

Autorin: Sarah Wack

Fernerkundungsbasierte Vegetationsanalyse im Gesäuse

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

in der Studienrichtung Umweltsystemwissenschaften - Geographie

eingereicht an der

Universität Graz

Umwelt-, Regional- und Bildungswissenschaftliche Fakultät

Institut für Geographie und Raumforschung

Betreuerin: Manuela Hirschmugl, Ass.-Prof. Dr.rer.nat.

2023

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wird das Ziel verfolgt, aus einem veralteten Landnutzungsdatensatz mittels aktueller Satellitendaten eine aktuelle Landbedeckungs- und Landnutzungsassifikation für das Gebiet des Nationalparks Gesäuse zu erstellen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Landbedeckungsklassifikation erfolgreich durchgeführt werden kann und die Ergebnisse eine hohe Genauigkeit aufweisen. Allerdings gestaltet sich die Klassifikation der Landnutzung herausfordernder und ungenauer. Es wird deutlich, dass eine präzise Landbedeckungsklassifikation von großer Bedeutung ist und wertvolle Unterstützung für die Identifizierung von Veränderungen der Vegetation oder der Regionalplanung bieten kann.

Im 1. Kapitel wird ein Überblick über das Gebiet des Gesäuses sowie seine Standortfaktoren gegeben. Anschließend werden in Kapitel 2 die verwendeten Fernerkundungsdaten und die CC-Habitatp Kartierung näher beschrieben. Im nächsten Kapitel 3 wird die Methode zur Klassifikation erläutert. Die Ergebnisse der Landnutzungs- und Landbedeckungsklassifikationen werden in Kapitel 4 präsentiert und zunächst in Kapitel 5 visuell evaluiert und anschließend in Kapitel 6 quantitativ anhand einer Fehlermatrix geprüft. Die Qualität der Klassifikationen wird dabei kritisch hinterfragt, um die Zuverlässigkeit der gewonnenen Ergebnisse zu gewährleisten.

Abstract

This bachelor's thesis aims to create an up-to-date land cover and land use classification for the area of the Gesäuse National Park from an outdated land use dataset using current satellite data. The results demonstrate that the land cover classification can be successfully executed with high accuracy results. However, classifying land use proves to be more challenging and less precise. It becomes evident that an accurate land cover classification is of significant importance and can provide valuable support in identifying changes in vegetation or regional planning.

Chapter 1 provides an overview of the Gesäuse area and its location factors. Following, Chapter 2 examines the description of the remote sensing data used and the CC-Habitatp mapping. In Chapter 3, the classification methodology is explained. The results of the land use and land cover classifications are presented in Chapter 4, visually evaluated in Chapter 5, and quantitatively assessed using an error matrix in Chapter 6. The quality of the classifications is critically examined to ensure the reliability of the obtained results.

Inhaltsverzeichnis

<i>Einleitung</i>	7
1 <i>Nationalpark Gesäuse</i>	14
1.1 Geschichte	14
1.2 Geologie	15
1.3 Klima.....	16
1.4 Vegetationstypen	17
2 <i>Verwendete Daten</i>	18
2.1 Basisklassifikation: Habitalp Kartierungen von 1954, 2003 und 2013.....	18
2.2 Satellitenbilddaten	19
3 <i>Methoden</i>	21
3.1 Analyse der Basisklassifikationen	21
3.2 Klassifikation	22
3.3 Landbedeckungsklassifikation.....	22
3.4 Erstellung der Trainingspunkte für die Landbedeckungsklassifikation.....	23
3.5 Klassifikation der Landbedeckung im ImpactTool	24
3.6 Landnutzungsklassifikation.....	25
4 <i>Ergebnisse</i>	26
4.1 Landbedeckungsklassifikation	27
4.2 Landnutzungsklassifikation.....	28
5 <i>Visuelle Evaluierung der Klassifikationsergebnisse</i>	29
5.1 Ergebnis der Landbedeckungsklassifikation	29
5.2 Ergebnis der Landnutzungsklassifikation.....	33
5.3 Vergleich der Veränderungen	38
6 <i>Quantitative Qualitätskontrolle</i>	44
6.1 Genauigkeit der Landbedeckung.....	45
6.2 Genauigkeit der Landnutzung	47
7 <i>Fazit & Ausblick</i>	50
<i>Quellen</i>	53
<i>Anhang</i>	55

Abbildungen

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung QGIS)	14
Abbildung 2: CC-Habitatp Shapefile der Polygone (eigene Darstellung QGIS).....	19
Abbildung 3: Sentinel-2 Datengrundlage (eigene Darstellung QGIS).....	20
Abbildung 4: Flächenanteile der Überkategorien (eigene Darstellung).....	21
Abbildung 5: Impact Tool von Joanneum Research	22
Abbildung 6: Polygone dissolved nach Landbedeckung (eigene Darstellung QGIS)	23
Abbildung 7: Trainingspunkte Landbedeckungsklassifikation (eigene Darstellung QGIS)	24
Abbildung 8: Trainingspunkte der Landnutzungsklassifikation (eigen Darstellung QGIS)	25
Abbildung 9: Landbedeckungsklassifikation (eigene Darstellung QGIS)	27
Abbildung 10: Landnutzung-Klassifikation (eigene Darstellung QGIS).....	28
Abbildung 11: Analyseausschnitte (eigene Darstellung in QGIS).....	29
Abbildung 12: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 1 (eigene Darstellung QGIS)	30
Abbildung 13: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 2 (eigene Darstellung QGIS)	31
Abbildung 14: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 3 (eigene Darstellung QGIS)	32
Abbildung 15: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 4 (eigene Darstellung QGIS)	33
Abbildung 16: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 1 (eigene Darstellung QGIS)	34
Abbildung 17: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 2 (eigene Darstellung QGIS))	35
Abbildung 18: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 3 (eigene Darstellung QGIS)	36
Abbildung 19: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 4 (eigene Darstellung QGIS)	37
Abbildung 20: Übersicht Veränderungen (eigene Darstellung QGIS)	38
Abbildung 21: Veränderung 1 (eigene Darstellung QGIS).....	39
Abbildung 22: Veränderung 2 (eigene Darstellung QGIS).....	40
Abbildung 23: Veränderung 3 (eigene Darstellung QGIS).....	41
Abbildung 24: Veränderung 4 (eigene Darstellung QGIS).....	42
Abbildung 25: Verifikationspunkte (eigene Darstellung QGIS)	44
Abbildung 26: Verteilung der Punkte, Landbedeckungsklassifikation Klassen: 1 (Wald), 2 (Wiesen), 3 (Versiegelt), 4 (Gewässer), 5 (Rohboden).....	45
Abbildung 27: Fehlermatrix für die Landbedeckungsklassifikation Klassen: 1 (Wald), 2 (Wiesen), 3 (Versiegelt), 4 (Gewässer), 5 (Rohboden).....	46
Abbildung 28: Verteilung der Punkte, Landnutzungsklassifikation.....	47
Abbildung 29: Fehlermatrix für die Landnutzungsklassifikation	48

Tabellen

Tabelle 1: CC-Habitatp Klassen und Polygone	55
Tabelle 2: Landbedeckungsklassen	58
Tabelle 3: Landnutzungsklassen.....	61

Einleitung

Die vorliegende Bachelorarbeit "Fenerkundungsbasierte Vegetationsanalyse im Gesäuse" untersucht die Verwendbarkeit von Fernerkundungsdaten zur Aktualisierung einer Landnutzungs- und Landbedeckungs-Klassifikation im Gebiet des NationalparkGesäuse. Diese Klassifikationen sind wichtig, um umfassende Informationen über die räumliche Verteilung und den Zustand der Vegetation zu erhalten, ohne vor Ort aufwendige Kartierungen durchführen zu müssen.

In diesem Projekt wurden zwei verschiedene Arten der Klassifikation durchgeführt: die Landnutzungsklassifikation und die Landbedeckungsklassifikation.

Die Landnutzungsklassifikation bezieht sich darauf, wie die Menschen das Land nutzen, also welche menschlichen Aktivitäten dort stattfinden. Diese Klassifikation gibt Aufschluss darüber, wie die verschiedenen Flächen von den Menschen genutzt werden und welche Funktionen sie erfüllen. Die Landbedeckungsklassifikation hingegen beschreibt, welche natürlichen und künstlichen Elemente die Oberfläche des Landes bedecken, unabhängig von der menschlichen Nutzung. Diese Klassifikation gibt Informationen darüber, wie die Landschaft strukturiert ist (vgl. Löffler et. al., 2005, S.217).

Die Fernerkundung ermöglicht es, große Gebiete effizient zu erfassen und gezielte Analysen durchzuführen. Mithilfe von Satellitenbildern, wie dem aktuellen Sentinel-2 Satellitenbild, können hochauflösende und multispektrale Daten gewonnen werden, die eine detaillierte Analyse der Vegetation und Landbedeckung ermöglichen.

Derzeitiger Stand der Technik sind:

- Felderhebungen
- Visuelle 3D Luftbildinterpretationen
- Visuelle 2D Orthophotoauswertungen
- Automatisierte Klassifikationen

Veränderungsdetektion

Nach Hauenstein & Haller (2013) wurde in der CC-Habitatp Veränderungsdetektion ein visueller Vergleich von 2 Stereoluftbildern verglichen. Die Veränderungserkennung ist der Prozess, Unterschiede im Zustand eines Objekts zu identifizieren, indem es zu verschiedenen Zeitpunkten beobachtet wird. Die grundlegende Annahme bei der Verwendung von

Fernerkundungsdaten für die Veränderungserkennung ist, dass Veränderungen in der Landbedeckung zu Veränderungen in den Strahlungswerten führen müssen (Singh, 1989).

Nach den CC-Habitatp Grundsätzen wird ein Objekt geteilt, wenn es nicht als gesamtes von einer Veränderung betroffen wird und haben Schwellenwerte für Veränderungen. Diese Veränderung wird rechnerisch aus 2 Zuständen erfasst. In komplexen Situationen werden die Grenzen nachgebessert für eine geometrische Übersichtlichkeit. Für diese Methode müssen die Polygone jeweils individuell evaluiert werden. Sonst leidet die Zuverlässigkeit der Inventur darunter (vgl. Hauenstein & Haller, 2013, S. 138).

Die unüberwachte Veränderungserkennung in der Fernerkundung ist ein Ansatz, bei dem Veränderungen in den Daten identifiziert werden, ohne dass im Voraus bekannte Informationen über die zu untersuchenden Gebiete benötigt werden. Dies ermöglicht die Entdeckung von unerwarteten Veränderungen. Vorteile sind die Flexibilität bei der Anwendung auf verschiedene Szenarien und die Fähigkeit, unbekannte Veränderungen zu identifizieren. Nachteile sind jedoch, dass sie anfällig für Fehlalarme sein können, da nicht immer klar ist, was als Veränderung zu klassifizieren ist, und sie möglicherweise nicht so präzise sind wie überwachte Methoden, die auf bekannten Trainingsdaten basieren (vgl. Ban & Yousif 2016, S.26-29).

Die überwachte Veränderungserkennung in der Fernerkundung erfordert vorab bekannte Informationen über die zu überwachenden Gebiete, um Veränderungen zu identifizieren. Dies ermöglicht eine präzisere Klassifizierung von Veränderungen im Vergleich zur unüberwachten Methode. Vorteile sind eine höhere Genauigkeit und die Fähigkeit, zwischen verschiedenen Veränderungstypen zu unterscheiden. Allerdings erfordert sie qualitativ hochwertige Trainingsdaten und ist weniger flexibel für das Erkennen unerwarteter Veränderungen. Zudem kann sie teurer und zeitaufwändiger sein, da sie eine umfassende Datenvorbereitung und -klassifizierung erfordert. Dennoch ist die überwachte Veränderungserkennung in vielen Anwendungen aufgrund ihrer Präzision und Zuverlässigkeit unverzichtbar (vgl. Ban & Yousif 2016, S.26-29).

Feldbegehungen

Die Methode der Begehung zur Erkennung von Veränderungen im Gelände beinhaltet das physische Untersuchen und Dokumentieren von Orten, um Veränderungen in der Umgebung festzustellen. Diese Methode bietet eine hohe Genauigkeit und ermöglicht es, Veränderungen, die nicht auf Satelliten- oder Luftbildern erkennbar sind, zu identifizieren. Ein

Nachteil dieser Methode ist jedoch der hohe Zeitaufwand und die Kosten, die mit der Geländearbeit verbunden sind. Außerdem ist sie begrenzt in ihrer Skalierbarkeit für große Gebiete. Die Genauigkeit kann auch von der Erfahrung des Begehenden abhängen (vgl. Mueller et al, 2014). Die CC-HABITALP Methode erforderte unter anderem eine gemeinsame Feldbegehung zur Qualitätssicherung.

Visuelle 2D-Luftbildinterpretation

Überwiegend werden die HABITALP-Kartierung in 2D gespeichert (vgl. Hauenstein & Haller, 2013, S. 138). Von der Perspektive der Fernerkundung aus betrachtet, lässt sich die 2D-Bildinterpretation in zwei Stufen unterscheiden. Die erste Stufe befasst sich mit dem Erkennen von Objekten wie Straßen, Flüssen, Feldern, usw. Dieser Prozess basiert hauptsächlich auf den Erfahrungen, die ein Beobachter in Bezug auf die visuelle Wahrnehmung mitbringt. Anschließend folgt die zweite Stufe, das eigentliche Interpretieren. In dieser Phase werden Schlussfolgerungen aufgrund der erkannten Objekte gezogen. Hierbei steht das bewusste Verknüpfen mit fachspezifischen Kenntnissen und Erfahrungen im Vordergrund (Albertz, 2007, S. 122ff). Es werden Differenzen aufgrund ihrer Oberfläche getroffen (Riekert 1992, S. 25). Dazu gehören unter anderem die Helligkeit der Fläche, die Form der Objekte, ihre Größe, die Textur und die relative Lage der Objekte (Albertz, 2007, S. 122ff) (Kappas, 2012, S. 216).

Der Arbeitsablauf bei der visuellen Bildinterpretation sieht folgendermaßen aus: Zunächst ist die Beschaffung der erforderlichen Unterlagen notwendig. Das bedeutet, dass die entsprechenden Luft- oder Satellitenbilder bereitgestellt werden müssen. Anschließend erfolgt die Vorinterpretation, bei der man sich mit dem Bildmaterial vertraut macht und eine grobe Gliederung vornehmen kann. Danach folgt die Detailinterpretation, die den Kern der Arbeit ausmacht. Hierbei geht es darum, alle Flächen zu erkennen, die während der Vorinterpretation als wichtig erachtet wurden. Oft wird im nächsten Schritt eine Geländeerkundung durchgeführt, um unsichere Interpretationsergebnisse zu überprüfen. Schließlich erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in Form einer Karte mit einer Legende (Albertz, 2007, S. 139f).

Die visuelle Bildinterpretation bietet den großen Vorteil einer schnellen Bearbeitung und einer umfassenden räumlichen Darstellung, die durch das Bild erfasst werden kann. Selbst bei kleinem Maßstab bleibt die Wiedergabe nahezu unverfälscht. Ein weiterer Pluspunkt ist die multispektrale und multitemporale Auflösung, was bedeutet, dass das Gebiet unter verschiedenen Bedingungen oder nach speziellen Ereignissen wie Überschwemmungen oder

Bränden betrachtet werden kann. Bei hochauflösenden Satellitendaten ist zwar eine große räumliche Auflösung gegeben, aber die Detailschärfe fehlt (vgl. Löffler, Honecker, Stabel, 2005, S.188).

Die visuelle Bildinterpretation liefert nur selten und unter sehr günstigen Bedingungen absolut zuverlässige Ergebnisse. Eine Treffsicherheit von 80% wird oft schon als zufriedenstellend angesehen, variiert jedoch je nach Region. Zusätzlich gibt es keine allgemein gültigen Interpretationsregeln. Die räumlichen Strukturen und Zusammenhänge lassen sich nur selten auf andere Regionen übertragen (vgl. Löffler et. al., 2005, S.128).

Visuelle 3D-Luftbildinterpretationen

In den letzten Jahren hat die Verwendung der dritten Dimension in der Visualisierung zunehmend an Bedeutung gewonnen. 3D-Visualisierungen in Geoinformationssystemen finden häufig Anwendung in der Modellierung von Gebäuden oder geologische Daten (vgl. Coors & Zipf, 2005, S.7). Auch für die HABIALP-Kartierung können digitale Höhenmodelle (DTM) und digitale Höhenmodelle (DOM) erstellt werden. Die 3D- Daten können erstellt werden, indem die 2D-Daten konvertiert werden mit einem DTM oder DOM. Mit einem DTM und DOM können des Weiteren aus der Differenz Baumkronenmodelle berechnen lassen (vgl. Hauenstein & Haller 2013, S. 138).

Ein großer Vorteil besteht darin, dass die computererzeugten Objekte möglichst naturgetreu dargestellt werden können. Der Betrachter benötigt keine Legende, um die Objekte zu verstehen oder zu interpretieren. Darüber hinaus lassen sich 3D-Beziehungen in räumlichen Darstellungen besser visualisieren als in 2D-Darstellungen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Darstellung von Gelände. In einer 2D-Karte muss die Geländeform oft durch Schattierung oder Höhenlinien simuliert werden, während in einer 3D-Darstellung die Geländeform realistisch und naturgetreu visualisiert werden kann. Es ist auch möglich, computergenerierte Visualisierungen der realen Welt mit zusätzlichen Informationen zu ergänzen. Auf diese Weise können 3D-Szenen erstellt werden, die in der Realität nicht sichtbar sind (vgl. Hilbring, 2005, S.261f).

3D-Visualisierungen haben jedoch auch ihre Nachteile. Sie erfordern einen intensiven Rechenaufwand (vgl. Hauenstein & Haller 2013, S. 138). Außerdem benötigt der Betrachter einer 3D-Welt auf dem Bildschirm trotz seiner Erfahrungen mit der realen Welt Vorwissen, um Tiefenhinweise in der 3D-Darstellung wie Veredlungen oder farbliche Schattierungen richtig

zu interpretieren. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Beschaffung von 3D-Daten teuer ist (vgl. Hilbring, 2005, S.261f).

Automatisierte Klassifikation

Im Gelände weisen die Objekte und Vegetationstypen charakteristische spektrale Signaturen auf. Diese Unterschiede in den Spektren können stark variieren und sind nicht in allen Wellenlängenbereichen gleich ausgeprägt. Zum Beispiel sind Pflanzen in den sichtbaren Wellenlängen aufgrund der starken Absorption von Strahlen schwer voneinander zu unterscheiden. Im nahen Infrarot hingegen sind die Unterschiede sehr deutlich erkennbar. Die automatische Klassifikation basiert auf der Analyse von diesen spektralen Signaturen, die aus den Reflexionen gewonnen werden. Dabei werden Daten, die verschiedene spektrale Eigenschaften aufweisen, in vordefinierte Klassen eingeteilt (vgl. Löffler et. al., 2005, S.139). So findet auch die automatisierte Klassifikation im Rahmen dieser Arbeit ihre Anwendung. (vgl. Hauenstein & Haller 2013, S. 138).

Je nach dem Ziel der Auswertung, der Art der verfügbaren Daten und dem Wissen über das bearbeitete Gebiet werden individuelle Klassen und Klassifikationssysteme angewendet. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass diese Klassen spezifisch auf das jeweilige Problem zugeschnitten sind. Allerdings hat dieser Ansatz den großen Nachteil, dass die Klassifikationen nicht immer miteinander vergleichbar oder in einheitliche Systeme überführt werden können. Es gibt kein allgemein gültiges Klassifikationsschema. Darüber hinaus stellen kontinuierliche Übergänge der Vegetation und abstrakte Vegetationstypen eine Herausforderung dar (Kuhn, 1999, S. 6).

Ein weiteres Problem bei jeder Klassifikation ist die begrenzte Übereinstimmung zwischen Landbedeckung und Landnutzung, da Fernerkundungssysteme nur die Flächenbedeckung erfassen können. Zum Beispiel, wenn eine Gruppe von Bäumen erkannt wird, ist es schwierig zu sagen, ob es sich um eine Streuobstwiese, Ackerland oder Buschland handelt (vgl. Löffler et. al., 2005, S.217).

Die automatische Klassifikation ist besonders geeignet für flache Agrarlandschaften oder einfach strukturierte, artenarme Vegetationsformationen wie beispielsweise boreale Nadelwälder. Schwieriger wird es in komplexeren Landschaften mit ausgeprägtem Relief und kleinen, stark variierenden Merkmalen. Ein großer Vorteil dieser Methode liegt in der Schnelligkeit und Objektivität der spektralen Datenanalyse (vgl. Löffler et. al., 2005, S.211).

Der Nationalpark Gesäuse hat im Rahmen des Projekts Habitap mit begonnen, seine naturräumliche Ausstattung mittels visueller 3D Luftbildinterpretation zu erheben. Dabei wurden 2013 im Rahmen des Change-Check of the Habitats of the Alps (CC-Habitap) Kartierungen der Habitattypen erstellt. Diese dienen als Grundlage für die Klassifikationen dieser Arbeit (vgl. Hauenstein & Haller 2013, S.2f).

Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und mögliche Fehlerquellen sowie Limitationen der Klassifikationen betrachtet. Ein Ausblick auf potenzielle Verbesserungen und weitere Forschungsfelder schließt die Arbeit ab. Die Ziele der vorliegende Bachelorarbeit sind somit:

- 1) zu einem verbesserten Verständnis der Vegetationsverteilung im Gesäuse bei
- 2) Ausloten der Möglichkeiten der Übertragbarkeit von veralteten Informationen für das Training von neuen Klassifikationen
- 3) und kann als Grundlage für weitere Untersuchungen und Maßnahmen im Bereich der Landschaftsplanung und des Naturschutzes dienen.

In der wissenschaftlichen Qualitätskontrolle von räumlichen Daten spielen drei Begriffe eine wichtige Rolle: Produzentengenauigkeit (Producer Accuracy), Anwendergenauigkeit (User Accuracy) und der Kappa-Koeffizient. Diese Konzepte werden häufig in der Bewertung von Klassifikationen verwendet, um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu beurteilen.

Produzentengenauigkeit (Commission) misst, wie gut die Klassifikation die tatsächlichen Gegebenheiten in der Landschaft aus Sicht des Datenproduzenten widerspiegelt. Es zeigt, wie viele tatsächlich vorhandene Objekte einer bestimmten Klasse korrekt in diese Klasse eingeordnet wurden (vgl. Congalton & Green, 2008, S. 134).

Anwendergenauigkeit (Omission) hingegen bewertet die Genauigkeit der Klassifikation aus Sicht des Nutzers der Daten. Es gibt an, wie viele der in einer Klasse identifizierten Objekte tatsächlich dieser Klasse entsprechen. Es misst, wie gut der Nutzer mit Hilfe der Klassifikation die tatsächlichen Objekte einer Klasse wiederfinden kann (vgl. Congalton & Green 2008, S. 134).

Der Kappa-Koeffizient ist ein statistisches Maß, das die Übereinstimmung zwischen der tatsächlichen Klassifikation und der vorhergesagten Klassifikation bewertet. Er berücksichtigt sowohl die Produzentengenauigkeit als auch die Anwendergenauigkeit und korrigiert

mögliche Zufallstreffer. Der Kappa-Koeffizient variiert zwischen -1 und 1, wobei ein Wert nahe 1 eine hohe Übereinstimmung und somit eine gute Genauigkeit der Klassifikation anzeigt. (vgl. Congalton, R. G., & Green, K. (2008), S. 154ff).

1 Nationalpark Gesäuse

Im Jahr 2002 wurde der Nationalpark Gesäuse in der Steiermark gegründet. Das Gebiet des Nationalparks Gesäuse umfasst etwa 120 km² und liegt in der Obersteiermark westlich des Ennskniees.

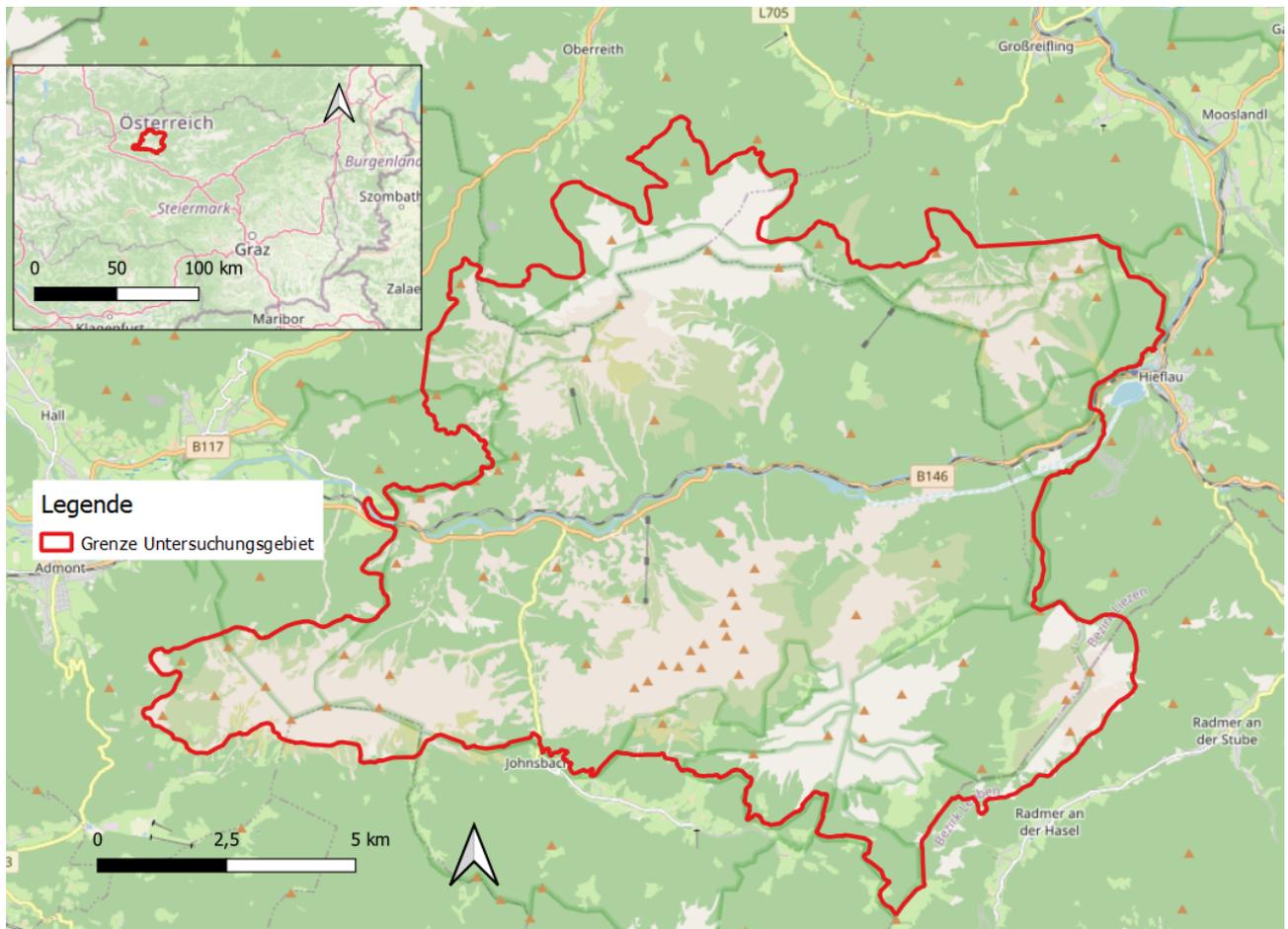


Abbildung 1: Untersuchungsgebiet (eigene Darstellung QGIS)

Er umfasst die Ortschaften Admont, Hieflau, Johnsbach, Landl, St. Gallen und Weng. Die Höhenlage erstreckt sich von 490 m bis zu 2369 m am Hochtort.

1.1 Geschichte

Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Steiermärkische Landesforste gegründet, um der Bedrohung durch unkontrollierte Bodenspekulationen entgegenzuwirken. Schon 1913 wurde die Schaffung eines Naturschutzparks in den Niederen Tauern diskutiert. Im Jahr 1958 erklärte die Steiermärkische Landesregierung durch eine Verordnung das Gesäuse und das Ennstal sowie das Wildalpener Salztal zu den ersten Naturschutzgebieten des Landes. Erst 1977

erging ein Landtagsbeschluss, der die Schaffung des Nationalparks in Gang setzte. Im Herbst 1997 formierte sich ein Proponentenkomitee das den Vorläufer des Vereins Nationalpark Gesäuse bildete. Im Jahr 1998 wurde die Schutzgemeinschaft Nationalpark Gesäuse gegründet, die gegen die Errichtung des Nationalparks opponierte. Am 12. März 2002 erfolgte schließlich der entscheidende Beschluss des Nationalparkgesetzes im Landtag (vgl. Riemelmoser, 2003).

1.2 Geologie

Die Geologie des Nationalparks Gesäuse ist vielfältig. Die Landschaft wird vor allem durch Kalke und Dolomiten geprägt. Das Gesäuse ist Teil der Nördlichen Kalkalpen, die sich vom Alpenrhein im Westen bis zum Wiener Becken im Osten erstrecken. Diese Gesteine entstanden vor etwa 250 bis 200 Millionen Jahren in einem seichten, tropischen Urmeer namens Tethys während des Triaszeitalters (vgl. Veit 2002, S. 30). Vor etwa 200 bis 145 Millionen Jahren, zerfiel der damalige Superkontinent Pangea in die heutigen Kontinente, und die Alpen begannen sich aufzubauen (vgl. Veit 2002, S. 30). Es schoben sich Teile der Kalkalpen übereinander, während an anderen Stellen die ursprüngliche Unterlage aus der Grauwackenzone mit Schiefergesteinen durchbrochen wurde (vgl. Nationalpark Gesäuse, Geologie). Kalk und Dolomit sind die dominanten Gesteine in den Kalkalpen. Kalkstein entstand aus den Überresten von Meeresorganismen. Fossilien wie die Kuhtritt-Muscheln ("Megalodonten") bezeugen die einstige Meeresbedeckung. Die Bildung einer Kalkbank dauert in etwa 25.000 Jahre. Heute ist diese Kalkbank komprimiert etwa 4 Meter dick (vgl. Kren, 2002, S. 16). Die Ennstaler Alpen zeichnen sich durch ihre Gipfel aus festem Kalkgestein aus, die eine Höhe von über 2.000 Metern erreichen. Im Norden hingegen dominieren hauptsächlich Dolomitgesteine, weshalb diese Berge den Kalkvoralpen zugeordnet werden. An der südlichen Grenze der Ennstaler Alpen erstrecken sich sanftere Hügel der Grauwackenzone (vgl. Nationalpark Gesäuse, Geologie).

Die geologische Entwicklung des Gesäuses ist durch die Eiszeiten geprägt. Vor ca. 2,4 Millionen Jahren führen globale Klimaveränderungen zur Ausbildung einer Eiszeit in den Ostalpen und Gletscher formten das Gesäuse. Heute sind die geologischen Prozesse noch immer aktiv: Die langsame Hebung der Alpen und das Einschneiden der Enns durch Frost und Eis beeinflussen die Landschaft weiterhin (vgl. Pfiffner, 2015).

Die Geologie spielt eine wesentliche Rolle bei der Klassifikation von Landschaften und der Beeinflussung der Vegetation. Die geologische Zusammensetzung eines Gebiets beeinflusst direkt die Art des Bodens, der dort vorkommt, und somit auch die Artenvielfalt der Pflanzen, die in diesem Gebiet gedeihen können.

1.3 Klima

Das Gesäuse ist durch ein markantes Relief gekennzeichnet, mit einer Reliefenergie von über 1500 m. Dadurch gibt es in den engen Tälern nur wenig Windbewegung. Dies führt zu einem besonderen Klima, das Schluchtklima genannt wird. Hier sind die Temperaturunterschiede gedämpft, es gibt weniger Schwankungen zwischen Tag und Nacht, starke Unterschiede in der Sonneneinstrahlung und eine längere Schneebedeckung (vgl. Land Steiermark, Klimaregion Gesäuse).

Besonders im Winter sind die Höchsttemperaturen im Gesäuse deutlich niedriger als im Ennstal. Die Temperaturminima nehmen Richtung Hieflau im Osten zu. Hieflau ist daher weniger von Frost betroffen als andere Gegenden. Im Jänner beträgt die Durchschnittstemperatur in Hieflau $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, während sie in Admont bei $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt. Hieflau hat 102,4 Frosttage und Admont 137,9. Auch im Jahresdurchschnitt ist Hieflau begünstigt und weist ein Jahresmittel von $7,7^{\circ}\text{C}$ vor. Admont hingegen hat ein Jahresmittel von $6,6^{\circ}\text{C}$. Was die Niederschläge betrifft, nehmen diese von West nach Ost zu. Admont erhält 1162,1 mm und Hieflau 1583,8 mm Niederschlag. Das steile Relief in Verbindung mit häufigen starken Schneefällen erhöht die Lawinengefahr, insbesondere im östlichen Teil. Das Johnsbachtal verhält sich thermisch etwas anders als das beschriebene Schluchtklima, mit stärkeren Temperaturunterschieden im Tagesverlauf und besserer Durchlüftung im Vergleich zum Gesäuse. Die Gefahr von Inversionen ist geringer als im Ennstal, aber dennoch höher als im Gesäuse (vgl. Land Steiermark, Klimaregion Gesäuse).

Das Klima spielt eine entscheidende Rolle bei der Klassifikation von Regionen und hat direkte Auswirkungen auf die Vegetation. Klimatische Faktoren wie Temperatur, Niederschlag, Sonneneinstrahlung und Luftfeuchtigkeit beeinflussen maßgeblich die Artenvielfalt und die Verteilung von Pflanzen in verschiedenen geografischen Regionen.

1.4 Vegetationstypen

Der Nationalpark Gesäuse in der Steiermark beherbergt eine große Vielfalt an Vegetationstypen. Die verschiedenen Höhenlagen, Klimabedingungen und geologischen Gegebenheiten im Park schaffen eine abwechslungsreiche und artenreiche Flora. In den tiefen Schluchten und schattigen Bereichen wachsen Nadelwälder, die von Tannen und Fichten dominiert werden. Diese Wälder bieten wichtige Lebensräume für zahlreiche Tierarten wie Hirsche, Gämsen und Auerhähne. In den etwas höher gelegenen Regionen des Nationalparks findet man artenreiche Bergmischwälder, die von Buchen, Ahornen und Tannen geprägt sind. Diese Mischwälder bieten ein Zuhause für viele Vogelarten und Kleinsäuger. Besonders auf den kalkhaltigen Böden finden sich seltene Orchideenarten, wie zum Beispiel das Frauenschuh, das den Nationalpark Gesäuse zu einem wichtigen Schutzgebiet für bedrohte Pflanzenarten macht. Die alpinen Gipfel und kargen Hochflächen bieten Lebensraum für anspruchsvolle Pflanzen, die sich den rauen Bedingungen anpassen können. Hier blühen seltene alpine Blumen wie das Edelweiß und die Alpenanemone. Die Vielfalt der Vegetationstypen im Nationalpark Gesäuse trägt zur Biodiversität der Region bei. Der Schutz und die Erhaltung dieser Lebensräume sind von großer Bedeutung, um die Flora und Fauna des Gesäuses zu bewahren (vgl. Nationalpark Gesäuse, Vegetation).

Verschiedene Vegetationstypen weisen unterschiedliche Reflexionseigenschaften auf, die sich im Satellitenbild deutlich darstellen lassen. Dies ist von entscheidender Bedeutung für die Klassifikation. Die spektrale Signatur der Vegetation hängt von Faktoren wie Blattgrün, Wassergehalt und Dichte der Pflanzen ab (vgl. Smith, 2010).

2 Verwendete Daten

In dieser Arbeit wurden folgende Datensätze verwendet:

2.1 Basisklassifikation: Habitatalp Kartierungen von 1954, 2003 und 2013

Für das Projekt wurden Daten aus der "Change-Check of the Habitats of the Alps" (CC-Habitatalp) Kartierung von 2013 verwendet. CC-Habitatalp ist ein multidisziplinäres Forschungsprojekt, das sich auf die Untersuchung und Überwachung der Veränderungen in den Lebensräumen der Alpen konzentriert. Dieses Projekt zielt darauf ab, Umweltauswirkungen und Veränderungen in den alpinen Habitaten, einschließlich der Auswirkungen des Klimawandels, zu dokumentieren und zu analysieren (vgl. Hauensteiner & Haller, 2013, S.2)

CC-Habitatalp verwendet verschiedene wissenschaftliche Ansätze, darunter die Fernerkundung mittels Satellitendaten, geografische Informationssysteme (GIS) und ökologische Untersuchungen vor Ort, um ein umfassendes Verständnis der Veränderungen in den Alpenhabitaten zu gewinnen. Die Ergebnisse dieses Projekts sind von großer Bedeutung für den Naturschutz, die nachhaltige Landnutzung und die Entwicklung von Strategien zur Anpassung an den Klimawandel in der alpinen Region. Die Forschungsergebnisse von CC-Habitatalp tragen dazu bei, wertvolle Informationen für den Erhalt der alpinen Umwelt und die Entwicklung von Politikmaßnahmen und Managementstrategien bereitzustellen, um die ökologische Integrität dieses einzigartigen Gebiets zu bewahren (vgl. Data.gv.at 2022).

Dabei wurden die Veränderungen im Zeitraum 2003 bis 2013 erfasst nach der Methode CCHABITALP. Das Hauptziel dieses Projektes bestand in der flächendeckenden Erfassung von Veränderungen für den genannten Zeitraum. Für die Kartierung wurden Luftbilder der Jahre 1954, 2003 und 2013 verwendet. Die Klassifizierung der Polygone wurde anhand des "HABITALP Interpretation Key HIK-CD 2.1.1" vorgenommen, wodurch zwischen 107 Habitat Klassen unterschieden wurde (vgl. Hauensteiner & Haller, 2013, S.2).

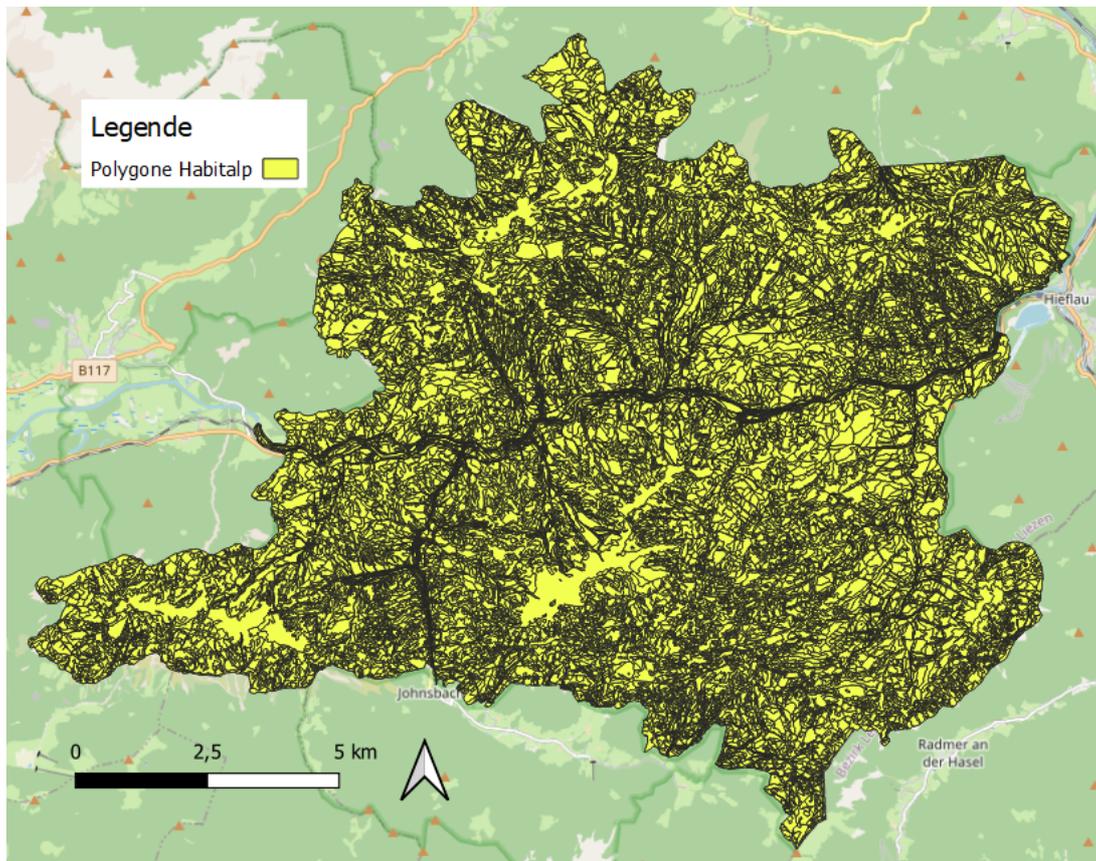


Abbildung 2: CC-Habitatp Shapefile der Polygone (eigene Darstellung QGIS)

2.2 Satellitenbilddaten

Für die Klassifikationen wurden Sentinel-2 Daten verwendet. Diese spektralen Auflösungen repräsentieren unterschiedliche Bereiche des elektromagnetischen Spektrums, von sichtbarem Licht bis zum Infrarot. Die Sentinel-2 Satelliten verfügen über eine Multispektralkamera, die in verschiedenen Bändern Bilder aufnimmt. Diese Bänder umfassen das sichtbare Lichtspektrum (z.B., blau, grün, rot) sowie das nahinfrarote und kurzwellige Infrarotspektrum. Diese spektralen Auflösungen ermöglichen die Unterscheidung und Analyse verschiedener Umweltmerkmale wie Bodenbedeckung und Vegetation (vgl. Albertz, 2007, S.18).

Die Sentinel-2 Daten sind eine wichtige Ressource für die Umweltüberwachung und Fernerkundung. Sie werden im Rahmen des Copernicus-Programms der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) bereitgestellt und sind für die wissenschaftliche Gemeinschaft und die Öffentlichkeit frei verfügbar. Die Sentinel-2 Satelliten liefern hochauflösende Bilder von der Erdoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 10 bis 60 Metern, je nach Band.

Diese Daten sind äußerst nützlich für die Untersuchung von Landnutzungsänderungen und vielem mehr (vgl. ESA, 2021).

Die geometrische bzw. räumliche Auflösung ist das Maß für den Abstand getrennt wahrnehmbarer Objekte. Je mehr Pixel aus dem eine Region zusammengesetzt ist, desto höher ist die geometrische Auflösung (vgl. Albertz, 2007, S. 84) Das zu bearbeitende Satellitenbild hat eine geometrische Auflösung von 10m (nach Metadaten in Erdas). Nach den allgemeinen Spezifikationen hat Sentinel-2 eine geometrische Auflösung von 10m/20m/60m (vgl. ESA, 2021).

Bei einer räumlichen Auflösung von 10x10m liegt die Spektrale Auflösung bei 4 Kanälen im sichtbaren Licht und im nahen Infrarot. Band 2, 3, 4 und 8 (Blau, Rot, Grün, nahes Infrarot). Die Kamera hat 13 Spektralkanäle zwischen 443 nm bis 2190nm. Bei einer geometrischen Auflösung von 20x20m liegt die Spektrale Auflösung bei 6 Kanälen im sichtbaren Rot und nahem Infrarot und bei 60x60m werden 3 Kanäle aufgenommen zur Atmosphärenkorrektur (vgl. ESA 2021) Die radiometrische Auflösung liegt bei Blau (~493 nm), Grün (560 nm), Rot (~833nm), nahes Infrarot (~833nm). Die radiometrische Auflösung wird in 12 bit aufgenommen und in 16 bit konvertiert (vgl. ESA 2021)

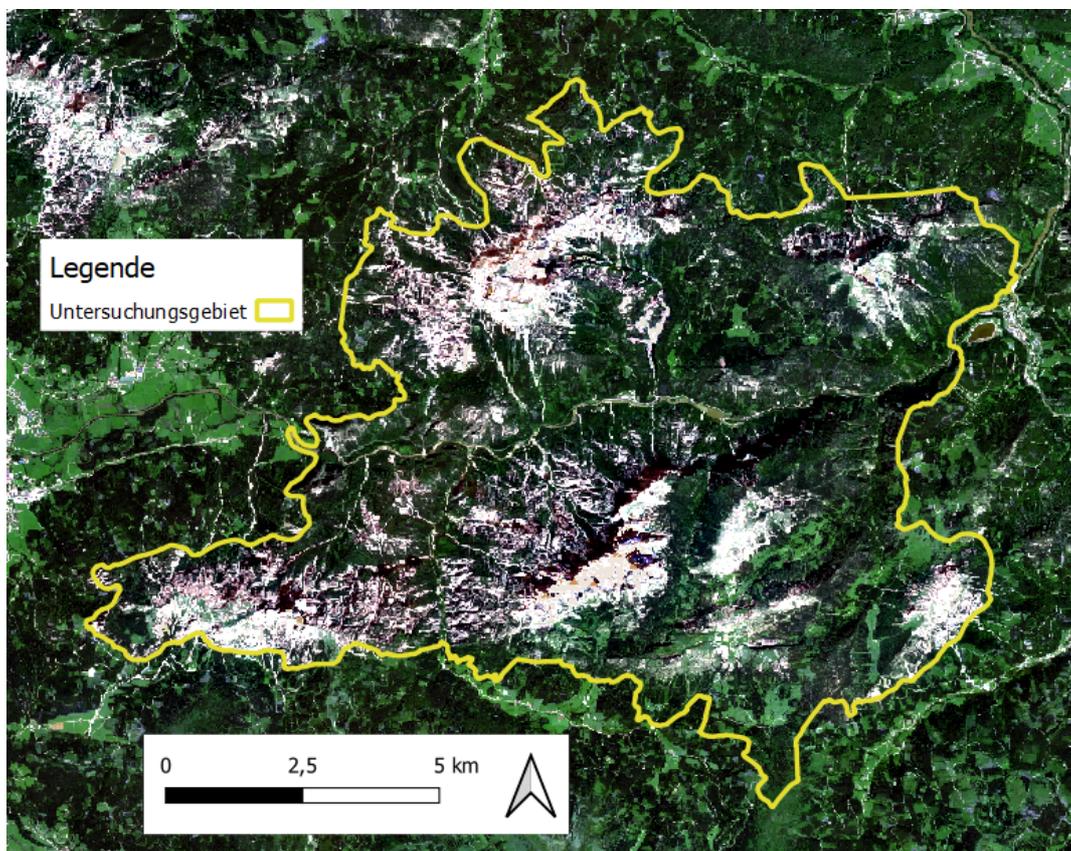


Abbildung 3: Sentinel-2 Datengrundlage (eigene Darstellung QGIS)

3 Methoden

3.1 Analyse der Basisklassifikationen

Die übernommenen Daten in Form des Shapefiles enthalten somit 30.241 Polygone für 2013 mit den entsprechenden 107 Klassen sind im Anhang zu finden unter Tabelle 1.

Die Klassen können in 7 Überkategorien unterschieden werden. Im folgenden Diagramm kann der Flächenanteil der jeweiligen Kategorien abgelesen werden.

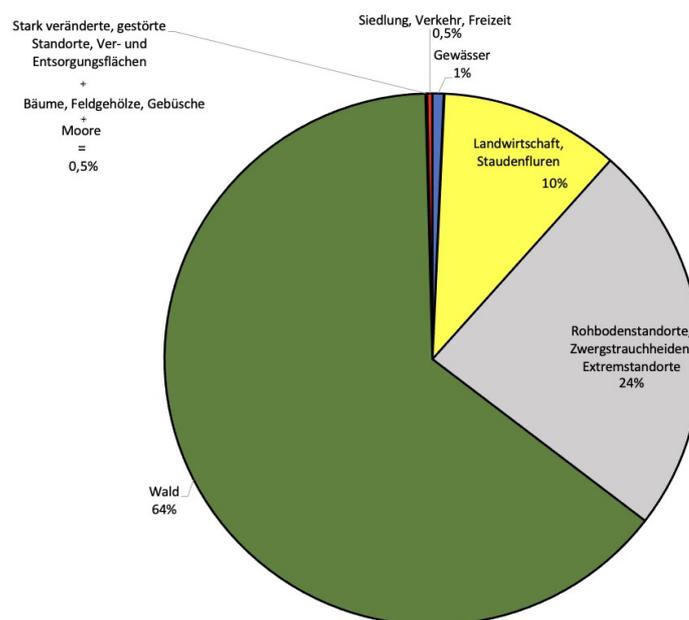


Abbildung 4: Flächenanteile der Überkategorien (eigene Darstellung)

Nach der Auswertung ergab sich, dass der größte Teil der Gesamtfläche von Wald eingenommen wird, nämlich 64%. Etwa ein Viertel der Fläche wird von Rohbodenstandorten, Zwergstrauchheiden und Extremstandorten beansprucht. Die Landwirtschaft und Staudenfluren repräsentieren 10% der Fläche. Gewässer bedecken lediglich 1% und Siedlung, Verkehr und Freizeit nur 0,5%. Moore, Bäume, Feldgehölz, Gebüsche sowie stark veränderte, gestörte Standorte und Ver- und Entsorgungsflächen nehmen zusammen ebenfalls 0,5% ein. Die Kategorie Gewässer umfasst eine Fläche von 103 Hektar (ha), während Moore nur 7,2 ha einnehmen. Die Landwirtschaft, einschließlich Staudenfluren, erstreckt sich über 1546 ha und nimmt ein. Die Kategorie Rohbodenstandorte, Zwergstrauchheiden und Extremstandorte beansprucht insgesamt 3698 ha. Bäume, Feldgehölz und Gebüsche nehmen mit lediglich 0,2

ha nur einen kleinen Raum in der Landschaft ein. Der Wald hingegen erstreckt sich über 9945 ha und ist damit eine der größten Landnutzungskategorien in diesem Gebiet. Stark veränderte, gestörte Standorte sowie Ver- und Entsorgungsflächen haben eine Gesamtfläche von 14 ha und sind vergleichsweise gering vertreten. Schließlich haben Siedlung, Verkehr und Freizeit eine Gesamtfläche von etwa 100 ha.

3.2 Klassifikation

Es werden Sentinel-2-Daten aus dem Jahr 202 verwendet und für die Klassifikation kommt das "Impact Tool" von JOANNEUM RESEARCH zum Einsatz.

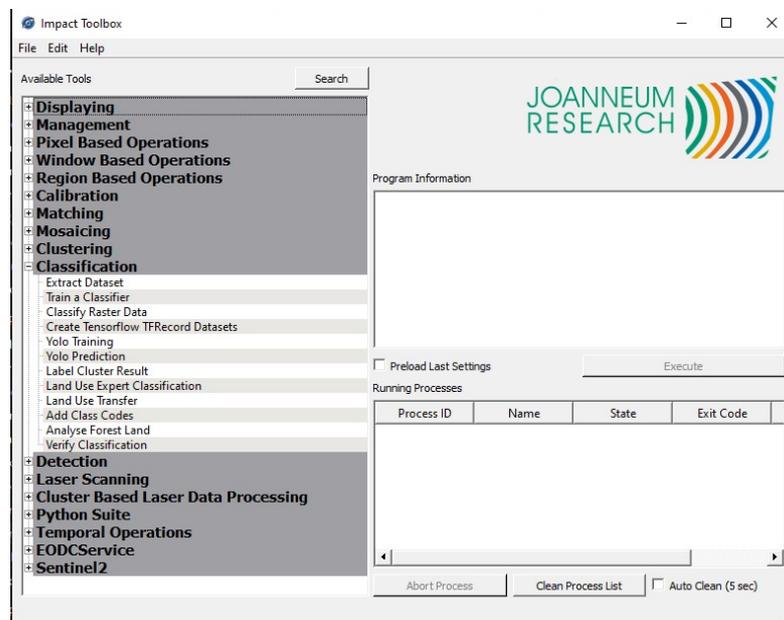


Abbildung 5: Impact Tool von Joanneum Research

3.3 Landbedeckungsklassifikation

Zuerst wurde für die Landbedeckungsklassifikation eine neue Tabelle in Excel erstellt, um die Landbedeckung den einzelnen Klassen der CC-Habitatp Kartierung zuzuordnen (siehe Tabelle 2 im Anhang). Die einzelnen Codes wurden einer der folgenden Kategorien zugeteilt: Wald (1), Landwirtschaft und Wiesen (2), Versiegelung (3), Gewässer (4), Rohboden (5). Anschließend wurde in ArcGISPro eine neue Spalte in der Attributtabelle erstellt, die die neuen Landbedeckung-Codes enthält.

3.4 Erstellung der Trainingspunkte für die Landbedeckungsklassifikation

Zunächst wurden im ArcGISPro Trainingspunkte erstellt, um nicht händische die Daten trainieren zu müssen. Dabei wurde das Shapefile der Polygone nach den Landbedeckungscodes in der neu angelegten Spalte der Attributtabelle aufgelöst.

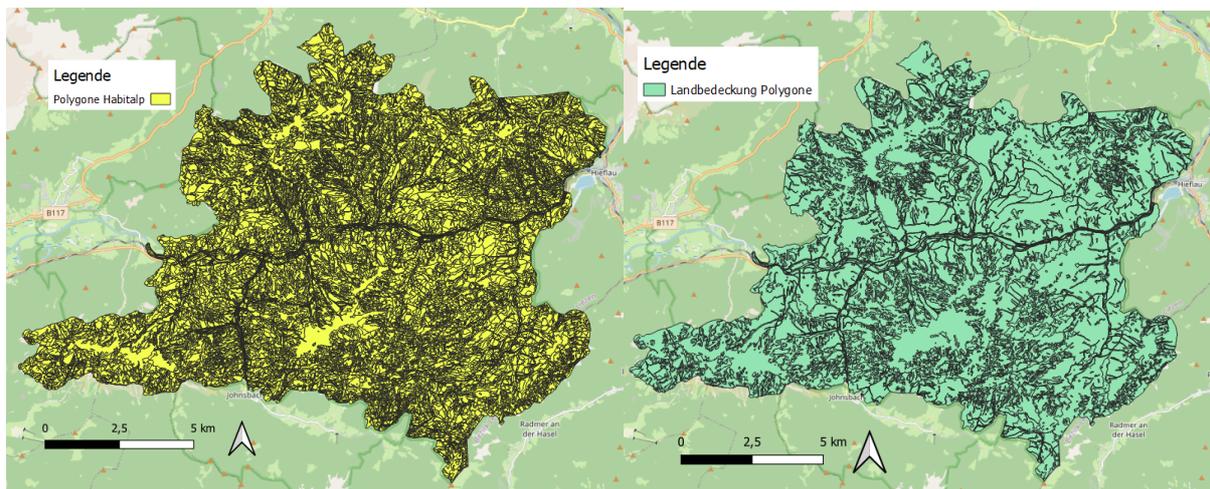


Abbildung 6: Polygone aufgelöst nach Landbedeckung (eigene Darstellung QGIS)

Durch das zusammenfassen der Polygone kann eine bessere Verteilung der Trainingspunkte erreicht werden. Anschließend wurde um jedes der Polygone ein 5 Meter breiter Buffer gelegt, um die Wahrscheinlichkeit zu verringern, dass Trainingspunkte auf Mischpixel fallen und einer falschen Klasse zugeordnet werden. Insgesamt wurden 1000 zufällige Trainingspunkte pro Klasse erstellt, wobei ein Mindestabstand von 10 Metern eingehalten wurde. Da zwischen 5 Landbedeckungsklassen unterschieden wird, ergibt sich eine Gesamtzahl von 5000 Trainingspunkten.

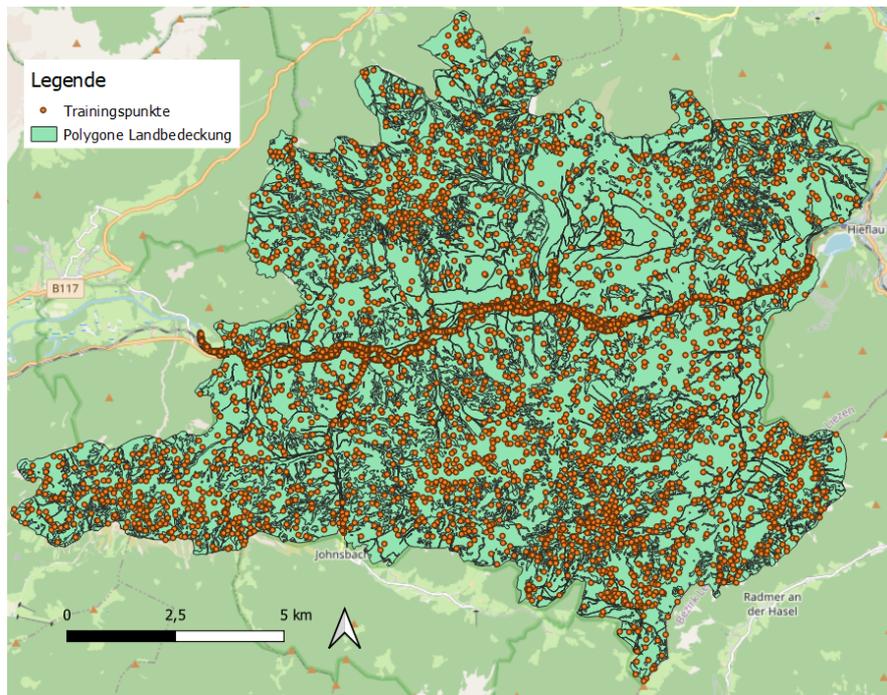


Abbildung 7: Trainingspunkte Landbedeckungsklassifikation (eigene Darstellung QGIS)

3.5 Klassifikation der Landbedeckung im ImpactTool

Im Impact Tool von Joanneum Research wurde zuerst das Tool „Extract Dataset“ angewendet. Dabei werden für Klassifikationszwecke geeignete Datensätze aus einem Stack von Rasterdaten extrahiert. Als Input Raster File wird die Sentinel-2 Datei ausgewählt, zum Prozessieren die Trainingspunkte als Mask- und Class Label Vector File gewählt und die angelegte Attributtabelle mit den Landbedeckungscodes bestimmt. Nach Abschluss dieses Arbeitsschrittes wurde eine .csv-Datei erstellt.

Diese Datei wird für den nächsten Schritt „Train a Classifier“ benötigt. Dabei wird ein Workflow geboten, der für ein bestimmtes Dataset einen Klassifikator trainiert. Die gerade erstellte .csv-Datei dient als Feature Data File. Als Klassifikatortyp wird der Random Forest Klassifikator angewendet. Eine .pkl-Datei ist der Output.

Abschließend wird die Raster Datei klassifiziert. Dazu wurde die Sentinel-2-Datei als Input Rasterdatei ausgewählt, der Klassifikatortyp „random forest classifier“ selektiert und die .pkl-Datei als Klassifikator Datei angegeben.

3.6 Landnutzungsklassifikation

Die Landnutzung Klassifikation wird ähnlich wie die Landbedeckung Klassifikation erstellt. Zuerst werden die vorhandenen Klassencodes von der Habitatp Kartierung angepasst, indem einige Klassen zusammengefasst und nach Priorität aussortiert werden. Diese Prioritäten wurden während einer Besprechung im Gesäuse festgelegt.

Durch das Zusammenlegen und Ausschließen einiger Klassen können nun 32 verschiedene Landnutzungsclassen für die Klassifikation unterschieden werden (siehe Tabelle 3 im Anhang). Im ArcGIS Pro wird eine Attributtabelle mit den neuen Landnutzungsclassencodes erstellt und das Shapefile der Polygone nach den neuen Attributen aufgelöst. Anschließend wird ein Buffer um die Polygone gelegt, und pro Klasse werden 500 Punkte mit einem Mindestabstand von 10 Metern und einer Random Verteilung erstellt. Aufgrund des Mindestabstands können bei 32 Klassen insgesamt 14.985 Punkte erzeugt werden.

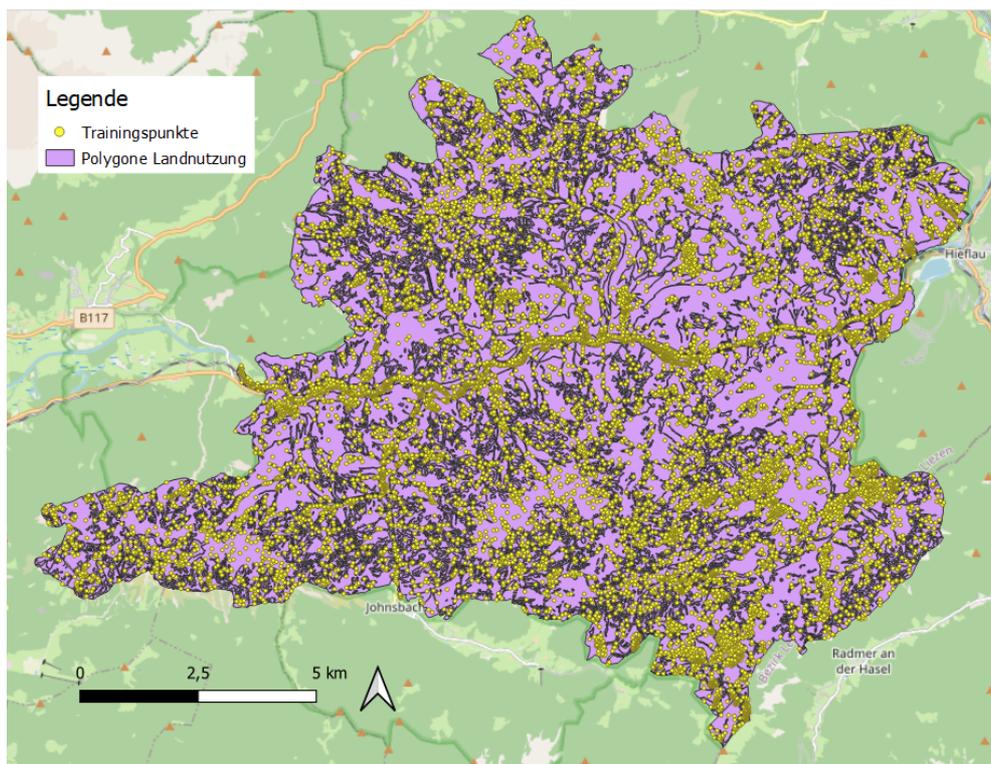


Abbildung 8: Trainingspunkte der Landnutzungsklassifikation (eigen Darstellung QGIS)

Die Schritte im Impact Tool sind identisch mit denen der Landbedeckungsklassifikation. Zunächst wird das Dataset extrahiert, dann wird ein Klassifikator trainiert, und schließlich werden die Rasterdaten klassifiziert.

4 Ergebnisse

Die Analyse der bestehenden Daten aus Tabelle 1 im Anhang dienen dazu, Prioritäten zu den Klassen zu setzen.

Es kann festgestellt werden, dass die Kategorien Baumholz (7014), Dickung (7012) und Fels (5800) als diejenigen mit den größten Gesamtflächen identifiziert werden können. Von diesen drei Kategorien nimmt Baumholz mit einer Fläche von 33 km² die größte Ausdehnung ein. Die Dickung und der Fels folgen mit je ungefähr 27 km². Die Dickung weist die meisten Polygone auf mit insgesamt 4840 Polygonen. Anschließend folgt das Baumholz mit 3793 Polygonen, gefolgt von montanen/subalpinen/alpinen Rasen, Wiese und Weide mit 2878 Polygonen. Die Kategorie Fels besitzt 2667 Polygone.

Die durchschnittliche Größe der Polygone in der Klasse Altbestand, Altersstadium/Reifestadium (7015) ist am größten, mit einer Fläche von 12.642 m². Darauf folgen die Kategorien Kronendach vielschichtig (7030), Fels (5800) und Baumholz, sowie Kronendach zweischichtig mit einer Flächengröße, die jeweils zwischen 8.500 m² und 11.500 m² liegt.

4.1 Landbedeckungsklassifikation

Das Ergebnis nach der Bearbeitung in ArcGISPro und anschließend im Impact Tool ist eine fertige Landbedeckungsklassifikation als .tif-Datei.

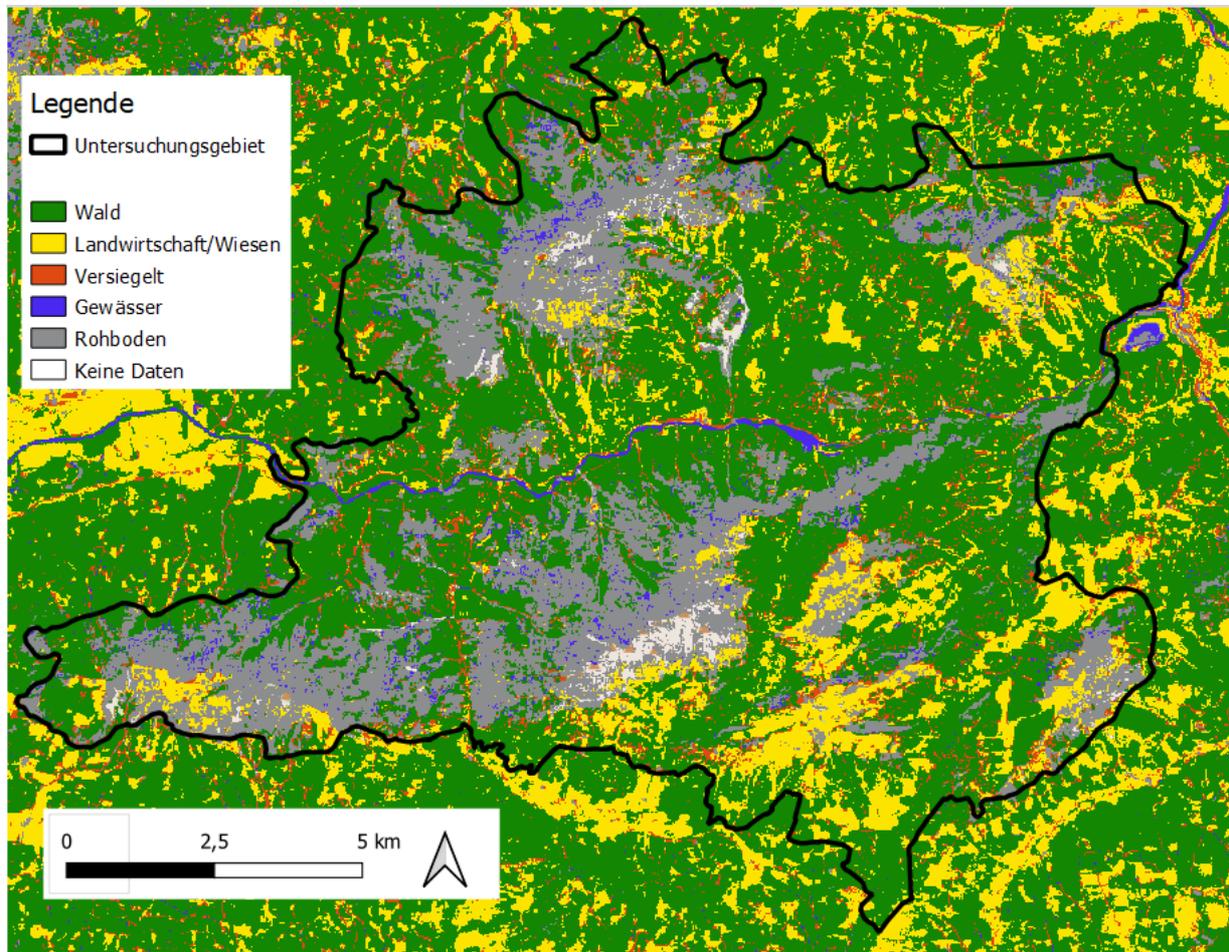
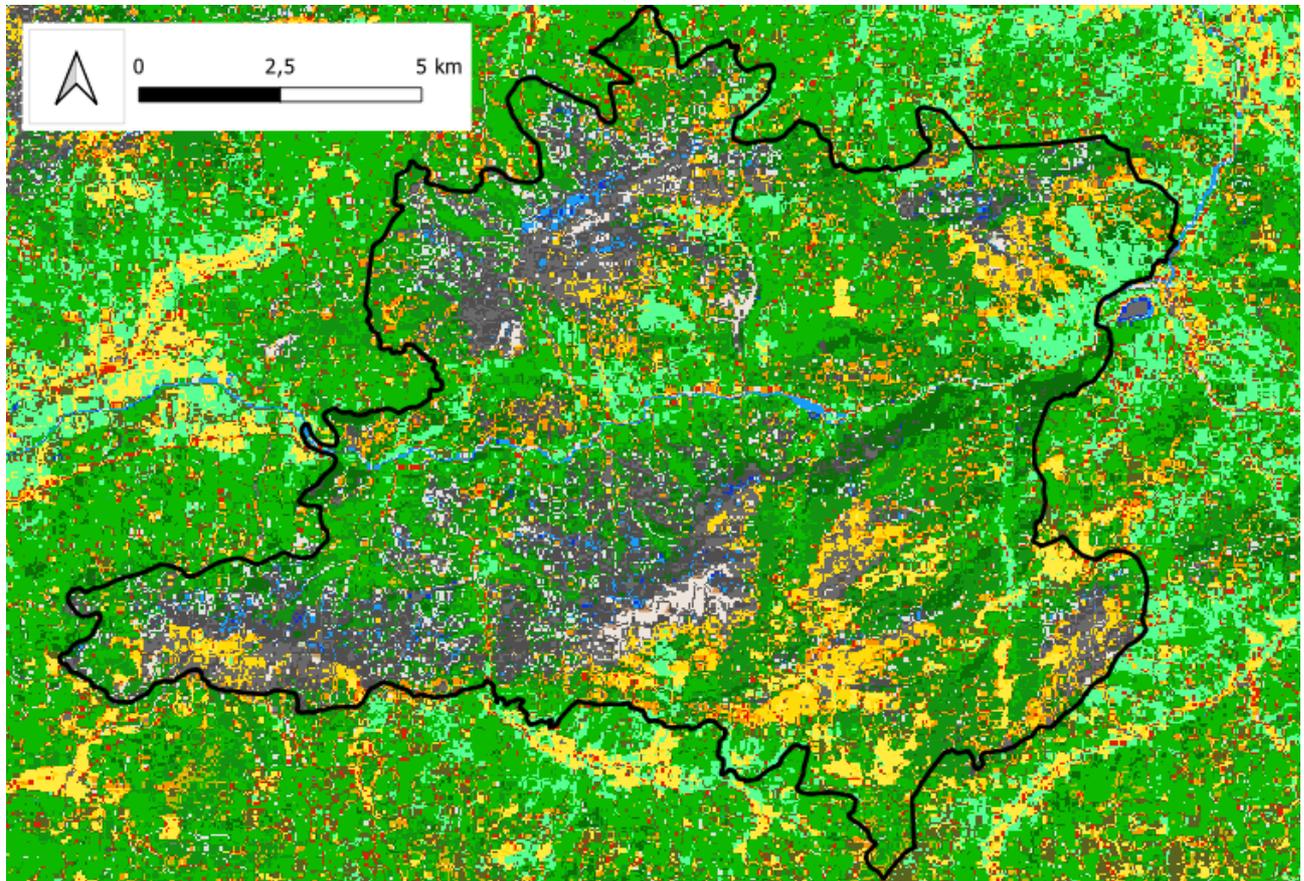


Abbildung 9: Landbedeckungsklassifikation (eigene Darstellung QGIS)

4.2 Landnutzungsklassifikation

Gleich wie die Landnutzungsklassifikation wird auch bei der Landnutzungsklassifikation eine .tiff-Datei erstellt.



Legende

Quellen	Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Jungwuchs, Dickung, Baumholz
Fließgewässer	Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Kronendach, zweischichtig
Altarm	Halbruderaler Saum, nass	Kronendach, vielschichtig
Stillgewässer	Kiesbank	Holzschlag
Hochmoor, Übergangsmoor	Erosionsfläche	Gebüschwald
Kleinseggen und Binsenbestand	Rinne/Runse	Versiegelt
Niedermoor, Durchströmungsmoor	Trockenmauser, Lesesteinmauer	Graben, Rinne, Runse
Grünland	Zwergstrauchheide	Geschiebesammler
montane/subalpine/alpine Rasen, Weide, Wiese	Schutt/Geröll	Wildgehege
Weidefläche stark verändert, Lägerflur	Fels	Flusssperre
	Feldgehölz, Baumgruppe	
		Untersuchungsgebiet

Abbildung 10: Landnutzungsklassifikation (eigene Darstellung QGIS)

5 Visuelle Evaluierung der Klassifikationsergebnisse

Die Ergebnisse der beiden Klassifikation wurden aufgrund von 4 Beispielen untersucht. Dabei wurden offensichtliche Veränderung aus dem Jahr 2013 bis heute anhand zweier Luftbilder von Gis Steiermark visuell interpretiert und mit den Klassifikationsergebnissen verglichen.

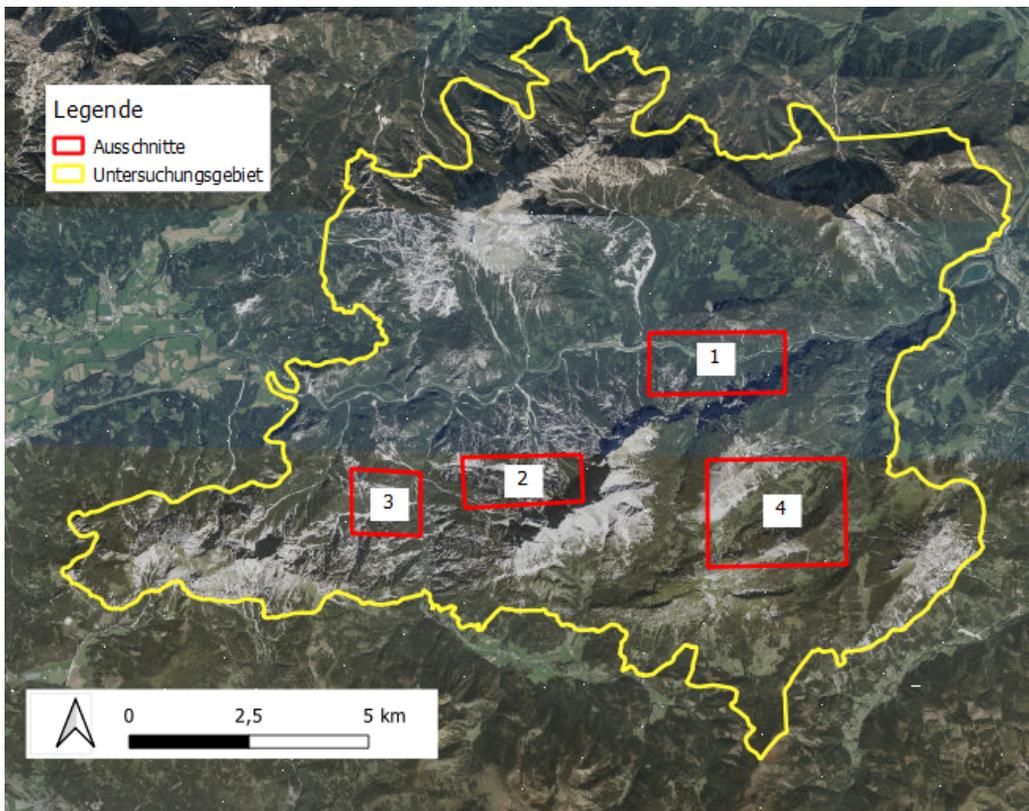


Abbildung 11: Analyseauschnitte (eigene Darstellung in QGIS)

Zur genauen Analyse und Betrachtung der Klassifikationsergebnisse wurden zunächst 4 Ausschnitte des Gesäuses ausgewählt. Anschließend wurden 4 weitere Gebiete identifiziert, in denen Veränderungen stattgefunden haben. Es wird untersucht, ob diese Veränderungen richtig erkannt und korrekt klassifiziert wurden.

5.1 Ergebnis der Landbedeckungsklassifikation

Auf den ersten Blick kann erkannt werden, dass die Klassifikation erfolgreich durchgeführt werden konnte. Der Verlauf des Wassers ist klar erkennbar, sowie die Lage der Felsen und der und versiegelten Oberflächen.

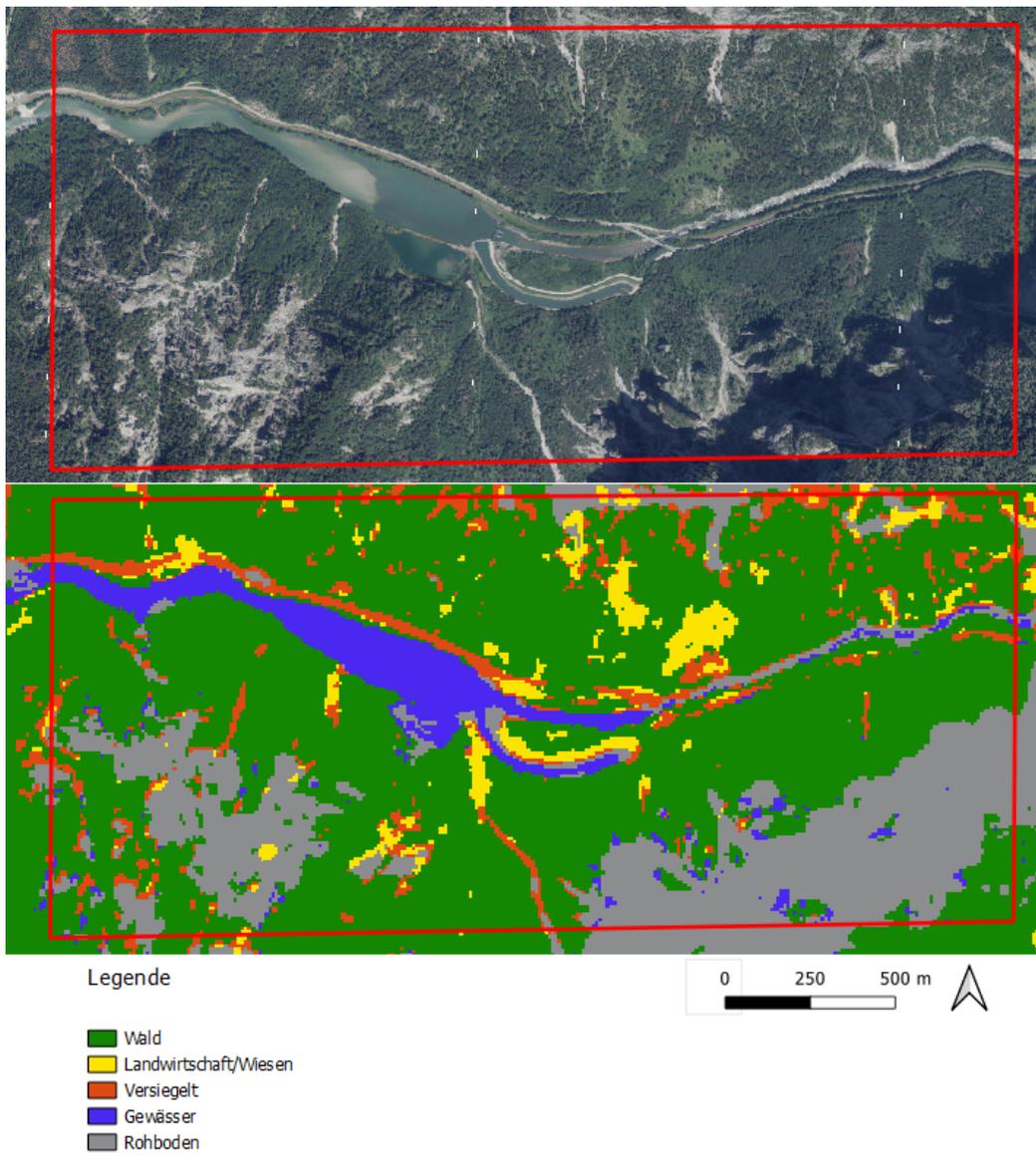


Abbildung 12: Landnutzungsclassifikation, Beispiel 1 (eigene Darstellung QGIS)

In diesem Ausschnitt (Abbildung 12) ist gut zu erkennen, dass der Verlauf des Gewässers recht genau dargestellt wurde. Im östlichen Bereich wird das Gewässer schmäler, und hier ist die Unterscheidung zwischen Rohboden und Gewässer nicht ganz so präzise gelungen, was an der Auflösung der Satellitendaten liegen könnte. Der Straßenverlauf nördlich des Gewässers konnte erfolgreich klassifiziert werden.

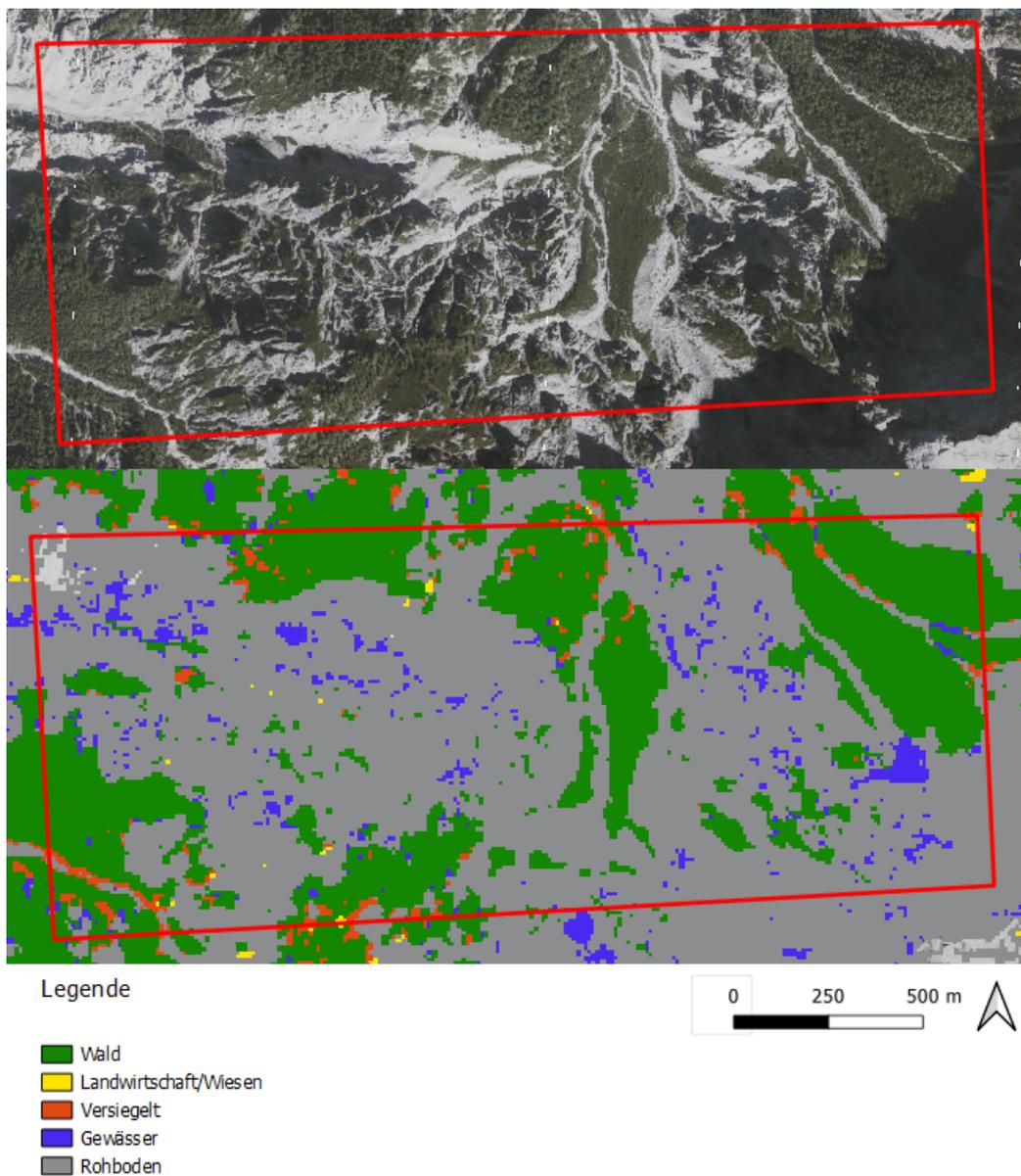
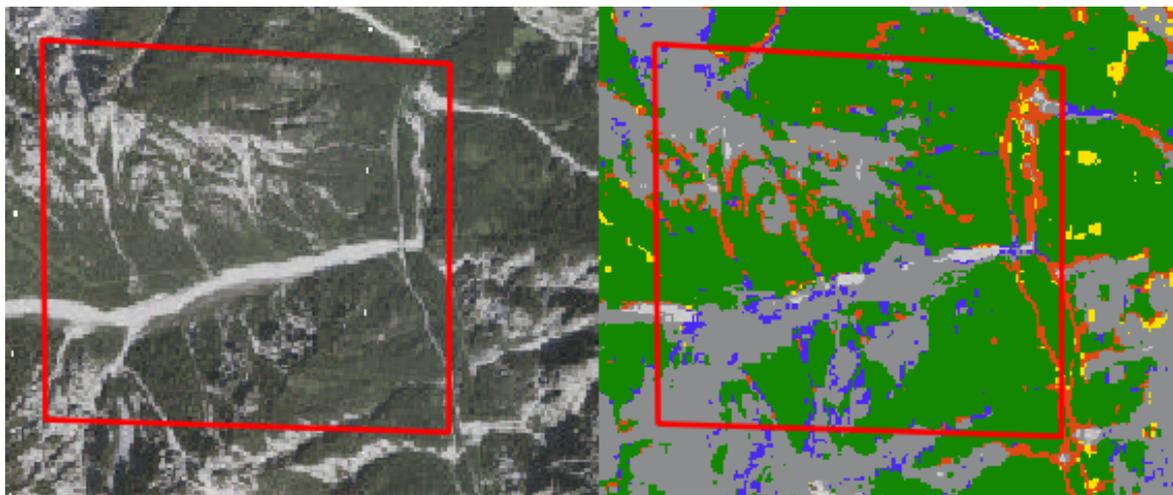


Abbildung 13: Landnutzungsclassifikation, Beispiel 2 (eigene Darstellung QGIS)

In Abbildung 13 ist auffällig, dass Wasser in Teilen des Rohbodens klassifiziert wurde. Das liegt daran, dass schattige Bereiche eine ähnliche Reflexion haben. Dadurch entstehen Flächen, die irrtümlich als Wasser identifiziert wurden.



Legende

- Wald
- Landwirtschaft/Wiesen
- Versiegelt
- Gewässer
- Rohboden

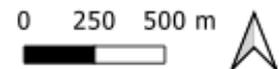


Abbildung 14: Landnutzungsclassifikation, Beispiel 3 (eigene Darstellung QGIS)

Die Straße (Abbildung 14) wird korrekt als versiegelte Fläche dargestellt, allerdings gibt es auch im Bereich des Rohbodens falsche Klassifizierungen als versiegelte Flächen. Dies liegt daran, dass diese beiden Flächentypen ähnlich reflektieren, wodurch es schwierig ist, sie voneinander zu unterscheiden.

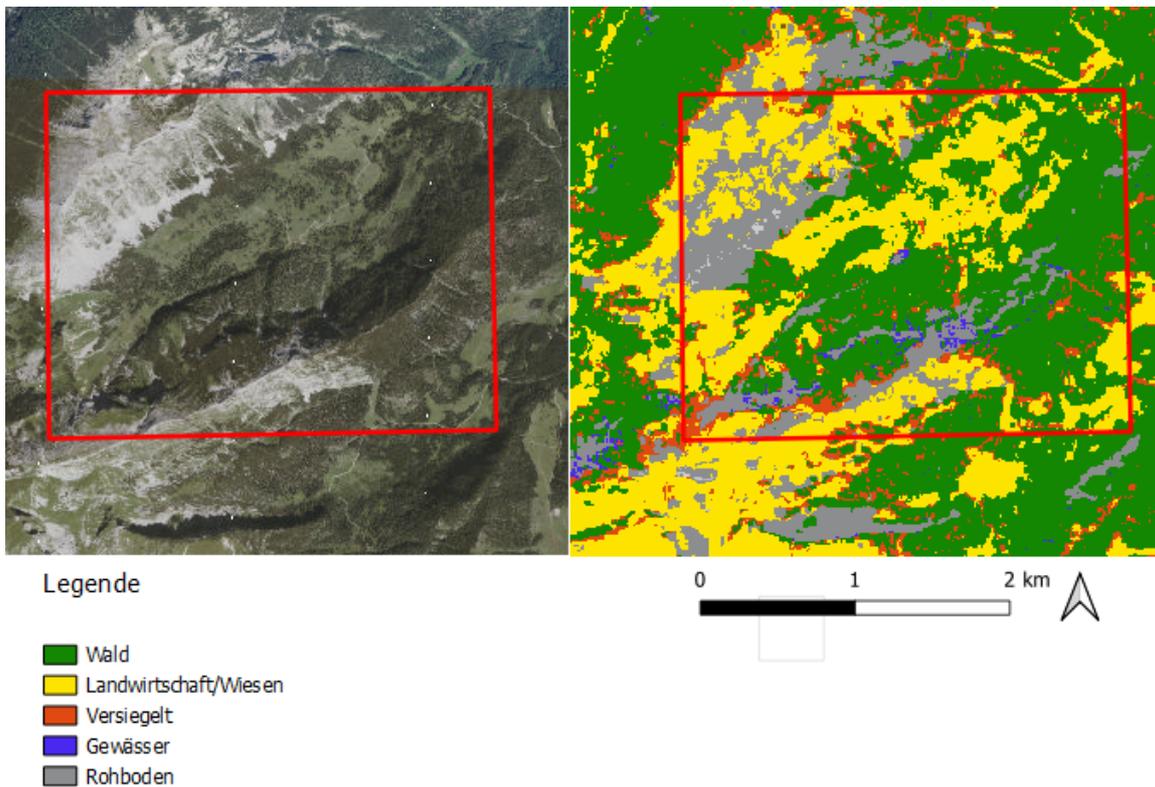
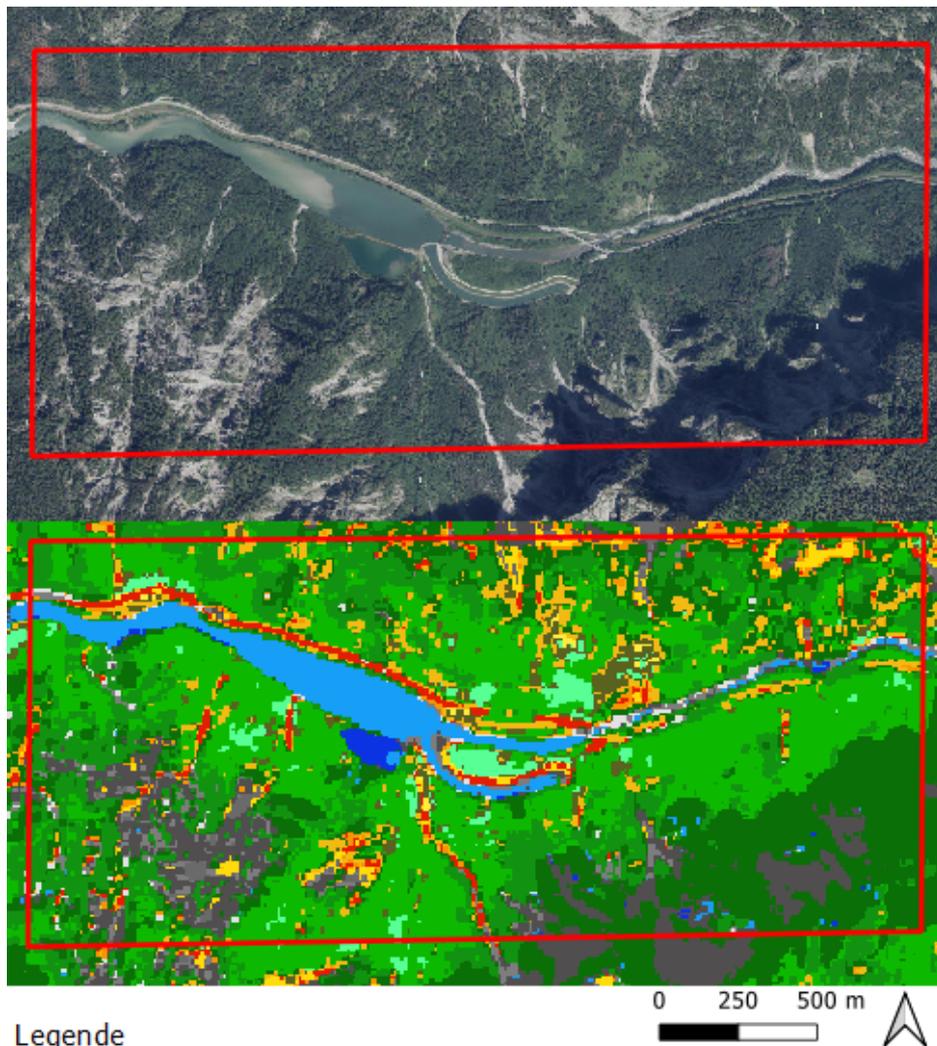


Abbildung 15: Landnutzungsclassifikation, Beispiel 4 (eigene Darstellung QGIS)

In Abbildung 15 ist deutlich erkennbar, dass die Unterscheidung zwischen Wald und Wiese recht gut gelingt. Allerdings gestaltet sich die Abgrenzung im Bereich des Rohbodens und der Wiese schwieriger, da diese Landbedeckungstypen oft fließend ineinander übergehen

5.2 Ergebnis der Landnutzungsclassifikation

Im Gegensatz zur Landbedeckungsclassifikation ist es hier auf den ersten Blick schwierig zu erkennen, wie erfolgreich die Klassifikation war, da es viele verschiedene Klassen gibt. Dennoch lässt sich sagen, dass das Wasser in Blautönen gut dargestellt wurde und dass das Fließgewässer vom Stillgewässer unterschieden werden konnte. Auch die Klassifizierung der Rohböden und Wälder wirkt gelungen.



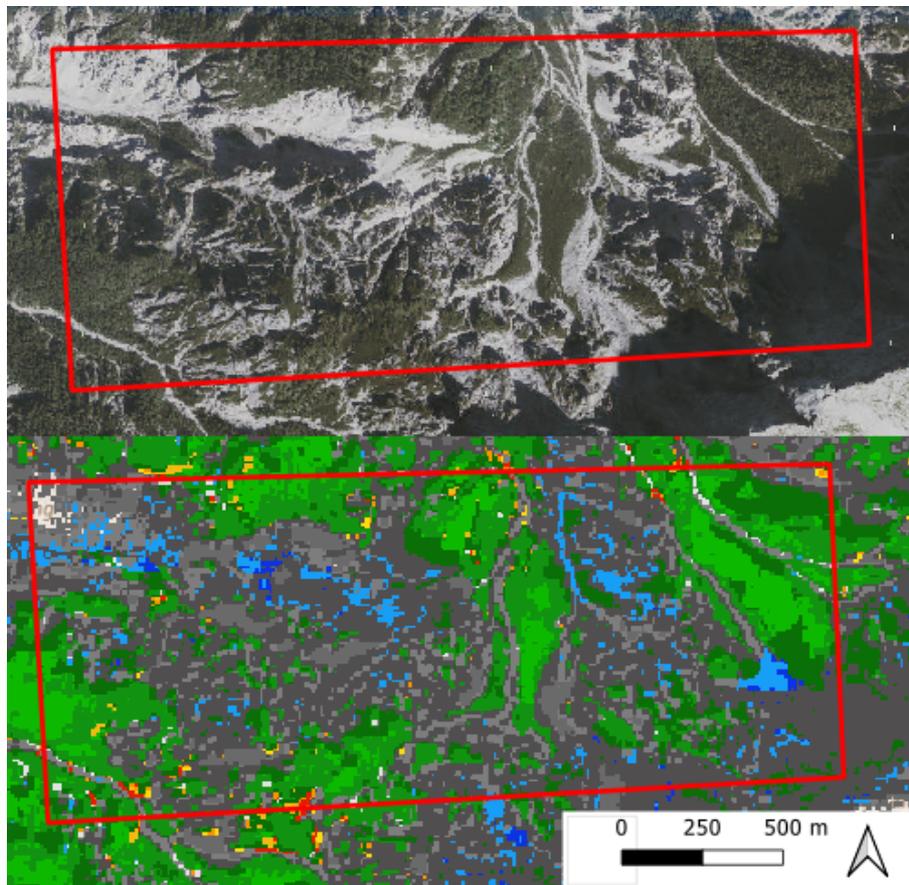
Legende

Quellen	Rinne/Runse
Fließgewässer	Trockenmauer, Lesesteinmauer
Altarm	Zwergstrauchheide
Stillgewässer	Schutt/Geröll
Hochmoor, Übergangsmoor	Fels
Kleinseggen und Binsenbestand	Feldgehölz, Baumgruppe
Niedermoor, Durchströmungsmoor	Jungwuchs, Dichtung, Baumholz
Grünland	Kronendach, zweischichtig
montane/subalpine/alpine Rasen, Weide, Wiese	Kronendach, vielschichtig
Weidefläche stark verändert, Lägerflur	Holzschlag
Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Gebüschwald
Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Versiegelt
Halbruderaler Saum, nass	Graben, Rinne, Runse
Kiesbank	Geschiebesammler
Erosionsfläche	Wildgehege
	Flusssperre

Abbildung 16: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 1 (eigene Darstellung QGIS)

In diesem Bereich ist das Fließgewässer deutlich in hellblau zu erkennen (Abbildung 16) und gut vom Stillgewässer abgegrenzt, das in dunklerem Blau dargestellt wird. Doch ähnlich wie

bei der Landbedeckungsklassifikation besteht auch hier bei den Rohböden und Wäldern das Problem, dass Gewässer fälschlicherweise klassifiziert werden, wie im nächsten Ausschnitt deutlich wird:

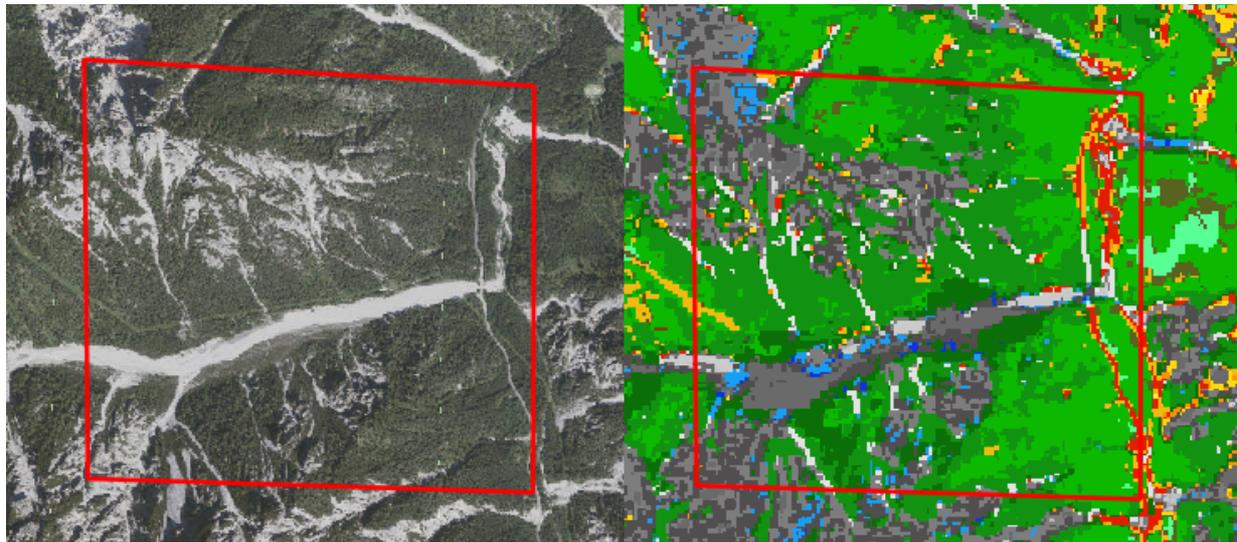


Legende

Quellen	Rinne/Runse
Fließgewässer	Trockenmauser, Lesesteinmauer
Altarm	Zwergstrauchheide
Stillgewässer	Schutt/Geröll
Hochmoor, Übergangsmoor	Fels
Kleinseggen und Binsenbestand	Feldgehölz, Baumgruppe
Niedermoor, Durchströmungsmoor	Jungwuchs, Dickung, Baumholz
Grünland	Kronendach, zweischichtig
montane/subalpine/alpine Rasen, Weide, Wiese	Kronendach, vielschichtig
Weidefläche stark verändert, Lägerflur	Holzschlag
Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Gebüschwald
Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Versiegelt
Halbruderaler Saum, nass	Graben, Rinne, Runse
Kiesbank	Geschiebesammler
Erosionsfläche	Wildgehege
	Flussperre

Abbildung 17: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 2 (eigene Darstellung QGIS)

In Abbildung 17 sind die Gewässerflächen in den Blautönen erneut falsch klassifiziert worden, ähnlich wie es bereits bei der Landbedeckung-Klassifikation der Fall war.



Legende

Quellen	Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Jungwuchs, Dickung, Baumholz
Fließgewässer	Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	Kronendach, zweischichtig
Altarm	Halbruderaler Saum, nass	Kronendach, vielschichtig
Stillgewässer	Kiesbank	Holzschlag
Hochmoor, Übergangsmoor	Erosionsfläche	Gebüschwald
Kleinseggen und Binsenbestand	Rinne/Runse	Versiegelt
Niedermoor, Durchströmungsmoor	Trockenmauer, Lesesteinmauer	Graben, Rinne, Runse
Grünland	Zwergstrauheide	Geschiebesammler
montane/subalpine/alpine Rasen, Weide, Wiese	Schutt/Geröll	Wildgehege
Weidefläche stark verändert, Lägerflur	Fels	Flussperre
	Feldgehölz, Baumgruppe	

Abbildung 18: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 3 (eigene Darstellung QGIS)

Abbildung 18 zeigt, dass die Straße korrekt als versiegelte Fläche klassifiziert wurde. Allerdings wurde die größere rote Fläche östlich der Straße ebenfalls fälschlicherweise als solche klassifiziert. Tatsächlich handelt es sich hier um einen Rohboden.

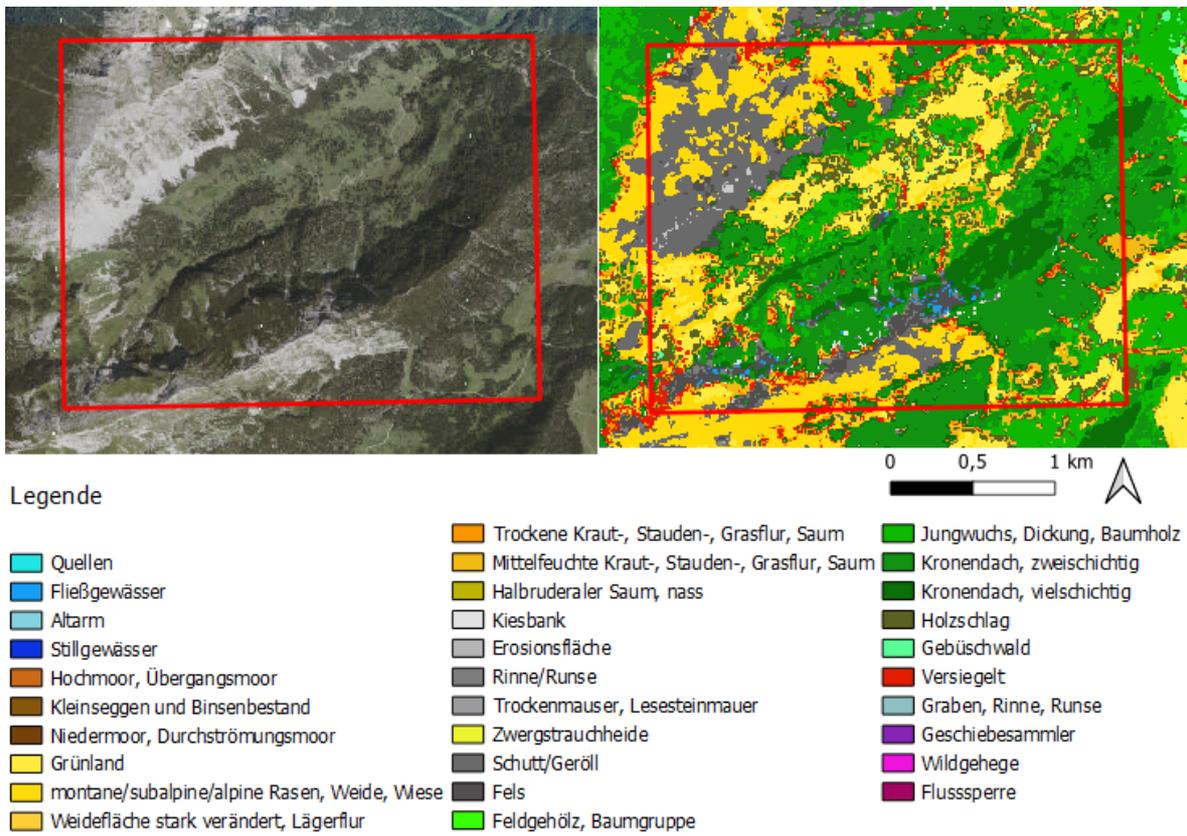


Abbildung 19: Landnutzungsklassifikation, Beispiel 4 (eigene Darstellung QGIS)

Die Unterscheidung der Wald- und Wiesenflächen konnte erfolgreich durchgeführt werden (Abbildung 19). Allerdings gab es ähnlich wie bei der Landbedeckung Klassifikation Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von Wiesen- und Rohbodenflächen.

5.3 Vergleich der Veränderungen

Auf dieser Übersicht sind die Bereiche rot markiert, in denen Veränderungen von 2013 bis heute festgestellt wurden. Dazu wurden Orthofotos der beiden Jahre visuell verglichen und Bereiche mit einer offensichtlichen Veränderung genauer betrachtet.

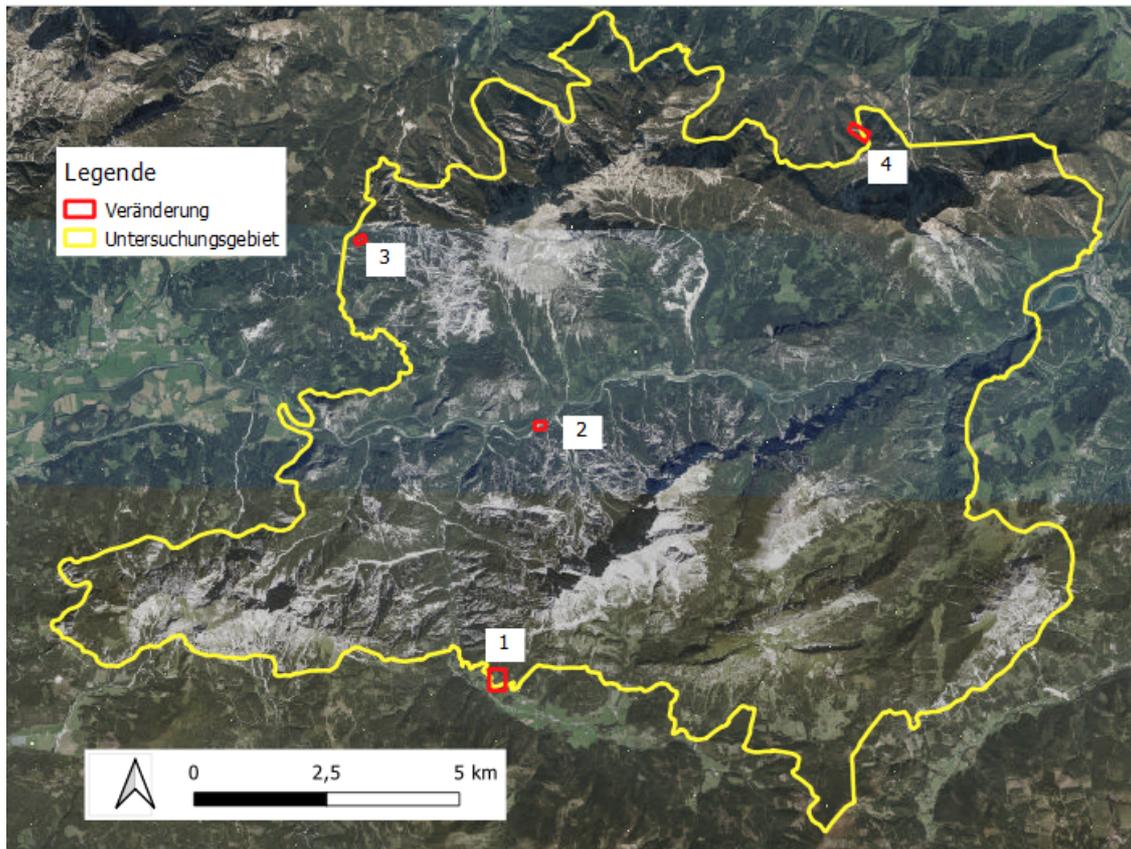


Abbildung 20: Übersicht Veränderungen (eigene Darstellung QGIS)

Auf dem folgenden rechten aktuellen Luftbild (Abbildung 20) sind gerodete Flächen deutlich erkennbar, die 2013 noch von Wald bedeckt waren. Die Klassifizierung sollte diese offenen Stellen nun als Wiesen statt Wald zuordnen, da die Baumbedeckung entfernt wurde und nur noch Gras bewachsene Flächen sichtbar sind.

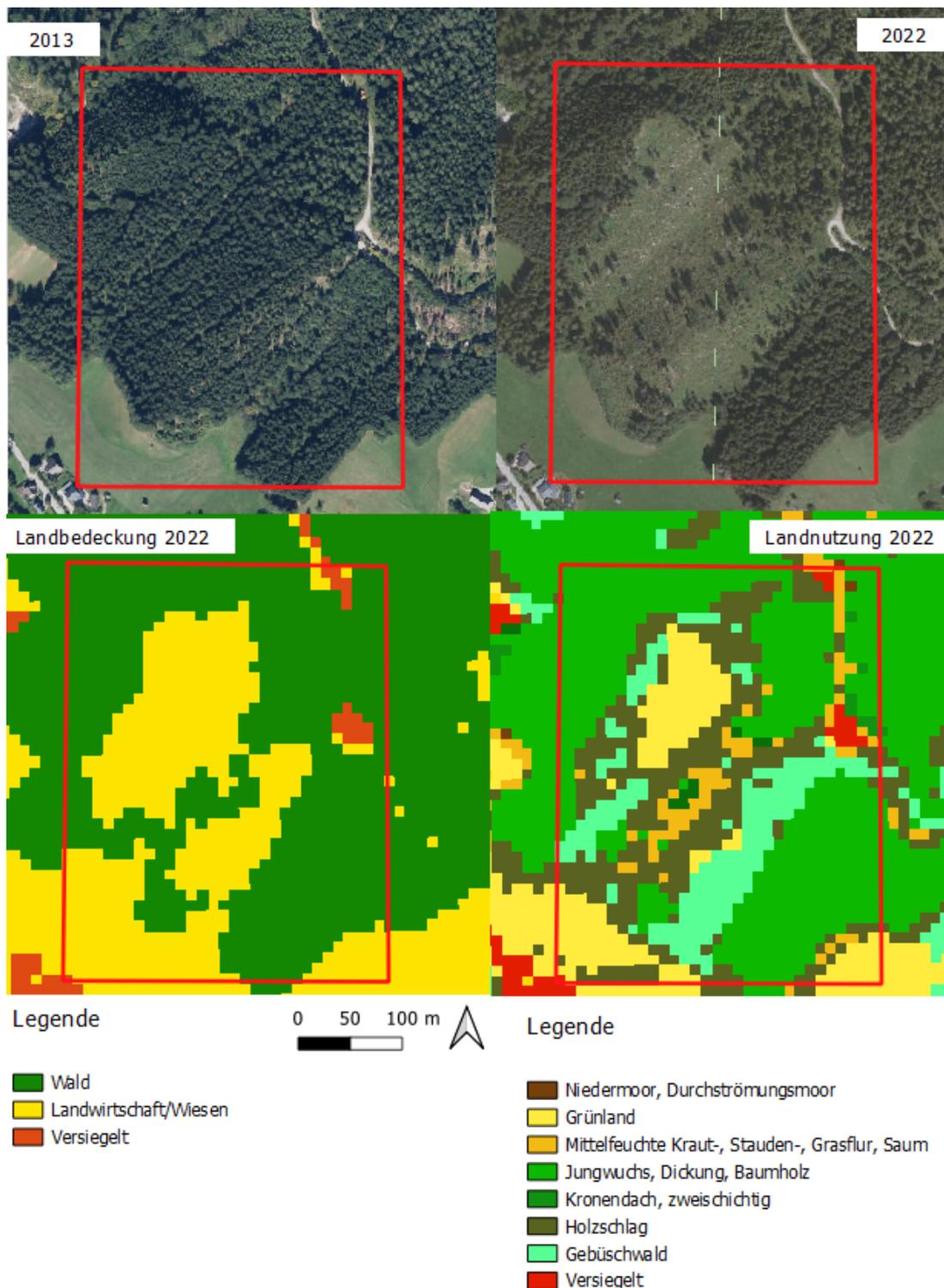


Abbildung 21: Veränderung 1 (eigene Darstellung QGIS)

In der Landbedeckungsklassifikation konnte die gerodete Fläche erfolgreich erkannt werden. In der Mitte der Wiesenfläche ist es jedoch schwierig aufgrund der Baumdichte zu identifizieren, ob es sich um eine Wiesenfläche handelt. Daher wurde in der Mitte einen Streif als Wald kategorisiert.

Die Landnutzung Klassifikation konnte einen Teil als Grünland (gelb) und einen Streifen als Gebüschwald (türkisgrün) erkennen. In Olivgrün wurde Holzschlag klassifiziert.

Von 2013 bis 2022 hat sich der Flusslauf ein wenig verändert. Die Inseln haben ihre Form und Vegetation im Verlauf der Zeit verändert.

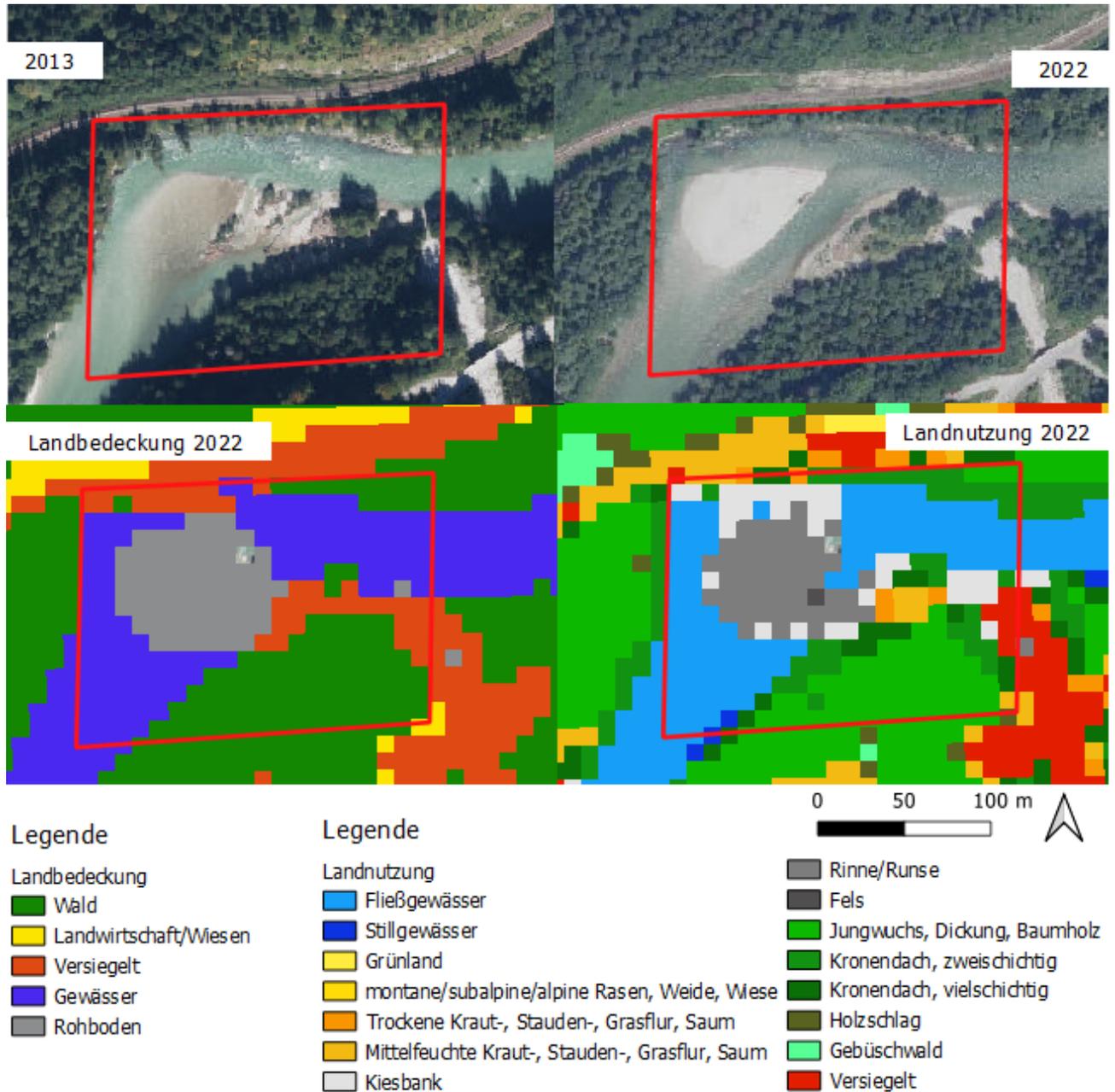


Abbildung 22: Veränderung 2 (eigene Darstellung QGIS)

Beide Klassifikationen haben die Kiesbank als Rohboden erkannt. Die Landbedeckung Klassifikation hat den Rohboden als versiegelte Fläche gekennzeichnet. Die Landnutzung-Klassifikation klassifiziert die Insel jedoch fälschlicherweise als Rinne/Runse. Darüber hinaus

konnte in hellem orange Mittelfeuchte Kraut-, Stauden, Grasflur erkennen und das dunklere orange als

Trockene Kraut-, Stauden, Grasflur klassifizieren. Der Wald setzt sich aus Jungwuchs, Dickung und Baumholz (hellgrün), Kronendächern zweischichtig (grün) und Kronendach, vielschichtig (dunkelgrün) zusammen.

Auf Abbildung 13 kann man deutlich erkennen, dass Teile des Waldes gerodet wurden. Dadurch sind zwei Streifen entstanden, die jetzt als Rohboden klassifiziert werden müssen.

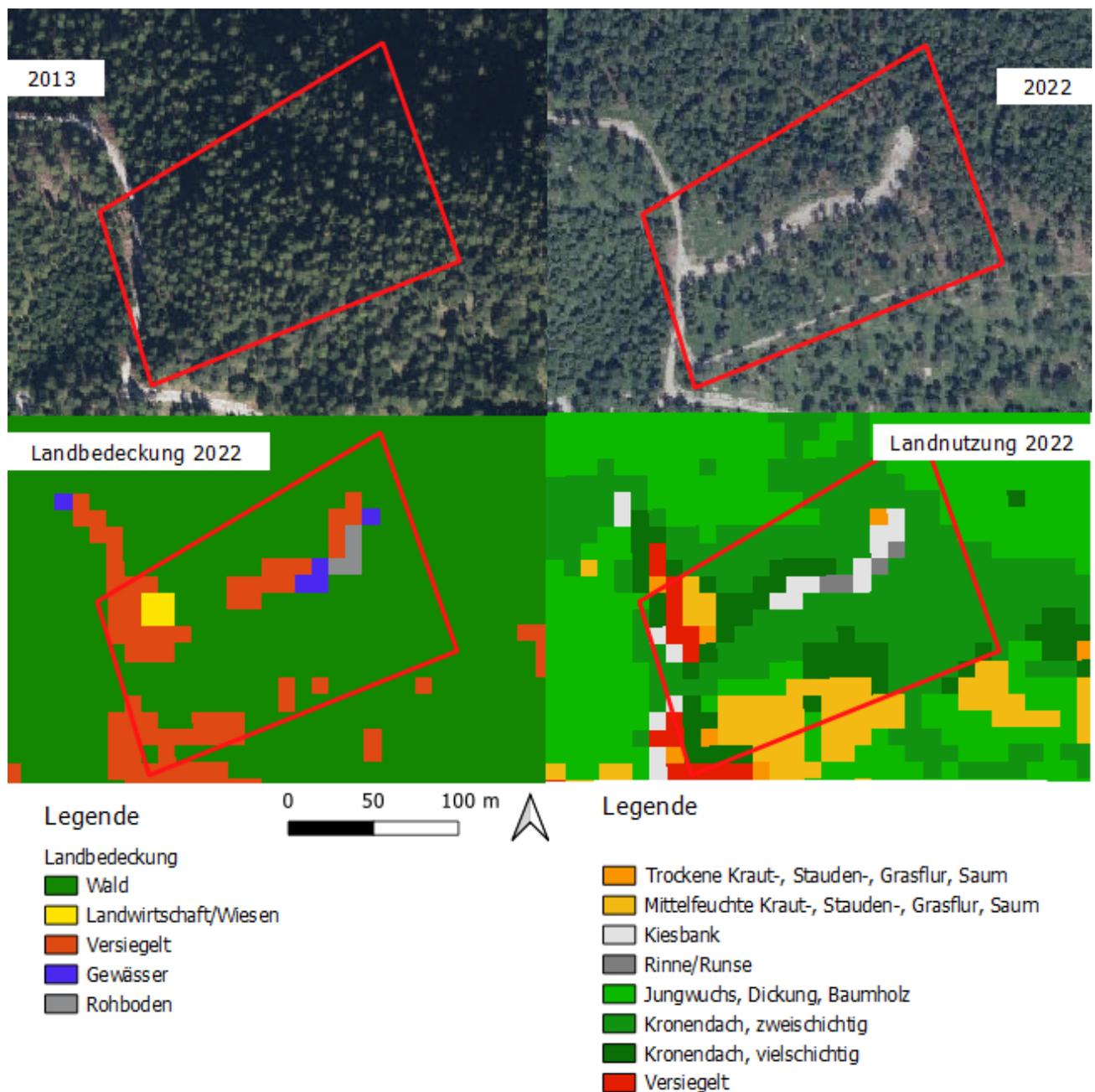


Abbildung 23: Veränderung 3 (eigene Darstellung QGIS)

Die Landbedeckung kann die gerodete Fläche richtig als Wiese klassifizieren, jedoch werden einige

Stellen als versiegelt markiert und in Rot dargestellt. Dabei könnte es sich um Felsen oder andere vegetationsfreie Bereiche handeln, die in ihrer Reflexion versiegelten Flächen ähneln. Bei der Landnutzungsklassifikation werden der gerodeten Fläche mehrere unterschiedliche Klassen zugeordnet.

Dabei wird zwischen Grünland (gelb), montanem/subalpinem/alpinem Rasen, Weide, Wiese (dunkelgelb), mittelfeuchter Kraut-, Stauden- und Grasflur (hellorange) und trockener Kraut-, Stauden- und Grasflur (dunkelorange) unterschieden.

6 Quantitative Qualitätskontrolle

Die Qualitätskontrolle wurde mithilfe des Impact Tools durchgeführt. Zuerst wurden im ArcGIS Pro 358 Random Points über das Shapefile des Gesäuses erstellt. Für diese Punkte wurden manuell die korrekten Landbedeckung- bzw. später Landnutzung-Codes zugewiesen, die auf einem aktuellen Luftbild der Gis Steiermark erkennbar waren.

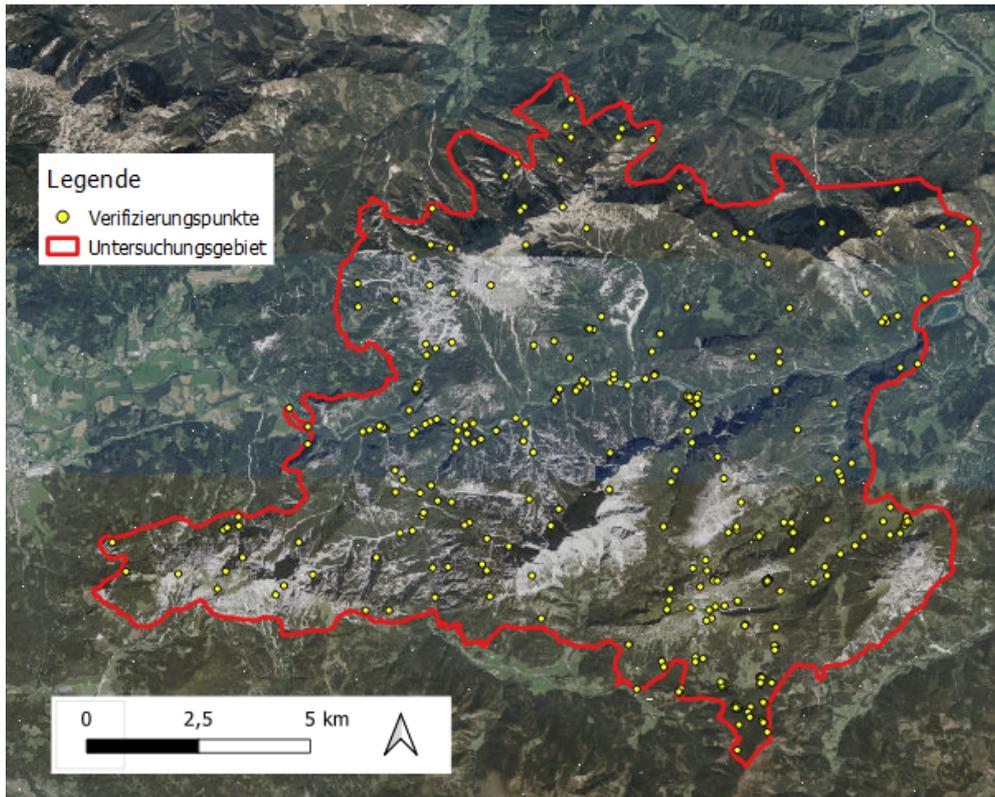
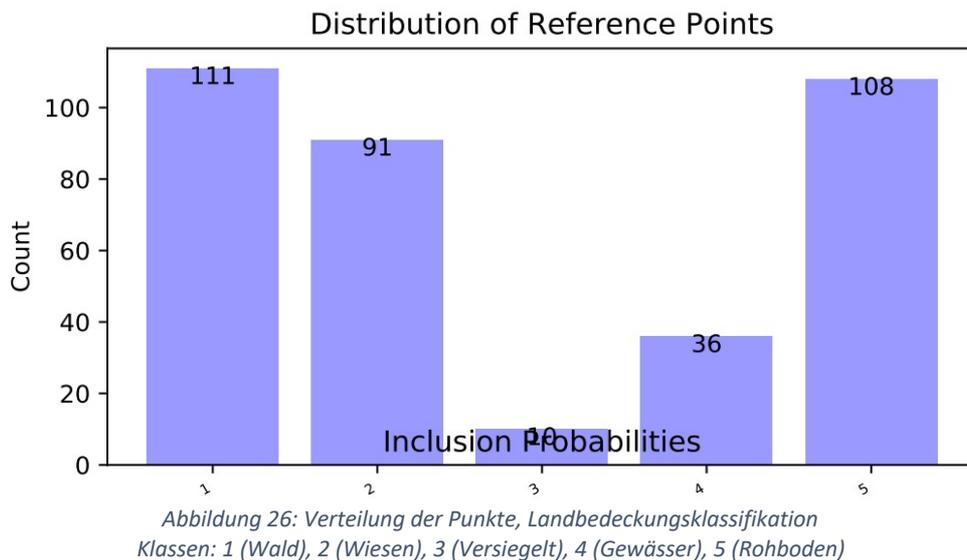


Abbildung 25: Verifikationspunkte (eigene Darstellung QGIS)

Für die Qualitätskontrolle wurde eine Attributtabelle erstellt, in der sowohl die manuell eingetragenen Werte der Punkte als auch die zugewiesenen Klassifikationswerte mit dem Tool "Raster Value to Point" vermerkt wurden. Das Shape File der Random Points wurde als Reference Vector File verwendet und die beiden Attribute jedes Punktes miteinander verglichen und daraus die Genauigkeit der Klassifizierungen berechnet.

6.1 Genauigkeit der Landbedeckung

Der erstellte Report enthält Informationen über die Verteilung der Punkte in den Klassen sowie die Gesamtgenauigkeit (Overall Accuracy), sowie die Klassengenauigkeiten (User Accuracy, Producer Accuracy) und dem Kappa-Koeffizienten.



Die meisten Punkte liegen in den Klassen Wald (1), Landwirtschaft und Wiesen (2) sowie Rohboden (5) mit etwa 100 Punkten pro Klasse. Siedlungen (3) mit nur 10 Referenzpunkten und Gewässer (4) mit 36 Punkten sind weniger vertreten, da diese Klassen vergleichsweise wenig Fläche im Untersuchungsgebiet einnehmen.

Die nächste Abbildung zeigt die Fehlermatrix, in der die Zeilen die tatsächlichen Klassen repräsentieren und die Spalten die vorhergesagten Klassen. Die Werte der Matrix geben die Anzahl der Fälle an, bei denen eine bestimmte Kombination von tatsächlicher und vorhergesagter Klasse auftritt. Die Hauptdiagonale der Matrix zeigt die korrekt klassifizierten Fälle, während die Elemente außerhalb der Hauptdiagonale die Fehlklassifizierungen darstellen.

Die Gesamtsumme aller Elemente in der Fehlermatrix ergibt die Gesamtzahl der Fälle, die für die Bewertung der Genauigkeit verwendet wurden.

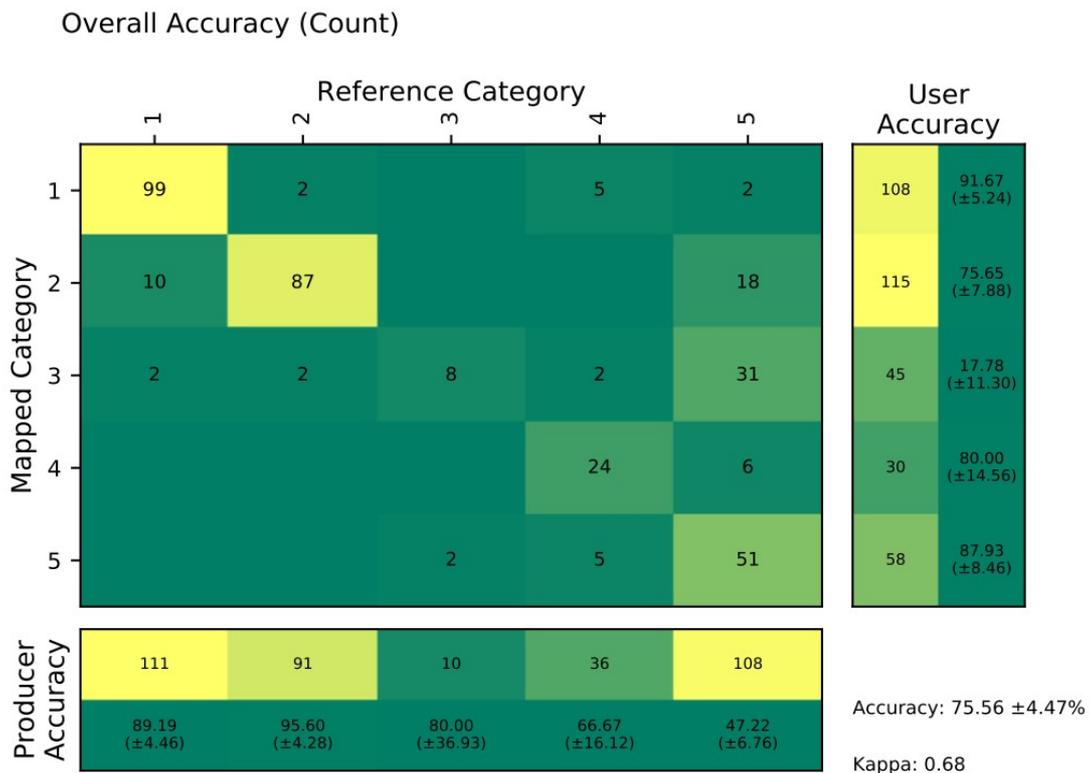


Abbildung 27: Fehlermatrix für die Landbedeckungsklassifikation
 Klassen: 1 (Wald), 2 (Wiesen), 3 (Versiegelt), 4 (Gewässer), 5 (Rohboden)

Die Gesamtgenauigkeit von 75,56% +/- 4,47% ist ganz in Ordnung. Wenn man die Fehler betrachtet und die Punkte in der Matrix überprüft, ist die Verteilung gut nachvollziehbar. Bei den Klassen Wald (1) und Wiesen (2) ist es oft schwierig, zu unterscheiden, ab welcher Größe und Dichte des umliegenden Gebietes der einen oder der anderen Klasse zugeordnet werden muss. Ähnliche Probleme treten auch zwischen den Klassen Wiesen (2) und Rohboden (5) auf. Hier gibt es oft einen fließenden Übergang zwischen den beiden Klassen. Bei den Klassen Gewässer (4) und Rohboden (5) ist es aufgrund der Schatten im Bild eine korrekte Zuteilung der Klasse oft nicht erfolgreich. Das Klassifikationstool hat außerdem Schwierigkeiten, versiegelte Oberfläche (3) von Rohboden (5) zu unterscheiden, da diese beiden Landbedeckungstypen ähnliche Reflexionen in den Wellenlängenbereichen von S2 haben.

Ein Kappa-Wert von 0,68 zeigt eine mäßige bis gute Übereinstimmung zwischen der tatsächlichen und der vorhergesagten Klassifikation. Es deutet darauf hin, dass die Klassifikation eine signifikante Genauigkeit aufweist, aber es gibt noch Raum für Verbesserungen.

Ein Kappa-Koeffizient von 0 bedeutet, dass die Übereinstimmung nicht besser ist als die Zufallstreffer. Ein Kappa-Wert von 1 würde eine perfekte Übereinstimmung zwischen der tatsächlichen und der vorhergesagten Klassifikation anzeigen.

6.2 Genauigkeit der Landnutzung

Bei der Zuweisung der Klassen ist es schwer gefallen die richtige visuell zuzuordnen. Eine klare Unterscheidung der Klassen Grünland (8), den Kraut-,Stauden-, Grasflur, Säume nass und den Mooren zum Beispiel war visuell kaum möglich. In den meisten Fällen musste man sich daher bei der Interpretation auf die bestehende Habitatp-Klassifikation verlassen und den entsprechenden Wert zuweisen, wenn keine offensichtliche Änderung ersichtlich war.

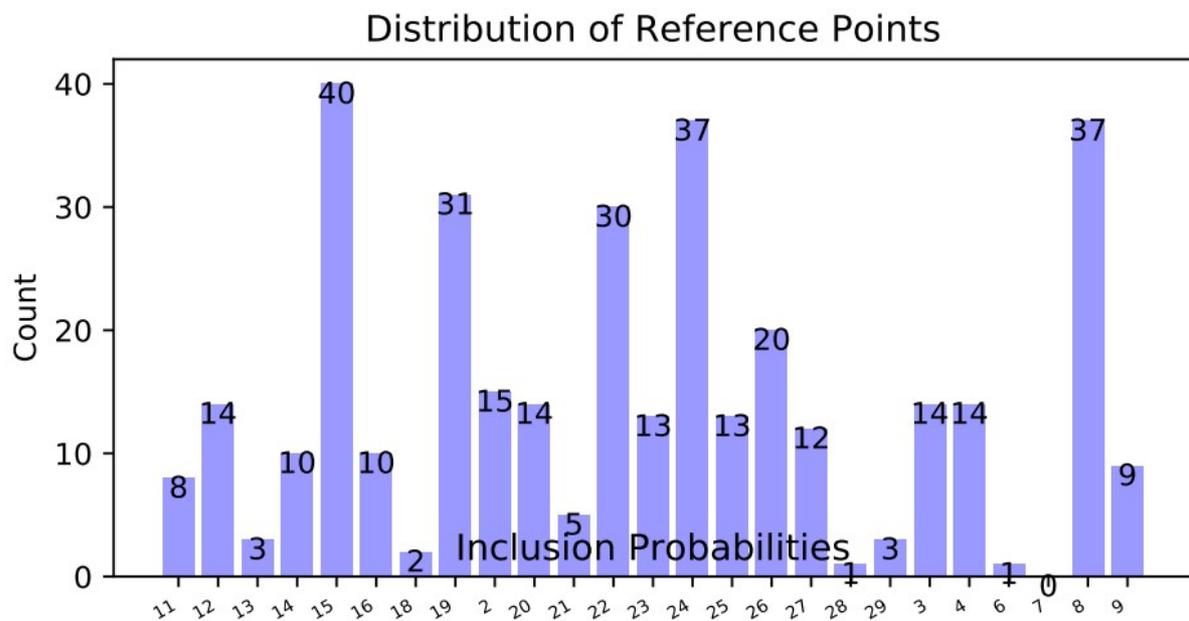


Abbildung 28: Verteilung der Punkte, Landnutzungsklassifikation

Die Verteilung der Referenzpunkte ist gut gestreut. Klassen die sehr selten oder gar nicht vorkommen wie die Moore (5), (6), und (7) waren schwer zu identifizieren. Im Gegensatz dazu sind die Klassen Grünland (8), Kronendach-vielschichtig (24), Erosionsflächen (15) und Schutt/Geröll (19) durch viele Punkte repräsentiert, weil sie viel Fläche einnehmen.

Overall Accuracy (Count)

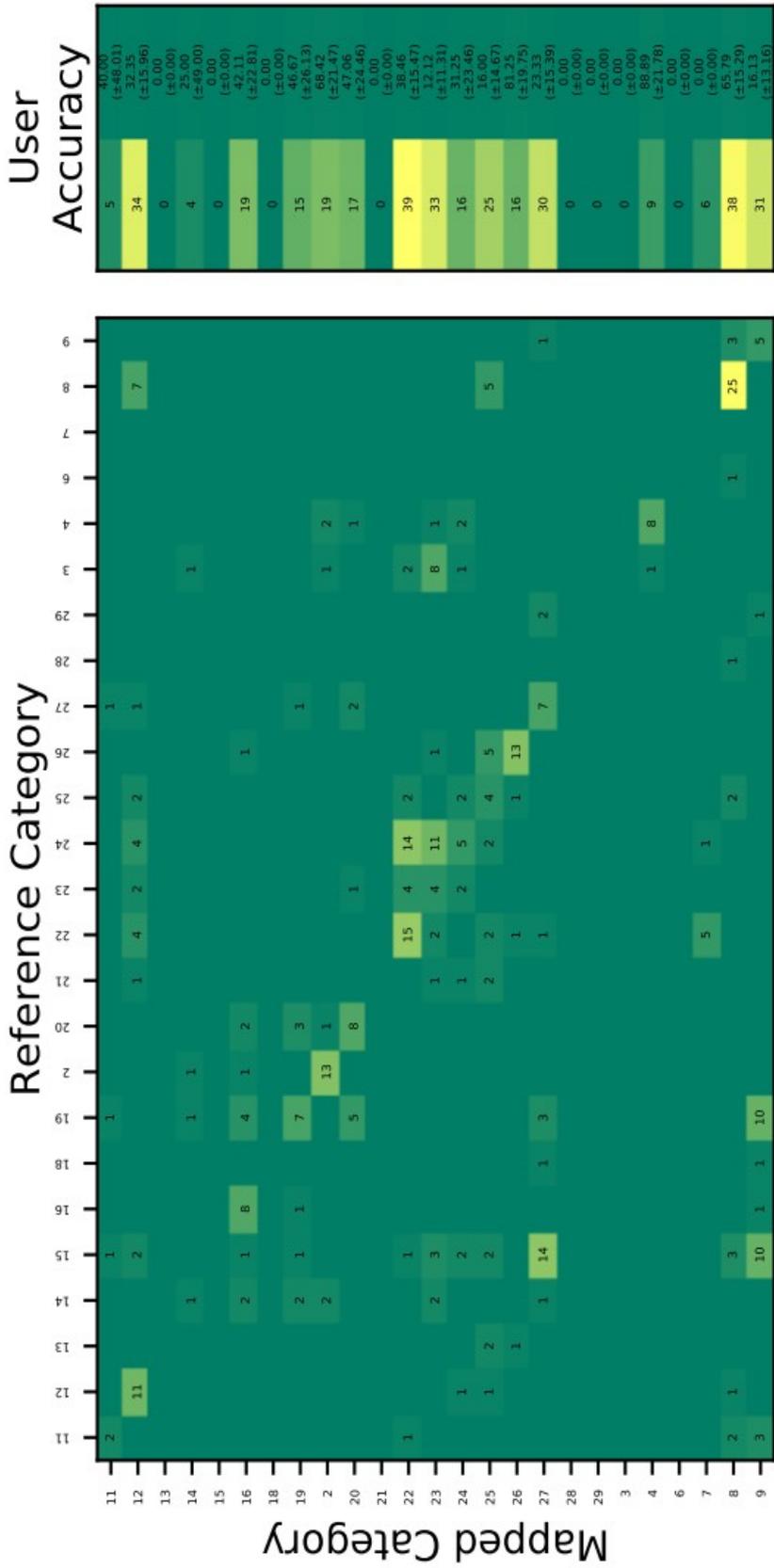
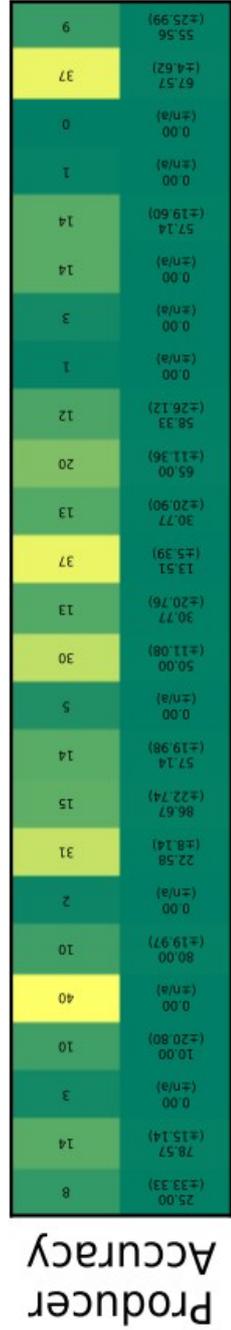


Abbildung 29: Fehlermatrix für die Landnutzungsklassifikation



Accuracy: 38.20 ±3.97%

Kappa: 0.35

Die Ergebnisse der Landnutzungsklassifikation sind leider nicht zufriedenstellend. Die Genauigkeit von nur 38,20 +/- 3,97% zeigt, dass die Klassifikation kein gutes Ergebnis liefert. Der Kappa-Koeffizient von 0,35 ist auch nur leicht besser als ein Zufallstreffer. Einige Klassen wurden jedoch relativ gut klassifiziert, wie zum Beispiel Fließgewässer (2), Stillgewässer (4), Grünland (8) und der Gebüschwald (26). Hier lag die Genauigkeit zwischen 57% und 80% für den Produzenten und zwischen 65% und 89% für den Anwender.

Die unzureichenden Ergebnisse lassen sich teilweise auf die Verteilung der einzelnen Klassen zurückführen. Besonders bei der Klasse Erosionsfläche (15) besteht das gleiche Problem wie bei der Landbedeckungsklassifikation. Die meisten Punkte wurden fälschlicherweise als versiegelte Fläche (27) erkannt, vermutlich aufgrund derselben Reflexionseigenschaften.

Die Klasse Kronendach, vielschichtig (24) weist Streuungen zwischen den Klassen Jungwuchs, Dickung (22) und Kronendach, zweischichtig (23) auf. Hier ist es sowohl visuell schwierig, eine klare Trennung bei der Zuweisung der Referenzpunkte vorzunehmen, als auch eine ähnliche Reflektion der Strahlung.

Schutt/Geröll (19) wurde nicht nur aufgrund des bereits erwähnten Problems mit der Versiegelung verwechselt, sondern auch mit ähnlichen Klassen wie Rinne/Runse (16) und Fels (20).

Einige Klassen konnten überhaupt nicht erkannt werden, darunter die Moore (5), (6) und (7), sowie Weideflächen, stark veränderte Lägerfluren (10), der Halbruderale Saum, nass (13) und die Zwergstrauchheide (18).

Aufgrund der großen Anzahl an Klassen und der geringen Unterscheidung der Strukturen ist eine aussagekräftige und genaue Landnutzungsklassifikation mit dieser Methode nicht möglich.

7 Fazit & Ausblick

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden sowohl eine Landbedeckung-Klassifikation als auch eine Landnutzung-Klassifikation durchgeführt. Die Ergebnisse wurden präsentiert und analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Landbedeckung-Klassifikation deutlich bessere Ergebnisse liefert, mit einer Genauigkeit von etwa 75%, im Vergleich zur Landnutzung-Klassifikation, die nur eine Genauigkeit von rund 38% aufweist.

Es zeigt, dass die Landnutzung Klassifikation mithilfe des Impact Tools aufgrund der Vielzahl von Klassen nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte. Die große Anzahl der Klassen führte zu Schwierigkeiten bei der Unterscheidung und Zuordnung der Pixel zu den richtigen Landnutzungskategorien. Die Klassifikation weist daher große Abweichungen auf, und die Ergebnisse sind nicht aussagekräftig. Die komplexe Landschaftsstruktur und die feinen Unterschiede zwischen den Klassen machen die automatische Zuordnung zu den richtigen Kategorien schwierig, wodurch die Genauigkeit der Klassifikation stark beeinträchtigt wird. Im Gegensatz dazu funktionierte die Landbedeckung Klassifikation vergleichsweise besser. Sie ist in der Lage, die groben räumlichen Muster der verschiedenen Landbedeckungsklassen zu erkennen und zu klassifizieren. Dennoch gibt es auch hier Herausforderungen, da einige Klassen aufgrund von fließenden Übergängen, Schatten und ähnlichen Wellenlängen immer noch verwechselt werden. Die Landbedeckung Klassifikation liefert zwar keine perfekten Ergebnisse, aber sie ermöglicht wichtige Erkenntnisse über die Verteilung der Landbedeckungskategorien.

Trotz der Herausforderungen und Einschränkungen spielen beide Klassifikationsmethoden eine bedeutende Rolle bei der Erkennung von Veränderungen in der Landschaft. Die Landbedeckungsklassifikation ist besonders nützlich, um grobe Veränderungen in der Landbedeckung zu identifizieren und räumliche Muster zu erkennen. Die Landnutzung Klassifikation kann hingegen eine detailliertere Analyse der Landnutzungskategorien ermöglichen, wenn die Anzahl der Klassen reduziert und die Klassifikation optimiert wird.

Insgesamt verdeutlicht diese Arbeit die Bedeutung der Wahl einer geeigneten Klassifikationsmethode in der Fernerkundung und räumlichen Analyse. Beide Methoden können eine wichtige Rolle bei der Detektion von Veränderungen in der Landschaft spielen und tragen zu einem umfassenden Verständnis der Landnutzung und Landbedeckung bei.

Im Ausblick dieser Bachelorarbeit wird auf die Möglichkeit alternativer Klassifikationsmethoden hingewiesen. Eine Methode ist der Landnutzungs-Transfers. Landnutzungs-Transfer bedeutet, dass der Klassifikationsalgorithmus auf andere Zeitpunkte oder Datensätze angewendet wird, um Veränderungen in der Landnutzung im Laufe der Zeit zu verfolgen. Damit kann die Information, um welche Landnutzung es sich initial gehandelt hat, für das bestimmte Gebiet verwendet werden.

Zukünftige Arbeiten werden sich gezielt auf die Adaptierung und Anwendung des Programms für den Landnutzungs-Transfer konzentrieren.

Danksagung

Ich möchte meine Dankbarkeit für all jene zum Ausdruck bringen, die mich während meiner wissenschaftlichen Arbeit unterstützt haben.

Besonders möchte ich Frau Dr. Manuela Hirschmugl danken, meiner Professorin und Betreuerin, die trotz der Entfernung und Zeitverschiebung immer geduldig und hilfsbereit meine Fragen über Zoom beantwortet hat. Ihre Unterstützung und Anleitung waren entscheidend für den Erfolg meiner Arbeit.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch meinem Bruder Fabian Wack, der sich immer die Zeit nahm, um mir bei GIS-spezifischen Fragen zur Seite zu stehen. Seine Fachkenntnisse und Hilfsbereitschaft waren von großem Wert.

Zudem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während dieser Zeit ermutigt und bekräftigt haben. Eure moralische Unterstützung, ermutigendes Feedback und Zuspruch haben mich motiviert.

Eure Unterstützung hat diese Arbeit zu einem bereichernden und erfolgreichen Erlebnis gemacht. Vielen Dank!

Quellen

- Ban, Y. (2016): Multitemporal remote sensing : methods and applications. Cham: Springer.
- Canty, M. (2010): Image analysis, classification, and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL. 2. Aufl. Boca Raton: CRC Press.
- Coors, V. & Zipf, A. (2005): 3D-Geoinformationssysteme : Grundlagen und Anwendungen. Heidelberg: Wichmann.
- Congalton, R. G., Green, K. (2008): Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data. 2 Aufl. Boca Raton: CRC Press.
- data.gv.at. (2022): CC-Habitatp: Change-Check of the Habitats of the Alps: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/cc-habitatp-change-check-of-the-habitats-of-the-alps> (Zuletzt geprüft am 03.08.2023).
- ESA (European Space Agency). (2021): Sentinel-2. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 (Zuletzt geprüft am 01.08.2023).
- Günther, O. & Riekert, W.-F. (1992) (Hg.): Wissensbasierte Methoden zur Fernerkundung der Umwelt. Karlsruhe: Wichmann.
- Hauenstein, P. & Haller, R. (2013): CC-HABITALP: Change-Check of the Habitats of the Alps. Scnat.
- Hilbring, D. (2005). 3D-Visualisierungen in Geoinformationssystemen. In: Bähr, H. und Vögtle, T. (Hg.): Digitale Bildverarbeitung. Anwendung in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS. 4. Aufl. Heidelberg: Herbert Wichmann Verlag, S. 261 – 286.
- Kappas, M. (2012): Geographische Informationssysteme. 2. Aufl. Braunschweig : Westermann
- Kren, E. (2002). Gesäuse Nationalpark & Ennstaler Alpen. Steirische Verlagsgesellschaft.
- Kuhn, G. (1999): Möglichkeiten und Grenzen des vegetationsökologischen Monitorings. In: Blaschke, T. (Hg.): Umweltmonitoring und Modellierung. Heidelberg: H. Wichmann Verlag, S. 3-12.
- Landesentwicklung Steiermark. Orthofotos: <https://www.landesentwicklung.steiermark.at/cms/ziel/143660187/DE/> (Zuletzt geprüft am 02.08.2023).
- Land Steiermark. Umwelt. Klimaregion Gesäuse: <https://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/10023703/25206/> (Zuletzt geprüft am 02.08.2023).
- Löffler, E., Honecker, R., & Stabel, C. (2005). Geographie der Fernerkundung. 3.Aufl. Stuttgart: Gebrüder Bornträger.
- Mueller, T., de Wulf, R., Rounsevell, M. D. A., & Zacharias, S. (2014): Modelling land cover changes in Europe: A comparative analysis of LUCIA and CLUE-S models. In: Land Change Science S.395-409. DOI:10.1007/978-1-4020-2562-4_23.
- Nationalpark Gesäuse. Vegetation: <https://www.nationalpark.co.at/de/vegetation> (Zuletzt geprüft am 02.08.2023).
- Nationalpark Gesäuse. Geologie: <https://nationalpark-gesaeuse.at/nationalparkgesaeuse/naturphaenomene/geologie/> (Zuletzt geprüft am 02.08.2023).

Pfiffner, O. A. (2015): Geologie der Alpen. 3. Auflage. Bern: Utb GmbH

Riemelmoser, R. (2003). Die Entwicklung des Nationalparks Gesäuse. Weng: Nationalpark Gesäuse Planungs-GmbH.

Singh, A. (1989): Digital Change Detection Techniques Using Remotely-Sensed Data. In: International Journal of Remote Sensing (Hg.) , Vol. 10, No. 6, S. 989-1003.

Smith, J. K. (2010). Remote Sensing of Vegetation Characteristics for Environmental Monitoring. Environmental Monitoring and Assessment.

Veit, H. (2002): Die Alpen. Geoökologie und Landschaftsentwicklung. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH & Co.

Anhang

Klassen nach HIK-CD 1.1.4

Tabelle 1: CC-Habitatp Klassen und Polygone

Code	Habitattyp	Durchschnittliche Fläche der Polygone in m ²	Gesamte Fläche der Polygone in m ²	Anzahl der Polygone
2000	Gewässer			
2110	Quelle, unverbaut	209	626	3
2120	Quellflur, moosreich	461	2764	6
2130	Ausgebaute Quelle	8	8	1
2311	Fließgewässer, struktureich	1682	242269	144
2312	Fließgewässer mit mittlerer Strukturdichte	1567	592321	378
2313	Fließgewässer, strukturarm, stark ausgebaut	5802	58024	10
2314	Kanal	1127	16903	15
2315	Graben, Rinne	853	48606	57
2321	Wasserfall	235	706	3
2322	Stromschnelle	5798	17393	3
2330	Bauwerk in Fließgewässer	127	1145	9
2331	Wehr	357	1071	3
2332	Sohlrampe, Sohlschwelle	19	705	37
2333	Deich/Damm	302	2417	8
2335	Ein-/Auslaufbauwerk für unterirdische Wasserführung	83	2070	25
2336	Geschiebesammler	515	1029	2
2339	Flusssperre, Querverbauung mit Wasserüberfall	88	1582	18
2370	Fischtreppe/Fischpass	188	564	3
2411	Altarm	828	9109	11
2511	Stillgewässer, struktureich	1526	12205	8
2512	Stillgewässer, mittlere Strukturdichte	304	913	3
2513	Stillgewässer, strukturarm	3057	21397	7
2533	Staumauer	176	353	2
3000	Moore			
3100	Hochmoor, Übergangsmoor	3638	14553	4
3210	Kleinseggen- und Binsenbestand	2311	36972	16
3310	Niedermoor, Durchströmungsmoor	4092	20460	5
4000	Landwirtschaft, Staudenfluren			
4210	Trockenes Grünland	678	1356	2
4220	Grünland mittleren Feuchtegrades	4596	2707053	589
4230	Feucht- und Nassgrünland	3338	340460	102
4240	montane/subalpine/alpine Rasen, Wiese, Weide	3809	10962006	2878
4260	Weidefläche, stark verändert, Lägerflur	949	4745	5
4710	Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	1006	2012	2

4711	Halbruderaler Saum, trocken	949	147048	155
4712	Ruderalvegetation, trocken	497	7454	15
4713	Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, trocken	1390	8341	6
4720	Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	2009	20091	10
4721	Halbruderaler Saum, mittelfeucht	717	220904	308
4722	Ruderalvegetation, mittelfeucht	646	129778	201
4723	Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, mittelfeucht	1894	812439	429
4731	Halbruderaler Saum, nass	671	1341	2
4733	Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, nass	1682	95863	57
4904	Befestigte Lagerfläche	105	105	1
5000	Rohbodenstandorte, Zwergstrauchheiden, Extremstandorte			
5110	Höhle	84	84	1
5111	Höhle mit Tageslicht	61	183	3
5410	Kiesbank, Sandbank, fluviatil	568	172002	303
5430	Erosionsfläche	1042	17722	17
5440	Rinne, Runse	2069	4459581	2155
5510	Steinriegel, Trockenmauer	1127	1127	1
5520	Lesesteinmauer, Lesesteinhaufen	79	237	3
5530	Freistehende Mauer	150	5107	34
5540	Stützmauer	168	8228	49
5610	Zwergstrauchheide	1634	6536	4
5700	Schutt/Geröll/Blöcke/Schuttflur	1406	8436	6
5701	Schutt/Geröll fein (cm), Feinschutthalde	1314	296971	226
5702	Schutt/Geröll mittel (dm), Grobschutthalde	2215	5153987	2327
5703	Schutt/Geröll/Blöcke grob (m), Blockhalden	3317	494168	149
5800	Fels	9882	26355162	2667
5920	Firn, Schnee	1042	9380	9
6000	Bäume, Feldgehölze, Gebüsche			
6200	Feldgehölz	562	562	1
6300	Baumgruppe, Baumreihe	1488	1488	1
7000	Wald			
7011	Jungwuchs	2719	921574	339
7012	Dickung	5744	27800793	4840
7013	Stangenholz, Wachstumsstadium	4514	11893462	2635
7014	Baumholz	8748	33180595	3793
7015	Altbestand, Altersstadium/Reifestadium	12642	16484829	1304
7021	Kronendach zweischichtig, Altholzbestand mit Verjüngung	8713	418218	48
7022	Kronendach zweischichtig, sonstige Ober- und Unterschicht	7409	3378277	456
7030	Kronendach vielschichtig, gestuft, Plenterstadium	11211	1569579	140
7710	Holzschlag, vorübergehend baumfrei	3110	3672358	1181
7750	Holzlagerplatz	334	5346	16

7850	Gebüschwald	1813	126944	70
8000	Stark veränderte, gestörte Standorte, Ver- und Entsorgungsflächen			
8130	Kiesgrube, Kieswerk	966	21260	22
8322	Wasserbehälter	56	56	1
8324	Kläranlage	95	189	2
8330	Fläche der Stromwirtschaft	8	8	1
8331	Kraftwerk	136	682	5
8339	Sonstige Fläche der Stromwirtschaft	49	99	2
8400	Offene Fläche ohne Oberboden	2175	100056	46
8410	Baustelle	2765	11062	4
8420	Lagerfläche	271	5688	21
9000	Siedlung, Verkehr, Freizeit			
9122	Ländliche Prägung	5404	32426	6
9130	Einzelgebäude, Einzelanwesen	436	58868	135
9140	Industrie- und Gewerbefläche	977	2932	3
9150	Fläche mit besonderer baulicher Prägung	203	5082	25
9160	Ruine	178	1598	9
9212	Land-/Hauptstraße	735	117651	160
9213	Sonstige Straßen	620	41557	67
9214	Weg	435	537536	1235
9215	Parkplatz	387	19352	50
9217	Tunnelportal an Straßenverkehrsweg, Lüftungsanlage	99	895	9
9218	Galerie an Straßenverkehrsweg	357	4995	14
9219	Sonstige Straßenverkehrsfläche	502	1003	2
9221	Schienenverkehrsweg	1858	113362	61
9222	Personenbahnhof	1191	2383	2
9227	Tunnelportal an Schienenverkehrsweg, Lüftungsanlage	49	146	3
9228	Galerie an Schienenverkehrswegen	119	956	8
9229	Sonstige Schienenverkehrsfläche	1062	1062	1
9292	Trampelweg, Trampelfläche	2869	5739	2
9311	Parkanlage	3508	21046	6
9314	Wildgehege, Wildpark	2148	6445	3
9320	Sportplatz	354	708	2
9322	Fußball	1101	2202	2
9330	Großflächige Sportanlage	169	169	1
9340	Spielplatz	437	873	2
9362	Zeltplatz, Campingplatz: Gemeinschaftseinrichtungen	1599	7995	5
9391	Informationspunkt, Aussichtspunkt	58	116	2
9392	Rastplatz, Feuerstelle	264	264	1

Tabelle 2: Landbedeckungsklassen

Habitattyp	Code	LCClass
Quelle, unverbaut	2110	4
Quellflur, moosreich	2120	4
Ausgebaute Quelle	2130	4
Fließgewässer, strukturreich	2311	4
Fließgewässer mit mittlerer Strukturdichte	2312	4
Fließgewässer, strukturarm, stark ausgebaut	2313	4
Kanal	2314	4
Graben, Rinne	2315	2
Wasserfall	2321	4
Stromschnelle	2322	4
Bauwerk in Fließgewässer	2330	4
Wehr	2331	4
Sohlrampe, Sohlschwelle	2332	4
Deich/Damm	2333	4
Ein-/Auslaufbauwerk für unterirdische Wasserführung	2335	4
Geschiebesammler	2336	4
Flusssperre, Querverbauung mit Wasserüberfall	2339	4
Fischtreppe/Fischpass	2370	4
Altarm	2411	4
Stillgewässer, strukturreich	2511	4
Stillgewässer, mittlere Strukturdichte	2512	4
Stillgewässer, strukturarm	2513	4
Staumauer	2533	4
Hochmoor, Übergangsmoor	3100	2
Kleinseggen- und Binsenbestand	3210	2
Niedermoor, Durchströmungsmoor	3310	2
Acker	4100	2
Trockenes Grünland	4210	2
Grünland mittleren Feuchtegrades	4220	2
Feucht- und Nassgrünland	4230	2
montane/subalpine/alpine Rasen, Wiese, Weide	4240	2
Weidefläche, stark verändert, Lägerflur	4260	2
Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	4710	2
Halbruderaler Saum, trocken	4711	2
Ruderalvegetation, trocken	4712	2
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, trocken	4713	2
Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	4720	2
Halbruderaler Saum, mittelfeucht	4721	2
Ruderalvegetation, mittelfeucht	4722	2
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, mittelfeucht	4723	2
Halbruderaler Saum, nass	4731	2
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, nass	4733	2
Befestigte Lagerfläche	4904	5
Höhle	5110	5
Höhle mit teinfluss	5111	5

Kiesbank, Sandbank, fluvial	5410	5
Erosionsfläche	5430	5
Rinne, Runse	5440	5
Steinriegel, Trockenmauer	5510	5
Lesesteinmauer, Lesesteinhaufen	5520	5
Freistehende Mauer	5530	5
Stützmauer	5540	5
Zwergstrauchheide	5610	2
Schutt/Geröll/Blöcke/Schuttflur	5700	5
Schutt/Geröll fein (cm), Feinschutthalde	5701	5
Schutt/Geröll mittel (dm), Grobschutthalde	5702	5
Schutt/Geröll/Blöcke grob (m), Blockhalden	5703	5
Fels	5800	5
Firn, Schnee	5920	5
Feldgehölz	6200	1
Baumgruppe, Baumreihe	6300	1
Jungwuchs	7011	1
Dickung	7012	1
Stangenholz, Wachstumsstadium	7013	1
Baumholz	7014	1
Altbestand, Altersstadium/Reifestadium	7015	1
Kronendach zweischichtig, Altholzbestand mit Verküngung	7021	1
Kronendach zweischichtig, sonstige Ober- und Unterschicht	7022	1
Kronendach vielschichtig, gestuft, Plenterstadium	7030	1
Holzschlag, vorübergehend baumfrei	7710	1
Holzagerplatz	7750	1
Gebüschwald	7850	1
Kiesgrube, Kieswerk	8130	5
Wasserbehälter	8322	3
Kläranlage	8324	3
Fläche der Stromwirtschaft	8330	3
Kraftwerk	8331	3
Sonstige Fläche der Stromwirtschaft	8339	3
Offene Fläche ohne Oberboden	8400	5
Baustelle	8410	5
Lagerfläche	8420	3
Ländliche Prägung	9122	2
Einzelgebäude, Einzelanwesen	9130	3
Industrie- und Gewerbefläche	9140	3
Fläche mit besonderer baulicher Prägung	9150	3
Ruine	9160	3
Baustelle Siedlung, Gewerbe, Industrie	9170	3
Land-/Hauptstraße	9212	3
Sonstige Straßen	9213	3
Weg	9214	2

Parkplatz	9215	3
Tunnelportal an Strassenverkehrsweg, Lüftungsanlage	9217	3
Galerie an Strassenverkehrsweg	9218	3
Sonstige Straßenverkehrsfläche	9219	3
Schienenverkehrsweg	9221	3
Personenbahnhof	9222	3
Tunnelportal an Schienenverkehrsweg, Lüftungsanlage	9227	3
Galerie an Schienenverkehrswegen	9228	3
Sonstige Schienenverkehrsfläche	9229	3
Trampelpfad, Trampelfläche	9292	2
Parkanlage	9311	2
Wildgehege, Wildpark	9314	3
Sportplatz	9320	2
Fussball	9322	2
Grossflächige Sportanlage	9330	3
Spielplatz	9340	3
Zeltplatz, Campingplatz: Gemeinschaftseinrichtungen	9362	2
Informationspunkt, Aussichtspunkt	9391	5
Rastplatz, Feuerstelle	9392	3

Tabelle 3: Landnutzungsklassen

Habitattyp	Codes	LU Codes
Quelle, unverbaut	2110	1
Quellflur, moosreich	2120	1
Ausgebaute Quelle	2130	1
Fließgewässer, strukturreich	2311	2
Fließgewässer mit mittlerer Strukturdichte	2312	2
Fließgewässer, strukturarm, stark ausgebaut	2313	2
Graben, Rinne	2315	28
Stromschnelle	2322	2
Geschiebesammler	2336	29
Flusssperre, Querverbauung mit Wasserüberfall	2339	32
Altarm	2411	3
Stillgewässer, strukturreich	2511	4
Stillgewässer, mittlere Strukturdichte	2512	4
Stillgewässer, strukturarm	2513	4
Staumauer	2533	29
Hochmoor, Übergangsmoor	3100	5
Kleinseggen- und Binsenbestand	3210	6
Niedermoor, Durchströmungsmoor	3310	7
Trockenes Grünland	4210	8
Grünland mittleren Feuchtegrades	4220	8
Feucht- und Nassgrünland	4230	8
montane/subalpine/alpine Rasen, Wiese, Weide	4240	9
Weidefläche, stark verändert, Lägerflur	4260	10
Trockene Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	4710	11
Halbruderaler Saum, trocken	4711	11
Ruderalvegetation, trocken	4712	11
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, trocken	4713	11
Mittelfeuchte Kraut-, Stauden-, Grasflur, Saum	4720	12
Halbruderaler Saum, mittelfeucht	4721	12
Ruderalvegetation, mittelfeucht	4722	12
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, mittelfeucht	4723	12
Halbruderaler Saum, nass	4731	13
Hochstaudenflur des subalpinen/alpinen Bereichs, nass	4733	13
Kiesbank, Sandbank, fluviatil	5410	14
Erosionsfläche	5430	15

Rinne, Runse	5440	16
Steinriegel, Trockenmauer	5510	17
Lesesteinmauer, Lesesteinhaufen	5520	17
Zwergstrauchheide	5610	18
Schutt/Geröll/Blöcke/Schuttflur	5700	19
Schutt/Geröll fein (cm), Feinschutthalden	5701	19
Schutt/Geröll mittel (dm), Grobschutthalden	5702	19
Schutt/Geröll/Blöcke grob (m), Blockhalden	5703	19
Fels	5800	20
Feldgehölz	6200	21
Baumgruppe, Baumreihe	6300	21
Jungwuchs	7011	22
Dickung	7012	22
Stangenholz, Wachstumsstadium	7013	22
Baumholz	7014	22
Altbestand, Altersstadium/Reifestadium	7015	22
Kronendach zweischichtig, Altholzbestand mit Verküngung	7021	23
Kronendach zweischichtig, sonstige Ober- und Unterschicht	7022	23
Kronendach vielschichtig, gestuft, Plenterstadium	7030	24
Holzschlag, vorübergehend baumfrei	7710	25
Gebüschwald	7850	26
Einzelgebäude, Einzelanwesen	9130	27
Industrie- und Gewerbefläche	9140	27
Fläche mit besonderer baulicher Prägung	9150	27
Land-/Hauptstraße	9212	27
Sonstige Straßen	9213	27
Weg	9214	27
Parkplatz	9215	27
Tunnelportal an Strassenverkehrsweg, Lüftungsanlage	9217	27
Galerie an Strassenverkehrsweg	9218	27
Sonstige Straßenverkehrsfläche	9219	27
Wildgehege, Wildpark	9314	30