

**UNIGIS**

## Master Thesis

im Rahmen des Universitätslehrganges  
**"Geographical Information Science & Systems" (UNIGIS MSc)**  
am interfakultären Fachbereich für Geoinformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

# "Monitoring von Veränderungen der Vegetationsdecke in den Einzugsgebieten der Wiener Hochquellenleitungen"

vorgelegt von

**Jakob Hagenauer BSc.**

103405, UNIGIS MSc Jahrgang 2014

Zur Erlangung des Grades  
"Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)"

Gutachterin  
DI Dr. Tatjana Koukal

Wien, den 25. April 2017

## **Danksagung**

An erster Stelle möchte ich meiner Betreuerin DI Dr. Tatjana Koukal herzlichst für Ihre erneute großartige Unterstützung während der gesamten Arbeit danken. Sie begleitet mich auf meinem Studienweg nun bereits über Jahre (und Ländergrenzen) hinweg. Vielen Dank für ihre Geduld, die immerwährende Motivation und die unzähligen Stunden, die sie in meine Arbeit investiert hat. Ohne Sie würde die Arbeit in dieser Form nicht vorliegen.

Außerdem möchte ich DI Karin Fasching-Frauenfeld MAS(GIS) und DI Werner Fleck für die Ermöglichung des Projekts danken. Sie haben mich während des gesamten Projekts mit ihren Anregungen und ihrem Wissen unterstützt.

Mein Dank geht auch an Ass.Prof. DI Dr. Reinfried Mansberger und DI Gerald Lindner, die mich besonders während der Orientierung der historischen Luftbilder tatkräftig unterstützt haben.

Mein Dank gebührt auch dem gesamten UNIGIS-Team, besonders Ao. Univ. Prof. Josef Strobl, Dr. Gudrun Wallentin und MMag. Stefan Prüller, für die hervorragende Betreuung während des Studiums.

Ein besonderer Dank gilt auch meiner Freundin Claudia Rubey für ihre seelische Unterstützung und die vielen Korrekturen meiner Arbeit.

Zuletzt möchte ich meiner Mutter Ingrid Krieger, meiner Schwester Mag. Judith Krieger und meinem Großvater Josef Hagenauer für Ihre herzliche Unterstützung und Geduld während meines gesamten Studiums danken.

## **Eidesstattliche Erklärung zur selbstständigen Verfassung der Masterarbeit**

Hiermit erkläre ich, Hagenauer Jakob, geboren am 23.04.1990 in St. Pölten, dass die vorgelegte Masterarbeit mit dem Titel „Monitoring von Veränderungen der Vegetationsdecke in den Einzugsgebieten der Wiener Hochquellenleitungen“ durch mich selbstständig verfasst wurde. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen sowie Hilfsmittel benutzt.

Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht in derselben oder einer ähnlichen Fassung an einer anderen Fakultät oder einem anderen Fachbereich zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Wien, am 25.04.2017

### **Anmerkung zu gendergerechter Formulierung**

Bei allen sich auf Personen beziehenden Bezeichnungen betrifft die Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der besseren Lesbarkeit die männliche Form gewählt wurde.

## Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit behandelt die Entwicklung eines einfachen sowie kostengünstigen, auf Fernerkundungsdaten (Digitale Orthofotos) basierenden Monitoringsystems zur Beobachtung von Veränderung der Vegetationsdecke in den Quellschutzwäldern des Forst- und Landwirtschaftsbetriebs der Stadt Wien (MA 49). Die quellschutzrelevanten Parameter zur Beschreibung der Vegetationsdecke werden durch Luftbildinterpretation in Kombination mit einem stichprobenbasierten Ansatz erhoben. Das Monitoringsystem ist so konzipiert, dass durch regelmäßige, standardisierte Wiederholungsaufnahmen Veränderungen der Vegetation (sowohl Degradationsprozesse als auch Zunahme der Vegetationsbedeckung) festgestellt und analysiert werden können. Ziel der Erhebung ist die Gewinnung von Informationen über die wichtigsten quellschutzrelevanten Landbedeckungsarten, mit den Hauptkategorien Wald, Latsche, Alm / Alpiner Rasen, Fels und Schutt, sowie deren Veränderung im zeitlichen Verlauf. Zu diesem Zweck wurde ein geeignetes Stichprobendesign gewählt und ein umfassender Interpretationsschlüssel entwickelt. Die entwickelte Methodik wurde auf Bilddaten von zwei Befliegungsjahrgängen angewendet, einen historischen Datensatz aus den 1960-er Jahren und einen aktuellen Datensatz aus dem Jahr 2009. Die gewonnenen Daten der beiden Jahrgänge wurden eingehend miteinander verglichen und die festgestellten Veränderungen analysiert.

## Abstract

The purpose of the present master thesis is the development of a simple and cost-effective monitoring system based on remote sensing data (Digital Orthofotos) for monitoring the change of the vegetation cover in the spring protection forests of the Municipal Department 49 (Forestry Office and Urban Agriculture) of the city of Vienna. The parameters relevant to the swelling protection of the vegetation cover are determined by aerial image interpretation in combination with a sampling-based approach. The monitoring system is designed in such a way that it is possible to identify and analyze changes in vegetation (both degradation processes and increase in vegetation cover) through regular, standardized repetitions. The purpose of the survey is to obtain information about the most important sources of land cover, with the main categories forest, creeping pine, alpine pasture, rock and debris, as well as their change over time. For this purpose a suitable sample test design was selected and a comprehensive interpretation key was developed. The developed methodology was applied to image data of two flight years, a historical data set from the 1960s and a current data record from the year 2009. The data of the two interpreted years is analyzed and compared. The changes to the land cover category are discussed in detail.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagung .....	2
Eidesstattliche Erklärung zur selbstständigen Verfassung der Masterarbeit .....	2
Zusammenfassung.....	3
Abstract .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	4
Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis .....	9
1 Einleitung.....	10
1.1 Trinkwasserversorgung von Wien .....	10
1.2 Forstliche Bewirtschaftung in den Wiener Quellschutzwäldern.....	11
1.3 Zielsetzung / Aufgabenstellung .....	12
2 Daten .....	13
2.1 Untersuchungsgebiet .....	13
2.2 Bilddaten .....	16
2.2.1 Luftbilder 1963/64.....	16
2.2.2 Orthofoto 2009.....	21
2.3 Digitales Geländemodell .....	22
2.4 Thematische Karten.....	22
2.4.1 Forstkarte .....	22
2.4.2 Hydrotypen .....	22
3 Methodik .....	23
3.1 Monitoring-Konzept .....	23
3.2 Visuelle Bildinterpretation .....	25
3.2.1 Phasen der Bildinterpretation .....	25
3.2.2 Interpretationsschlüssel .....	26
3.2.3 Praktische Umsetzung .....	28
3.3 Stichprobenverfahren .....	30
3.3.1 Stichprobenumfang.....	30
3.3.2 Statistische Einheiten .....	32
3.3.3 Praktische Umsetzung .....	34
3.4 Interpretationsschlüssel .....	36
3.4.1 Allgemeines .....	36
3.4.2 Gültigkeitsbereich.....	37
3.4.3 Attribute .....	38

3.4.4	Testinterpretation .....	46
3.5	Datenmanagement/-organisation.....	47
3.5.1	Räumliche Datenbanken .....	47
3.5.2	GIS-Plattform / Interpretationsumgebung.....	51
3.6	Statistische Auswertung.....	56
3.6.1	Aufbereitung der Daten.....	56
3.6.2	Deskriptive Statistik.....	60
3.6.3	Bivariate Datenanalyse.....	60
3.6.4	Logistische Regressionsanalyse .....	64
3.6.5	Clusteranalyse .....	66
3.7	Software .....	68
3.7.1	ESRI - ArcGIS .....	68
3.7.2	Safe – FME .....	69
3.7.3	Hexagon-Geospatial - ERDAS IMAGINE.....	69
3.7.4	Circos .....	69
3.7.5	IBM SPSS Statistics.....	70
4	Ergebnisse.....	71
4.1	Testinterpretation .....	71
4.2	Interpretationshandbuch .....	74
4.3	Quantitative Beschreibung der Landbedeckung 1963/64 und 2009 und der Veränderungen 75	
4.3.1	Interpretationsbedingungen .....	75
4.3.2	Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen .....	76
4.3.3	Kategorie .....	77
4.3.4	Bemerkungen zur Kategorie Sonstiges.....	80
4.3.5	Teilung der Stichprobenfläche .....	81
4.3.6	Exposition .....	82
4.3.7	Neigung.....	85
4.3.8	Seehöhe.....	87
4.3.9	Hydrotypen .....	93
4.3.10	Analyse von Veränderungsströmen .....	98
4.4	Bivariate Datenanalyse.....	103
4.4.1	G-Test und Z-Test .....	103
4.4.2	Zusammenhangmaße Kreuztabellen.....	112
4.5	Logistische Regressionsanalyse .....	116

4.6	Clusteranalyse .....	121
5	Diskussion und Schlussfolgerungen .....	125
6	Literaturverzeichnis.....	129
7	Anhang.....	132
7.1	Testinterpretation: visuelle Auswertung der Kategorie.....	132
7.2	Ablaufdiagramm .....	133
7.3	Domaintabelle .....	134
7.4	Digitaler Anhang.....	137
7.4.1	Gesamte deskriptive Auswertung .....	137
7.4.2	Interpretationshandbuch .....	140
7.4.3	Interpretationsumgebung .....	140
7.4.4	Geodatenbank .....	140
7.4.5	FME-Workbench Prozesse zur deskriptiven Auswertung .....	140

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (Forstverwaltung Hirschwang in grün, Naßwald in blau, Grundkarte: basemap.at) .....	13
Abbildung 2: Verteilung des Untersuchungsgebiets auf die forstlichen Wuchsgebiete .....	14
Abbildung 3: Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet .....	15
Abbildung 4: Unterschiede im Schattenwurf zwischen zwei Flugstreifen (oben: Flugstreifen 003a, unten: Flugstreifen 0004) und daraus resultierende Probleme beim Verknüpfen von Flugstreifen durch automatisch gesetzte Verknüpfungspunkte .....	17
Abbildung 5: Block 1 – Footprints des Luftbildflugs 1963 mit Verteilung der Passpunkte .....	18
Abbildung 6: Block 2 – Footprints des Luftbildflugs 1964 mit Verteilung der Passpunkte .....	19
Abbildung 7: Orthofotomosaik Block 1 .....	19
Abbildung 8: Orthofotomosaik Block 2 .....	20
Abbildung 9: Orthofotomosaik des gesamten Untersuchungsgebiets .....	20
Abbildung 10: Phasen der Bildinterpretation nach Albertz (2009) .....	25
Abbildung 11: Geländevorerkundung vom 12.11.2014 (gelb strichlierte Linie) .....	28
Abbildung 12: Stichprobengröße bzw. Punktabstand für eine gegebene Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ und einen gegebenen Abstand zum wahren Wert $d$ .....	31
Abbildung 13: Konzept der Betrachtung von Landbedeckungseinheiten .....	32
Abbildung 14: Stichprobendesign .....	34
Abbildung 15: Untersuchungsgebiet mit Trainingspunkten .....	46
Abbildung 16: Symbologie des Stichprobenpunkts, der Stichprobenfläche (durchgezogene Linie) und des Referenzkreises (unterbrochene Linie) .....	55
Abbildung 17: Stichprobenpunkt mit eingezeichneter Flächenabgrenzung .....	55
Abbildung 18: Stichprobenpunkt mit anhand der Flächenabgrenzung geteilter Stichprobenfläche ...	55
Abbildung 19: Symbologie einer geteilten und fertig interpretierten Stichprobenfläche .....	55
Abbildung 20: Neigungsraaster mit Stichprobenflächen (1:5.000) .....	57
Abbildung 21: Expositionsraaster mit Stichprobenflächen (1:5.000) .....	57
Abbildung 22: Aggregation und Auswertung der Daten mit FME Workbench .....	58
Abbildung 23: Klassifikation der Änderungen 1963/64 - 2009 .....	59
Abbildung 24: Z-Prüfverteilung .....	66
Abbildung 25: Visuelle Auswertung der Testinterpretation (Ausschnitt) .....	71
Abbildung 26: Legende der Testinterpretation .....	71
Abbildung 27: Auswertung der Interpretationsbedingungen .....	75
Abbildung 28: Auswertung der Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen (ab der Bewertung „mittel“) .....	76
Abbildung 29: Verteilung der Kategorie 1963/64 in Prozent (N = 2.727) .....	77
Abbildung 30: Verteilung der Kategorie 2009 in Prozent (N = 2.886) .....	77
Abbildung 31: Veränderungen je Kategorie .....	78
Abbildung 32: Relative Änderung der Kategorie Wald .....	78
Abbildung 33: Änderung je Kategorie im Untersuchungszeitraum (in Hektar) .....	79
Abbildung 34: Aufteilung der veränderten Punkte auf die Veränderungsklassen „positiv“, „ambivalent“ und „negativ“ .....	79
Abbildung 35: Auswertung der Bemerkung zur Kategorie Sonstige .....	80
Abbildung 36: Teilung der Stichprobenfläche .....	81
Abbildung 37: Exposition – Verteilung in 8 Sektoren (absolut) .....	82
Abbildung 38: Expositionsverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009 .....	82

Abbildung 39: Expositionsverteilung der veränderten Stichprobenpunkte .....	82
Abbildung 40: Expositionsverteilung der veränderten Punkte mit Veränderungsklassifikation (Datenbeschriftungen zeigen den Anteil der Veränderungskategorie je Expositions-kategorie in Prozent) .....	83
Abbildung 41: Anteil je Veränderungskategorie und Expositions-kategorie in Prozent .....	84
Abbildung 42: Ab- bzw. Zugang von bzw. zur Kategorie <i>Alm / Alpiner Rasen</i> in Abhängigkeit von der Exposition .....	84
Abbildung 43: Neigungsverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009 .....	85
Abbildung 44: Anzahl der veränderten Stichprobenpunkte je Veränderungskategorie und Neigungsklasse .....	85
Abbildung 45: Anteil je Veränderungskategorie und Neigungskategorie .....	86
Abbildung 46: Höhenverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009 .....	87
Abbildung 47: Höhenverteilung der veränderten Stichprobenpunkte .....	87
Abbildung 48: Anteil je Höhenstufe je Kategorie 1963/64 .....	88
Abbildung 49: Anteil je Höhenstufe je Kategorie 2009 .....	88
Abbildung 50: Anteil der Änderungen je Höhenstufe je Kategorie (gesamt und getrennt nach Veränderungskategorie).....	89
Abbildung 51: Auswertung der Kategorie nach 200 m Höhenstufen ohne Wald .....	90
Abbildung 52: Höhenauswertung der Kategorien Wald, Latsche und Alm / Alpiner Rasen 1963/64 ..	91
Abbildung 53: Höhenauswertung der Kategorien Wald, Latsche und Alm / Alpiner Rasen 2009 .....	92
Abbildung 54: Anteil der Stichprobenpunkte je Standortseinheit .....	94
Abbildung 55: Verteilung des Bodentyps der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009 .....	95
Abbildung 56: Bodentyp der veränderten Stichprobenpunkte.....	95
Abbildung 57: Wasserhaushalt der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009.....	96
Abbildung 58: Wasserhaushalt der veränderten Stichprobenpunkte .....	96
Abbildung 59: Wasserhaushalt der veränderten Stichprobenpunkte mit Veränderungskategorie .....	97
Abbildung 60: Veränderungsströme der Kategorie in Hektar.....	98
Abbildung 61: Veränderungsströme für die Kategorie Latsche .....	99
Abbildung 62: Veränderungsströme für die Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m (Hektar) .....	101
Abbildung 63: Verteilung der Kategorie 1963/64 je Kategorie und Jahr .....	104
Abbildung 64: Verteilung der Veränderung je Kategorie und Jahr .....	105
Abbildung 65: Verteilung der Höhenstufen je Kategorie und Jahr .....	106
Abbildung 66: Verteilung der Kreisteilung je Kategorie und Jahr .....	107
Abbildung 68: Verteilung der Kategorie 1963/64 je Kreisteilung und Jahr.....	109
Abbildung 69: Verteilung der Veränderung der Kategorie je Kreisteilung und Jahr .....	110
Abbildung 70: Verteilung der Höhe des Stichprobenpunktes je Kreisteilung und Jahr .....	111

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klimamittelwerte 1981 - 2010 .....	15
Tabelle 2: Befliegungsparameter 1963 und 1964 .....	16
Tabelle 3: Stichprobengröße zum gleichzeitigen Schätzen mehrerer Populationsanteile (nach Thompson 1992).....	30
Tabelle 4: Luftbildmerkmale verschiedener Übershirmungsstufen der Kategorie "Wald" (nach Ahrens 2001) .....	43
Tabelle 5: Merkmalscodierung 1.....	48
Tabelle 6: Merkmalscodierung 2.....	49
Tabelle 7: Merkmalscodierung 3.....	50
Tabelle 8: Übersicht der analysierten Variablen .....	58
Tabelle 9: Beispiel einer Kontingenztafel mit absoluten Werten .....	61
Tabelle 10: Interpretation von Zusammenhangsmaßen (nach Fernuni-Hagen, 2017).....	63
Tabelle 11: Zusammenfassung der Fallverarbeitung .....	64
Tabelle 12: Codierung der abhängigen Variablen .....	64
Tabelle 13: Parameter der Logistischen Regression.....	65
Tabelle 14: Parameter der Average-Nearest-Neighbor Analyse.....	66
Tabelle 15: Auswertung der Testinterpretation.....	72
Tabelle 16: Kennzahlen der Höhenverteilung des Untersuchungsgebiets .....	87
Tabelle 17: Zeichenerklärung der „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse .....	121
Tabelle 18: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse des gesamten Punktdatensatzes.....	121
Tabelle 19: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Wald .....	122
Tabelle 20: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Latsche.....	122
Tabelle 21: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Alm / Alpiner Rasen.....	123
Tabelle 22: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Fels .....	124
Tabelle 23: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Schutt .....	124
Tabelle 24: Domains der Interpretationsdatenbank I.....	134
Tabelle 25: Domains der Interpretationsdatenbank II.....	135
Tabelle 26: Domains der Interpretationsdatenbank III.....	136

# 1 Einleitung

## 1.1 Trinkwasserversorgung von Wien

Die Wasserversorgung der Stadt Wien hat eine sehr lange Tradition, die bis auf die Zeit der Römer zurückreicht. Bereits damals wurde Vindobona über zwei Wasserleitungen aus dem Gebiet von Gumpoldskirchen und Perchtoldsdorf versorgt. Nach dem Verfall der römischen Wasserleitungen im Laufe des Mittelalters, wurde der Wasserbedarf der Stadt vorwiegend aus Haus- und Schöpfbrunnen gedeckt. Die erste geschichtlich belegte Wasserleitung, die „Siebenbrunner Hofwasserleitung“, wurde bereits 1553 erbaut. Sie versorgte das Theresianum, die Hofburg sowie mehrere Stadthäuser. (Stadler, 1873) Im Laufe der Jahre wurden 18 kleinere Wasserleitungen, darunter die Albertinische Wasserleitung (errichtet 1804), die Hernalser Wasserleitung (errichtet 1565), sowie die K. K. Hof-Wasserleitungen errichtet. Durch die stark wachsende Bevölkerung kam es trotz der zahlreichen Brunnen (etwa 9.400 Haus- und 10.000 Schöpfbrunnen im Jahr 1861) immer wieder zu Wasserknappheiten. Im 18. Jahrhundert prägten „Wasserfrau“ und „Wassermann“ das städtische Bild. Sie fuhren mit Pferdewagen durch Wien und verkauften Trinkwasser. (Wiener Wasser, 2017)

Nach der ersten Cholera-Epidemie 1830 wurde 1835 von Kaiser Ferdinand I. der Entschluss zum Bau der gleichnamigen Wasserleitung gefasst. Diese lieferte filtriertes Donauwasser mittels dampfbetriebener Pumpen nach Wien. Als jedoch auch diese Wasserleitung den steigenden Bedürfnissen der Wiener Bevölkerung nicht mehr gerecht werden konnte und es zur Häufung von Typhus und Cholera-Fällen kam, wurde der Bau eines neuen Wasserversorgungssystems in der Wiener Zeitung ausgeschrieben. Diese Ausschreibung gewannen der Wiener Geologe Eduard Suess und der Zivilingenieur Karl Junker, deren Pläne am 12. Juli 1864 durch den Wiener Gemeinderat angenommen und damit deren Bau beschlossen wurde. Bereits 1870 wurde nach langen Vorbereitungen mit dem Bau begonnen, der bereits drei Jahre später abgeschlossen werden konnte (Stadler, 1873). Das Wasser aus dem Rax- und Schneeberggebiet erreichte am 1. September 1873 erstmals die Stadt Wien. Im Rahmen der Weltausstellung wurde am 24. Oktober 1873 die I. Wiener Hochquellenleitung mit der Inbetriebnahme des Hochstrahlbrunnens am Schwarzenbergplatz durch Kaiser Franz Joseph I. feierlich der Bevölkerung übergeben. (Drenning, 1973)

Nach der Schleifung der Linienwälle im Jahr 1890/91 und der Eingemeindung der Vororte stieg die Bevölkerung Wiens auf über 1,3 Millionen Menschen. Auch die intensive Erweiterung der I. Wiener Hochquellenleitung (bis 1910) konnte den steigenden Bedarf nicht decken. Am 13. Jänner 1893 beauftragte der Gemeinderat daher das Stadtbauamt per Beschluss, neue Quellgebiete zu suchen. Daraufhin wurden mehrere Gebiete auf Eignung untersucht, darunter die Quellgebiete der Traisen, der Erlauf und der Ybbs. Außerdem wurden Quellen im Gesäuse und im Salztal untersucht. Lediglich das Salztal wies die für eine ganzjährig gesicherte Wasserversorgung nötigen Winterminima auf. Daraufhin erfolgte die Projektierung, welche durch den Gemeinderat am 27. März 1900 genehmigt und in Auftrag gegeben wurde. Am 7. Dezember 1901 begann der Stollenvortrieb des ersten Wasserstollens und damit der Bau der II. Wiener Hochquellenleitung. Die Fertigstellung war ursprünglich für 1911 geplant, jedoch wurde der Bau nach einer Wasserknappheit 1908 beschleunigt. Am 2. Dezember 1910 wurde die II. Wiener Hochquellenwasserleitung von Kaiser Franz Joseph I. eröffnet. (Drenning, 1988)

## 1.2 Forstliche Bewirtschaftung in den Wiener Quellschutzwäldern

Die forstliche Bewirtschaftung in den Einzugsgebieten der I. und II. Wiener Hochquellenleitung wurde durch die besondere Nähe zur Stadt Wien geprägt. Georg Hubmer begann im Naßtal bereits im Jahr 1779 mit der Bringung von Kohlholz für das Eisenwerk in Reichenau an der Rax. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Brennholz in Wien und dem Umland wurde im Jahr 1805 ein Vertrag über die jährliche Bringung von 34.000 m<sup>3</sup> Holz mit anschließender Trift nach Wiener Neustadt und Wien zwischen dem Sohn von Graf Hoyos und Georg Hubmer geschlossen. In den folgenden Jahren fanden sehr großflächige Nutzungen dieser Gebiete statt. Die durch Saat aufgeforsteten Kahlschläge sind noch heute anhand homogener, großflächiger Bestände sichtbar. (Otruba, 1972)

Die Stadt Wien besitzt heute eine Fläche von rund 33.000 Hektar in den Einzugsgebieten der I. und II. Wiener Hochquellenleitung im Rax-, Schneeberg- und Hochschwabmassiv. Zur Sicherung der Trinkwasserqualität sind in weiten Teilen Wasserschutz- und Wasserschongebiete eingerichtet. Neben der Forstwirtschaft, der ein besonderer Stellenwert beim Erhalt und der Pflege der Quellschutzwälder zukommt, sind auch andere Landnutzungsformen wie Jagd, Fischerei oder Tourismus eng auf die speziellen Anforderungen des Quellschutzes abgestimmt. (Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien, 2017)

Rund die Hälfte der Flächen ist mit Ertragswald bestockt. Diese Bergwälder sind mit anderen Landbedeckungsarten wie unzugänglichem Schutzwald außer Ertrag, Latschen, Almen, alpinem Rasen und Gestein verzahnt. Während über den Ertragswald detaillierte Informationen aus regelmäßig durchgeführten Inventuren vorliegen, gibt es in den übrigen Bereichen der Einzugsgebiete keine ausreichenden Informationen über die Landbedeckung und etwaige den Quellschutz beeinflussenden Veränderungen, da Begehungen und detaillierte Kartierungen sehr kostenintensiv wären.

### 1.3 Zielsetzung / Aufgabenstellung

Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist die Entwicklung eines einfachen sowie kostengünstigen, auf Fernerkundungsdaten (Orthofotos) basierenden Monitoringsystems. Das Monitoringsystem soll so konzipiert sein, dass durch regelmäßige, standardisierte Wiederholungsaufnahmen Veränderungen der Landbedeckung (sowohl Degradationsprozesse als auch Zunahme der Vegetationsdecke) festgestellt und analysiert werden können.

Ziel der Erhebung ist die Gewinnung von Informationen über die wichtigsten quellschutzrelevanten Landbedeckungsarten mit den Hauptkategorien Wald, Latsche, Alm / Alpiner Rasen, Fels und Schutt, sowie deren Veränderung. Darüber hinaus werden zusätzliche Merkmale erfasst, wie z.B. Laubholzanteil, Überschildung, Anteil an offenem Boden usw., um detailliertere Aussagen über stattfindende Prozesse zu ermöglichen. Befundeinheiten, für welche mit Hilfe des zu entwickelnden Monitoringsystems Aussagen getroffen werden sollen, sind das Einzugsgebiet der I. (Forstverwaltung Hirschwang, Forstverwaltung Naßwald) und das Einzugsgebiet der II. Hochquellenleitung (Forstverwaltung Wildalpen), wobei in der vorliegenden Masterarbeit nur das Einzugsgebiet der I. Hochquellenleitung bearbeitet wurde.

Die Aufnahmen sollen künftig auf Basis von aktuellen Bilddaten im Abstand von ca. 10 Jahren wiederholt werden.

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse sollen Fragen zu quellschutzrelevanten Veränderungen der Landbedeckung beantwortet werden, wie z.B.:

- Wie hat sich die Landbedeckung im Untersuchungszeitraum geändert?
- Wächst Wald zu oder geht Waldfläche verloren?
- Bestehen Abhängigkeiten der festgestellten Veränderungen mit Exposition, Neigung oder Seehöhe?
- Hat im Übergangsbereich Wald/Latsche eine Ausdunkelung der Latsche stattgefunden?

Die vorliegende Masterarbeit umfasst

- die Entwicklung eines Monitoring-Konzepts (inkl. Bildauswerteverfahren),
- die Anwendung dieses Verfahrens exemplarisch auf Bilddaten von zwei Befliegungszeitpunkten (1963/64 und 2009),
- die Auswertung und Analyse von Veränderungen im Untersuchungszeitraum 1963/64 bis 2009.

## 2 Daten

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über die Forstverwaltungen Hirschwang und Naßwald der Abteilung 49 - Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien.

Die Forstverwaltung Naßwald befindet sich zur Gänze im Bundesland Niederösterreich und umfasst eine Fläche von etwa 8.000 Hektar. Die Grenze zum südlichen Teil des Untersuchungsgebiets - der Forstverwaltung Hirschwang - verläuft von der Naßklamm im Westen über das Gamseck, den grünen Sattel und südlich an der Scheibwaldhöhe vorbei durch das große Höllental bis zur Salza. Von dort aus verläuft die Grenze entlang des Sattels vom Schwarzkogel, über Krenkenkogel und Turmstein zum Hochschneeberg (siehe Abbildung 1).

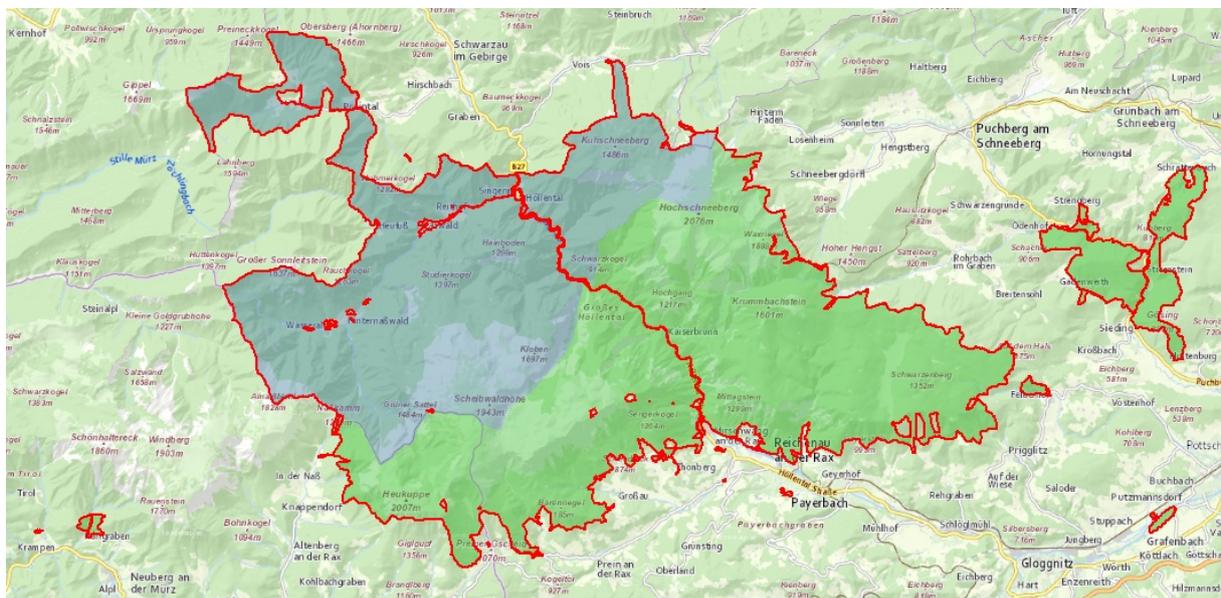


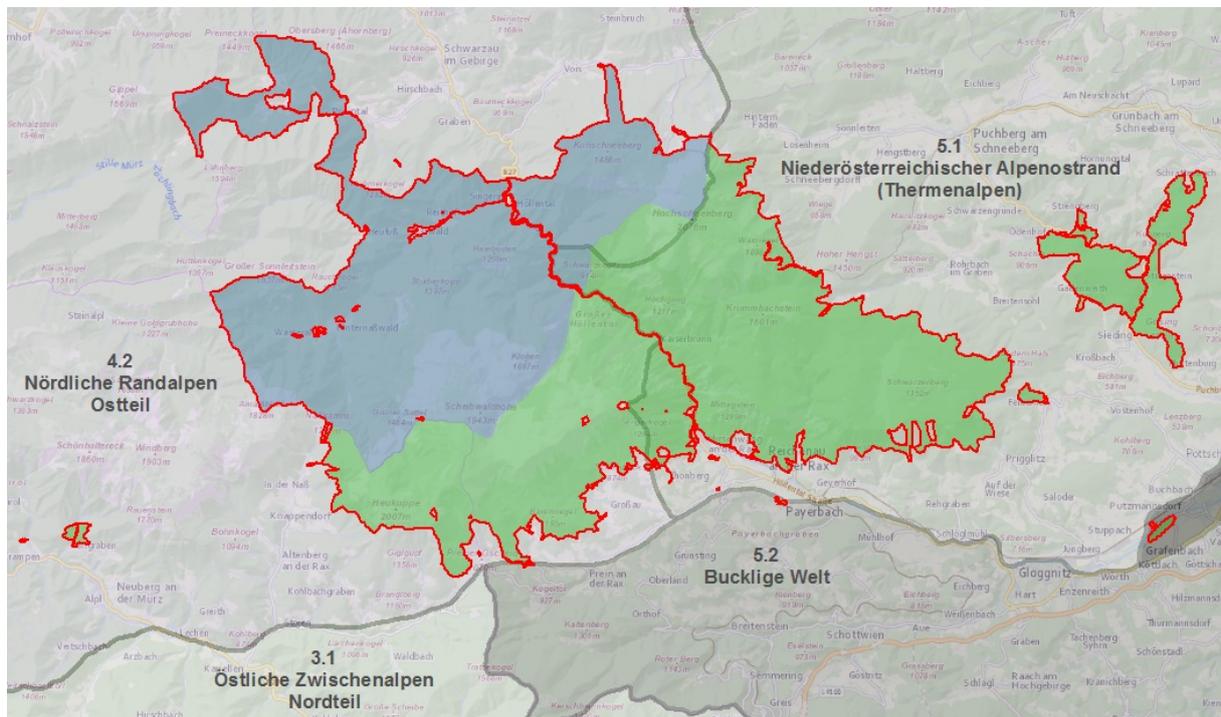
Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (Forstverwaltung Hirschwang in grün, Naßwald in blau, Grundkarte: basemap.at)

Die Forstverwaltung Hirschwang umfasst eine Fläche von etwa 10.400 Hektar. Davon liegen ca. 9.200 Hektar in Niederösterreich und etwa 1.200 Hektar entfallen auf das Bundesland Steiermark.

In Summe umfasst das Untersuchungsgebiet somit etwa 18.400 Hektar. Die Seehöhe des Untersuchungsgebiets erstreckt sich von knapp 500 bis 2000 m. Die höchste Erhebung des Untersuchungsgebiets bildet das Klosterwappen am Hochschneeberg mit 2076 m, welches gleichzeitig der höchste Punkt des gesamten Bundeslandes Niederösterreich ist.

Der überwiegende Teil der Forstverwaltung Naßwald liegt im forstlichen Wuchsgebiet 4.2 (Nördliche Randalpen – Ostteil), lediglich ein kleiner Teil von etwa 125 Hektar liegt im Wuchsgebiet 5.1 Niederösterreichischer Alpenostrand (Thermalalpen). Die Forstverwaltung Hirschwang verteilt sich mit etwa 3.900 Hektar bzw. 6.500 Hektar auf die beiden genannten forstlichen Wuchsgebiete 4.2 und 5.1 (siehe Abbildung 2). Das Untersuchungsgebiet liegt damit im Übergangsbereich von alpinem Randalpenklima und Alpenostrandklima und ist durch ein deutliches Niederschlagsmaximum im Juli gekennzeichnet. Die Winterniederschläge sind eher gering (siehe auch Abbildung 3: Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet). Das Grundgestein wird fast ausschließlich durch Kalk und Dolomit gebildet. Darauf gründen vorwiegend Kalkböden wie z.B. Rendsina, Braunlehm-Rendsina und Kalkbraunlehm sowie deren Übergangsformen. „Das Hochgebirge besteht fast

ausschließlich aus Kalk und Dolomit. Es weist ausgedehnte Karsthochflächen (Altlandschaften) mit steilen Felsflanken, tief eingeschnittenen Tälern und Schluchten auf.“ (Kilian, Müller, & Starlinger, 1994).



**Abbildung 2: Verteilung des Untersuchungsgebiets auf die forstlichen Wuchsgebiete**

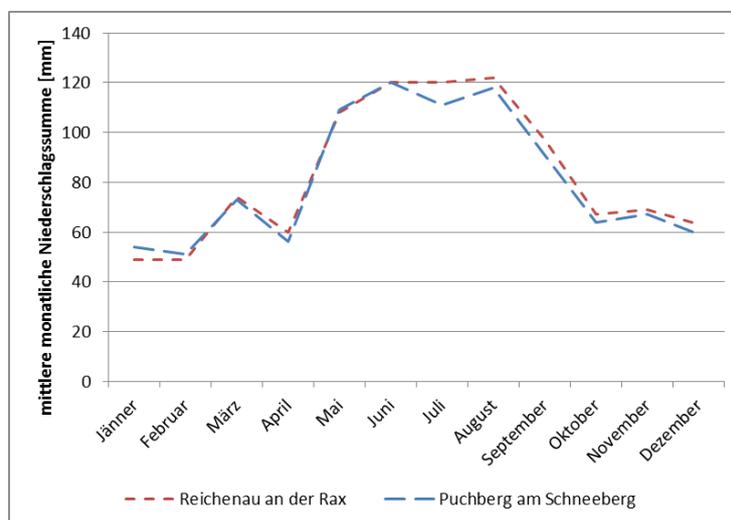
Die natürlichen Waldgesellschaften im Untersuchungsgebiet bilden Buchenwälder in den tieferen sub- und tiefmontanen Lagen, sowie Fichten-Tannen-Buchenwälder in mittel- und hochmontanen Lagen. (Kilian, Müller, & Starlinger, 1994) Durch den historisch starken anthropogenen Einfluss (großflächige Kahlschläge) wurde die natürliche Baumartenzusammensetzung beeinflusst und Bestände zu Gunsten der Fichte entmischt. Die Hauptbaumarten sind heute vor allem Fichte, Tanne und Buche sowie in höheren Lagen auch die Lärche. (Magistratsabteilung 49, 2016)

Durch die Lage der Forstverwaltungen Hirschwang und Naßwald innerhalb des Quellenschutzgebietes ist die forstliche Bewirtschaftungsform weitestgehend vorgegeben. Ökologischen Aspekten wird Vorrang gegenüber ökonomischen Zielen eingeräumt. Ziel der Magistratsabteilung 49 ist in erster Linie „die Schaffung und Erhaltung eines optimalen Bodenzustands und eines zweckentsprechenden Waldaufbaus zum Schutz des Rohstoffs und Nahrungsmittels Wasser“ (Magistratsabteilung 49, 2016).

Abschließend werden noch Klimamittelwerte für den Zeitraum 1981 bis 2010 der beiden nächsten Messpunkte Reichenau an der Rax im Südosten, sowie Puchberg am Schneeberg im Nordosten des Untersuchungsgebiets angeführt (siehe Tabelle 1) (ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2012).

**Tabelle 1: Klimamittelwerte 1981 - 2010**

<b>Temperatur</b>	Reichenau an der Rax	Puchberg am Schneeberg
Mittelwert der jährlichen Lufttemperatur:	8,7 °C	7,8 °C
mittlerer jährlicher Tagestiefstwert der Lufttemperatur:	4,1 °C	3,2 °C
mittlerer jährlicher Tageshöchstwert der Lufttemperatur:	14,4 °C	13,6 °C
 <b>Niederschlag</b>		
mittlere jährliche Niederschlagssumme:	1000 mm	973 mm



**Abbildung 3: Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet**

## 2.2 Bilddaten

Für die Entwicklung der Methodik und deren Erprobung wurden Luftbilder aus den Jahren 1963/64 sowie 2009 verwendet. Während die Bilddaten aus dem Jahr 2009 (siehe Kapitel 2.2.2: Orthofoto 2009) von der MA 49 zur Verfügung gestellt wurden und bereits als digitale Orthofotos vorhanden waren, musste vergleichbares historisches Bildmaterial erst beschafft werden. Die Luftbildinterpretation sollte vorzugsweise mit Farbinfrarot-Bildern durchgeführt werden. Da diese in Österreich jedoch erst ab den 1980er Jahren verfügbar sind und der Untersuchungszeitraum möglichst weit in die Vergangenheit zurückreichen sollte, wurde auf Schwarzweißbilder zurückgegriffen (siehe Kapitel 2.2.1: Luftbilder 1963/64).

### 2.2.1 Luftbilder 1963/64

Die Luftbilder aus den Jahren 1963/64 wurden im Rahmen der Masterarbeit vom BEV angekauft. Da Luftbilder beim BEV aus dieser Zeit nur in analoger Form vorliegen, wurden diese erst gescannt und damit digitalisiert. Die gescannten Luftbilder wurden daraufhin am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur durch den Verfasser orientiert.

#### Orientierung der Luftbilder mit IMAGINE Photogrammetry

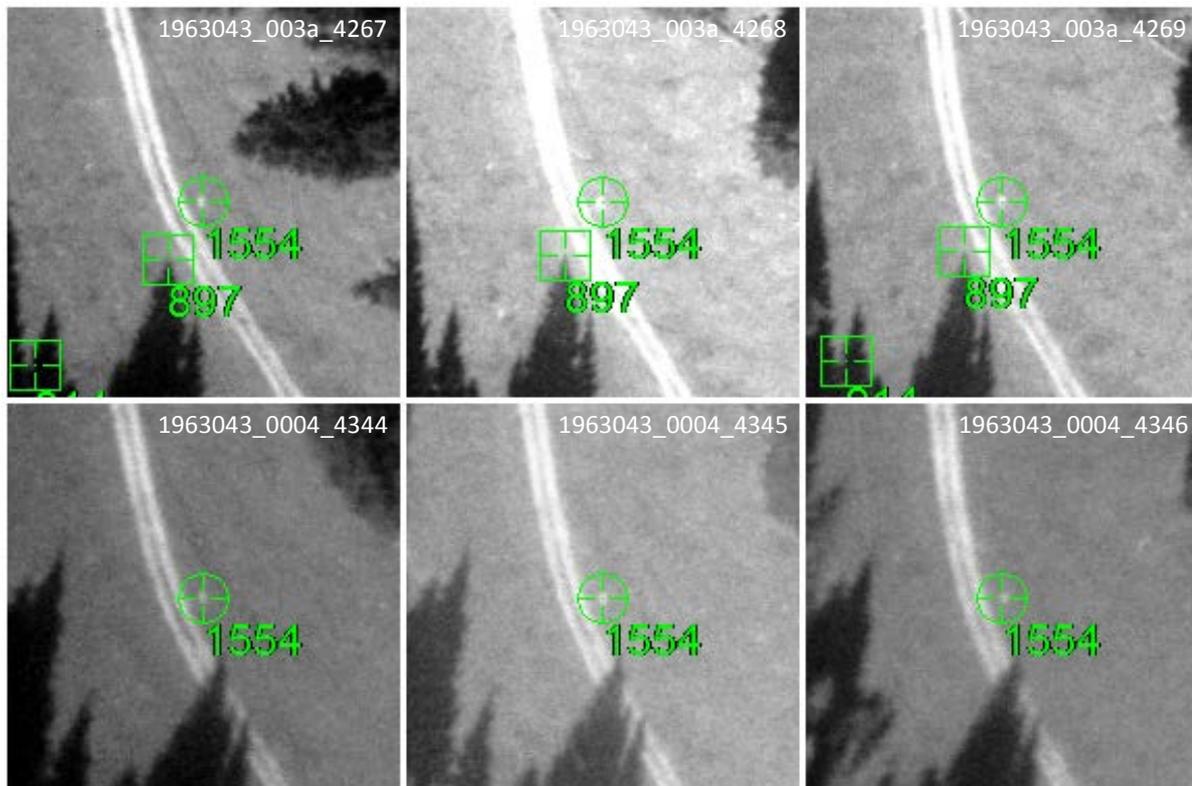
Die Parameter der äußeren Orientierung (Koordinaten des Aufnahmezentrums sowie die Drehwinkel Omega, Phi und Kappa) wurden zunächst näherungsweise aus dem Befliegungsprotokoll und der Flugortungskarte unter Annahme einer Nadiraufnahme ermittelt. Sie bildeten die Grundlage für die Orientierung der Bilder mit IMAGINE Photogrammetry. Da die Luftbilder mit unterschiedlichen Luftbildkameras aufgenommen wurden, wurden zwei Bildblöcke erstellt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Befliegungsparameter 1963 und 1964

	<b>Block 1 – 1963</b>	<b>Block 2 – 1964</b>
<b>Jahrgang:</b>	1963	1964
<b>Bildanzahl:</b>	121	112
<b>Streifenanzahl:</b>	6	7
<b>Luftbildkamera:</b>	Wild RC5 (f = 153 mm)	Wild RC5 (f = 210 mm)
<b>Filmmaterial:</b>	panchromatisch	panchromatisch
<b>Mittlere Flughöhe:</b>	3.100m	4.100m
<b>Flugdatum:</b>	02.09. – 17.10.1963	28.07. - 07.08.1964
<b>Aufnahmezeitpunkt:</b>	8 – 12 <sup>h</sup>	8 – 12 <sup>h</sup>
<b>Flugrichtung:</b>	Ost – West	Ost – West
<b>Mittlerer Maßstab:</b>	1 : 7.000 – 1 : 17.000	1 : 10.000 – 1 : 18:000
<b>Längsüberdeckung:</b>	60 %	60 %
<b>Querüberdeckung:</b>	20 %	20 %
<b>Übersicht:</b>	siehe Abbildung 5	siehe Abbildung 6

Nach der Herstellung der inneren Orientierung anhand der Rahmenmarken konnten Verknüpfungspunkte berechnet werden. Diese wurden zuerst nur innerhalb der einzelnen Flugstreifen berechnet, kontrolliert und gegebenenfalls manuell korrigiert. Nachdem alle Bilder je Flugstreifen verknüpft waren, konnten erneut Verknüpfungspunkte über das gesamte Gebiet, über alle Flugstreifen berechnet werden. Auch nach diesem Schritt war eine manuelle Korrektur der Verknüpfungspunkte nötig.

Verknüpfungspunkte an charakteristischen Schattenverläufen innerhalb der einzelnen Flugstreifen waren aufgrund des geringen zeitlichen Abstands zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen geeignet. Punkte dieser Art auf Bildern benachbarter Flugstreifen mussten jedoch entfernt werden, da hier durchaus größere Abweichungen des Sonnenstandes auftreten können.



**Abbildung 4: Unterschiede im Schattenwurf zwischen zwei Flugstreifen (oben: Flugstreifen 003a, unten: Flugstreifen 0004) und daraus resultierende Probleme beim Verknüpfen von Flugstreifen durch automatisch gesetzte Verknüpfungspunkte**

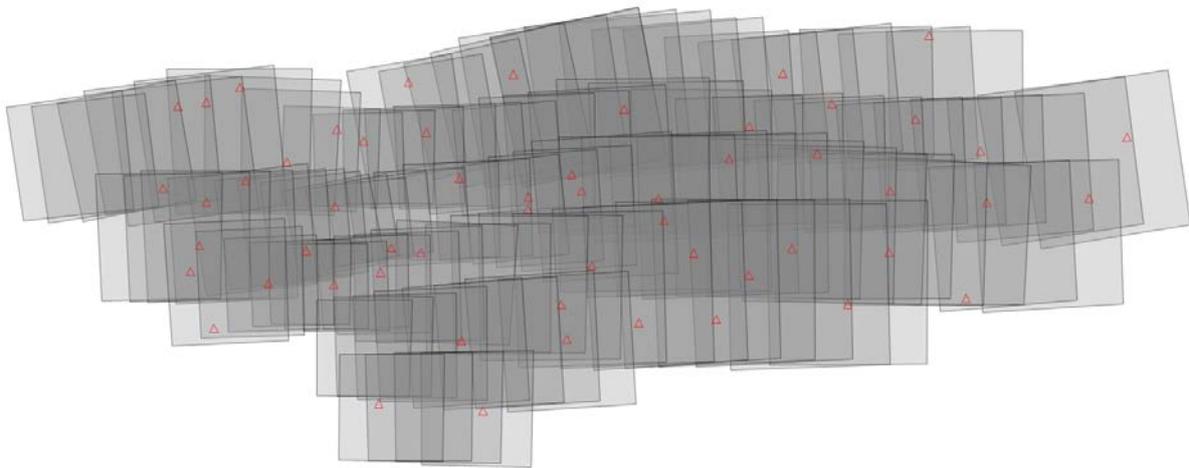
In Abbildung 4 sind zwei Flugstreifen (Flugstreifen 003a in der oberen sowie Flugstreifen 0004 in der unteren Reihe) dargestellt. Der Verknüpfungspunkt mit der Punktnummer 897, dargestellt als Quadrat, liegt an der Spitze des Schattens eines Baumes. Innerhalb des Streifens 003a befindet sich die Spitze des Schattens westlich der Forststraße, während diese im Streifen 0004 bereits östlich der Forststraße liegt. Dies ist, wie bereits angesprochen, auf den fortschreitenden Sonnenstand zwischen den unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten zurückzuführen. Ein streifenübergreifendes Setzen des Verknüpfungspunktes an der Spitze des Schattens würde zu Fehlern im Orthofoto führen. Dies ist jedoch nicht immer so klar ersichtlich, wie anhand dieses Beispiels deutlich wird. Zum Vergleich kann der Passpunkt, mit der Punktnummer 1554, dargestellt als Kreis, durchaus auf mehreren Streifen gesetzt werden, sofern er durch Landmarken (wie in Abbildung 4 durch einen Stein neben der Forststraße) definiert ist.

Auf diese Weise wurden 1.808 Verknüpfungspunkte für Block 1, sowie 2.708 für Block 2 berechnet und bei Bedarf korrigiert.

Nach der Verknüpfung sämtlicher Bilder wurden Lagepasspunkte gesucht. Da es sich um ein besonders waldriches und dünn besiedeltes Gebiet handelt (siehe Kapitel 2.1: Untersuchungsgebiet), war die Passpunktsuche besonders schwierig. Mögliche Passpunkte waren vor allem Straßenkreuzungen und Gebäudekanten in besiedelten Gebieten sowie Jagd- und Berghütten in den bewaldeten Teilen des Untersuchungsgebiets. Aufgrund der langen Zeitspanne zwischen den Jahren 1963 und 2009 wurden jedoch viele der Objekte in verändertem Zustand vorgefunden. Viele Straßenzüge wurden verbreitert oder komplett verlegt, Häuser wurden vielfach verändert oder abgerissen. Besonders Berghütten wurden oftmals umgebaut oder vergrößert. In den höheren Lagen wurden zusätzlich auch markante Steine, Punkte entlang von Steigen oder Weidezäune verwendet, sofern eine Veränderung dieser Punkte eindeutig ausgeschlossen werden konnte. Hierzu wurde auch Bildmaterial aus den Jahren 1989/1990 herangezogen. Es wurde auf eine gleichmäßige Verteilung der Passpunkte über das gesamte Gebiet geachtet.

Für die so gewonnenen Lagepasspunkte (X- und Y-Koordinate) wurde die Höhe aus dem Geländemodell (siehe Kapitel 2.3: Digitales Geländemodell) ermittelt, um Vollpasspunkte mit Raumkoordinaten zu erhalten.

Es wurden 61 Vollpasspunkte für Block 1, sowie 49 Vollpasspunkte für Block 2 bestimmt. Dies entspricht etwa 0,5 bzw. 0,4 Passpunkten pro Bild (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6).



**Abbildung 5: Block 1 – Footprints des Luftbildflugs 1963 mit Verteilung der Passpunkte**

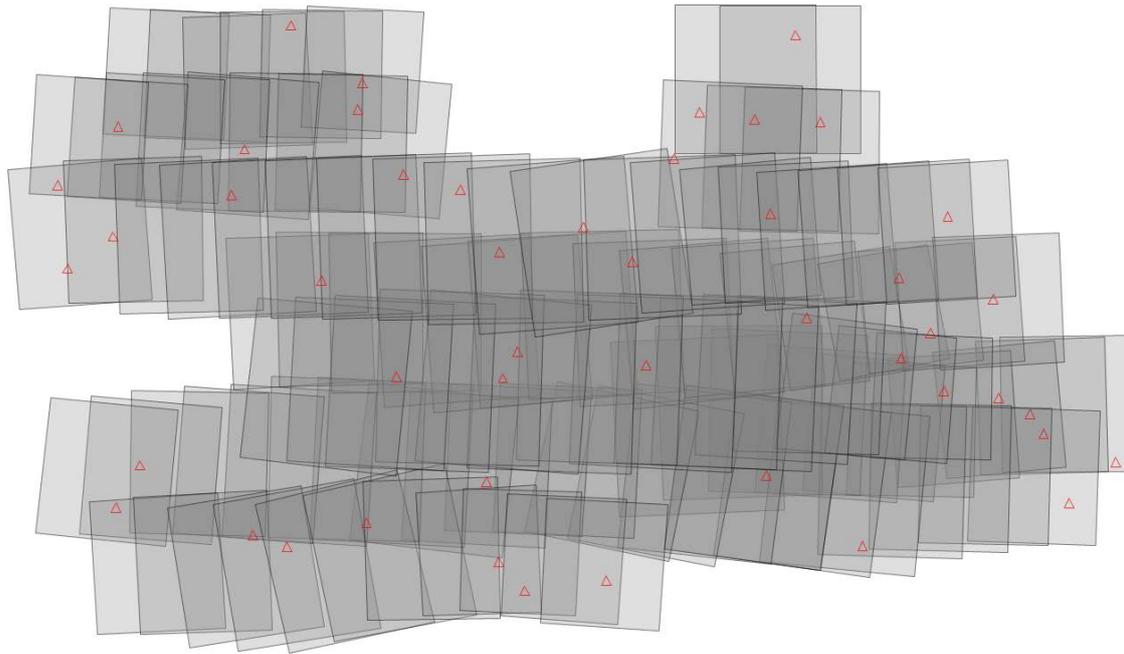


Abbildung 6: Block 2 – Footprints des Luftbildflugs 1964 mit Verteilung der Passpunkte

Für beide Blöcke konnte eine Lagegenauigkeit von etwa 1 m erreicht werden.

### Mosaikierung der Orthofotos

Die Mosaikierung der Orthofotos wurde mit ERDAS IMAGINE MosaicPro durchgeführt. Als Seamlines wurden näherungsweise Thiessen-Polygone verwendet, die zuvor aus den Aufnahmepunkten der Flugortungskarte berechnet wurden. Die Thiessen-Polygone bzw. Seamlines wurden manuell nachbearbeitet, um verbleibende Rahmenmarken zu entfernen oder die Übereinstimmung der Bilder, speziell in höheren Lagen, mit geringer Längs- und Querüberdeckung zu erhöhen. Bei der Berechnung wurde ein Ausgleich von Helligkeitsunterschieden („Color Balancing“ und „Image Dodging“), sowie ein Weichzeichnen der Seamlines („Image Feathering“, 10 m) durchgeführt, um ein möglichst homogenes Orthofotomosaik zu erhalten.

Die resultierenden Orthofotomosaik umfassen eine Fläche von 19.000 Hektar für Block 1 sowie von 17.500 Hektar für Block 2 (siehe Abbildung 7, Abbildung 8 und Abbildung 9).



Abbildung 7: Orthofotomosaik Block 1

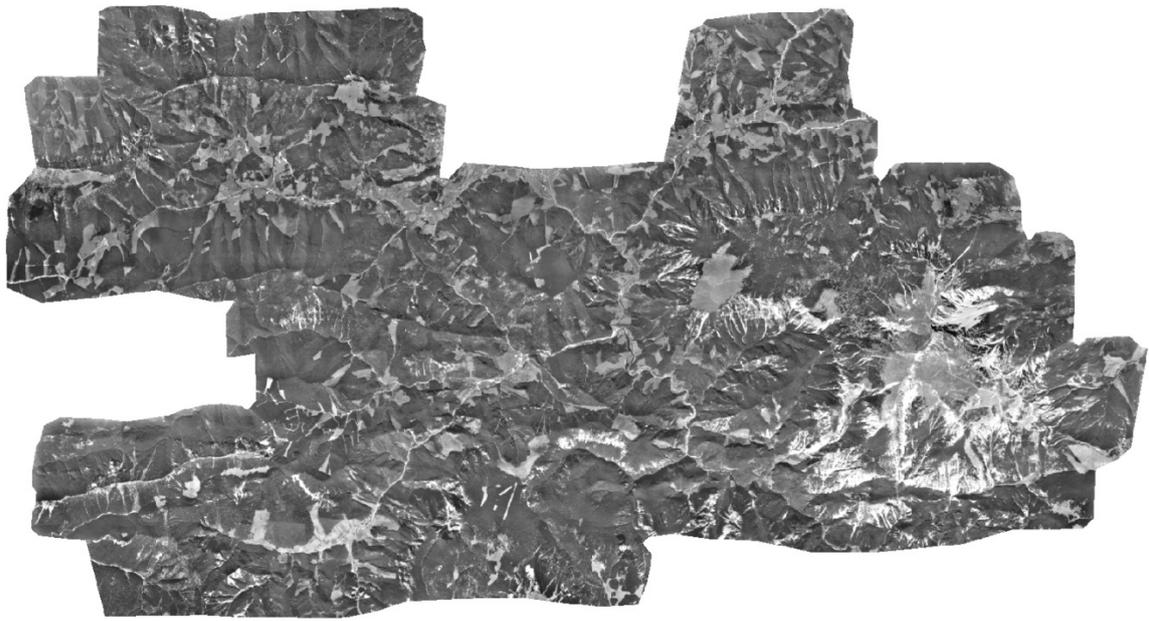


Abbildung 8: Orthofotomosaik Block 2

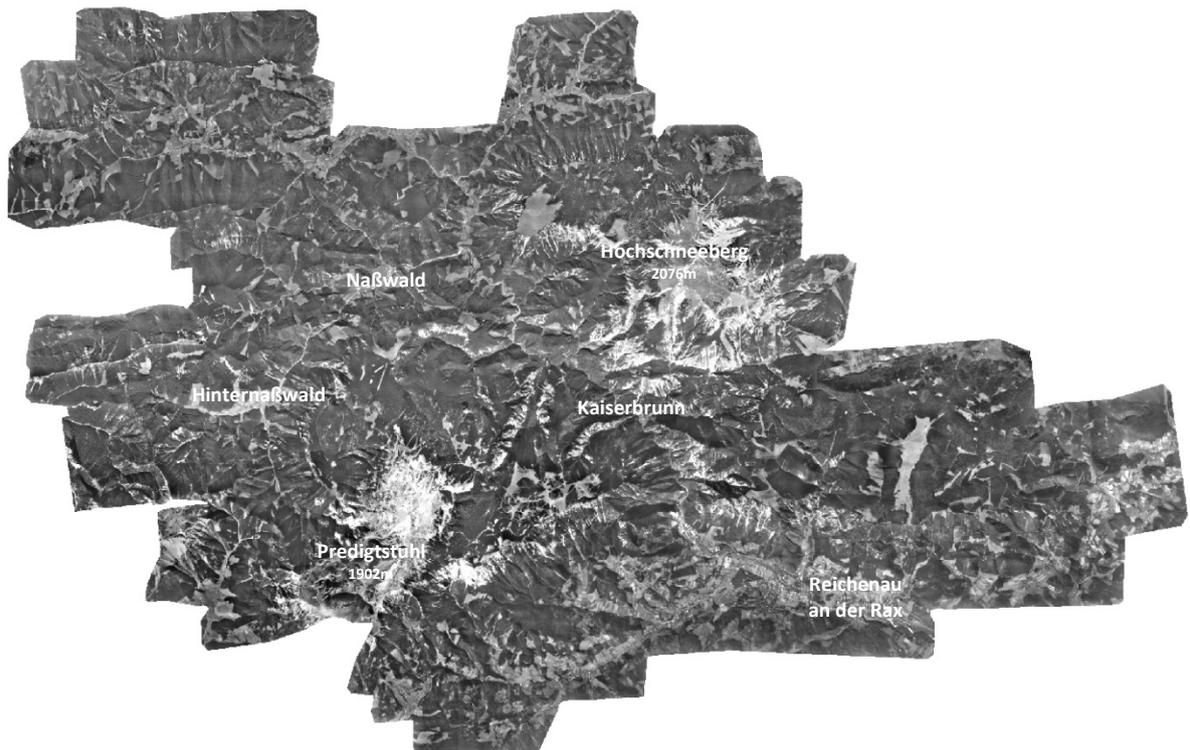


Abbildung 9: Orthofotomosaik des gesamten Untersuchungsgebiets

Die resultierenden Orthofotomosaik umfassen in Summe eine Fläche von 36.500 Hektar und liegen im Image-Format (ERDAS IMAGINE-Image) mit einer Bodenauflösung von 20 cm vor.

### 2.2.2 Orthofoto 2009

Die Orthofotos aus dem Jahr 2009 wurden von der MA 49 zur Verfügung gestellt. Sie bilden die Grundlage für die Erstellung des Interpretationsschlüssels (siehe Kapitel 3.4: Interpretationsschlüssel). Die Farbinfrarot-Orthofotos liegen im ECW-Format mit einer Bodenauflösung zwischen 12,5 cm und 25 cm vor. Für eine optimale Bilddarstellung wurden die Bilder einer Bildstreckung und Kontrasterhöhung unterzogen (z.B. „Standard Deviation Stretch“ oder „Percent Clip“). Während der Stichprobeninterpretation wurden die Orthofotos mit der Interpolationsmethode „bilinear Interpolation“ dargestellt.

## 2.3 Digitales Geländemodell

Ein Digitales Geländemodell (DGM) des Untersuchungsgebiets wurde von der MA 49 bereitgestellt. Das DGM wurde aus ALS-Daten (Airborne Laserscanning) generiert und weist eine Pixelgröße von 1 m x 1 m auf. Neben einer Visualisierung als MDOW-Hillshade (Multi-Directional Oblique Weighted-Hillshade (Field, 2015)) diente das Geländemodell vor allem der Orthorektifizierung der Luftbilder aus dem Jahr 1963/64 (siehe Kapitel 2.2.1 Luftbilder 1963/64). Als Grundlage für sämtliche Höhenauswertungen wurde der DGM-Raster mit den Stichprobenpunkten verschnitten und jedem Stichprobenpunkt ein Höhenwert attributiv zugeordnet. (siehe Kapitel 4.3.8: Seehöhe). Als Folgeprodukte wurden ein Expositions raster sowie ein Neigungs raster aus dem DGM berechnet, die als Basis für die Analyse des Einflusses von Exposition und Neigung auf Veränderungen der Landbedeckung dienen (siehe Kapitel 4.3.6 und 4.3.7: Exposition und Neigung).

## 2.4 Thematische Karten

### 2.4.1 Forstkarte

Die MA 49 stellte die Bestandes-Polygone als Grundlagendaten der Forstkarte für die Forstverwaltungen Hirschwang und Naßwald zur Verfügung. Die Forstkartenlinien wurden in der vorliegenden Arbeit zur leichteren visuellen Orientierung verwendet. Die Bestandes-Polygone dienen in erster Linie der Festlegung des Untersuchungsgebiets sowie der Erstellung des darauf aufbauenden Stichprobenrasters (siehe 3.3.3: Praktische Umsetzung). Die Polygone enthalten neben der Waldortbezeichnung auch Bemerkungen und Taxationsdaten wie z.B. die auf der Fläche vorhandenen Baumarten, deren Alter sowie die Wuchsklasse. Während der Erstellung des Interpretationsschlüssels für die Bilddaten aus dem Jahr 2009 (siehe Kapitel 3.4: Interpretationsschlüssel) wurde bei der Suche sowie bei der Verifizierung der Bildbeispiele für das Attribut „Wuchsklasse“ auf diese Informationen zurückgegriffen. Die in den Bestandes-Polygonen ausgeschiedene Wuchsklasse unterschied sich oftmals von der anhand der Orthofotos erkennbaren Wuchsklasse. Diese Abweichungen können teilweise durch die Aktualität der vorhandenen Taxationsdaten erklärt werden.

### 2.4.2 Hydrotopotypen

Die Hydrotopkartierung der MA 49 (KATER II Projekt) „kombiniert Informationen über Standortfaktoren und Waldbestandes-Parameter mit walddydrologischem Wissen“ (Koeck, 2009). Die Hydrotopkartierung gibt mit ihren Attributen somit Aufschluss über diverse Standortfaktoren und wurde in der vorliegenden Arbeit als Grundlage für die Analyse des Einflusses von Standortseinheit, des Bodentyps sowie des Wasserhaushalts genutzt (siehe Kapitel 4.3.9: Hydrotopotypen).

## 3 Methodik

### 3.1 Monitoring-Konzept

„Monitoring ist die systematische Erfassung zweckmäßiger Parameter in einer Zeitreihe“ (Traxler, 1997).

Von der MA 49 wurden für das zu konzipierende Monitoringsystem folgende Anforderungen definiert:

Das Monitoringsystem soll möglichst kostengünstig sein. Ein wesentlicher Faktor bei der Konzipierung eines Monitoringsystems sind die Personalkosten für die Datenerhebung, welche sich aus der Qualifikation des eingesetzten Personals, der Dauer des Einsatzes, dem Umfang sowie der Frequenz (Wiederholungsrate) der Aufnahme ergeben. Die Erhebungen sollen daher mit möglichst geringem Zeitaufwand und durch Personen ohne Expertenwissen durchführbar sein. Einen weiteren Faktor stellen die Datenkosten dar. Für das Monitoring sollen soweit möglich bereits vorhandene Daten verwendet werden.

Außerdem soll für das Monitoringsystem keine spezielle Hard- und Software erforderlich sein, sondern auf bereits bei der MA 49 vorhandene Systeme aufgebaut werden.

Das Monitoringsystem soll so konzipiert sein, dass durch regelmäßige, standardisierte Wiederholungsaufnahmen im Abstand von 10 Jahren Veränderungen der Vegetation (sowohl Degradationsprozesse als auch eventuelle Wiederbewaldung) festgestellt und analysiert werden können. Wichtige zu erhebende quellschutzrelevante Parameter sind dabei die Überschirmung mit Bäumen, Laub- und Nadelholzanteile, offener Boden etc.

Es wurde daher ein Ansatz mit folgenden Eckpunkten gewählt:

- Verwendung von Fernerkundungsdaten
- Erhebung der erforderlichen Parameter durch visuelle Bildinterpretation basierend auf Bilddaten mit hoher räumlicher Auflösung
- Einsatz eines Stichprobenverfahrens

Die Vorteile eines fernerkundungsbasierten Ansatzes bestehen in erster Linie in der Möglichkeit, Daten über große Gebiete in kürzester Zeit erheben zu können. Fernerkundungsbasierte Erhebungen können im Vergleich zu terrestrischen Erhebungen wetter- und standortunabhängig durchgeführt werden. Sie bieten die Möglichkeit, Zusammenhänge auch über große Entfernungen darzustellen und zu verarbeiten. Eine fernerkundungsbasierte Erhebung kann auch in sehr unwegsamem Gelände durchgeführt werden. An dieser Stelle soll auf die starke Hangneigung des Untersuchungsgebiets (siehe Kapitel 2.1) hingewiesen werden, wodurch weite Teile des Untersuchungsgebiets sehr schwer begehbar sind.

Die visuelle Bildinterpretation wurde einer automatisierten Auswertung (z.B. bestehend aus einer Segmentierung und anschließenden überwachten Klassifizierung) vorgezogen, da sie bei heterogenem Bildmaterial robuster ist und daher leichter an neues Datenmaterial angepasst werden kann. Die visuelle Bildinterpretation ist außerdem bezüglich technischer Ausstattung (sowohl Hard- als auch Software) und Personal einfacher umsetzbar.

Der stichprobenbasierte Ansatz wurde einer flächendeckenden Kartierung vorgezogen, weil die Datenerhebung mit einem geringeren zeitlichen Aufwand möglich ist und weniger Fachwissen erfordert. Darüber hinaus ist die Interpretation einer vorgegebenen Stichprobenfläche leichter standardisierbar. Somit sind Folgerhebungen sowohl leichter durchführbar als auch besser vergleichbar.

Für die Untersuchung von Veränderungen im Untersuchungszeitraum (siehe Kapitel 3.6: Statistische Auswertung) sind konsistente, standardisierte Datensätze sowohl hinsichtlich ihrer Inhalte (der Attribute) als auch der räumlichen Lage erforderlich. Es wurde daher ein umfassendes Datenbank-Konzept entwickelt, das in Kapitel 3.5 Datenmanagement/-organisation gemeinsam mit der eingesetzten GIS-Plattform (siehe Kapitel 3.5.2: GIS-Plattform) behandelt wird. Die Datenbank wird dem Interpreten mit einer darauf aufbauenden benutzerfreundlichen Interpretationsumgebung zur Verfügung gestellt.

Als Bilddaten wurden die amtlichen Orthofotos gewählt, welche der MA 49 flächendeckend für die Einzugsgebiete der I. und II. Hochquellenleitung zur Verfügung stehen. Die Orthofotos bieten eine hohe Detailerkennbarkeit für die Interpretation der geforderten Parameter und erfüllen auch hinsichtlich der spektralen Auflösung alle Anforderungen, da sie über den für Vegetationsansprachen so wichtigen Kanal des nahen Infrarots verfügen. Aufgrund eines Kooperationsabkommens, das zwischen dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV), den Bundesländern sowie dem Land-, Forst- und Wasserwirtschaftlichen Rechenzentrum GmbH (LFRZ) in Vertretung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) abgeschlossen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass künftig für Folgerhebungen Fernerkundungsdaten mit einer ähnlichen oder besseren Qualität wie heute zur Verfügung stehen werden. Derzeit ist ein 3-jähriger Aufnahmezyklus (Aufnahme von jährlich 1/3 der Fläche Österreichs) geplant. Damit sollte die Datenbasis für das Monitoringvorhaben langfristig gesichert sein.

## 3.2 Visuelle Bildinterpretation

### 3.2.1 Phasen der Bildinterpretation

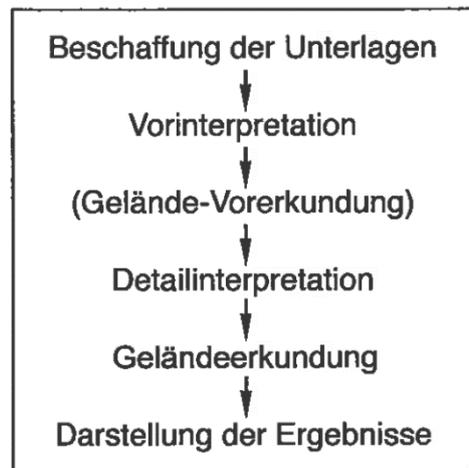


Abbildung 10: Phasen der Bildinterpretation nach Albertz (2009)

Der Arbeitsablauf der Bildinterpretation gliedert sich nach Albertz (2009) in mehrere Phasen (siehe Abbildung 10). An erster Stelle steht dabei die „Beschaffung der Unterlagen“ für die Bildinterpretation. Es kann sich hierbei um Daten verschiedenster Art (z.B.: Forstkarten, Standortskartierungen, Forstoperats- und Stichprobendaten, historische Luftbilder, Geländemodelle, etc.) aus unterschiedlichen Quellen (z.B.: BEV, Forstamt, Forstverwaltung, Revierpersonal, etc.) handeln. Oftmals sind viele der benötigten Daten nicht in der gewünschten Form vorhanden und müssen daher erst aufbereitet werden. Nach Durchsicht sämtlicher Daten werden diese hinsichtlich ihrer Eignung für die Bildinterpretation beurteilt und auf deren Basis eine Vorinterpretation des Gebiets vorgenommen. Zur Verifikation und Verbesserung dieser Vorinterpretation kann eine „Gelände-Vorerkundung“ durchgeführt werden. Dies empfiehlt sich besonders, wenn der Interpret über keine detaillierten Kenntnisse des Gebiets verfügt. In manchen Fällen kann es sogar nötig sein, diesen Prozess mehrfach zu wiederholen, bis die gewünschte Genauigkeit des Interpretationsschlüssels erreicht ist. Auf Basis dieser Informationen kann nun die „Detailinterpretation“ der Daten erfolgen, die im Anschluss durch eine „Geländeerkundung“ erneut verifiziert wird. „Dabei sind unsichere Interpretationsergebnisse zu überprüfen, offen gebliebene Fragen zu klären und sonstige Ergänzungen vorzunehmen.“ Die „Darstellung der Ergebnisse“ bildet den letzten Punkt des Arbeitsablaufs der Bildinterpretation nach Albertz (2009) und erfolgt meist in Form einer Karte.

Für alle zu erhebenden Merkmale gilt folgender Grundsatz:

#### Sicherheit vor Bestimmtheit

Im Zweifelsfall sollten daher Merkmale, die nicht oder nur mit großer Unsicherheit angesprochen werden können, als „*nicht interpretierbar*“ vermerkt werden, um Fehler durch Vermutungen zu vermeiden!

### 3.2.2 Interpretationsschlüssel

„Als Interpretationsschlüssel bezeichnet man eine systematische Zusammenstellung von charakteristischen Merkmalen der in Luftbildern zu interpretierenden Objekte“ (Albertz, 2009)

Durch die Verwendung eines Interpretationsschlüssels soll

- die Entstehung der Ergebnisse dokumentiert,
- die Subjektivität des Interpretationsvorgangs minimiert,
- wenig geübte Bearbeiter geschult und
- die Homogenität der Ergebnisse bei der Bearbeitung durch mehrere Interpreten bzw. bei Wiederholungsaufnahmen (Monitoring) sichergestellt werden.

Interpretationsschlüssel können in Auswahl- und Eliminationsschlüssel unterteilt werden. Bei Auswahlsschlüsseln stehen dem Interpreten alle Auswahlmöglichkeiten für ein bestimmtes Attribut des Schlüssels bei der Entscheidungsfindung zur Verfügung. Gewählt wird jene Ausprägung, die der zu interpretierenden Objektstruktur am ähnlichsten ist. (vgl. Universität Rostock, 2012). Dabei wird das zu klassifizierende Objekt mit sogenannten Bildbeispielen aus dem Auswahlsschlüssel verglichen und daraufhin die passende, bzw. die der zu interpretierenden Objektstruktur ähnlichste, Klasse ausgewählt. (Albertz, 2009)

Bei Eliminationsschlüsseln wird der Interpret stufenweise an das Interpretationsergebnis herangeführt. Beginnend bei den einfacheren Merkmalen werden dem Interpreten meist zwei bzw. wenige Auswahlmöglichkeiten geboten, aus denen wiederum jene gewählt wird, die der zu interpretierenden Objektstruktur am ähnlichsten ist. Die anderen Auswahlmöglichkeiten werden eliminiert, ähnlich einem Pflanzenbestimmungsschlüssel. Dieser Prozess kann mehrfach wiederholt werden, bis die gewünschte Differenzierung eines Attributes erreicht ist. (vgl. Universität Rostock, 2012).

Ein Interpretationsschlüssel stellt daher ein Hilfsmittel „der visuellen Bildinterpretation für die systematische Zuordnung von Objektmerkmalen in der Natur zu den entsprechenden Erscheinungsformen dieser Objekte im Bild“ dar. (vgl. Geo Data Zone, 2010). Die Zusammenstellung dieser charakteristischen Erscheinungsformen erfolgt in der Regel durch erläuternde Bildbeispiele.

Bei der Bildinterpretation wird zwischen Differenzierung und Identifikation unterschieden. Während Objekte rein nach ihren Reflexionseigenschaften bzw. ihrer spektralen Signatur, ihrer Textur, der geometrischen Formen oder nach räumlichen Beziehungen zu anderen Objekten eingeteilt und differenziert werden können, erlaubt die Kombination dieser Eigenschaften durch einen Bildinterpreten auch eine eindeutige Identifikation und Klassifikation dieser Objekte. Somit wird eine tiefere Ebene der Interpretation erreicht. (vgl. Gibson, 2000).

Die Vergleichbarkeit räumlich und zeitlich unterschiedlicher Luftbildinterpretationen verschiedener Interpreten wird durch eine einheitliche Terminologie des Interpretationsschlüssels sichergestellt. „Dadurch eignen sich Luftbildauswertungen besonders zur Durchführung von überregionalen Vergleichen und zur Erstellung von Zeitreihen“ (Landesforstpräsidium (LFP), 2003).

Ein Interpretationsschlüssel wird durch Experten ausgearbeitet und soll eine spezifische Fragestellung beantworten. Er ist dadurch meist an eine Region, durch den Zeitpunkt der Aufnahme auch an die Jahreszeit und den Bildmaßstab gekoppelt. (Albertz, 2009)

„Interpretationsschlüssel müssen präzise ausgearbeitet sein, um Missverständnisse auszuschließen“ (Landesforstpräsidium (LFP), 2003). Eine vollständige Übereinstimmung von terrestrischen Aufnahmen und Luftbildinterpretationen ist durch die unterschiedlichen Erhebungsverfahren und die dadurch erhebbaren Kriterien nicht wahrscheinlich. (Landesforstpräsidium (LFP), 2003)

Speziell für ungeübte Interpreten kann der Interpretationsschlüssel ein wertvolles Hilfsmittel darstellen. (Albertz, 2009)

### 3.2.3 Praktische Umsetzung

Nach einer ersten Durchsicht der in Kapitel 2 beschriebenen Daten erfolgte eine Vorinterpretation. Anschließend wurde am 14. November 2014 gemeinsam mit Mitarbeitern der MA 49 eine Geländevorerkundung durchgeführt (siehe Abbildung 11). Ziel dieser Begehung war ein Kennenlernen des Untersuchungsgebiets sowie die Besichtigung von Referenzflächen zur Erleichterung der Ansprache von schwierigen Attributen, wie z.B. der Wuchsklasse, der Überschirmung oder den Laub- und Nadelholzanteilen. Außerdem wurden eine Windwurffläche, sowie eine Fläche mit stehendem Totholz besichtigt. Besondere Dynamik, wie z.B. die Bildung von Plaiken oder die Entwaldung von steilen, süd-exponierten Hängen, konnte ebenfalls beobachtet werden. In höheren Lagen wurden eine starke Verzahnung von Wald- und Latschenflächen, sowie eine zunehmende Ausdunkelung der Latsche festgestellt.

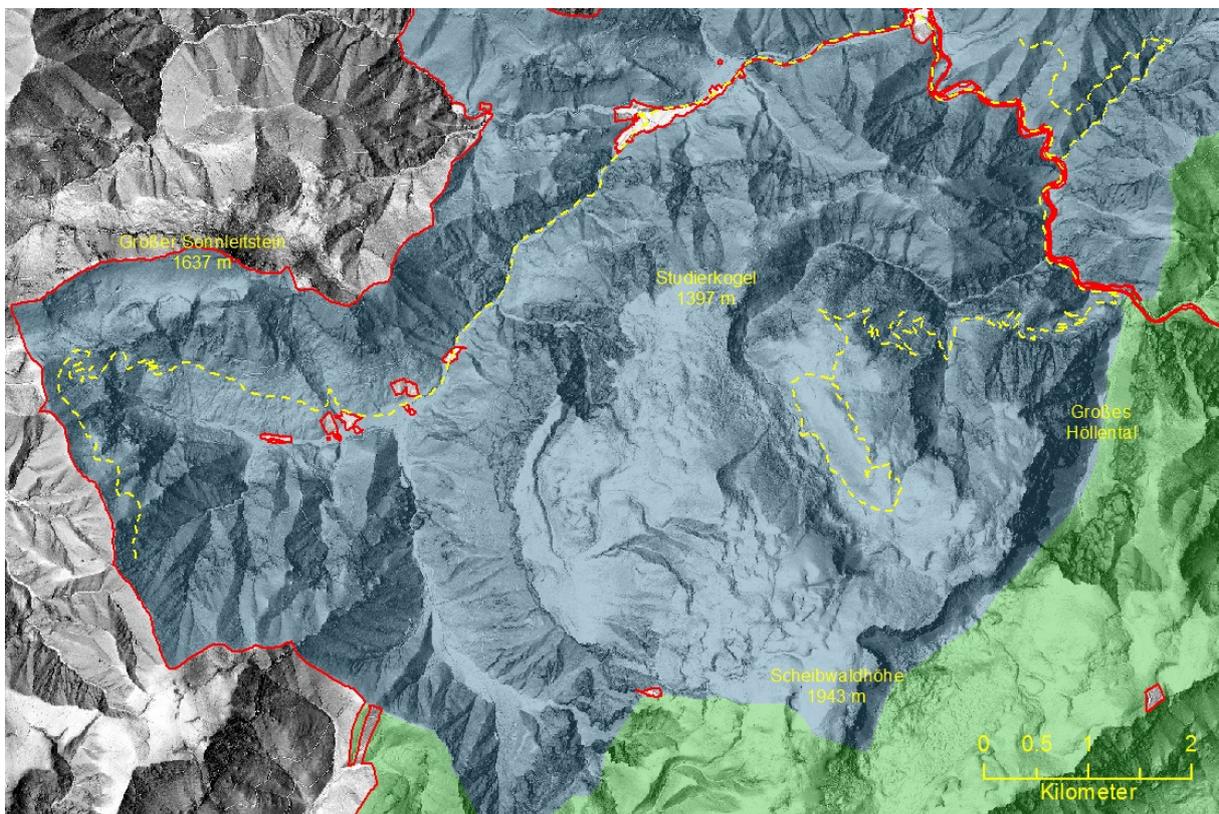


Abbildung 11: Geländevorerkundung vom 12.11.2014 (gelb strichlierte Linie)

Auf Basis der Vorinterpretation sowie der Geländevorerkundung wurde ein Interpretationsschlüssel erstellt. Um die Beschreibung der Attribute weiter zu verfeinern und den erstellten Interpretationsschlüssel auf seine Anwendbarkeit durch Dritte zu testen, wurden Testinterpretationen durchgeführt (siehe Kapitel 3.4.4: Testinterpretation). Mit diesen Informationen wurde der Interpretationsschlüssel ergänzt (siehe Kapitel 3.4) und ein Interpretationshandbuch (siehe Anhang 7.4.2) erstellt.

Die Detailinterpretation erfolgte exemplarisch basierend auf Bilddaten von zwei Befliegungszeitpunkten (1963/64 und 2009). Insgesamt wurden 2.727 Stichprobenpunkte auf Basis des Bildmaterials 1963/64 (siehe 2.2.1: Luftbilder 1963/64) sowie 2.868 Stichprobenpunkte auf Basis aktueller Orthofotos (siehe 2.2.2: Orthofoto 2009) interpretiert.

Die Geländeerkundung zur Verifikation und Überprüfung der Interpretationsergebnisse wird durch Mitarbeiter der MA 49 durchgeführt und ist nicht Teil dieser Arbeit. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt einerseits im Rahmen dieser Masterarbeit (siehe Kapitel 3.6: Statistische Auswertung) und andererseits in weiteren Auswertungen im Anhang (siehe Anhang 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung).

### 3.3 Stichprobenverfahren

Im folgenden Kapitel wird das für das Monitoring von Veränderungen der Vegetationsdecke eingesetzte Stichprobenverfahren erläutert. Beim gewählten Verfahren handelt es sich um eine permanente, fernerkundungsbasierte Stichprobeninventur, die ca. in einem 10-Jahres-Zyklus wiederholt werden soll. Es wird zuerst auf die Festlegung des Stichprobenumfangs beschrieben (siehe Kapitel 3.3.1: Stichprobenumfang). Danach wird auf die verwendeten statistischen Einheiten eingegangen (siehe Kapitel 3.3.2: Statistische Einheiten). Abschließend wird im Kapitel 3.3.3 die praktische Umsetzung bei der Erstellung des Punktrasters dargestellt. Alle Stichprobenpunkte dieses Rasters können über einen eindeutigen Schlüssel sowie über ihre räumliche Lage identifiziert werden. Diese Stichprobenpunkte werden bei jeder Wiederholungsaufnahme verwendet, daher bei der Interpretation auf Basis der historischen Orthofotos (siehe Kapitel 2.2.1), der aktuellen Orthofotos (siehe Kapitel 2.2.2) und bei zukünftigen Wiederholungsaufnahmen.

#### 3.3.1 Stichprobenumfang

Ein wichtiger Faktor bei Stichprobenerhebungen ist die Stichprobengröße. Einerseits soll der Stichprobenumfang möglichst klein bleiben, da mit steigendem Stichprobenumfang die für die Interpretation bzw. Erhebung der Attribute benötigte Zeit und damit auch die Kosten ansteigen. Andererseits muss der Stichprobenumfang, sofern er mehrere Kategorien umfasst, statistisch haltbare Aussagen über die einzelnen Unterkategorien zulassen. Im vorliegenden Fall sollen Aussagen über einzelne Landbedeckungskategorien bzw. deren Veränderung im zeitlichen Verlauf getroffen werden.

Nach Thompson (1992) kann der Stichprobenumfang in Abhängigkeit von der gewünschten Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  sowie einem gegebenen Abstand vom wahren Wert  $d$  geschätzt werden. Dieses Verfahren kann bei Stichproben angewendet werden, bei denen die Stichprobengröße im Vergleich zur Grundgesamtheit klein ist.

Die errechneten Stichprobengrößen und die daraus resultierenden Punktabstände bei einem Untersuchungsgebiet mit einer Fläche von 18.000 ha sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Stichprobengröße zum gleichzeitigen Schätzen mehrerer Populationsanteile (nach Thompson 1992)**

Irrtumswahrscheinlichkeit alpha [%]	Stichprobengröße					Punktabstand [m] bei einer UG-Größe von 18.000 ha				
	d=0.05	d=0.04	d=0.03	d=0.02	d=0.01	d=0.05	d=0.04	d=0.03	d=0.02	d=0.01
5	509	796	1415	3184	12736	594	476	357	238	119
2.5	624	975	1733	3899	15596	537	430	322	215	107
2	663	1037	1843	4147	16587	521	417	313	208	104
1	788	1231	2189	<b>4925</b>	19699	478	382	287	<b>191</b>	96
0.5	914	1428	2539	5713	22851	444	355	266	178	89

Für die vorliegende Erhebung wurde eine maximale Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 1\%$  und ein maximal zulässiger Abstand vom wahren Wert von  $d = 0,02$  als geeignet erachtet. Für diese Werte ergibt sich ein Stichprobenumfang von 4.925 Stichprobenpunkten bzw. ein Stichprobenraster mit einer Rasterweite von 191 m.

In Abbildung 12 ist die Stichprobengröße bzw. der Punktabstand in Abhängigkeit von der gewünschten Irrtumswahrscheinlichkeit und dem gewünschtem Abstand vom wahren Wert dargestellt.

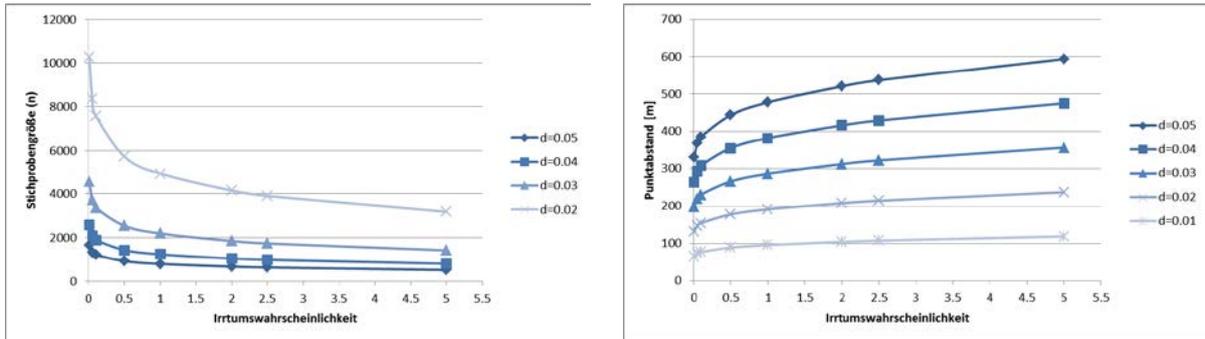


Abbildung 12: Stichprobengröße bzw. Punktabstand für eine gegebene Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  und einen gegebenen Abstand zum wahren Wert  $d$

Laut Thompson (1992) handelt es sich bei den berechneten Stichprobengrößen um „konservative“ Werte, d.h. um Werte, die in der Regel etwas größer als nötig sind, um die gewünschte Genauigkeit zu erreichen.

Nach Rücksprache mit der MA 49 wurde der nach obigen Überlegungen ermittelte Stichprobenumfang von etwa 5.000 Punkten auf 3.000 Punkte reduziert. Gründe dafür waren einerseits der beschränkte Zeitrahmen für die Erstaufnahme sowie andererseits die hohen Kosten für die Wiederholungsinterpretationen im 10-Jahres Rhythmus.

### 3.3.2 Statistische Einheiten

Als statistische Einheit dient der Stichprobenpunkt. Jeder Stichprobenpunkt muss einer Landbedeckungskategorie (Wald, Latsche, Alm / Alpiner Rasen etc.) zugewiesen werden. Zusätzlich werden bei jedem Stichprobenpunkt weitere Merkmale erhoben, welche die Ausprägung der Landbedeckung näher beschreiben. Da einige Merkmale, wie z.B. Überschirmungsgrad, Baumartenanteile etc., nur dann angesprochen werden können, wenn eine größere Fläche betrachtet wird, wird bei der Interpretation eine Kreisfläche (zentriert am Stichprobenpunkt) mit einer Größe von 1000 m<sup>2</sup> (=Stichprobenfläche) betrachtet. Auf einer Fläche dieser Größe ist z.B. die Stammzahl auch im Altbestand in der Regel noch ausreichend groß, um die Baumartenanteile sinnvoll schätzen zu können.

Die Betrachtung einer Fläche anstatt eines Punktes birgt jedoch auch Nachteile. Liegt die Stichprobenfläche z.B. an der Grenze zwischen einer Waldfläche und einer Freifläche mit alpinem Rasen, kann der Stichprobenpunkt keiner eindeutigen Landbedeckungskategorie zugewiesen werden. Dieses Problem kann so gelöst werden, dass die Fläche, welche für die Interpretation herangezogen wird, auf jenen Bereich um den Stichprobenpunkt reduziert wird, der hinsichtlich der Landbedeckung möglichst homogen ist. Dies führt zu dem Konzept der Betrachtung von Landbedeckungseinheiten anstatt von Flächen mit einer fixen Größe (Abbildung 13).

Unter einer Landbedeckungseinheit wird eine Fläche verstanden, die eine homogene Landbedeckungscharakteristik aufweist. Diese Bedingung liegt zum einen dann vor, wenn eine Fläche nur eine einzige Landbedeckung aufweist. Es können aber auch mehrere Landbedeckungsarten kleinräumig miteinander verzahnt sein (z.B. Alpiner Rasen und Fels, Alpiner Rasen und Latsche etc.). Bei Waldflächen muss die Homogenität hinsichtlich der Wuchsklasse gegeben sein. Unterschiedliche Baumarten (Laub- und Nadelholz) stellen hingegen keine Inhomogenität dar, da die Baumartenanteile als beschreibende Merkmale im Zuge der Interpretation erfasst werden.

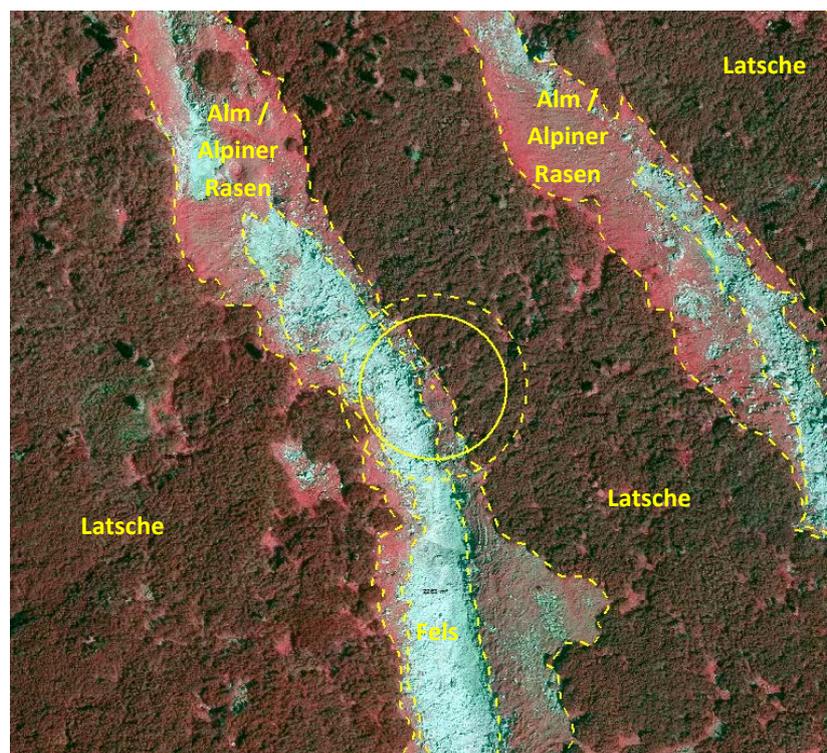


Abbildung 13: Konzept der Betrachtung von Landbedeckungseinheiten.

Vor der Interpretation eines Stichprobenpunktes werden zunächst die von der Stichprobenfläche berührten Landbedeckungseinheiten ermittelt. Dazu werden homogene Flächen im Sinne von Landbedeckungseinheiten abgegrenzt. Diese Abgrenzung erfolgt über die Grenzen der Stichprobenfläche hinweg, so wie dies auch bei einer flächendeckenden Auskartierung des Gebiets erfolgen würde. Bei der Abgrenzung ist ein gewisser Grad an Generalisierung erforderlich. Dieser wird über den Maßstab von ca. 1:1000 gesteuert, in dem die Abgrenzung vorzunehmen ist. Auf die Festlegung von Generalisierungsregeln wird zur Vereinfachung dieses Arbeitsschritts verzichtet. Nach der Abgrenzung wird geprüft, ob die abgegrenzten Flächen die erforderliche Mindestbreite (5 m) bzw. Mindestgröße (500 m<sup>2</sup>) aufweisen. (siehe auch Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch Kapitel 3.2.1: Regeln der Flächenteilung).

Abgegrenzte Flächen, welche die genannten Kriterien erfüllen, werden in weiterer Folge als eigenständige Teilflächen behandelt. Die Stichprobenfläche muss entsprechend geteilt werden und schließlich wird jene Teilfläche der gesamten Stichprobenfläche interpretiert, auf welche der Stichprobenpunkt des regelmäßigen Stichprobenrasters fällt. Die übrigen Teilflächen bleiben bei der Interpretation unberücksichtigt.

Bei Flächen, welche die Kriterien nicht erfüllen, unterbleibt die Teilung der Stichprobenfläche und die vom Rest der Stichprobenfläche abweichenden Merkmale (z.B. fehlende Überschilderung im Fall einer Lücke, welche die Mindestgröße nicht erreicht) werden bei der Interpretation der gesamten Fläche berücksichtigt.

### 3.3.3 Praktische Umsetzung

Das Untersuchungsgebiet wurde mittels FME (siehe Kapitel 3.7.2: Safe – FME) aus den Bestandes-Polygonen der Forstkarte (siehe Kapitel 2.4.1: Forstkarte) aggregiert und anschließend bereinigt. Da es sich beim Untersuchungsgebiet um eine weitestgehend zusammenhängende Fläche handelt, konnten die besonders an den Grenzen der beiden Forstverwaltungen Hirschwang und Naßwald auftretenden Sliver-Polygone einfach behoben werden. Eine sauber definierte Fläche ist für die weiteren Auswertungen (siehe Kapitel 3.6 Statistische Auswertung), sowie für die Erstellung des Punktrasters erforderlich.

Nachdem die Anzahl der Stichprobenpunkte berechnet und damit der Punktabstand festgelegt wurde (siehe Kapitel 3.3.1: Stichprobenumfang), konnte zur Erstellung des Punktrasters mittels FME (siehe Kapitel 3.7.2: Safe – FME) ein regelmäßiges, rechtwinkeliges Punktraster mit einem Punktabstand von 250 m über das Untersuchungsgebiet gelegt werden. Die Ausdehnung des daraus resultierenden Gitters definiert sich über den Koordinatenursprung des Gitters, den linken, unteren Eckpunkt bei -58.000 / 281.750, sowie den rechten, oberen Eckpunkt bei -24.500 / 297.500 (CRS: MGI Austria GK East). Mittels Verschneidung wurde jedem Punkt der entsprechende Höhenwert aus dem Geländemodell (siehe Kapitel 2.3: Digitales Geländemodell) zugeordnet.

Zur Erstellung der Stichprobenflächen wurden für dieses Punktgitter Puffer-Polygone mit einem Radius von 17,84 m bzw. einer Fläche von 1.000 m<sup>2</sup> berechnet.

Um die Stichprobeninventur rein auf Flächen der MA 49 durchzuführen, wurden die Stichprobenflächen mit dem Untersuchungsgebiet verschnitten. Die verbleibenden Stichprobenflächen liegen komplett auf Flächen der MA 49 und berühren deren Grenzen nicht.

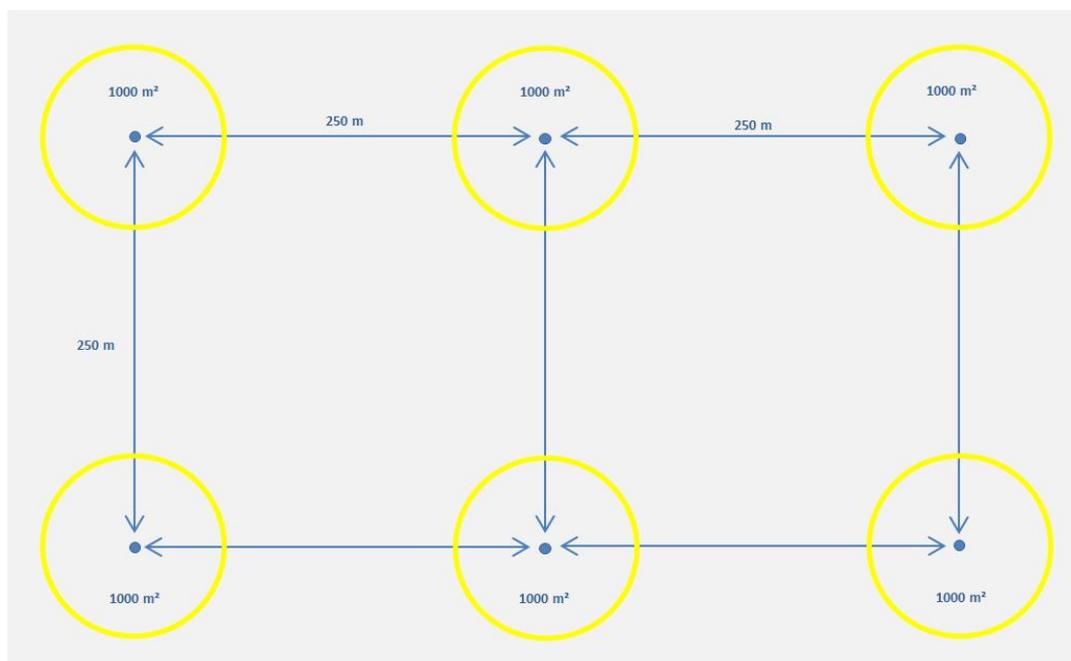


Abbildung 14: Stichprobendesign

Das endgültige Punktraster (siehe Abbildung 14) konnte damit aus den Stichprobenflächen abgeleitet werden. Er umfasst 2.886 Punkte und weist folgende Eigenschaften auf:

- Die Reihung (ID, Primärschlüssel) der Punkte erfolgt zuerst mit steigendem Rechtswert und danach mit sinkendem Hochwert. Die Punkte sind daher durchgehend, gemäß der Schreibrichtung, von links oben nach rechts unten nummeriert.
- Jedem Stichprobenpunkt kann über dessen Primärschlüssel
  - eine Stichprobenfläche (liegt komplett auf Flächen der MA 49) und
  - ein Referenzkreis (kann die Flächen der MA 49 schneiden) zugeordnet werden (siehe Kapitel 3.5.2.3: Inventurdaten).
- Jedem Stichprobenpunkt ist ein Höhenwert aus dem Geländemodell zugeordnet.

Die von einem Stichprobenpunkt repräsentierte Fläche (in Hektar) kann aus der Rasterweite (250 m) berechnet werden:

$$\frac{(250 \text{ m})^2}{10.000 \text{ m}^2} = 6,25 \text{ ha}$$

Die Hochrechnung auf Hektar-Werte kann daher mit dem Faktor 6,25 erfolgen.

## 3.4 Interpretationsschlüssel

### 3.4.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die Etablierung eines langfristigen Monitoringsystems ist die Nutzung eines standardisierten Interpretationsschlüssels mit einheitlicher Terminologie zwingend erforderlich, um die Interpretationsergebnisse verschiedener Interpreten vergleichen zu können und damit die langfristige, personenunabhängige Fortführung des Monitoringsystems zu gewährleisten. (Landesforstpräsidium (LFP), 2003)

Es wurde entschieden, einen Auswahlinterpretationsschlüssel zu erstellen, da dieser für die vorliegende Thematik sehr gut eignet ist und im Allgemeinen auch von weniger geübten Personen intuitiv verwendbar ist, da er ähnlich wie eine Kartenlegende anzuwenden ist.

Nach einer Sichtung des Bildmaterials sowie einer Geländeerkundung (siehe Kapitel 3.2.3: Praktische Umsetzung) wurde in Absprache mit der MA 49 ein Merkmalskatalog entwickelt. Zur Veranschaulichung wurden für alle Merkmale zahlreiche Bildbeispiele ausgewählt und im Interpretationshandbuch zusammengestellt (siehe Anhang: 7.4.2: Interpretationshandbuch). Sämtliche Bildbeispiele sind zusätzlich in Form von Bookmarks markiert und in das Kartendokument (siehe Kapitel 3.5.2.1: Allgemeines) eingebunden. Sie stehen somit zusätzlich zum vorliegenden Handbuch auch als „digitaler Interpretationsschlüssel“ zur Verfügung, wodurch während der Interpretation ein rascher Zugriff möglich ist.

Die verschiedenen quellschutzrelevanten Landbedeckungsparameter (siehe Kapitel 3.4.3: Attribute) werden mittels Stichprobenverfahren (siehe Kapitel 3.3) erhoben. Die Festlegung dieser Attribute orientiert sich am Informationsgehalt der aktuellen Orthofotos (siehe Kapitel 2.2.2). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Interpretierbarkeit dieser Parameter auch bei zukünftig aufgenommenen Bilddaten gegeben sein wird.

### 3.4.2 Gültigkeitsbereich

Der Interpretationsschlüssel ist auf die spezifischen Eigenschaften der Einzugsgebiete der I. und II. Wiener Hochquellenleitung (siehe Kapitel 2.1: Untersuchungsgebiet) zugeschnitten. Er wurde basierend auf dem Bildmaterial aus dem Jahr 2009 (siehe Kapitel 2.2.2: Orthofoto 2009) erstellt und ist somit für dieses Bildmaterial sowie für Bilddaten mit vergleichbaren Aufnahmeparametern (spektrale Auflösung, räumliche Auflösung, Jahreszeit) des Untersuchungsgebiets gültig.

Der Interpretationsschlüssel kann nicht ohne weiteres auf neue, zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Arbeit, unbekannte Bilddaten übertragen werden. Die Übertragbarkeit des Interpretationsschlüssels auf diese Bilddaten muss eingehend, daher gegebenenfalls durch einen Fernerkundungsexperten, geprüft werden. Dazu bietet sich die Verwendung der Bildbeispiele an, die für den Interpretationsschlüssel ausgewählt wurden. Diese können sehr einfach anhand der Bookmarks im Kartendokument (siehe Kapitel 3.5.2: GIS-Plattform / Interpretationsumgebung) angezeigt werden. Eine Fortschreibung des Interpretationsschlüssels ist nur bei geringen Abweichungen der neuen Bilddaten von den vorhandenen Bildbeispielen zulässig. Bei größeren Abweichungen muss ein Interpretationsschlüssel mit neuen Bildbeispielen (basierend auf den neuen Bilddaten) erstellt werden.

Der erstellte Interpretationsschlüssel ist nicht für historische Schwarzweißbilder gültig. Für derartiges Bildmaterial wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit kein Interpretationsschlüssel erstellt, da die Interpretation der Bilddaten aus den Jahren 1963/64 durch einen einzigen geübten Interpreten erfolgte. Zudem wurde der Merkmalskatalog auf die Landbedeckungskategorie beschränkt. Ihre Ansprache bereitet einem geübten Interpreten in der Regel auch ohne Interpretationsschlüssel keine Probleme. Auf die Ansprache der übrigen Attribute (abgesehen von einer Beurteilung der Interpretationsbedingungen sowie ggf. einer Angabe zur Teilung der Stichprobenfläche) musste verzichtet werden, da sie aufgrund der fehlenden Multispektralinformation, der geringeren Bodenauflösung, sowie teilweise auftretender Artefakte durch geländebedingte Verzerrungen nicht mit ausreichender Sicherheit angesprochen werden können.

### 3.4.3 Attribute

Im folgenden Kapitel werden die für jeden Stichprobenpunkt zu erhebenden Merkmale aufgelistet und erklärt. Die erhobenen Merkmale werden in einer Datenbank als Attributwerte gespeichert. Die Feldnamen (Merkmale) und Attributwerte werden speziell hervorgehoben: **[Feldname]**; *Attributwert*. Bei einigen Merkmalen sind Flächenanteile in  $1/10$ -Stufen zu schätzen. Die zugehörigen Wertebereiche sind im Interpretationshandbuch (siehe Anhang 7.4.2) in Tabelle 1 aufgelistet.

#### 3.4.3.1 Interpretationsbedingungen

Bei den **[Interpretationsbedingungen]** am jeweiligen Stichprobenpunkt kann zwischen vier verschiedenen Stufen gewählt werden:

- *gut*
- *mittel*
- *schlecht*
- *ungenügend*

„*gut*“: Auf der Stichprobenfläche sind keine visuellen Beeinträchtigungen erkennbar.

„*mittel*“: Auf der Stichprobenfläche sind leichte Beeinträchtigungen vorhanden, welche die Qualität der Interpretation geringfügig beeinflussen.

„*schlecht*“: Auf der Stichprobenfläche sind starke Beeinträchtigungen erkennbar, welche sich auf die Qualität der Interpretation am Stichprobenpunkt maßgeblich auswirken.

„*ungenügend*“: Die Beeinträchtigungen auf der Stichprobenfläche sind so stark, dass eine Interpretation des Stichprobenpunktes nicht möglich ist.

Bei der Ausscheidung der ersten drei Stufen ist eine Interpretation des Stichprobenpunktes in der Regel möglich, bei der Ausprägung „*ungenügend*“ kann der Stichprobenpunkt nicht mit ausreichender Genauigkeit beschrieben werden. In diesem Fall wird die Ursache der Beeinträchtigung vermerkt (siehe Kapitel 3.4.3.2) und die Interpretation beim nächsten Stichprobenpunkt fortgesetzt. Werden die Interpretationsbedingungen als „*gut*“ beurteilt, ist es nicht zulässig, bei einem der folgenden Attribute die Option „*nicht interpretierbar*“ zu wählen.

#### 3.4.3.2 Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen

Sind die **[Interpretationsbedingungen]** „*gut*“, ist für dieses Feld der Standardwert „*keine*“ zu wählen. Für alle anderen Werte ist das Feld „Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen“ auszufüllen. Folgende Möglichkeiten stehen zur Auswahl:

- *Schatten*
- *Schnee*
- *Wolken*
- *Verzerrungen*
- *Sonstiges*

Unter „*Sonstiges*“ fallen Situationen, bei welchen die Interpretation z.B. durch starken Umklappeffekt, durch Farbunterschiede zwischen benachbarten Orthofotokacheln oder bedingt durch den Verlauf störender Nahtstellen (Seamlines) im Bildmosaik beeinträchtigt ist.

### 3.4.3.3 Kategorie

Jeder interpretierbare Stichprobenpunkt ist einer Landbedeckungskategorie zuzuordnen. Sind auf einer Stichprobenfläche mehrere Landbedeckungsarten miteinander verzahnt, ohne dass jedoch die Bedingungen für eine Teilung der Fläche gegeben sind, ist jene **[Kategorie]** zu wählen, die den größten Flächenanteil hat.

Folgende Kategorien stehen zur Auswahl:

- *Wald*
- *Latsche*
- *Alm / Alpiner Rasen*
- *Fels*
- *Schutt*
- *Forststraße*
- *Wasserfläche*
- *Sonstiges*

„*Wald*“: Diese Kategorie wird ausgeschieden, wenn der Stichprobenpunkt auf eine mit Bäumen überschirmte Fläche fällt, wobei die Überschirmung mindestens  $\frac{3}{10}$  betragen muss. Für die Wald-Nichtwald-Entscheidung ist zusätzlich zur Stichprobenfläche die gesamte Landbedeckungseinheit (siehe Kapitel 3.3.2), welcher die zu interpretierende Fläche angehört, heranzuziehen. Demzufolge kann einer Fläche die Kategorie Wald zugeordnet werden, auch wenn die Überschirmung weniger als  $\frac{3}{10}$  beträgt, da die Überschirmung der gesamten Landbedeckungseinheit entscheidend ist. Bei Flächen, welche der Wuchsklasse „*Blöße*“ (siehe Kapitel 3.4.3.6: Wuchsklasse) zuzuordnen sind, gilt das Kriterium der Mindestüberschirmung generell nicht, d.h. die Überschirmung darf in diesem Fall auch unter  $\frac{3}{10}$  liegen. Wird die Kategorie „*Wald*“ gewählt, müssen in weiterer Folge auch die **[Wuchsklasse]**, sowie die Anteile für Laub- und Nadelholz (**[Laubholz Anteil]**, **[Nadelholz Anteil]**) bestimmt werden.

„*Latsche*“: Diese Kategorie wird gewählt, wenn der Stichprobenpunkt auf eine Fläche fällt, die zum überwiegenden Teil mit Latschen (Bergkiefer: *Pinus mugo* subsp. *mugo*; auch Legföhre oder Krüppelkiefer genannt) bedeckt ist. Latschenflächen weisen eine geringe Bewuchshöhe (erkennbar an geringem Schattenwurf) und einen dichten Bewuchs mit einer körnigen Textur auf.

„*Alm / Alpiner Rasen*“: Diese Kategorie wird ausgeschieden, wenn der Stichprobenpunkt auf eine vorwiegend mit Almen bzw. alpinem Rasen bedeckte Fläche fällt. Sie tritt in den Ostalpen ab einer Seehöhe von ca. 1300 m in den Höhenstufen „hochmontan“ bis „alpin“ auf. Flächen dieser Kategorie sind durch besonders niedrigen Bewuchs und eine sehr feine, gleichmäßige Textur erkennbar.

„*Fels*“: Diese Kategorie ist auszuscheiden, wenn das Grundgestein klar hervortritt, erkennbar an stark zerklüfteten Felsformationen und meistens starken Höhengsprüngen im Geländemodell. Der Bewuchs ist gering oder fehlt gänzlich.

„*Schutt*“: Diese Kategorie tritt überwiegend an den Ausläufern von Felsformationen auf. Charakteristisch ist eine sehr ebenmäßige Textur, die nur gelegentlich von Gräben durchzogen ist. Auf den weniger durch Steinschlag beeinflussten und besser wasserversorgten Flächen kann sich ein geringer Bewuchs etablieren.

„Forststraße“: Diese Kategorie ist dann auszuscheiden, wenn der Stichprobenpunkt auf eine Forststraße fällt. Als Forststraße gilt jene Fläche, die befahren werden kann. Angrenzende Bereiche, wie z.B. die Straßenböschung, zählen nicht dazu. Das Kriterium der Mindestbreite (siehe Kapitel 3.3.2: Statistische Einheiten) kommt bei Forststraßen nicht zur Anwendung.

„Wasserfläche“: Diese Kategorie ist auszuscheiden, wenn der Stichprobenpunkt auf eine Wasserfläche (Fluss, stehendes Gewässer, usw.) fällt.

„Sonstiges“: Sämtliche Stichprobenpunkte, die keiner der oben genannten Kategorien zugeordnet werden können, sind als „Sonstiges“ auszuscheiden. Darunter fallen z.B. Siedlungsflächen, landwirtschaftliche Flächen, Verkehrsflächen usw. Wird diese Kategorie ausgeschieden, muss die Art der Landbedeckung im Feld **[Bemerkung für Kategorie Sonstiges]** (siehe 3.4.3.5) vermerkt werden.

Treten zwei oder mehrere Landbedeckungskategorien stark miteinander verzahnt auf (z.B. Latsche mit Bäumen überschirmt), ist die Entscheidung für eine Kategorie oft schwierig. An dieser Stelle sei auf das Kapitel 7.2.1 des Interpretationshandbuchs (siehe Anhang: 7.4.2) verwiesen, wo näher auf diese Problematik eingegangen wird.

#### 3.4.3.4 Anteil am gesamten Kreis

Wird die Stichprobenfläche geteilt, wird in der Attributtabelle der prozentuale Anteil jener Teilfläche eingetragen, auf welche der Stichprobenpunkt fällt (auf ganze Zahl gerundet). Der Wert wird nach Teilung der Fläche automatisch ausgewiesen.

#### 3.4.3.5 Bemerkung für Kategorie Sonstiges

Wurde als **[Kategorie]** die Ausprägung „Sonstiges“ gewählt, ist eine Bemerkung über die Art der Landbedeckung anzugeben. Sonstige Landbedeckungsarten können z.B. Siedlungsflächen, landwirtschaftliche Flächen, Verkehrsflächen usw. sein. Wurde eine andere Kategorie gewählt, wird dieses Merkmal übersprungen.

#### 3.4.3.6 Wuchsklasse

Wurde die Kategorie „Wald“ ausgeschieden, muss die „Wuchsklasse“ angegeben werden, bei den übrigen Kategorien ist die Option „-“ zu wählen.

Folgende Wuchsklassen werden unterschieden (vgl. Röhrig, Bartsch, & von Lüpke, 2006):

- Blöße
- Jungwuchs
- Dickung
- Stangenholz
- Baumholz
- Altholz
- Ungleichaltrig

„Blöße“: Unter einer Blöße versteht man eine Kahlfläche, welche keine oder nur wenig Verjüngung ( $< \frac{3}{10}$  Überschildung) aufweist. Nach der Aufarbeitung können Wurzelstöcke bzw. im Kalamitätsfall auch Wurzelteller sichtbar sein. In manchen Fällen sind noch Spuren der Aufarbeitung (Rückegassen, Fahrrinnen, Schlagabraum, Holzlager, usw.) erkennbar. Altholzbestände mit einer Überschildung von weniger als  $\frac{3}{10}$  werden ebenfalls als Blöße ausgeschieden.

„*Jungwuchs*“: Bestände sind ab dem Zeitpunkt der Bestandesbegründung bis zum Eintritt des Bestandesschlusses als „*Jungwuchs*“ auszuweisen. In dieser Phase ist die Verjüngung bereits gut erkennbar, die Pflanzhöhe ist aber noch sehr gering (erkennbar an geringem Schattenwurf). Der Boden bleibt stellenweise weiterhin sichtbar. Die Oberfläche erscheint noppenartig. Auch in dieser Entwicklungsstufe können noch Spuren der Aufarbeitung (Rückegassen, Holzlager usw.) sichtbar sein. Wurde der Bestand durch Aufforstung begründet, sind die Pflanzreihen meist noch deutlich erkennbar. Beträgt die Überschirmung der Verjüngung weniger als  $\frac{3}{10}$ , so ist die Wuchsklasse „*Blöße*“ auszuscheiden.

„*Dickung*“: Bestände sind ab dem Zeitpunkt des Bestandesschlusses als „*Dickung*“ auszuweisen. Die Baumkronen sind dicht ineinander verschlungen, Einzelbäume sind kaum abgrenzbar. Das Luftbild zeigt eine ebene, leicht raue Textur. Fallweise sind noch kleine Lücken mit durchscheinendem Boden erkennbar.

„*Stangenholz*“: In dieser Phase ist inter- und intraspezifische Konkurrenz stark, welche zu einer deutlichen Stammzahlverminderung, sowie Schichtendifferenzierung führt. Das Kronendach bleibt aber meist noch geschlossen. Einzelbäume sind in der Regel abgrenzbar (eine Ausnahme stellen Laubholzbestände aus Naturverjüngung dar). Außerdem kann die Höhe der Bäume (bestimmbar über den Schattenwurf am Bestandesrand) als Erkennungsmerkmal dienen. Innerhalb der Bestände sind nur wenig Schattenflächen vorhanden. Da in der Stangenholzphase die meisten Durchforstungen durchgeführt werden, kann die charakteristische Reihen- und Linienstruktur dieses Eingriffs als weiteres Erkennungsmerkmal herangezogen werden.

„*Baumholz*“: In dieser Phase ist die Schichtendifferenzierung weitestgehend abgeschlossen. Einzelne Individuen treten deutlich hervor, ihre Kronen sind deutlich größer als bei Stangenholz und grenzen sich deutlich voneinander ab. Innerhalb des Bestandesgefüges sind Schatten erkennbar (bei Nadelmehr als bei Laubholz). Es herrscht noch immer weitgehend Bestandesschluss, es sind nur wenige Lücken vorhanden. Die Baumhöhe kann, wie bei Stangenholz, über den Schattenwurf als zusätzliches Erkennungsmerkmal dienen.

„*Altholz*“: In dieser Phase ist die Schichtendifferenzierung abgeschlossen. Einzelne Individuen treten deutlich hervor, die Kronen sind groß und sehr gut abgrenzbar. Die Stammzahl und damit auch der Schlussgrad beginnen wieder abzunehmen. Bestandeslücken werden häufiger und führen vermehrt zu Schattenflächen innerhalb des Bestandesgefüges. Durch das aufgelockerte Kronendach kann Licht auf den Boden dringen, wodurch sich eine Kraut- und Strauchschicht bildet, die oftmals durch die Bestandeslücken sichtbar wird. Fällt die Überschirmung des Altholzbestandes unter  $\frac{3}{10}$ , ist die Fläche als „*Blöße*“ auszuscheiden.

„*Ungleichaltrig*“: Ist auf einer Stichprobenfläche mehr als eine Wuchsklasse vorhanden und ist eine Flächenteilung nicht möglich, da die verschiedenen Wuchsklassen über die Fläche verteilt sind (Plenterstruktur), so ist die Wuchsklasse „*Ungleichaltrig*“ zu wählen.

### 3.4.3.7 Laub- und Nadelholzanteil

Die Merkmale **[Laubholz Anteil]** und **[Nadelholz Anteil]** beschreiben die Baumartenzusammensetzung auf der zu interpretierenden Fläche in  $1/_{10}$ -Stufen. Es werden alle sichtbaren Bäume unabhängig von der Wuchsklasse berücksichtigt.

Die Laub- und Nadelholzanteile sind nur bei Stichprobenflächen der Kategorie „Wald“ auszuweisen. Bei allen übrigen Flächen ist die Option „-“ zu wählen. Die Summe der beiden Anteile muss sinngemäß  $10/_{10}$  ergeben. Totholz wird nicht berücksichtigt. Die Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelholz ist in der Regel ab der Dickungsphase möglich, in Kulturen manchmal auch bereits in der Jungwuchsphase.

### 3.4.3.8 Totholz

Für die Ansprache von Totholz stehen folgende Möglichkeiten zur Auswahl:

- *stehend*
- *liegend*
- *stehend und liegend*
- *keines*

„*stehend*“: Auf der Stichprobenfläche ist stehendes Totholz erkennbar. Hierbei kann es sich entweder um Einzelbäume oder um kleinflächige Kalamitäten („Käferlöcher“) handeln. Erkennbar ist das Totholz an fehlender bzw. verfärbter Belaubung oder Benadelung, was sich im Farbinfrarotbild durch eine grünliche bis bläuliche Verfärbung bemerkbar macht. Abgestorbene Latschen werden nicht zum Totholz gezählt.

„*liegend*“: Auf der Stichprobenfläche ist liegendes Totholz erkennbar.

„*stehend und liegend*“: Es ist sowohl stehendes als auch liegendes Totholz erkennbar.

„*keines*“: Auf der Stichprobenfläche ist weder stehendes noch liegendes Totholz erkennbar.

Für die Ansprache von Totholz sei noch anzumerken, dass kein Schwellenwert wie z.B. ein zu erreichender Mindestbrusthöhendurchmesser oder ähnliches definiert wurde. Für die Ansprache reicht die Erkennbarkeit am Orthofoto aus, da bei einer Pixelgröße von 20 cm ohnehin nur größere Dimensionen zweifelsfrei als Totholz identifiziert werden können. Dünnere Dimensionen in der Strauch- und Unterschicht sind oftmals nicht erkennbar bzw. überschirmt und können daher nicht fehlerfrei interpretiert werden. Aus diesem Grund ist von der Ableitung diverser Indikatoren aus dem Attribut **[Totholz]** wie z.B. dem Totholzprozent abzusehen.

### 3.4.3.9 Überschildung mit Bäumen

Dieses Attribut Merkmal erfasst die Überschildung der zu interpretierenden Fläche mit Bäumen in  $\frac{1}{10}$ -Stufen. Es ist sowohl bei Stichprobenpunkten anzusprechen, die der Kategorie „Wald“ zugeordnet wurden, als auch bei allen anderen Stichprobenpunkten, ausgenommen bei Stichprobenpunkten der Kategorien „Forststraße“, „Wasserfläche“ und „Sonstiges“. Es werden alle auf der zu interpretierenden Fläche sichtbaren Bäume unabhängig von der Wuchsklasse berücksichtigt. Stehendes Totholz wird bei der Schätzung der Überschildung nicht berücksichtigt. Ist ein Stichprobenpunkt z.B. der Kategorie „Latsche“ geringfügig mit Bäumen überschildert, so ist der Anteil der überschilderten Fläche an der Stichprobenfläche als **[Überschildung mit Bäumen]** anzusprechen. Ebenso ist bei den Kategorien „Alm / Alpiner Rasen“, „Schutt“ und „Fels“ vorzugehen. Als Hilfestellung bei der Schätzung der Überschildung können verbale Beschreibungen (siehe Tabelle 4) bzw. Schätzhilfen (siehe Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch Kapitel 7.1) hilfreich sein.

Tabelle 4: Luftbildmerkmale verschiedener Überschildungsstufen der Kategorie "Wald" (nach Ahrens 2001)

Überschildung in $\frac{1}{10}$ -Stufen	Beschreibung im Luftbild	Forstliche Bezeichnung
$\frac{10}{10}$	Kronen in der Oberschicht greifen ineinander; Kronenrand nicht sichtbar	gedrängt
$\frac{9}{10}$	Kronen in der Oberschicht berühren sich; Kronenrand meist sichtbar	geschlossen
$\frac{7}{10} - \frac{8}{10}$	Abstand der Kronen in der Oberschicht kleiner als eine durchschnittliche Krone im Bestand	locker
$\frac{5}{10} - \frac{6}{10}$	Abstand der Kronen in der Oberschicht größer als eine durchschnittliche Krone im Bestand	licht
$\frac{3}{10} - \frac{5}{10}$	Abstand der Kronen in der Oberschicht überwiegend größer als mehrere durchschnittliche Kronen im Bestand	lückig-räumdig

### 3.4.3.10 Überschildung mit Latsche

Dieses Merkmal erfasst die mit Latsche überschilderte Fläche in  $\frac{1}{10}$ -Stufen. Es ist sowohl bei Stichprobenpunkten anzusprechen, die der Kategorie „Latsche“ zugeordnet wurden, als auch bei allen anderen Stichprobenpunkten, ausgenommen bei Stichprobenpunkten der Kategorien „Forststraße“, „Wasserfläche“ und „Sonstiges“. Abgestorbene Latschen werden bei der Schätzung der Überschildung nicht berücksichtigt, sind jedoch unter „Sonstige Anmerkungen“ zu erwähnen. Bei der Schätzung dürfen nur jene Bereiche berücksichtigt werden, die am Bild tatsächlich sichtbar sind. Bereiche, die vermutlich mit Latsche bedeckt, aber durch Bäume überschildert sind, dürfen nicht mitgerechnet werden. Ist ein Stichprobenpunkt z.B. der Kategorie „Alm / Alpiner Rasen“ teilweise mit Latschen überschildert, so ist der Anteil der überschilderten Fläche als **[Überschildung mit Latsche]** anzusprechen. Ebenso kann z.B. ein Stichprobenpunkt der Kategorie „Wald“ eine teilweise Überschildung mit Latsche aufweisen. Zur Schätzung der **[Überschildung mit Latsche]** können auch die Hilfstafeln (siehe Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch Kapitel 7.1) herangezogen werden.

#### 3.4.3.11 Anteil Alm / Alpiner Rasen

Dieses Merkmal erfasst die mit Alm oder alpinem Rasen bedeckte Fläche in  $1/_{10}$ -Stufen. Es ist sowohl bei Stichprobenpunkten anzusprechen, die der Kategorie „Alm / Alpiner Rasen“ zugeordnet wurden, als auch bei allen anderen Stichprobenpunkten, ausgenommen bei Stichprobenpunkten der Kategorien „Forststraße“, „Wasserfläche“ und „Sonstiges“. Krautige Vegetation, wie sie etwa in tieferen Lagen als Bodenvegetation auf Waldflächen auftritt, darf bei der Schätzung nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.4.3.3 Kategorie: „Alm / Alpiner Rasen“).

#### 3.4.3.12 Anteil offener Boden

Der **[Anteil offener Boden]** wird in  $1/_{10}$ -Stufen geschätzt. anzusprechen ist der sichtbare, nicht durch Vegetation (inklusive Bäume) bedeckte Boden. Dazu zählen blanker Fels, Geröll, Schutt, Plaiken oder auch einzelne größere Steine auf Almen. Auch sichtbares Grundgestein bei Windwurfstellern ist als offener Boden auszuscheiden. Bei der Schätzung dürfen nur jene Bereiche berücksichtigt werden, die am Bild tatsächlich sichtbar sind. Bereiche, die vermutlich vegetationsfrei, aber durch Latschen oder Bäume überschirmt sind, dürfen nicht mitgerechnet werden. Ist die Sicht auf den Boden durch Bäume stark eingeschränkt, so muss eine Schätzung unterbleiben und die Option „nicht interpretierbar“ gewählt werden. Zur Schätzung können auch die Hilfstafeln (siehe Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch Kapitel 7.1) herangezogen werden.

#### 3.4.3.13 Anteil Schatten

Durch dieses Attribut werden jene Teile der Stichprobenfläche erfasst, die bedingt durch Schattenwurf nicht interpretiert werden können.

Die Summe aus :

- **[Überschirmung mit Bäumen]**
- **[Überschirmung mit Latsche]**
- **[Anteil Alm / Alpiner Rasen]**
- **[Anteil offener Boden]**
- **[Anteil Schatten]**

sollte in der Regel  $10/_{10}$  ergeben. Abweichungen davon sind jedoch in folgenden Fällen möglich:

- Durch den Umklappeffekt ist die Sicht auf tieferliegende Teile der Stichprobenfläche (offener Boden, Latsche, Alm / Alpiner Rasen, etc.) verdeckt. Zur Schätzung der Überschirmung werden die Bäume gedanklich aufgerichtet, über die Zusammensetzung der tieferliegenden Teile kann jedoch keine Aussage getroffen werden.
- Die Bedeckung der Stichprobenfläche ist keinem der Attribute zuordenbar (z.B. krautige Bodenvegetation im Bestand, die per Definition nicht als Alm / Alpiner Rasen angesprochen werden kann).
- Stehendes und / oder liegendes Totholz

#### 3.4.3.14 Besondere Dynamik

Unter **[Besondere Dynamik]** wird eine Störung verstanden, die zu deutlich sichtbaren Veränderungen in der Landschaft führt. Dazu zählen besonders Lawinenabgänge, Hangrutschungen, Erosionsvorgänge usw., aber auch großflächige Windwürfe oder Käferbefall. Sind derartige

Störungen auf der Stichprobenfläche erkennbar, ist für dieses Merkmal die Option „Ja“ zu wählen, ansonsten wird der Standardwert „Nein“ belassen

#### ***3.4.3.15 Bemerkung zu besonderer Dynamik***

Liegt eine besondere Dynamik vor, ist hier eine kurze Beschreibung über die Art der Dynamik anzuführen (z.B. Lawinengänge, Hangrutschungen, Plaiken usw.).

#### ***3.4.3.16 Sonstige Anmerkungen***

Dieses Feld bietet Platz für allfällige Anmerkungen zur Interpretation oder zu besonderen Eigenschaften einer Stichprobenfläche.

### 3.4.4 Testinterpretation

Ziel der Testinterpretation war es, die praktische Anwendbarkeit und Tauglichkeit des erstellten Interpretationsschlüssels zu überprüfen. Dazu wurde ein Testdatensatz mit Stichprobenpunkten angelegt, die nicht Teil der eigentlichen Stichprobeninventur sind. Die Stichprobenpunkte des Testdatensatzes wurden von mehreren Testinterpreten unter Zuhilfenahme des Interpretationshandbuchs (siehe Anhang 7.4.2) nach einer kurzen Einschulung und unabhängig voneinander interpretiert. Auf diese Weise sollte herausgefunden werden, ob die Interpretationsanleitung verständlich und umsetzbar ist und die zu interpretierenden Attribute (siehe Kapitel 3.4.3: Attribute) im Interpretationshandbuch ausreichend beschrieben sind, so dass mehrere Interpreten zu übereinstimmenden Interpretationsergebnissen gelangen.

Der erstellte Testdatensatz soll darüber hinaus bei künftigen Wiederholungsaufnahmen sowohl zur Einschulung als auch zur Eichung der jeweils eingesetzten Interpreten genutzt werden.

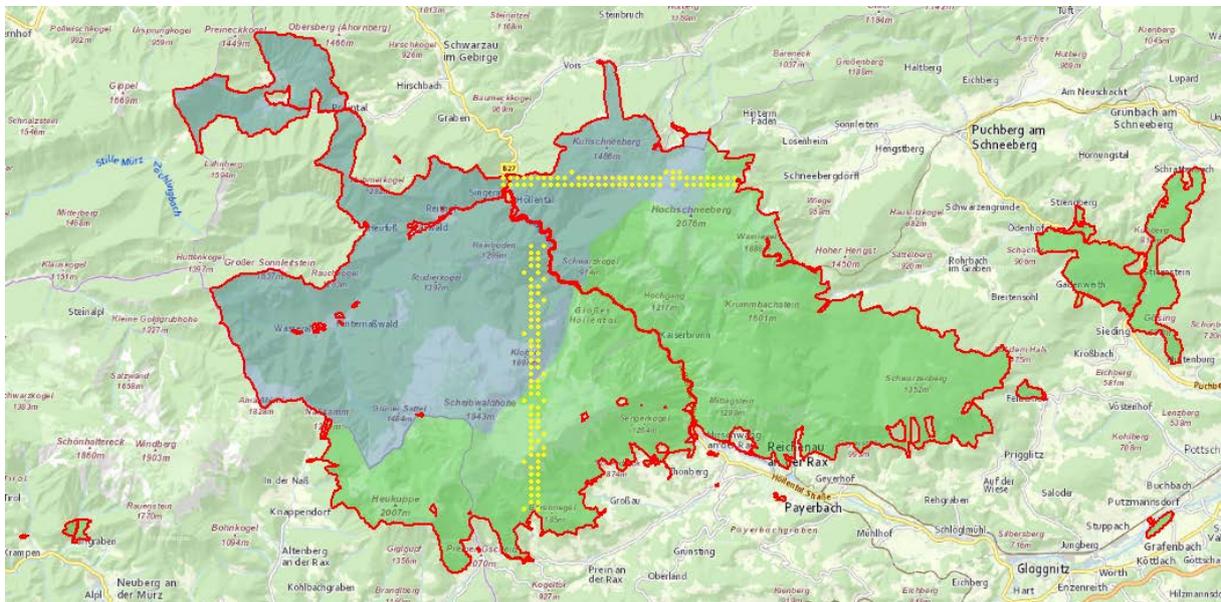


Abbildung 15: Untersuchungsgebiet mit Trainingspunkten

Die Punkte des Testdatensatzes sollen einerseits möglichst alle Landbedeckungskategorien in den verschiedenen Höhenstufen abdecken, um repräsentativ für den gesamten Stichprobendatensatz zu sein und andererseits Spezialfälle der Interpretation beinhalten, um den Interpreten möglichst gut vorzubereiten. Es wurden daher jeweils ein Nord-Süd- sowie ein Ost-West-verlaufendes Transekt im Bereich Rax-/Schneebergmassiv angelegt (siehe Abbildung 15). Die beiden Transekte erstreckten sich über alle Höhenstufen. Insgesamt umfasste der Testdatensatz 150 Stichprobenpunkte.

Dieser Testdatensatz wurde von neun verschiedenen Interpreten mit Hilfe des Interpretationsschlüssels im Rahmen eines Workshops interpretiert. Die ausgewählten Testinterpreten stammten aus unterschiedlichen Tätigkeitsfeldern (Wissenschaft/Lehre, Forsteinrichtung, Revierleitung, Revierassistenz, Forstwirtschaftsstudium) und deckten damit eine große Bandbreite hinsichtlich ihrer Vorkenntnisse im Bereich Luftbildinterpretation ab.

## 3.5 Datenmanagement/-organisation

In diesem Kapitel werden die Interpretationsdatenbank (siehe Kapitel 3.5.1) sowie die Interpretationsumgebung (siehe Kapitel 3.5.2) erklärt und beschrieben.

Aufgrund der aktuellen Softwareausstattung der MA 49 wurde ESRI - ArcGIS als GIS-Arbeitsumgebung für die Stichprobeninterpretation gewählt. Daraus ergeben sich die verwendeten Dateiformate sowie die im Folgenden beschriebene Organisation der Daten.

### 3.5.1 Räumliche Datenbanken

Mit räumlichen Datenbanken können Daten „zentral, dauerhaft und widerspruchsfrei gespeichert und verwaltet werden“ (Univ. Salzburg Z\_GIS, 2014). Die einheitliche und strukturierte Datenhaltung ist besonders bei der Verwaltung und Analyse von großen Datenbeständen wichtig. Es wurde daher von Beginn an mit Datenbanken gearbeitet. Aufgrund des Umfangs der Arbeit wurden jedoch nur ESRI-Datenbanken verwendet und nicht auf eine Datenbanklösung wie z.B. Oracle-Spatial gesetzt.

In einem ersten Schritt wurden alle von der MA 49 übergebenen Daten mittels FME (siehe Kapitel 3.7.2) generalisiert und in eine gemeinsame zentrale File-Geodatabase überführt. Nach der Festlegung der zu erhebenden Attribute (siehe Kapitel 3.4.3) wurde eine weitere Geodatenbank für die Stichprobeninterpretation erstellt. Durch die zentrale Datenhaltung konnten Redundanzen minimiert und die Integrität der Daten auch bei mehreren Interpreten gewährleistet werden. Für die logische Verknüpfung der Daten wurde ein numerischer Primärschlüssel definiert. Mit diesem Schlüssel lassen sich sämtliche Datensätze wie z.B. der Stichprobenpunkt und die Stichprobenfläche einfach miteinander sowie jahrgangsübergreifend verknüpfen. Ein weiterer möglicher Schlüssel wäre auch durch die Lage der Stichprobenpunkte, die über die Interpretations-Jahrgänge konstant bleibt, gegeben. Die Datensätze der einzelnen Jahrgänge, sowie weitere thematische Datensätze (z.B. Höhengichtlinien) sind logisch in Feature Datasets zusammengefasst.

Um die Integrität der Daten sicherzustellen, wurden sämtliche durch den Interpreten veränderbaren Merkmalsausprägungen der einzelnen Attribute als Subtypes und Domains in der Datenbank hinterlegt (siehe Kapitel 3.5.1.2: Merkmalscodierung und Kapitel 7.3: Domaintabelle).

#### 3.5.1.1 Geodatenbank

Die vorkonfigurierte Geodatenbank (File-Geodatabase) enthält folgende drei Feature Datasets:

- Stichprobenpunkt: sämtliche zu interpretierende Stichprobenpunkte des Untersuchungsgebiets (als Point Feature Dataset)
- Stichprobenfläche: Kreisflächen mit einer Größe von 1000 m<sup>2</sup> (Radius: 17.8 m), zentriert auf den Stichprobenpunkten (als Polygon Feature Dataset)
- Referenzkreis: Kreisflächen zentriert auf den Stichprobenpunkten mit einem um 5 m größeren Radius als die Stichprobenflächen als Hilfe zum Abschätzen von Distanzen (als Polygon Feature Dataset).

Die Attribut-Tabelle jedes Feature Datasets wurde den Interpretationsanforderungen entsprechend konfiguriert. In der Datenbank sind sämtliche Wertebereiche, sogenannte Domains, enthalten (siehe Anhang 7.3: Domaintabelle). Diese bieten neben der einfacheren Dateneingabe auch Vorteile hinsichtlich Datenqualität. Da lediglich die in den Domains hinterlegten Werte akzeptiert werden, können Schreibfehler bei der Eingabe verhindert werden.

### 3.5.1.2 Merkmalscodierung

Die verschiedenen Ausprägungen der einzelnen Merkmale werden in der Datenbank codiert gespeichert. Jedem Code ist eine Beschreibung zugeordnet, welche dem Nutzer während der Bearbeitung angezeigt wird. In Tabelle 5 bis Tabelle 7 ist eine Übersicht über die tatsächlich in der Datenbank gespeicherten Werte für alle Merkmale aufgeführt.

Tabelle 5: Merkmalscodierung 1

Interpretationsbedingungen:	
Code:	Beschreibung:
0	gut
1	mittel
2	schlecht
3	ungenügend

Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen:	
Code:	Beschreibung:
0	Keine
1	Schatten
2	Schnee
3	Wolken
4	Verzerrungen
5	Sonstiges

Kategorie:	
Code:	Beschreibung:
1	Wald
2	Latsche
3	Alm / Alpiner Rasen
4	Fels
5	Schutt
6	Forststrasse
7	Wasserflaeche
8	Sonstiges
-1	nicht interpretierbar

Anteil am gesamten Kreis:	
Dieses Merkmal kann ganze Zahlen zwischen 0 und 100 annehmen.	

Bemerkung für Kategorie Sonstiges:	
Code:	Beschreibung:
1	Siedlung
2	Landwirtschaftliche Fläche

Wuchsklasse:	
Code:	Beschreibung:
0	Blöße
1	Jungwuchs
2	Dickung
3	Stangenholz
4	Baumholz
5	Altholz
6	ungleichaltrig
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Tabelle 6: Merkmalscodierung 2

Laubholz Anteil:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Nadelholz Anteil:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Überschirmung mit Bäumen:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Überschirmung mit Latsche:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Anteil Alm / Alpiner Rasen:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

Anteil offener Boden:	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

**Tabelle 7: Merkmalscodierung 3**

<b>Anteil Schatten:</b>	
Code:	Beschreibung:
0	0/10
1	1/10
2	2/10
3	3/10
4	4/10
5	5/10
6	6/10
7	7/10
8	8/10
9	9/10
10	10/10
-1	nicht interpretierbar
-2	-

<b>Totholz sichtbar:</b>	
Code:	Beschreibung:
0	keines
1	stehend
2	liegend
3	stehend und liegend

<b>Besondere Dynamik:</b>	
Code:	Beschreibung:
0	Nein
1	Ja

**Bemerkung zu besonderer Dynamik:**  
 Dieses Merkmal kann Text mit einer Länge von bis zu 100 Zeichen beinhalten.

**Sonstige Anmerkungen:**  
 Dieses Merkmal kann Text mit einer Länge von bis zu 200 Zeichen beinhalten.

<b>Interpretation abgeschlossen:</b>	
Code:	Beschreibung:
0	Nein
1	Ja

## 3.5.2 GIS-Plattform / Interpretationsumgebung

### 3.5.2.1 Allgemeines

Als GIS-Plattform wurde ArcGIS verwendet (siehe Kapitel 3.7.1: ESRI - ArcGIS). Auf dieser Basis wurde ein Kartendokument erstellt (siehe Anhang 7.4.3: Interpretationsumgebung) und für die speziellen Anforderungen der visuellen Bildinterpretation gestaltet. Die für die Interpretation benötigten Fenster (Table, Attributes, Create Features) und Toolbars wurden möglichst praktisch angeordnet. Sämtliche für die Stichprobeninterpretation benötigten Daten (Geodatenbank, Orthofotos) wurden in das Kartendokument (.mxd) eingebunden. Die Bildbeispiele des Interpretationshandbuchs (siehe Anhang 7.4.2) sind für den Interpreten im Kartendokument in Form von Bookmarks markiert. Das Kartendokument stellt daher neben der Interpretationsumgebung auch einen „digitalen Interpretationsschlüssel“ dar. Damit wird während der Interpretation ein rascher Zugriff auf die Bildbeispiele ermöglicht. Es enthält außerdem eine für die Interpretation vorbereitete Layerstruktur mit voreingestellter Symbologie, welche im Folgenden erklärt wird.

### 3.5.2.2 Beschriftung

Dieser Gruppenlayer enthält die folgenden Layer:

- Beschriftung Stichprobenpunkt
- Beschriftung Stichprobenfläche
- Beschriftung Referenzkreis

Diese drei Layer sind mit den Layern „Stichprobenpunkt“, „Stichprobenfläche“ und „Referenzkreis“ der Geodatenbank verbunden (siehe Kapitel 3.5.1.1: Geodatenbank). Sie dienen ausschließlich zur Beschriftung, die enthaltenen Features werden nicht symbolisiert. Die Layer sind während der Bearbeitung nicht selektierbar. Jeder Beschriftungslayer kann individuell während der Bearbeitung ausgeblendet werden, um die Sicht auf die Stichprobenfläche zu erhöhen. Alternativ kann auch der Gruppenlayer ausgeblendet werden, um alle Beschriftungen gleichzeitig zu deaktivieren.

### 3.5.2.3 Inventurdaten

#### Stichprobenpunkt



Dieses Point Feature Dataset wird als gelber Punkt symbolisiert. Sämtliche Stichprobenpunkte sind in einem rechtwinkligen Raster mit einem Abstand von 250 m mal 250 m angeordnet. Die eindeutigen Punktnummern sind fortlaufend von links oben nach rechts unten nummeriert. Der Stichprobenpunkt stellt das Zentrum der Stichprobenfläche dar und bestimmt bei Flächenteilungen die zu interpretierende Fläche, d.h. bei geteilten Stichprobenflächen wird jene Teilfläche interpretiert, auf die der Stichprobenpunkt fällt. Weiters ist der Stichprobenpunkt Träger sämtlicher attributiver Merkmale und muss daher bei der Interpretation bearbeitet werden. Wurde ein Stichprobenpunkt vollständig interpretiert, wird er automatisch mit dem Kürzel „OK“ beschriftet (siehe Abbildung 19).

#### Stichprobenfläche



Die Stichprobenfläche wird als durchgezogener Kreis symbolisiert. Die Größe beträgt 1000 m<sup>2</sup>. Im Zentrum der Stichprobenfläche befindet sich der Stichprobenpunkt. Bei Teilung einer Stichprobenfläche werden die prozentualen Anteile der Teilflächen durch die Geodatenbank berechnet und angezeigt (siehe Abbildung 18). Der Wert der zu interpretierenden Fläche ist anschließend in das Feld **[Anteil am gesamten Kreis]** einzutragen. Anmerkung: Durch Rundung der Anteile auf ganzzahlige Werte kann die Summe der Anteile geringfügig von 100 % abweichen.

#### Referenzkreis



Der Referenzkreis bietet eine Hilfestellung bei der Abschätzung von Distanzen. Er wird als unterbrochener Kreis mit einem Abstand von 5 m um die Stichprobenfläche symbolisiert. Dieser zusätzliche 5 m breite Puffer wird nicht interpretiert. Dieses Polygon Feature Dataset dient außerdem zum Abgrenzen und Messen von Flächen, um entscheiden zu können, ob eine Stichprobenfläche zu teilen ist oder nicht. Die Flächengröße wird automatisch angezeigt (siehe Abbildung 17).

### 3.5.2.4 Höenschichtlinien

Im Kartendokument ist zur Unterstützung bei der Interpretation der Layer Höenschichtlinien vorhanden. Dieser Layer erlaubt einen besseren Eindruck von der Geländemorphologie bzw. der jeweiligen Standortverhältnisse wie Neigung, Exposition und Relief. Er ist in 20 und 100 m Schichtenlinien unterteilt. Die Symbologie folgt den kartographisch üblichen Konventionen: Die 100 m Schichtenlinien sind verglichen mit den 20 m Schichtenlinien durch eine etwas größere Strichstärke hervorgehoben und beschriftet. Die Beschriftung ist immer in Fallrichtung dargestellt, dies verstärkt den räumlichen Eindruck.



### 3.5.2.5 Orthofotos

Als weiteren Punkt enthält das Kartendokument einen Layer mit sämtlichen Orthofotos, welche für die Interpretation verwendet werden (siehe Kapitel 2.2: Bilddaten). Kontrast und Helligkeit der einzelnen Kacheln können bei Bedarf verändert werden, um z.B. die Interpretierbarkeit in Schattenbereichen zu erhöhen. Um einen möglichst einheitlichen Farb-, Kontrast- und Helligkeitseindruck über das gesamte Untersuchungsgebiet zu gewährleisten, sollte davon jedoch nur in Ausnahmefällen Gebrauch gemacht werden.

### 3.5.2.6 *Aktuelles Orthofoto als Web-Map-Tile-Service*

Als letzten Punkt enthält das Kartendokument den Layer „Aktuelles Orthofoto (Basemap.at)“. Dieser Layer bindet die folgenden Quellen mittels Web-Map-Tile-Service in das Kartendokument ein:

- Geoland Basemap
- Geoland Basemap Orthofoto

Basemap.at ist ein Kooperationsprojekt der neun österreichischen Bundesländer, der ITS Vienna Region / GIP.at Betreiber, der Technischen Universität Wien sowie der Fa. Synergis. Basemap.at stellt neben einer auf den Geodatenbeständen der Länder basierenden Grundkarte auch aktuelle Orthofotos per WMTS (Web Map Tile Service) zur Verfügung. (basemap.at, 2017)

Durch die Verfügbarkeit einer zusätzlichen Bildquelle können schwierige Interpretationsbedingungen (verursacht etwa durch Schatten oder Verzerrungen) unter Umständen kompensiert werden. Bei der Interpretation ist ein möglicher Unterschied hinsichtlich des Aufnahmejahres jedoch unbedingt zu beachten. Maßgeblich für die Interpretation ist immer der Zustand der Landbedeckung zum Zeitpunkt des vorgegebenen Auswertjahres und nicht der Zustand im Bildmaterial des Basemap.at-Orthofotoservice. Handelt es sich bei einer Fläche im aktuellen Bildmaterial z.B. um eine Blöße, im Bildmaterial aus dem Auswertjahr jedoch um einen Altbestand, so ist diese Fläche als Altbestand zu interpretieren.

### 3.5.2.7 Beispiele zur Symbologie des Stichprobenpunkts

**Stichprobenpunkt, Stichprobenfläche  
und Referenzkreis**

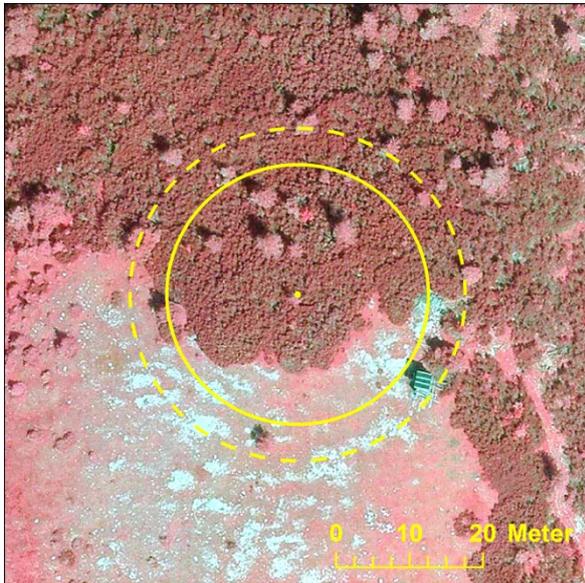


Abbildung 16: Symbologie des Stichprobenpunkts, der Stichprobenfläche (durchgezogene Linie) und des Referenzkreises (unterbrochene Linie)

**Stichprobenpunkt mit eingezeichneter  
Flächenstruktur**  
(die Größe der Fläche wird in m<sup>2</sup> angezeigt)

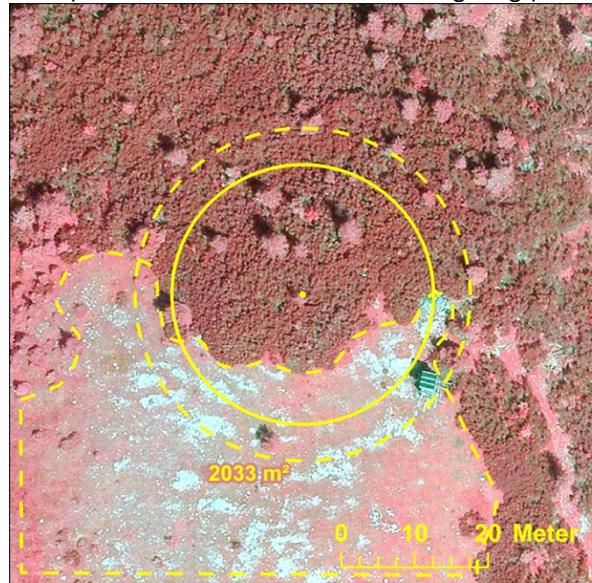


Abbildung 17: Stichprobenpunkt mit eingezeichneter Flächenabgrenzung

**Stichprobenpunkt mit geteilter  
Stichprobenfläche**  
(die Größe der Teilflächen wird in m<sup>2</sup> angezeigt)

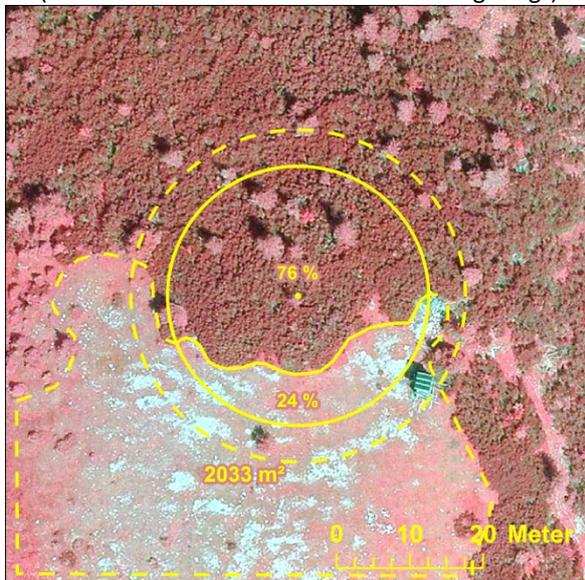


Abbildung 18: Stichprobenpunkt mit anhand der Flächenabgrenzung geteilter Stichprobenfläche

**Vollständig interpretierter Stichprobenpunkt**  
(durch „OK“-Label gekennzeichnet)

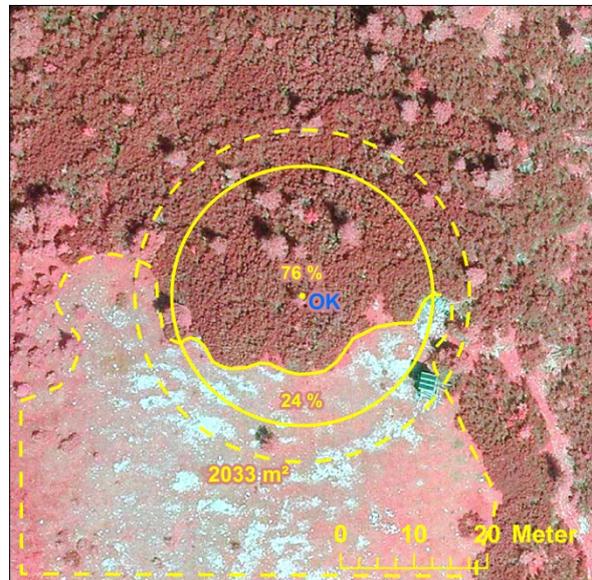


Abbildung 19: Symbologie einer geteilten und fertig interpretierten Stichprobenfläche

## 3.6 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung der gewonnenen Daten wurden mehrere Methoden verwendet. Zu Beginn wird in Kapitel 3.6.1 auf die Aufbereitung der Daten für die statistischen Analysen eingegangen. Danach wird die deskriptive Statistik (siehe Kapitel 3.6.2) sowie die bivariate Datenanalyse (siehe Kapitel 3.6.3) behandelt. Den Abschluss bilden die logistische Regressionsanalyse (siehe Kapitel 3.6.4) und die Clusteranalyse (siehe Kapitel 3.6.5).

### 3.6.1 Aufbereitung der Daten

Für die statistischen Auswertungen mussten die gewonnenen Daten aufbereitet werden. Zu diesem Zweck kam Safe FME Workbench (siehe Kapitel 3.7.2) zum Einsatz. Mittels FME wurden die Daten der interpretierten Jahrgänge vor der statistischen Auswertung eingehend auf Fehler überprüft. Neben einer attributiven Prüfung wurde auch eine geometrische Überprüfung durchgeführt.

Im Rahmen der attributiven Überprüfung wurde sichergestellt, dass:

- alle Stichprobenpunkte interpretiert wurden,
- die Logik des Interpretationsschlüssels eingehalten wurde (z.B. Abbruch der Interpretation beim Auftreten von ungenügenden Interpretationsbedingungen),
- keine fehlenden Attribute vorhanden waren (z.B. immer Angabe eine Wuchsklasse bei der Ausscheidung der Kategorie Wald),
- Laub- und Nadelholzanteile gemeinsam  $^{10}/_{10}$  ergeben und
- die Überschildung mit Bäumen, die Überschildung mit Latsche, der Anteil Alm / Alpiner Rasen sowie der Anteil an offenem Boden und Schatten gemeinsam  $^{10}/_{10}$  ergeben.

Mit der geometrischen Überprüfung wurde sichergestellt, dass:

- alle Stichprobenpunkte in den interpretierten Feature-Klassen noch vorhanden sind,
- keine Features gelöscht wurden, daher für jeden Stichprobenpunkt, eine Stichprobenfläche und ein Referenzkreis vorhanden ist und vice versa,
- alle Features auf den richtigen Koordinaten liegen, also nicht irrtümlich verschoben wurden,
- der bestimmte Anteil an der Stichprobenfläche in der Attributtabelle des Stichprobenpunktes mit dem tatsächlichen Anteil an der Stichprobenfläche übereinstimmt,
- die Aggregation der Stichprobenteilflächen eine Fläche von 1.000 m<sup>2</sup> und damit eine vollständige Stichprobenfläche ergibt und
- nach der Aggregation der Teilflächen von Stichprobenfläche und Referenzkreis wieder geometrisch korrekt definierte Kreise vorhanden sind.

Für die Auswertung der Neigung und Exposition der Stichprobenflächen wurde mittels ArcMap (siehe Kapitel 3.7.1: ESRI - ArcGIS) ein Neigungs- und ein Expositionsraaster erstellt (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Mit den interpretierten Stichprobenflächen und diesem Neigungs- und Expositionsraaster konnten die mittlere Neigung bzw. die mittlere Exposition einer Stichprobenfläche über das ArcGIS-Tool „Zonal Statistics as Table“ bestimmt werden. Bei geteilten Stichprobenflächen wurden die Statistiken für jede einzelne Teilfläche berechnet. Die Zuordnung von Stichprobenpunkt und Teilfläche einer Stichprobenfläche wurde über die Lage des Stichprobenpunktes durchgeführt. Dazu wurde über eine räumliche Verschneidung („Intersect“) von Stichprobenpunkt und Stichprobenfläche die richtige Teilfläche aus der Summe der Stichprobenflächen bestimmt. Anschließend wurden die Neigungs- und Expositionsstatistiken dieser Stichprobenfläche den Attributen des Stichprobenpunktes hinzugefügt („Join“). Dieser Vorgang wurde sowohl für die Stichprobenflächen aus dem Jahr 1963/64 als auch für die Stichprobenflächen aus dem Jahr 2009 durchgeführt.

Die korrigierten und mit Neigungs- und Expositionsstatistiken angereicherten Stichprobendaten wurden daraufhin zusammengeführt und die Attribute (siehe Kapitel 3.4.3: Attribute und Kapitel 3.5.1.2: Merkmalscodierung) von numerischen Werten auf beschreibende Texte umgeschlüsselt. Aus diesem Datensatz wurden mittels Aggregation in FME die verschiedenen deskriptiven Auswertungen (siehe Anhang 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung) erstellt (siehe Abbildung 22).

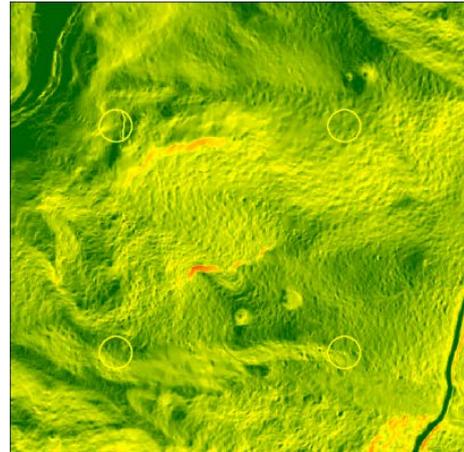


Abbildung 20: Neigungsraaster mit Stichprobenflächen (1:5.000)

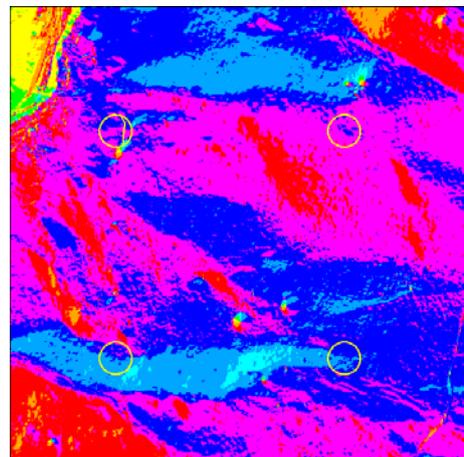


Abbildung 21: Expositionsraaster mit Stichprobenflächen (1:5.000)

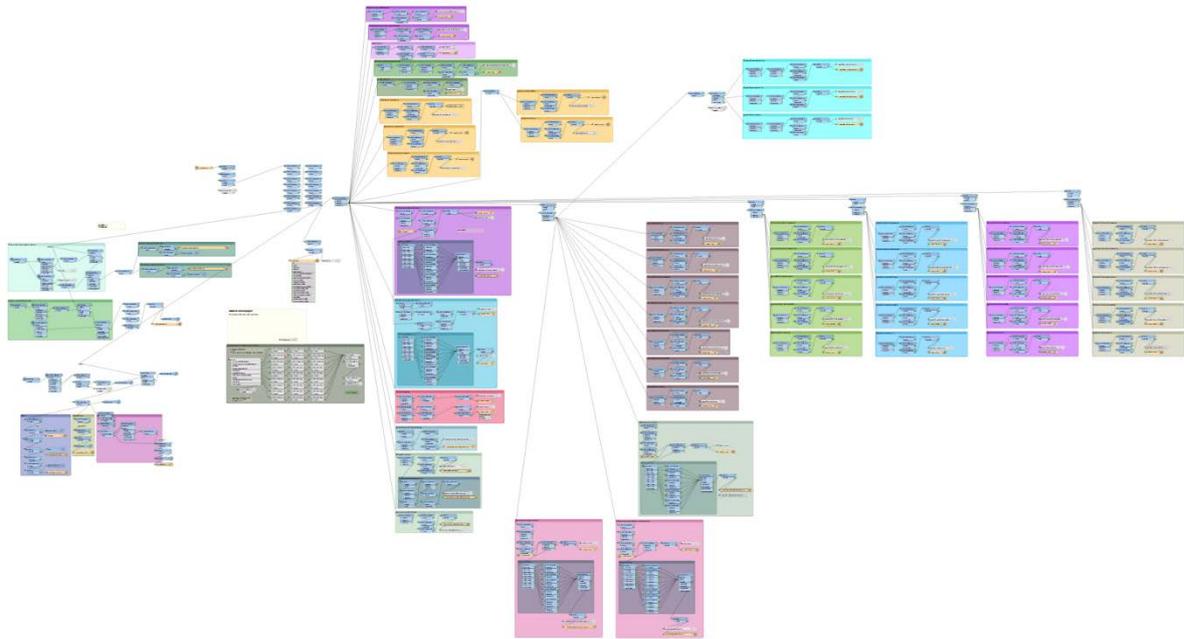


Abbildung 22: Aggregation und Auswertung der Daten mit FME Workbench

Die für die Auswertung der Daten erstellten FME-Prozesse sind der Arbeit als digitaler Anhang beigelegt (siehe Anhang 7.4.5: FME-Workbench Prozesse zur deskriptiven Auswertung).

Für die Datenanalyse in IBM SPSS Statistics (siehe Kapitel 3.7.5) wurde ebenfalls ein Auszug mit den folgenden Variablen mittels FME Workbench erstellt (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Übersicht der analysierten Variablen

Variablenname	Beschreibung der Variable
1963_Kategorie	Kategorie des Stichprobenpunktes 1963/64
2009_Kategorie	Kategorie des Stichprobenpunktes 2009
Veränderung	Veränderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum als binäres Attribut
Hoehe	Höhe des Stichprobenpunktes
Einteilung Höhe	Höhenkategorie des Stichprobenpunktes (200 m Höhenstufen von 400 bis 2.200 m Seehöhe)
Kreis_63_Anteil	Anteil der Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche 1963/64
Kreis_09_Anteil	Anteil der Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche 2009
Exposition63_enc	Expositionskategorie (Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest und West im Jahr 1963/64 bzw. 2009
Exposition09_enc	Expositionskategorie (Nordwest, Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest und West im Jahr 1963/64 bzw. 2009
Slope_63_MEAN	Mittelwert der Neigung der Stichproben(teil)fläche 1963/64
Slope_09_MEAN	Mittelwert der Neigung der Stichproben(teil)fläche 2009
Slope_63_MEAN_enc	Neigungskategorien in 5°-Stufen von 10 - 15° bis 45 - 50° sowie größer 50°
Slope_09_MEAN_enc	Neigungskategorien in 5°-Stufen von 10 - 15° bis 45 - 50° sowie größer 50°
Diff_Slope	Differenz der mittleren Hangneigung zwischen 1963/64 und 2009 (Absolutbetrag)
Diff_Teilung	Differenz des Anteils der interpretierten Kreisfläche zwischen 1963/64 und 2009 (Absolutbetrag)

Zur eingehenderen Untersuchung des Einflusses der Exposition auf die Veränderungen der Landbedeckungskategorie wurde jede im Untersuchungszeitraum aufgefundene Veränderung der Landbedeckungs-kategorie hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Funktion des Untersuchungsgebiets, den Quellschutz, beurteilt und in drei Klassen („positiv“, „ambivalent“ und „negativ“) eingeteilt (siehe Abbildung 23). Nicht vorgefundene Veränderungen der Landbedeckungskategorie wurden nicht beurteilt. So ist z.B. eine Veränderung der Landbedeckung von der Kategorie *Schutt* zur Kategorie *Wald* als durchwegs *positiv* einzustufen, während eine Veränderung der Kategorie *Wald* zur Kategorie *Forststraße* als eher *negativ* hinsichtlich des Quellschutzes zu beurteilen ist.

	2009_Wald	2009_Latsche	2009_Alm	2009_Fels	2009_Schutt	2009_Forststraße	2009_Wasserflaeche	2009_Sonstiges
1963_Wald	-	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ		negativ
1963_Latsche	positiv	-	negativ	negativ	negativ	negativ		
1963_Alm	positiv	positiv	-	negativ	negativ	negativ		ambivalent
1963_Fels	positiv	positiv	positiv	-	ambivalent	ambivalent		ambivalent
1963_Schutt	positiv	positiv	positiv	ambivalent	-	ambivalent		
1963_Forststraße						-		
1963_Wasserflaeche							-	
1963_Sonstiges	positiv					ambivalent		-

Abbildung 23: Klassifikation der Änderungen 1963/64 - 2009

### 3.6.2 Deskriptive Statistik

Die im Rahmen der Stichprobeninventur interpretierten Attribute (siehe Kapitel 3.4.3) wurden, nach der Aufbereitung, Aggregation und Umschlüsselung mit FME Workbench (siehe Kapitel 3.6.1), mit deskriptiven statistischen Methoden aufbereitet und analysiert.

Es wurde jeweils der gesamte Datensatz aus dem Jahr 1963/64 mit dem gesamten Datensatz aus dem Jahr 2009 verglichen. Die verglichenen Grundgesamtheiten weichen daher geringfügig voneinander ab. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse bedacht werden. Im Jahr 1963/64 wurden insgesamt 2.727 Punkte interpretiert, während im Jahr 2009 2.886 Punkte interpretiert wurden. Die Differenz von 159 Punkten ist auf ein von den historischen Luftbildern nicht abgedecktes Gebiet (bei 149 Punkten) und ungenügende Interpretationsbedingungen (bei 10 Punkten) zurückzuführen.

Wenn bei den Auswertungen von „*veränderten Stichprobenpunkten*“ gesprochen wird, bezieht sich diese Änderung immer auf eine Änderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum. Obwohl in der Excel-Auswertung (siehe Anhang 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung) alle interpretierten Attribute des Jahrgangs 2009 behandelt werden, ist die Veränderungsanalyse (siehe Kapitel 4.3.10) auf Attribute beschränkt, die in beiden Jahrgängen interpretiert wurden.

Die Ergebnisse der Analyse sind in Kapitel 4.2 dargestellt. Aufgrund des Umfangs können in dieser Arbeit nicht alle der insgesamt 121 verschiedenen Auswertungen behandelt werden. Eine vollständige Liste aller deskriptiven Auswertungen ist im Anhang (siehe Kapitel 7.4: Digitaler Anhang) aufgeführt.

### 3.6.3 Bivariate Datenanalyse

Bei der bivariaten Datenanalyse wird der Zusammenhang zwischen bzw. die gemeinsame Verteilung von zwei Variablen untersucht. Sie ist die Vorstufe von multivariaten Analyseverfahren (siehe Kapitel 3.6.4: Logistische Regressionsanalyse), bei denen gleichzeitig mehrere unabhängige Variablen auf einen Zusammenhang mit einer abhängigen Variablen untersucht werden (Wolf & Best, 2010).

In dieser Arbeit soll mit der bivariaten Datenanalyse untersucht werden, ob Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Veränderungen der Landbedeckungskategorie und anderen Merkmalen bestehen. Neben der Landbedeckungskategorie der Stichprobenpunkte in den Jahren 1963/64 und 2009 wurden auch die Höhenstufe und die Exposition der Stichprobenpunkte hinsichtlich ihrer Zusammenhänge beleuchtet. Auch die Teilung der Stichprobenflächen wurde auf Zusammenhänge mit der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum geprüft. Wurden durch die bivariate Datenanalyse Zusammenhänge entdeckt, wurden diese mit der logistischen Regressionsanalyse eingehender analysiert (siehe Kapitel 3.6.4).

Eine Möglichkeit zur Bestimmung der statistischen Zusammenhänge zwischen zwei Merkmalen ist die Prüfung „der Abweichungen von der stochastischen Unabhängigkeit beider Merkmale“ (Müller-Benedict, 2011). Es wird daher überprüft, ob die beobachtete Verteilung zweier Merkmale von einer zufälligen Verteilung abweicht.

Die beiden Merkmale werden dazu in einer Kreuztabelle dargestellt. Handelt es sich bei den beiden Merkmalen um kategoriale Variable, spricht man auch von einer „Kontingenztafel“. Es können dabei sowohl absolute als auch relative Werte abgebildet und verglichen werden. (Müller-Benedict, 2011)

In Tabelle 9 ist ein Beispiel einer Kontingenztafel für den untersuchten Datensatz abgebildet. Bei diesem Beispiel würde der Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen *Neigung* sowie der abhängigen Variablen *Kategorie* geprüft.

**Tabelle 9: Beispiel einer Kontingenztafel mit absoluten Werten**

unabhängige Variable \ abhängige Variable	Wald	Latsche
Neigung 10-15°	1810	1
Neigung 15-20°	30	226

Eine Zelle der abgebildeten Kontingenztabelle enthält die Anzahl der Elemente je Landbedeckungskategorie (abhängige Variable) und je Neigungsklasse (unabhängige Variable). Anstatt absoluter Häufigkeiten können auch relative Häufigkeiten angegeben werden.

### 3.6.3.1 G-Test

Beim G-Test wird - wie bereits in Kapitel 3.6.3 angesprochen - die beobachtete Häufigkeit in einer Kontingenztafel mit der stochastisch erwarteten Häufigkeit verglichen. Es wird also geprüft, ob eine beobachtete Häufigkeit zufällig entstanden ist oder von einem zufälligen Ergebnis abweicht. (Hoey, 2012) Anders ausgedrückt, wird in einer Kontingenztabelle „die Abweichung der Zelleninhalte von dem Zustand, wie die Zelleninhalte sein müssten, wenn die Merkmale unabhängig voneinander wären“ (Müller-Benedict, 2011), berechnet. Er ist dem älteren  $\chi^2$ -Test sehr ähnlich, für die Berechnung der Prüfstatistik wird jedoch anstatt des Quadrats der Logarithmus verwendet. Speziell bei kleineren Häufigkeiten kann der G-Test bessere Resultate als der  $\chi^2$ -Test liefern. (Hoey, 2012)

Die Formel zur Errechnung der Teststatistik  $G$  mit der beobachteten Anzahl  $O_i$  und der erwarteten Anzahl  $E_i$  lautet:

$$G = 2 \sum_i O_i * \log\left(\frac{O_i}{E_i}\right)$$

(Hoey, 2012)

Die Ergebnisse der G-Tests sind in Kapitel 4.4.1 dargestellt.

### 3.6.3.2 Z-Test

Der Z-Test oder auch Gauß-Test ist eine Prüfstatistik mit standardnormalverteilter Prüfgröße. Als Prüfgröße wird das Stichprobenmittel  $\bar{X}$  herangezogen. Der Gauß-Test ist „für Testprobleme über den Erwartungswert einer Normalverteilung konstruiert“ (Fahrmeir, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2007). Bei nicht normalverteilten Daten kann, sofern der Umfang der Stichproben groß genug ist und unter Beachtung des zentralen Grenzwertsatzes, die gleiche Prüfgröße herangezogen werden (Fahrmeir, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2007). Laut Fahrmeir, Künstler, Pigeot & Tutz (2007) ist das Stichprobenmittel  $\bar{X}$  und die Prüfgröße  $Z$  dann „zumindest approximativ normalverteilt“. Das Testniveau bzw. die Irrtumswahrscheinlichkeit für die berechneten Z-Tests beträgt 5 % ( $\alpha = 0,05$ ).

Die Prüfgröße der Z-Statistik errechnet sich wie folgt:

$$z = \frac{\bar{x} - \pi_0}{\sqrt{\pi_0(1 - \pi_0)}/\sqrt{n}}$$

Die Nullhypothese wird abgelehnt, sofern  $z \geq z_{1-\alpha/2}$  (Mittag, 2014).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Anteilswerte der beiden Stichproben (1963/64 und 2009) mit dem Z-Test auf Gleichheit untersucht (siehe Kapitel 4.4.1). Als Anteilswert wird z.B. der Anteil der Stichprobenpunkte mit der Landbedeckungskategorie Wald im Jahr 1963/64 an den Stichprobenpunkten der Landbedeckungskategorie Wald im Jahr 2009 verstanden (93,3 % bzw. 1.810 von 1.940 Stichprobenpunkten). Der Test wurde durchgeführt, um festzustellen, ob spezielle Unterschiede einzelner Anteilswerte vorliegen (z.B. weicht der Anteil der Stichprobenpunkte, die eine Veränderung im Untersuchungszeitraum zeigen und im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie Wald zugeordnet waren, vom Anteil im Jahr 2009 ab bzw. ist der Anteil an veränderten Waldpunkten der beiden Stichproben signifikant unterschiedlich).

### 3.6.3.3 Zusammenhangmaße - Kreuztabellen

Zusammenhangmaße dienen der Quantifizierung festgestellter Zusammenhänge. Diese liegen vor, wenn die beobachteten Häufigkeiten der Merkmale von den Häufigkeiten unter stochastischer Unabhängigkeit abweichen. (Mittag, 2014) In der vorliegenden Arbeit werden Kontingenztabelle unterschiedlicher Dimension, sowie auch unterschiedlicher Skalenniveaus verglichen (z.B. Veränderung als binäres Attribut mit den verschiedenen Neigungsklassen). Beim Vergleich unterschiedlicher Skalenniveaus ist das Zusammenhangmaß des niedrigeren Skalenniveaus einzusetzen (Müller-Benedict, 2011). Es wird daher auf den Kontingenzkoeffizienten des schwedischen Mathematikers Harald Cramér zurückgegriffen. Das auf dem  $\chi^2$ -Test basierende Zusammenhangsmaß Cramér's V eignet sich sowohl bei nominal skalierten Variablen (wie die Variable Veränderung) als auch bei Kontingenztabelle unterschiedlicher Dimension. Cramér's V ist ein normiertes Zusammenhangsmaß, es nimmt daher Werte von 0 bis 1 an. (Mittag, 2014) Werte von 0 deuten dabei auf keinen, Werte von 1 auf perfekten Zusammenhang zwischen den Merkmalen hin. Cramér's V lässt sich mit folgender Formel berechnen (mit dem Umfang  $n$  sowie der Dimension der Matrix  $M$ ):

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{n * (M - 1)}}$$

(Mittag, 2014)

Für die Interpretation der Zusammenhangsmaße gibt es keine einheitliche Terminologie. In Tabelle 10 ist die in dieser Arbeit verwendete Skala dargestellt.

**Tabelle 10: Interpretation von Zusammenhangsmaßen (nach Fernuni-Hagen, 2017)**

<b>Betrag des Koeffizienten</b>	<b>Interpretation</b>
0	kein Zusammenhang
0 – 0,25	schwacher Zusammenhang
0,25 – 0,66	mittlerer Zusammenhang
0,66 – 1	starker Zusammenhang
1	perfekter Zusammenhang

### 3.6.4 Logistische Regressionsanalyse

Bei der binär logistischen Regressionsanalyse handelt es sich um einen Spezialfall der logistischen Regressionsanalyse, bei der die zu untersuchende abhängige Variable nur Werte von 0 oder 1 annehmen kann. Es wird die Wahrscheinlichkeit untersucht, mit der die binäre Variable den Wert 1 annimmt. (Fahrmeir, Künstler, Pigeot, & Tutz, 2007)

Es wurden die Zusammenhänge zwischen der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum und den Standortparametern Exposition, Neigung und Seehöhe sowie der Teilung der Stichprobenfläche untersucht.

Für jene 2.727 sowohl 1963 als auch 2009 interpretierten Stichprobenpunkte wurden binäre logistische Regressionen berechnet, wobei die generellen Parameter (wie verarbeitete Fälle und Merkmalscodierung) für alle logistischen Regressionen gleich sind. Die Anzahl der verarbeiteten Fälle beträgt ebenfalls 2.727. Es wurden keine Punkte z.B. aufgrund fehlender Attribute ausgeschlossen (siehe Tabelle 11). Die Veränderung der Punkte im Untersuchungszeitraum wurde als binäre Variable (Veränderung = 1 bei einer Veränderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum, sonst Veränderung = 0) abgebildet (siehe Tabelle 12). Es wird daher immer die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Veränderung angegeben. Die für die Interpretation relevanten Parameter der logistischen Regression werden in Tabelle 13 erläutert.

**Tabelle 11: Zusammenfassung der Fallverarbeitung**

Ungewichtete Fälle <sup>a</sup>		N	Prozent
Ausgewählte Fälle	Einbezogen in Analyse	2727	100,0
	Fehlende Fälle	0	,0
	Gesamt	2727	100,0
Nicht ausgewählte Fälle		0	,0
Gesamt		2727	100,0

**Tabelle 12: Codierung der abhängigen Variablen**

Ursprünglicher Wert	Interner Wert
Keine Veränderung	0
Veränderung	1

Tabelle 13: Parameter der Logistischen Regression

Parameter	Beschreibung
Regressionskoeffizient B:	Entspricht einem zur Basis $e$ logarithmierten Quotenverhältnis. Der Wertebereich kann sich daher von positiv unendlich bis negativ unendlich erstrecken. Eine Umrechnung des Regressionskoeffizienten ( $L$ ) in ein Quotenverhältnis ( $O$ ) kann über folgende Formel erfolgen:

$$O = e^L$$

Über die nachfolgende Formel kann der Regressionskoeffizient direkt in Wahrscheinlichkeiten umgerechnet werden:

$$p = \frac{e^L}{1 + e^L}$$

Der Regressionskoeffizient kann damit lediglich Aufschluss über die Richtung des Zusammenhangs geben. Das Vorzeichen bestimmt dabei die Richtung des Zusammenhangs. Negative Werte deuten auf negative Zusammenhänge hin und vice versa. Ein Wert von 0 entspricht der Wahrscheinlichkeit von 50 % für das Eintreffen eines Ereignisses.

**Sig.:** Gibt Auskunft darüber, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen der abhängigen und der erklärenden Variablen vorliegt. Von einem signifikanten Zusammenhang spricht man in der Regel bei Werten kleiner gleich 0,05. Das Ergebnis ist daher mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit nicht durch Zufall entstanden.

**Exp(B):** Die statistische Maßzahl Exp(B) wird als Odds-Ratio oder auch Quotenverhältnis bzw. Risikoverhältnis bezeichnet. Mit Hilfe dieses Quotenverhältnisses kann eine Aussage über die Stärke und Richtung des Zusammenhanges von zwei Variablen getroffen werden. Es handelt sich damit um ein Assoziationsmaß. Der Wertebereich kann sich von 0 bis positiv unendlich erstrecken. Wobei ein Quotenverhältnis von 0 einer Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen eines Ereignisses von 0 %, ein Quotenverhältnis von 1 bzw. positiv unendlich einer Wahrscheinlichkeit von 50 % bzw. 100 % für das Eintreffen eines Ereignisses entspricht. Quotenverhältnisse ( $O$ ) können mit folgender Formel in Wahrscheinlichkeiten ( $p$ ) umgerechnet werden:

$$p = \frac{O}{1 + O}$$

Quotenverhältnisse mit Werten über 1 deuten somit auf positive und Quotenverhältnisse mit Werten unter 1 auf negative Zusammenhänge hin. Über den Abstand vom Trennwert 1 (dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Ereignisses von 50 %) kann auf die Stärke des Zusammenhanges geschlossen werden. Je weiter das Quotenverhältnis vom Trennwert entfernt ist, desto stärker ist der Zusammenhang.

**Nagelkerkes Pseudo  $R^2$**  Für die Ermittlung der Modellgüte wurde das Pseudobestimmtheitsmaß nach Nagelkerke berechnet. Mit Hilfe dieses Maßes kann man verschiedene, jedoch auf gleichen Daten basierende Modelle untereinander vergleichen. Es gibt die mit dem Modell erklärbare Variabilität, die Varianz der abhängigen Variablen an. Das Bestimmtheitsmaß kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei die Daten bei einem Wert von 1 vollständig durch das Modell erklärt werden können.

(siehe Bittmann, 2015)

### 3.6.5 Clusteranalyse

Mit der „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse kann die räumliche Verteilung von Punkten untersucht werden. Es wird zwischen geclusterten, zufällig verteilten und gestreuten Verteilungen unterschieden. Im Zuge der Analyse werden die Distanzen jedes Punktes zum nächsten Nachbarpunkt gemessen und dann gemittelt. Diese aus dem untersuchten Datensatz ermittelte mittlere Distanz zum nächsten Nachbarn wird mit der mittleren Distanz einer zufälligen Verteilung der Punkte auf einer festgelegten Fläche verglichen. Weist der zu analysierende Datensatz eine signifikant geringere Distanz zum nächsten Nachbarn auf als der zufällig verteilte Datensatz, werden die Daten als „geclustert“ bezeichnet. Sind die Distanzen zum nächsten Nachbarn signifikant größer, wird der Datensatz als „gestreut“ (dispers) bezeichnet (siehe Abbildung 24). (ESRI, 2009)

Die Null-Hypothese der Analyse lautet, dass keine zufällige räumliche Verteilung der Daten vorliegt. Die Analyse in ArcGIS gibt eine Reihe von Parametern an. Diese werden in Tabelle 14 erklärt.

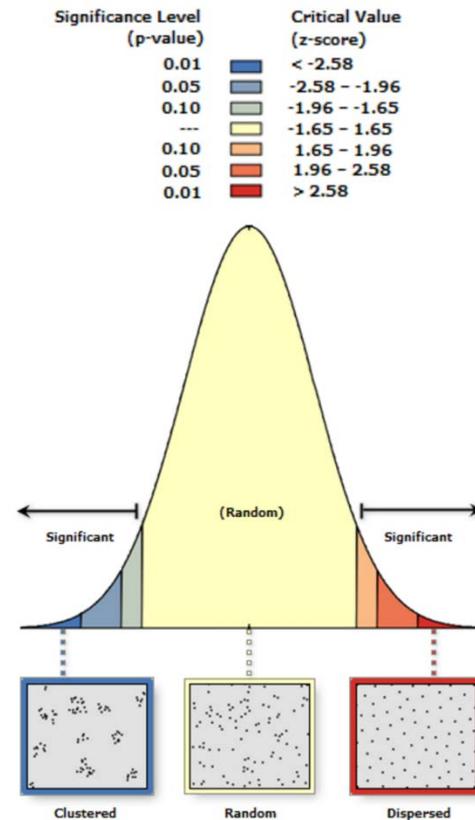


Abbildung 24: Z-Prüfverteilung

Tabelle 14: Parameter der Average-Nearest-Neighbor Analyse

<b>Observed Mean Distance:</b>	beobachtete Entfernung jedes Punktes zum nächstgelegenen Nachbarpunkt gemittelt über den gesamten Datensatz
<b>Expected Mean Distance:</b>	erwartete mittlere Entfernung zum nächstgelegenen Nachbarpunkt bei zufälliger Verteilung
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>	Verhältnis zwischen der beobachteten mittleren Entfernung und der erwarteten mittleren Entfernung. Ist der Wert kleiner als 1, liegt eine geclusterte Verteilung vor; ist der Wert größer als 1, liegt eine disperse Verteilung vor.
<b>z-score:</b>	Standardabweichung von der Normalverteilung
<b>p-value:</b>	Wahrscheinlichkeit, dass das beobachtete räumliche Muster das Ergebnis eines zufälligen Prozesses ist.

(ESRI, 2009)

Für die Analyse wurden die 341 Stichprobenpunkte, die eine Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum zeigten, in einzelne Teilmengen unterteilt. Die Aggregation der Stichprobenpunkte erfolgte nach der Landbedeckungskategorie 1963/64 und 2009 (Teilmenge 1: Wald -> Wald, Teilmenge 2: Wald -> Latsche, usw.). Es wurden daher alle beobachteten Veränderungen von Landbedeckungskategorie A im Jahr 1963/64 auf Landbedeckungskategorie B im Jahr 2009 mit der Average-Nearest-Neighbor Analyse untersucht, wobei für die Berechnung der mittleren Entfernung nur die Stichprobenpunkte der jeweiligen Teilmenge berücksichtigt wurden. Für Teilmengen mit weniger als 2 Stichprobenpunkten konnte keine Berechnung der Average-Nearest-Neighbor Analyse vorgenommen werden.

Diese Analyse soll aufzeigen, ob bestimmte Veränderungen der Kategorie im Untersuchungszeitraum von 1963 bis 2009 in ihrer räumlichen Verteilung besonders streuen oder besonders gruppiert sind. Es können daraus Veränderungs-Hotspots für die einzelnen Kategorien abgeleitet werden. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind im Kapitel 4.6: Clusteranalyse zusammengefasst.

## 3.7 Software

Im folgenden Kapitel soll kurz auf die verwendeten Softwarepakete und deren Anwendung eingegangen werden.

### 3.7.1 ESRI - ArcGIS

ArcGIS ist ein Softwarepaket der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute). Es enthält mehrere Softwareprodukte, von denen folgende im Rahmen dieser Arbeit genutzt wurden: ArcCatalog, ArcScene, und ArcMap.

ArcCatalog stellt eine eigenständige Datenverwaltungsumgebung dar, die jedoch auch die Anzeige und Verarbeitung von Geodaten erlaubt. Verwendet wurde ArcCatalog speziell zur Homogenisierung und Normierung der durch die MA 49 bereitgestellten Daten, sowie bei der Erstellung der Interpretationsdatenbank (siehe Kapitel 3.5.1.1: Geodatenbank).

ArcScene dient speziell zur Anzeige und Analyse von 3D-Daten und wurde für die Erstellung von 3D-Szenen des Untersuchungsgebiets genutzt.

ArcMap stellt die zentrale Komponente des Softwarepakets dar. Es dient zur Anzeige von Geodaten und deren Verarbeitung bis hin zur Erstellung des kartographischen Endproduktes: der Karte. In dieser Arbeit wurde ArcMap in erster Linie als Interpretationsumgebung (siehe Kapitel 3.5.2) eingesetzt und an diese Anforderung angepasst. Weitere Anwendungsbereiche waren z.B.:

- die Erstellung des Neigungs- und Expositionsrasters aus dem Geländemodell (siehe 2.3 Digitales Geländemodell)
- die Visualisierung des Geländemodells als MDOW-Hillshade (siehe 2.3 Digitales Geländemodell)
- die Berechnung der zonalen Statistiken aus den interpretierten Stichprobenflächen sowie Neigungs- bzw. Expositionsraster (siehe Kapitel 4.3.6: Exposition und Kapitel 4.3.7: Neigung)
- die Durchführung einer Clusteranalyse der veränderten Punkte (siehe Kapitel 3.6.5: Clusteranalyse)
- die Erstellung sämtlicher Bildbeispiele, sowie anderer Karten des Interpretationsschlüssels (siehe Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch) und der vorliegenden Masterarbeit

Das Softwarepaket ArcGIS 10.2.2 konnte im Rahmen einer Studentenlizenz der Universität Salzburg genutzt werden.

### 3.7.2 Safe – FME

FME (Feature Manipulation Engine) ist ein Softwarepaket der Firma Safe-Software. Es gehört zur Familie der ETL-Tools (Extract, Transform, Load) und dient somit zum Extrahieren, Transformieren und Laden von verschiedensten (Geo-)Daten (Farkisch, 2011). Es bietet neben einem Geodatenviewer (FME Inspector) auch eine grafische Programmierumgebung (FME Workbench). In dieser Arbeit wurde FME sehr intensiv an den verschiedensten Stellen eingesetzt z.B.:

- bei der Erstellung des Untersuchungsgebiets durch Aggregieren der Bestandes-Polygone mit anschließender Fehlerkorrektur (siehe Kapitel 3.3.3: Praktische Umsetzung)
- bei der Erstellung und Verschneidung der Stichprobenpunkte, sowie der Stichprobenflächen und Referenzkreise (siehe Kapitel 3.3.3: Praktische Umsetzung)
- bei der Erstellung eines Geländemodells des gesamten Untersuchungsgebiets aus mehreren kleineren DGMs (siehe Kapitel 2.3: Digitales Geländemodell)
- bei der Auswertung der Testinterpretation (siehe Kapitel 3.4.4: Testinterpretation)
- bei der Erstellung der Excel-Auswertung (siehe Anhang 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung) durch Verschneidung verschiedenster Datensätze und Aggregation unterschiedlichster Attribute
- bei der Erstellung einer Datenbank mit sämtlichen für das Projekt und diese Arbeit relevanten Daten

bei der Ableitung der Höhengichtlinien aus dem Geländemodell sowie der anschließenden Glättung (siehe Kapitel 2.3: Digitales Geländemodell, Kapitel 3.5.2.4: Höhengichtlinien)

Das Softwarepaket FME Desktop Database Edition 2016.1 konnte im Rahmen einer Studentenlizenz genutzt werden.

### 3.7.3 Hexagon-Geospatial - ERDAS IMAGINE

IMAGINE ist ein Softwareprodukt des Unternehmens Hexagon-Geospatial. IMAGINE wird speziell im Bereich der Photogrammetrie und Fernerkundung zur Auswertung und Verarbeitung von Rasterdaten verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Modul IMAGINE Photogrammetry (ehemals Leica Photogrammetry Suite) für die Orientierung der historischen Luftbilder verwendet (siehe Kapitel 2.2.1: Luftbilder 1963/64). Mit dem ERDAS-Modul MosaicPro wurden anschließend Orthofotomosaik aus den orientierten Luftbildern erstellt.

Das Softwarepaket konnte am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation der Universität für Bodenkultur genutzt werden.

### 3.7.4 Circos

Circos ist ein Softwarepaket basierend auf der Programmiersprache Pearl zur Visualisierung von tabellarischen Daten. Circos kommt ursprünglich aus der Genomforschung und wird zur Erstellung kreisförmiger Diagramme und Grafiken genutzt, die eine hohe Informationsdichte aufweisen (Krzywinski, et al., 2009). In dieser Arbeit wurde Circos zur grafischen Aufbereitung der gefundenen Veränderungen genutzt (siehe Kapitel 4.3.10: Analyse von Veränderungsströmen).

### 3.7.5 IBM SPSS Statistics

SPSS ist eine Analyse- und Statistiksoftware der Firma IBM. Aufbauend auf den Daten der Excel-Auswertungen mit FME (siehe Kapitel 3.7.2: Safe – FME) wurde SPSS für alle statistischen Auswertungen (ausgenommen Clusteranalyse) genutzt (siehe Kapitel 3.6: Statistische Auswertung). Verwendet wurde IBM SPSS Statistics 24 mit einer vergünstigten Studentenlizenz.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Testinterpretation

Im Rahmen der Testinterpretation wurden Punkte identifiziert, die aufgrund besonderer oder bisher unzureichend beschriebener Merkmale schwer interpretierbar waren. Mit diesen Erkenntnissen wurden der Interpretationsschlüssel und das Interpretationshandbuch verbessert. Durch den Vergleich der Interpretationen, sowie durch die gesammelten Kommentare und Anmerkungen während des Workshops, konnten die Interpretationsanweisung geschärft und wichtige Erkenntnisse für die Einschulung künftiger Interpreten gewonnen werden.

Der Testdatensatz bestehend aus 150 Stichprobenpunkten wurde von neun Personen interpretiert. Die Ergebnisse wurden mittels FME (siehe Kapitel 3.7.2: Safe – FME) zusammengeführt und für eine visuelle Auswertung in ArcMap (siehe Kapitel 3.7.1: ESRI - ArcGIS) aufbereitet.

Zuerst erfolgte ein visueller Vergleich der Kategorien. Wie in Abbildung 25 dargestellt, wurde für jeden Stichprobenpunkt (Punktnummer in der rechten oberen Ecke) die interpretierte Landbedeckungskategorie eines jeden der neun Interpreten in einem 3x3-Raster angeordnet. Die interpretierte Kategorie und der zugehörige Interpret können der Legende (Abbildung 26) entnommen werden. Die gesamte Auswertung ist im Anhang (siehe Kapitel 7) aufgeführt.

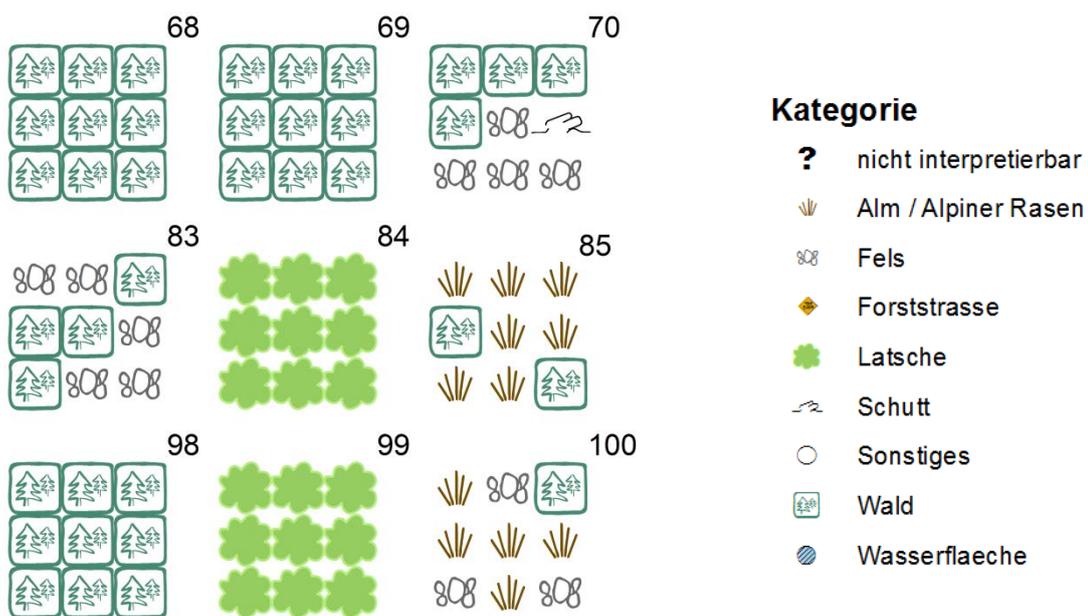


Abbildung 25: Visuelle Auswertung der Testinterpretation (Ausschnitt)

Auf diese Weise konnten besonders schwierige Punkte, die eine nähere Betrachtung erfordern, identifiziert werden. Zum Beispiel wurde Punkt 68 von allen Interpreten die Kategorie „Wald“ zugewiesen, während bei Punkt 100 je nach Interpret einmal die Kategorie „Wald“, vier Mal die Kategorie „Alm / Alpiner Rasen“ und drei Mal die Kategorie „Fels“ interpretiert wurde. Für diese heterogenen Punkte wurde jeweils die Ursache für die abweichenden Interpretationen analysiert.

#### Name des Interpreten:

1: Interpret 1	1	2	3
2: Interpret 2	4	5	6
3: Interpret 3	7	8	9
4: Interpret 4			
5: Interpret 5			
6: Interpret 6			
7: Interpret 7			
8: Interpret 8			
9: Interpret 9			

Abbildung 26: Legende der Testinterpretation

Die in Tabelle 15 aufgeführten Attribute wurden auch mittels FME hinsichtlich Übereinstimmung der Interpretationsergebnisse ausgewertet. Zum Beispiel beträgt bei Punkt 85 (siehe Abbildung 25), welcher von sieben Interpreten als „Alm / Alpiner Rasen“ und von zwei Interpreten als „Wald“ ausgedeutet wurde, die Übereinstimmung 77 %. Im Umkehrschluss wurde von 23 % der Interpreten (nämlich 2) falsch interpretiert. Die geringste festgestellte Übereinstimmung lag bei 22 %. Die Ergebnisse wurden nur dann als übereinstimmend gewertet, wenn die gleichen  $1/10$ -Werte geschätzt wurden. Für Attribute mit  $1/10$ -Skala ist eine Abweichung von  $\pm 1/10$  vom wahren Wert durchaus in der Norm. Die angegebenen Übereinstimmungsprozente dieser Attribute sind daher sehr konservativ berechnet. Bei Angabe eines Toleranzintervalls von  $\pm 1/10$  steigt das Übereinstimmungsprozent beträchtlich. Die Auswertung mit Toleranzintervall wird an dieser Stelle nicht aufgeführt. In Tabelle 15 sind die konservativen Werte aufgeführt.

**Tabelle 15: Auswertung der Testinterpretation**

Untersuchtes Attribut	Übereinstimmung		
	Durchschnitt	Minimum	Maximum
Interpretationsbedingungen	87 %	44 %	100 %
Bemerkung Interpretationsbedingungen	87 %	44 %	
Kategorie	92 %	33 %	
Wuchsklasse	75 %	33 %	
Kreis geteilt	88 %	56 %	
Laub- und Nadelholz-Anteil	72 %	22 %	
Überschirmung Baum	60 %	22 %	
Überschirmung Latsche	84 %	22 %	
Anteil offener Boden	56 %	22 %	
Totholz	90 %	33 %	
Besondere Dynamik	95 %	56 %	

Es wurden neben den einzelnen Punkten und den verschiedenen Attributen auch die Interpreten verglichen. Hierbei wurde sowohl die Anzahl der Fehler pro Interpret und Attribut berechnet, sowie auch eine Gegenüberstellung der Interpreten anhand von Übereinstimmungsmatrizen durchgeführt. Auf eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse dieser Auswertung wird jedoch verzichtet. Derartige Vergleiche können in Zukunft jedoch dazu dienen, die am besten geeigneten Interpreten aus mehreren Kandidaten auszuwählen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Interpretation sehr stark von der Erfahrung und den Vorkenntnissen des jeweiligen Interpreten abhängig ist. Eine lückenlose Anwendung des Interpretationsschlüssels ist in jedem Fall erforderlich, da subjektive Sichtweisen aufgrund unterschiedlicher beruflicher Hintergründe (Forsteinrichter, Revierleiter, usw.) oft zu Fehlern bei der Interpretation führen.

Für Neuinterpreten wird daher ein eingehendes Studium des Interpretationshandbuchs mit anschließender Interpretation der 150 Trainingspunkte empfohlen. Außerdem sollten die Trainingspunkte durch eine mit dem Interpretationsschlüssel vertraute Person überprüft und verglichen werden. Während der gesamten Interpretation sollten durch diese Person stichprobenhafte Kontrollen der interpretierten Punkte durchgeführt werden, um bei etwaigen Abweichungen vom Interpretationsschlüssel zeitgerecht gegensteuern zu können.

Als häufigste Ursache für unterschiedliche Interpretationen der Kategorie kann die Flächenteilung (siehe Kapitel 3.3.2: Statistische Einheiten) identifiziert werden. Besonders auf Mosaikstandorten, das heißt auf Standorten mit einer Verzahnung mehrerer Kategorien, kann sich die Kategorie durch geringfügiges Verschieben der Teilung ändern. Hier ist die ausgeschiedene Kategorie stark von der Teilung der Stichprobenfläche durch den Interpreten abhängig. Daher muss bei neuen, ungeübten Interpreten nicht nur auf ein richtiges Erkennen der Landbedeckungskategorien und anderer Merkmale sondern auch auf eine korrekte Flächenteilung geachtet werden.

Bei schlechter Bildqualität kann die Unterscheidung der Kategorien „Schutt“ und „Fels“ zu Problemen führen; auch die Ansprache der Überschirmung ist unter diesen Bedingungen (z.B. durch Schattenwurf) schwierig.

Entlang der Waldgrenze sind die Landbedeckungskategorien „Wald“ und „Latsche“ besonders eng verzahnt. Eine eindeutige Bestimmung der Überschirmungsanteile und damit eine Abgrenzung zur jeweils einen oder anderen Kategorie ist nicht immer möglich. In höheren Lagen führt die Verzahnung der Kategorien „Alm / Alpiner Rasen“ und „Fels“ (bzw. offener Boden) zu Problemen. Um die Entscheidung in solchen Fällen zu erleichtern, wurde das Kapitel „Fließende Übergänge“ im Interpretationshandbuch (siehe Anhang 7.4.2) ergänzt.

## 4.2 Interpretationshandbuch

Zur Aufnahme der Landbedeckung durch Luftbildinterpretation wurde eine umfangreiche Interpretationsanleitung – ein Interpretationshandbuch – erstellt.

Das Interpretationshandbuch enthält

- den Interpretationsschlüssel (siehe Anhang 7.4.2: Interpretationshandbuch Kapitel 4),
- Informationen über das gesamte Monitoringsystem, sowie
- eine technische Interpretationsanleitung.

Das Interpretationshandbuch stellt in Kombination mit den Stichprobenpunkten der Testinterpretation die Grundlage für die Schulung angehender Interpreten dar. Darüber hinaus dient es zur Dokumentation durchgeführter Interpretationen. Es gliedert sich in folgende Themenblöcke:

**Einleitung:** In diesem Kapitel werden die Ausgangssituation in den Wiener Quellschutzwäldern beschrieben und die Ziele und Forschungsfragen der Arbeit zusammengefasst.

**Material und Methoden:** Dieser Abschnitt beschreibt das Untersuchungsgebiet, das verwendete Bildmaterial, das Datenformat und die Datenorganisation, sowie das Austauschformat der Daten. Außerdem wird die visuelle Bildinterpretation erklärt.

**Stichprobendesign:** Hier wird das verwendete Stichprobenverfahren beschrieben. Neben der Stichprobentheorie zu Genauigkeit, Irrtumswahrscheinlichkeit, etc., wird auch der Stichprobenraster mit Rasterweite, Stichprobenpunkt und –kreis sowie die Anzahl der Stichprobenpunkte und deren Hochrechnung auf Hektar behandelt.

**Merkmalskatalog:** Dieses Kapitel beschreibt alle quellschutzrelevanten Parameter, die Attribute (siehe Kapitel 3.4.3), die zur Beschreibung der Vegetationsdecke definiert wurden. Dieser Merkmalskatalog bildet die Basis für die weiteren Wiederholungsaufnahmen.

**Technische Anleitung:** In diesem Abschnitt werden die Datenorganisation und die Arbeitsschritte bei der Stichprobeninterpretation behandelt. Es wird die eingesetzte Geodatenbank, sowie der Aufbau der unterschiedlichen Objektklassen und deren Merkmalscodierung erklärt. Anschließend wird das im Rahmen der Interpretation einzusetzende Kartendokument mit sämtlichen Ebenen und deren Symbologie erläutert. Abschließend werden die einzelnen Arbeitsschritte der Stichprobeninterpretation anhand des Kartendokuments beispielhaft erklärt.

**Probleme:** Mitlicht- oder Gegenlichteffekte, sowie der Umklappeffekt können zu Problemen bei der Interpretation führen und werden daher in diesem Kapitel behandelt.

**Hilfestellungen:** In diesem Kapitel finden sich Hilfestellungen für den Interpreten bei der Unterscheidung von Laub- und Nadelholz, der Ansprache von Überschirmungsanteilen sowie bei der Schätzung von Flächenanteilen bei engen Verzahnungen der Kategorien Wald und Latsche sowie Alm / Alpiner Rasen und Fels.

**Ablaufdiagramm:** Zeigt eine schematische Darstellung der Stichprobeninterpretation (siehe Anhang 7.1)

**Anhang:** Hier werden fünf Beispielinterpretationen, sowie 18 Trainingspunkte aufgeführt. Außerdem ist die Domaintabelle der Geodatenbank angeführt.

## 4.3 Quantitative Beschreibung der Landbedeckung 1963/64 und 2009 und der Veränderungen

Im folgenden Kapitel werden die Merkmale (siehe Kapitel 3.4.3: Attribute) der interpretierten Stichprobenpunkte aus dem Jahr 1963/64 und dem Jahr 2009 den veränderten Stichprobenpunkten im Untersuchungszeitraum gegenübergestellt und quantitativ beschrieben.

### 4.3.1 Interpretationsbedingungen

Im folgenden Abschnitt wird das Attribut **[Interpretationsbedingungen]** (siehe Kapitel 3.4.3.1) analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 1.2](#))

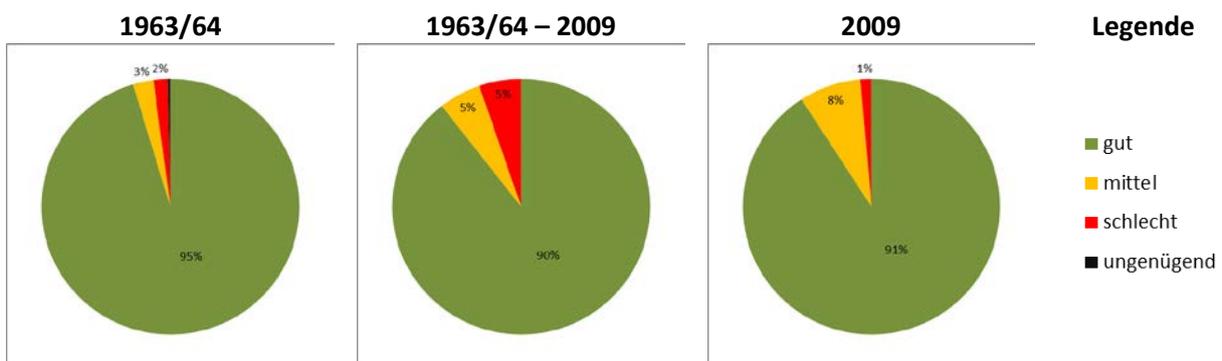


Abbildung 27: Auswertung der Interpretationsbedingungen

Im Jahr 1963 werden 95 % der Stichprobenpunkte als gut interpretierbar angesprochen, 5 % der Punkte haben eine mittlere bzw. schlechte Interpretierbarkeit und lediglich 10 Punkte konnten aufgrund ungenügender Interpretationsbedingungen nicht interpretiert werden (siehe Abbildung 27). Im Jahr 2009 sinkt die Anzahl der gut interpretierbaren Stichprobenpunkte auf 91 %. 9 % der Punkte sind „mittel“ bzw. „schlecht“ interpretierbar. Lediglich ein Punkt musste aufgrund schlechter Interpretationsbedingungen von der Analyse ausgeschlossen werden. Jene 341 Punkte, die eine Veränderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum zeigten, weisen eine ähnliche Verteilung der Interpretationsbedingungen auf. 90 % der veränderten Stichprobenpunkte weisen gute, 5 % mittlere und 5 % schlechte Interpretationsbedingungen auf.

Die sinkende Anzahl gut interpretierbarer Stichprobenpunkte dürfte weniger auf die Bildqualität, die im Jahr 2009 durchwegs besser einzustufen ist als im Jahr 1963/64, sondern viel mehr auf die gestiegenen Anforderungen an das Bildmaterial durch die größere Zahl an erhobenen Attributen zurückzuführen sein. Eine Abhängigkeit der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum von den Interpretationsbedingungen des Stichprobenpunktes scheint nicht zu bestehen. Veränderungen sind daher nicht auf schlechte Bildqualität zurückzuführen.

#### 4.3.2 Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen

Im folgenden Abschnitt wird das Attribut **[Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen]** (siehe Kapitel 3.4.3.2) analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 1.3](#))

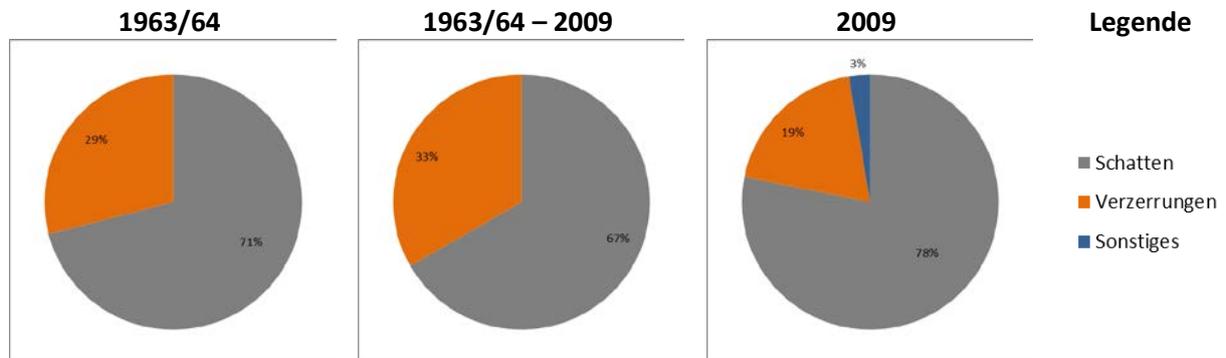


Abbildung 28: Auswertung der Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen (ab der Bewertung „mittel“)

Im Jahr 1963/64 wiesen 155 Stichprobenpunkte Bemerkungen zu den Interpretationsbedingungen auf. Als Grund für die verschlechterten Interpretationsbedingungen wurden im Jahr 1963/64 in 71 % der Fälle *Schatten* sowie in 29 % der Fälle *Verzerrungen* angegeben. Die veränderten Stichprobenpunkte zeigen eine sehr ähnliche Verteilung bei 38 Stichprobenpunkten. Im Jahr 2009 wurden für 262 Stichprobenpunkte neben 78 % *Schatten* und 19 % *Verzerrungen* auch 3 % *Sonstige* Gründe (z.B. Schnee) für verschlechterte Interpretationsbedingungen angeführt.

Durch die ähnliche Verteilung der Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen ist nicht von einem besonderen Einfluss der Interpretationsbedingungen einzelner Jahre auf die Veränderung der Landbedeckungskategorie auszugehen. Dieser Einfluss könnte z.B. durch besonders viel Schatten in einem Befliegungsjahr oder durch einen schneereichen Winter mit sehr später Schneeschmelze im Frühjahr ausgelöst werden.

### 4.3.3 Kategorie

Im folgenden Abschnitt wird das Attribut **[Kategorie]** (siehe Kapitel 3.4.3.3) analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 1.4](#))

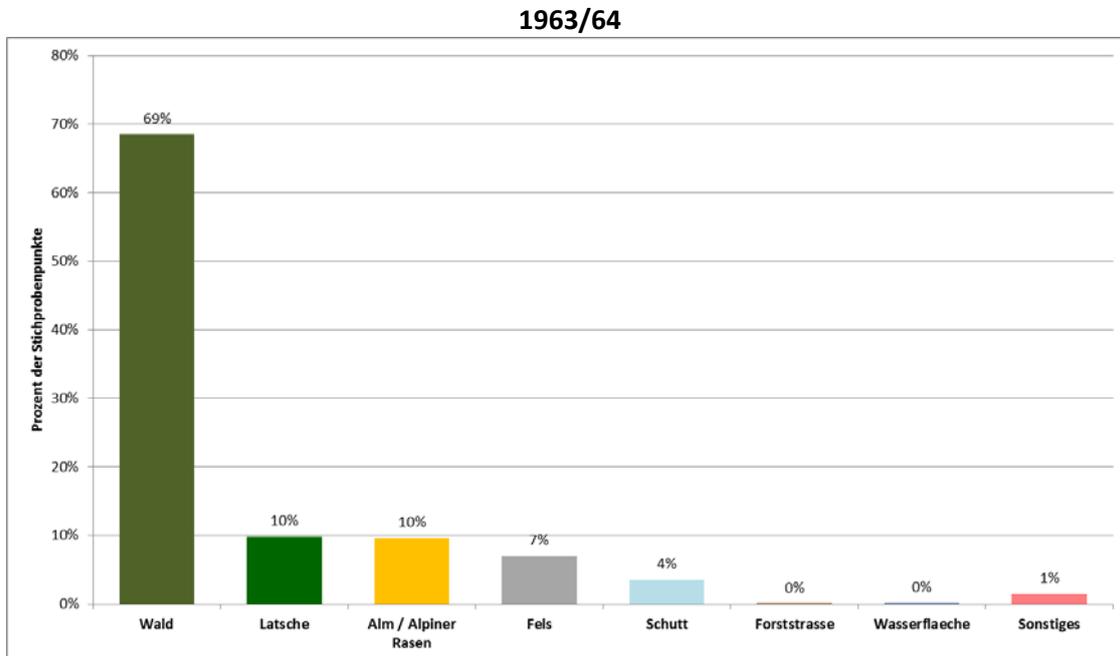


Abbildung 29: Verteilung der Kategorie 1963/64 in Prozent (N = 2.727)

Von insgesamt 2.727 interpretierten Stichprobenpunkten 1963/64 entfällt der größte Anteil mit 68,5 % (1.868 Punkte) auf die Landbedeckungskategorie *Wald*, jeweils etwa 10 % (269 bzw. 261 Punkte) auf die Landbedeckungskategorien *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* (siehe Abbildung 29). *Fels* und *Schutt* folgen mit Anteilen von 7 bzw. 3,5 % (190 bzw. 96 Punkte). *Forststraße* und *Wasserfläche* weisen sehr geringe Anteile von unter 1 % der Punkte auf. Auf *Sonstige* Flächen, wie z.B. Siedlungs- oder Landwirtschaftliche Flächen, fallen 1,4 % der Punkte.

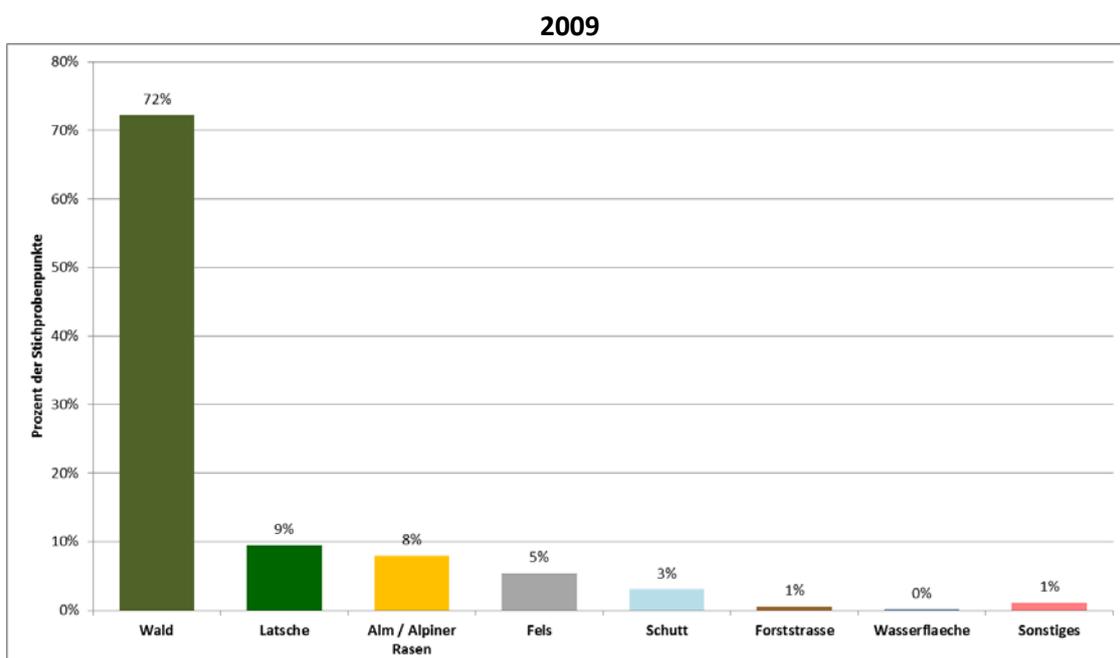


Abbildung 30: Verteilung der Kategorie 2009 in Prozent (N = 2.886)

Im Jahr 2009 zeigt sich ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 30). Von insgesamt 2.886 Punkten entfallen 72 % (2.083 Punkte) auf *Wald*, 9,5 % (274 Punkte) auf *Latsche*, sowie 8 % (229 Punkte) auf *Alm / Alpiner Rasen*. Auf die Landbedeckungskategorien *Fels* und *Schutt* entfallen 5,5 bzw. 3 % (158 bzw. 88 Punkte) der Punkte. Die Kategorien *Forststraße* und *Wasserfläche* weisen wieder einen Anteil von weniger als 1 % auf (18 bzw. 3 Punkte). Auf *Sonstige* Flächen entfallen 1,1 % (33 Punkte) der Punkte.

Ein Vergleich der Anteile der beiden Jahre lässt bereits erste Schlüsse zu. Die Zunahme des Anteils der Landbedeckungskategorie *Wald* von 68,5 auf 72,0 % lässt auf ein reales Anwachsen der Waldfläche im Untersuchungsgebiet schließen. Ein Ansteigen der Waldgrenze könnte für die absolute Zunahme der Kategorie *Latsche*, sowie die relative Abnahme der Kategorie *Alm / Alpiner Rasen* verantwortlich sein. Man kann davon ausgehen, dass eine zunehmende Konkurrenzfähigkeit des Waldes in höheren Lagen zu einer teilweisen Verdrängung der *Latsche* in höhere Gebiete führt. Dies würde sich durch einen abnehmenden Anteil der Fläche von *Alm / Alpiner Rasen* bemerkbar machen. Die Zunahme der Landbedeckungskategorie *Latsche* auf Kosten der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* wird eingehender in Kapitel 4.3.8: Seehöhe (siehe Abbildung 52 und Abbildung 53) behandelt. Die Zunahme bei der Landbedeckungskategorie *Forststraße* von einem auf 18 Stichprobenpunkte und damit von 6,3 ha auf 112,5 ha im Untersuchungsgebiet lässt sich durch die rege Bautätigkeit vor allem in höheren Lagen während des Untersuchungszeitraums erklären.

#### 1963/64 – 2009

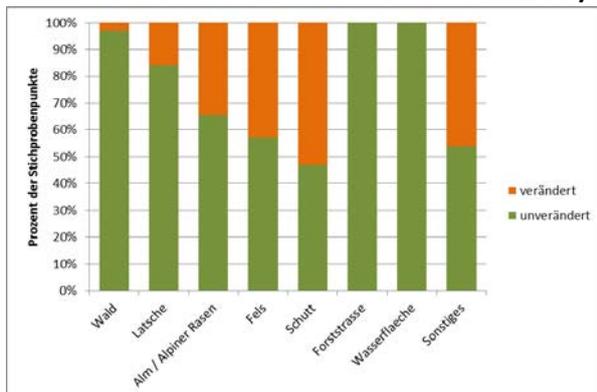


Abbildung 31: Veränderungen je Kategorie

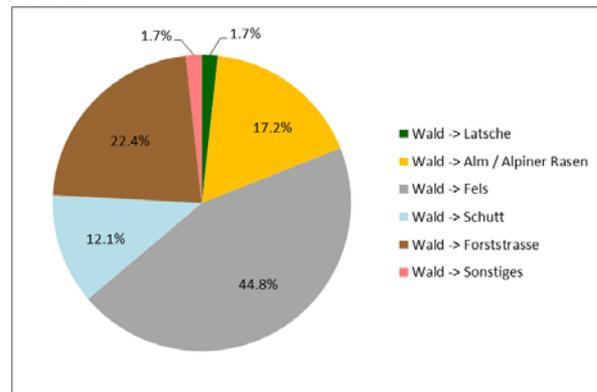


Abbildung 32: Relative Änderung der Kategorie Wald

In der linken Grafik (siehe Abbildung 31) ist der Anteil der veränderten Punkte im Untersuchungszeitraum dargestellt. In der Landbedeckungskategorie *Wald* haben sich 3 % der Punkte verändert, d.h. 3 % jener Punkte, die im Jahr 1963/64 *Wald* waren, wurden 2009 einer anderen Kategorie zugeordnet. Die rechte Grafik (siehe Abbildung 32) zeigt die relative Änderung dieser Stichprobenpunkte. 45 % der Punkte, die im Jahr 1963/64 der Kategorie *Wald* zugeordnet waren und im Jahr 2009 eine Veränderung der Landbedeckungskategorie zeigten, waren 2009 der Landbedeckungskategorie *Fels* zugeordnet usw. Die Grafiken der weiteren Landbedeckungskategorien sind unter Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung in [Abschnitt 1.4](#) aufgeführt. Bemerkenswert ist außerdem der besonders hohe Anteil an veränderten Stichprobenpunkten bei den Kategorien *Alm / Alpiner Rasen*, *Fels* sowie *Schutt* mit 35, 43 und 53 %.

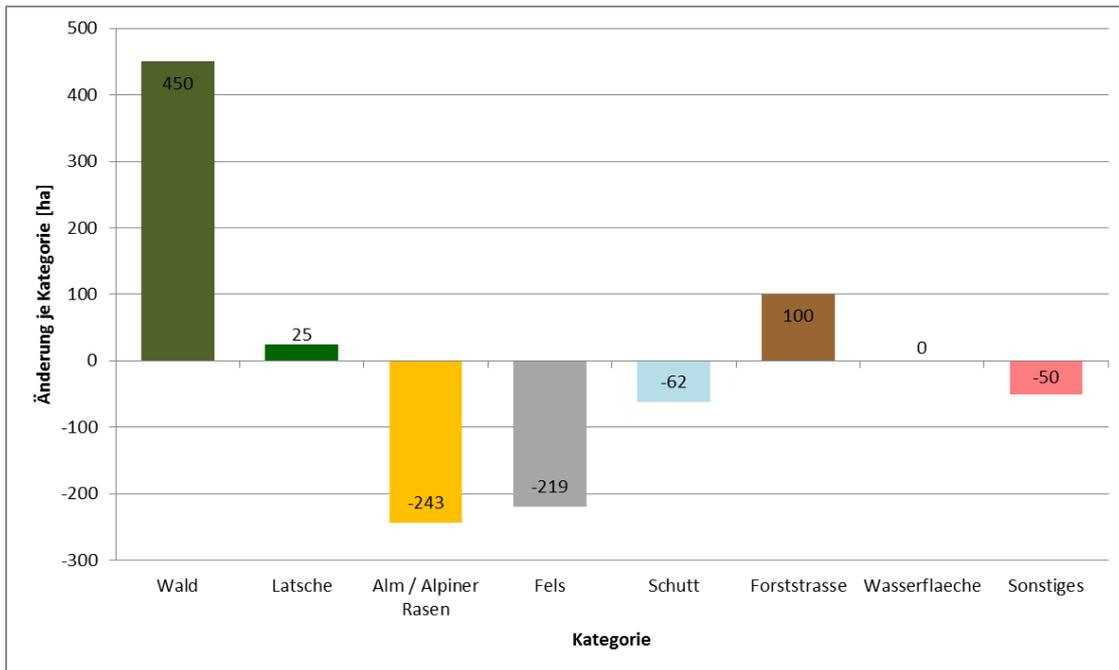


Abbildung 33: Änderung je Kategorie im Untersuchungszeitraum (in Hektar)

Abbildung 33 gibt abschließend Aufschluss über die Änderungen (in Hektar) der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum. Positive Werte geben einen Nettozuwachs, negative Werte einen Nettoverlust je Kategorie an. Ein Nettozuwachs ergibt sich für die Kategorien *Wald*, *Latsche* und *Forststraße*, ein Nettoverlust ergibt sich für die Kategorien *Alm / Alpiner Rasen*, *Fels*, *Schutt* und *Sonstiges*. Die Kategorie *Wasser* bleibt im Untersuchungszeitraum konstant.

Die 341 im Untersuchungszeitraum festgestellten Veränderungen der Landbedeckungskategorie verteilen sich mit 62 % auf positive, mit 13 % auf ambivalente und mit 26 % auf negative Veränderungen (siehe Abbildung 34). Die Entwicklung der untersuchten Flächen der Wiener Quellschutzwälder im Untersuchungszeitraum ist somit als überaus positiv zu beurteilen.

Die genaue Analyse von Veränderungenströmen wird in Kapitel 4.3.10 behandelt.

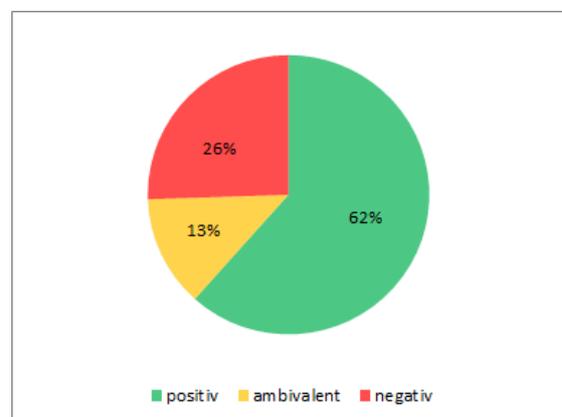


Abbildung 34: Aufteilung der veränderten Punkte auf die Veränderungsklassen „positiv“, „ambivalent“ und „negativ“

#### 4.3.4 Bemerkungen zur Kategorie Sonstiges

Im folgenden Abschnitt wird das Attribut **[Bemerkung zur Kategorie Sonstige]** (siehe Kapitel 3.4.3.5) ausgewertet. (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 1.5](#)).

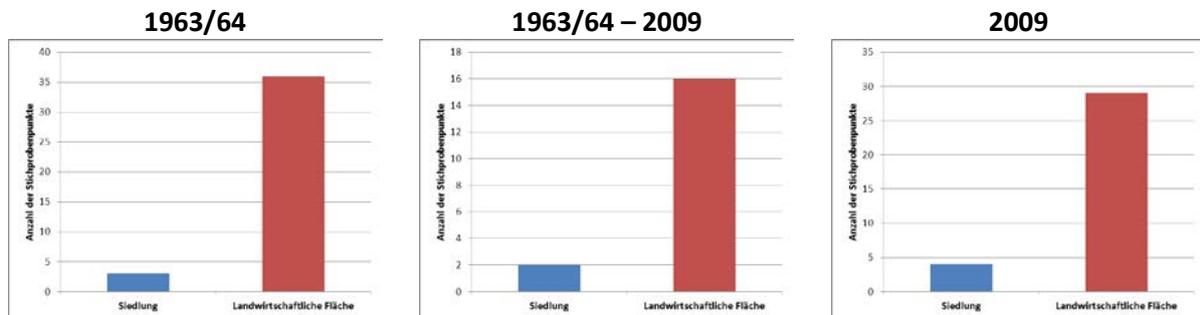


Abbildung 35: Auswertung der Bemerkung zur Kategorie Sonstige

Die beiden Unterkategorien der Landbedeckungskategorie Sonstiges (Siedlung und Landwirtschaftliche Fläche) verteilen sich sehr ähnlich auf die Jahre 1963/64, den Untersuchungszeitraum von 1963/64 – 2009 sowie das Jahr 2009 (siehe Abbildung 35). Insgesamt wurden 39, 18, bzw. 33 Stichprobenpunkte als Kategorie *Sonstiges* ausgeschieden. Der Anteil der Landwirtschaftlichen Fläche ist annähernd konstant und beträgt 92 %, 89 % bzw. 88 %.

#### 4.3.5 Teilung der Stichprobenfläche

Im folgenden Abschnitt wird das Attribut **[Anteil am gesamten Kreis]** (siehe Kapitel 3.4.3.4) analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 1.6](#))

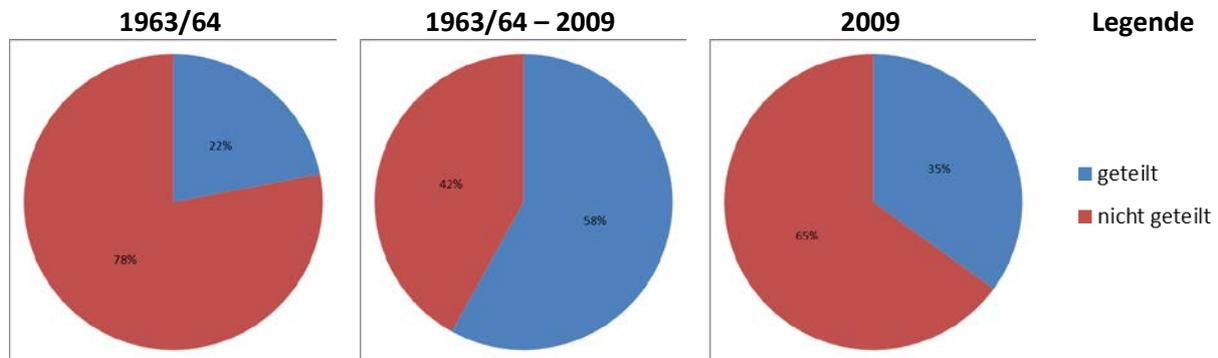


Abbildung 36: Teilung der Stichprobenfläche

Im Jahr 1963/64 waren von 2.727 Stichprobenpunkten 22 % geteilt, 78 % wiesen eine ungeteilten Stichprobenfläche auf (siehe Abbildung 36). Im Jahr 2009 waren von 2.886 Stichprobenpunkten 35 % geteilt bzw. 65 % nicht geteilt. Die veränderten Punkte im Untersuchungszeitraum zeigen eine deutlich abweichende Verteilung hinsichtlich der Teilung der Stichprobenfläche. 58 % bzw. 42 % der 341 veränderten Stichprobenpunkte weisen eine geteilte bzw. nicht geteilte Stichprobenfläche auf.

Der höhere Anteil geteilter Stichprobenpunkte im Jahr 2009, verglichen mit dem Jahr 1963/64, könnte auf die verbesserte Bildqualität zurückzuführen sein, wahrscheinlicher ist jedoch, dass die zusätzlich erhobenen Attribute den Anstieg der Kreisteilungen verursachen. Bei inhomogener Wuchsklasse innerhalb der Stichprobenfläche kann eine Teilung der Stichprobenfläche erforderlich sein. Das Attribut *Wuchsklasse* wurde jedoch nur im Jahr 2009 erhoben. Bei den veränderten Stichprobenpunkten wird ein Zusammenhang zwischen Kreisteilung und Veränderung der Landbedeckungskategorie deutlich. Hier kehrt sich die Verteilung um – es sind mehr Stichprobenpunkte geteilt als nicht geteilt. Auf die Teilung des Kreises wird in Kapitel 3.6.4: Logistische Regressionsanalyse genauer eingegangen.

### 4.3.6 Exposition

Im folgenden Abschnitt wird die Exposition der Stichprobenflächen analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 4](#)).

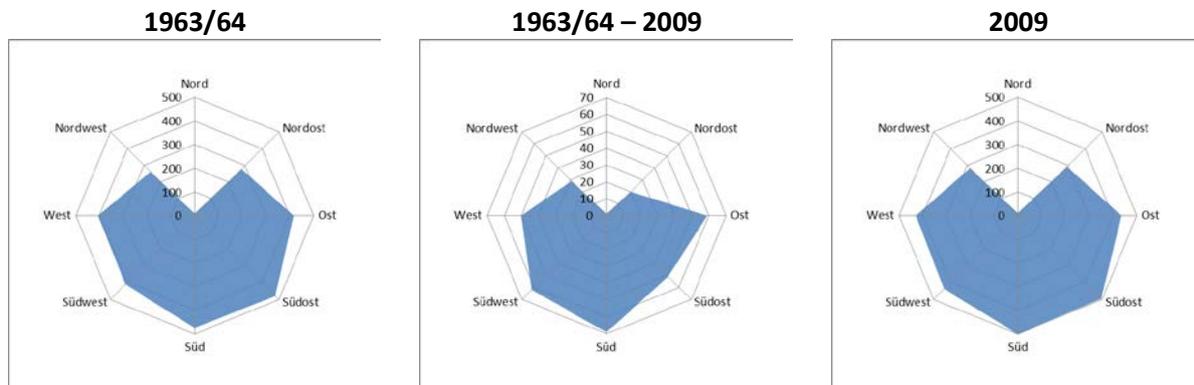


Abbildung 37: Exposition – Verteilung in 8 Sektoren (absolut)

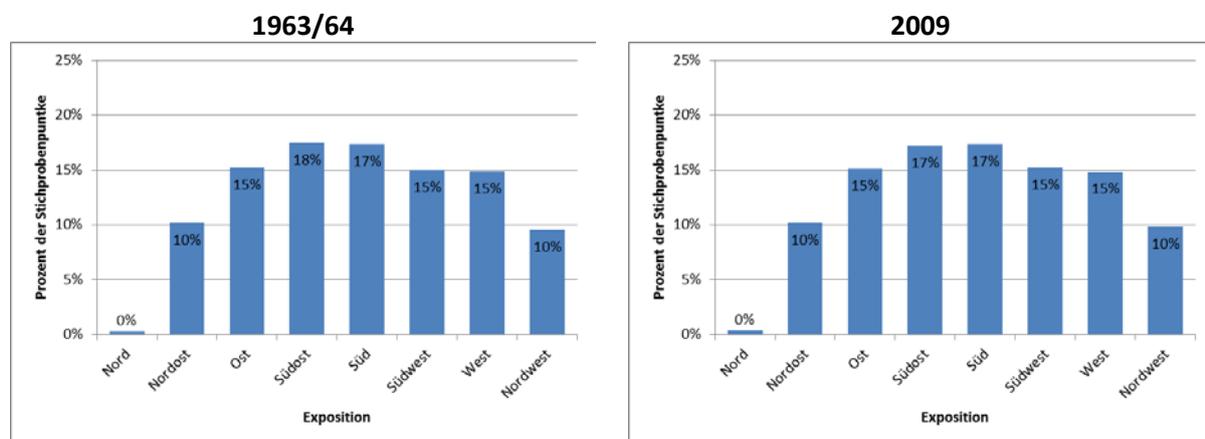


Abbildung 38: Expositionsverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009

Die Expositionsverteilung der Stichprobenpunkte der Jahre 1963/64 und 2009 ist nahezu ident. Die Stichprobenpunkte verteilen sich fast gleichmäßig auf alle Expositions-kategorien, lediglich die Kategorien *Nord*, *Nordost* sowie *Nordwest* sind (teilweise stark) unterrepräsentiert und weisen somit geringere Anteile auf (siehe Abbildung 37, Abbildung 38 und Abbildung 42). Auch die Expositionsverteilung der 341 veränderten Stichprobenpunkte weicht nur geringfügig von der Verteilung aller Stichprobenpunkte ab. Die Expositions-kategorien Ost, Süd und Südwest der

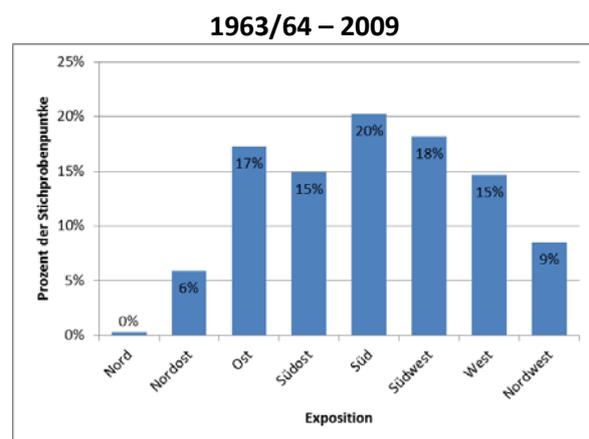


Abbildung 39: Expositionsverteilung der veränderten Stichprobenpunkte

veränderten Stichprobenpunkte weisen im Vergleich mit den Verteilungen der Jahre 1963/64 und 2009 leicht höhere Anteile auf. Dies lässt eine höhere Wahrscheinlichkeit für eine Veränderung der Landbedeckungskategorie für Stichprobenpunkte dieser Expositions-kategorien vermuten. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nicht bestätigt werden (siehe 4.5: Logistische Regressionsanalyse).

Abbildung 40 zeigt die Kombination der Veränderungs-Klassifikation mit den Expositions-kategorien. Die drei Veränderungsklassen treten, abgesehen von der Expositions-kategorie *Nord*, in allen Expositions-kategorien auf. Die Datenbeschriftungen zeigen jeweils den relativen Anteil der Veränderungsklassifikation je Expositions-kategorie. Beispielsweise werden etwa 20 % der veränderten Stichprobenpunkte in der Expositions-kategorie *Süd* beobachtet. In dieser Expositions-kategorie entfallen 59 % der Veränderungen auf positive und sowohl 20 % auf negative als auch 20 % auf ambivalente Veränderungen. Die negativen Veränderungen der Expositions-kategorien *Ost*, *Südost*, und *Südwest* liegen mit 34 %, 31 % und 31 % über dem Durchschnitt von 26 % negativen Veränderungen (siehe auch Abbildung 34). Es scheint ein leichter Trend zu mehr Veränderungen in diesen Expositions-kategorien vorhanden zu sein, dies kann jedoch auch auf die spezielle Verteilung der Expositions-kategorien zurückzuführen sein. Da die Expositions-kategorien *Nord*, *Nordost* und *Nordwest* leicht unterrepräsentiert sind, lassen sich dort auch generell weniger Veränderungen beobachten.

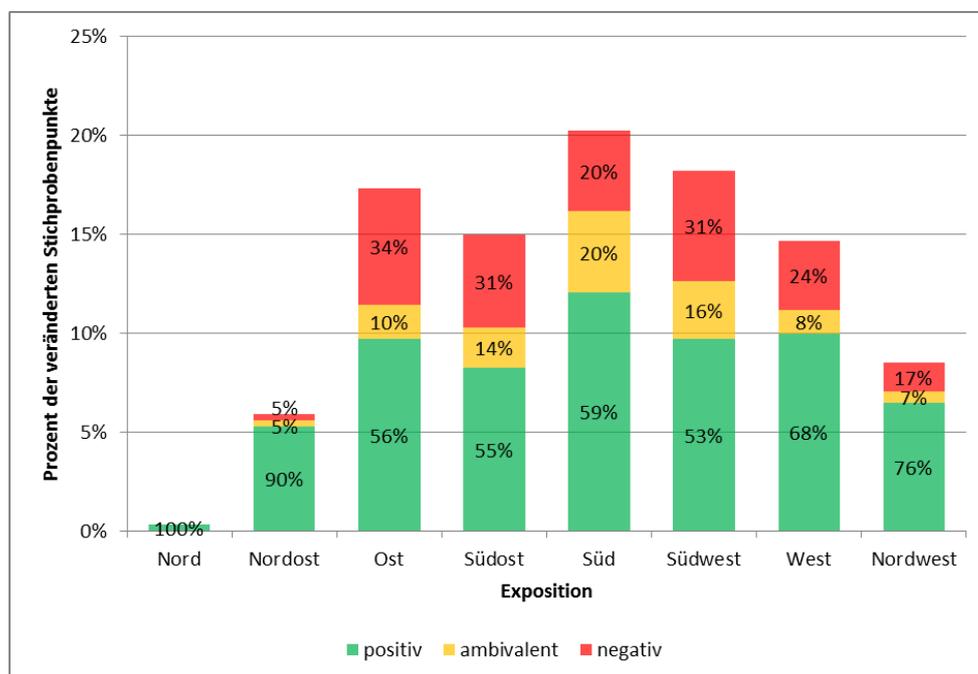


Abbildung 40: Expositionsverteilung der veränderten Punkte mit Veränderungsklassifikation (Datenbeschriftungen zeigen den Anteil der Veränderungskategorie je Expositions-kategorie in Prozent)

Abschließend wurde untersucht, ob bestimmte Landbedeckungskategorien in bestimmten Expositions-kategorien besonders viele Änderungen zeigen, oder ob eine Änderungskategorie besonders häufig auftritt. Das unter Abbildung 42 angeführte Beispiel zeigt die Kategorie *Alm / Alpiner Rasen*, alle weiteren Kategorien sind in Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 4.1](#) zu finden.

In Abbildung 41 ist der relative Anteil jeder Veränderungskategorie für jede Expositions-kategorie dargestellt. In die Expositions-kategorie *Nordost* fallen insgesamt 20 Stichprobenpunkte. Bei jeweils 5 % dieser Stichprobenpunkte, daher bei jeweils einem Stichprobenpunkt wurde die Veränderung als *negativ* bzw. *ambivalent* beurteilt während die Veränderung der restlichen 90 % der Stichprobenpunkte als *positiv* beurteilt wurde. In den Expositions-kategorien *Ost*, *Südost* und *Südwest* liegt der Anteil an negativen Veränderungen mit 34 %, 31 % und 31 % über dem Durchschnitt von 26 % (siehe auch Abbildung 34).

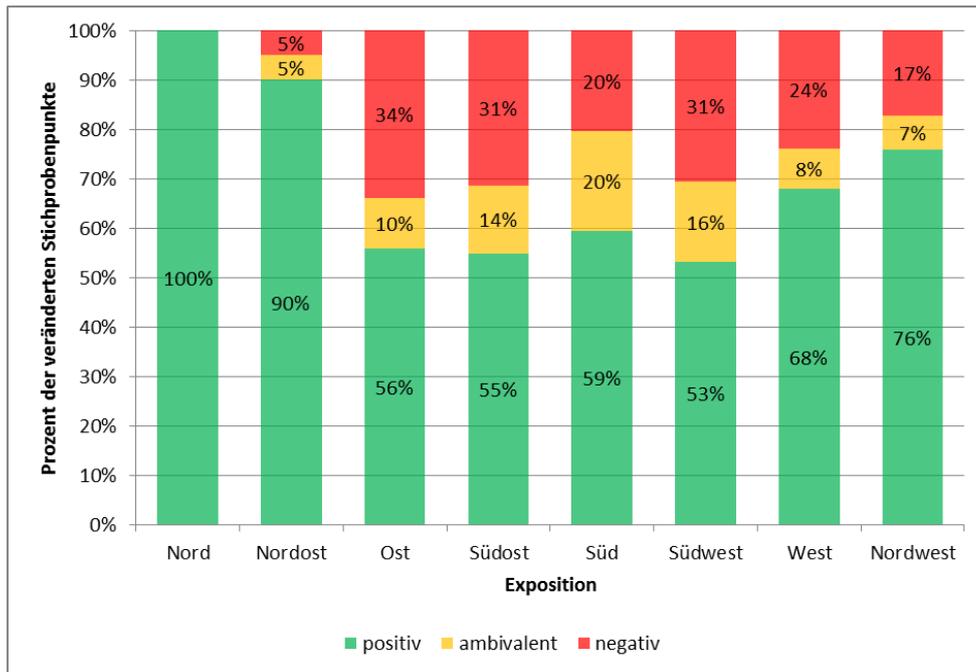


Abbildung 41: Anteil je Veränderungskategorie und Expositionskategorie in Prozent

In Abbildung 42 ist links der Abgang und recht der Zugang von Alm / Alpiner Rasen dargestellt. Die Veränderung ist wieder in die Veränderungsklassen *positiv*, *ambivalent* und *negativ* eingeteilt. Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass der Abgang von Alm / Alpiner Rasen zu anderen Kategorien im Vergleich zum Zugang zur Kategorie Alm / Alpiner Rasen aus anderen Kategorien überwiegt. Dieser Abgang zu anderen Kategorien ist in den meisten Fällen als *positiv* zu beurteilen. Alm / Alpiner Rasen verändert sich daher vorwiegend zu Latsche oder Wald (siehe auch Abbildung 23). In einigen Fällen, besonders in der Expositionskategorie *Südost*, ist der Abgang auch als *negativ* zu beurteilen. Der Zugang zur Landbedeckungskategorie Alm / Alpiner Rasen findet in anderen Expositionskategorien statt als der Abgang. In der Expositionskategorie *Südwest* verändern sich die meisten Stichprobenpunkte zu Alm / Alpiner Rasen. In den Expositionskategorien *Südwest*, *Süd*, und *Südost* ist der Zugang zur Landbedeckungskategorie Alm / Alpiner Rasen teilweise *negativ* zu bewerten.



Abbildung 42: Ab- bzw. Zugang von bzw. zur Kategorie Alm / Alpiner Rasen in Abhängigkeit von der Exposition

### 4.3.7 Neigung

Im folgenden Abschnitt wird die Neigung der Stichprobenflächen analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 5](#)).

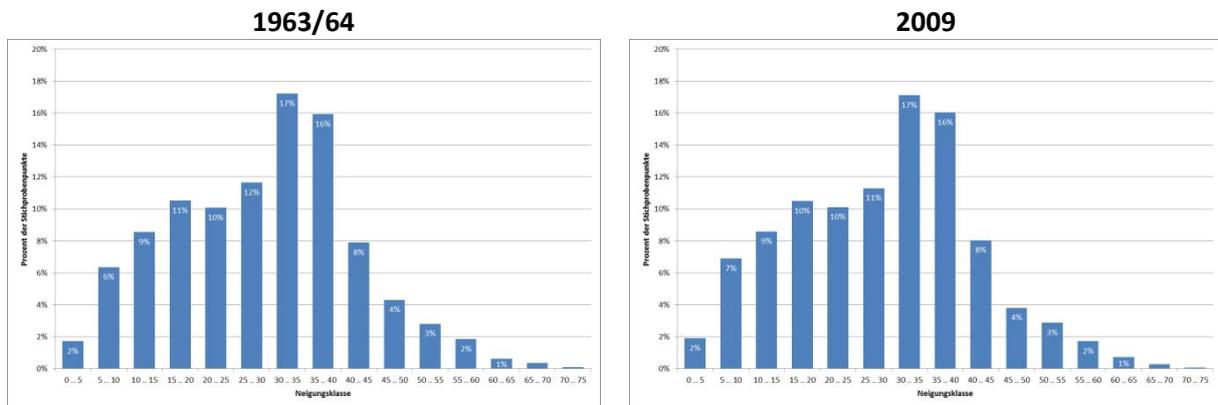


Abbildung 43: Neigungsverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009

Die Verteilung der Stichprobenpunkte auf die verschiedenen Neigungsklassen ist in den Jahren 1963/64 sowie im Jahr 2009 annähernd ident (siehe Abbildung 43). Gut 50 % der Stichprobenpunkte weisen eine Neigung bis 30° auf. Weitere 35 % weisen eine Neigung ab 30° bis 40° auf. Mit steigender Neigung nehmen die Häufigkeiten stark ab, nur etwa 5 % der Stichprobenpunkte haben eine Neigung über 50°.

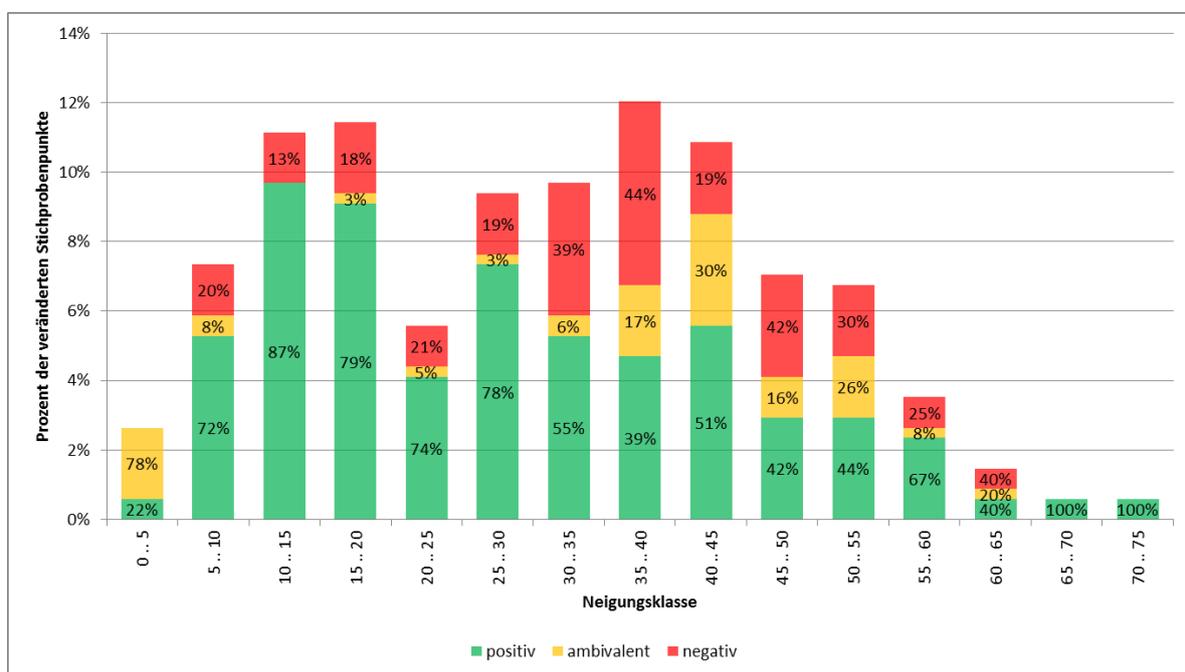


Abbildung 44: Anzahl der veränderten Stichprobenpunkte je Veränderungskategorie und Neigungsklasse

Bei den veränderten Stichprobenpunkten zeigt sich ein leicht abweichendes Bild (siehe Abbildung 44). Die Veränderungen sind besonders in mittleren Neigungen von 20 bis 40° unterrepräsentiert. Besonders stark fällt dieser Effekt bei Neigungen von 30 bis 40° auf. In diese Neigungsklassen fallen 35 % der Stichprobenpunkte, jedoch nur 21 % jener Punkte, die eine Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum zeigen. Auch in die Neigungsklasse 20 bis 25° fallen nur knapp 6 % der veränderten Stichprobenpunkte während der Anteil der Stichprobenpunkte

in den gesamten Verteilungen der Jahre 1963/64 und 2009 in dieser Neigungskategorie 10 % beträgt. Ab der Neigungskategorie 40 bis 45° kehrt sich dieser Effekt um, nun sind die Veränderungen je Neigungsklasse überrepräsentiert.

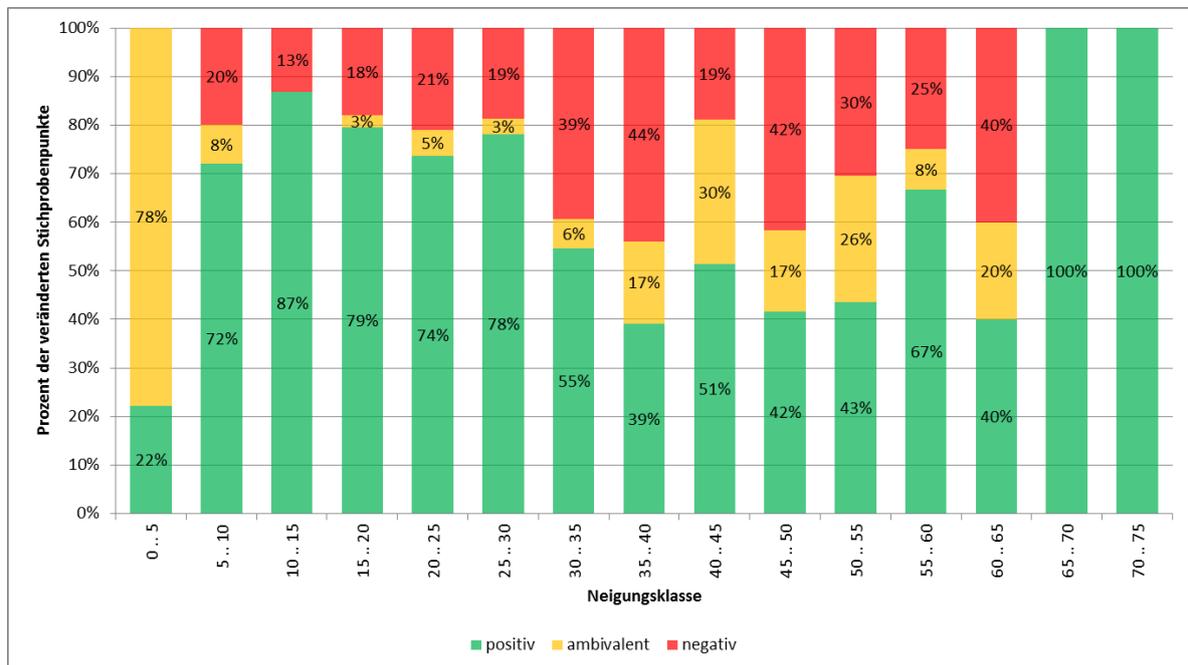


Abbildung 45: Anteil je Veränderungskategorie und Neigungskategorie

In Abbildung 45 ist der relative Anteil je Veränderungskategorie für jede Neigungsklasse dargestellt. In die erste Neigungskategorie fallen insgesamt 9 Punkte, die Veränderung von 22 % der Punkte (daher von 2 Punkten) wurde als *positiv*, jene der restlichen 78 % der Punkte als *ambivalent* beurteilt. Besonders auffallend ist der steigende Anteil *ambivalenter* und *negativer* Veränderungen mit steigender Neigungsklasse. Der Anteil *positiver* Veränderungen liegt bei Neigungen von 5 bis 30° teilweise deutlich über 70 %, um dann im Bereich von 30 bis 55° teilweise sogar unter 40 % zu sinken. Veränderungen fallen daher mit zunehmender Neigung zunehmend *negativ* aus. Verändert sich ein Stichprobenpunkt in stark geneigtem Gelände, ist die Wahrscheinlichkeit einer *negativen* Veränderung weitaus höher, als bei einem Stichprobenpunkt in mäßig geneigtem Gelände. Die geringe Anzahl an Stichprobenpunkten in den letzten beiden Neigungsklassen (jeweils 2), 65 bis 70° und 70 bis 75°, lassen keine sicheren Aussagen über diese Neigungsklassen zu.

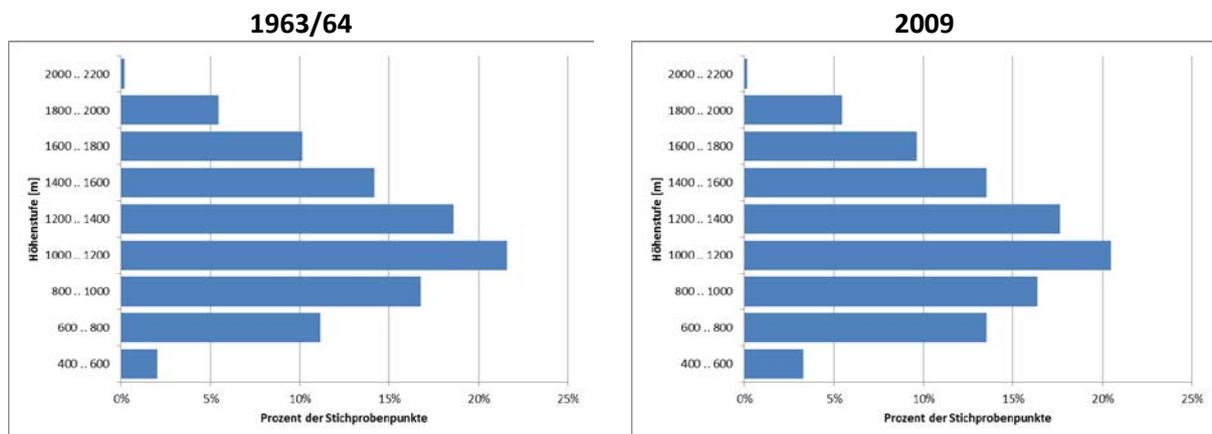
### 4.3.8 Seehöhe

Im folgenden Abschnitt wird die Seehöhe der Stichprobenpunkte analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 7.1](#)).

**Tabelle 16: Kennzahlen der Höhenverteilung des Untersuchungsgebiets**

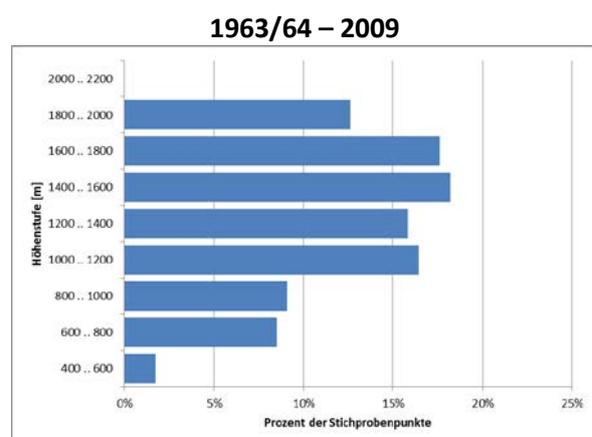
	1963/64	1963/64 – 2009	2009
<b>Minimum:</b>	502 m	524 m	412 m
<b>Maximum:</b>	2.064 m	1.973 m	2.064 m
<b>Höhenamplitude:</b>	1.562 m	1.449 m	1.652 m
<b>Mittelwert:</b>	1.212 m	1.350 m	1.188 m

In Tabelle 16 sind die Kennzahlen der Höhenverteilung der interpretierten Jahrgänge 1963/64, 2009 sowie der veränderten Stichprobenpunkte dargestellt. Auffallend ist die geringere Höhenamplitude der veränderten Stichprobenpunkte. Die mittlere Punkthöhe der veränderten Stichprobenpunkte liegt um etwa 150 m höher, als die der gesamten Datensätze. Außerdem ist die maximale Punkthöhe um etwa 100 m niedriger.



**Abbildung 46: Höhenverteilung der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009**

Dies wird auch beim Vergleich der Höhenverteilung (siehe Abbildung 46) deutlich. Der Anteil der veränderten Stichprobenpunkte in niedrigen Lagen ist im Vergleich zu den gesamten Verteilungen unterrepräsentiert, während in höheren Lagen veränderte Punkte überrepräsentiert sind. Besonders in Lagen von 1.600 m bis 2.000 m oberhalb der Waldgrenze konnten verstärkt Veränderungen festgestellt werden.



**Abbildung 47: Höhenverteilung der veränderten Stichprobenpunkte**

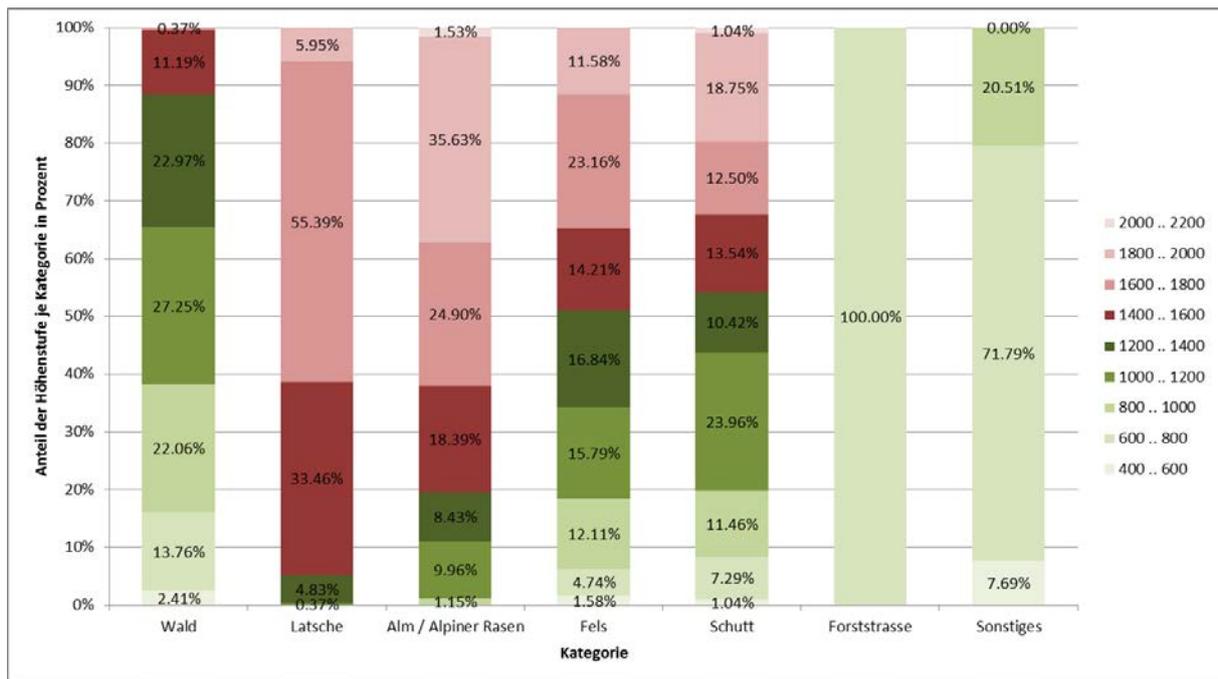


Abbildung 48: Anteil je Höhenstufe je Kategorie 1963/64

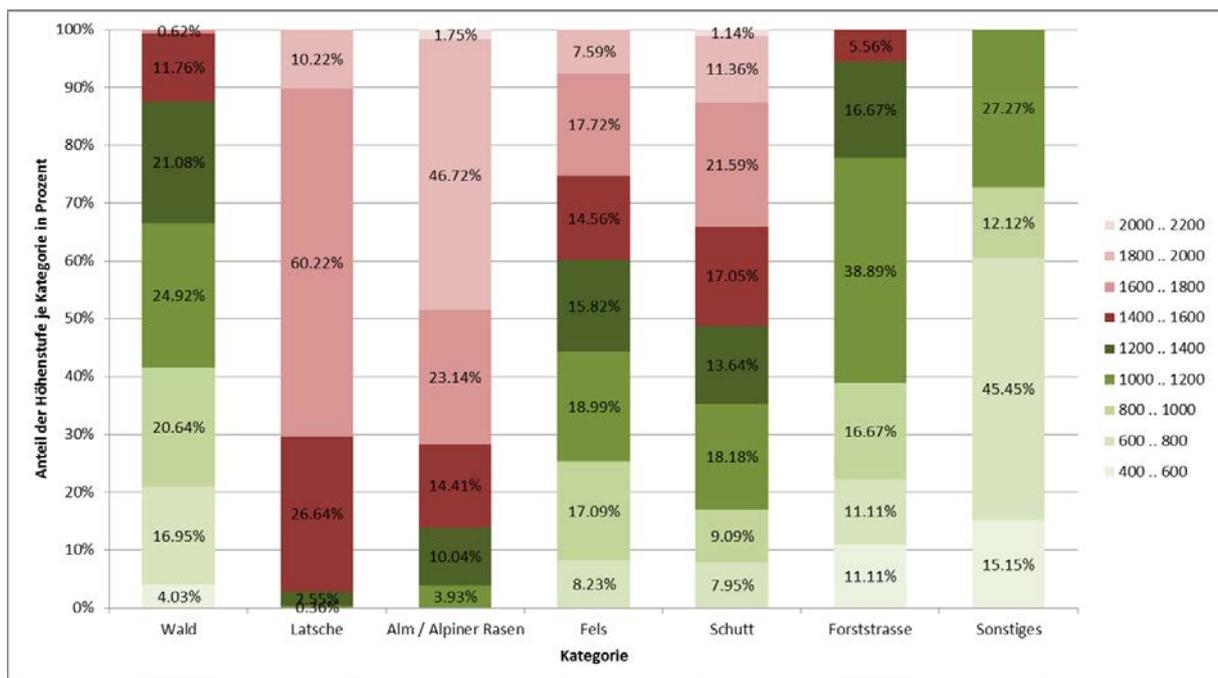


Abbildung 49: Anteil je Höhenstufe je Kategorie 2009

In Abbildung 48 und Abbildung 49 ist für jede Kategorie die Verteilung der Anteile auf die verschiedenen Höhenstufen dargestellt. Besonders auffallend ist der Unterschied in der Kategorie *Forststraße*. Während im Jahr 1963/64 nur ein Stichprobenpunkt in der Höhenstufe 600 – 800 m der Landbedeckungskategorie *Forststraße* zugeordnet wurde, erstrecken sich Stichprobenpunkte mit der Landbedeckungskategorie *Forststraße* im Jahr 2009 bereits über die untersten 6 Höhenstufen. Die Bautätigkeit der Forststraßen im Untersuchungszeitraum kann somit sehr gut abgebildet werden. Für die Landbedeckungskategorie *Latsche* sowie *Alm / Alpiner Rasen* kann eine leichte Verschiebung der Anteile in höhere Lagen festgestellt werden. Beträgt der Anteil der *Latsche* in den Höhenstufen 1.600 bis 2.000 m im Jahr 1963/64 noch 61 %, wächst er im Untersuchungszeitraum in den gleichen

Höhenstufen auf über 70 % an. An dieser Stelle sei erneut auf die Excel-Auswertung verwiesen, in welcher die Veränderungen durch Umschalten der Tabellen besonders gut ersichtlich sind (siehe [Auswertung 1963](#) und [2009](#)).

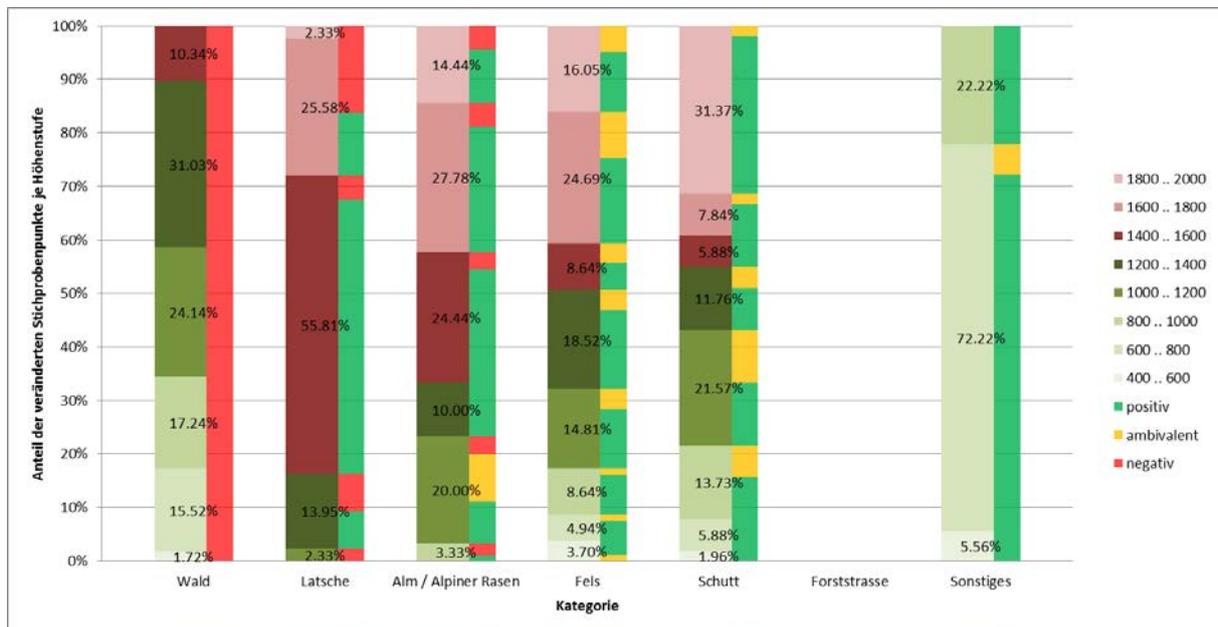
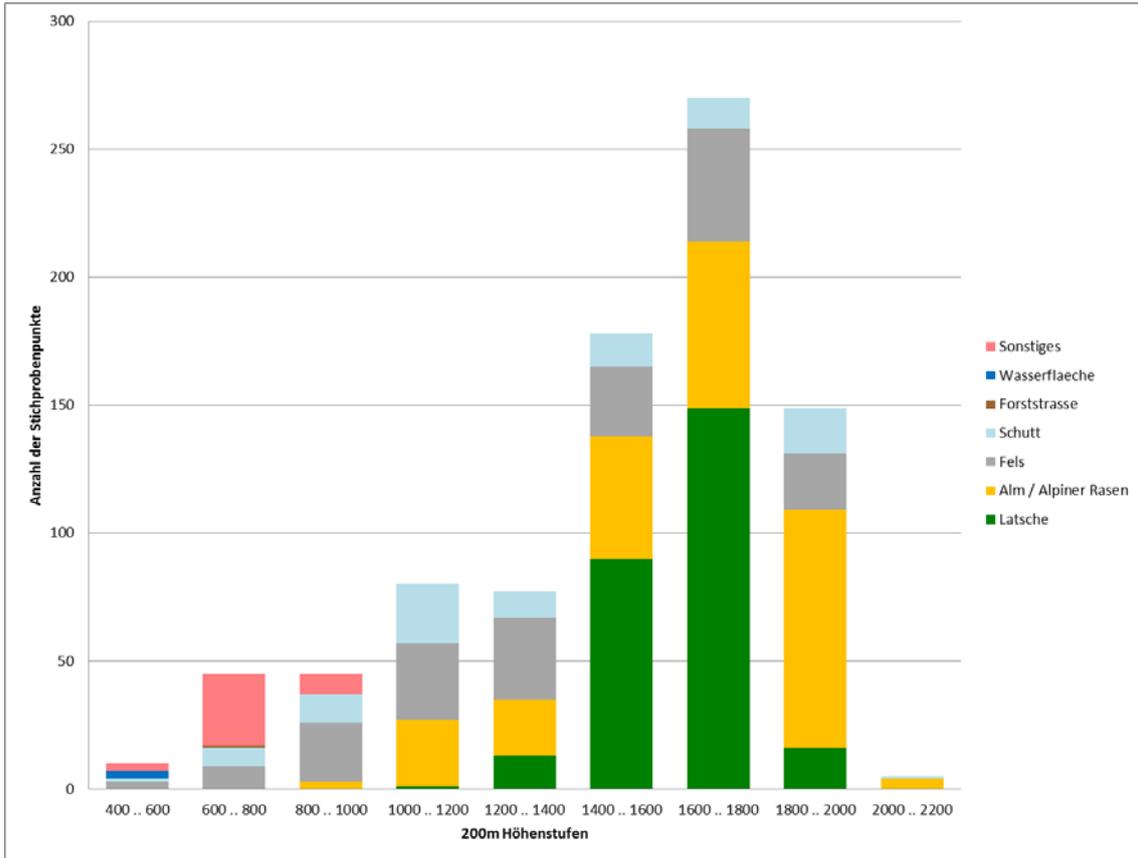


Abbildung 50: Anteil der Änderungen je Höhenstufe je Kategorie (gesamt und getrennt nach Veränderungskategorie)

Abbildung 50 zeigt neben der Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte auch die Qualität der Veränderung (siehe auch Abbildung 23: Klassifikation der Änderungen 1963/64 - 2009). Für die Landbedeckungskategorie *Wald* ist die Veränderung über alle Höhenstufen als *negativ* zu beurteilen, da es sich bei einer Veränderung von *Wald* zu einer anderen Landbedeckungskategorie hinsichtlich des Quellschutzes in jedem Fall um eine Verschlechterung handelt. An dieser Stelle sticht erneut die *Latsche* hervor: Während sich Latschenflächen in Lagen von 1.600 bis 2.000 m mit Anteilen von 60 bzw. 70 % (1963/64, 2009) konzentrieren, finden hier nur 28 % der festgestellten Änderungen statt. Umgekehrt befinden sich in der Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m 33 bzw. 27 % der Latschenflächen, in dieser Höhenstufe finden jedoch 56 % der Veränderungen innerhalb der Landbedeckungskategorie *Latsche* statt. Diese Veränderungen sind in 90 % der Fälle als *positiv* zu beurteilen. Die einzig mögliche, *positive* Veränderung für Latschenflächen ist die Veränderung zu Waldflächen, daher findet besonders in der Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m eine starke Veränderung von *Latsche* zu *Wald* statt. Für die Kategorie *Alm / Alpiner Rasen* zeigt sich ein ähnliches Bild: Auch hier sind die Veränderungen über alle Höhenstufen weitgehend *positiv*. Es findet daher eine Veränderung von *Alm / Alpiner Rasen* zu *Wald* oder *Latsche* statt.

1963/64



2009

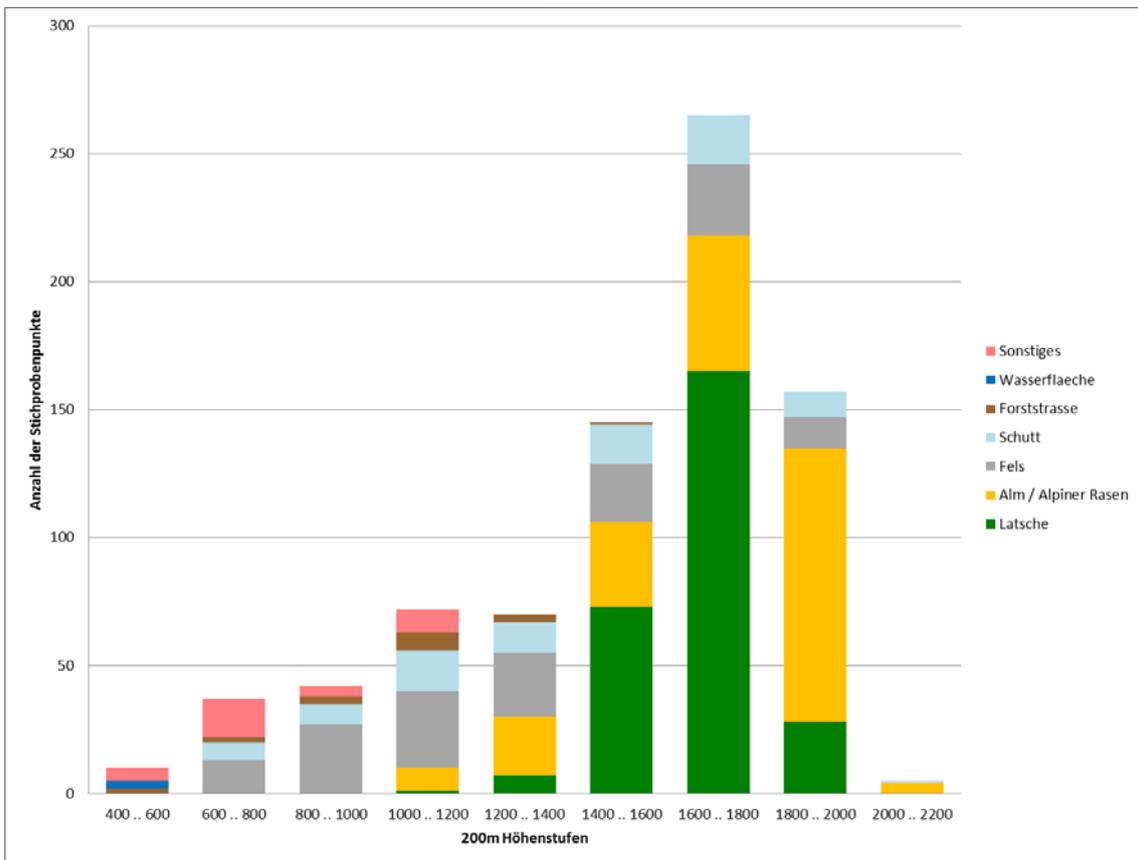


Abbildung 51: Auswertung der Kategorie nach 200 m Höhenstufen ohne Wald

Die absolute Anzahl je Kategorie ist in Abbildung 51 dargestellt. Die Kategorie *Wasserfläche* beschränkt sich auf die unterste Höhenstufe. Auch die Landbedeckungskategorie *Sonstiges* (Siedlungs- und Landwirtschaftliche Flächen) ist auf die unteren Höhenstufen beschränkt. Gut sichtbar ist der mit der Höhenstufe steigende Anteil der Latschen- und Almflächen (siehe [Auswertung 1963](#) und [2009](#)).

In Abbildung 52 und Abbildung 53 werden nur die Landbedeckungskategorien *Wald*, *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* betrachtet. Die weiteren Kategorien sind als „Andere Kategorien“ zusammengefasst. Bei Vergleich der beiden Abbildungen ist ein Trend vor allem in höheren Lagen zu erkennen:

- In der Höhenstufe **1.400 bis 1.600 m** nimmt der Anteil der Landbedeckungskategorie *Wald* von 54 auf 63 % zu, während *Alm-* und *Latschenflächen* abnehmen. Der Anteil anderer Kategorien beträgt konstant 10 %.
- In der nächsten Höhenstufe von **1.600 bis 1.800 m** ist noch ein leichter Anstieg der Waldfläche zu erkennen, die größte Änderung findet jedoch bei der Landbedeckungskategorie *Latsche* von 54 auf 59 % statt. Der Anteil von *Alm / Alpiner Rasen* sinkt in dieser Höhenstufe geringfügig von 23 auf 19 %.
- In der Höhenstufe von **1.800 bis 2.000 m** nimmt sowohl die *Alm-* als auch die *Latschenfläche* zu. Der Anteil *anderer Kategorien* sinkt von 27 auf 14 %.

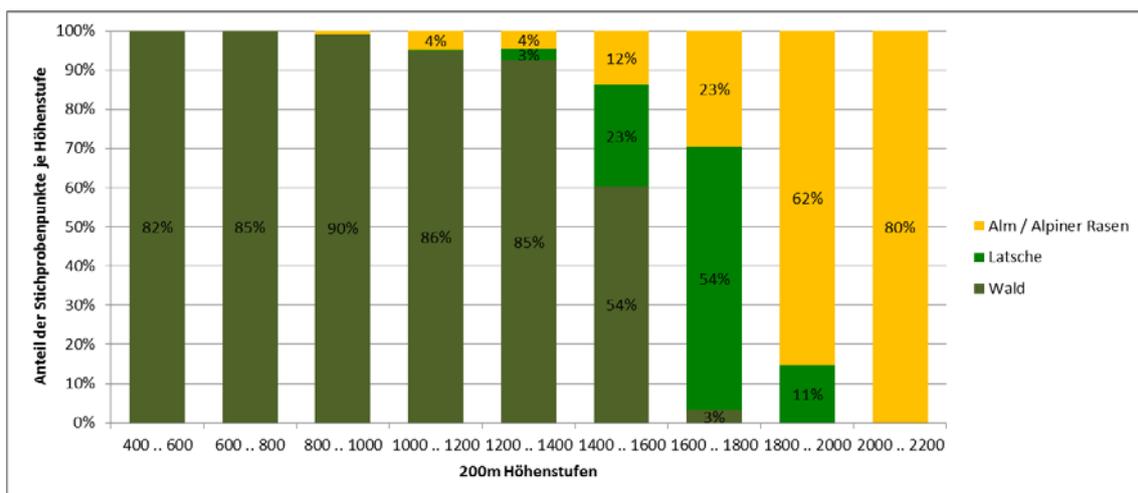


Abbildung 52: Höhengauswertung der Kategorien Wald, Latsche und Alm / Alpiner Rasen 1963/64

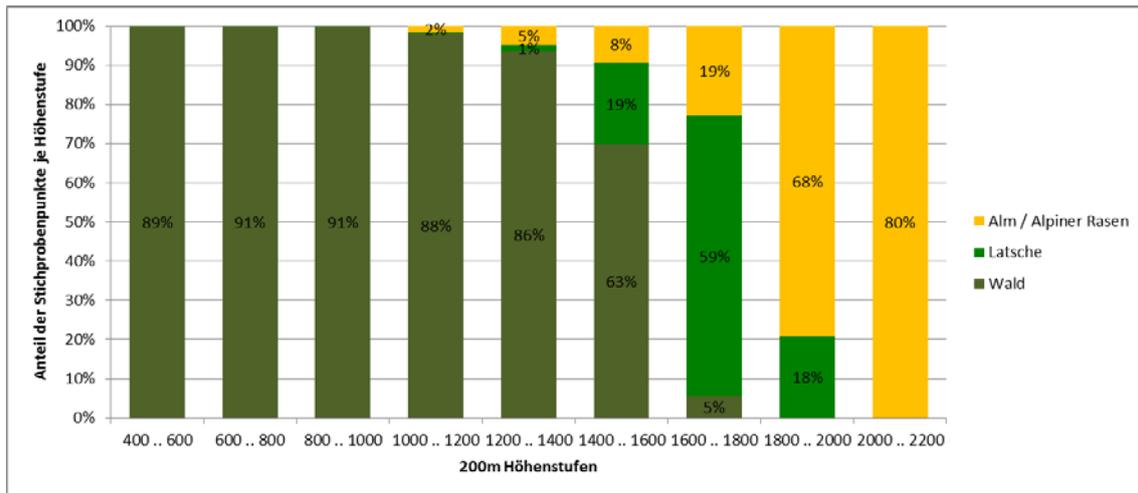


Abbildung 53: Höhenauswertung der Kategorien Wald, Latsche und Alm / Alpiner Rasen 2009

Zusammenfassend kann daher von einer Zunahme der Waldfläche in höheren Lagen ausgegangen werden. Die natürliche Abfolge von *Wald*, *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* bleibt bestehen, es findet jedoch eine Verschiebung in höhere Lagen statt. Durch den Zuwachs der Waldfläche besonders in der Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m wird die Latsche in höhere Lagen verdrängt. Diese Verdrängung findet wiederum zu Lasten der Almflächen statt.

Für eine Analyse der Veränderungsströme in Abhängigkeit der Höhenstufe siehe auch Kapitel 4.3.10.2.

### 4.3.9 Hydrotypen

Im folgenden Abschnitt werden die Standortparameter der Stichprobenpunkte analysiert (siehe Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 6](#)). Zur Analyse der Standortparameter wurden die interpretierten Stichprobenpunkte mit der Hydrotopkartierung der MA 49 verschnitten (siehe Kapitel 2.4.2: Hydrotypen). 15 Stichprobenpunkte im Jahr 1963/64 waren nicht von der Hydrotopkartierung abgedeckt und konnten daher nicht analysiert werden. Gleiches trifft auch auf drei veränderte Stichprobenpunkte sowie 23 Stichprobenpunkte im Jahr 2009 zu.

#### 4.3.9.1 Auswertung Standorteinheit

Im folgenden Abschnitt wird die Standorteinheit der Stichprobenpunkte analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 6.1](#)).

Die Verteilung der Standorteinheit im Jahr 1963/64 weicht von jener im Jahr 2009 geringfügig ab (siehe Abbildung 54). Dies ist auf Unterschiede zwischen den zugrundeliegenden Grundgesamtheiten der untersuchten Jahre zurückzuführen. Besonders bei der Analyse der Standorteinheit wird dieser Umstand deutlich. In der Stichprobeninterpretation aus dem Jahr 2009 ist ein Gebiet nordöstlich von Ternitz enthalten, welches auf den Luftbildern im Jahr 1963/64 (siehe Kapitel 2.2.1) nicht abgedeckt war und daher nicht interpretiert werden konnte. Dieses Gebiet weist durch die geringere Höhenlage eine andere Verteilung der Standorteinheiten auf. *Trockene und frische Buchenwälder* (301, 302) sowie *frischer und sehr frischer Fichten-Tannen-Buchenwald* (402, 602) sind besonders häufig in diesem Gebiet. Dies erklärt die starken Abweichungen dieser Standorteinheiten (z.B. annähernde Verdoppelung der Anzahl *frischer Buchenwaldstandorte* von 58 auf 108 Stichprobenpunkte).

Alle anderen Standorteinheiten werden nicht durch das zusätzliche Teilgebiet beeinflusst und können daher näher analysiert werden. In weiterer Folge werden Abweichungen zwischen der Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte und den gesamten Verteilungen der Jahre 1963/64 und 2009 behandelt. Besonders deutlich ist der geringere Anteil von *frischen lehmreichen Fichten-Tannen-Buchenwald* Standorten (504) (- 11 %) sowie der höhere Anteil an *Wiesen- und Rasenstandorten* (+ 10 %). *Schuttflächen* (1602) und *Fels-Standorte* (1601) weisen ebenfalls einen erhöhten Anteil mit + 4,3 % bzw. + 4,6 % gegenüber den Gesamtverteilungen auf. Auch *Felswaldstandorte* (1501) sind in der Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte häufiger anzutreffen (+ 1,5 %). Stichprobenpunkte, die eine Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum aufweisen, fallen verglichen mit den gesamten Verteilungen häufiger auf Standorte mit *Latschen-Buschwald* (1302) und auf Standorte mit *Latschen auf Hochwald-Standorten* (+ 2 % bzw. + 3,6 %). Weiteres scheint auch *subalpiner Fichten-Lärchen-Wald* (1101) häufiger von Veränderungen der Landbedeckungskategorie betroffen zu sein (+ 2 %).

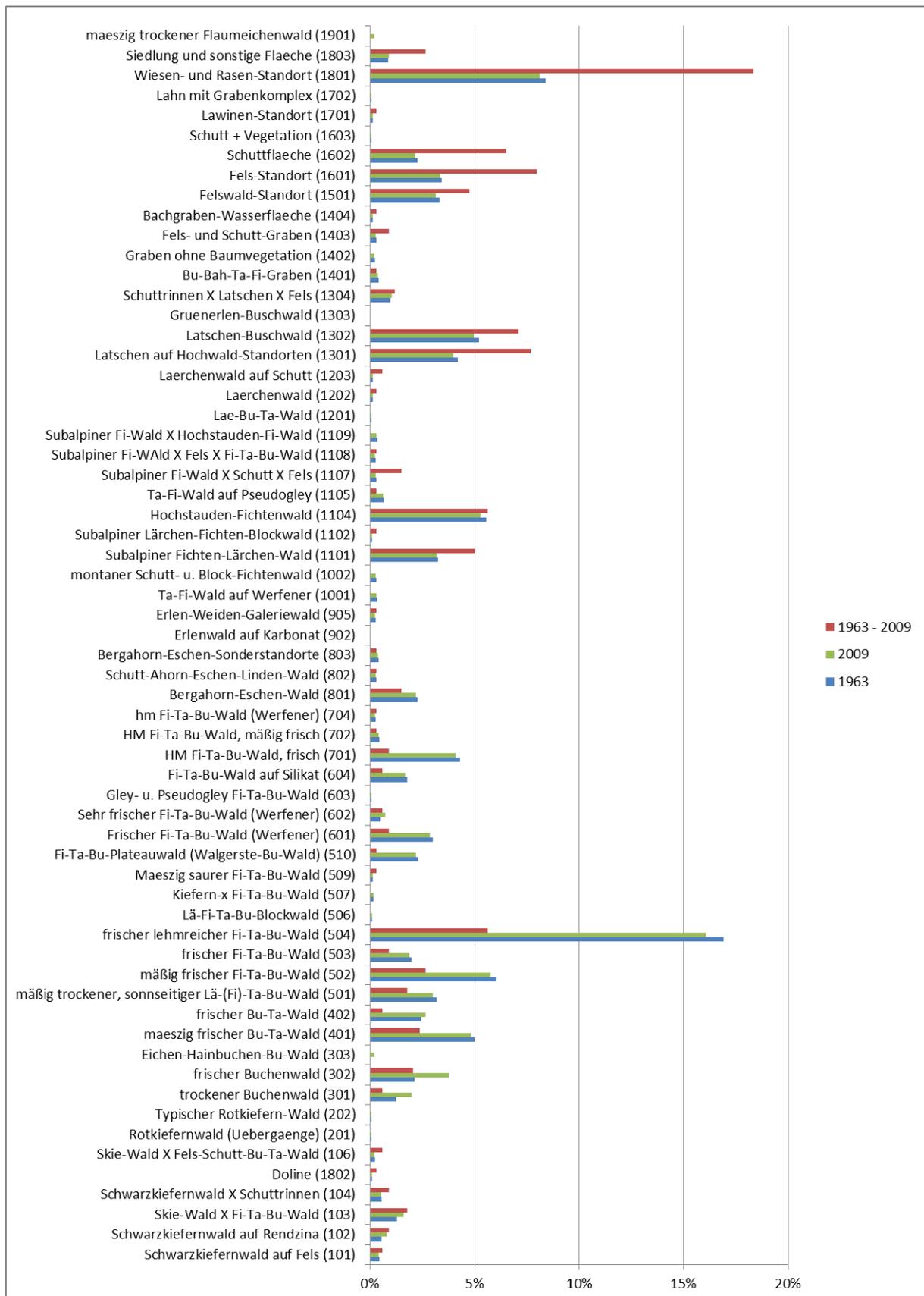


Abbildung 54: Anteil der Stichprobenpunkte je Standortseinheit

#### 4.3.9.2 Auswertung Bodentyp

Im folgenden Abschnitt wird der Bodentyp der Stichprobenpunkte analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 6.2](#)).

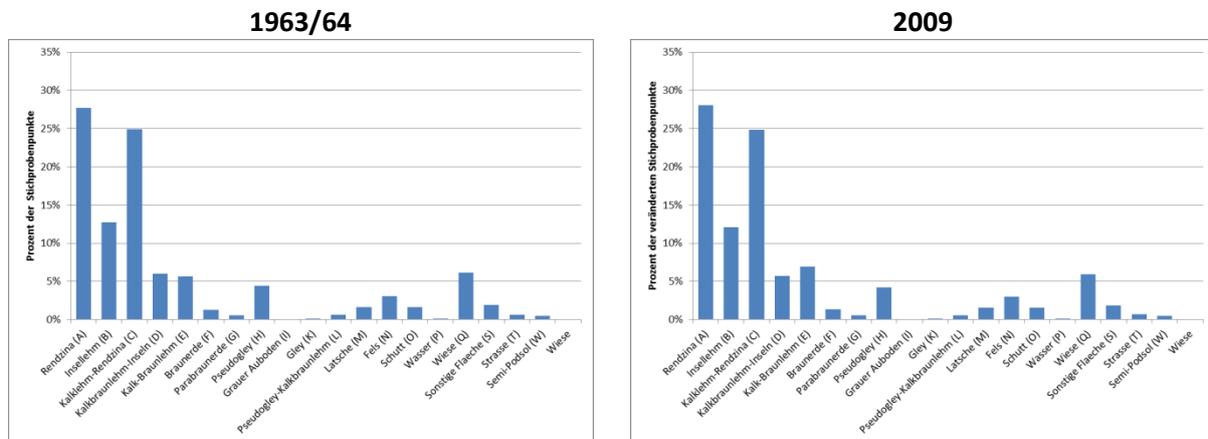


Abbildung 55: Verteilung des Bodentyps der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009

Auch bei der Analyse des Bodentyps ergeben sich für die beiden Datensätze aus dem Jahr 1963/64 sowie 2009 sehr ähnliche Verteilungen (siehe Abbildung 55). Der größte Anteil der Stichprobenpunkte entfällt mit etwa 28 % auf den Bodentyp *Rendzina*, gefolgt von *Kalklehm-Rendzina* und *Insellehm* mit Anteilen von 25 und 13 %.

Die Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte weicht von den Gesamtverteilungen bei mehreren Bodentypen stark ab (siehe Abbildung 56). Der Anteil der veränderten Stichprobenpunkte auf *Rendzina*-Standorten weist mit 33 % einen um etwa 5 % erhöhten Anteil gegenüber den Gesamtverteilungen auf. Auch der Anteil der veränderten Stichprobenpunkte auf den Bodentypen *Fels* und *Schutt* hat sich mehr als verdoppelt (von 3 auf 7,4 % und von 1,5 auf 3,8 %). Der Bodentyp *Wiese* weist mit 14,5 % einen fast verdreifachten Anteil gegenüber den Gesamtverteilungen auf (5,9 %).

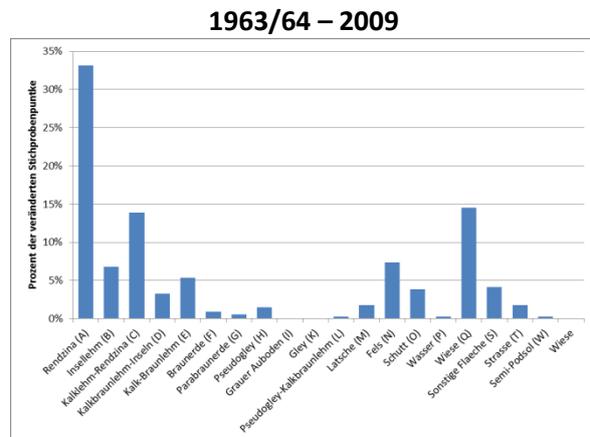


Abbildung 56: Bodentyp der veränderten Stichprobenpunkte

Andere Bodentypen sind bei den veränderten Stichprobenpunkten im Umkehrschluss weniger häufig vertreten. *Kalklehm-Rendzina* weist einen um 11 % geringeren Anteil gegenüber den Gesamtverteilungen auf. Der Anteil der Bodentypen *Insellehm* und *Kalkbraunlehm-Inseln* hat sich in der Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte fast halbiert (von 12 auf 6,8 % bzw. von 5,7 auf 3,3 %). Standorte mit schlecht wasserversorgten Bodentypen wie *Rendzina*, *Fels* und *Schutt* scheinen häufiger von Veränderungen der Landbedeckungskategorie betroffen zu sein, während Stichprobenpunkte auf Bodentypen mit *Kalklehm*-Komponenten seltener Veränderungen zeigen.

#### 4.3.9.3 Auswertung Wasserhaushalt

Im folgenden Abschnitt wird der Wasserhaushalt der Stichprobenpunkte analysiert (siehe auch Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 6.3](#)).

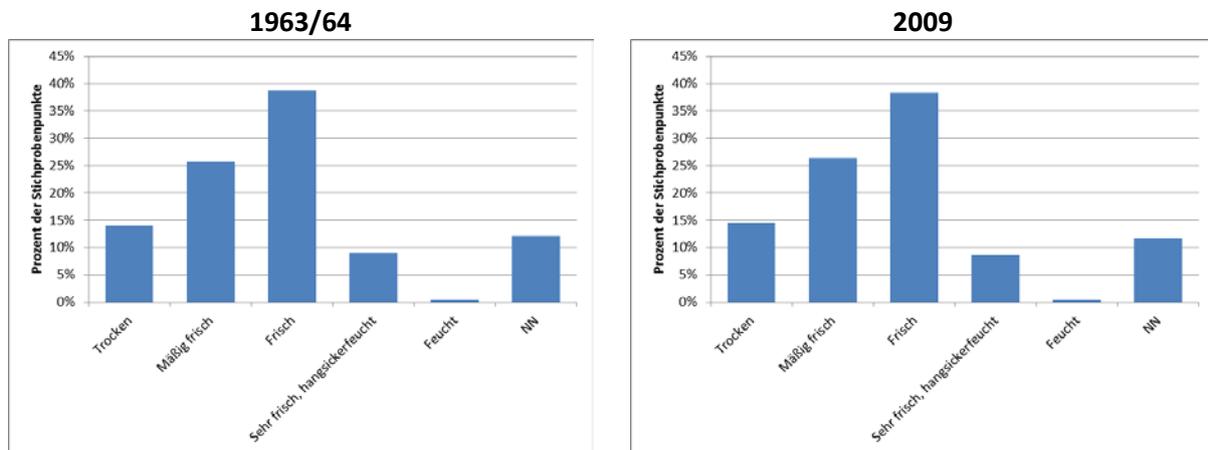


Abbildung 57: Wasserhaushalt der Stichprobenpunkte von 1963/64 und 2009

Die Verteilung der Stichprobenpunkte aus dem Jahr 1963/64 und die Verteilung der Stichprobenpunkte aus dem Jahr 2009 sind hinsichtlich des Wasserhaushalts sehr ähnlich (siehe Abbildung 57). Stichprobenpunkte mit der Feuchtebezeichnung „NN“ haben entweder keine sinnvolle Feuchtebezeichnung (z.B. bei Forststraßen oder Wasserflächen) oder es wurde keine Feuchtebezeichnung angesprochen.

Beim Vergleich der Verteilung aller Stichprobenpunkte mit der Verteilung der veränderten Stichprobenpunkte sticht besonders der veränderte Anteil der Stichprobenpunkte mit *trockenem* Wasserhaushalt hervor (siehe Abbildung 58). In der Verteilung aller Stichprobenpunkte beträgt der Anteil *trockener* Stichprobenpunkte 14 %, in jener der veränderten Stichprobenpunkte 29 %. Es fallen also 15 % mehr veränderte Stichprobenpunkte auf *trockene* Standorte, als es unter gleicher Verteilung zu erwarten wäre. Der Anteil *frischer* und *mäßig frischer* Standorte ist wiederum bei den veränderten Stichprobenpunkten unterrepräsentiert.

Lediglich 19 % der Veränderungen finden auf *frischen*, 18 % der Veränderungen finden auf *mäßig frischen* Standorten statt, obwohl 39 bzw. 26 % der Veränderungen der Landbedeckungskategorie an diesen Standorten unter gleicher Verteilung zu erwarten wären. Der Wasserhaushalt eines Stichprobenpunktes scheint einen großen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie auszuüben. Die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie ist auf trockenen Standorten höher, als auf gut wasserversorgten Standorten.

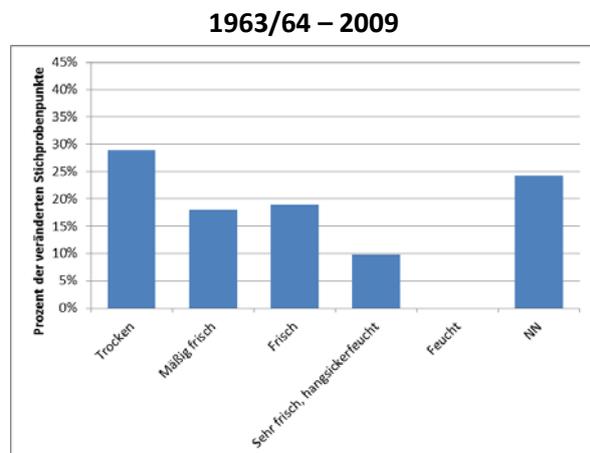
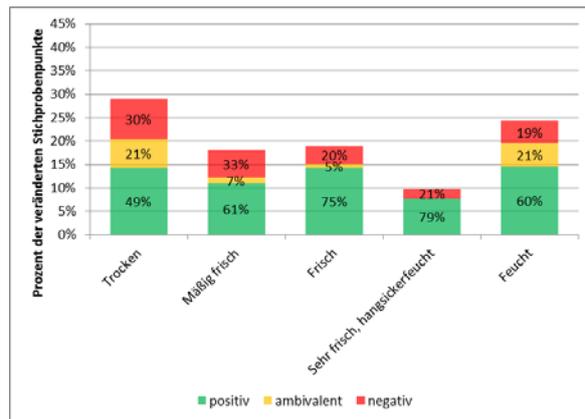


Abbildung 58: Wasserhaushalt der veränderten Stichprobenpunkte

In Abbildung 59 ist zusätzlich zum Wasserhaushalt auch die Veränderungsklassifikation der veränderten Stichprobenpunkte dargestellt. Im Vergleich mit dem Durchschnitt von 26 % *negativen* Veränderungen der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum (siehe auch Abbildung 23: Klassifikation der Änderungen 1963/64 - 2009) sind die Anteile negativer Veränderungen auf Standorten mit *trockenem* und *mäßig frischem* Wasserhaushalt mit 30 % bzw. 33 % leicht erhöht. Frische, sehr frische bzw. hangsickerfeuchte und feuchte Standorte weisen unterdurchschnittlich viele negative Veränderungen der Landbedeckungskategorie auf.



**Abbildung 59: Wasserhaushalt der veränderten Stichprobenpunkte mit Veränderungskategorie**

### 4.3.10 Analyse von Veränderungsströmen

Für die Analyse von Veränderungsströmen wurden für die Veränderungen der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum spezielle Kreisdiagramme berechnet. Die Berechnung der Diagramme erfolgte mit dem Programm Circos (siehe Kapitel 3.7.4: Circos). Mit Hilfe dieser Darstellungsart sind die aufgetretenen Veränderungen sowohl in der Art als auch in der Anzahl schnell erfassbar. Die Diagramme wurden einerseits für die Kategorie generell (siehe Kapitel 4.3.10.1) und andererseits für jede Höhenstufe (siehe Kapitel 4.3.10.2) für eine genaue Analyse der Veränderungen innerhalb der einzelnen Höhenstufen berechnet. Die Diagramme liegen auf absolute Stichprobenpunkt-Anzahlen sowie auf Hektar-Werte bezogen vor.

#### 4.3.10.1 Kategorie

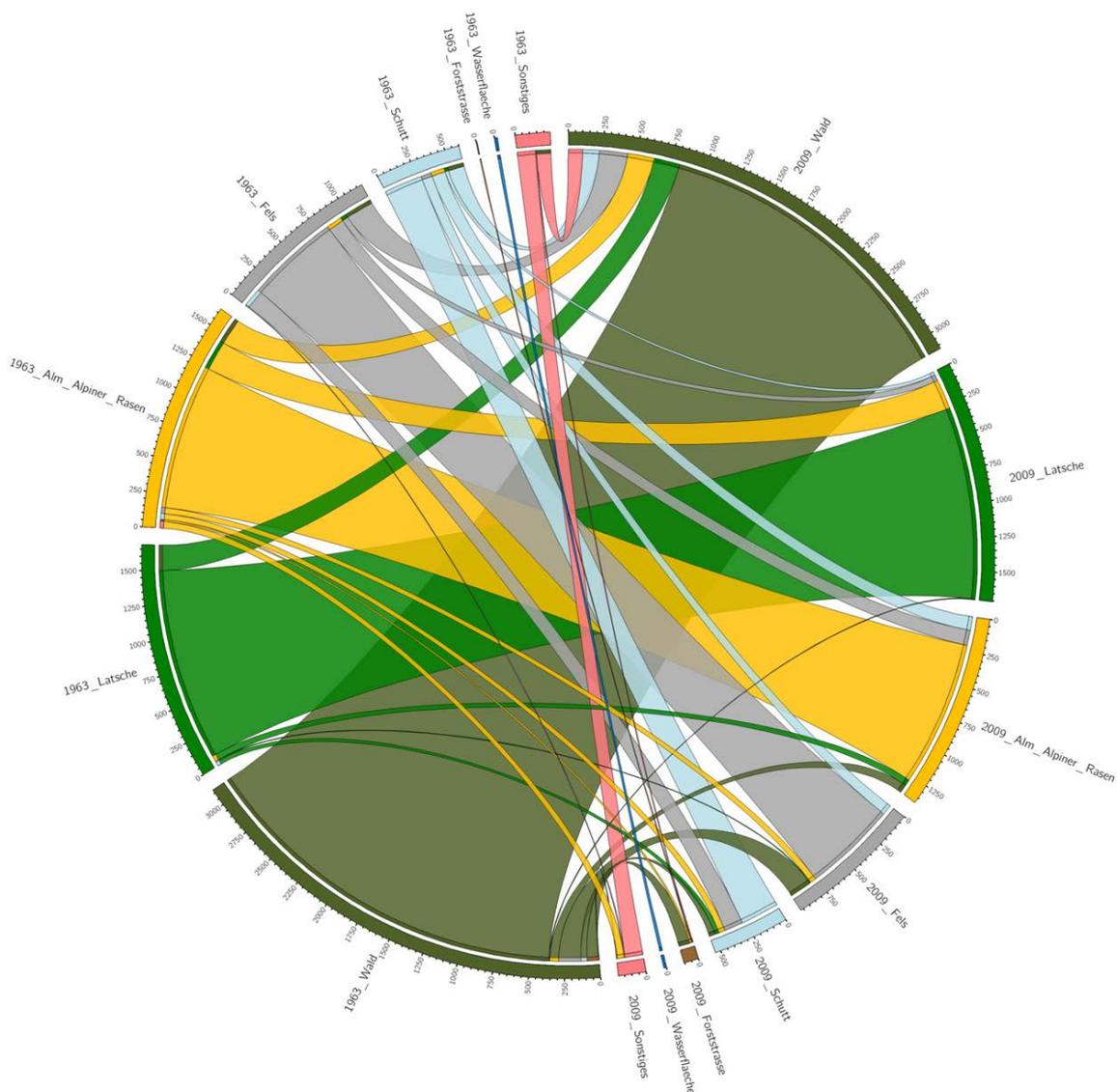


Abbildung 60: Veränderungsströme der Kategorie in Hektar

Das Veränderungsdiagramm (siehe Abbildung 60 sowie Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 2.1](#)) bildet den gesamten Stichprobendatensatz des Jahres 1963/64, des Jahres 2009, sowie sämtliche festgestellte Änderungen im Untersuchungszeitraum ab. Auf der linken Seite des Kreises finden sich die Landbedeckungskategorien des Jahres 1963/64 mit den Hektarwerten je

Kategorie. Das schmale Band jeder Kategorie ist mit der Farbe jener Kategorie codiert, in welche sich der Anteil verändert. Auf der rechten Seite des Kreises finden sich die Kategorien aus dem Jahr 2009, ebenfalls in Hektarwerten. Das schmale Band zeigt hier farblich codiert, von welcher Kategorie der veränderte Anteil stammt. Zur schnellen Erfassung der Veränderung ist ein Band von und zu jedem Anteil gezeichnet. Die Dicke des Bandes ist dabei abhängig von der Anzahl der veränderten Punkte.

**Ein Beispiel:** Die Kategorie „1963\_Schutt“ umfasst insgesamt 600 ha. Der größte Anteil am schmalen farbcodierten Band, beginnend im Uhrzeigersinn, ist ebenfalls *Schutt* mit 281 ha. Dies sind also jene Flächen, die sich im Untersuchungszeitraum nicht geändert haben. Der nächste Anteil der Kategorie „1963\_Schutt“ im Uhrzeigersinn ist *Fels*, diese Punkte haben sich also zur Landbedeckungskategorie *Fels* verändert (75 ha). Der nächste Anteil der Kategorie „1963\_Schutt“ im Uhrzeigersinn ist *Alm / Alpiner Rasen*. Folgt man dem anschließenden Band, gelangt man zur Kategorie „2009\_Alm\_Alpiner\_Rasen“. Am schmalen Band sind die Anteile der Kategorien dargestellt, aus denen sich die Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* im Jahr 2009 zusammensetzt – daher aus *Wald*, *Latsche*, *Alm / Alpiner Rasen*, *Fels* und *Schutt*.

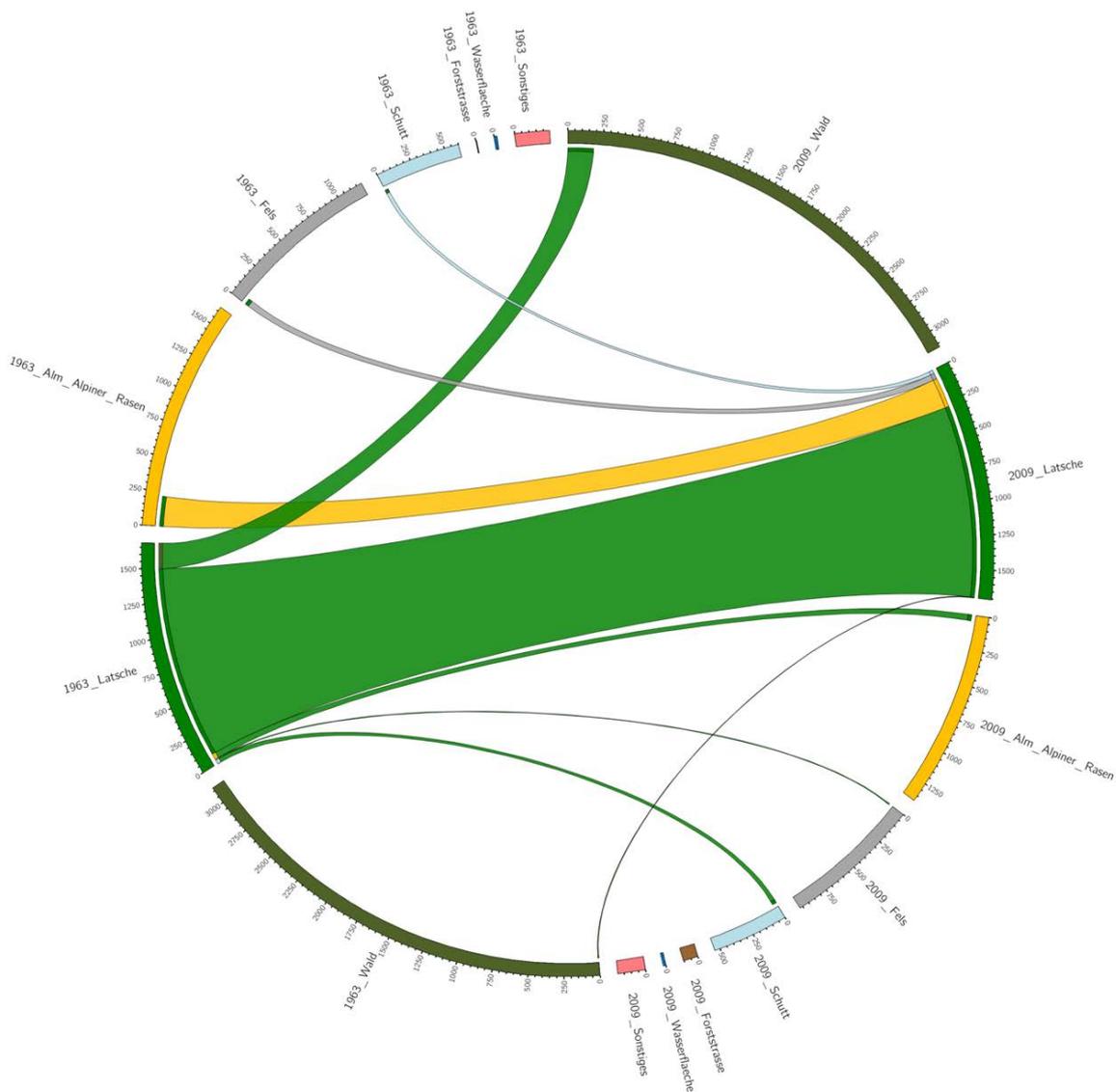


Abbildung 61: Veränderungsströme für die Kategorie Latsche

Für eine übersichtliche Darstellung wurden die Veränderungsdiagramme auch beschränkt auf einzelne Kategorien berechnet. In Abbildung 61 sind die Veränderungsströme der Landbedeckungskategorie *Latsche* dargestellt. Aufgrund der Größe sowie der Anzahl der Diagramme sind diese der Excel-Auswertung (siehe Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 2.3](#)) vorbehalten.

### 4.3.10.2 Höhenstufe

Für jede Höhenstufe wurde die Veränderung der Landbedeckungskategorie als Kreisdiagramm dargestellt (siehe Abbildung 62). Die Größe der Kategorien wurde manuell auf 150 ha begrenzt, darüberhinausgehende Anteile wurden beschnitten (siehe Band von „1963\_Latsche“ zu „2009\_Wald“) zur besseren Darstellung. Aufgrund der Größe sowie der Anzahl der Diagramme sind diese der Excel-Auswertung (siehe Kapitel 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung: [Abschnitt 7.11](#)) vorbehalten.

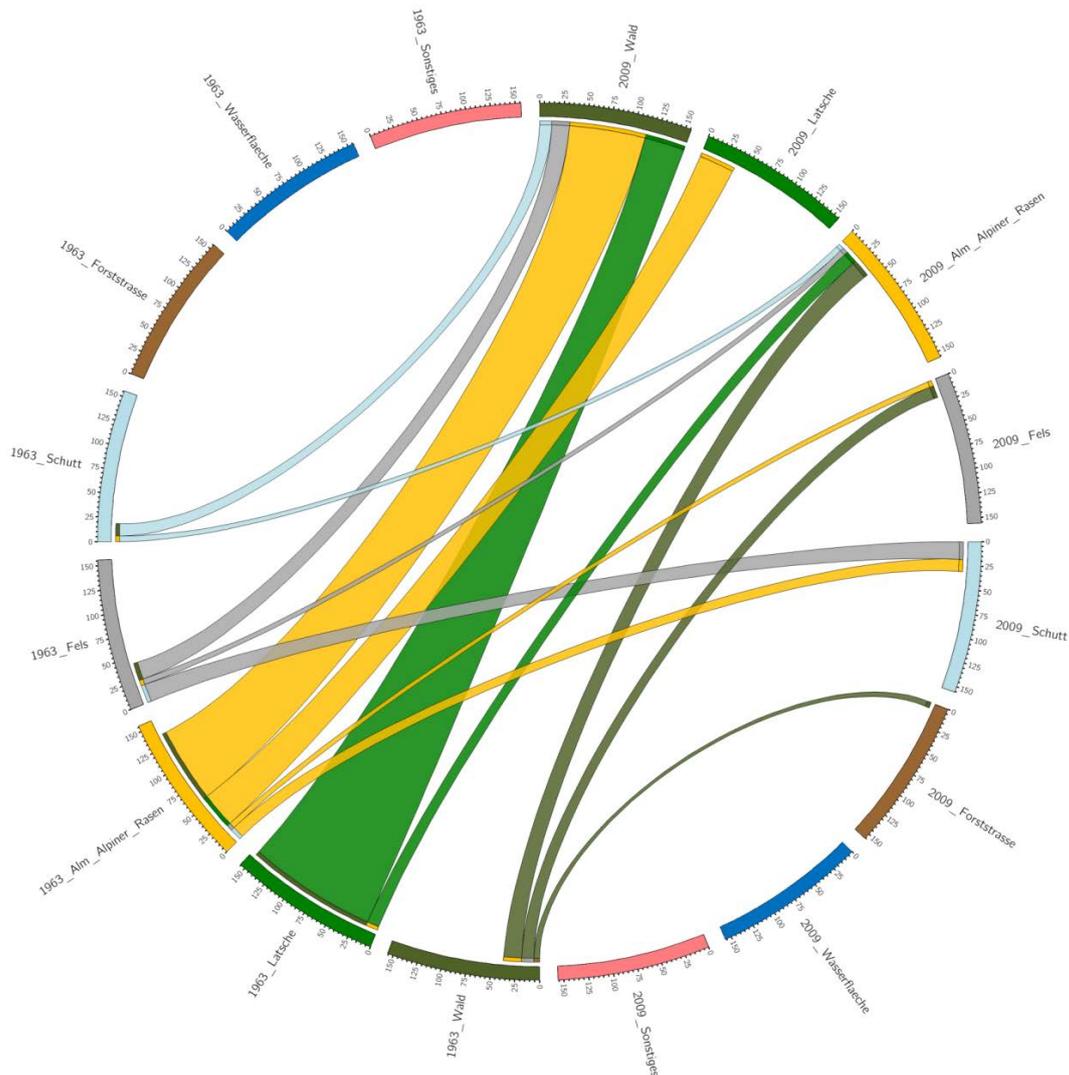


Abbildung 62: Veränderungsströme für die Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m (Hektar)

In Abbildung 62 ist die Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum der Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m dargestellt. In dieser Höhenstufe sind besonders die Veränderungen der Kategorien *Wald*, *Latsche* und *Alm/Alpiner Rasen* zu beachten. Während sich von der Landbedeckungskategorie *Wald* im Jahr 1963/64 nur wenige Stichprobenpunkte zu *Alm/Alpiner Rasen* und keine Stichprobenpunkte zu *Latsche* verändern, ist bei den Landbedeckungskategorien *Latsche* und *Alm/Alpiner Rasen* eine größere Dynamik zu erkennen. Stichprobenpunkte mit der Landbedeckungskategorie *Latsche* verändern sich in dieser Höhenstufe zu

einem großen Teil zur Kategorie *Wald* sowie zu einem wesentlich kleineren Teil zu *Alm / Alpiner Rasen*. Stichprobenpunkte die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* zugeordnet waren verändern sich in der Höhenstufe 1.400 bis 1.600 m sehr häufig zur Landbedeckungskategorie *Wald* oder *Latsche*. In selteneren Fällen findet auch eine Veränderung zu den Landbedeckungskategorien Fels oder Schutt statt.

## 4.4 Bivariate Datenanalyse

Im folgenden Kapitel werden erst die Ergebnisse der G- und Z-Tests dargestellt (siehe Kapitel 4.4.1) und danach auf die Zusammenhangmaße und Kreuztabellen (siehe Kapitel 4.4.2) eingegangen.

### 4.4.1 G-Test und Z-Test

Zur weiteren Überprüfung der Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Attributen wurden G-Tests (siehe Kapitel 3.6.3.1), Z-Tests (siehe Kapitel 3.6.3.2) sowie Kreuztabellen (siehe Kapitel 3.6.3.4.2) berechnet. Diese Tests wurden für jene 2.727 Stichprobenpunkte berechnet, die sowohl im Jahr 1963/64, als auch im Jahr 2009 interpretiert wurden. Für diese Analysen ergeben sich daher keine Abweichungen in den Grundgesamtheiten. Bei einem Vergleich mit den Ergebnissen der deskriptiven Statistik (siehe Kapitel 4.2) kann es zu Abweichungen der Anteile im Jahr 2009 kommen, da in der deskriptiven Statistik auch Stichprobenpunkte enthalten sind, welche im Jahr 1963/64 nicht interpretiert wurden.

Die Pfeile über den Spalten der Abbildung 64 bis Abbildung 70 deuten auf eine signifikante Abweichung zwischen den Verteilungen hin, während die grau hinterlegten Felder auf eine signifikante Abweichung der betreffenden Anteilswerte zwischen den beiden Erhebungsjahren hindeuten. Zuerst wurde das Attribut Kategorie (siehe Auswertung 1 bis 4) und danach das Attribut „Teilung der Stichprobenfläche“ (siehe Auswertung 5 bis 7) auf Abhängigkeiten mit anderen Attributen untersucht.

## 1. Verteilung der Kategorie 1963/64 je Kategorie und Jahr

	1963 Total	Kategorie 1963								Kategorie 2009							
		Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges	Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	1,868	269	261	190	96	1	3	39	1,940	273	222	155	86	17	3	31
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Wald</b>	1,868 68.5%	1,868 100%	-	-	-	-	-	-	-	1,810 93.3%	1	10	26	7	13	-	1
<b>Latsche</b>	269 9.9%	-	269 100%	-	-	-	-	-	-	30 1.5%	226 82.8%	7	1	5	-	-	-
<b>Alm / Alpiner Rasen</b>	261 9.6%	-	-	261 100%	-	-	-	-	-	31 1.6%	35 12.8%	171 77.0%	7	7	2	-	8
<b>Fels</b>	190 7.0%	-	-	-	190 100%	-	-	-	-	33 1.7%	7 2.6%	18 8.1%	109 70.3%	22 25.6%	-	-	1
<b>Schutt</b>	96 3.5%	-	-	-	-	96 100%	-	-	-	19 1.0%	4 1.5%	16 7.2%	12 7.7%	45 52.3%	-	-	-
<b>Forststrasse</b>	1 0.0%	-	-	-	-	-	1 100%	-	-	-	-	-	-	-	1 5.9%	-	-
<b>Wasserflaeche</b>	3 0.1%	-	-	-	-	-	-	3 100%	-	-	-	-	-	-	3 100%	-	-
<b>Sonstiges</b>	39 1.4%	-	-	-	-	-	-	-	39 100%	17 0.9%	-	-	-	-	1 5.9%	-	21 67.7%

Abbildung 63: Verteilung der Kategorie 1963/64 je Kategorie und Jahr

Bei dieser Analyse wurde die Verteilung der Kategorie der Stichprobenpunkte aus dem Jahr 1963/64 mit der Verteilung der Kategorie im Jahr 1963/64 und mit der Verteilung der Kategorie 2009 verglichen. Naturgemäß ergeben sich daher für die Anteile der Kategorien aus dem Jahr 1963/64 Anteile von jeweils 100 % (siehe Abbildung 63 linke Seite). Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Anteilen der Kategorien *Wald*, *Latsche*, *Alm / Alpiner Rasen*, *Fels* und *Schutt* der Jahre 1963/64 und 2009. Unterschiede zwischen den Anteilen der Kategorien *Forststraße*, *Wasserfläche* und *Sonstiges* konnten nicht nachgewiesen werden. Auch bei Verwendung der Stichprobenpunkte des Jahres 2009 als Basis zeigt sich das gleiche Bild: Die Verteilung der Kategorien *Wald*, *Latsche*, *Alm / Alpiner Rasen*, *Fels* und *Schutt* des Jahres 2009 weicht signifikant von der Verteilung aus dem Jahr 1963/64 ab. Für die weiteren Kategorien konnte kein Unterschied der Anteile nachgewiesen werden.

## 2. Verteilung der Veränderung (verändert/nicht verändert) je Kategorie und Jahr

	Total	Kategorie 63								Kategorie 09							
		Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges	Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	1,868	269	261	190	96	1	3	39	1,940	273	222	155	86	17	3	31
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Keine Veränderung</b>	2,386	1,810	226	171	109	45	1	3	21	1,810	226	171	109	45	1	3	21
	87.5%	96.9%	84.0%	65.5%	57.4%	46.9%	100%	100%	53.8%	93.3%	82.8%	77.0%	70.3%	52.3%	5.9%	100%	67.7%
<b>Veränderung</b>	341	58	43	90	81	51	-	-	18	130	47	51	46	41	16	-	10
	12.5%	3.1%	16.0%	34.5%	42.6%	53.1%	-	-	46.2%	6.7%	17.2%	23.0%	29.7%	47.7%	94.1%	-	32.3%

Abbildung 64: Verteilung der Veränderung je Kategorie und Jahr

Bei dieser Auswertung wurde die Verteilung der Veränderung als binäres Attribut („Veränderung“ bzw. „Keine Veränderung“), innerhalb der verschiedenen Landbedeckungskategorien, der Jahre 1963/64 und 2009 verglichen (siehe Abbildung 64). Die Anteile der Kategorien *Wald*, *Alm / Alpiner Rasen* sowie *Fels* des Jahres 1963/64 weichen signifikant von jenen des Jahres 2009 ab. Die Kategorie *Wald* nimmt zu, die Kategorien *Alm / Alpiner Rasen* und *Fels* nehmen ab. Für diese Kategorien wurden auch signifikante Unterschiede der Anteilswerte festgestellt. Der Anteil unveränderter Waldpunkte des Jahres 2009 (93,3 %) ist signifikant unterschiedlich zu jenem Anteil unveränderter Waldpunkte des Jahres 1963/64 (96,9 %). Der Anteil unveränderter Waldpunkte ist daher 2009 signifikant geringer als 1963/64. Ebenso ist der Anteil veränderter Waldpunkte des Jahres 2009 signifikant unterschiedlich zu jenem Anteil des Jahres 1963/64. Es haben sich daher signifikant weniger Stichprobenpunkte mit der Landbedeckungskategorie *Wald* zu anderen Kategorien verändert, als aus anderen Kategorien zur Landbedeckungskategorie *Wald*. Für die Landbedeckungskategorien *Alm / Alpiner Rasen* und *Fels* verhält es sich umgekehrt: Von diesen Kategorien haben sich signifikant mehr Stichprobenpunkte zu anderen Landbedeckungskategorien entwickelt, als von anderen Kategorien zur Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* bzw. *Fels*. Für die weiteren Landbedeckungskategorien konnte keine Abweichung der Verteilungen oder Unterschiede in den Anteilswerten festgestellt werden.

### 3. Verteilung der Höhenstufen je Kategorie und Jahr



	Total	Kategorie 63								Kategorie 09							
		Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges	Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	1,868	269	261	190	96	1	3	39	1,940	273	222	155	86	17	3	31
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>400 bis 800</b>	357 13.1%	302 16.2%	-	-	12 6.3%	8 8.3%	1 100%	3 100%	31 79.5%	314 16.2%	-	-	12 7.7%	7 8.1%	3 17.6%	3 100%	18 58.1%
<b>800 bis 1000</b>	457 16.8%	412 22.1%	-	3 1.1%	23 12.1%	11 11.5%	-	-	8 20.5%	417 21.5%	-	-	25 16.1%	8 9.3%	3 17.6%	-	4 12.9%
<b>1000 bis 1200</b>	589 21.6%	509 27.2%	1 0.4%	26 10.0%	30 15.8%	23 24.0%	-	-	-	517 26.6%	1 0.4%	9 4.1%	30 19.4%	16 18.6%	7 41.2%	-	9 29.0%
<b>1200 bis 1400</b>	506 18.6%	429 23.0%	13 4.8%	22 8.4%	32 16.8%	10 10.4%	-	-	-	436 22.5%	7 2.6%	23 10.4%	25 16.1%	12 14.0%	3 17.6%	-	-
<b>1400 bis 1600</b>	387 14.2%	209 11.2%	90 33.5%	48 18.4%	27 14.2%	13 13.5%	-	-	-	243 12.5%	72 26.4%	33 14.9%	23 14.8%	15 17.4%	1 5.9%	-	-
<b>1600 bis 2200</b>	431 15.8%	7 0.4%	165 61.3%	162 62.1%	66 34.7%	31 32.3%	-	-	-	13 0.7%	193 70.7%	157 70.7%	40 25.8%	28 32.6%	-	-	-

Abbildung 65: Verteilung der Höhenstufen je Kategorie und Jahr

Bei dieser Analyse wurde die Verteilung der Höhenstufen innerhalb der verschiedenen Landbedeckungskategorien der Jahre 1963/64 und 2009 verglichen (siehe Abbildung 65). Eine signifikante Abweichung zwischen den Verteilungen der Jahre 1963/64 und 2009 lässt sich nur für die Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* beobachten. Die Verteilung der Kategorie *Alm / Alpiner Rasen* auf die verschiedenen Höhenstufen ist 2009 signifikant unterschiedlich zu der Verteilung im Jahr 1963/64. Es zeigen sich zusätzlich noch signifikante Unterschiede der Anteilswerte der Höhenstufe 1.600 bis 2.200 m. Trotz geringer absoluter Anzahl der Stichprobenpunkte in der Höhenstufe 1.600 bis 2.200 m im Jahr 2009, verglichen mit dem Jahr 1963/64, weist der Anteil dieser Höhenstufe einen signifikanten Anstieg gegenüber jenem Anteil im Jahr 1963/64 auf. Trotz der realen Verringerung der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen*, ist ein größerer Anteil dieser Kategorie in der obersten Höhenstufe zu finden. Bei der Landbedeckungskategorie *Latsche* ist zwar kein Unterschied zwischen den Verteilungen der Jahre 1963/64 und 2009 feststellbar, die Anteilswerte der Höhenstufe 1.600 bis 2.200 m unterscheiden sich jedoch signifikant. Hier nimmt sowohl die absolute Anzahl innerhalb der Höhenstufe von 165 auf 193 Stichprobenpunkte, als auch der Anteil innerhalb der Kategorie *Latsche* von 61,3 % im Jahr 1963/64 auf 70,7 % im Jahr 2009 zu. Es wurden daher im Jahr 2009 in der Höhenstufe von 1.600 bis 2.200 m signifikant mehr Latschenflächen aufgefunden, als im Jahr 1963/64.

#### 4. Verteilung der Kreisteilung (geteilt/nicht geteilt) je Kategorie und Jahr

	Total	Kategorie 63								Kategorie 09							
		Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges	Wald	Latsche	Alm / Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststrasse	Wasserflaeche	Sonstiges
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	1,868	269	261	190	96	1	3	39	1,940	273	222	155	86	17	3	31
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Vollständig</b>	2,116	1,679	150	126	95	40	1	-	25	1,690	145	129	79	36	14	-	23
	77.6%	89.9%	55.8%	48.3%	50.0%	41.7%	100%	-	64.1%	87.1%	53.1%	58.1%	51.0%	41.9%	82.4%	-	74.2%
<b>Geteilt</b>	611	189	119	135	95	56	-	3	14	250	128	93	76	50	3	3	8
	22.4%	10.1%	44.2%	51.7%	50.0%	58.3%	-	100%	35.9%	12.9%	46.9%	41.9%	49.0%	58.1%	17.6%	100%	25.8%

Abbildung 66: Verteilung der Kreisteilung je Kategorie und Jahr

Bei dieser Auswertung wurde die Verteilung der Kreisteilung als binäres Attribut (geteilt bzw. nicht geteilt), innerhalb der verschiedenen Landbedeckungskategorien, der Jahre 1963/64 und 2009 verglichen (siehe Abbildung 66). Für die Landbedeckungskategorien *Wald* und *Alm / Alpiner Rasen* lässt sich eine signifikante Abweichung der Verteilung des Jahres 1963/64 von jener des Jahres 2009 feststellen. Somit ist die Verteilung der geteilten und ungeteilten Stichprobenflächen für die Kategorien *Wald* und *Alm / Alpiner Rasen* in den beiden Jahren 1963/64 und 2009 signifikant unterschiedlich. Auch die Unterschiede der Anteilswerte dieser beiden Kategorien fallen signifikant aus. Der Anteil, wie auch die absolute Anzahl geteilter Stichprobenflächen der Kategorie *Alm / Alpiner Rasen* nehmen im Untersuchungszeitraum ab, während der Anteil, sowie auch die absolute Anzahl ungeteilter Stichprobenflächen zunehmen. Dies lässt zwei Schlüsse zu:

- Geteilte Almflächen wachsen im Untersuchungszeitraum immer mehr zu, sodass sich eine homogenere Landbedeckung mit *Alm / Alpiner Rasen* einstellt. Eine Teilung des Stichproben-kreises ist daher seltener erforderlich.
- Geteilte Almflächen ändern ihre Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum, wodurch der Anteil geteilter Almflächen sinkt.

Für die Landbedeckungskategorie *Wald* lässt sich ein gegensätzliches Bild beobachten: Hier nimmt der Anteil ungeteilter Stichprobenpunkte ab, sowie der Anteil geteilter Stichprobenpunkte im Untersuchungszeitraum zu. Die absolute Anzahl der ungeteilten Stichprobenpunkte nimmt leicht (um 11 Stichprobenpunkte) zu. Auch hier können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Ungeteilte Waldflächen sind sehr stabil, eine Teilung der Stichprobenfläche während des Untersuchungszeitraumes ist eher unwahrscheinlich
- Der Anteil der Stichprobenpunkte, die ihre Landbedeckungskategorie von oder zu Wald ändern, ist verglichen mit der gesamten Anzahl an Waldpunkten eher gering, die Kategorie *Wald* ist daher eine stabile Landbedeckung
- Geteilte Waldflächen verändern sich seltener zu anderen Kategorien

- Andere Kategorien verändern sich häufiger zu Waldflächen Dies erklärt die starke Zunahme geteilter Stichprobenflächen der Landbedeckungskategorie *Wald*.

Für die weiteren Landbedeckungskategorien konnte keine signifikante Abweichung der Verteilungen oder Unterschiede in den Anteilswerten festgestellt werden.

## 5. Verteilung der Kategorie 1963 je Kreisteilung und Jahr

In dieser Analyse wurde die Verteilung der Kategorie im Jahr 1963/64 nach Art der Kreisteilung (als binäres Attribut: geteilt/nicht geteilt) für die Jahre 1963/64 und 2009 untersucht. Die Verteilung der vollständigen Stichprobenpunkte des Jahres 1963/64 weicht signifikant von jener des Jahres 2009 ab. Gleiches gilt auch für die Verteilung der geteilten Stichprobenpunkte. Von 1.868 Punkten mit der Landbedeckungskategorie *Wald* im Jahr 1963/64 waren im Jahr 1963/64 1.679 Stichprobenflächen (79,3 % aller ungeteilten Stichprobenpunkte 1963/64) vollständig und 189 Stichprobenflächen (30,9 % aller geteilten Stichprobenpunkte 1963/64) geteilt während von diesen Stichprobenpunkten im Jahr 2009 1.286 Stichprobenflächen (74,1 % aller ungeteilten Stichprobenpunkte 1963/64) vollständig und 582 Stichprobenflächen geteilt (58,7 % aller geteilten Stichprobenpunkte 1963/64) waren. Die Anteilswerte weisen dabei signifikante Unterschiede auf. Vergleicht man diese Ergebnisse mit Auswertung 4 (siehe Abbildung 66), wo nur die Kategorie betrachtet wird, erhöht sich der Anteil geteilter Waldpunkte im Untersuchungszeitraum sehr stark.

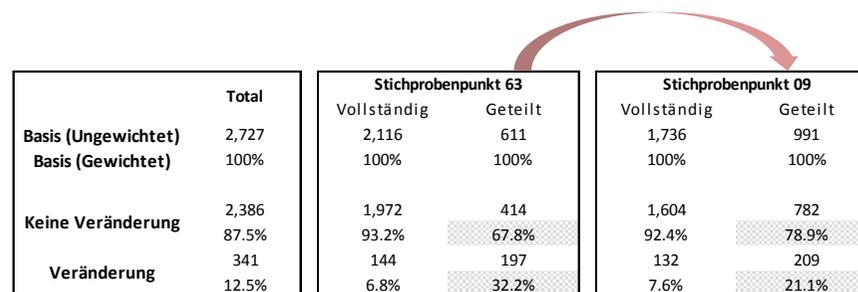
	1963 Total	Stichprobenpunkt 63		Stichprobenpunkt 09	
		Vollständig	Geteilt	Vollständig	Geteilt
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	2,116	611	1,736	991
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Wald</b>	1,868 68.5%	1,679 79.3%	189 30.9%	1,286 74.1%	582 58.7%
<b>Latsche</b>	269 9.9%	150 7.1%	119 19.5%	172 9.9%	97 9.8%
<b>Alm / Alpiner Rasen</b>	261 9.6%	126 6.0%	135 22.1%	128 7.4%	133 13.4%
<b>Fels</b>	190 7.0%	95 4.5%	95 15.5%	92 5.3%	98 9.9%
<b>Schutt</b>	96 3.5%	40 1.9%	56 9.2%	44 2.5%	52 5.2%
<b>Forststrasse</b>	1 0.0%	1 0.0%	-	-	1 0.1%
<b>Wasserflaeche</b>	3 0.1%	-	3 0.5%	-	3 0.3%
<b>Sonstiges</b>	39 1.4%	25 1.2%	14 2.3%	14 0.8%	25 2.5%

Abbildung 67: Verteilung der Kategorie 1963/64 je Kreisteilung und Jahr

Der Anteil jener ungeteilten Stichprobenpunkte, die sowohl im Jahr 1963/64 als auch im Jahr 2009 der Landbedeckungskategorie *Wald* zugeordnet waren, beträgt 65,2 % (1.218) der Waldpunkte aus dem Jahr 1963/64. Es bleiben daher etwa 65 % der Stichprobenpunkte mit der Landbedeckungskategorie *Wald* während des Untersuchungszeitraums stabil. 423 Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 ungeteilt der Landbedeckungskategorie *Wald* zugeordnet waren, sind im Jahr 2009 geteilt der Kategorie *Wald* zugeordnet. Von insgesamt 582 Stichprobenpunkten, die 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Wald* zugeordnet waren und im Jahr 2009 geteilt wurden, sind daher 72,7 % in beiden Jahren der Landbedeckungskategorie *Wald* zugewiesen. Die Teilung einer Stichprobenfläche ist daher weniger stabil, als die Landbedeckungskategorie des Stichprobenpunktes.

## 6. Verteilung der Veränderung je Kreisteilung und Jahr

Bei dieser Analyse wurde die Verteilung der Veränderung als binäres Attribut (geteilt/nicht geteilt) mit der Teilung der Stichprobenfläche der Jahre 1963/64 und 2009 verglichen. Die Verteilung geteilter Stichprobenflächen des Jahres 1963/64 weicht signifikant von der Verteilung der geteilten Stichprobenflächen 2009 ab. Der Anteil unveränderter, geteilter Stichprobenpunkte steigt während des Untersuchungszeitraums von 67,8 auf 78 %, während der Anteil veränderter geteilter Stichprobenpunkte von 32,2 auf 21,1 % sinkt (die absolute Anzahl steigt jedoch). Für diese Werte sind die Anteilswertunterschiede signifikant. Außerdem nehmen die geteilten Flächen absolut von 611 auf 991 Flächen zu.



	Total	Stichprobenpunkt 63		Stichprobenpunkt 09	
		Vollständig	Geteilt	Vollständig	Geteilt
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	2,116	611	1,736	991
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>Keine Veränderung</b>	2,386	1,972	414	1,604	782
	87.5%	93.2%	67.8%	92.4%	78.9%
<b>Veränderung</b>	341	144	197	132	209
	12.5%	6.8%	32.2%	7.6%	21.1%

Abbildung 68: Verteilung der Veränderung der Kategorie je Kreisteilung und Jahr

Auch wenn sich 87,5 % der Stichprobenpunkte während des Untersuchungszeitraums hinsichtlich ihrer Landbedeckungskategorie nicht verändert haben, sind sie im Jahr 2009 öfter geteilt, als im Jahr 1963/64. Die restlichen 12,5 % der Stichprobenpunkte weisen zwar eine Veränderung der Landbedeckungskategorie auf, sind jedoch im Jahr 2009 weniger stark geteilt als im Jahr 1963/64. Eventuell sind die Flächen trotz stabiler Landbedeckungskategorie im Jahr 2009 stärker durchmischt, wodurch der Anteil geteilter Flächen steigt.

## 7. Verteilung der Höhe des Stichprobenpunktes je Kreisteilung und Jahr

Diese Auswertung vergleicht die Verteilungen der Stichprobenpunkte der Jahre 1963/64 und 2009 auf die verschiedenen Höhenstufen. Sowohl die Verteilung vollständiger, als auch unvollständiger Stichprobenpunkte unterscheidet sich signifikant von den Verteilungen im Jahr 2009. Sämtliche Unterschiede der Anteilswerte der geteilten Verteilungen sind dabei signifikant.

Stichprobenpunkte in den Höhenstufen 400 bis 1.200 m wurden im Jahr 2009 anteilig durchwegs häufiger geteilt als im Jahr 1963/64. In den Höhenstufen von 1.400 bis 2.200 m zeigt sich ein gegenteiliger Effekt: Hier wurden die Stichprobenpunkte anteilig seltener geteilt. Die Durchmischung der Landbedeckungskategorien scheint in tieferen Lagen gestiegen zu sein, während sie in höheren Lagen abnimmt.



	Total	Stichprobenpunkt 63		Stichprobenpunkt 09	
		Vollständig	Geteilt	Vollständig	Geteilt
<b>Basis (Ungewichtet)</b>	2,727	2,116	611	1,736	991
<b>Basis (Gewichtet)</b>	100%	100%	100%	100%	100%
<b>400 bis 800</b>	357 13.1%	292 13.8%	65 10.6%	217 12.5%	140 14.1%
<b>800 bis 1000</b>	457 16.8%	391 18.5%	66 10.8%	296 17.1%	161 16.2%
<b>1000 bis 1200</b>	589 21.6%	511 24.1%	78 12.8%	400 23.0%	189 19.1%
<b>1200 bis 1400</b>	506 18.6%	418 19.8%	88 14.4%	327 18.8%	179 18.1%
<b>1400 bis 1600</b>	387 14.2%	270 12.8%	117 19.1%	243 14.0%	144 14.5%
<b>1600 bis 2200</b>	431 15.8%	234 11.1%	197 32.2%	253 14.6%	178 18.0%

Abbildung 69: Verteilung der Höhe des Stichprobenpunktes je Kreisteilung und Jahr

Neben den bereits dargestellten Verteilungen wurden noch weitere Verteilungen hinsichtlich der Abhängigkeit ihrer Attribute untersucht. Diese Tests konnten jedoch keine Abhängigkeiten aufzeigen. Aus diesem Grund, sowie auch aufgrund ihres Umfangs, sind die folgenden Verteilungen nicht abgebildet:

- Verteilung der Kreisteilung je Kategorie und Jahr, Basis 2009
- Verteilung der Exposition (8 Expositionskategorien) je Kategorie und Jahr, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Neigung (10 Neigungskategorien) je Kategorie und Jahr, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Kreisteilung je Jahr und Kreisteilung, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Exposition (8 Expositionskategorien) je Jahr und Kreisteilung, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Neigung (10 Neigungskategorien) je Jahr und Kreisteilung, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Kategorie je Exposition (8 Expositionskategorien) und Jahr, Basis 1963 bzw. 2009
- Veränderung je Exposition (8 Expositionskategorien) und Jahr
- Verteilung der Höhe (6 Höhenstufen) je Exposition (8 Expositionskategorien) und Jahr
- Verteilung der Kreisteilung je Exposition (8 Expositionskategorien) und Jahr, Basis 1963 bzw. 2009
- Verteilung der Neigung je Exposition (8 Expositionskategorien) und Jahr, Basis 1963 bzw. 2009

#### 4.4.2 Zusammenhangmaße Kreuztabellen

Zusätzlich zu den Signifikanztests der Verteilung wurden die Zusammenhänge auch mit Kreuztabellen untersucht. Sämtliche bivariate Korrelationen wurden mit allen 2.727 Stichprobenpunkten, die sowohl 1963 als auch 2009 interpretiert wurden, berechnet. Es wurden alle Punkte in die Analyse einbezogen (kein Ausschluss aufgrund fehlender Attribute usw.). Die Veränderung der Landbedeckungskategorie wurde als dichotomes Merkmal (mit 0 = keine Veränderung und 1 = Veränderung) untersucht.

##### 1. Kreuztabelle von Veränderung und Neigung 1963:

**Veränderung \* Neigung 63 Kreuztabelle**

Anzahl

		Neigung 63										Gesamt
		0 bis 10	10 bis 15	15 bis 20	20 bis 25	25 bis 30	30 bis 35	35 bis 40	40 bis 45	45 bis 50	50 bis 75	
Veränderung	Keine Veränderung	187	196	249	257	287	437	393	178	92	110	2386
	Veränderung	34	38	39	19	32	33	41	37	24	44	341
Gesamt		221	234	288	276	319	470	434	215	116	154	2727

##### Richtungsmaße

			Wert	Asymptotischer Standardfehler $r^a$	Näherungsweise $t^b$	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Lambda	Symmetrisch	,004	,003	1,254	,210
		Veränderung abhängig	,000	,000	.	.
		Neigung 63 abhängig	,005	,004	1,254	,210
	Goodman-und-Kruskal-Tau	Veränderung abhängig	,029	,007		,000 <sup>d</sup>
		Neigung 63 abhängig	,003	,001		,000 <sup>d</sup>

- a. Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.
- b. Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.
- c. Kann nicht berechnet werden, weil der asymptotische Standardfehler gleich Null ist.
- d. Basierend auf Chi-Quadrat-Näherung

##### Symmetrische Maße

		Wert	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Phi	,170	,000
	Cramer-V	,170	,000
	Kontingenzkoeffizient	,168	,000
Anzahl der gültigen Fälle		2727	

Bei dieser Kreuztabelle wurde die dichotome Variable *Veränderung* mit der nominalen Variable *Neigung* (enthält 10 Kategorien) korreliert. Die Nullhypothese „Es besteht kein Zusammenhang zwischen *Neigung* und *Veränderung*.“ kann nicht angenommen werden. Cramer's V beträgt 0,170. Es besteht daher ein schwacher, jedoch signifikanter Zusammenhang zwischen der Neigung eines Stichprobenpunktes und der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum.

## 2. Kreuztabelle von Veränderung und Exposition 1963:

**Veränderung \* Exposition 63 Kreuztabelle**

Anzahl

		Exposition 63								Gesamt
		Nord	Nordost	Ost	Südost	Süd	Südwest	West	Nordwest	
Veränderung	Keine Veränderung	8	256	355	426	406	348	354	233	2386
	Veränderung	1	20	59	51	69	62	50	29	341
Gesamt		9	276	414	477	475	410	404	262	2727

**Richtungsmaße**

		Wert	Asymptotischer Standardfehler <sup>a</sup>	Näherungsweise t <sup>b</sup>	Näherungsweise Signifikanz	
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Lambda	Symmetrisch	,007	,004	1,644	,100
		Veränderung abhängig	,000	,000	.c	.c
		Exposition 63 abhängig	,008	,005	1,644	,100
	Goodman-und-Kruskal-Tau	Veränderung abhängig	,005	,003		,044 <sup>d</sup>
	Exposition 63 abhängig	,001	,000		,031 <sup>d</sup>	

a. Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.

b. Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.

c. Kann nicht berechnet werden, weil der asymptotische Standardfehler gleich Null ist.

d. Basierend auf Chi-Quadrat-Näherung

**Symmetrische Maße**

		Wert	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Phi	,073	,044
	Cramer-V	,073	,044
	Kontingenzkoeffizient	,073	,044
Anzahl der gültigen Fälle		2727	

Bei dieser Kreuztabelle wurde die dichotome Variable *Veränderung* mit der nominalen Variable *Exposition* (enthält 8 Kategorien) korreliert. Die Nullhypothese „Es besteht kein Zusammenhang zwischen Exposition und Veränderung.“ kann nicht angenommen werden. Cramer's V beträgt 0,073. Es besteht daher ein schwacher jedoch, signifikanter Zusammenhang zwischen der Exposition eines Stichprobenpunktes und der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum.

### 3. Kreuztabelle von Veränderung und Höhe des Stichprobenpunktes:

**Veränderung \* Höhe Kreuztabelle**

Anzahl

		Höhe						Gesamt
		400 bis 800	800 bis 1000	1000 bis 1200	1200 bis 1400	1400 bis 1600	1600 bis 2200	
Veränderung	Keine Veränderung	322	426	533	452	325	328	2386
	Veränderung	35	31	56	54	62	103	341
Gesamt		357	457	589	506	387	431	2727

**Richtungsmaße**

		Wert	Asymptotischer Standardfehler <sup>a</sup>	Näherungsweise <sup>b</sup>	Näherungsweise Signifikanz	
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Lambda	Symmetrisch	,019	,005	3,737	,000
		Veränderung abhängig	,000	,000	.c	.c
		Höhe abhängig	,022	,006	3,737	,000
	Goodman-und-Kruskal-Tau	Veränderung abhängig	,029	,007		,000 <sup>d</sup>
		Höhe abhängig	,006	,001		,000 <sup>d</sup>

- a. Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.
- b. Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.
- c. Kann nicht berechnet werden, weil der asymptotische Standardfehler gleich Null ist.
- d. Basierend auf Chi-Quadrat-Näherung

**Symmetrische Maße**

		Wert	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Phi	,169	,000
	Cramer-V	,169	,000
	Kontingenzkoeffizient	,167	,000
Anzahl der gültigen Fälle		2727	

Bei dieser Kreuztabelle wurde die dichotome Variable *Veränderung* mit der nominalen Variable *Höhe* (enthält 6 Kategorien) korreliert. Die Nullhypothese „Es besteht kein Zusammenhang zwischen Höhe und Veränderung.“ kann nicht angenommen werden. Cramer's V beträgt 0,169. Es besteht daher ein schwacher, jedoch signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe eines Stichprobenpunktes und der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum.

#### 4. Kreuztabelle von Veränderung und Teilung des Stichprobenpunktes 1963:

Veränderung \* Stichprobenpunkt 63 Kreuztabelle

Anzahl		Stichprobenpunkt 63		Gesamt
		Vollständig	Geteilt	
Veränderung	Keine Veränderung	1972	414	2386
	Veränderung	144	197	341
Gesamt		2116	611	2727

##### Richtungsmaße

		Wert	Asymptotischer Standardfehler <sup>a</sup>	Näherungsweise t <sup>b</sup>	Näherungsweise Signifikanz	
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Lambda	Symmetrisch	,056	,019	2,874	,004
		Veränderung abhängig	,000	,000	.c	.c
		Stichprobenpunkt 63 abhängig	,087	,029	2,874	,004
	Goodman-und-Kruskal-Tau	Veränderung abhängig	,103	,014		,000 <sup>d</sup>
		Stichprobenpunkt 63 abhängig	,103	,014		,000 <sup>d</sup>

- a. Die Null-Hypothese wird nicht angenommen.
- b. Unter Annahme der Null-Hypothese wird der asymptotische Standardfehler verwendet.
- c. Kann nicht berechnet werden, weil der asymptotische Standardfehler gleich Null ist.
- d. Basierend auf Chi-Quadrat-Näherung

##### Symmetrische Maße

		Wert	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Phi	,321	,000
	Cramer-V	,321	,000
	Kontingenzkoeffizient	,305	,000
Anzahl der gültigen Fälle		2727	

Bei dieser Kreuztabelle wurde die dichotome Variable *Veränderung* mit der dichotomen Variablen *Teilung der Stichprobenfläche* (0 für eine ungeteilte, vollständige Stichprobenfläche; 1 für eine geteilte Stichprobenfläche) korreliert. Die Nullhypothese „Es besteht kein Zusammenhang zwischen Teilung und Veränderung.“ kann nicht angenommen werden. Cramer's V beträgt 0,321. Es besteht daher ein mittlerer, signifikanter Zusammenhang zwischen der Teilung eines Stichprobenpunktes und der Veränderung der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum.

## 4.5 Logistische Regressionsanalyse

Im folgenden Kapitel werden die berechneten binär logistischen Regressionsanalysen dargestellt und interpretiert.

### Logistische Regression 1:

SPSS	Beschreibung der Variablen
Exposition63_enc	Expositionskategorie Nordwest 1963 (Referenzkategorie)
Exposition63_enc(1-7)	Expositionskategorien Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest und West 1963
Diff_Slope	Differenz der mittleren Hangneigung 63/09 (Absolutbetrag)
Hoehe	Höhe des Stichprobenpunktes
Diff_Teilung	Differenz des Anteils der interpretierten Kreisfläche 63/09 (Absolutbetrag) (siehe auch Kapitel 3.6.1)

Variablen in der Gleichung

Schritt		RegressionskoeffizientB	Standardfehler	Wald	df	Sig.	Exp(B)
1	Exposition63_enc			9,504	7	,218	
	Exposition63_enc(1)	,594	1,101	,291	1	,589	1,812
	Exposition63_enc(2)	-,235	,319	,541	1	,462	,791
	Exposition63_enc(3)	,348	,260	1,800	1	,180	1,417
	Exposition63_enc(4)	,044	,265	,028	1	,868	1,045
	Exposition63_enc(5)	,391	,255	2,340	1	,126	1,478
	Exposition63_enc(6)	,385	,260	2,202	1	,138	1,470
	Exposition63_enc(7)	,127	,266	,229	1	,633	1,136
	Diff_Slope	,260	,040	41,589	1	,000	1,297
	Hoehe	,002	,000	66,659	1	,000	1,002
	Diff_Teilung	,029	,003	74,477	1	,000	1,030
	Konstante	-4,787	,350	187,012	1	,000	,008

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: Exposition63\_enc, Diff\_Slope, Hoehe, Diff\_Teilung.

Für diese logistische Regression wurde die *Exposition* in 8 Expositionskategorien eingeteilt. Die Referenzkategorie bildet die Kategorie Nordwest. Dem Regressionskoeffizienten zufolge üben die unabhängigen Variablen *Neigungsdifferenz*, *Höhe* sowie *Teilung* einen positiven Einfluss auf die abhängige Variable *Veränderung* aus. Mit zunehmender Neigungs- bzw. Teilflächendifferenz nimmt die Wahrscheinlichkeit der Feststellung einer Veränderung zu. Hierbei muss angemerkt werden, dass die Neigungsdifferenz aus der Stichprobenfläche bzw. der interpretierten Teilfläche berechnet wird und somit zwingend einer Änderung unterliegen muss, falls sich der Anteil der Kreisfläche ändert. Gleiches gilt für die Exposition der Stichprobenfläche. Außerdem steigt mit zunehmender Höhe des Stichprobenpunktes die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung. Bei der unabhängigen Variablen *Exposition* kann kein Einfluss festgestellt werden. Im Vergleich zur Referenzkategorie ist die Wahrscheinlichkeit für eine *Veränderung* für Stichprobenpunkte der anderen Expositionskategorien nicht signifikant höher. Es kann kein signifikanter Zusammenhang zwischen der *Exposition* und der *Veränderung* der Landbedeckungskategorie festgestellt werden.

Es besteht ein signifikanter Einfluss der *Neigungsdifferenz*, der *Höhe* sowie der *Differenz der Kreisflächenanteile*.

Die Differenz des Anteils der interpretierten Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche weist einen signifikanten Zusammenhang mit der Veränderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum auf. Eine Veränderung dieses Anteils kann mehrere Gründe haben:

- Der Stichprobenpunkt war 1963 nicht geteilt, wurde jedoch bei der Interpretation 2009 geteilt oder umgekehrt.
- Der Stichprobenpunkt wies 1963 eine andere Teilung auf als 2009:
  - Die Ausdehnung der interpretierten Landbedeckungseinheit hat sich im Untersuchungszeitraum vergrößert bzw. verkleinert.
  - Der Stichprobenpunkt liegt in der Nähe einer Teilflächengrenze. Schon durch eine geringfügig anders gewählte Teilungslinie oder durch kleine Ungenauigkeiten in der Ko-Registrierung des Bildmaterials der beiden Vergleichsjahre kann sich neben dem Anteil der interpretierten Teilfläche am gesamten Kreis auch die Landbedeckungskategorie ändern. Betroffene Stichprobenpunkte können auch als „false positives“ bezeichnet werden.

Es kann kein signifikanter Einfluss der *Exposition* festgestellt werden.

Bei Interpretation der Odds-Ratio bestätigt sich der Einfluss von *Neigungsdifferenz*, *Höhe* sowie *Differenz der Kreisflächenanteile*. Alle Werte haben ein Chancenverhältnis größer eins. Mit steigender Neigungsdifferenz, beträgt die relative Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie 56,6 % ( $\text{Exp}(B) = 1,303$ ), während sie bei Veränderung der Teilung 50,7 % ( $\text{Exp}(B) = 1,030$ ) beträgt.

Nagelkerkes Pseudo- $R^2$  beträgt für dieses Modell 0,218. Die erklärte Varianz der abhängigen Variablen beträgt damit 21,8 %.

Eine bereits geteilte Stichprobenfläche, bzw. eine neue Teilung der Stichprobenfläche hat damit eine stark begünstigende Wirkung für das Auftreten von Veränderungen der Landbedeckungskategorie. Dies hebt die Stärke des kombinierten Verfahrens aus Stichprobeninventur und flächiger Betrachtung hervor. Bei homogenen Landbedeckungskategorien erfolgt keine Teilung des Kreises. Liegen jedoch besonders eng verzahnte Landbedeckungskategorien vor, kann der Kreis geteilt und somit die Auflösung erhöht werden. Durch die feine Auflösung der Teilung der Stichprobenfläche ist es somit möglich, bereits geringe Änderungen in der Landbedeckung zu erfassen und darzustellen. Zur Vermeidung von „false positives“ könnte es hilfreich sein, Stichprobenpunkte, die nahe einer Teilungslinie liegen, zu markieren und einer gemeinsamen Betrachtung des Bildmaterials aus beiden Erhebungsjahren zu unterziehen.

Zusammenfassend kann nun gesagt werden, dass die *Neigungsdifferenz*, die *Höhe* sowie *Differenz der Kreisflächenanteile* einen signifikanten Einfluss zeigen, jedoch die *Exposition* der Stichprobenfläche keinen Einfluss auf die abhängige Variable *Veränderung* hat. Ein engerer, jedoch nicht signifikanter Zusammenhang besteht bei den Expositionsklassen Ost, Süd und Südwest.

## Logistische Regression 2:

### SPSS

	Beschreibung der Variablen
Exposition63_enc	Expositionskategorie Nordwest 1963 (Referenzkategorie)
Exposition63_enc(1-7)	Expositionskategorien Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest und West 1963
Slope_63_MEAN	Mittelwert der Neigung 1963
Hoehe	Höhe des Stichprobenpunktes
Kreis_63_Anteil	Anteil der interpretierten Kreisfläche an der gesamten Stichprobenfläche 1963

(siehe auch Kapitel 3.6.1)

Variablen in der Gleichung

	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Schritt 1	Exposition63_enc		9,393	7	,226	
	Exposition63_enc(1)	,503	1,091	,213	,644	1,654
	Exposition63_enc(2)	-,169	,321	,276	,599	,845
	Exposition63_enc(3)	,478	,262	3,345	,067	1,614
	Exposition63_enc(4)	,130	,266	,239	,625	1,139
	Exposition63_enc(5)	,357	,258	1,913	,167	1,429
	Exposition63_enc(6)	,368	,263	1,962	,161	1,445
	Exposition63_enc(7)	,082	,270	,092	,761	1,085
	Slope_63_MEAN	,012	,005	5,969	,015	1,012
	Hoehe	,001	,000	28,405	,000	1,001
	Kreis_63_Anteil	-,043	,003	200,110	,000	,958
	Konstante	-,005	,513	,000	,993	,996

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: Exposition63\_enc, Slope\_63\_MEAN, Hoehe, Kreis\_63\_Anteil.

Bei dieser logistischen Regression wurden die Variablen *Exposition* und *Höhe* wie in der vorigen Analyse verwendet. Anstatt der Differenz der *Neigung* und der *Differenz des Kreisflächenanteils* wurden die Variablen *Neigung* bzw. *Kreisflächenanteil* aus dem Jahr 1963 verwendet.

Die *Exposition* hat keinen signifikanten Einfluss auf die Veränderung der Landbedeckungskategorie. Es zeigt sich ein signifikanter Einfluss von *Neigung*, *Höhe* und *Teilung*. Die Wahrscheinlichkeit einer *Veränderung* steigt mit zunehmender *Neigung* der Stichprobenfläche im Jahr 1963, sowie mit steigender Höhenlage des Stichprobenpunktes. Bei Zunahme der *Neigung* beträgt die relative Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie 50,3 % (Exp(B) = 1,012), bei Zunahme der *Höhe* 50,02 % (Exp(B) = 1,001). Für die unabhängige Variable *Teilung* zeigt sich ein negativer Zusammenhang mit der abhängigen Variablen *Veränderung*. Je größer die interpretierte Teilfläche, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Unterschied in der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum festgestellt wurde. Mit zunehmendem der Anteil der interpretierten Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche sinkt die Wahrscheinlichkeit für eine Veränderung der Landbedeckungskategorie. Die relative Wahrscheinlichkeit beträgt 48,9 % (Exp(B) = 0,958).

Nagelkerkes Pseudo-R<sup>2</sup> beträgt 0,199. Die erklärte Varianz der abhängigen Variablen beträgt damit 19,9 %.

Die Wahrscheinlichkeit der Veränderung der Landbedeckungskategorie ist neben der *Neigung* und der *Teilung* der Stichprobenfläche auch maßgeblich von der *Höhe* des Stichprobenpunktes abhängig. So erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie mit steigender Seehöhe. Dies ist besonders unter Beachtung der großen Höhenamplitude des Untersuchungsgebiets (siehe Kapitel 2.1) von über 1.550 m entscheidend. Stichprobenpunkte der

obersten Höhenklasse von 2.000 m bis 2.200 m weisen gegenüber Stichprobenpunkten der untersten Neigungsklasse (400 – 600 m) eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine Veränderung der Landbedeckungskategorie auf. Die Häufung könnte einerseits auf die engere Verzahnung der Landbedeckungskategorien, andererseits auf häufigere Veränderungen durch extremere Umweltbedingungen in höheren Lagen oder die eventuell ansteigende Waldgrenze zurückzuführen sein. Außerdem kann angenommen werden, dass Waldbestände in tieferen Lagen nur in sehr seltenen Fällen gerodet und umgewidmet werden und es somit nur selten zu einer Änderung der Landbedeckungskategorie kommt. Auch die Landbedeckungskategorien *Wasserfläche* und *Sonstiges* (Landwirtschaftliche Fläche, Siedlung), die vorwiegend in tiefen Lagen anzutreffen sind, weisen naturgemäß geringere Veränderungen auf.

Abschließend wird auf die Teilung der Stichprobenfläche eingegangen: Wie bereits angedeutet, ist die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung der Landbedeckungskategorie umso höher, je größer der Anteil der interpretierten Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche ausfällt. Im Umkehrschluss sind ungeteilte, homogene Stichprobenflächen robuster und daher weniger von Veränderungen betroffen (z.B. bei Lage der Stichprobenfläche innerhalb einer ausgedehnten Waldfläche).

Bei bereits fragmentierten Stichprobenflächen können schon geringe Änderungen eine Veränderung der Landbedeckungskategorie hervorrufen.

### Logistische Regression 3:

#### SPSS

Exposition 63  
 Exposition 63 (1-7)  
 Neigung 1963  
 Neigung 1963 (1-9)  
 Einteilung Höhe  
 Einteilung Höhe (1-5)

#### Beschreibung der Variablen

Expositionskategorie Nordwest 1963 (Referenzkategorie)  
 Expositionskategorien Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest und West 1963  
 Neigungskategorie 0 bis 10° 1963 (Referenzkategorie)  
 Neigungskategorien (10 bis 15°, 15 bis 20, ... , 45 bis 50, über 50°)  
 Höhenkategorie von 400 bis 800 m (Referenzkategorie)  
 Höhenkategorie in 200 m Schritten (800 bis 1.000 m, 1.000 bis 1.200 m, ... , 1.600 bis 2.200 m)

(siehe auch Kapitel 3.6.1)

		Variablen in der Gleichung					
		Regressions koeffizient B	Standardfehler r	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Schritt 1 <sup>a</sup>	Exposition 63			2,527	7	,925	
	Exposition 63(1)	-17,411	16270,757	,000	1	,999	,000
	Exposition 63(2)	-17,562	2775,060	,000	1	,995	,000
	Exposition 63(3)	,380	,552	,473	1	,492	1,462
	Exposition 63(4)	-,084	,592	,020	1	,888	,920
	Exposition 63(5)	,288	,561	,264	1	,607	1,334
	Exposition 63(6)	,487	,555	,770	1	,380	1,627
	Exposition 63(7)	-,021	,582	,001	1	,972	,980
	Neigung 1963			44,138	9	,000	
	Neigung 1963(1)	,083	,832	,010	1	,921	1,086
	Neigung 1963(2)	,555	,725	,587	1	,444	1,743
	Neigung 1963(3)	-,196	,831	,056	1	,814	,822
	Neigung 1963(4)	-,365	,836	,191	1	,662	,694
	Neigung 1963(5)	,096	,716	,018	1	,894	1,100
	Neigung 1963(6)	,709	,671	1,116	1	,291	2,031
	Neigung 1963(7)	,114	,841	,018	1	,892	1,120
	Neigung 1963(8)	1,855	,718	6,679	1	,010	6,392
	Neigung 1963(9)	2,550	,709	12,919	1	,000	12,809
	Einteilung Höhe			4,837	5	,436	
	Einteilung Höhe(1)	-,475	,467	1,030	1	,310	,622
	Einteilung Höhe(2)	-,209	,435	,230	1	,631	,812
	Einteilung Höhe(3)	,392	,426	,848	1	,357	1,480
	Einteilung Höhe(4)	,073	,559	,017	1	,896	1,076
	Einteilung Höhe(5)	-17,540	15016,285	,000	1	,999	,000
	Konstante	-4,030	,854	22,274	1	,000	,018

a. In Schritt 1 eingegebene Variablen: Exposition 63, Neigung 1963, Einteilung Höhe.

Bei dieser Regression wurde die Datenbasis auf Punkte der Landbedeckungskategorie *Wald* im Jahr 1963 reduziert. Es wurden 1.868 Punkte in die Analyse einbezogen, wovon 58 eine Veränderung der Kategorie im Untersuchungszeitraum zeigten. Nagelkerkes Pseudo R<sup>2</sup> ist mit 0,102 eher gering. Die erklärte Varianz der abhängigen Variablen beträgt damit 10,2 %.

Auf die Veränderung von Punkten der Landbedeckungskategorie *Wald* zu anderen Kategorien üben weder die unabhängigen Variable *Höhe* noch *Exposition* einen Einfluss aus. *Neigung* dürfte besonders bei stark geneigten Stichprobenflächen eine Rolle spielen. Punkte in der Neigungskategorie *45 bis 50°* bzw. Punkte in der Neigungskategorie *über 50°* weisen eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit einer Veränderung auf.

Die weiteren Landbedeckungskategorien wurden nicht einzeln untersucht, da die Anzahl der Stichprobenpunkte je Kategorie für eine aussagekräftige Analyse zu gering ist.

## 4.6 Clusteranalyse

Der Datensatz der veränderten Punkte, also jene 341 Punkte, die eine Veränderung hinsichtlich der Kategorie im Untersuchungszeitraum von 1963 bis 2009 aufweisen, wurde auf eine etwaige Streuung oder Gruppierung untersucht. Die Parameter der „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse werden im Kapitel 3.6.5: Clusteranalyse erklärt. Die Parameter „p-value“ und „z-score“ wurden zusätzlich umgeschlüsselt (siehe Tabelle 17).

**Tabelle 17: Zeichenerklärung der „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse**

~:	hier waren zu wenige Punkte für eine „Average-Nearest-Neighbor-Analyse“ vorhanden (< 2 Punkte)
-:	hier waren keine Ausgangsdaten vorhanden (diese Veränderung wurde nicht festgestellt)
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b> Mögliche Ausprägungen sind: gestreut, zufällig, geclustert
	<b>z-score:</b> ** bei $p \leq 0.05$ ; * bei $p \leq 0.01$

In Tabelle 18 ist die Analyse des gesamten Ausgangsdatsatzes (2.886 Stichprobenpunkte) dargestellt: Die beobachtete mittlere Distanz entspricht dabei der Rasterweite des Stichprobenrasters, die erwartete mittlere Distanz einer zufälligen Verteilung der Punkte wird mit folgender Formel errechnet:

$$\bar{D}_E = \frac{0,5}{\sqrt{n/A}} \quad (\text{ESRI, 2009})$$

**Tabelle 18: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse des gesamten Punktdatsatzes**

Punkte gesamt	
Index:	00
Observed Mean Distance:	250.08
Expected Mean Distance:	125.00
Nearest Neighbor Ratio:	2.00
z-score:	99.96
p-value:	0.00
<b>Aussage:</b>	gestreut
	<b>z-score:</b> **

Sie beträgt in diesem Fall sinngemäß die Hälfte der beobachteten Distanz. Daraus ergibt sich ein Verhältnis von 2. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1 % muss die Nullhypothese (es liegt eine zufällige Verteilung der Punkte vor) daher verworfen werden. Es liegt (wie bei einem regelmäßigen Stichprobenraster zu erwarten) eine hochsignifikant gestreute Verteilung der Punkte vor.

In Tabelle 19 bis Tabelle 23 werden die weiteren Ergebnisse der Analyse dargestellt. Es wird jeweils eine bestimmte Veränderung einer Kategorie untersucht. In Tabelle 19 werden beispielsweise die Ergebnisse der Veränderung der Landbedeckungskategorie *Wald* zu jeweils einer der anderen Landbedeckungskategorien dargestellt.

Die Landbedeckungskategorien *Forststraße*, *Wasserfläche* und *Sonstiges* werden an dieser Stelle nicht angeführt, da meist nicht genügend Daten für die Berechnung vorhanden waren.

Tabelle 19: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Wald

Kategorie:	Änderung von: auf:	Wald							
		Wald	Latsche	Alm/Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststraße	Wasserfläche	Sonstiges
<b>Index:</b>		<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>Anzahl der Punkte:</b>		1810	1	10	26	7	13	0	1
<b>Observed Mean Distance:</b>		251.53	~	2132.50	1151.68	2809.29	1358.27	-	~
<b>Expected Mean Distance:</b>		153.43	~	2064.20	1280.16	2467.20	1810.43	-	~
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>		1.64	~	1.03	0.90	1.14	0.75	-	~
<b>z-score:</b>		0.00	~	0.84	0.33	0.48	0.08	-	~
<b>p-value:</b>		52.04	~	0.20	-0.98	0.70	-1.72	-	~
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b> <b>z-score:</b>	gestreut **		zufällig	zufällig	zufällig	geclustert		

Tabelle 19 zeigt die Untersuchung der räumlichen Verteilung jener Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Wald* zugewiesen waren. Bei der Untersuchung jener Stichprobenpunkte, die sowohl im Jahr 1963/64 als auch 2009 der Landbedeckungskategorie *Wald* zugewiesen wurden, erhält man eine signifikant gestreute Verteilung der Stichprobenpunkte. Die dem gesamten Datensatz sehr ähnlichen Ergebnisse (siehe Tabelle 18) der untersuchten Teilmenge sind vermutlich auf den relativ großen Anteil der Waldpunkte am gesamten Datensatz (siehe Kapitel 4.3.3: Kategorie) und die geringen Änderungen innerhalb der Kategorie *Wald* zurückzuführen. Die untersuchte Teilmenge ist dem gesamten Datensatz daher sehr ähnlich.

Tabelle 20: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Latsche

Kategorie:	Änderung von: auf:	Latsche							
		Wald	Latsche	Alm/Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststraße	Wasserfläche	Sonstiges
<b>Index:</b>		<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>
<b>Anzahl der Punkte:</b>		30	226	7	1	5	0	0	0
<b>Observed Mean Distance:</b>		1069.46	317.52	2396.36	~	2449.03	-	-	-
<b>Expected Mean Distance:</b>		1191.77	434.21	2467.20	~	2919.23	-	-	-
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>		0.90	0.73	0.97	~	0.84	-	-	-
<b>z-score:</b>		0.28	0.00	0.88	~	0.49	-	-	-
<b>p-value:</b>		-1.08	-7.73	-0.15	~	-0.69	-	-	-
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b> <b>z-score:</b>	zufällig	geclustert **	zufällig		zufällig			

Tabelle 20 zeigt die Untersuchung der räumlichen Verteilung jener Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Latsche* zugewiesen waren. Jene Punkte, die sowohl im Jahr 1963/64 als auch im Jahr 2009 der Landbedeckungskategorie *Latsche* zugewiesen waren, weisen eine hochsignifikant geclusterte Verteilung auf. Dies zeigt deutlich, dass *Latsche* meist in zusammenhängenden Flächen in höheren Lagen auftritt und nicht zufällig oder gleichmäßig über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt ist.

Tabelle 21: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie *Alm / Alpiner Rasen*

Kategorie:	Änderung von: auf:	Alm / Alpiner Rasen							
		Wald	Latsche	Alm/Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststraße	Wasserfläche	Sonstiges
<b>Index:</b>		<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>
<b>Anzahl der Punkte:</b>		31	35	171	7	7	2	0	8
<b>Observed Mean Distance:</b>		1104.54	500.66	364.59	3146.93	1367.42	2500.00	-	358.50
<b>Expected Mean Distance:</b>		1172.39	1103.36	499.18	2467.20	2467.20	4615.70	-	2307.85
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>		0.94	0.45	0.73	1.28	0.55	0.54	-	0.16
<b>z-score:</b>		0.54	0.00	0.00	0.16	0.02	0.21	-	0.00
<b>p-value:</b>		-0.62	-6.18	-6.74	1.39	-2.26	-1.24	-	-4.57
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b>	zufällig	geclustert	geclustert	zufällig	geclustert	zufällig		geclustert
	<b>z-score:</b>		**	**		*			**

Tabelle 21 zeigt die Untersuchung der räumlichen Verteilung jener Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* zugewiesen waren. Wie auch bei der Landbedeckungskategorie *Latsche* (siehe Tabelle 20) weisen jene Punkte, die sowohl im Jahr 1963/64 als auch 2009 der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* zugeordnet waren, eine hochsignifikant geclusterte Verteilung auf. Ähnlich wie Latschenflächen sind auch Flächen mit der Landbedeckungskategorie *Alm / Alpiner Rasen* nicht über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt, sondern eher in zusammenhängenden Flächen in höheren Lagen zu finden.

Jene Stichprobenpunkte, die sich zur Landbedeckungskategorie *Latsche* verändert haben, weisen ebenfalls eine hochsignifikant geclusterte Verteilung auf. Diese Stichprobenpunkte sind daher nicht über das gesamte Untersuchungsgebiet gestreut oder zufällig verteilt sondern in bestimmten Bereichen gruppiert. Da bereits die Ausgangsverteilungen der Stichprobenpunkte mit den Landbedeckungskategorien *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* stark geclustert und räumlich eng verzahnt vorliegen, ist auch von starker Clusterung der Veränderungen zwischen den beiden Kategorien auszugehen.

Jene Stichprobenpunkte, die sich von *Alm / Alpiner Rasen* zur Landbedeckungskategorie *Schutt* verändert haben, weisen eine signifikant geclusterte Verteilung auf. Da es sich hier jedoch nur um sehr wenige Stichprobenpunkte (7) handelt, kann keine zuverlässige Aussage getroffen werden.

Die Stichprobenpunkte, die sich zur Landbedeckungskategorie *Sonstiges* verändert haben, weisen ebenfalls eine stark geclusterte Verteilung auf. Es stellte sich jedoch heraus, dass dies auf einen Interpretationsfehler des Bildmaterials der Jahre 1963/64 zurückgeführt werden kann. Die Stichprobenpunkte liegen auf einer großen zusammenhängenden Fläche, die im Jahr 1963/64 noch der Kategorie *Alm / Alpiner Rasen* zugewiesen war, im Jahr 2009 jedoch geschlossen als *Landwirtschaftliche Fläche* interpretiert wurde.

Tabelle 22: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Fels

Kategorie:	Änderung von: auf:	Fels							
		Wald	Latsche	Alm/Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststraße	Wasserfläche	Sonstiges
<b>Index:</b>		<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
<b>Anzahl der Punkte:</b>		33	7	18	109	22	0	0	1
<b>Observed Mean Distance:</b>		1238.30	2814.12	809.41	490.77	887.66	-	-	~
<b>Expected Mean Distance:</b>		1136.31	2467.20	1538.57	625.23	1391.69	-	-	~
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>		1.09	1.14	0.53	0.78	0.64	-	-	~
<b>z-score:</b>		0.32	0.48	0.00	0.00	0.00	-	-	~
<b>p-value:</b>		0.99	0.71	-3.85	-4.30	-3.25	-	-	~
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b> <b>z-score:</b>	zufällig	zufällig	geclustert **	geclustert **	geclustert **			

Tabelle 22 zeigt die Untersuchung der räumlichen Verteilung jener Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Fels* zugewiesen waren. Jene Stichprobenpunkte, die ihre Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum nicht verändert haben und daher auch im Jahr 2009 der Kategorie *Fels* zugeordnet waren, weisen eine stark geclusterte Verteilung auf. Dies gibt die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet gut wieder, wo felsige Bereiche auf wenige zusammenhängende Flächen beschränkt sind.

Die Veränderung von *Fels* zu *Schutt* sowie von *Fels* zu *Alm / Alpiner Rasen* tritt ebenfalls stark geclustert auf.

Tabelle 23: „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse für die Kategorie Schutt

Kategorie:	Änderung von: auf:	Schutt							
		Wald	Latsche	Alm/Alpiner Rasen	Fels	Schutt	Forststraße	Wasserfläche	Sonstiges
<b>Index:</b>		<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>
<b>Anzahl der Punkte:</b>		19	4	16	12	45	0	0	0
<b>Observed Mean Distance:</b>		1338.95	1285.82	446.80	1965.81	759.17	-	-	-
<b>Expected Mean Distance:</b>		1497.53	3263.79	1631.90	1884.35	973.08	-	-	-
<b>Nearest Neighbor Ratio:</b>		0.89	0.39	0.27	1.04	0.78	-	-	-
<b>z-score:</b>		0.38	0.02	0.00	0.77	0.00	-	-	-
<b>p-value:</b>		-0.88	-2.32	-5.56	0.29	-2.82	-	-	-
<b>Aussage:</b>	<b>p-value:</b> <b>z-score:</b>	zufällig	geclustert *	geclustert **	zufällig	geclustert **			

Tabelle 23 zeigt die Untersuchung der räumlichen Verteilung jener Stichprobenpunkte, die im Jahr 1963/64 der Landbedeckungskategorie *Schutt* zugewiesen waren. Bei jenen Stichprobenpunkten, die ihre Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum nicht ändern, tritt wieder eine geclusterte Verteilung auf. Auch für die Verteilungen der veränderten Stichprobenpunkte von der Kategorie *Schutt* zu den Landbedeckungskategorien *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* lassen sich geclusterte Verteilungen beobachten. Die den Auswertungen (siehe Tabelle 19 bis Tabelle 23) zugrundeliegenden Daten sind der Arbeit als digitaler Anhang (siehe Anhang 7.4.1: Gesamte deskriptive Auswertung [Abschnitt 3](#)) angefügt.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit der „Average-Nearest-Neighbor“-Analyse Veränderungshotspots aufgezeigt werden können. Die gefundenen Cluster müssen jedoch visuell auf Plausibilität überprüft werden. Von einem Veränderungshotspot kann nur bei Clustern mit direkt aneinander angrenzenden Stichprobenpunkten oder bei Clustern in einer gemeinsamen Höhenstufe (z.B. alle Stichprobenpunkte der Landbedeckungskategorie *Latsche* verändern sich in der Höhenstufe 1.400 bis 1.600m zur Landbedeckungskategorie *Wald*), mit gemeinsamer Exposition, usw. gesprochen werden.

## 5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Im folgenden Kapitel wird zuerst das vorgestellte Monitoring-Konzept kritisch beleuchtet, die auf Basis des Monitoring-Konzepts erzielten Ergebnisse zusammengefasst und abschließend werden weitere Trends behandelt.

Das entwickelte Monitoring-Konzept kennzeichnet sich durch eine Stichprobeninventur welche mittels visueller Bildinterpretation auf Basis von Fernerkundungsdaten erhoben wird. Es ist speziell auf die Beobachtung von Veränderungen der Vegetationsdecke in den Wiener Quellschutzwäldern und den dort vorhandenen Landbedeckungskategorien zugeschnitten. Inhomogene Stichprobenflächen mit verzahnten Landbedeckungskategorien können durch die Teilung der Stichprobenfläche genau erfasst und Veränderungen so sehr gut verfolgt werden. Durch die luftbildgestützte Erhebung (visuelle Bildinterpretation) ist das vorgestellte Verfahren verglichen mit einer terrestrischen Erhebung sehr effizient und dadurch besonders kostengünstig. Außerdem ist es wetterunabhängig und somit ganzjährig durchführbar. Bei Aufbewahrung des eingesetzten Bildmaterials kann die historische Landbedeckung jederzeit eingehender analysiert bzw. weitere Parameter bei Bedarf erhoben werden. Darüber hinaus kann das vorgestellte Monitoring-Konzept mit gängiger Hard- und Software durchgeführt werden.

Die Methodik zur Erhebung der Landbedeckung wurde iterativ, sowohl durch die enge Zusammenarbeit mit der MA 49 als auch durch die Durchführung einer Testinterpretation verbessert. Neben der Definition der Attribute konnte auch die Genauigkeit in der Ansprache von Übergangsbereichen zwischen den verschiedenen Landbedeckungskategorien verbessert werden. Auch wenn das Monitoring-Konzept für zukünftige Interpreten ohne jegliche Vorkenntnisse hinsichtlich der Luftbildinterpretation entwickelt wurde, muss eine gründliche Einschulung und Eichung der Interpreten erfolgen. Während der Testinterpretation zeigte sich, dass besonders langjährige, waldbauliche Erfahrung sowie spezifisches Vorwissen über die örtlichen Gegebenheiten neuer Interpreten zu subjektiven Interpretationen führen, die vom Interpretationsschlüssel teilweise stark abweichen können. Auf die Einschulungsphase zukünftiger Interpreten muss daher besonderes Augenmerk gelegt werden und daher müssen die Ergebnisse der interpretierten Stichprobenpunkte in der Einschulungsphase genau überprüft und mit bereits vorhandenen Interpretationen abgeglichen werden. Für den Interpreten bleibt, trotz genauer Definition der zu erhebenden Parameter, immer ein subjektiver Toleranzbereich für die im Rahmen der Interpretation zu treffenden Entscheidungen. Besonders deutlich wird dies bei der Teilung der Stichprobenfläche, die trotz Regelwerk bei unterschiedlichen Interpreten immer wieder zu abweichenden Ergebnissen führt.

Bei der Ansprache von Landbedeckungsparametern mittels visueller Luftbildinterpretation ergibt sich eine Reihe von Nachteilen. Durch die senkrechte Luftbildaufnahme wird bei bestockten Flächen nur die oberste Schicht der Vegetation abgebildet, die Ansprache des Bodens und der Bodenvegetation ist in den meisten Fällen nicht möglich. So kann z.B. ein Waldstandort auf sehr felsdurchsetztem Boden nicht von einem Waldstandort auf tiefgründigem Boden unterschieden werden. Auch die Schichtigkeit von Beständen kann nicht oder nur sehr eingeschränkt beurteilt werden. Bei stark gestuften, plenterartigen Beständen kann nur über die am Orthofoto erkennbare Struktur auf den Waldaufbau geschlossen werden. Die Interpretation wird häufig auch durch Schattenwurf beeinträchtigt, der nicht nur die Ansprache von tieferliegenden Bestandesschichten oder ev. vorhandenem offenen Boden verhindert, sondern auch bei der Interpretation der Überschilderung Fehler verursachen kann. Weitere Schwierigkeiten ergeben sich bei der Interpretation von Schutzwäldern auf besonders felsigen Standorten. Auf diesen Standorten wird die Bestockung mit

Laubholz durch die teilweise sehr geringe Belaubung häufig unterschätzt. Durch unzureichende Qualität des Bildmaterials können Probleme bei der Luftbildinterpretation auftreten, so kann es besonders an Abbruchkanten zu starken Verzerrungen kommen, die eine Interpretation der Landbedeckung erschweren. Dies ist jedoch nur für historische Luftbilder relevant, auf aktuellem Bildmaterial sind Verzerrungen nur noch sehr selten zu beobachten. Es ist daher in seltenen Fällen möglich, dass durch Verzerrungen und geometrische Verschiebungen nicht auf den räumlich exakt gleichen Stichprobenflächen interpretiert wurde. Auf diese Weise kann es zu falsch-positiven Veränderungen kommen.

In weiterer Folge sollen nun die Ergebnisse zusammengefasst und besprochen werden. Zur Beurteilung der Bildqualität kann das Attribut Interpretationsbedingungen herangezogen werden: So waren im Jahr 2009 nur 10 % der Punkte schlechter als „gut“ bewertet. Von diesen Punkten war in 80 % der Fälle *Schatten* für die verschlechterten Interpretationsbedingungen verantwortlich. Fehlinterpretationen aufgrund schlechter Interpretationsbedingungen oder Abweichungen durch besondere Umweltbedingungen können daher weitgehend ausgeschlossen werden.

Bei der deskriptiven Betrachtung der beiden Datensätze lässt sich eine Zunahme des Anteils an Punkten mit der Landbedeckungskategorie *Wald* von 68,5 auf 72 % feststellen. Es konnte eine statistisch signifikante Zunahme der Waldfläche festgestellt werden. Die Fläche mit der Landbedeckungskategorie *Latsche* bleibt weitgehend gleich, während die Fläche der Landbedeckungskategorien *Alm / Alpiner Rasen* und *Fels* signifikant abnehmen. Die Bautätigkeit im Untersuchungszeitraum ist durch die Daten ebenfalls gut erkennbar. So hat die Forststraßenfläche von 7 ha im Jahr 1963/64 auf 113 ha im Jahr 2009 zugenommen.

Generell kann festgestellt werden, dass die Veränderungen der Landbedeckung im Untersuchungsgebiet hinsichtlich quellschutzrelevanter Parameter positiv ausfallen. So sind 75 % der vorgefundenen Veränderungen als gut oder zumindest ambivalent hinsichtlich des Quellschutzes zu beurteilen. Dies deutet auf eine positive Entwicklung der Landbedeckung während des Untersuchungszeitraums hin.

Ein statistischer Zusammenhang zwischen den vorgefundenen Veränderungen der Landbedeckung und der Exposition des Stichprobenpunktes konnte nicht festgestellt werden. Die Hypothese, Veränderungen bzw. die Degradation von Standorten wären vor allem in süd-exponierten Lagen zu beobachten, konnte nicht bestätigt werden.

Für die *Neigung* konnte ein statistisch signifikanter Einfluss auf die Veränderung der Landbedeckungskategorie festgestellt werden. Veränderungen fallen mit zunehmender Neigung zunehmend negativ aus, daher verändert sich die vorhandene Landbedeckungskategorie eher zu einer hinsichtlich der quellschutzrelevanten Parameter schlechter zu beurteilenden Landbedeckungskategorie.

Bei genauerer Untersuchung der Seehöhe der Stichprobenpunkte hinsichtlich der Veränderungen der Landbedeckungskategorie im Untersuchungszeitraum wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe eines Stichprobenpunktes und der Veränderung der Landbedeckungskategorie festgestellt. Veränderte Stichprobenpunkte werden in tieferen Lagen seltener beobachtet, als in höheren Lagen. Veränderungen scheinen daher vorwiegend in höheren Lagen stattzufinden. Besonders in Lagen von 1.600 bis 2.000 m wurde bei einer erhöhten Anzahl an Stichprobenpunkten eine Veränderung der Landbedeckung festgestellt. In der Höhenstufe von 1.400

bis 1.600 m konnte eine starke Veränderung von *Latsche* zu *Wald* beobachtet werden. Latschenflächen werden in dieser Höhenstufe zunehmend vom konkurrenzstarken *Wald* ausgedunkelt. Durch das Anwachsen der Waldfläche in dieser Höhenstufe wird die Latsche in höhere Lagen verdrängt. Latsche nimmt daher besonders auf Kosten von *Alm / Alpiner Rasen* zu. Das Zuwachsen von Almflächen ist auch auf die abnehmende Bewirtschaftung zurückzuführen. Während früher Almflächen durch den Menschen freigehalten wurden, werden diese Flächen heute von den Latschen zurückerobert. Die natürliche Abfolge von *Wald*, *Latsche* und *Alm / Alpiner Rasen* bleibt weitgehend bestehen, es findet jedoch eine Verschiebung in höhere Lagen statt. Der Anteil geteilter Almflächen nimmt während des Untersuchungszeitraumes ab, dies deutet auf ein Zunehmen der Almfläche auf Kosten von *Fels* sowie auf die Veränderung geteilter Almflächen zu anderen Kategorien hin.

Die im Untersuchungszeitraum vorgefundenen Veränderungen dürften auch mit der Wasserversorgung der Standorte zusammenzuhängen. Gut wasserversorgte Standorte auf Böden wie Kalklehm-Rendzina, Insellehm und Kalkbraunlehm sind seltener von Veränderungen betroffen, als Standorte mit schlechter wasserversorgten Bodentypen. Bei reiner Betrachtung der Wasserversorgung wird dies besonders deutlich: Auf trockenen Standorten werden Veränderungen vergleichsweise häufiger beobachtet als auf frischen oder mäßig frischen Standorten. Dieser Zusammenhang wurde jedoch nur deskriptiv festgestellt, statistisch aber nicht weiter untersucht.

Die Teilung des Kreises konnte als zentraler Parameter für das Auftreten von Veränderungen bestimmt werden. Je kleiner der Anteil der interpretierten Teilfläche an der gesamten Stichprobenfläche, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten einer Veränderung. Dies scheint wenig verwunderlich, da besonders bei eng verzahnten Landbedeckungs-kategorien die Stichprobenfläche zunehmend geteilt werden muss und besonders auf solchen Flächen Veränderungen häufig und sehr leicht stattfinden können. Durch die genaue Teilung des Kreises können die vorgefundene Landbedeckung sehr genau abgebildet und auch kleine Veränderungen erfasst werden.

Generell waren die im Untersuchungszeitraum beobachteten Veränderungen deutlich geringer als ursprünglich angenommen. So waren von insgesamt 2.727 Punkten, die sowohl im Jahr 1963/64 als auch im Jahr 2009 interpretiert wurden, lediglich 12,5 %, das sind 341 Stichprobenpunkte, von Veränderungen betroffen. Für die statistische Auswertung einzelner Landbedeckungs-Abfolgen (wie z.B. die Veränderung von *Latsche* zu *Fels*) war die Datenbasis zu gering. Um detailliertere, statistisch abgesicherte Aussagen zu ermöglichen, müsste daher das Raster verdichtet werden, z.B. auf die ursprünglich vorgeschlagenen 5.000 Stichprobenpunkte. Die Landbedeckungskategorie, welche das wichtigste Attribut ist und den meisten Analysen zugrunde liegt, kann relativ schnell und einfach erhoben werden.

Aus den Ergebnissen der Untersuchung lassen sich folgende Trends für das Untersuchungsgebiet erkennen: Hinsichtlich der Landbedeckungskategorie hat sich das Untersuchungsgebiet in dem fast 50 Jahre umfassenden Untersuchungszeitraum positiv entwickelt. Nicht nur die Waldfläche hat zugenommen sondern auch generell der Anteil der vegetationsbedeckten Fläche. Der Wasserhaushalt der Standorte scheint eine wichtige Rolle beim Auftreten von Veränderungen bzw. der Degradation von Standorten zu spielen. Dies ist besonders im Hinblick auf den Klimawandel kritisch, da in Zukunft mit extremeren Wetterverhältnissen zu rechnen ist.

Neben dem entwickelten Monitoring-Konzept und den detaillierten Ergebnissen der stichprobenbasierten Erfassung der Landbedeckung zu zwei Zeitpunkten liegt ein besonderer Wert

der vorliegenden Arbeit auch in den nun flächendeckend zur Verfügung stehenden historischen Orthophotos aus den 1960er-Jahren. Basierend auf diesem Datensatz können nun ergänzend zum stichprobenbasierten Ansatz auch flächige Auswertungen in ausgewählten Bereichen durchgeführt werden.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erhobenen und analysierten Stichprobenpunkte der Jahre 1963/64 und 2009, können mit Erhebungen zu weiteren Zeitpunkten (z.B. 1980, 1990, usw.) sowie mit den zukünftigen Folgeaufnahmen (z.B. 2019) zu einer Zeitreihe kombiniert werden, die eine umfassende Ableitung von Vegetationsentwicklungen in den Wiener Quellschutzwäldern ermöglicht.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ahrens, W. (2001). *Analyse der Waldentwicklung in Naturwaldreservaten auf Basis digitaler Orthobilder. Dissertation. 143 Seiten.* (<https://www.freidok.uni-freiburg.de/data/328>). Freiburg i. Breisgau: Albert-Ludwigs-Universität .
- Albertz, J. (2009). *Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft und Satellitenbildern.* Darmstadt: WBG (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten. (1998). Luftbild-Interpretationsschlüssel: Bestimmung der natürlichen Altersklasse von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild (CIR). *LÖBF Mitteilungen*, 45-50.
- Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten. (1999). Luftbild-Interpretationsschlüssel II: Bestimmung der natürlichen Altersklasse und der Baumarten von Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild (CIR). *LÖBF-Mitteilungen*, 51-56.
- basemap.at. (2017). Abgerufen am 15. 04 2017 von [www.basemap.at](http://www.basemap.at)
- Bittmann, F. (2015). *Einführung in die Logistische Regression mit SPSS.* Abgerufen am 25. 02 2017 von [Felix-Bittmann.de](http://www.felix-bittmann.de): [http://www.felix-bittmann.de/downloads/artikel/einfuehrung\\_logit\\_regression\\_mit\\_SPSS.pdf](http://www.felix-bittmann.de/downloads/artikel/einfuehrung_logit_regression_mit_SPSS.pdf)
- Drennig, A. (1973). *Die I. Wiener Hochquellenwasserleitung: Festschrift aus Anlass der 100-Jahr-Feier am 24. Oktober 1973.* Wien: Jugend und Volk.
- Drenning, A. (1988). *Die II. Wiener Hochquellenleitung : Festschrift.* Wien: Compress-Verlag.
- ESRI. (28. 01 2009). *ArcGIS Desktop 9.3 Help.* Abgerufen am 15. 01 2017 von How Average Nearest Neighbor Distance (Spatial Statistics) works: [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Average%20Nearest%20Neighbor%20Distance%20\(Spatial%20Statistics\)%20works](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Average%20Nearest%20Neighbor%20Distance%20(Spatial%20Statistics)%20works)
- ESRI. (29. 01 2009). *ArcGIS Desktop 9.3 Help.* Abgerufen am 15. 01 2017 von Average Nearest Neighbor (Spatial Statistics): [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Average\\_Nearest\\_Neighbor\\_\(Spatial\\_Statistics\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=Average_Nearest_Neighbor_(Spatial_Statistics))
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I., & Tutz, G. (2007). *Statistik - Der Weg zur Datenanalyse.* Berlin/Heidelberg: Springer.
- Farkisch, K. (2011). *Data-Warehouse-Systeme kompakt.* Berlin Hedelberg: Springer-Verlag.
- Fernuni-Hagen. (2017). Abgerufen am 19. 03 2017 von Neue Statistik: <http://www.fernuni-hagen.de/ksw/neuestatistik/content/start.html>
- Field, K. (21. 05 2015). *ArcGIS Blog: Take your terrain mapping to new heigths.* Abgerufen am 09. 12 2016 von ArcGIS Blog: <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2015/05/21/take-your-terrain-mapping-to-new-heights/>

- Forstamt und Landwirtschaftsbetrieb der Stadt Wien. (2017). *Stadt Wien*. Abgerufen am 6. 1 2017 von Quellenschutzwälder der Stadt Wien:  
<https://www.wien.gv.at/umwelt/wald/quellenschutzwaelder/>
- Geo Data Zone. (2010). <http://www.geodz.com/deu/d/Interpretationsschl%C3%BCssel>. Abgerufen am 29. 01 2017 von <http://www.geodz.com/deu/d/Interpretationsschl%C3%BCssel>
- Hoey, J. (2012). The Two-Way Likelihood Ratio (G) Test and Comparison to Two-Way Chi Squared Test. *ARXIV*.
- Kilian, W., Müller, F., & Starlinger, F. (1994). *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*.
- Koeck, D. D. (2009). *KATER II Projekt*. Wien: Universität für Bodenkultur.
- Krzywinski, M. I., Schein, Jacqueline E, Birol, Inanc, Connors, Joseph, Gascoyne, Randy, Horsman, Doug, et al. (2009). Circos: An information aesthetic for comparative genomics. *Genome Research*.
- Landesforstpräsidium (LFP). (2003). *Luftbildinterpretationsschlüssel - Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild*. Freistaat Sachsen: Landesforstpräsidium.
- Magistratsabteilung 49. (2016). *Aufgaben des Forstamts im Quellenschutzgebiet*. Abgerufen am 10. 12 2016 von [www.wien.gv.at](http://www.wien.gv.at):  
<https://www.wien.gv.at/umwelt/wald/quellenschutzwaelder/aufgaben.html>
- Magistratsabteilung 49. (2016). *Forstverwaltung Hirschwang - Quellenschutzwald der Stadt Wien*. Abgerufen am 10. 12 2016 von [wien.at](http://www.wien.at):  
<https://www.wien.gv.at/umwelt/wald/quellenschutzwaelder/hirschwang.html>
- Mittag, H.-J. (2014). *Statistik - Eine Einführung mit interaktiven Elementen*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Müller-Benedict, V. (2011). *Grundkurs Statistik in den Sozialwissenschaften*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien.
- Otruba, G. (1972). *Huebmer Georg*. Abgerufen am 16. 04 2017 von Neue Deutsche Biographie 9:  
<https://www.deutsche-biographie.de/gnd129196991.html#ndbcontent>
- Röhrig, E., Bartsch, N., & von Lüpke, B. (2006). *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG.
- Stadler, R. (1873). *Die Wasserversorgung der Stadt Wien in ihrer Vergangenheit und Gegenwart : Denkschrift zur Eröffnung der Hochquellen-Wasserleitung im Jahre 1873*. Wien: Selbstverlag des Wiener Gemeinderathes.
- Thompson, S. (1992). *Sampling*. John Wiley & Sons Inc.
- Traxler, A. (1997). *Handbuch des Vegetationsökologischen Monitorings - Methoden, Praxis, angewandte Projekte*. Wien: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency) .
- Univ. Salzburg Z\_GIS. (2014). *Geo-Datenbank-Management*. Salzburg.

Universität Rostock. (2012). *Geoinformatik-Service Lexikon*. Abgerufen am 29. 01 2017 von <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de/einzel.asp?ID=1532340689>

Wiener Wasser. (2017). *Stadt Wien*. Abgerufen am 6. 1 2017 von Geschichte der Wiener Wasserversorgung: <https://www.wien.gv.at/wienwasser/versorgung/geschichte/>

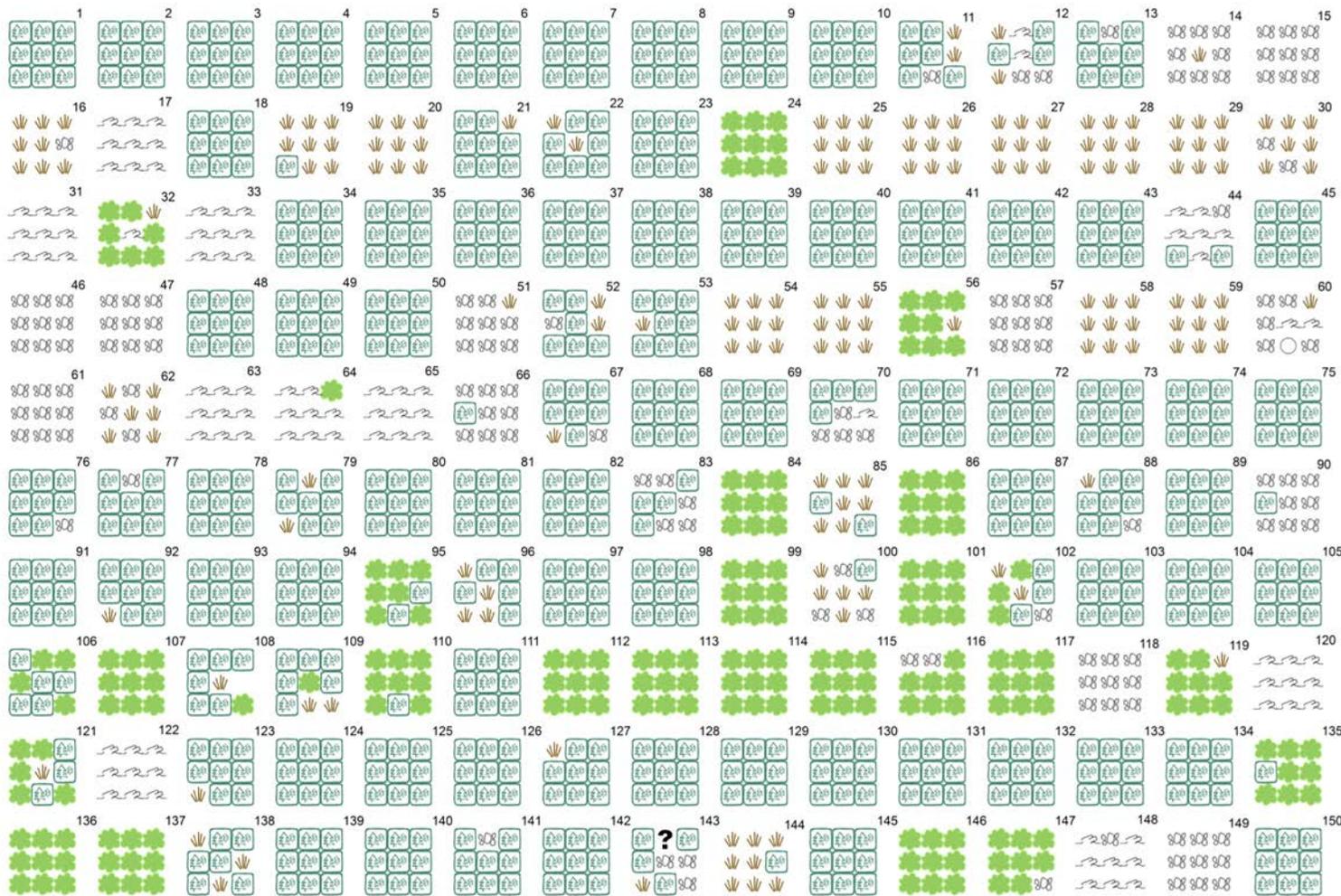
Wolf, C., & Best, H. (2010). *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien.

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. (05 2012). *Klimanormalperiode 1981–2010*. Abgerufen am 10. 12 2016 von [www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at):  
<http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/datensaetze/klimanormalperiode-198120132010>

ZAMG - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. (05 2012). *Klimanormalperiode 1981–2010*. Abgerufen am 10. 12 2016 von  
<http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/datensaetze/klimanormalperiode-198120132010>

# 7 Anhang

## 7.1 Testinterpretation: visuelle Auswertung der Kategorie



### Kategorie

- ? nicht interpretierbar
- 🌿 Alm / Alpiner Rasen
- 🪨 Fels
- 🛤️ Forststrasse
- 🌱 Latsche
- 🌾 Schutt
- Sonstiges
- 🌲 Wald
- 🌊 Wasserflaeche

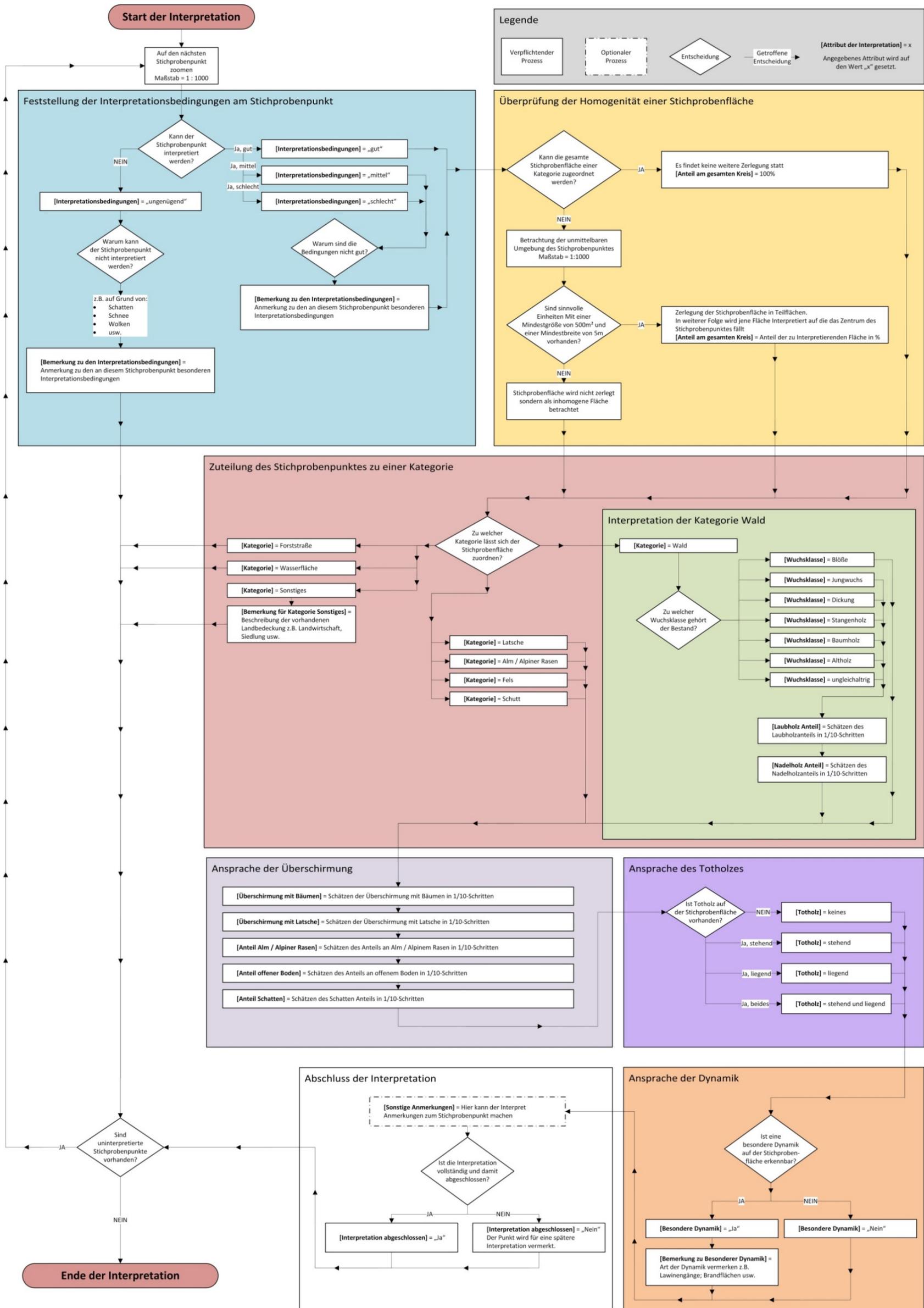
### Name des Interpreten / der Interpretin:

- 1: Jakob Hagenauer
- 2: Tatjana Koukal
- 3: Carina Steinkogler
- 4: Christian Steinmetz
- 5: Christoph Dietl
- 6: Franz Fischer
- 7: Jasmin Grieshofer
- 8: Karin Fasching-Frauenfeld
- 9: Werner Fleck

1	2	3
4	5	6
7	8	9

## 7.2 Ablaufdiagramm

Das folgende Ablaufdiagramm bildet den gesamten Entscheidungsbaum einer Interpretation ab. Es listet alle relevanten Fragen und Entscheidungsmöglichkeiten auf, die während der Interpretation eines Stichprobenpunktes auftreten können.



### 7.3 Domaintabelle

In der Datenbank sind die möglichen Ausprägungen der einzelnen Merkmale codiert gespeichert (Tabelle 24 bis Tabelle 26). Eine Domain legt einen erlaubten Wertebereich fest und erlaubt es - anstatt einer codierten Wertetabelle - eine Beschreibung jedes Codes für den Nutzer anzuzeigen. Eine Domain kann dabei für mehrere Merkmale genutzt werden, falls diese den gleichen Wertebereich aufweisen.

Tabelle 24: Domains der Interpretationsdatenbank I

<b>Domain Name:</b>	<b>Anteil_Teilfläche</b>	<b>Anteil_Kreis</b>																																																				
<b>Description:</b>	Anteil der interpretierten Teilfläche am gesamten Kreis	Berechnet Anteile des Kreises																																																				
<b>Field Type:</b>	Short Integer	Double																																																				
<b>Domain Type:</b>	Range	Range																																																				
<b>Minimum Value:</b>	0	0																																																				
<b>Maximum Value:</b>	100	100																																																				
<b>Split policy:</b>	Default Value	Geometry Ratio																																																				
<b>Merge policy:</b>	Default Value	Sum Values																																																				
<b>Used by:</b>	Anteil (Stichprobenfläche)	Anteil am gesamten Kreis																																																				
<b>Domain Name:</b>	<b>Anteil_10-tel</b>	<b>Kategorie</b>																																																				
<b>Description:</b>	Anteil in 1/10-Stufen	Kategorie des Stichprobenpunkts																																																				
<b>Field Type:</b>	Short Integer	Short Integer																																																				
<b>Domain Type:</b>	Coded Values	Coded Values																																																				
<b>Minimum Value:</b>	-	-																																																				
<b>Maximum Value:</b>	-	-																																																				
<b>Split policy:</b>	Default Value	Default Value																																																				
<b>Merge policy:</b>	Default Value	Default Value																																																				
<b>Used by:</b>	Laubholz Anteil Nadelholz Anteil Überschirmung mit Latsche Überschirmung mit Bäumen Anteil offener Boden	Kategorie																																																				
<b>Coded Values:</b>	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Code:</th> <th>Description:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0/10</td></tr> <tr><td>1</td><td>1/10</td></tr> <tr><td>2</td><td>2/10</td></tr> <tr><td>3</td><td>3/10</td></tr> <tr><td>4</td><td>4/10</td></tr> <tr><td>5</td><td>5/10</td></tr> <tr><td>6</td><td>6/10</td></tr> <tr><td>7</td><td>7/10</td></tr> <tr><td>8</td><td>8/10</td></tr> <tr><td>9</td><td>9/10</td></tr> <tr><td>10</td><td>10/10</td></tr> <tr><td>-1</td><td>nicht interpretierbar</td></tr> <tr><td>-3</td><td>&lt;Null&gt;</td></tr> </tbody> </table>	Code:	Description:	0	0/10	1	1/10	2	2/10	3	3/10	4	4/10	5	5/10	6	6/10	7	7/10	8	8/10	9	9/10	10	10/10	-1	nicht interpretierbar	-3	<Null>	<table border="0"> <thead> <tr> <th>Code:</th> <th>Description:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Wald</td></tr> <tr><td>2</td><td>Latsche</td></tr> <tr><td>3</td><td>Alm / Alpiner Rasen</td></tr> <tr><td>4</td><td>Fels</td></tr> <tr><td>5</td><td>Schutt</td></tr> <tr><td>6</td><td>Forststrasse</td></tr> <tr><td>7</td><td>Wasserflaeche</td></tr> <tr><td>8</td><td>Sonstiges</td></tr> <tr><td>-1</td><td>nicht interpretierbar</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-</td></tr> <tr><td>-3</td><td>&lt;Init&gt;</td></tr> </tbody> </table>	Code:	Description:	1	Wald	2	Latsche	3	Alm / Alpiner Rasen	4	Fels	5	Schutt	6	Forststrasse	7	Wasserflaeche	8	Sonstiges	-1	nicht interpretierbar	-2	-	-3	<Init>
Code:	Description:																																																					
0	0/10																																																					
1	1/10																																																					
2	2/10																																																					
3	3/10																																																					
4	4/10																																																					
5	5/10																																																					
6	6/10																																																					
7	7/10																																																					
8	8/10																																																					
9	9/10																																																					
10	10/10																																																					
-1	nicht interpretierbar																																																					
-3	<Null>																																																					
Code:	Description:																																																					
1	Wald																																																					
2	Latsche																																																					
3	Alm / Alpiner Rasen																																																					
4	Fels																																																					
5	Schutt																																																					
6	Forststrasse																																																					
7	Wasserflaeche																																																					
8	Sonstiges																																																					
-1	nicht interpretierbar																																																					
-2	-																																																					
-3	<Init>																																																					

Tabelle 25: Domains der Interpretationsdatenbank II

<p><b>Domain Name:</b> Binaer</p> <p><b>Description:</b> Binäre Domain</p> <p><b>Field Type:</b> Short Integer</p> <p><b>Domain Type:</b> Coded Values</p> <p><b>Minimum Value:</b> -</p> <p><b>Maximum Value:</b> -</p> <p><b>Split policy:</b> Default Value</p> <p><b>Merge policy:</b> Default Value</p> <p><b>Used by:</b> Besondere Dynamik Interpretation abgeschlossen</p> <p><b>Coded Values:</b></p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Code:</th> <th>Description:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>Nein</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Ja</td> </tr> </tbody> </table>	Code:	Description:	0	Nein	1	Ja	<p><b>Bemerkung_Kategorie_Sonstiges</b></p> <p>Bemerkung für die Kategorie Sonstiges</p> <p>Short Integer</p> <p>Coded Values</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Default Value</p> <p>Default Value</p> <p>Bemerkung für Kategorie Sonstiges</p> <p><b>Code: Description:</b></p> <table border="0"> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Siedlungs Fläche</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Landwirtschaftliche Fläche</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>&lt;Null&gt;</td> </tr> </tbody> </table>	1	Siedlungs Fläche	2	Landwirtschaftliche Fläche	-2	-	-3	<Null>								
Code:	Description:																						
0	Nein																						
1	Ja																						
1	Siedlungs Fläche																						
2	Landwirtschaftliche Fläche																						
-2	-																						
-3	<Null>																						
<p><b>Domain Name:</b> Interpretationsbedingungen</p> <p><b>Description:</b> Interpretationsbedingungen auf der Stichprobenfläche</p> <p><b>Field Type:</b> Short Integer</p> <p><b>Domain Type:</b> Coded Values</p> <p><b>Minimum Value:</b> -</p> <p><b>Maximum Value:</b> -</p> <p><b>Split policy:</b> Default Value</p> <p><b>Merge policy:</b> Default Value</p> <p><b>Used by:</b> Interpretationsbedingungen</p> <p><b>Coded Values:</b></p> <table border="0"> <thead> <tr> <th>Code:</th> <th>Description:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>gut</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>mittel</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>schlecht</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>ungenügend</td> </tr> </tbody> </table>	Code:	Description:	0	gut	1	mittel	2	schlecht	3	ungenügend	<p><b>Totholz</b></p> <p>Totholz am Stichprobenpunkt</p> <p>Short Integer</p> <p>Coded Values</p> <p>-</p> <p>-</p> <p>Default Value</p> <p>Default Value</p> <p>Totholz</p> <p><b>Code: Description:</b></p> <table border="0"> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>keines</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>stehend</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>liegend</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>stehend und liegend</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-3</td> <td>&lt;Null&gt;</td> </tr> </tbody> </table>	0	keines	1	stehend	2	liegend	3	stehend und liegend	-2	-	-3	<Null>
Code:	Description:																						
0	gut																						
1	mittel																						
2	schlecht																						
3	ungenügend																						
0	keines																						
1	stehend																						
2	liegend																						
3	stehend und liegend																						
-2	-																						
-3	<Null>																						

Tabelle 26: Domains der Interpretationsdatenbank III

<b>Domain Name:</b>	<b>Bemerkung_Interpretationsbedingungen</b>	<b>Wuchsklasse</b>																																				
<b>Description:</b>	Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen	Wuchsklasse des Stichprobenpunkts																																				
<b>Field Type:</b>	Short Integer	Short Integer																																				
<b>Domain Type:</b>	Coded Values	Coded Values																																				
<b>Minimum Value:</b>	-	-																																				
<b>Maximum Value:</b>	-	-																																				
<b>Split policy:</b>	Default Value	Default Value																																				
<b>Merge policy:</b>	Default Value	Default Value																																				
<b>Used by:</b>	Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen	Wuchsklasse																																				
<b>Coded Values:</b>	<table border="0"> <thead> <tr> <th><b>Code:</b></th> <th><b>Description:</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>Keine</td></tr> <tr><td>1</td><td>Schatten</td></tr> <tr><td>2</td><td>Schnee</td></tr> <tr><td>3</td><td>Wolken</td></tr> <tr><td>4</td><td>Verzerrungen</td></tr> <tr><td>5</td><td>Sonstiges</td></tr> </tbody> </table>	<b>Code:</b>	<b>Description:</b>	0	Keine	1	Schatten	2	Schnee	3	Wolken	4	Verzerrungen	5	Sonstiges	<table border="0"> <thead> <tr> <th><b>Code:</b></th> <th><b>Description:</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>Blöße</td></tr> <tr><td>1</td><td>Jungwuchs</td></tr> <tr><td>2</td><td>Dickung</td></tr> <tr><td>3</td><td>Stangenholz</td></tr> <tr><td>4</td><td>Baumholz</td></tr> <tr><td>5</td><td>Altholz</td></tr> <tr><td>6</td><td>ungleichaltrig</td></tr> <tr><td>-1</td><td>nicht interpretierbar</td></tr> <tr><td>-2</td><td>-</td></tr> <tr><td>-3</td><td>&lt;Null&gt;</td></tr> </tbody> </table>	<b>Code:</b>	<b>Description:</b>	0	Blöße	1	Jungwuchs	2	Dickung	3	Stangenholz	4	Baumholz	5	Altholz	6	ungleichaltrig	-1	nicht interpretierbar	-2	-	-3	<Null>
<b>Code:</b>	<b>Description:</b>																																					
0	Keine																																					
1	Schatten																																					
2	Schnee																																					
3	Wolken																																					
4	Verzerrungen																																					
5	Sonstiges																																					
<b>Code:</b>	<b>Description:</b>																																					
0	Blöße																																					
1	Jungwuchs																																					
2	Dickung																																					
3	Stangenholz																																					
4	Baumholz																																					
5	Altholz																																					
6	ungleichaltrig																																					
-1	nicht interpretierbar																																					
-2	-																																					
-3	<Null>																																					

## 7.4 Digitaler Anhang

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit sind auch als digitaler Anhang auf einer CD beigelegt.

### 7.4.1 Gesamte deskriptive Auswertung

Sämtliche Tabellen, die im Rahmen der deskriptiven Auswertungen erstellt wurden, sind in einem Excel-Dokument gespeichert. Eine Übersicht zeigt alle 121 verfügbaren Auswertungen. Mittels Hyperlinks kann direkt auf die einzelnen Tabellenblätter bzw. zwischen den Tabellenblättern gewechselt werden. Hierzu muss der beigelegte Datenträger als Laufwerk „M“ eingebunden werden.

#### Deskriptive Auswertung - Übersicht

<b>1</b>	<b>Auswertung</b>	<b>Jahr</b>		
1.1	Punkt Liste	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.2	Interpretationsbedingungen	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.3	Bemerkung zu den Interpretationsbedingungen	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.4	Kategorie	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.5	Bemerkung für die Kategorie Sonstiges	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.6	Kreis geteilt	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.7	Kommentar Sonstige Anmerkung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
1.8	Interpretation abgeschlossen	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
<b>2</b>	<b>Veränderungsanalyse</b>			
2.1	Veränderungsanalyse Gesamt (Absolut)		<a href="#">1963-2009</a>	
2.2	Veränderungsanalyse Gesamt (Hektar)		<a href="#">1963-2009</a>	
2.3	Veränderungsanalyse einzelne Kategorien (Absolut)		<a href="#">1963-2009</a>	
2.4	Veränderungsanalyse einzelne Kategorien (Hektar)		<a href="#">1963-2009</a>	
<b>3</b>	<b>Auswertung Clusteranalyse</b>			
3.1	Clusteranalyse		<a href="#">1963-2009</a>	
3.2	Clusteranalyse Daten		<a href="#">1963-2009</a>	
<b>4</b>	<b>Auswertung Exposition</b>			
4.1	Exposition Zusammenfassung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
4.2	Exposition Veränderungen gesamt je Kategorie		<a href="#">1963-2009</a>	
4.3	Exposition Klassifiziert Abgang je Kategorie		<a href="#">1963-2009</a>	
4.4	Exposition Klassifiziert Zugang je Kategorie		<a href="#">1963-2009</a>	
4.5	Exposition Klassifiziert Verteilung je Exposition		<a href="#">1963-2009</a>	
4.6	Exposition Veränderung Maximum je Kategorie		<a href="#">1963-2009</a>	
<b>5</b>	<b>Auswertung Neigung</b>			
5.1	Neigung Zusammenfassung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>

<b>6</b>	<b>Auswertung der Standortparameter</b>			
6.1	Auswertung Standorteinheit	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
6.2	Auswertung Bodentyp	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
6.3	Auswertung Wasserhaushalt	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
<b>7</b>	<b>Auswertung Seehöhe</b>			
7.1	Höhe Zusammenfassung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
7.2	Höhe Verteilung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
7.3	Höhe Kategorie Veränderung		<a href="#">1963-2009</a>	
7.4	Höhe Kategorie Auswertung	<a href="#">1963</a>	<a href="#">1963-2009</a>	<a href="#">2009</a>
7.5	Höhe Kategorie Auswertung Klassifiziert Daten		<a href="#">1963-2009</a>	
7.6	Höhe Kategorie Auswertung Klassifiziert Grafik		<a href="#">1963-2009</a>	
7.7	Höhe Kategorie Auswertung Matrix	<a href="#">1963</a>		<a href="#">2009</a>
7.8	Höhe Kategorie klein Auswertung	<a href="#">1963</a>		<a href="#">2009</a>
7.9	Höhe Kategorie klein Auswertung Matrix	<a href="#">1963</a>		<a href="#">2009</a>
7.10	Höhe Kategorie Veränderung Maximum je Kategorie		<a href="#">1963-2009</a>	
7.11	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 400-600m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.12	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 600-800m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.13	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 800-1000m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.14	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 1000-1200m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.15	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 1200-1400m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.16	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 1400-1600m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.17	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 1600-1800m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.18	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 1800-2000m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.19	Höhe Kategorie Veränderungs-Matrix 2000-2200m		<a href="#">1963-2009</a>	
7.20	Höhe Wuchsklasse Auswertung			<a href="#">2009</a>
7.21	Höhe Wuchsklasse Auswertung Matrix			<a href="#">2009</a>
7.22	Höhe Laub- Nadelholz Auswertung			<a href="#">2009</a>
7.23	Höhe Laub- Nadelholz Auswertung Matrix			<a href="#">2009</a>
7.24	Höhe Wald – Alm / Alpiner Rasen			<a href="#">2009</a>
7.25	Höhe Wald – Alm / Alpiner Rasen Matrix			<a href="#">2009</a>
<b>8</b>	<b>Auswertungen Wald</b>			
8.1	Wald Wuchsklasse			<a href="#">2009</a>
8.2	Wald Laub- Nadelholzanteil			<a href="#">2009</a>
8.3	Wald WKL Stangenholz LH NH			<a href="#">2009</a>
8.4	Wald WKL Baumholz LH NH			<a href="#">2009</a>
8.5	Wald WKL Altholz LH NH			<a href="#">2009</a>
8.6	Wald Überschildung mit Bäumen			<a href="#">2009</a>
8.7	Wald Überschildung mit Latsche			<a href="#">2009</a>
8.9	Wald Anteil Alm / Alpiner Rasen			<a href="#">2009</a>
8.10	Wald Anteil offener Boden			<a href="#">2009</a>
8.11	Wald Anteil Schatten			<a href="#">2009</a>

<b>9</b>	<b>Auswertungen Latsche</b>	
9.1	Latsche Überschildung mit Bäumen	<a href="#">2009</a>
9.2	Latsche Überschildung mit Latsche	<a href="#">2009</a>
9.3	Latsche Anteil Alm / Alpiner Rasen	<a href="#">2009</a>
9.4	Latsche Anteil offener Boden	<a href="#">2009</a>
	Latsche Anteil Schatten	<a href="#">2009</a>
<b>10</b>	<b>Auswertungen Alm / Alpiner Rasen</b>	
10.1	Alm Überschildung mit Bäumen	<a href="#">2009</a>
10.2	Alm Überschildung mit Latsche	<a href="#">2009</a>
10.3	Alm Anteil Alm / Alpiner Rasen	<a href="#">2009</a>
10.4	Alm Anteil offener Boden	<a href="#">2009</a>
10.5	Alm Anteil Schatten	<a href="#">2009</a>
<b>11</b>	<b>Auswertung Fels</b>	
11.1	Fels Überschildung mit Bäumen	<a href="#">2009</a>
11.2	Fels Überschildung mit Latsche	<a href="#">2009</a>
11.3	Fels Anteil Alm / Alpiner Rasen	<a href="#">2009</a>
11.4	Fels Anteil offener Boden	<a href="#">2009</a>
11.5	Fels Anteil Schatten	<a href="#">2009</a>
<b>12</b>	<b>Auswertung Schutt</b>	
12.1	Schutt Überschildung mit Bäumen	<a href="#">2009</a>
12.2	Schutt Überschildung mit Latsche	<a href="#">2009</a>
12.3	Schutt Anteil Alm / Alpiner Rasen	<a href="#">2009</a>
12.4	Schutt Anteil offener Boden	<a href="#">2009</a>
12.5	Schutt Anteil Schatten	<a href="#">2009</a>
<b>13</b>	<b>Auswertung der Überschildung/Anteile</b>	
13.1	Überschildung mit Bäumen	<a href="#">2009</a>
13.2	Überschildung mit Latsche	<a href="#">2009</a>
13.3	Anteil Alm / Alpiner Rasen	<a href="#">2009</a>
13.4	Anteil offener Boden	<a href="#">2009</a>
13.5	Anteil Schatten	<a href="#">2009</a>
<b>14</b>	<b>Auswertung der Dynamik</b>	
14.1	Besondere Dynamik	<a href="#">2009</a>
14.2	Kommentar Besondere Dynamik	<a href="#">2009</a>

## 7.4.2 Interpretationshandbuch

Das im Rahmen dieser Arbeit erstellte Interpretationshandbuch mit sämtlichen Bildbeispielen ist (in der aktuellen Fassung zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit) als PDF-Dokument beigelegt.

## 7.4.3 Interpretationsumgebung

Die für die Interpretation der Stichprobendatensätze aus den Jahren 1963/64, sowie 2009 eingesetzte Interpretationsumgebung ist der Arbeit als ArcGIS-Kartendokument beigelegt.

## 7.4.4 Geodatenbank

Neben dem Kartendokument ist natürlich auch die gesamte Geodatenbank Teil des digitalen Anhangs. Die Geodatenbank enthält die folgenden Feature-Klassen:

- Höhengichtlinien: Isohypsen im Abstand von 20 bzw. 100 Höhenmeter für das gesamte Untersuchungsgebiet
- Interpretierte Stichprobenpunkte aus dem Jahr 1963/64 sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise
- Interpretierte Stichprobenpunkte aus dem Jahr 2009 sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise
- Leere Stichprobenpunkte für die erste Wiederholungsinterpretation sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise
- Interpretierte Trainingspunkte aus dem Jahr 2009 sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise
- Leere Trainingspunkte sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise
- Interpretierte Stichprobenpunkte der Testinterpretation
- Leere Stichprobenpunkte der Testinterpretation (siehe Kapitel 3.4.4: Testinterpretation), sowie die dazugehörigen Stichprobenflächen und Referenzkreise

## 7.4.5 FME-Workbench Prozesse zur deskriptiven Auswertung

Auf dem Datenträger sind jene Prozesse, die für die Aggregation und Auswertung der Stichprobendaten erstellt wurden, beigelegt.