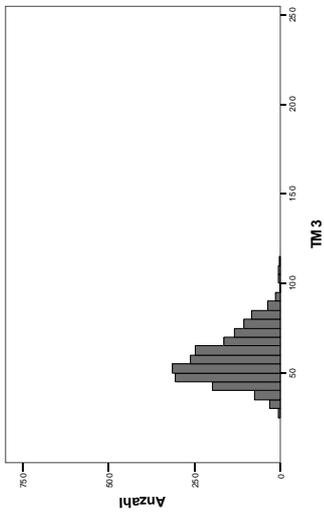
Verteilung der Klasse alpine Polsterassen (63) Datensatz all



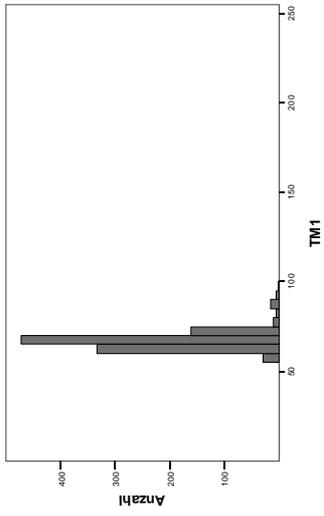
Verteilung der Klasse alpine Polsterassen (63) Datensatz all



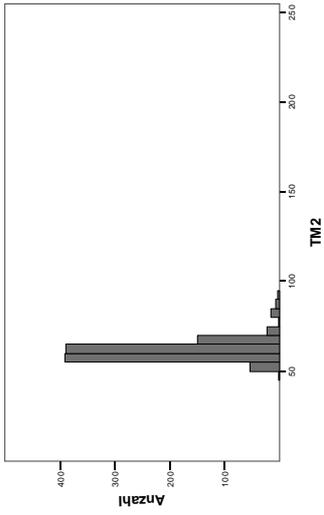
Verteilung der Klasse alpine Polsterassen (63) Datensatz all



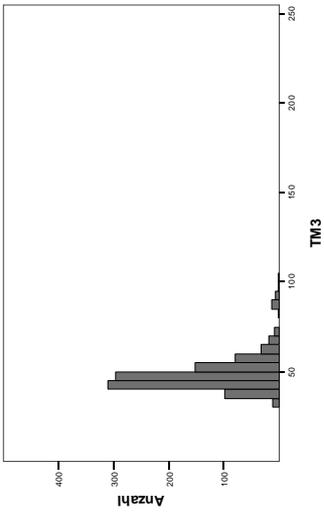
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



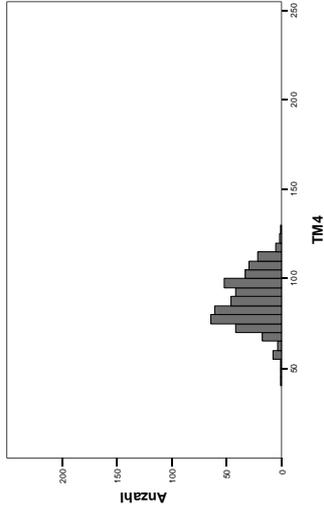
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



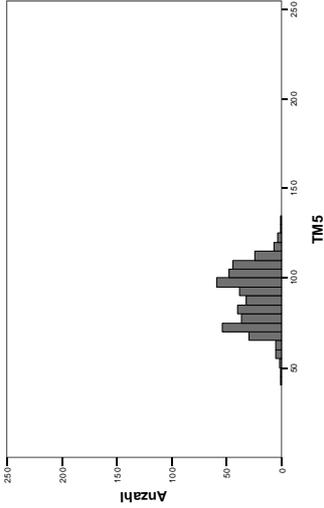
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



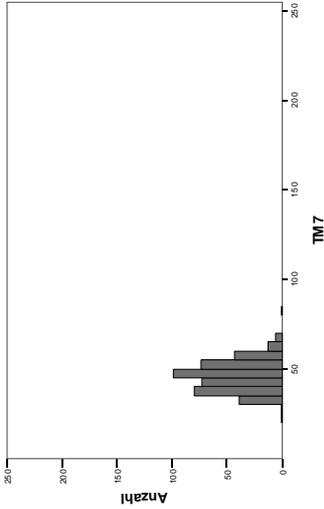
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36) Datensatz all



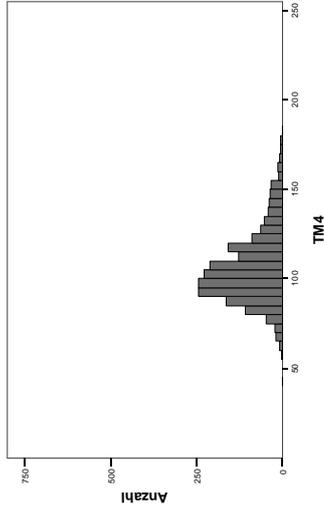
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36) Datensatz all



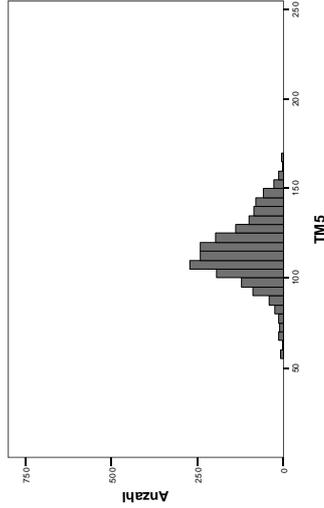
Verteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36) Datensatz all



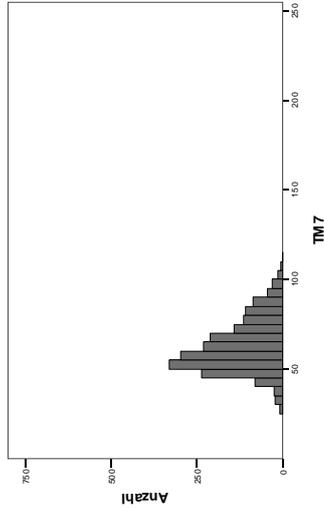
Verteilung der Klasse alpine Polsterrassen (63) Datensatz all



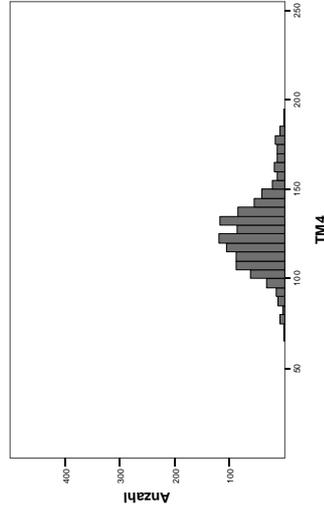
Verteilung der Klasse alpine Polsterrassen (63) Datensatz all



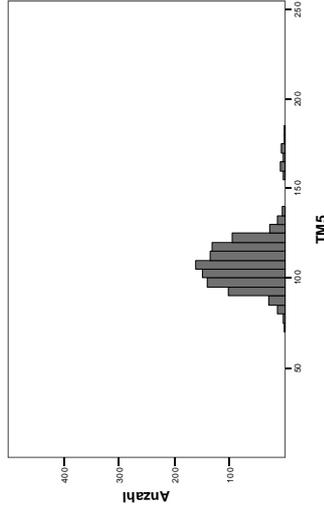
Verteilung der Klasse alpine Polsterrassen (63) Datensatz all



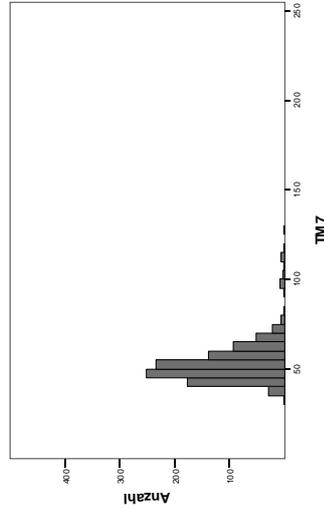
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



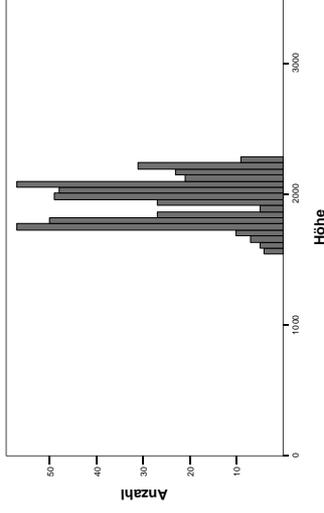
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



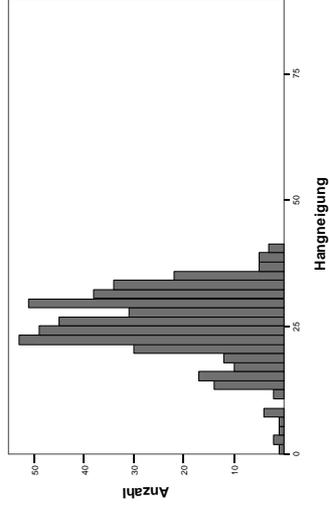
Verteilung der Klasse Almwiese (64) Datensatz all



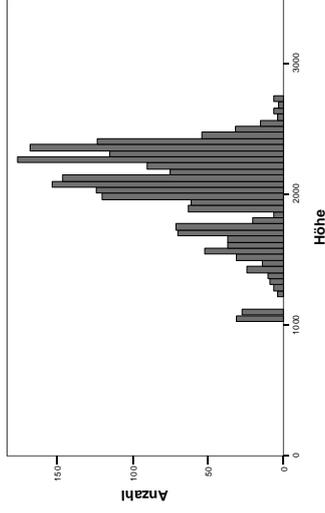
Höhenverteilung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36), Datensatz all



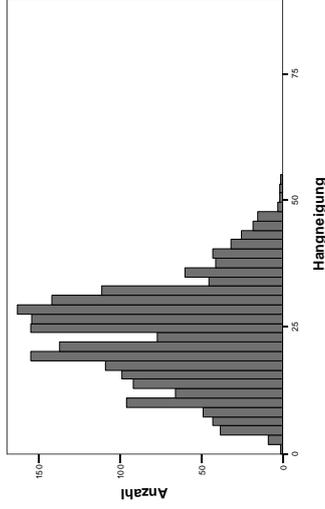
Hangneigung der Klasse alpine Zwergstrauchheiden (36), Datensatz all



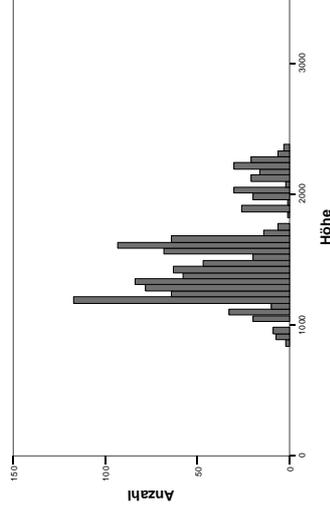
Höhenverteilung der Klasse alpine Poisterrassen (63), Datensatz all



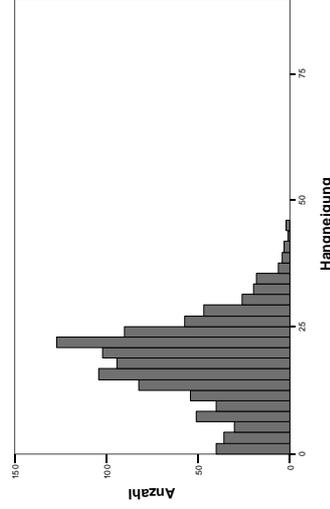
Hangneigung der Klasse alpine Poisterrassen (63) Datensatz all



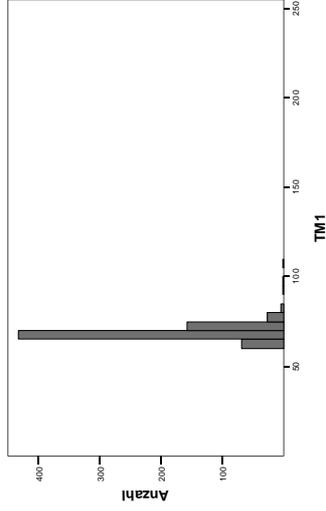
Höhenverteilung der Klasse Almwiese (64), Datensatz all



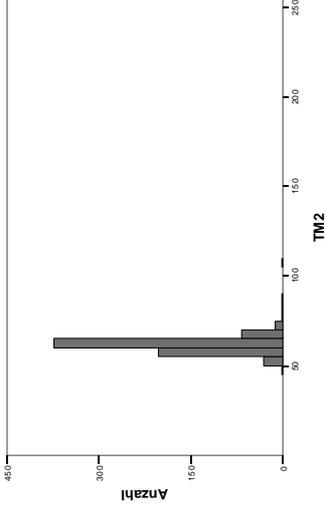
Hangneigung der Klasse Almwiese (64), Datensatz all



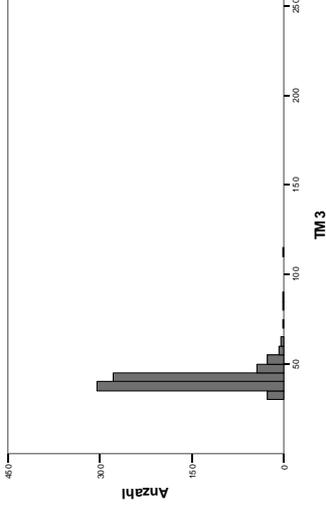
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



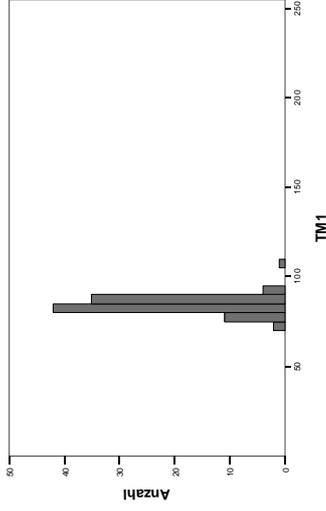
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



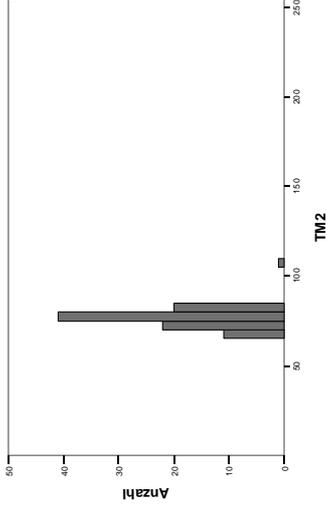
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



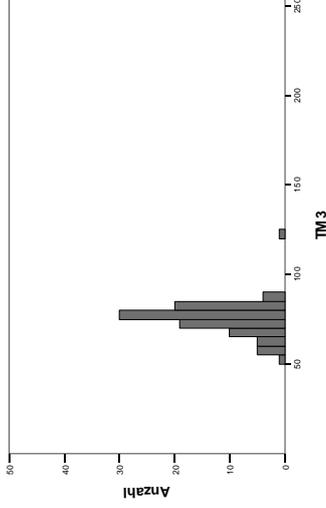
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



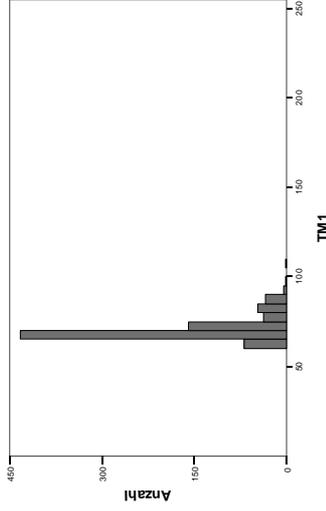
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



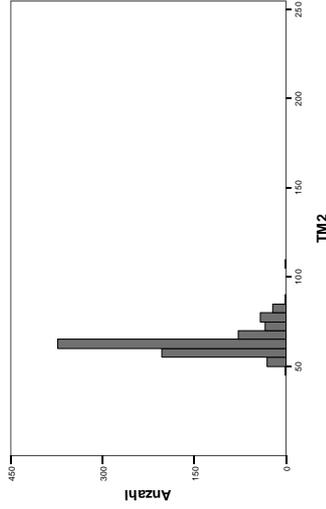
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



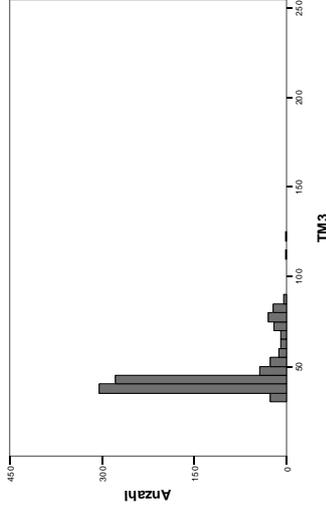
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



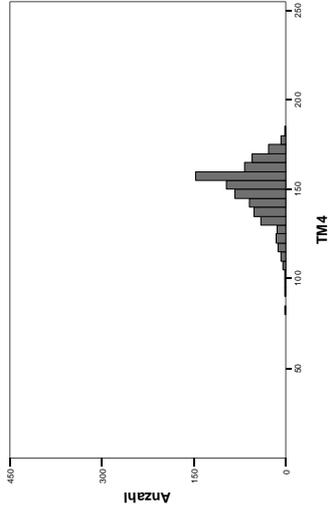
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



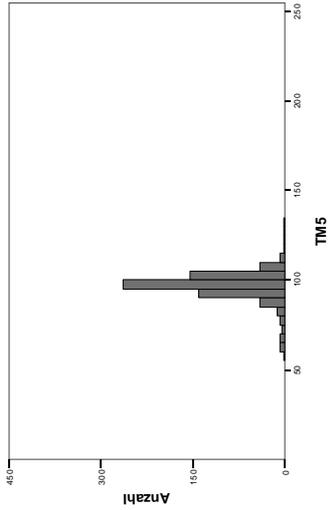
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



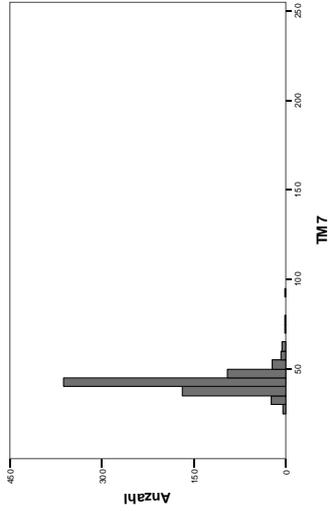
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



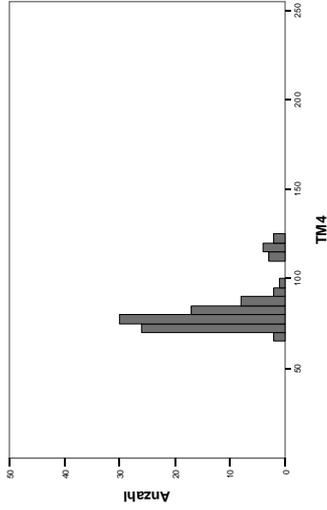
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



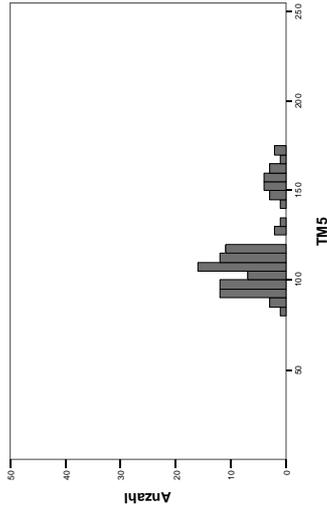
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



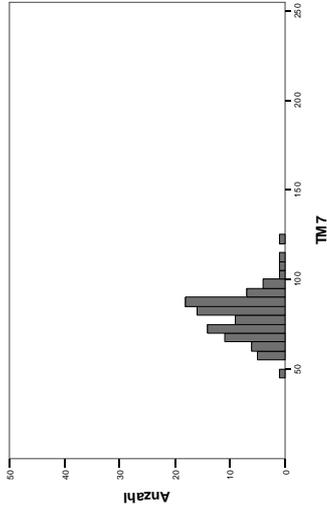
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



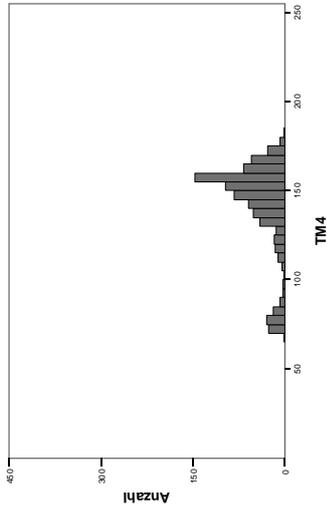
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



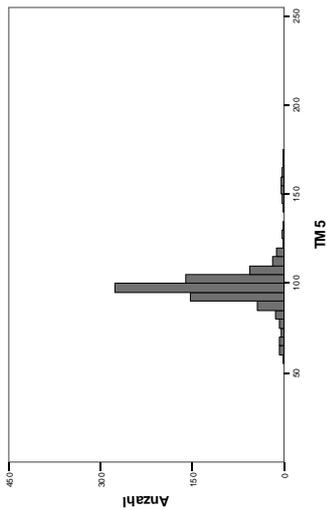
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



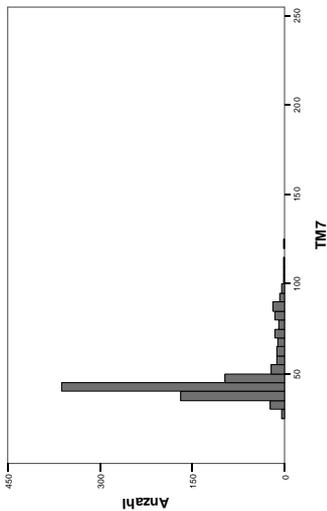
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



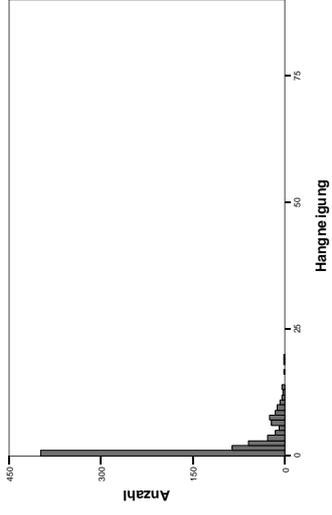
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



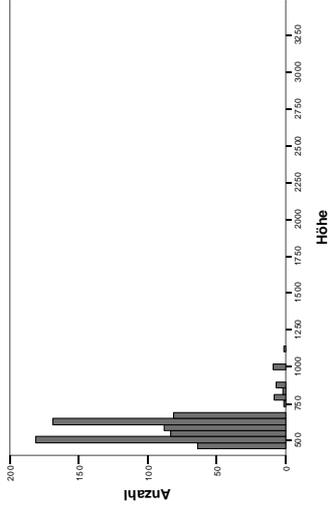
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



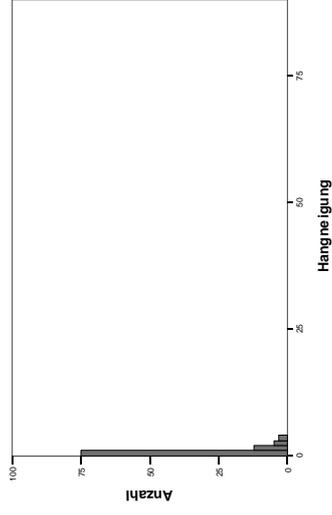
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



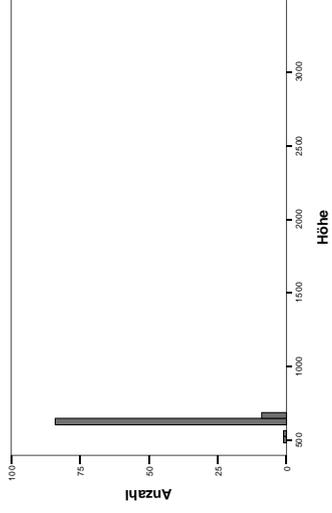
Verteilung der Acker (61) Datensatz all



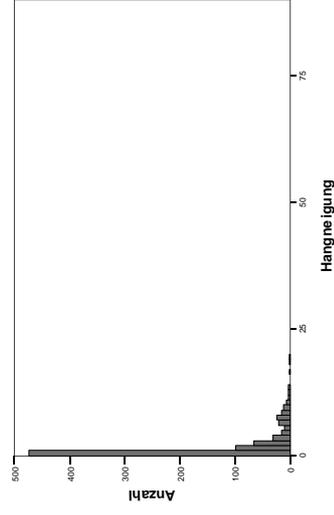
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



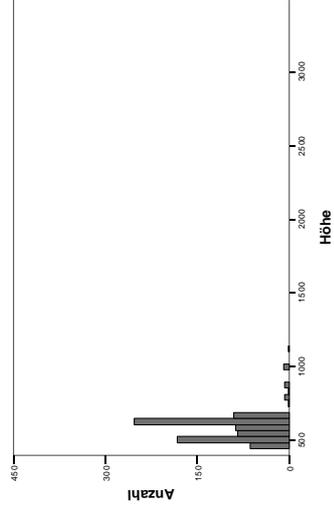
Verteilung der Acker gemäß (61) Datensatz all



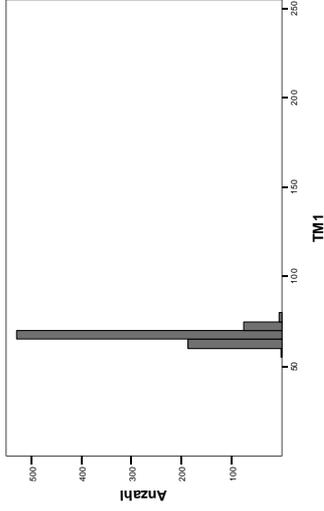
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



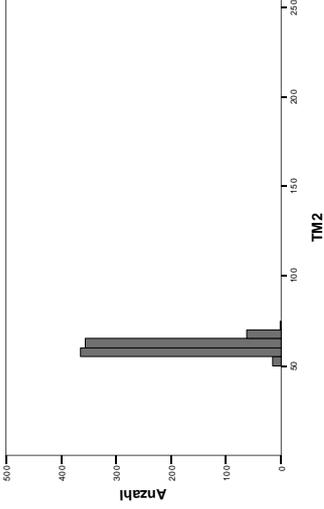
Verteilung der Klasse Acker gesamt (61 und 611) Datensatz all



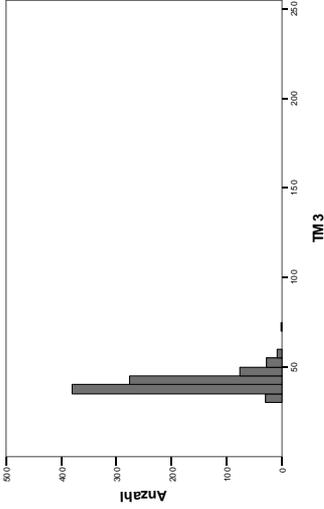
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



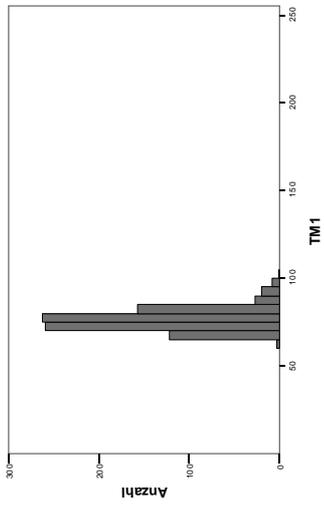
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



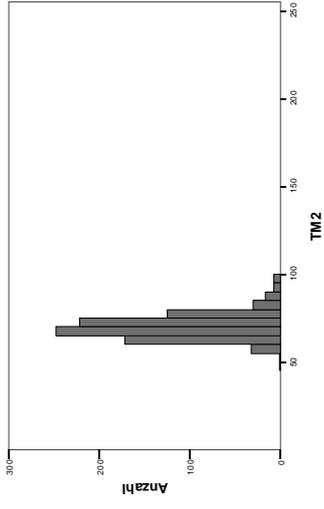
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



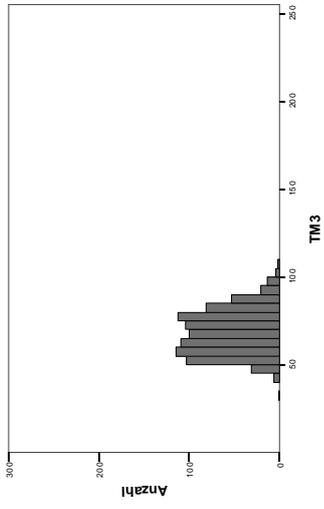
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



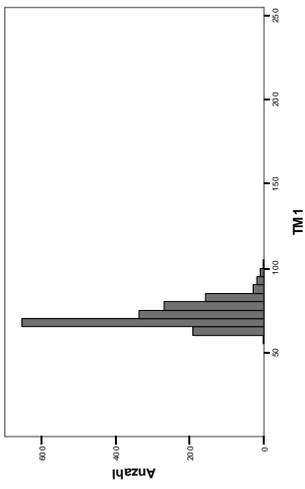
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



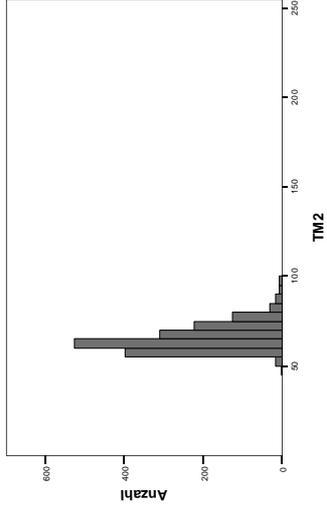
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



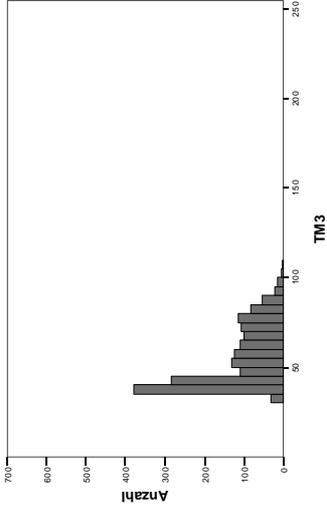
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



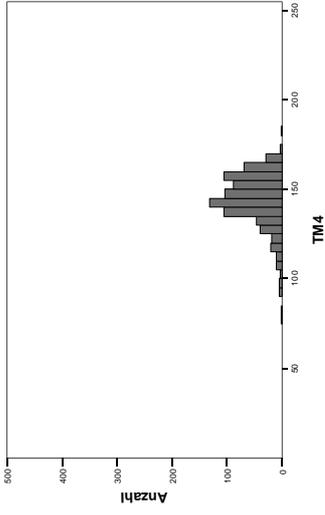
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



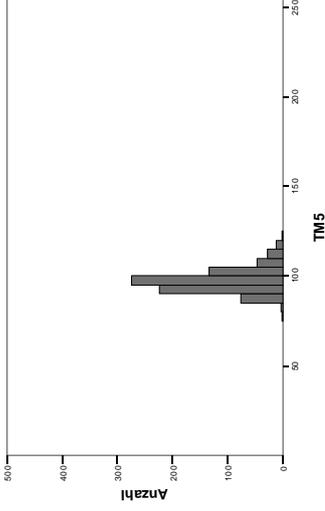
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



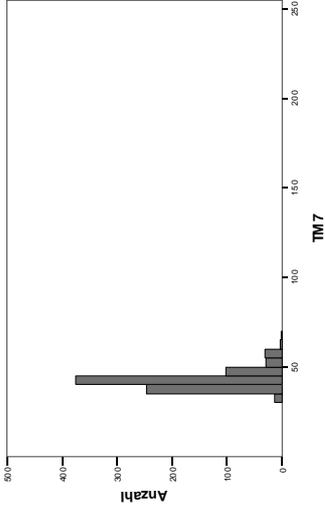
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



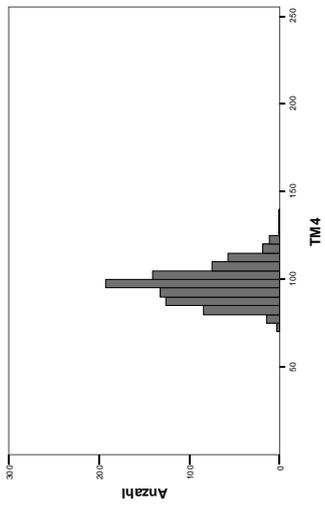
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



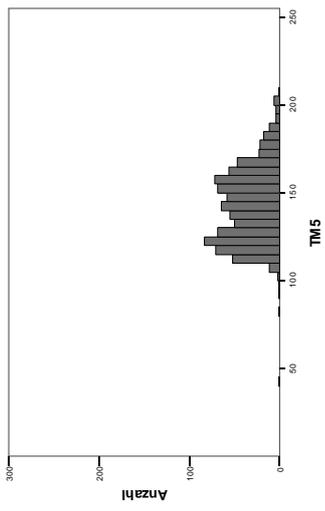
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



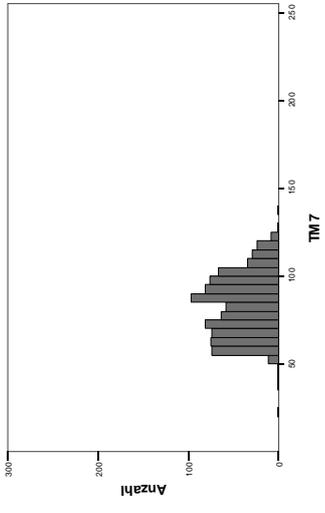
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



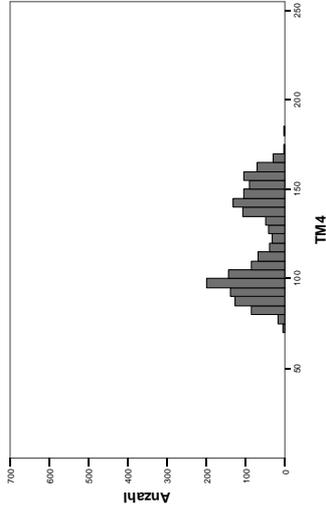
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



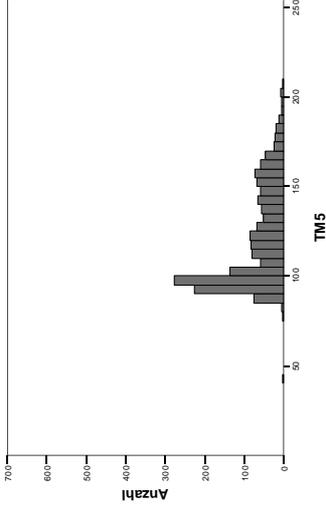
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



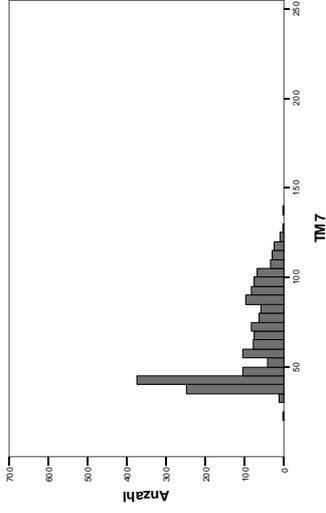
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



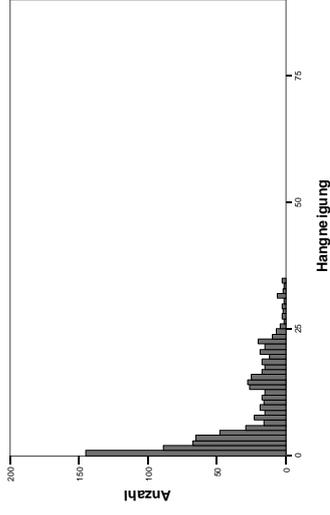
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



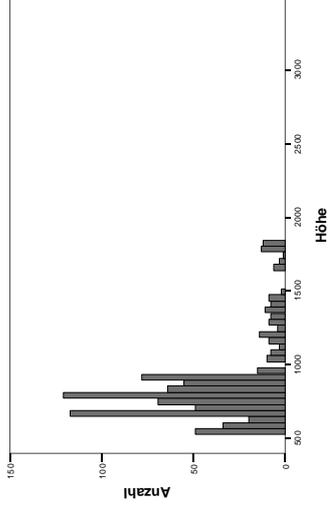
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



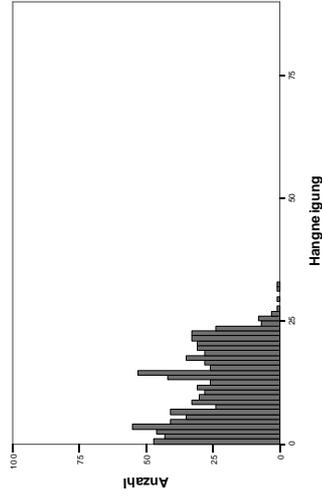
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



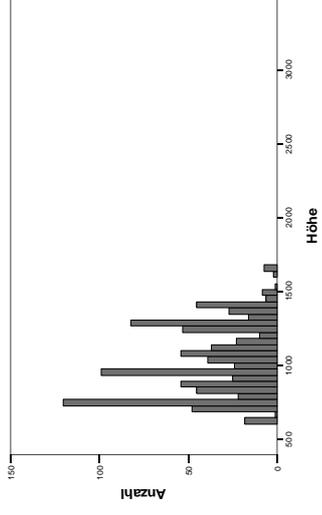
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese (62) Datensatz all



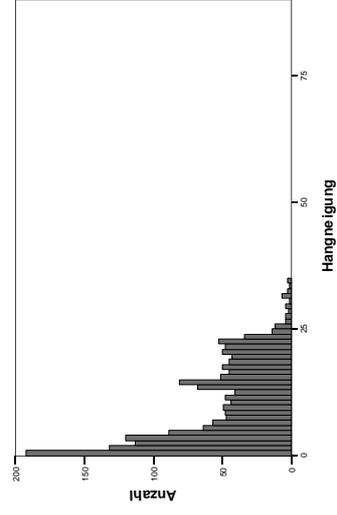
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



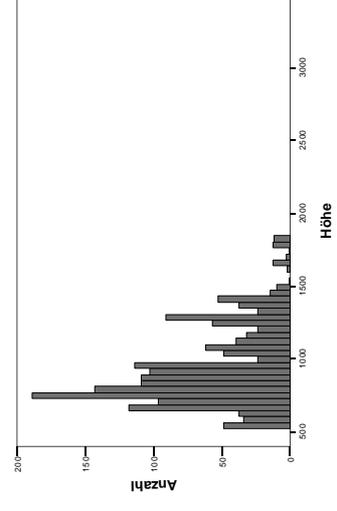
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese mit Heuauflage (621) Datensatz all



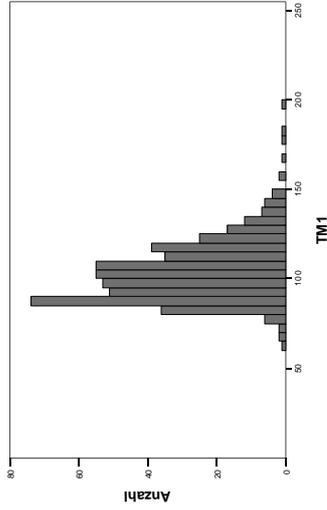
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



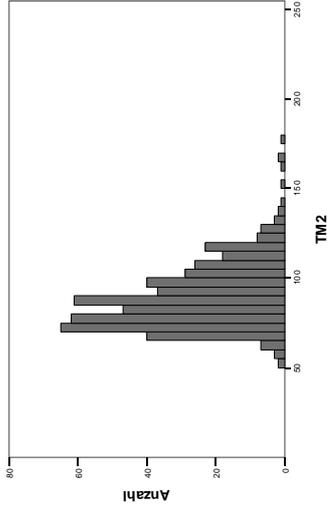
Verteilung der Klasse Grünland, Mähwiese gesamt (62 u 621) Datensatz all



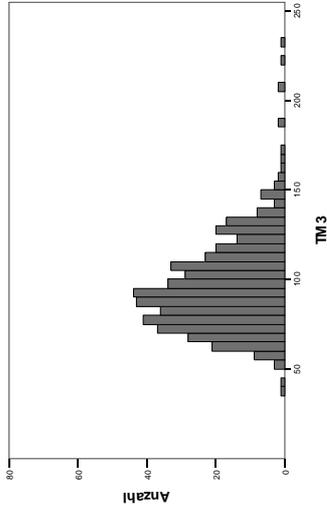
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



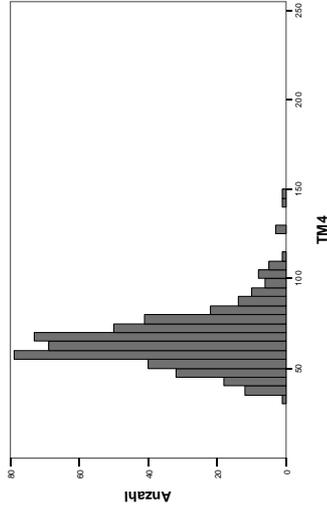
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



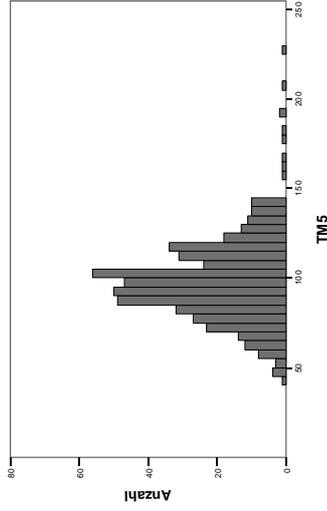
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



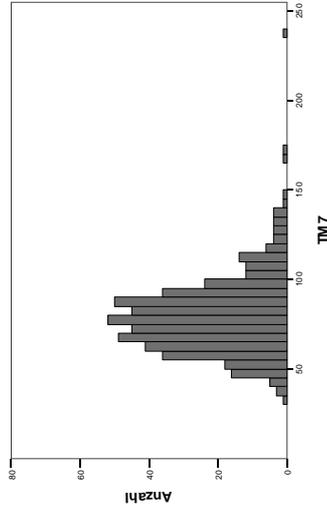
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



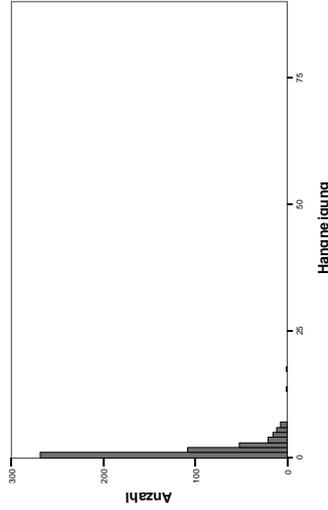
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



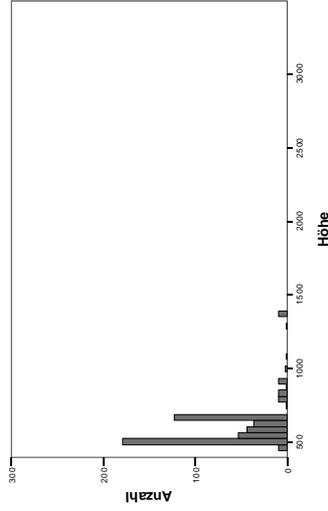
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



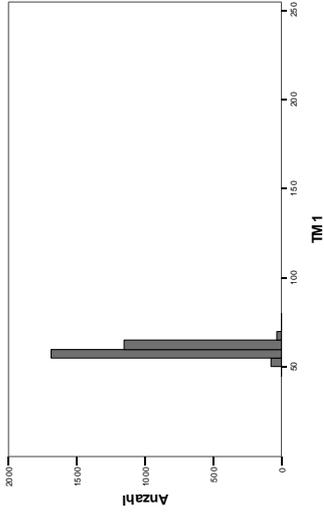
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



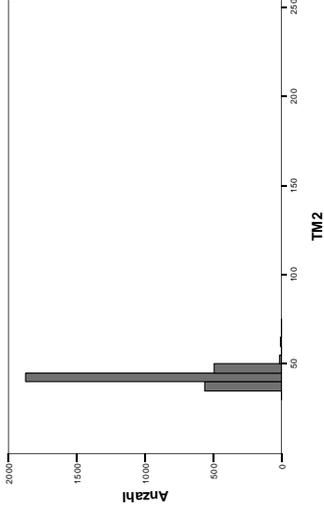
Verteilung der Klasse versiegelte Fläche (70) Datensatz all



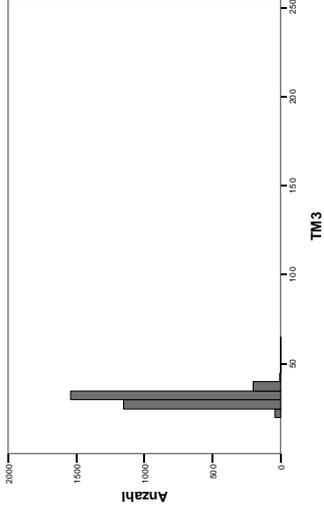
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



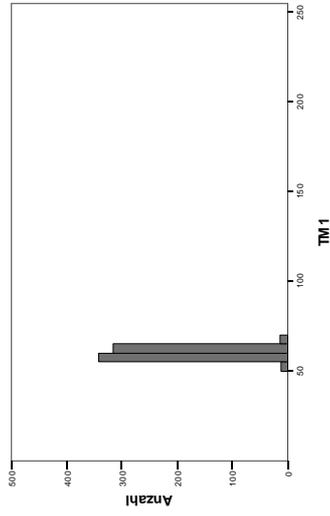
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



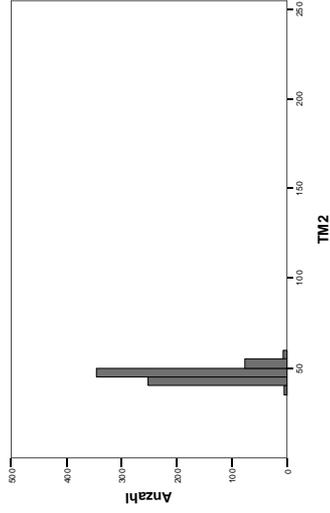
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



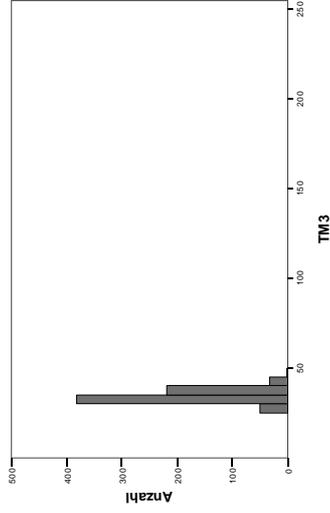
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



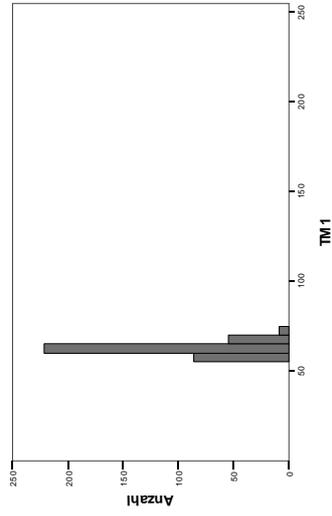
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



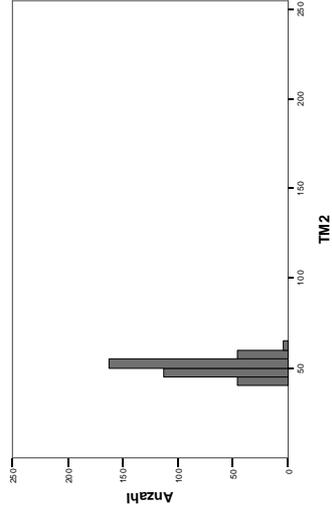
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



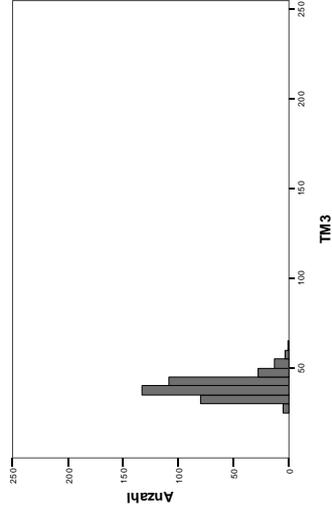
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



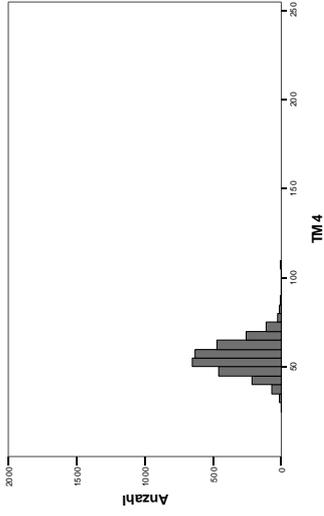
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



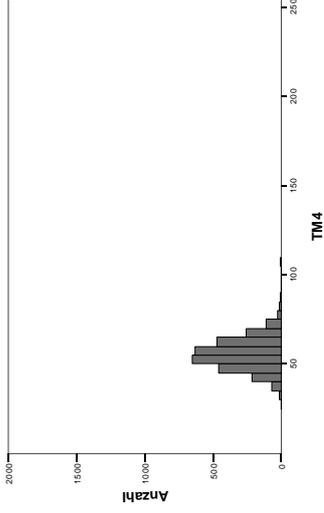
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



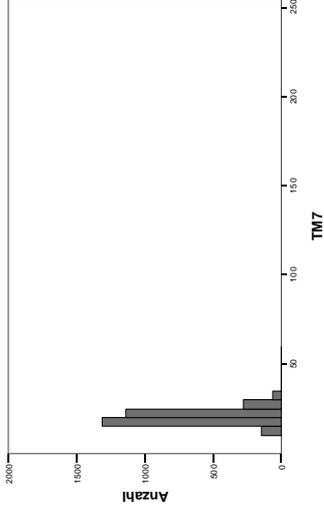
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



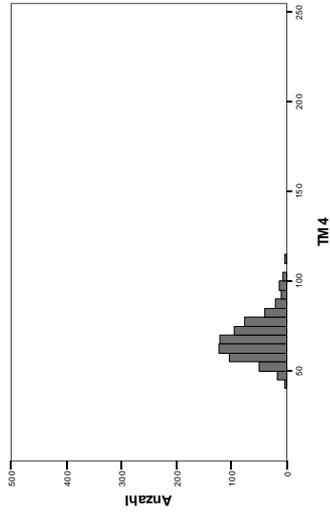
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



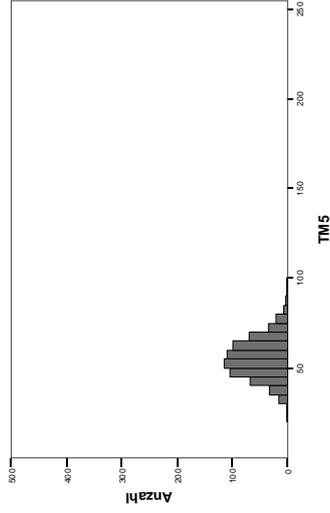
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



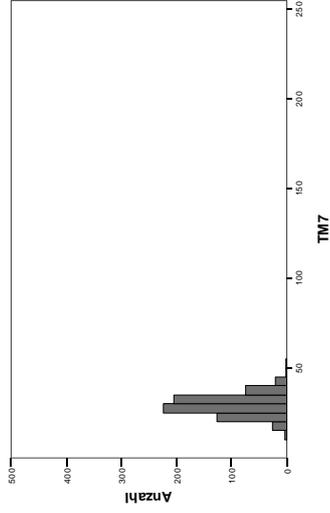
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



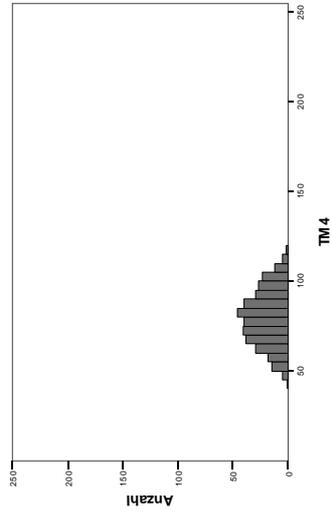
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



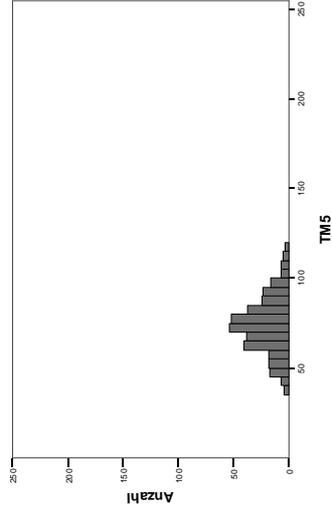
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



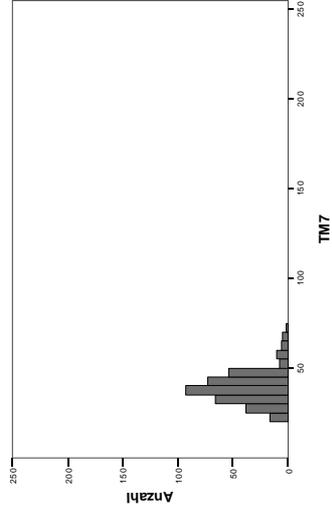
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



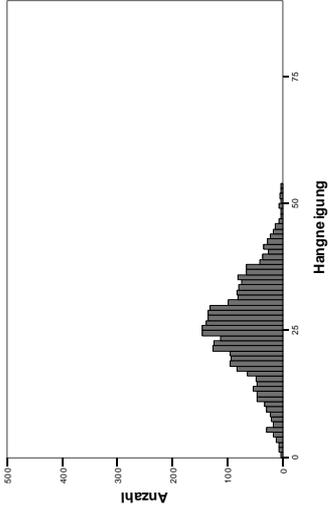
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



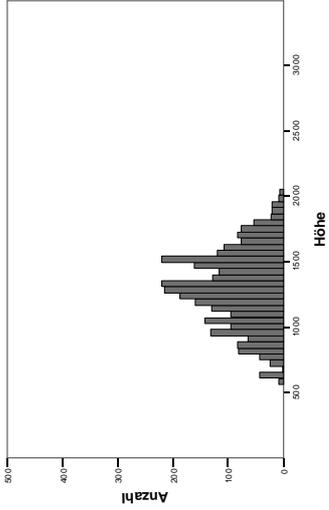
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



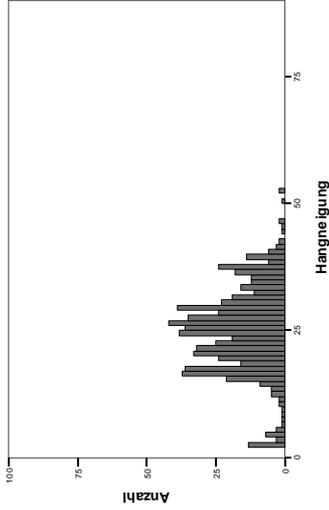
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



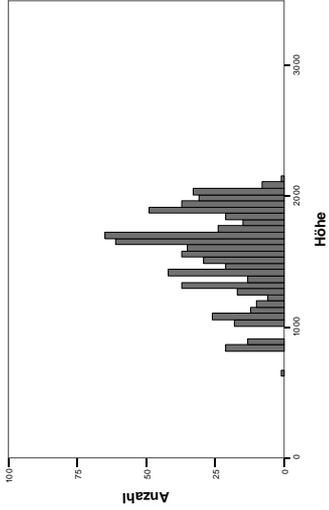
Verteilung der Klasse Nadelwald dicht (311) Datensatz all



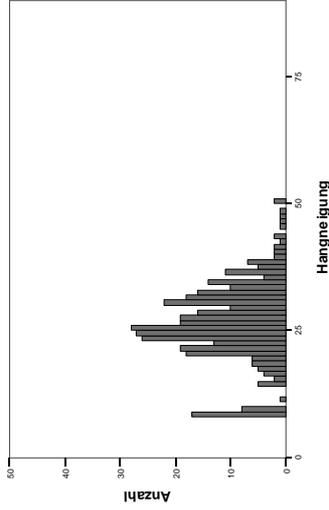
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



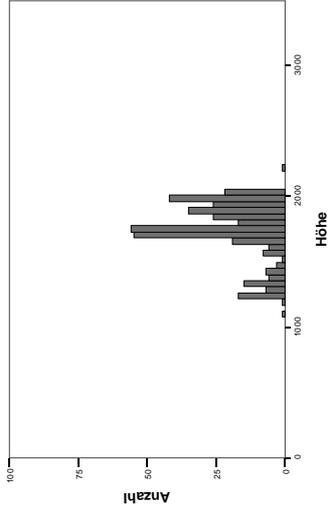
Verteilung der Klasse Nadelwald licht (312) Datensatz all



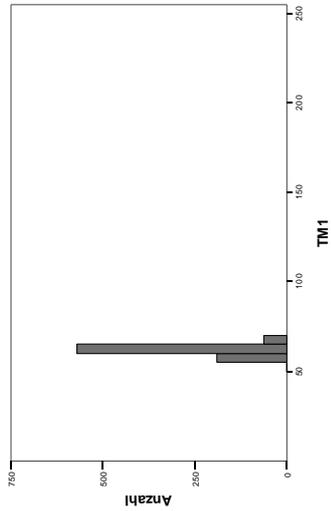
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



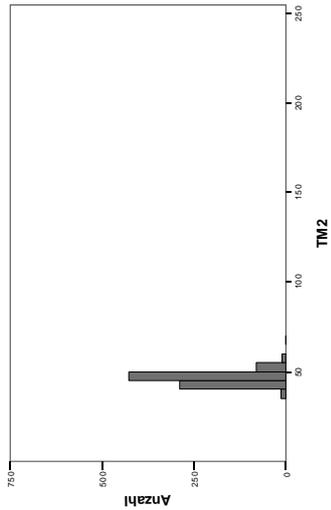
Verteilung der Klasse Nadelwald sehr licht (313) Datensatz all



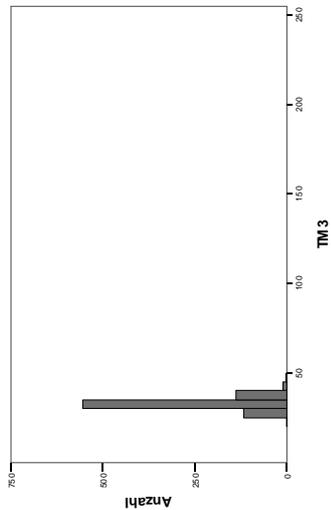
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



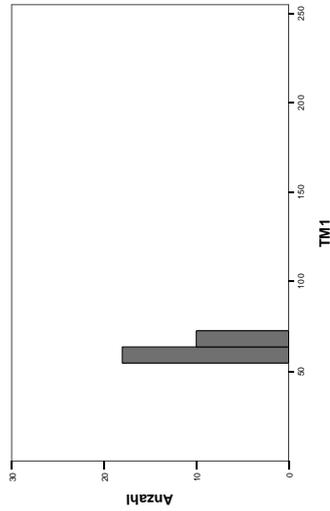
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



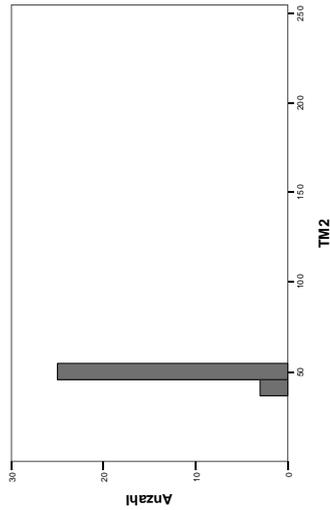
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



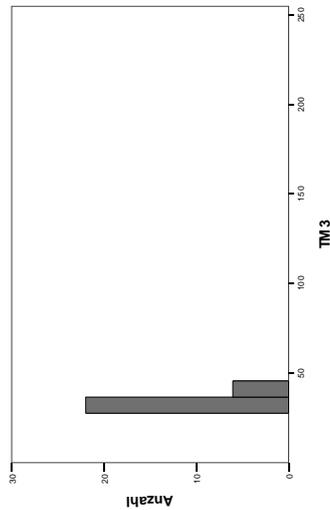
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



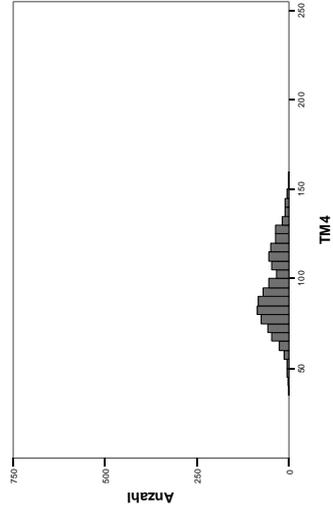
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



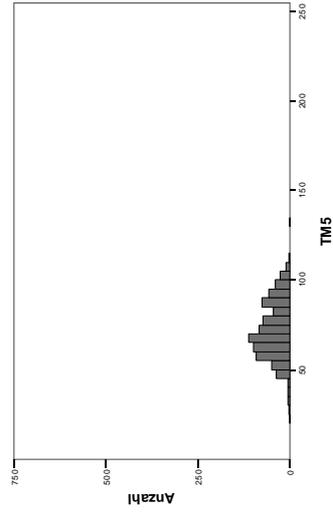
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



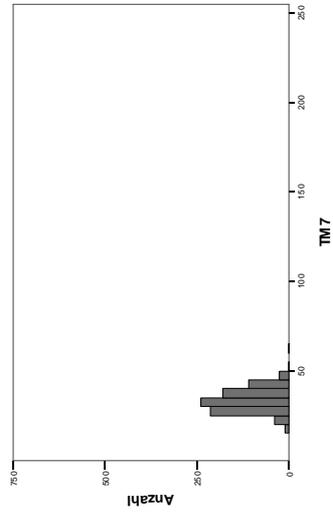
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



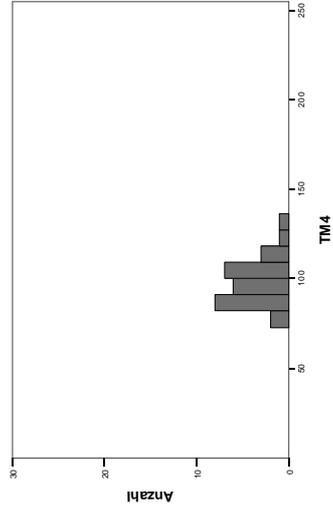
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



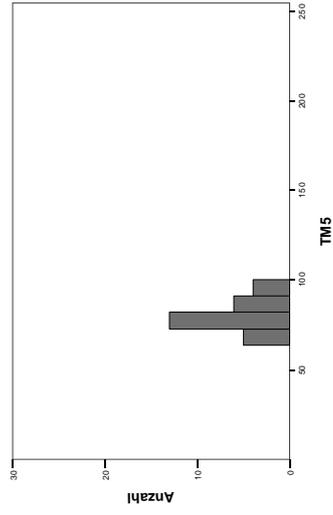
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



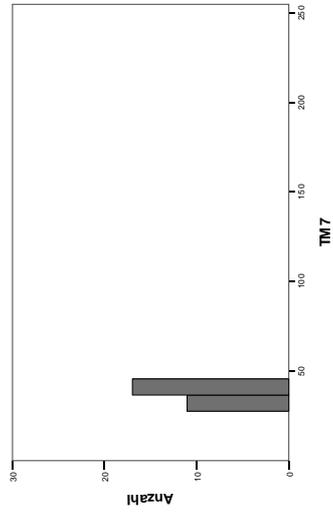
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



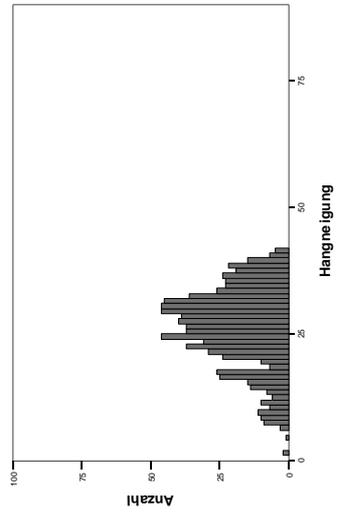
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



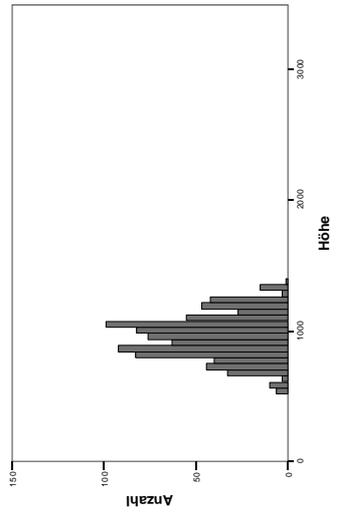
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



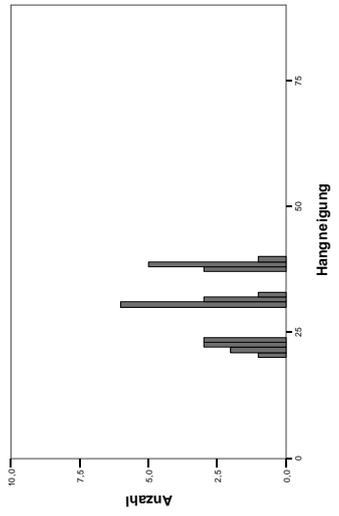
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



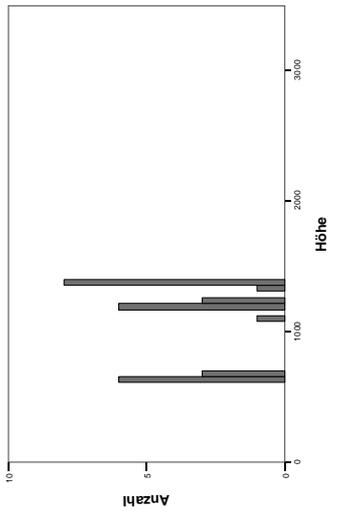
Verteilung der Klasse Mischwald dicht (321) Datensatz all



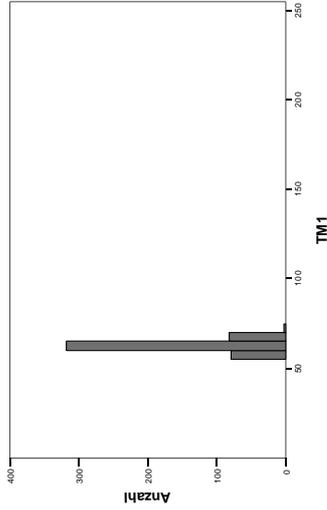
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



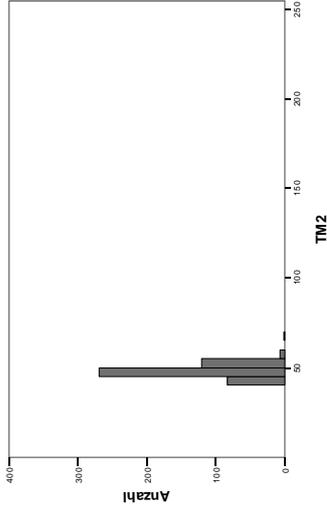
Verteilung der Klasse Mischwald licht (322) Datensatz all



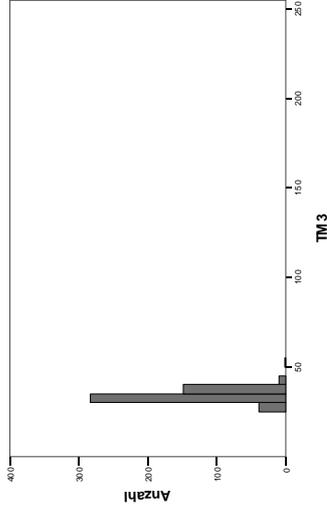
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



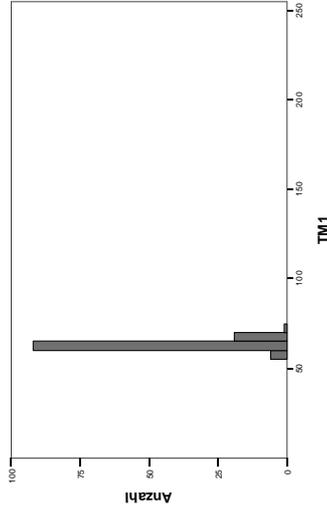
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



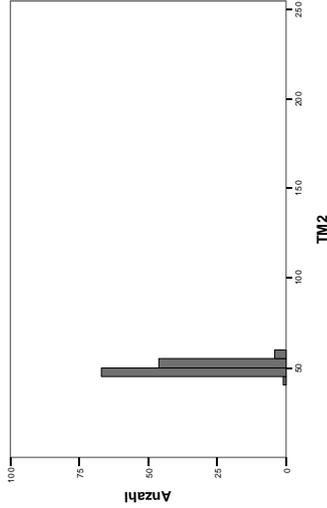
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



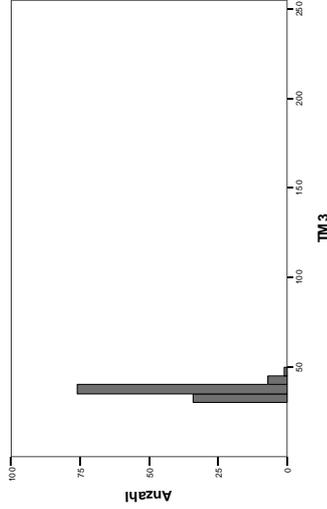
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



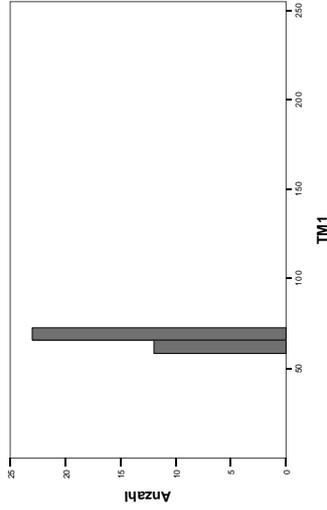
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



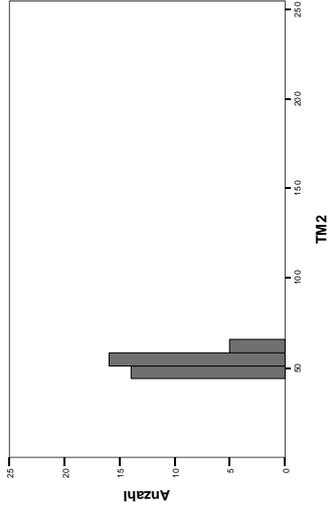
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



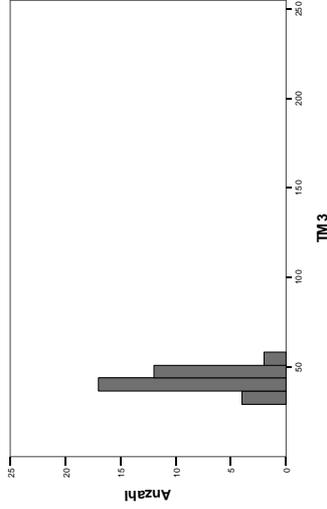
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



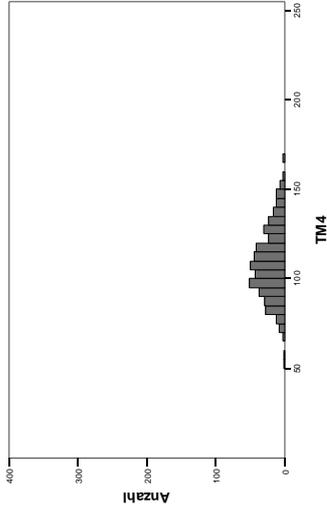
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



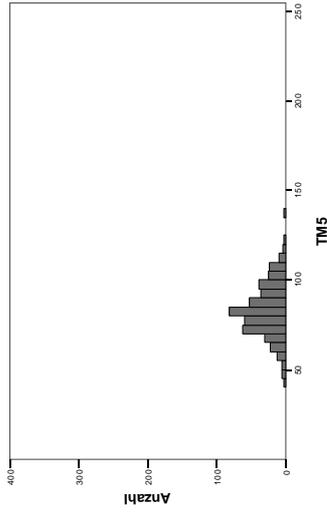
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



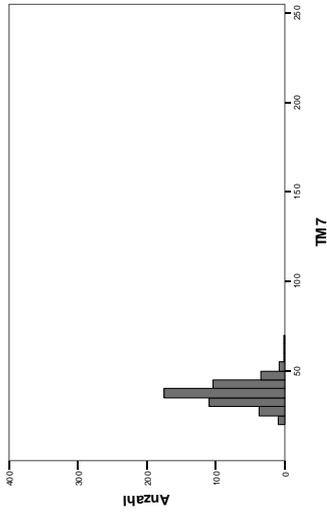
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



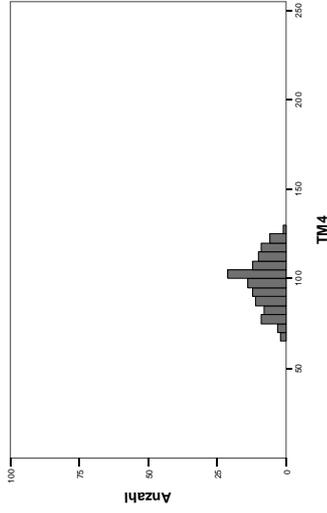
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



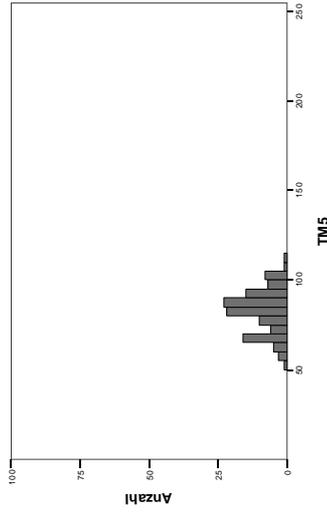
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



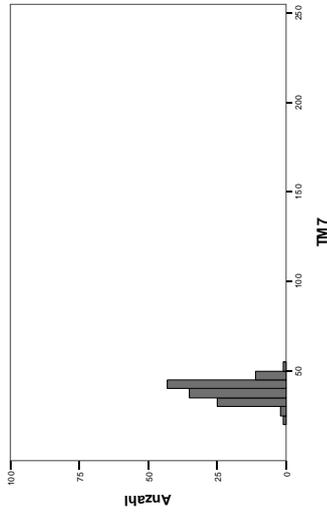
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



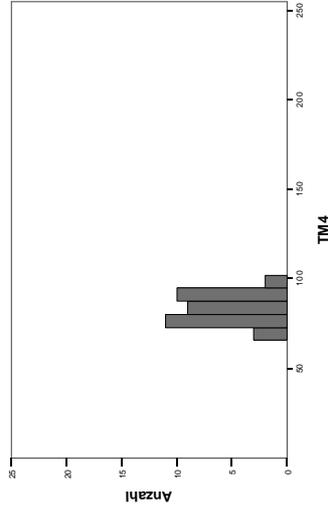
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



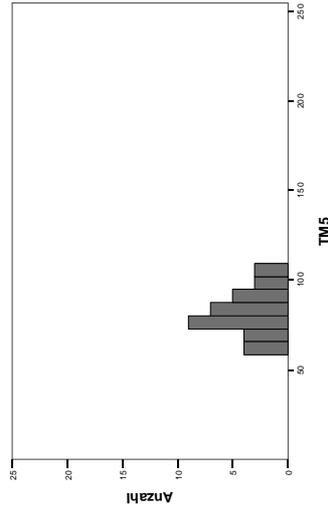
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



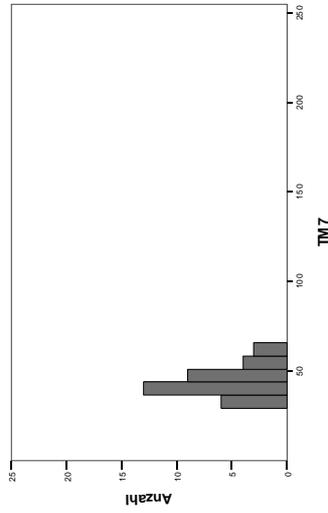
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



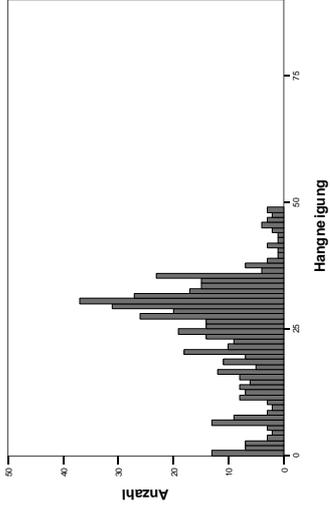
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



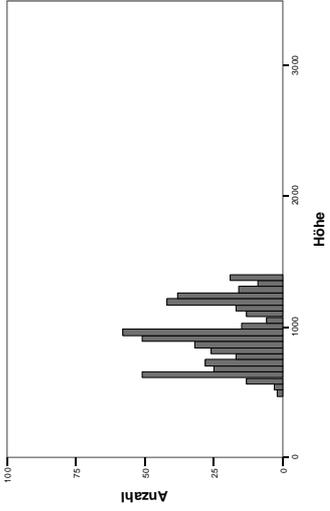
Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



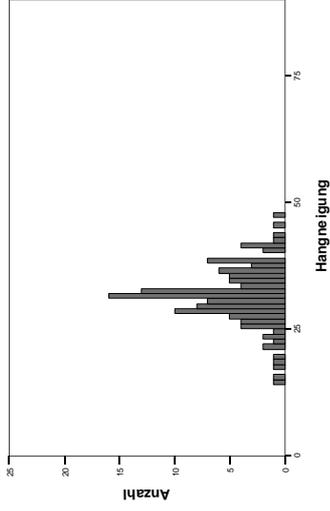
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



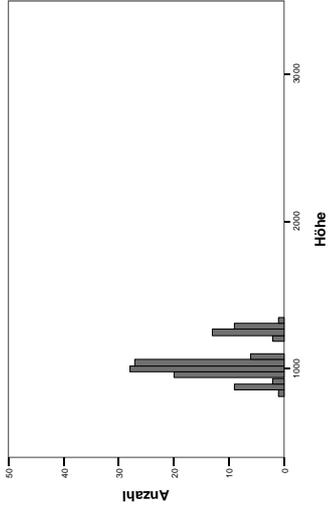
Verteilung der Klasse Laubwald dicht (331) Datensatz all



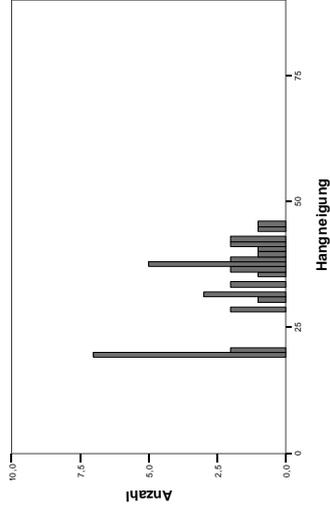
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



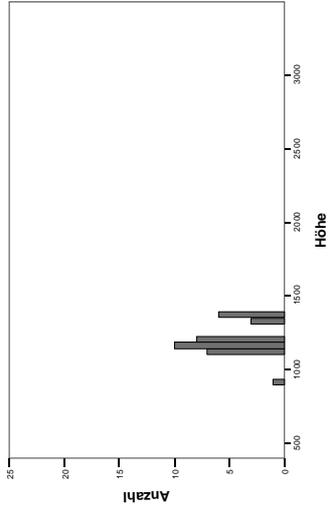
Verteilung der Klasse Laubwald licht (332) Datensatz all



Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



Verteilung der Klasse Laubwald sehr licht (333) Datensatz all



Anhang II, Fehlermatrix Landsat-Ost der Datensätze, mit Arealgrößenparameter (ALL, Kapitel 4.5.2.) und mit maximal 160 Pixel pro Klasse (Klassmax160, Kapitel 4.5.4.)

FEHLERMATRIX Datensatz "ALL" mit einer Gewichtung TM: 111111 topographisch: 0,5 0,5 0,5

k=5	Fels (11)	Schnee, Eis (12)	Wasser (20)	Latsche (34)	Grünerle (35)	Alpine Niederstrauchheide (36)	Acker (61)	Mähwiese (62)	Alpine Polsterrassen (63)	Almwiese (64)	Moor (65)	Versiegelte Fläche (70)	Wolke (80)	Schatten (81)	Fels mit Grün (111)	Nadelwald dicht (311)	Nadelwald schütter (312)	Nadelwald sehr schütter (313)	Mischwald dicht (321)	Mischwald schütter (322)	Laubwald dicht (331)	Laubwald schütter (332)	Laubwald sehr schütter (333)	Acker geerntet 1 (611)	Golfplatz (612)	Acker geerntet 2 (611)	Mähwiese mit Heuauflage (621)	Gesamt	Benutzer-Genauigkeit		
Fels	532	23	0	0	0	0	0	0	11	0	0	17	47	0	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	696	0,76		
Schnee, Eis	39	1533	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1637	0,94		
Wasser	0	46	480	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	549	0,87			
Latsche	0	0	0	172	1	62	0	11	73	4	0	0	0	0	1	52	58	61	0	0	0	0	0	0	0	0	495	0,35			
Grünerle	0	0	0	0	37	0	0	0	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0,64			
Alpine Niederstrauchheide	1	0	0	77	1	162	0	7	154	15	0	0	1	0	1	14	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	467	0,35			
Acker	0	0	0	0	0	543	198	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	18	0	0	0	1	0	0	764	0,71			
Mähwiese	0	0	0	10	3	5	140	459	9	49	1	0	0	0	0	0	9	3	0	48	1	0	0	2	0	5	744	0,62			
Alpine Polsterrassen	21	1	0	107	24	164	0	19	1266	396	0	0	0	0	107	7	10	15	0	0	0	0	0	0	2	2139	0,59				
Almwiese	0	0	0	0	5	20	0	72	351	521	0	0	0	0	13	0	2	20	8	0	3	7	9	0	0	10	1041	0,50			
Moor	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	146	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	152	0,96			
Versiegelte Fläche	25	0	18	0	0	0	5	0	0	0	0	484	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6	0	541	0,89			
Wolke	53	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	913	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	984	0,93			
Schatten	0	0	62	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	503	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	568	0,89			
Fels mir Grün	79	1	4	0	0	0	0	0	70	8	0	0	2	1	195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	360	0,54			
Nadelwald dicht	0	0	96	53	0	0	0	0	4	0	2	0	0	23	3	2657	221	15	81	0	15	0	0	0	0	1	3171	0,84			
Nadelwald schütter	0	0	0	57	0	16	0	0	7	1	0	0	0	0	4	184	206	95	28	1	14	2	2	0	0	0	617	0,33			
Nadelwald sehr schütter	0	0	0	87	0	36	0	3	15	7	0	0	0	0	0	8	104	98	8	8	3	0	7	0	0	0	384	0,26			
Mischwald dicht	0	0	0	0	0	0	1	8	0	13	0	0	0	0	3	59	38	5	498	4	177	54	0	0	0	1	861	0,58			
Mischwald schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	21	0	32	0	8	0	0	0	0	69	0,00			
Laubwald dicht	0	0	0	0	0	0	3	18	0	5	0	0	0	0	8	23	7	163	24	199	43	3	0	0	0	0	496	0,40			
Laubwald schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	34	0	19	11	6	0	0	0	73	0,15				
Laubwald sehr schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	1	8	0	2	2	0	0	0	0	0	0	19	0,00			
Acker geerntet 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	7	0,43			
Golfplatz	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	2	82	0,95			
Acker geerntet 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	86	0	118	0,73			
Mähwiese mit Heuauflage	22	3	0	0	0	0	0	4	2	11	0	9	0	0	5	0	0	1	0	2	0	0	15	2	0	844	920	0,92			
Gesamt	772	1618	710	563	71	465	694	800	1983	1034	149	559	982	540	408	2977	683	371	846	39	533	118	35	20	83	93	866	18012	0,92		
Produzentengenauigkeit	0,69	0,95	0,68	0,31	0,52	0,35	0,78	0,57	0,64	0,50	0,98	0,87	0,93	0,93	0,48	0,89	0,30	0,26	0,59	0,00	0,37	0,09	0,00	0,15	0,94	0,92	0,97				
Kappa = 0,676996	Overall Accuracy = 0,700977 +/- 0,00341142 Confidence Interval lower/upper_bound (90%) = 0,69526 / 0,706695																														

FEHLERMATRIX Datensatz "Klassmax160" mit einer Gewichtung TM: 111111 topographisch: 0,5 0,5 0,25

k=5	Fels (11)	Schnee, Eis (12)	Wasser (20)	Latsche (34)	Grünerle (35)	Alpine Niederstrauchheide (36)	Acker (61)	Mähwiese (62)	Alpine Polsterrassen (63)	Almwiese (64)	Moor (65)	Versiegelte Fläche (70)	Wolke (80)	Schatten (81)	Fels mit Grün (111)	Nadelwald dicht (311)	Nadelwald schütter (312)	Nadelwald sehr schütter (313)	Mischwald dicht (321)	Mischwald schütter (322)	Laubwald dicht (331)	Laubwald schütter (332)	Laubwald sehr schütter (333)	Acker geerntet 1 (611)	Golfplatz (612)	Acker geerntet 2 (611)	Mähwiese mit Heuauflage (621)	Gesamt	Benutzer-Genauigkeit
Fels	110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127	0,87
Schnee, Eis	1	157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0,99
Wasser	0	0	133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140	0,95
Latsche	0	0	0	53	0	25	0	0	7	0	0	0	0	0	1	18	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	129	0,41
Grünerle	0	0	0	0	59	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	0,87
Alpine Niederstrauchheide	0	0	0	35	1	76	0	0	28	4	0	0	0	0	1	0	4	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	0,47
Acker	0	0	0	0	0	109	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	163	0,67	
Mähwiese	0	0	0	0	0	0	48	86	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	1	0	0	2	0	0	154	0,56	
Alpine Polsterrassen	1	0	0	19	7	38	0	1	78	42	0	0	0	0	20	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	209	0,37	
Almwiese	1	0	0	1	8	0	11	34	93	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	2	8	0	0	0	0	164	0,57	
Moor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	143	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	147	0,97
Versiegelte Fläche	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	140	0,96	
Wolke	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162	0,98	
Schatten	1	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	174	0,85	
Fels mir Grün	30	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0,78
Nadelwald dicht	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	126	32	3	7	1	2	0	0	0	0	0	174	0,72	
Nadelwald schütter	0	0	0	19	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	60	37	6	0	5	0	1	0	0	0	151	0,40	
Nadelwald sehr schütter	0	0	0	30	0	8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	6	31	57	0	9	1	0	4	0	0	0	147	0,39	
Mischwald dicht	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	0	0	1	6	7	1	94	1	35	40	0	0	0	0	191	0,49	
Mischwald schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	19	0	13	0	0	0	0	0	38	0,00	
Laubwald dicht	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	4	4	24	23	65	34	2	0	0	0	0	160	0,41	
Laubwald schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	24	1	17	38	7	0	0	0	0	90	0,42	
Laubwald sehr schütter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	4	0	4	2	1	0	0	0	0	0	13	0,00	
Acker geerntet 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	3	12	0,67	
Golfplatz	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	4	83	0,94	
Acker geerntet 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	106	0,86	
Mähwiese mit Heuauflage	4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	10	2	0	226	249	0,91	
Gesamt	157	157	157	157	68	157	157	157	157	143	159	159	157	157	160	159	157	157	39	157	157	116	35	18	83	92	233	3662	
Produzentengenauigkeit	0,70	1,00	0,85	0,34	0,87	0,48	0,69	0,55																					

1

0 10 20 Kilometer

Maßstab 1:280.000

Landbedeckung von Tirol (Ostteil, UTM33)

alle Klassen

-Szene: LandsatETM+_p192r027_20000620
 -Referenzdaten: Landsat-Ost mit Arealgrößen (ALL)
 spektrale Gewichtung: TM1=1
 TM2=1
 TM3=1
 TM4=1
 TM5=1
 TM7=1
 -topographische Gewichtung: Hangneigung 0,5
 Beleuchtung 0,5
 Höhe 0,5
 -k=4

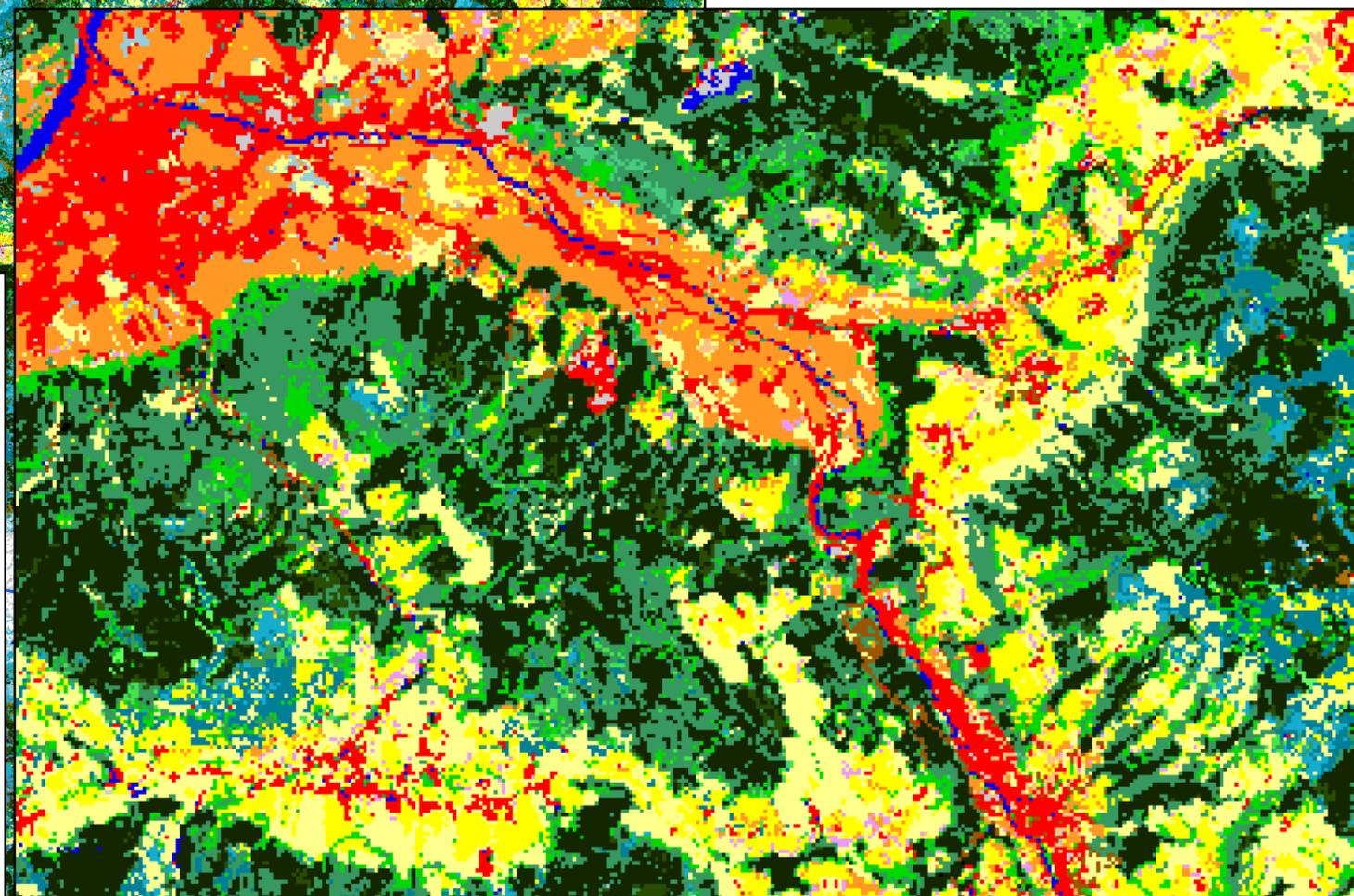
Detail

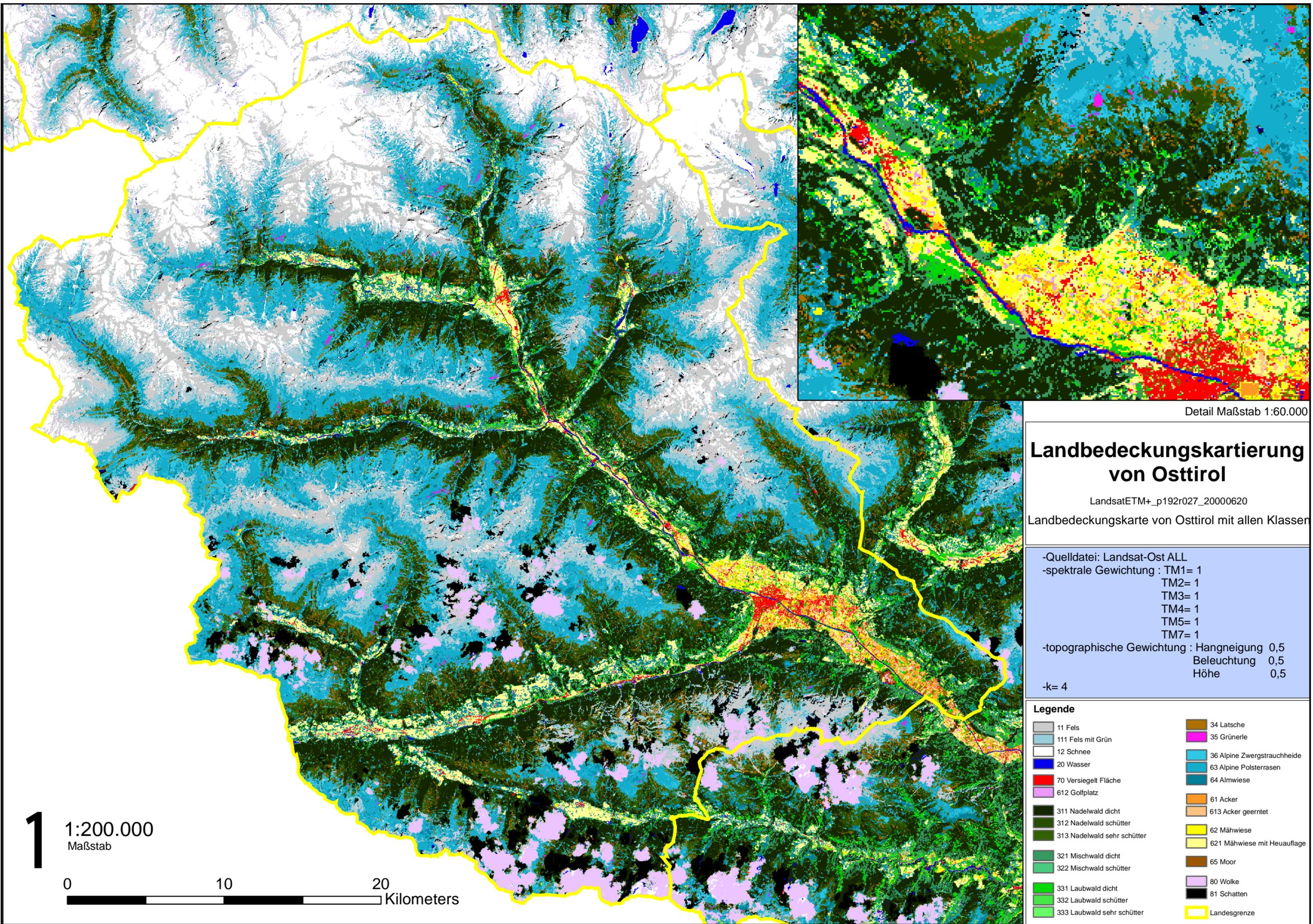
Maßstab 1:50.000

0 0,5 1 2 3 Kilometer

Legende

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 11 Fels | 34 Latsche |
| 111 Fels mit Grün | 35 Grünerle |
| 12 Schnee | 36 Alpine Zwergstrauchheide |
| 20 Gewässer | 63 Alpine Polsterrassen |
| 70 Versiegelt Fläche | 64 Almwiese |
| 612 Golfplatz | 61 Acker |
| 311 Nadelwald dicht | 613 Acker gemäht |
| 312 Nadelwald schütter | 62 Mähwiese |
| 313 Nadelwald sehr schütter | 621 Mähwiese gemäht |
| 321 Mischwald dicht | 65 Moor |
| 322 Mischwald schütter | 80 Wolke |
| 331 Laubwald dicht | 81 Schatten |
| 332 Laubwald schütter | Grenze Tirol |
| 333 Laubwald sehr schütter | |





Detail Maßstab 1:60.000

Landbedeckungskartierung von Osttirol

LandsatETM+_p192r027_20000620

Landbedeckungskarte von Osttirol mit allen Klassen

- Quelldatei: Landsat-Ost ALL
 - spektrale Gewichtung : TM1= 1
 TM2= 1
 TM3= 1
 TM4= 1
 TM5= 1
 TM7= 1
 - topographische Gewichtung : Hangneigung 0,5
 Beleuchtung 0,5
 Höhe 0,5
 -k= 4

Legende

11 Fels	34 Latsche
111 Fels mit Grün	35 Grünerle
12 Schnee	36 Alpine Zwergstrauchheide
20 Wasser	63 Alpine Polsterrasen
70 Versiegelt Fläche	64 Almweide
612 Golfplatz	61 Acker
311 Nadelwald dicht	613 Acker geerntet
312 Nadelwald schütter	62 Mähwiese
313 Nadelwald sehr schütter	621 Mähwiese mit Heuauflage
321 Mischwald dicht	65 Moor
322 Mischwald schütter	80 Wolke
331 Laubwald dicht	81 Schatten
332 Laubwald schütter	Landesgrenze
333 Laubwald sehr schütter	

1 1:200.000
Maßstab

0 10 20 Kilometers