

Veränderung der Landbedeckung im Einzugsgebiet der Drau in Osttirol

EINE MASTERARBEIT

AM INSTITUT FÜR HYDROBIOLOGIE UND GEWÄSSERMANAGEMENT

DER UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN



VERFASST VON MARTIN KOFLER, BSC

MATRIKELNUMMER 01340485

WIEN AM 10.01.2021

BETREUER:

DI DR. SEVERIN HOHENSINNER

AO.UNIV.PROF. DI DR. SUSANNE MUHAR

Vorwort und Dank

Die vorliegende Masterarbeit wurde im Rahmen des Masterstudiums Umwelt- und Bioressourcenmanagement (UBRM) am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement (IHG) an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU) erstellt.

Die Arbeit beinhaltet die Untersuchung und Analyse Osttirols und dessen Landbedeckung zwischen dem Jahr 1859 bis hin zum Jahr 2016. Diese Masterarbeit gilt als Teilprojekt eines umfassenden Forschungsprojektes im österreichischen Raum und ist daher als ein verbindendes Element hin zu Größerem zu sehen.

Mein Dank gilt Frau Ao.Univ.Prof. DI Dr. Susanne Muhar für die Ermöglichung der Masterarbeit am Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement.

Ein besonders großer Dank gebührt Herrn DI Dr. Severin Hohensinner, der mich professionell mit allen notwendigen Daten-Material versorgt hat, in kürzester Zeit meine Fragen beantworten und mich mit vielen Inputs versorgen konnte. Vom Anfang bis zum Ende fühlte ich mich stets bestens betreut.

Auch im generellen möchte ich meiner Alma Mater danken, an der ich mich immer bestens aufgehoben gefühlt habe und mich in vielen fachlichen, sowie persönlichen Bereichen weiterentwickeln konnte.

Darüber hinaus möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums unterstützt haben. Danke liebe Eltern, liebe Schwester, Freunde und Studienkollegen.

KURZFASSUNG

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird die historische Landbedeckung Osttirols im Jahr 1859 sowie jene des Jahres 2016 rekonstruiert, um daraus Rückschlüsse hinsichtlich eines potenziell vermehrten Hochwasserrisikos in alpinen Tallagen zu ziehen.

Dazu werden Katasterkarten aus dem 19. Jahrhundert mittels GIS vektorisiert sowie bereitgestellte Vektordaten von 2016 herangezogen. Folgende Erkenntnisse können daraus abgeleitet werden:

(1) Der Vergleich der Landbedeckung/-nutzung im gesamten Untersuchungsgebiet 1859 und 2016 zeigt, dass sich das Siedlungsgebiet mehr als verdoppelte und die Waldflächen um zirka 34% zunahmten. Landwirtschaftlich genutzte Flächen verringerten sich hingegen um rund 14%, Fließgewässer und Gletscherflächen nahmen um 33 bzw. 70% ab.

(2) Die Landbedeckung in den bei 300-jährlichen Hochwasserereignis (HQ₃₀₀) überfluteten Talräumen wies im Vergleich zum gesamten Einzugsgebiet eine andere Entwicklung auf. Hier haben sich Siedlungsgebiete mehr als verfünffacht, während sie sich im gesamten Einzugsgebiet ungefähr verdreifacht haben. Während die landwirtschaftlichen Flächen im gesamten Einzugsgebiet um 14% reduziert wurden, nahmen sie hingegen in Tallagen um 2% zu.

(3) Die Veränderung der Landbedeckung wirkt sich auf die Fließgewässer Osttirols in mehrfacher Weise aus. Stark verringerte Gletscher vermögen weniger Niederschlag zu puffern, wodurch sich das Abflussverhalten der Gewässer und damit das Hochwasserrisiko verändert. Regulierungsmaßnahmen und die fortschreitende Urbanisierung im Nahbereich der Fließgewässer führten dazu, dass weniger Retentionsräume und Versickerungsflächen zur Verfügung stehen. Auf Basis der ermittelten Daten ist anzunehmen, dass sich das Hochwasserrisiko in den Tallagen seit 1859 stetig erhöht hat.

Schlagworte: Osttirol, Landbedeckung, Landnutzung, Drau, Hochwasser

ABSTRACT

This master's thesis aims at reconstructing the historical land cover of Eastern Tyrol in 1859 as well as in 2016 in order to draw conclusions about a potentially increased flood risk in the alpine valleys.

The analysis of the data which was obtained from vectorizing cadastral maps from the 19th century using GIS and of already existing vector data from 2016 leads to the following findings:

(1) The comparison of the land cover/land use of the entire study area in 1859 and 2016 shows that settlement areas doubled and that forests increased by around 34%. Agricultural areas, on the other hand, decreased by ca. 14%, whereas rivers and glaciers decreased by 33 and 70%, respectively.

(2) Compared to the total catchment, land cover in areas that are flooded during 300-year flood events (HQ_{300}) shows a different development. Here, settlement areas have increased more than fivefold, while they have roughly tripled in the entire catchment area. Moreover, agricultural areas slightly increased by 2% in the flood prone areas.

(3) The change in land cover affects the flowing waters of Eastern Tyrol in several ways. Heavily reduced glaciers can buffer less precipitation, which changes the runoff behavior of the waters and thus the flood risk. River regulation and the advancing urbanization in the vicinity of rivers have resulted in reduced retention and infiltration areas. Based on the data obtained, it can be assumed that the flood risk in the valley areas has increased steadily since 1859.

Keywords: Eastern Tyrol, land cover, land use, Drava River, flood

INHALTSVERZEICHNIS

1.	EINLEITUNG.....	7
1.1.	ZIEL DER ARBEIT.....	8
1.2.	Fragestellungen	8
2.	UNTERSUCHUNGSGEBIET	12
2.1.	OSTTIROL.....	12
2.2.	DRAU.....	13
3.	MATERIAL UND METHODEN.....	16
3.1.	GRUNDLAGENDATEN HISTORISCHE REKONSTRUKTION.....	16
3.1.1.	FRANZISZEISCHER KATASTER.....	16
3.1.2.	KULTURENSKELETTKARTE	20
3.1.3.	2. TIROLER LANDESAUFNAHME/FRANZISZEISCHE LANDESAUFNAHME TIROL 1816-1821.....	23
3.1.4.	HQ ₃₀₀ -FLÄCHE HISTORISCH.....	26
3.2.	GRUNDLAGENDATEN AKTUELLE REKONSTRUKTION	29
3.2.1.	GEOLAND BASEMAP	29
3.2.2.	OPENSTREETMAP (OSM)	30
3.2.3.	LAND INFORMATION SYSTEM AUSTRIA (LISA)	30
3.2.4.	INTEGRIERTE VERWALTUNGS- UND KONTROLLSYSTEM (INVEKOS)	33
3.2.5.	STRATEGIC PLANNING FOR ALPINE RIVER ECOSYSTEMS (SPARE).....	33
3.2.7.	HQ ₃₀₀ -FLÄCHE AKTUELL	34
3.3.	METHODIK.....	36
3.3.1.	LANDBEDECKUNG UND LANDNUTZUNG	36
3.3.2.	BEARBEITUNG UNTERSUCHUNGSGEBIET	38
4.	ERGEBNISSE	47
4.1.	OSTTIROL IM JAHRE 1859	47
4.2.	OSTTIROL IM JAHRE 2016	50
4.3.	VERGLEICH DER LANDBEDECKUNG IN OSTTIROL 1859 UND 2016.....	53
4.4.	VERGLEICH HQ ₃₀₀ -ÜBERFLUTUNGSRAUM OSTTIROL 1859 UND 2016	56
4.5.	LANDBEDECKUNG IM HQ ₃₀₀ -GEBIET	58
4.5.1.	LANDBEDECKUNG IM HQ ₃₀₀ -GEBIET 1859	58
4.5.2.	LANDBEDECKUNG IM HQ ₃₀₀ -GEBIET 2016.....	61
4.6.	TRANSFORMATION DER LANDBEDECKUNG ZWISCHEN 1859 UND 2016	64
5.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	74
5.1.	DISKUSSION FORSCHUNGSFRAGE 1.....	74
5.2.	Diskussion FORSCHUNGSFRAGE 2	79

5.3. DISKUSSION FORSCHUNGSFRAGE 3.....	82
6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG.....	86
7. LITERATURVERZEICHNIS	88
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	99
9. TABELLENVERZEICHNIS	100

1. EINLEITUNG

Diese Masterarbeit ist Teil des groß angelegten Forschungsprojekts "POLicy COordination in FLOOD Risk Management" (POCO-FLOOD). Es handelt sich bei diesem Projekt um die Untersuchung von Abhängigkeiten, Konflikten und Optionen für die politische Koordination zwischen Bereichen wie Hochwasserschutz, Wasserkraft, Landwirtschaft und Raumplanung. Untersucht wird indessen der Wandel der vorherrschenden Hochwasserschutzpolitik und des Hochwasserschutzes, hin zu einem integrierten Hochwasserrisikomanagement (ÖAW, 2018; Seher, 2019).

Das Projekt unterteilt sich in drei Fallstudien. Einmal werden Speicherkraftwerke im alpinen Raum und mögliche Maßnahmen zur Minderung von Hochwasserspitzen untersucht. Ebenso wie die zunehmende Bedeutung der Landwirtschaft für den Hochwasserschutz - im speziellen wie landwirtschaftlich Flächen als Retentionsräume genutzt werden können. Die dritte Fallstudie beschäftigt sich mit dem wechselseitigen Verhältnis zwischen Hochwasserschutzmaßnahmen und Raumordnungspolitik, sowie der Fragestellung wie das Schadenspotential in Hochwasser geschützten Gebieten zukünftig minimiert werden kann (ÖAW, 2018; Seher, 2019).

Hinblickend auf das Forschungsprojekt, wird auch die historische Landbedeckung in alpinen Einzugsgebieten Österreichs digital rekonstruiert. Grundlage dafür sind historische Karten des Franziszeischen Katasters (siehe Kapitel 3.1.1), sowie die Zweite Landesaufnahme (siehe Kapitel 3.1.3) für höhere Standorte in den alpinen Regionen. Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Einzugsgebiet der Drau in Osttirol und hat dafür die sogenannte Kulturenskelettkarte (siehe Kapitel 3.1.2) als Grundlage. Die GIS-basierte Rekonstruktion hat dabei das Ziel, die Veränderungen der Landbedeckung in Osttirol seit Mitte des 19. Jahrhunderts zu untersuchen und darauf aufbauend weiterführende Hochwassersimulationen zu ermöglichen (ÖAW, 2018; Seher, 2019).

Ausgewählte Forschungsarbeiten wie jene von Tappeiner et al. (2006) oder Haidvogel et al. (2018) spiegeln das Interesse wider, die Landnutzung im Laufe der Zeit genauer zu untersuchen. Bei Tappeiner et al. (2006) wurde die Landnutzung der letzten 150 Jahre der europäischen Alpenregionen gleich dem vorliegenden Projekt mittels GIS-Daten untersucht und auch versucht eine Prognose für die nahe Zukunft zu erstellen. Ergebnis dabei war, dass es einen eindeutigen Trend gibt von der traditionellen Landwirtschaft mit Grünland und Äckern, hin zu neuen Nutzungsformen wie Intensivkulturen und Siedlungsausbau. Dennoch hat, die Gesamtfläche betrachtend, die Agrarnutzung und die Forstwirtschaft immer noch einen großen Anteil im gesamten Alpenraum, was sich auch anhand der vorliegenden Arbeit feststellen lässt.

Bei Haidvogel et al. (2018) geht es vor allem um den Zusammenhang zwischen der Landnutzungsänderung, der Siedlungsentwicklung und dem fortschreitenden Ausbau der Hochwasserschutzmaßnahmen der Traisen im Bereich der Stadt St. Pölten. Auch hier wurde auf Basis historischer Karten die ursprüngliche Landbedeckung der letzten 150 Jahre rekonstruiert und genauer untersucht. Die Arbeit hielt insbesondere fest, wie sich die Stadt St. Pölten im 20. Jahrhundert in die Breite stetig ausweitete und die bis dato vorherrschende Auenlandschaft zurückgedrängt wurde. Das Hochwassermanagement zielte hierbei auf eine stetige Ausweitung der Siedlungsräume ab, während auf ökologische Verhältnisse und den Erhalt der Auenlandschaft weniger Rücksicht genommen wurde.

In Anlehnung an Blöschl et al. (2015, 2019) wird auch in dieser Forschungsarbeit versucht, potenzielle Auswirkungen einer veränderten Landbedeckung/-nutzung auf das Hochwasserrisiko zu ermitteln. Die beiden genannten Forschungsarbeiten betrachten dabei zentral die Hochwasserstände und Auswirkungen im europäischen Raum. Im Unterschied dazu beschäftigt sich diese Masterarbeit im Speziellen mit dem Einzugsgebiet der Drau in Osttirol. Im Zentrum der Betrachtung stehen hierbei die Hochwasserrisiken in den alpinen Tallagen.

1.1. ZIEL DER ARBEIT

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Landbedeckung im Einzugsgebiet der Drau in Osttirol um 1859 zu rekonstruieren sowie die Veränderungen bis zum Jahr 2016 zu untersuchen.

Die dadurch gewonnenen Daten dienen im weiteren Verlauf dazu, ein Wasserbilanzmodell bzw. Hochwassermodell für das Untersuchungsgebiet zu generieren - sowohl für den historischen als auch für aktuell erarbeiteten Datensatz. Dies bildet eine wichtige Grundlage für weiterführende schutzwasserwirtschaftliche Planungen, sowie dazu, Wasserbilanzstudien durchzuführen. Jene Modelle können zudem auch zur Beurteilung der Auswirkungen von Klimaänderungen eingesetzt werden (Kling & Nachtnebel, 2009).

1.2. FRAGESTELLUNGEN

In dieser Arbeit wird versucht folgende *Forschungsfragen* zu beantworten:

1. *Welche Veränderungen hinsichtlich der Landbedeckung bzw. Landnutzungen sind im gesamten untersuchten Einzugsgebiet zwischen 1859 und 2016 erkennbar?*

Hypothese: Im Vergleich zwischen 1859 und 2016 sind folgende Veränderungen quantifizierbar:

- Zunahme der Siedlungsgebiete und Infrastruktur

Im 18. und frühen 19. Jahrhundert gab es lediglich ein langsames Wachstum der Bevölkerung in ganz Österreich. Im Verlauf des 19. und frühen 20. Jahrhundert wurde jedoch ein starker Anstieg der Bevölkerung vermerkt, welcher stetig bis heute anhält und die Erweiterung von Siedlungen und Städte im Allgemeinen notwendig machte (Tazi-Preve et al., 1999; Krausmann et al., 2003; Statistik Austria, 2020). In Tirol selbst ist beispielsweise zwischen 1869 und 2020 eine Verdreifachung der Bevölkerung zu sehen (Land Tirol, s.a.).

- Zunahme der Wälder

Laut dem BFW (2016) wurden insbesondere im 18. und 19. Jahrhundert Wälder für den Bedarf an Bau- und Brennholz massiv abgeholzt. Mit der Zeit traten jedoch Gesetze in Kraft, welche die Nutzung der Ressource Holz regelten. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts ist ein stetiger Zuwachs in großen Teilen Mitteleuropas und ganz Österreich an Waldfläche zu verzeichnen. Ursprüngliche Waldflächen, die vom Menschen als Weideflächen oder als Futterwiesen Verwendung fanden, wurden aufgelassen, wobei jene mit der Zeit verwilderten und wieder zu Waldflächen wurden beziehungsweise werden (Hasenauer et al., 1999; Krausmann et al., 2003; Höher, 2019).

- Verringerung von Grünland, Ackerflächen und Obstbaumwiesen

Im 20. Jahrhundert wurde großflächig Raum für Siedlungsgebiete und Gewerbeansiedlungen benötigt. Durch diese Entwicklung wurden Grünland, Ackerflächen und Obstbaumwiesen in weitläufigen Talböden und vorherigen Auegebieten in Bauland umgewidmet (Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003; Baumgartner, 2017).

- Verringerung der Gletscher und Schneefelder

Laut ZAMG (s.a.) und Fischer et al. (2015) hat sich zwischen 1850, dem anzunehmenden Gletscher-Höchststand im gesamten Alpenraum, und dem aktuellen Stand die Gletscherfläche in Österreich mit wenigen Vorstößen um 1890, 1920 und 1970 mehr als halbiert. Da in Osttirol ein Teil der österreichischen Gletscherlandschaften zu finden sind, kann angenommen werden, dass auch dort die Verminderung der Gletscherfläche schlagend wird.

- Zunahme des Ödlandes

Durch den Rückzug der Gletscherflächen in den Alpen der letzten 150 Jahren wurden Gipfelbereiche sowie Hangschutt und Moränen vermehrt freigelegt (Krausmann, 2001; Krainer, 2007).

- Verringerung der Feuchtgebiete wie Auwälder, Moore und Sümpfe

In Talbereichen in Osttirol herrschte bis vor 140 Jahren ein Landschaftsbild mit großen Aulandschaften vor. Das weit verzweigte Au-Gewässersystem und Feuchtgebiete prägten den Talboden. Durch den Bau der Bahnlinie der Oberen Drau um 1870 begannen jedoch die Regulierungsarbeiten am Flussverlauf, um die Hochwassergefahr zu verringern. Dadurch verschwanden Schritt für Schritt die Aulandschaften und Feuchtgebiet entlang der Drau (Lebensministerium, 2011).

2. *Wie unterscheidet sich die Veränderung der Landbedeckung in den bei 300-jährlichen Hochwassern (HQ₃₀₀) überfluteten Talräumen von jener im gesamten Einzugsgebiet?*

Hypothese: Im Vergleich zwischen 1859 und 2016 sind folgende Veränderungen quantifizierbar:

- Zunahme der Siedlungsgebiete und Infrastruktur im Talbereich

Gleich der vorangegangenen Fragestellung nahm im 19. und 20. Jahrhundert die Siedlungstätigkeit im Talbereich stärker zu als im gesamten Gebiet. Die urbanen Flächen konnten sich durch die Regulierungsarbeiten entlang der Drau ausweiten, und kamen stetig dem Fließgewässer näher. Die heute bestehende Siedlungsfläche und Infrastruktur breitet sich dahingehend im gesamten Einzugsgebiet immer mehr in den Hochwasserzonen aus (Tazi-Preve et al., 1999; Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003).

- Verringerung der landwirtschaftlichen Flächen im Talbereich

Im Bereich der Drau befanden sich weit ausgedehnte Auenlandschaften und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Jene wurden durch die Regulierung und fortschreitende Urbanisierung insbesondere im Talbereich und im Verhältnis zum gesamten Einzugsgebiet stark reduziert (Lebensministerium, 2011). Die ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen wurden teilweise zu Bauland umgewidmet und bebaut (Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003; Baumgartner, 2017).

- Verringerung des flächenmäßigen Anteils an Fließgewässern

Die Regulierungsarbeiten im Talboden in Osttirol hatten den Effekt, dass sich die landwirtschaftlichen Flächen und das Siedlungsgebiet im 19. Jahrhundert ausbreiteten und an den regulierten Flüssen annäherten. Den Regulierungen war es geschuldet, dass das Flussbett der Drau und deren Zubringer verschmälert und geradliniger angelegt wurde. Somit kam es zu einer Verringerung des flächenmäßigen Anteils der Fließgewässer (Lebensministerium, 2011; Baumgartner, 2017).

3. Welche Auswirkungen auf das Abflussverhalten der Drau und ihrer Zubringer sind aufgrund der veränderten Landbedeckung/-nutzung potenziell möglich?

Hypothese: Durch erhöhte Bodenversiegelung, Regulierungen und Gletscherrückgang ist ein höherer Oberflächenabfluss, sowie eine verringerte hydrologische Pufferwirkung bei Niederschlägen zu erwarten.

- Bebauungen in vormaligen Überflutungsflächen erhöhen Hochwasserrisiken

Der Bau von Dämmen und Regulierungen von Flüssen hatte zur Folge, dass der Mensch sich stetig an Flüsse angenähert hat. Aulandschaften, die als Überflutungsflächen galten, wurden durch die intensive Nutzung als Siedlungsgebiet verdrängt. Durch den neu entstandenen Siedlungsraum vergrößerte sich das Schadenspotenzial bei Hochwässern im mittelbaren Bereich regulierter Flüsse (Früh-Müller et al., 2014; Mustafa et al., 2018; Szwagrzyk, 2018).

- Regulierungen und Hochwasserschutzbauten verringern Retentionsräume und potenzielle Pufferflächen zur Versickerung

Durch den Ausbau und der Regulierung des Talraumes seit Ende des 19. Jahrhunderts entlang der Drau in Osttirol verschwanden Feuchtgebiete und Auwälder (Lebensministerium, 2011). Dadurch fehlen natürliche Überflutungsflächen. Das über die Ufer tretende Wasser kann sich somit nicht gut ausbreiten und in bodennahen Schichten versickern (Lammersen et al., 2002; Cammerer et al., 2013; Früh-Müller et al., 2014; Mustafa et al., 2018).

- Fehlende Überflutungsflächen und Regulierungen begünstigen schnellere Fließgeschwindigkeit in Richtung Tal

Flussbegradigungen und fehlende Überflutungsflächen verkürzen einerseits die Lauflänge von Flüssen, andererseits beschleunigen sie das Abflussverhalten. Die Fließgeschwindigkeiten erhöhen sich. In Folge dessen kommt es zu einer steileren und höheren Wasserwelle bei Zubringern und höher möglichen Pegelständen bei Flüssen, die sich im Tal befinden (UBA, 2011; Szwagrzyk et al., 2018).

- Veränderung der Pufferfähigkeit von Niederschlägen durch Verminderung der Gletscher

Gletscher gelten als natürliche Wasserspeicher, sie sammeln speziell im Winter Niederschläge an und halten die Wassermengen in Form von Eis und Schnee bis zum Abschmelzen im Sommer. Sie sind Teil eines komplexen hydraulischen Prozesses und haben eine wichtige Funktion im Wasserkreislauf, sowie dem saisonalen Abflussverhalten (Käyhkö et al., 2015; Borunda, 2020; Zhang, 2020).

2. UNTERSUCHUNGSGEBIET

Als Untersuchungsgebiet für diese Arbeit dient das Einzugsgebiet der Drau in Osttirol. In den folgenden zwei Kapiteln werden Osttirol als Einzugsgebiet, sowie die Drau als Hauptfluss genauer umschrieben.

2.1. OSTTIROL

Osttirol liegt in einer inneralpinen Lage südlich des Alpenhauptkamms im süd-westlichen Teil Österreichs (siehe Abbildung 1: (Nord-)Tirol und Osttirol (rm-Osttirol, s.a.). Der Bezirk grenzt an die Bundesländer Kärnten, Salzburg, die italienische Region Trentino-Südtirol und Venetien. Die Haupttäler des Bezirks Osttirol sind das Kalsertal, Gailtal, Pustertal, Iseltal, Virgental und Defregental. Die Hauptflüsse sind die Drau und Isel (Austria-Forum, 2020).

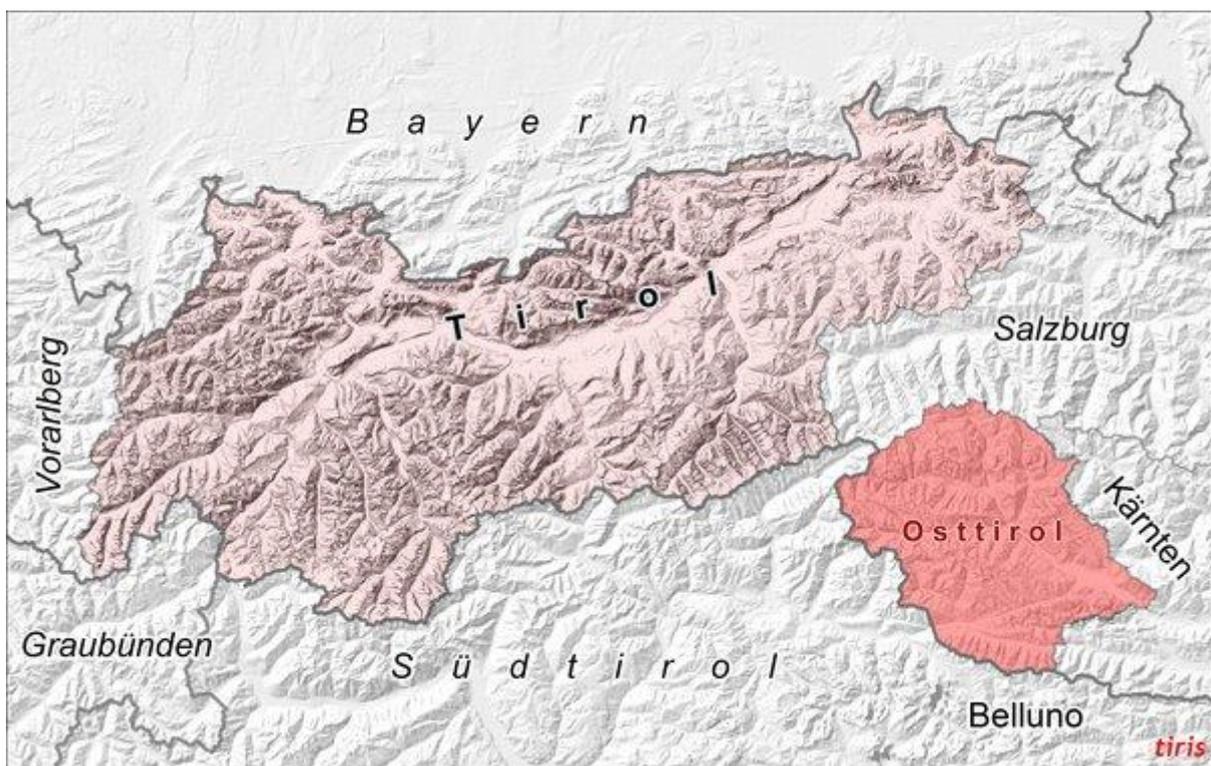


Abbildung 1: (Nord-)Tirol und Osttirol (rm-Osttirol, s.a.)

In Abbildung 2 ist das Untersuchungsgebiet grafisch veranschaulicht, sowie die Lage des Gebietes auf Österreich bezogen. Wie ersichtlich ist, macht Osttirol einen relativ kleinen Teil des Staatsgebietes aus. Dennoch ist es ein wichtiger Teil des oben genannten Forschungsprojektes mit einer Gesamtfläche von 1.900 km².

Untersuchungsgebiet - Osttirol

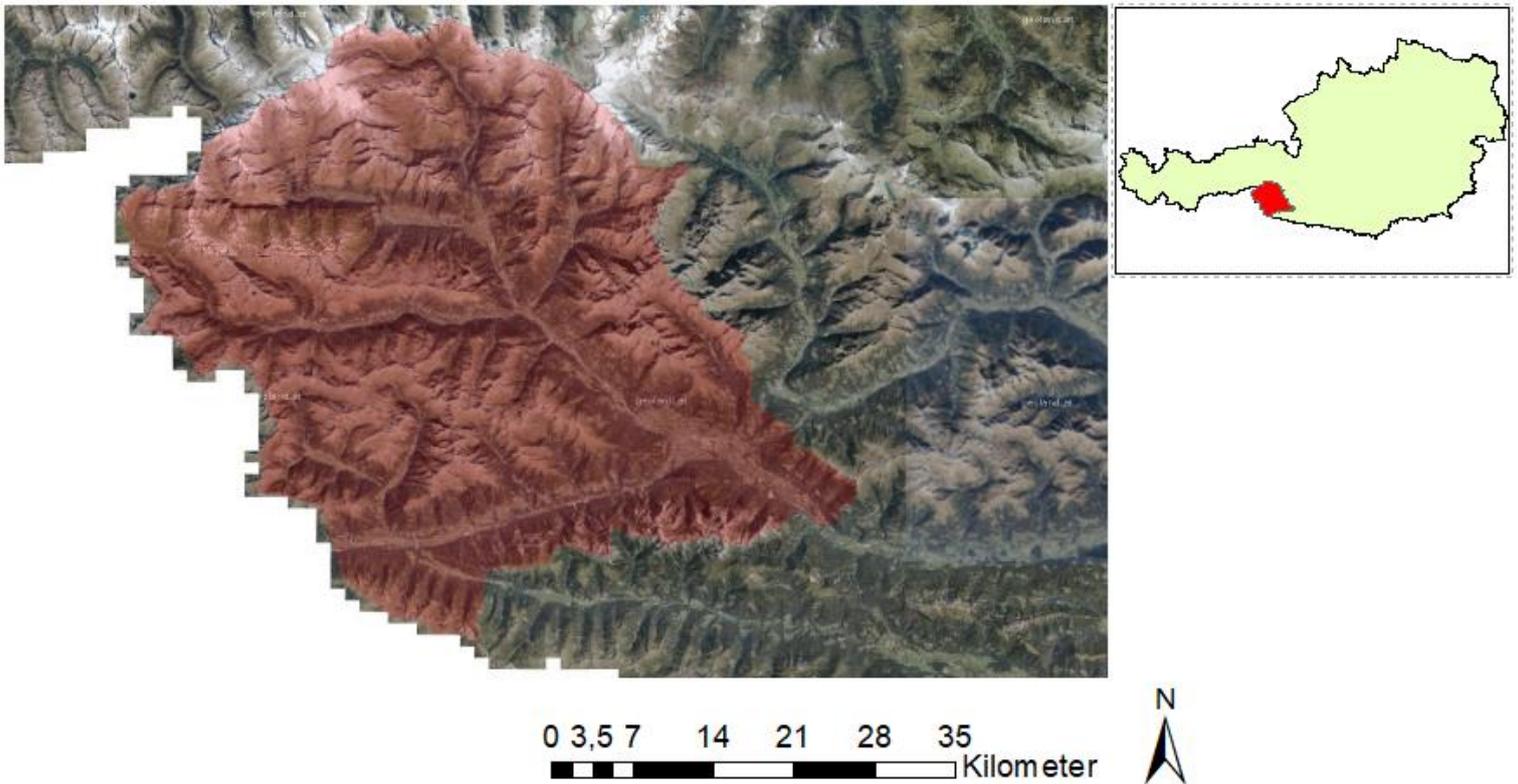


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet - Osttirol

2.2. DRAU

Die Drau (siehe Abbildung 3) hat ihren Ursprung am Toblacher Sattel im Pustertal in Südtirol, der wunderschönen Heimat des Autors. Der Fluss mündet bei Osijek/Kroatien in die Donau, wobei das Wasser eine gesamte Flusslänge von 749 km, und davon 261 km in Österreich durchfließt. Das gesamte Einzugsgebiet der Drau umfasst ein Gebiet von 11.828 km² und hat damit das drittgrößte Einzugsgebiet aller Flüsse in Österreich (BMLRT, s.a.).

In Osttirol, wo die Drau vielmehr Obere Drau genannt wird, hat der Fluss eine Fließlänge von 49,5 km und ein Einzugsgebiet von 1.900 km². Durch mehrere Baumaßnahmen zum Zweck der Landgewinnung und des Hochwasserschutzes wurde die Drau im gesamten Gebiet Osttirols umgestaltet, wodurch die gesamte Habitatstruktur sich stark veränderte (tirol.gv, 2004). Dennoch gab es die letzten Jahre vermehrt Versuche Teilstücke der Drau in Osttirol wieder zu vitalisieren, entlang des Ufers Aufweitungen so zu gestalten, dass verlorene Auegebiete wieder entstehen können (BMLRT, s.a.a).

Alte Landschaftsaufnahmen verdeutlichen, dass noch Mitte des 19. Jahrhunderts die Obere Drau in weiten Bereichen verzweigt war und viele unterschiedliche Breiten, Tiefen und Strömungsmuster besaß. Kiesbänke und Kiesinseln boten vielen Fischarten einen vielfältigen Lebensraum. Auch Zubringer wie die Isel wurden schrittweise verbaut, wodurch weniger Schotter in die Drau eingetragen wurde und es somit zu Gerinne Eintiefungen und dem Verlust von Schotterbänken kam (Uiblein et. al., 2002). Es wurde vor allem in den letzten Jahrzehnten massiv versucht die Nutzung von Wasserkraft in Osttirol voranzutreiben. Dabei wären Kraftwerke mit Stauräumen, sowie Laufkraftwerke an den Haupt- und Nebenflüssen interessant. Bisher gibt es jedoch in Osttirol lediglich ein Laufkraftwerk an der Drau. Weitere Kraftwerksausbauten an der Isel sind geplant, wurden jedoch bisher von NGOs verhindert (ÖAV, 2019).

Wie in Abbildung 3 ersichtlich ist, umfasst das Einzugsgebiet der Oberen Drau eine Vielzahl an Zubringern. All jene Bäche und Flüsse bringen frisches Wasser von den Gletschern Osttirols die Täler hinunter in Richtung der Drau, des größten Flusses in Osttirol (BMLRT, s.a.a).

Drau inklusive Zubringer

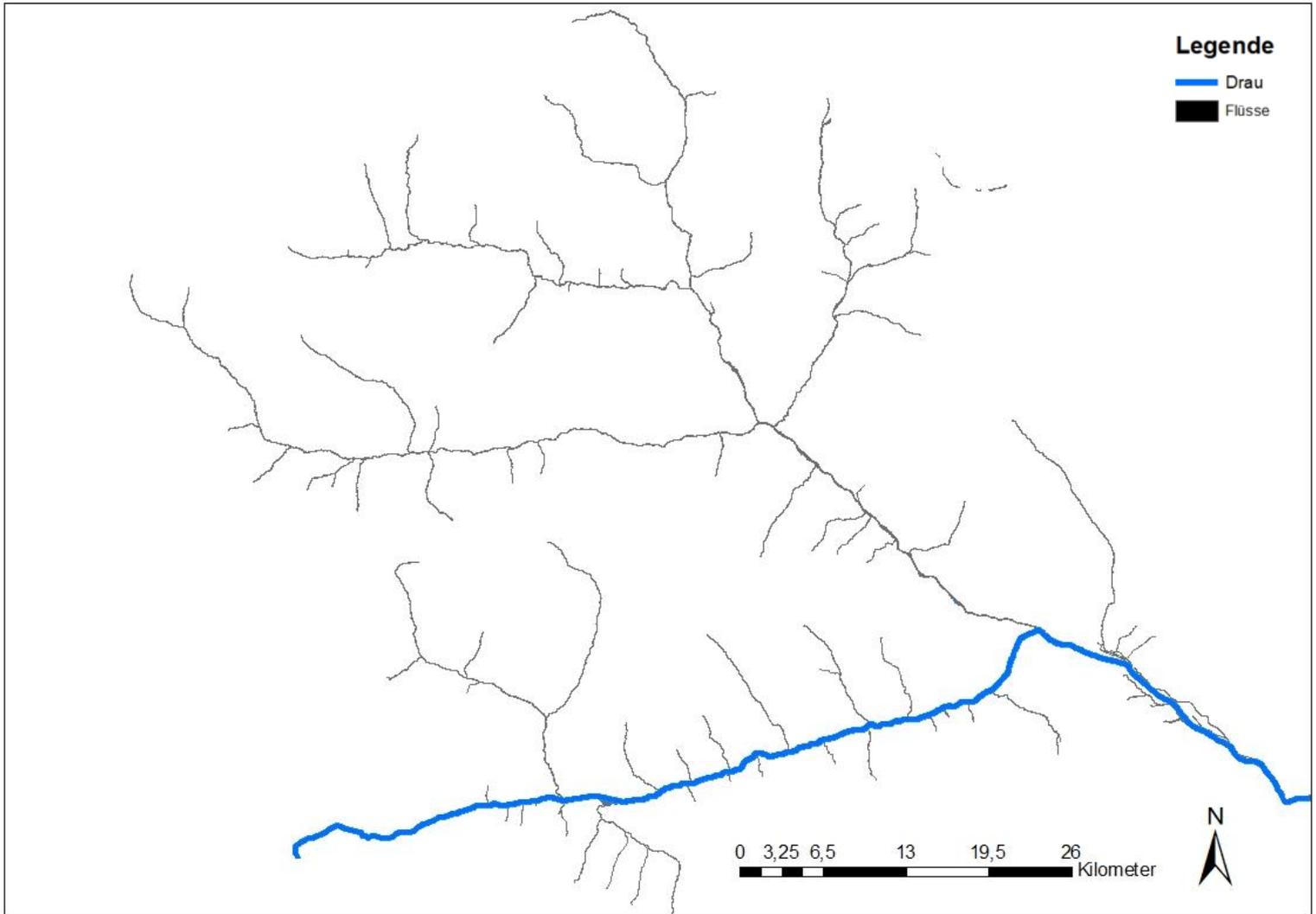


Abbildung 3: Drau in Osttirol (blau) inkl. Zubringer

3. MATERIAL UND METHODEN

Die vorliegende Masterarbeit basiert auf einem GIS-gestützten Projekt, sowie einer ausführlichen Literaturrecherche. Das GIS-Projekt wurde mittels digitalem Kartenmaterial und der Software ArcGIS Version 10.7.1 der Firma ESRI bearbeitet. Die herangezogene Literatur besteht in erster Linie aus Fachliteratur, sowie Analyseberichten des Einzugsgebietes von Osttirol und Österreich. Darüber hinaus wurde eine umfassende Internetrecherche durchgeführt, welche als Ergänzung zur vorhandenen Fachliteratur dient.

3.1. GRUNDLAGENDATEN HISTORISCHE REKONSTRUKTION

In den folgenden Kapiteln wird nun genauer auf die Grundlagendaten der historischen Rekonstruktion des Untersuchungsgebietes eingegangen.

Die für die Bearbeitung und Analyse relevanten historischen Geofachdaten für Osttirol sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Es sei darauf hingewiesen, dass die Daten vom Landesarchiv Tirol, dem österreichischen Staatsarchiv und dem Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) bereitgestellt wurden.

Tabelle 1: Geofachdaten historisch

Geofachdaten
Kulturenskelettkarte ca. 1875
Franziseische Landesaufnahme Tirol 1816-1821
HQ ₃₀₀ -Flächen

3.1.1. FRANZISEISCHER KATASTER

Das Wort Kataster gilt als Synonym für das amtliche Liegenschaftsverzeichnis in Österreich. Es gibt Auskunft über die Eigentumsverhältnisse, Pflichten und Lasten von landwirtschaftlich genutzten Grundstücken (Beimrohr, 2006). Der Kataster und das Grundbuch bilden zusammen das Eigentumssicherungssystem in Österreich für Grund und Boden ab, dieses dient als steuerliche Bemessungsgrundlage. Der Kataster bildet die tatsächlichen Grundstücksverhältnisse hinsichtlich ihrer Lage, Größe, Grenzen und der Nutzung ab. Die Dokumentation und Aktualisierung unterliegen den Vermessungsämtern Österreichs (BEV, 2019).

Franz I., Kaiser von Österreich erteilte 1806 der Vereinigten Hofkanzlei den Auftrag, ein Grundkatastersystem für die gesamte Monarchie zu erstellen, welches nach gleichförmigen und stabilen Prinzipien ausgearbeitet werden sollte. Im Jahre 1817 wurde das Großprojekt für den Grundsteuerkataster gestartet, welche alle Provinzen der österreichischen Monarchie, später auch die Länder der Stephanskronen (Ungarn) beinhalten. Erst 1861 wurde das Großprojekt der Monarchie mit der Kartierung Tirols abgeschlossen (Fuhrmann, 2007).

Vermessen wurden dabei nicht nur alle aktiv genutzten Grundstücke, sondern auch unproduktive Flächen wie Ödland oder Gletscherflächen. Alle Vermessungen fanden Einzug in einer Sammlung an handgemalten Karten(-blätter), die die gesamte damalige Landbedeckung beinhalten. Die Vermessung hatte indessen nicht nur das Ziel die Erstellung des Grundkatasters, sondern sollte auch als generelle Informationsquelle dienen für die Verwaltung der Monarchie und für zukünftigen staatlichen Planungen. Der Franziszeische Kataster wurde auch mit einem einheitlichen Koordinatensystem) in Nord-Süd-Richtung in Kolonnen und in West-Ost-Richtung durch Schichten unterteilt (Fuhrmann, 2007).

Das Ergebnis des Vorhabens war die sogenannte Urmappe. Sie enthält alle originalen Mess- und Erhebungsergebnisse der gesamten vermessenen Fläche im Verhältnis 1:2.880 (Fuhrmann, 2007). Auch die für diese Masterarbeit verwendete Kulturskelettkarte basiert auf dem Franziszeischen Kataster (Beimrohr, 2006).

Die einzelnen Landnutzungsarten der Kartenblätter wurden mittels einer einheitlichen Legende eingezeichnet und ausgemalt (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5). Wie man bestens sehen kann, war die Einteilung der verschiedenen Landnutzungsarten und Signaturen bereits sehr ausdifferenziert.

In

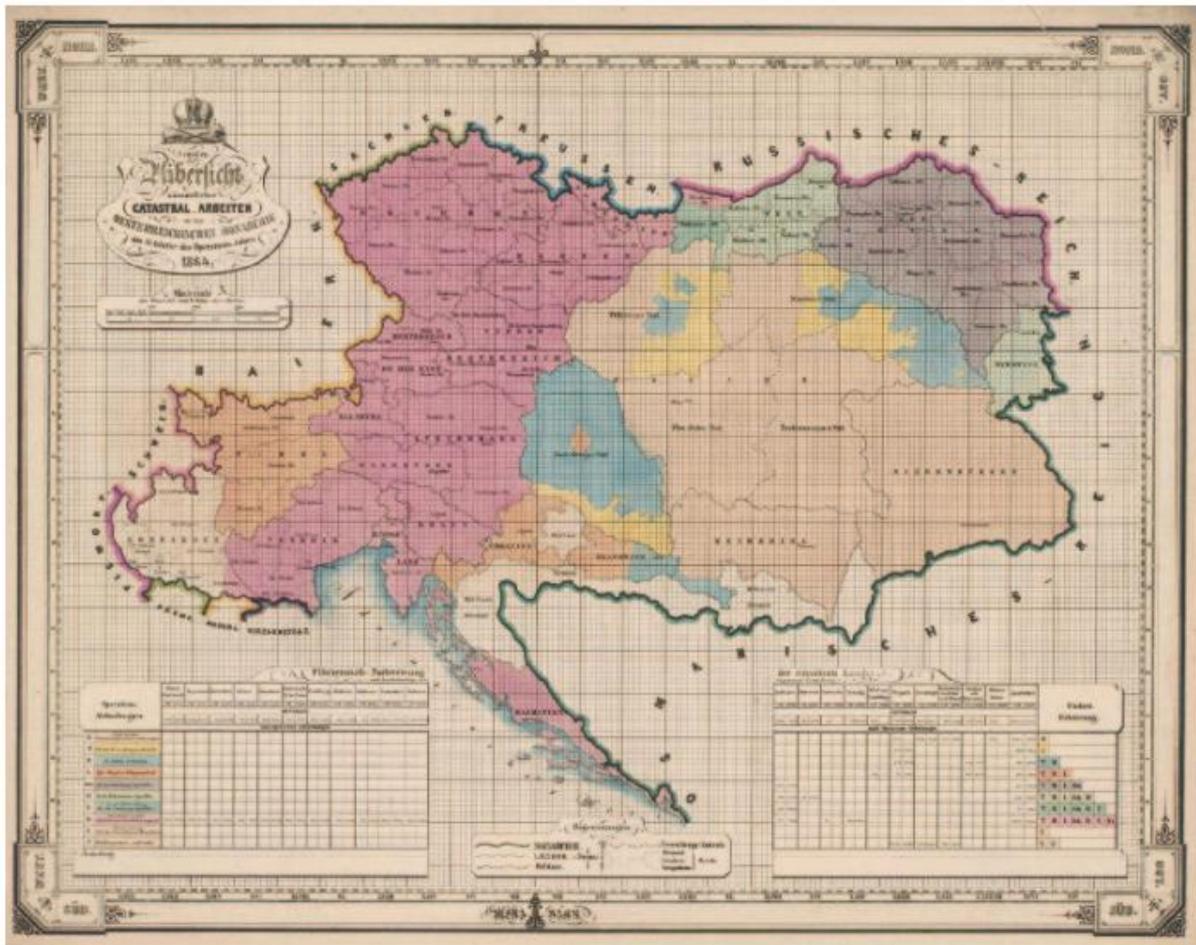


Abbildung 6 ist eine Gesamtübersicht der der Monarchie von 1864 abgebildet. Anhand der Abbildung ist vor allem das oben genannte Koordinatensystem mit dessen horizontalen und vertikalen Einteilungen gut ersichtlich.

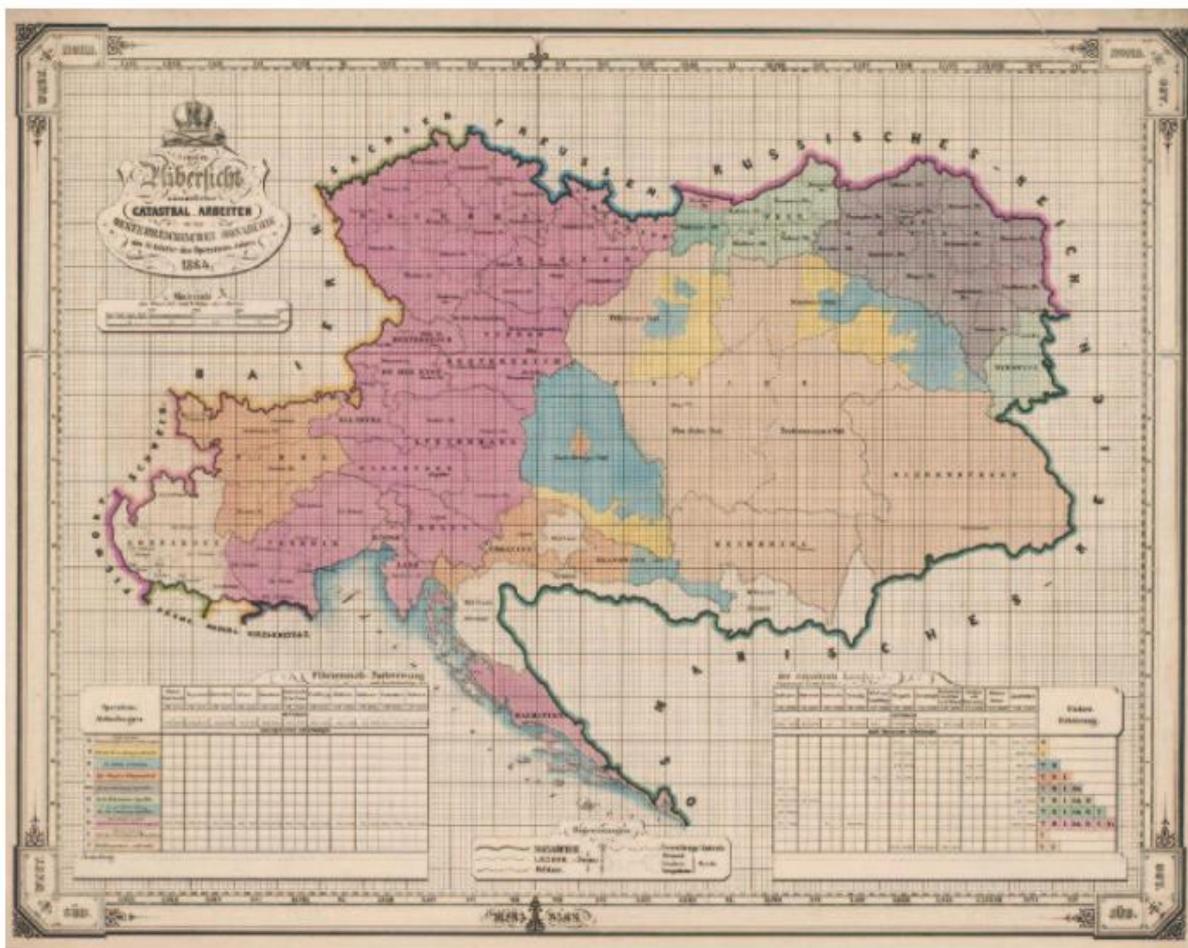


Abbildung 6: Katastralarbeit der österreichischen Monarchie 1864 (Fuhrmann, 2007)

In Abbildung 7 wird der Verlauf und die Meilensteine des österreichischen Landadministrationssystems von 1817 bis 2019 aufgezeigt. Wie gut sichtbar ist, wurden insbesondere im späteren 19. Jahrhundert einige Neuerungen veranlasst und damit das zugrunde liegende System weiterentwickelt.



Abbildung 7: Meilensteine des öst. Landadministrationssystems 1817 – 2019 (Ernst et al., 2019)

3.1.2. KULTURENSKELETTKARTE

Die Kulturenskettkarte ist eine stark verkleinerte Zusammenfassung der Katasteraufnahmen von Tirol und Vorarlberg, die zwischen 1855-1861 erstellt und ca. 1875 auf Basis des Katasters herausgegeben wurde. Ganz Osttirol (siehe Abbildung 8) wurde dabei im Jahre 1859 aufgenommen als Teil der Katastermappen des Franziszeischen Katasters. Die handkolorierten Karten haben einen Maßstab von 1: 36.000 (Beimrohr, 2006). Sie geben Auskunft über die Landbedeckung und Landnutzung, dem Verlauf von Flüssen und Bächen, Seen, Grenzpunkte, topographische Namen, Ortsnamen, usw. Für die Kartierung der Kulturenskettkarte wurde eigens ein Bezugsmeridian gewählt: Der Südturm der Stadtpfarrkirche St. Jakob in Innsbruck. Davon abgeleitet wurde ein quadratisches Nord-Süd bzw. West-Ost ausgerichtetes Koordinatensystem erstellt mit einer Seitenlänge von einer Meile. Es wurden Kartenblätter mit einem Maß von 21 x 21 cm, der eigentlichen Kulturenskettkarte erstellt. Dieses Format ermöglicht die Aufnahme von je genau einer Quadratmeile (Beimrohr, 2006). Die originalen Kartenblätter liegen heute beim Landesarchiv Tirol unter der Signatur der Baudirektionspläne Z 1-32.

Für die vorhandene Masterarbeit wurde größtenteils auf die Kulturenskettkarte, und nicht auf den Franziszeische Kataster zurückgegriffen, da jener nicht in der für das Projekt notwendigen georeferenzierten Form zur Verfügung stand.

Bei der Kulturenskettkarte handelt es sich um wertvolles Datenmaterial für den Vergleich mit den heutigen Gegebenheiten der Landbedeckung, sowie der Landnutzung. Die Kulturenskettkarte ist auch ein sehr gutes Beispiel für die damaligen geographischen Fähigkeiten, sowie die zeichnerischen Genauigkeiten der graphischen Darstellung (Fuhrmann, 2007).



Abbildung 8: Kulturenskelettkarte ca. 1875 basierend auf Kataster 1859 – Osttirol (Landesarchiv Tirol)

Die Legende zu den Farben und Signaturen der Kulturenskelettkarte sind Tabelle 2 zu entnehmen. Die Signaturen unterscheiden sich ein wenig zu jener der Katastermappen (Beimrohr, 2006).

Tabelle 2: Farben und Signaturen der Kulturskelettkarte ca. 1875 (Beimrohr, 2006; modifiziert)

Farben und Signaturen	
schwarze Rechtecke	Gebäude
rote Rechtecke	öffentliche Gebäude wie Kirchen, usw.
grüne Flächen	Wiesen, Weiden, Almen
weiß-beige Flächen	Felder (Ackerland)
weiße Flächen (im Hochgebirge)	unproduktive Gebiete/Ödland
graue-braune Flächen	Wälder
dunkelblau	Gewässer
hellblau	Gletscher
rote Linien	Staatsstraßen
schwarze Linien	sonstige Straßen und Wege

In Abbildung 9 wird eine Übersicht und ein näherer Einblick in die Kulturskelettkarte gegeben. Die Struktur der Karte, sowie verschiedene Farbgebungen und Grenzlinien sind gut sichtbar. Eingezeichnet sind zum Beispiel Gletscherflächen, Ödland, Wiesen, Wälder Flüsse, Felder, Gebäude und Grenzlinien.

Obwohl die Kulturskelettkarte nur eine gröbere Übersicht gibt und weniger genau und detailreich ist als die Katasterkarten außerhalb Tirols, ist es dennoch möglich viele Informationen daraus digital aufzuarbeiten. Da kein Zugriff auf eine georeferenzierte Version des Franziszeischen Katasters für Osttirol besteht, wurde für die Erfassung der historischen Daten in dieser Arbeit auf die Kulturskelettkarte zurückgegriffen.

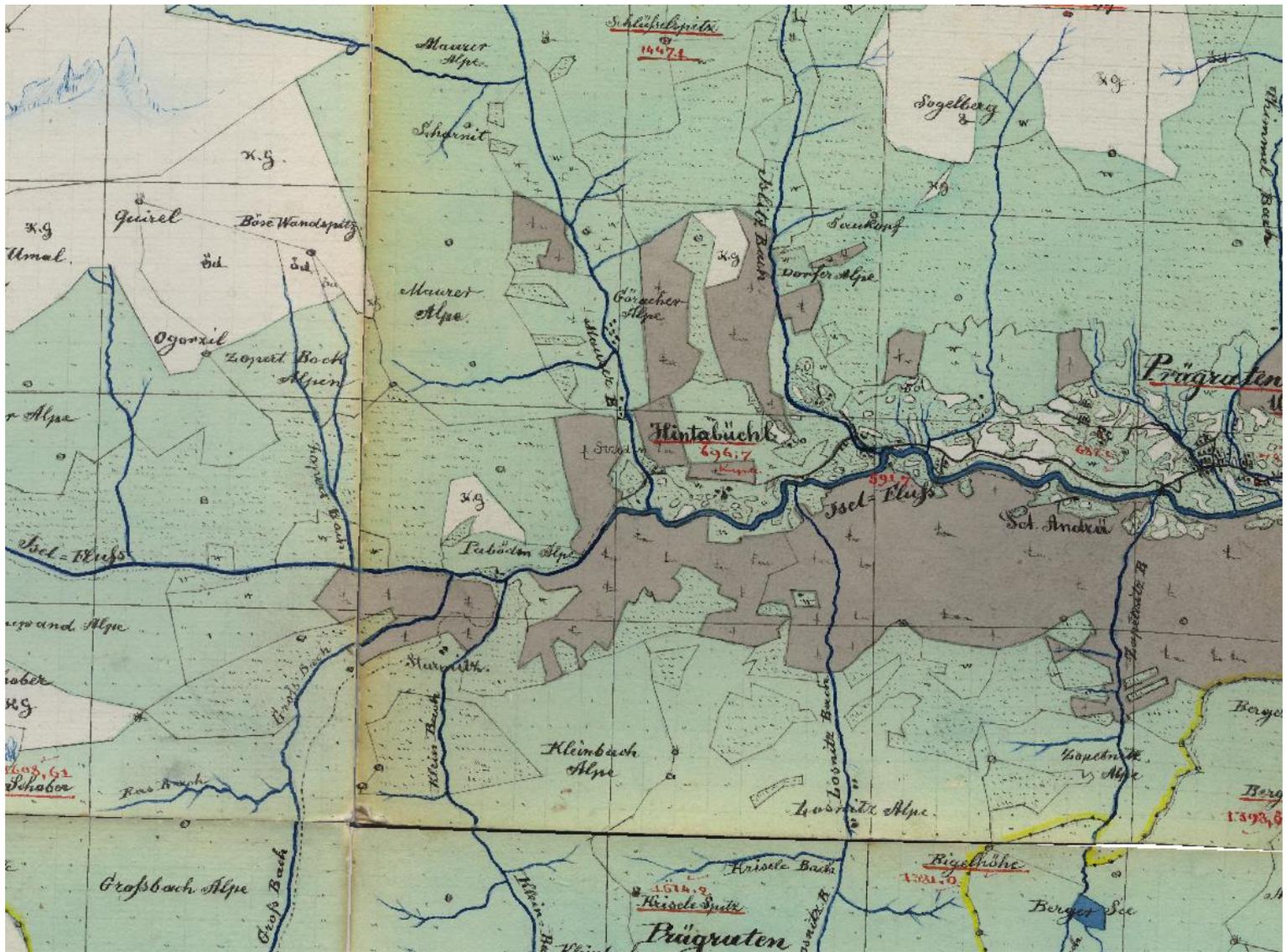


Abbildung 9: Detailaufnahme der Kulturskelettkarte ca. 1875 basierend auf Kataster 1859 – Osttirol (Landesarchiv Tirol)

3.1.3. 2. TIROLER LANDESAUFNAHME/FRANZISZEISCHE LANDESAUFNAHME TIROL 1816-1821

Die 2. Tiroler Landesaufnahme (siehe Abbildung 10), oder auch Franziszeische Landesaufnahme Tirol 1816 – 1821 genannt, wurde infolge der nur unvollständig vorgenommenen Ersten Tiroler Landesaufnahme vergleichsweise früh erstellt. Sie war vor allem für kriegstechnische Zwecke interessant und wurde vom Erzherzog Karl, dem Präsidenten des Hofkriegsrates in Auftrag gegeben.

Das Gebiet um die ehemalige Grafschaft Tirols wurde in 146 Aufnahmesektoren gerastert. Daraus gingen insgesamt 145 handgezeichnete und kolorierte Kartenblätter hervor, die mit einem Maßstab von 1:28.800 versehen wurden und einem Format von ca. 46 x 71 cm pro Kartenblatt.

Das gesamte Kartenwerk der 2. Landesaufnahme Tirols befindet sich derzeit im Österreichischen Staatsarchiv in der Abteilung Kriegsarchiv unter der Signatur Kartensammlung B IXa 362 (Beimrohr 2012).

Für diese Arbeit wurde dabei lediglich auf das Kartenmaterial für Osttirol zurückgegriffen (siehe Abbildung 11). Das Hinzuziehen dieser Karten war nötig, um eine detaillierte Übersicht der hochalpinen Bereiche rekonstruieren zu können, additiv zum Kartenmaterial der Kulturskelettkarte. Die 2. Landesaufnahme wurde vor allem für die Einzeichnung der Gletscherflächen verwendet. Dies war notwendig, da jene in der Kulturskelettkarte zu ungenau dargestellt sind.

2. Tiroler Landesaufnahme (1816 - 1821)

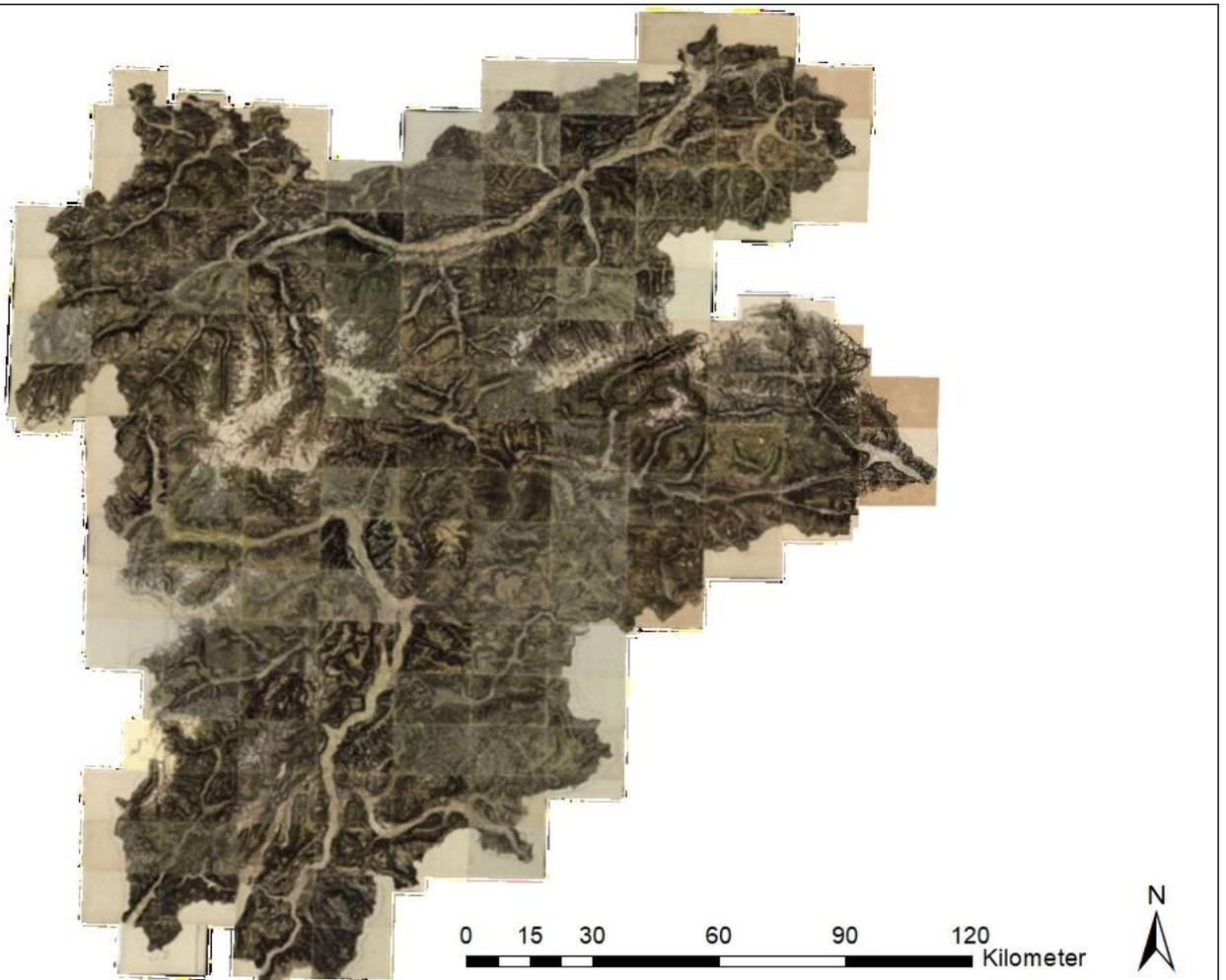


Abbildung 10: 2. Tiroler Landesaufnahme 1816 – 1821 (Österreichisches Staatsarchiv)

2. Tiroler Landesaufnahme - Osttirol (1816 - 1821)

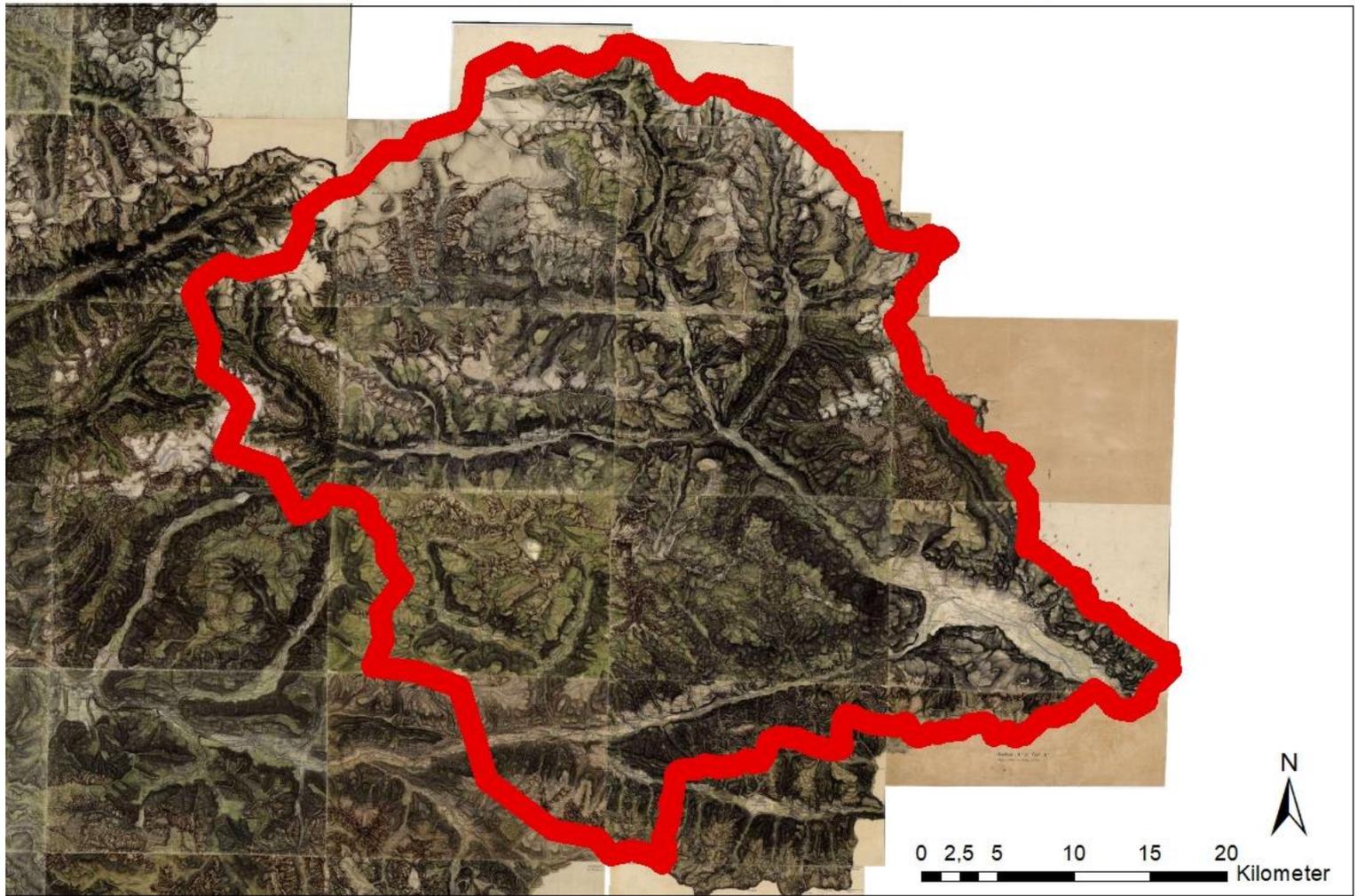


Abbildung 11: 2. Tiroler Landesaufnahme – Osttirol

3.1.4. HQ₃₀₀-FLÄCHE HISTORISCH

Die Hochwasserzonierung hat eine wichtige Funktion in von Menschen besiedelten Gebieten. Sie gibt Aufschluss darüber wo und in welcher Art neue Siedlungsräume entstehen könnten beziehungsweise welche bereits bestehenden Siedlungsräume einem größeren Überflutungsrisiko ausgesetzt sind und geschützt werden müssten. Hochwasser setzen sich meist im gesamten Einzugsgebiet fort und können auf anthropogene Systeme treffen wie Wohngebäude, Industriegebäude und die allgemeine Infrastruktur. Dies macht es besonders wichtig, dass Hochwasserzonierungen maßgeblich berücksichtigt werden und im Falle von Neubauten und der Erstellung neuer Infrastruktur, aber auch bei der Renovierung bereits bestehender Struktur, darauf geachtet wird (Merz et al., 2011).

Um dem Risiko von Hochwasser in Österreich zu begegnen, gibt es für das gesamte Staatsgebiet sogenannte Gefahren- und Risikokarten. Jene werden vom Amt für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) und Bundeswasserbauverwaltung (BWV) frei zur Verfügung gestellt. Diese Hochwassergefahrenkarten geben eine Darstellung der möglichen Überflutungen, Wassertiefen und gegebenenfalls auch Fließgeschwindigkeiten wieder. Für die bestehende Arbeit war das 300-jährliche Hochwasserrisiko von Interesse:

- HQ₃₀₀: niedrige Wahrscheinlichkeit der Überflutung (Extremereignis, das mit 300-jährlicher Wahrscheinlichkeit wiederkehrt (BMLRT, s.a.b; UBA, 2012).

Die bei HQ₃₀₀ gefährdeten Flächen wurden dem Projektteam POCO-FLOOD in Form eines homogenisierten GIS-Datensatzes vom BMLRT zur Verfügung gestellt (siehe Kapitel 3.2.7).

Neben den genannten Hochwasserrisikokarten wurde im Jahr 2014 vom damaligen BMLFUW (heute BMLRT) das Projekt Hochwasserrisikozonierung Austria (HORA) ins Leben gerufen. Es ist als bundesweites Risikozonierungssystem für Naturkatastrophen gedacht mit dem Schwerpunkt Hochwasser und Erdbeben. Ziel des Projektes ist die Visualisierung von Überschwemmungsgebieten bis hin zu 200-jährlichen Ereignissen (BMLRT, 2011; BMLRT, 2014; BMLRT, 2020).

Die HORA-Daten ergänzen zum Teil das Kartenmaterial der Gefahrenzonen gemäß WLV und BWV. Jene weichen jedoch insbesondere in breiteren Tälern voneinander ab. Der HORA-Datensatz beachtet, anders als die WLV- und BWV-Datensätze, nicht die Hochwasserschutzvorrichtungen und kleinere Zubringer sowie flächige Überflutungen von Talhängen. Bei einem HQ₂₀₀ oder HQ₃₀₀ würde jedoch ohnehin der Großteil der Schutzdämme überströmt werden, weshalb dieser Punkt nicht ins Gewicht fällt.

Der sich aus den WLV-, BWV- und HORA-Daten ergebende gesamte GIS-Datensatz beinhaltet demzufolge Flächen, die Stand Anfang 2020 als bei HQ₃₀₀ hochwassergefährdet gelten.

Als Basis für die historische HQ₃₀₀-Fläche (siehe Abbildung 12) diente das aktuelle HQ₃₀₀-Hochwasserüberflutungsgebiet, welches von Severin Hohensinner in mehreren Schritten bearbeitet wurde.

Da es keine historische Hochwasserrisikozonierung gibt, ist es grundsätzlich schwer genaue HQ-Zonierungen zu erstellen. Durch den fortschreitenden Klimawandel, sowie durch veränderte Landnutzung haben sich die Jährlichkeiten von Hochwassern verändert. Diesbezüglich ist es schwer zu bestimmen, ob die damaligen Hochwasser bei gleichem Wasserstand wie heute eine kleinere oder größere Jährlichkeit hatten als aktuell bemessen. Die erstellte historische HQ₃₀₀-Überflutungsfläche zeigt daher die vermuteten Bereiche an, die einstmals bei einem gleichen Wasserstand hochwassergefährdet waren.

Durch hinzuziehen des Franziszeischen Katasters, Orthofotos, sowie einem Geländemodell (DEM 10 m) wurde für jeden Fließgewässerabschnitt ermittelt, inwieweit seit 1859 anthropogene Geländestrukturen wie Bauwerke, Dämme, größere Straßen, Bahnlinien oder Aufschüttungen für Siedlungsflächen entstanden sind. Im Weiteren wurde abgeschätzt, wie weit etwaige Hochwässer seitlich der Fließgewässer durch diese Bauwerke hätten reichen können. Hierfür wurde die Höhe des gesamten Geländes im Untersuchungsgebiet an der aktuellen Hochwasserschlaglinie gemessen und mit den Höhenkoten im Umland verglichen. Dabei wurde die historische Überflutungsfläche lateral soweit erweitert, bis höheres Gelände angetroffen wurde.

Insbesondere in breiteren Talabschnitten konnten anhand des Franziszeischen Katasters größere Auenzonen ermittelt werden, welche einstmals im Hochwasserretentionsraum lagen. Auch höher liegende ehemalige Auenbereiche wurden auf Basis des Franziszeischen Katasters in die HQ-Zonierung mit aufgenommen. Es sollte anzunehmen sein, dass sich Flüsse durch intensive Regulierungen eingetieft haben (oft ist das Geländere relief des ehemaligen Auegebietes noch im Orthofoto erkennbar).

HQ₃₀₀ Osttirol 1859

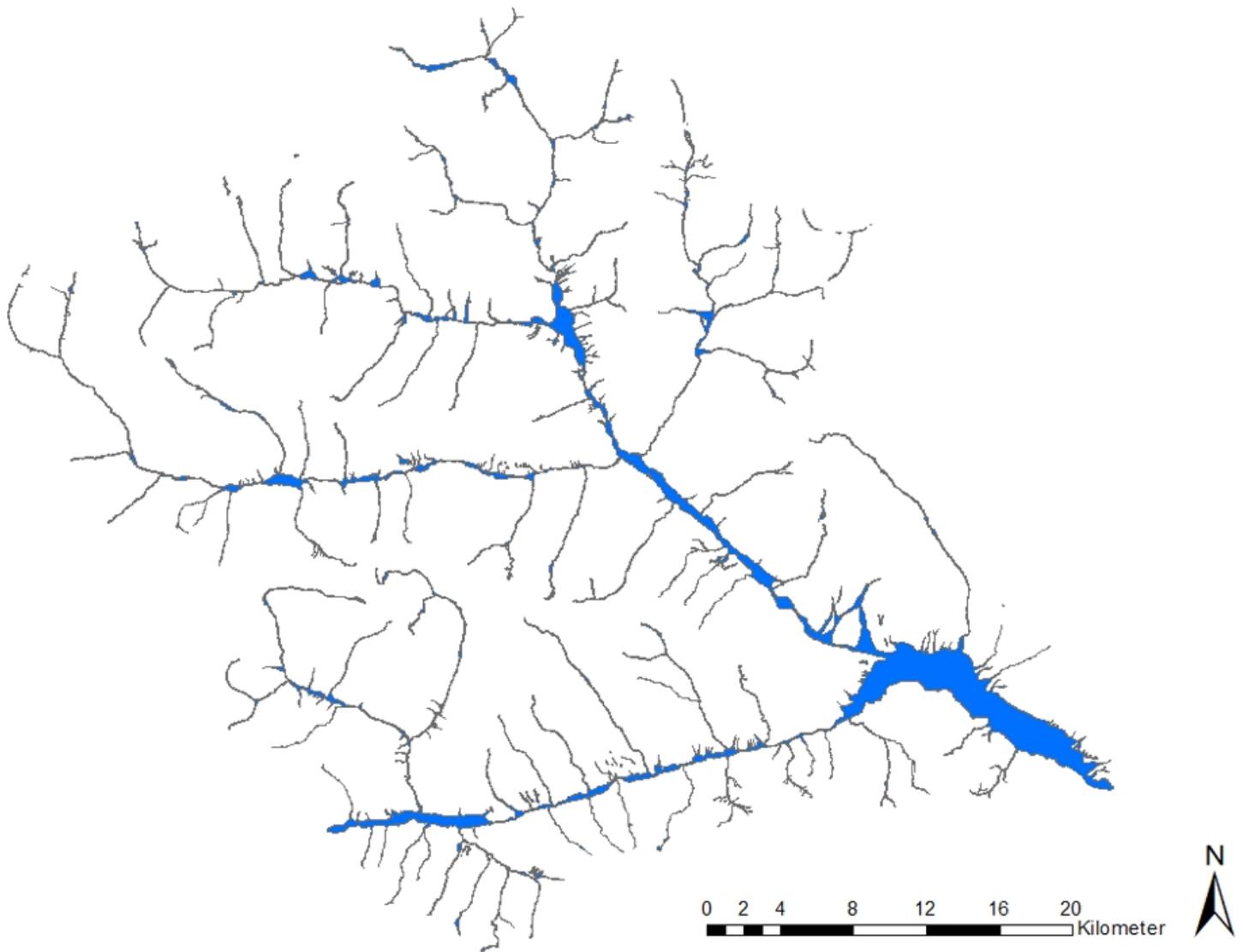


Abbildung 12: Überflutungsgebiet HQ₃₀₀ Osttirol - historisch (basierend auf S. Hohensinner)

3.2. GRUNDLAGENDATEN AKTUELLE REKONSTRUKTION

Das aktuelle Datenmaterial für Osttirol ist in Tabelle 3 aufgelistet. Die Fernerkundungs- und Geofachdaten wurden hierbei vom Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (data.gv.at), Bundesanstalt für Agrarwirtschaft und Bergbauernfragen, vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und Buckel et al. (2018) bereitgestellt. Sämtliche Datensätze wurden von Severin Hohensinner dazu verwendet, den GIS-Datensatz für die Landbedeckung Osttirols im Jahr 2016 zu erstellen. Dabei wurde auf eine größtmögliche Vergleichbarkeit der aktuellen Daten (Landbedeckungsklassen) mit den historischen Daten Wert gelegt.

Tabelle 3: Fernerkundungs- und Geofachdaten aktuell

Fernerkundungsdaten	Geofachdaten
RGB Orthofoto	Landbedeckung – Geoland Basemap
	OpenStreetMap
	Landbedeckung - LISA
	Landwirtschaftliche Parzellen - INVEKOS
	Fließgewässernetz SPARE- Alpine Space
	Gletscherflächen Österreich 2015
	HQ ₃₀₀ -Fläche aktuell

3.2.1. GEOLAND BASEMAP

Geoland Basemap bildet die Grundlage einer seit 2014 im Internet frei verfügbaren Verwaltungs- und Übersichtskarte der 9 Bundesländer Österreichs basierend auf Geodaten. Sie entstand aus einer Kooperation aller neun Bundesländer, dem Bundesministerium für Eich- und Vermessungswesen, der Stadt Wien, der Technischen Universität Wien und weiterer Organisationen. Diese Grundkarte von Österreich dient als Basis vieler Verwaltungsverfahren und kann auch privat oder kommerziell gemäß den Rahmenbedingungen der Open Government Data in Österreich genutzt werden (basemap, 2016).

Die basemap (siehe Abbildung 13) besteht aus Rasterkarten im Web Mercator Auxiliary Sphere Format, und ist dadurch kompatibel mit den weltweiten Basiskarten, wie zum Beispiel von OpenStreetMap und Google Maps. Für Ost-Österreich wird das Raster noch zusätzlich in der Gauß-Krüger Projektion MA34 angeboten. Die basemap beinhaltet aber zudem auch die Möglichkeit die gesamte Fläche in Form von Orthofotos anzusehen (BMDW, 2020a). Im Rahmen des Projekts POCO-Flood wurden diese Daten nicht direkt verwendet, sondern dienten nur zur Überprüfung oder manuellen Ergänzung der anderen verwendeten Datensätze.

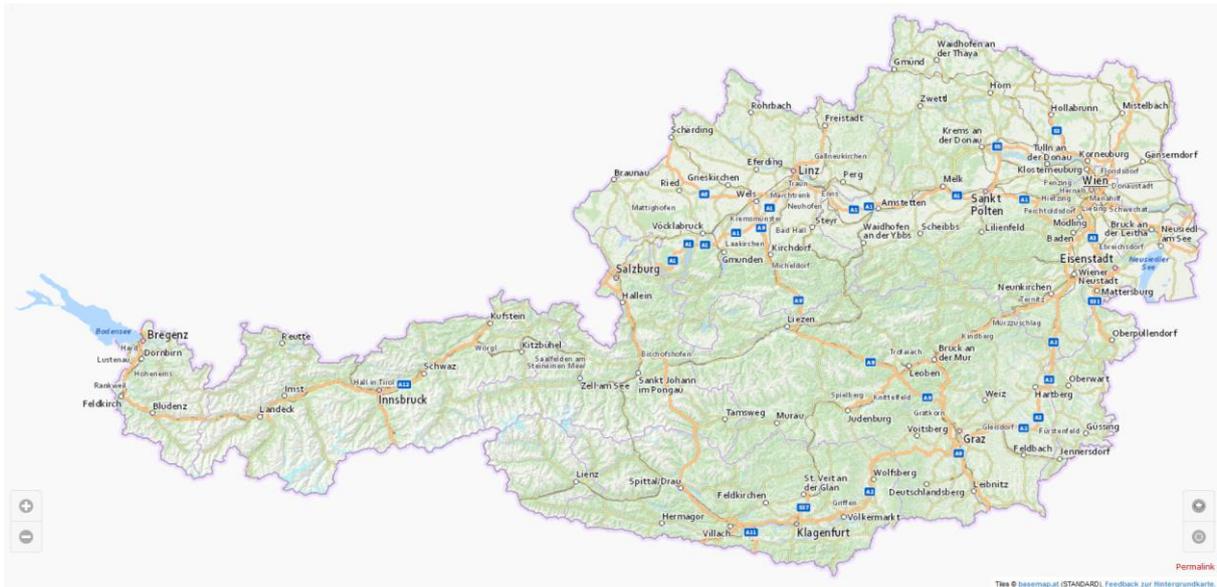


Abbildung 13: basemap-Karte (basemap, s.a.)

3.2.2. OPENSTREETMAP (OSM)

OpenStreetMap ist ein Projekt zur Sammlung, Strukturierung und Nutzung von frei verfügbaren Geodaten. Die Geodaten werden seitens der Nutzer generiert und stehen jedem frei zum kommerziellen und privaten Gebrauch zur Verfügung (Hakly & Weber, 2008). Ziel ist es, die gesamte Oberfläche der Erde mit all ihren Eigenschaften wie beispielsweise Fluss- und Straßenverläufe, Gebäude, aber auch Landnutzung usw. in Form von Geodaten zur Verfügung zu stellen (Bennet, 2010). Für die Kompilierung des aktuellen Landbedeckungsdatensatzes wurden aus der OpenStreetMap Polygone entnommen, die größere Flüsse und kleinere Seen und Teiche abbilden. Ebenso wurden Polylinien für besonders kleine Fließgewässer übernommen und in Polygone entsprechender Breite umgewandelt.

3.2.3. LAND INFORMATION SYSTEM AUSTRIA (LISA)

Das österreichische Projekt LISA beinhaltet die Erstellung eines einheitlichen und homogenen Datensatzes hinsichtlich der Landbedeckung und Landnutzung für den gesamten österreichischen Raum. Bis zum Beginn des Projekts gab es weder auf regionaler noch auf nationaler Ebene eine einheitliche Lösung hinsichtlich einer gesamtheitlichen Übersichtskarte Österreichs (CadasterENV, 2017).

Die grundlegenden Geodaten basieren auf Satellitenfotos der Sentinel-2 Satelliten. Jene Fotos wurden im Zuge des europäischen CORINE-Programmes zur Klassifikation der Bodenbedeckung in Bodenklassen klassifiziert (siehe Abbildung 14). CORINE Land Cover 2012 wurde dabei für das österreichweite Projekt herangezogen. Die Landbedeckung wird bei einer minimalen Auflösung von 25 m² in 14 Klassen mit 12 Attributen gegliedert. Beispiele dafür sind Fels, bestockte Flächen, befestigte Flächen, usw. Die Landnutzung umfasst 25 Klassen, die durch eine Mischung der verschiedenen Landbedeckungsklassen generiert werden, mit 72 Attributen bei einer minimalen Auflösung von 1.000 m². Beispiele hierfür sind Flächen für Landwirtschaft, Verkehr, Siedlung, Wald, Gewässer, usw. (Banko, 2011).

Die Einteilung der Klassen erfolgt in „nicht vegetationsbedeckt“ (Wasserflächen, Gebäude, offener Boden, ...), „vegetationsbedeckt“ (Grünland, Sträucher, ...) und „Sonderfälle“ (Wolken, Schatten) (GeoVille, 2010). Wichtig ist auch zu erwähnen, dass eine Landnutzungs-kategorie stets aus mehreren Landbedeckungsklassen zusammengesetzt ist. Man kann also von einer Landbedeckungsmischung mit verschiedenem prozentualem Anteil sprechen (Steinnocher et al., 2011).

Die Auswertung der Bodenbedeckung erfolgte für den LISA-Datensatz automatisiert mittels Orthofotos, Satellitenbilddaten, Geländeoberflächenmodelle, sowie weiterer Daten über die Landnutzung, sodass in Summe eine umfassende Auskunft zur Landbedeckung vorliegt (UBA, s.a.).

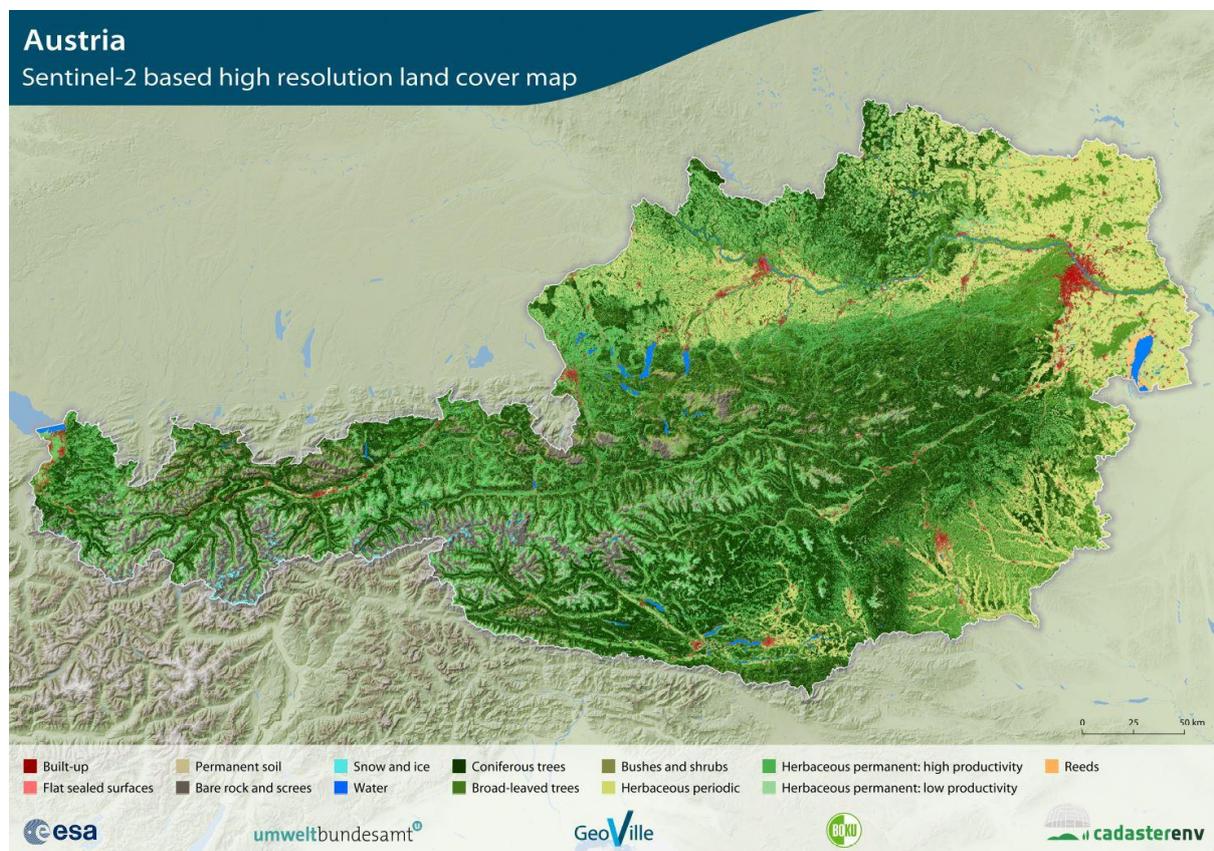


Abbildung 14: LISA-Sentinel 2 Landbedeckung (UBA, 2019)

Um die für die vorliegende Masterarbeit benötigte Landbedeckungsklassifizierung zu erhalten, wurde auf den LISA Level 2 Datensatz von 2016 zurückgegriffen und dessen Klassifizierung adaptiert. Trotz der hohen Auflösung der LISA-Daten weisen diese öfters große Ungenauigkeiten auf. Beispielsweise wurden manche Schotterbänke breiter Flüsse als Siedlungsfläche ausgewiesen. Die Klassifizierung von Wäldern und Grünland ist auch des Öfteren sehr ungenau. Zudem konnten landwirtschaftlichen Flächen für das Projekt vom System nicht optimal erfasst werden. Des Weiteren sind bei den LISA-Daten Weiher, Teiche und große Fließgewässer lediglich fragmentarisch abgebildet.

Tabelle 4 veranschaulicht die Einteilung der LISA-Klassen hin zu den benötigten Klassen für die Masterarbeit.

Tabelle 4: Zuordnung der Klassen des Land Information Systems Austria (LISA) zu den Landbedeckungsklassen der Masterarbeit

LISA L2 Name	Land cover type
Built-up	Siedlungsgebiete
Flat sealed surfaces	Siedlungsgebiete
Permanent soil	Äcker
Bare rock and screes	Ödland
Water	Fließgewässer
	stehende Gewässer
Snow and ice	Gletscher
Broad-leaved trees	Wälder
Coniferous trees	Wälder
Bushes and shrubs	Wälder
Herbaceous periodically	Grünland
Herbaceous permanent low prod.	Grünland
Herbaceous permanent high prod.	Grünland
Reeds	Feuchtgebiete

3.2.4. INTEGRIERTE VERWALTUNGS- UND KONTROLLSYSTEM (INVEKOS)

Bei INVEKOS handelt es sich um ein Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS), welches ursprünglich als Datenbank für die Verwaltung von Förderanträgen im landwirtschaftlichen Bereich auf EU-Ebene entwickelt wurde und von der Bundesanstalt für Bergbauernfragen (BAB) bereitgestellt wurde. Es beinhaltet die Flächenabgrenzungen der einzelnen landwirtschaftlichen Parzellen, wodurch eine optimale Abgrenzung der genutzten Flächen für das vorliegende Projekt ermittelt werden konnte (Grillmayr et al., 2010; Steinnocher et al., 2011; Hofer et al., 2017). Die INVEKOS-Daten verfügen auch über ein sehr hohes Genauigkeitsmaß auf Parzellenebene, weshalb sie wegen der größeren Genauigkeit in den LISA-Datensatz integriert wurden.

Die INVEKOS-Datenbank ist auch sehr umfangreich, daher wurden nicht alle darin befindlichen Nutzungstypen benötigt. Es wurden lediglich jene verwendet, die für das gegenständliche Projekt notwendig waren. Dazu zählen die Landnutzungstypen Äcker, Grünland, Obstanlagen und Weingärten.

3.2.5. STRATEGIC PLANNING FOR ALPINE RIVER ECOSYSTEMS (SPARE)

Das SPARE-Projekt hat zum Ziel den Schutz und das Management von Fließgewässern innerhalb des Alpenraums zu analysieren, zu bewerten und etwaig zu verbessern. Das Projekt soll unter anderem die vorherrschenden Schutz- und Nutzungsansprüche entlang von alpinen Fließgewässern aufeinander abzustimmen und zur Erhaltung der alpinen Fließgewässer auf lokaler, regionaler und EU-Ebene dienen. Hierfür wurde eine Allianz zwischen sechs Alpenländern geschlossen, die das Projekt von 2015 bis 2018 durchführten und begleiteten. Eines der Resultate aus dem Projekt war unter anderem ein umfassender GIS-Datensatz, welcher alle alpinen Fließgewässer mit Einzugsgebieten größer als 10 km² beinhaltet (Alpine Space, 2017; Cipra, 2016; Muhar et al., 2018). Diese Gewässer wurden für den GIS-Datensatz der aktuellen Landbedeckung in Osttirol verwendet.

3.2.6. GLETSCHERFLÄCHEN

Für die aktuellen Gletscherflächen wurde auf die Forschungsarbeit von Buckel et al. (2018) zurückgegriffen. Bei jenem Projekt wurde unter anderem eine detaillierte Analyse der Gletscherformationen der österreichischen Alpen für das Jahr 2015 durchgeführt. Der generierte Datensatz gibt eine umfassende Auskunft über das Gletschervorkommen im Untersuchungsgebiet und wurde daher für die vorliegende Arbeit eingesetzt.

3.2.7. HQ₃₀₀-FLÄCHE AKTUELL

Für die Untersuchung der Landbedeckung im Bereich der aktuellen HQ₃₀₀-Flächen (siehe Abbildung 15) wurde auf einen Datensatz des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Sektion I-Wasserwirtschaft zurückgegriffen. Der GIS-Datensatz enthält neben den Gefahrenzonen der Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) auch jene der Bundeswasserbauverwaltung (BWV). Beide Datensätze wurden vom BMLRT zusammengefasst, homogenisiert und schlussendlich als HQ₃₀₀-Überflutungsfläche zur Verfügung gestellt.

Da anhand jener Daten jedoch noch nicht sämtliche Überflutungsflächen abgedeckt sind, mussten zusätzlich die HQ₂₀₀-Flächen aus dem bereits genannten HORA-Projekt mit eingebunden werden (BMLRT, 2014). Es mussten jedoch noch zahlreiche artifizielle Lücken zwischen den Flächen der WLV, BWV und den HORA-Daten mittels Orthofotos und einem Geländemodell (DEM 10 m) im GIS bereinigt werden. Um einen sauberen Datensatz zu erhalten, wurde das Überflutungsgebiet von Seen und größeren Teichen entfernt, da es sich dabei um keine Überflutungsflächen im eigentlichen Sinne handelt.

Der resultierende HQ₃₀₀-Datensatz deckt alle Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet von mindestens 10 km² sowie Bäche mit einer historischen Mindestbreite (inkl. Schotterflächen) von 5 m ab. Somit sind auch Bäche in Einzugsgebieten kleiner als 10 km² enthalten.

HQ₃₀₀ Osttirol 2016

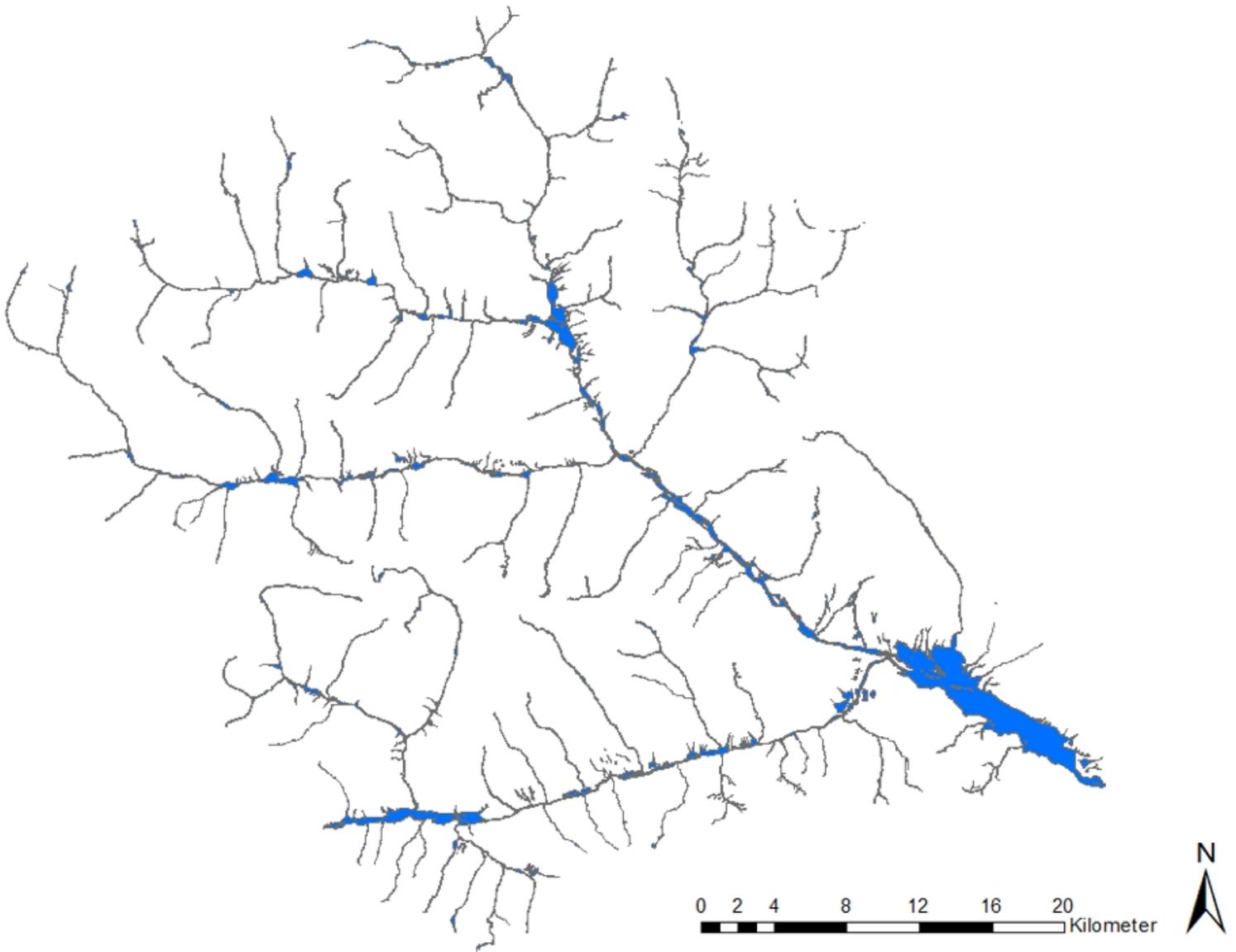


Abbildung 15: Überflutungsgebiet HQ₃₀₀ Osttirol – aktuell (basierend auf WL_V, BW_V, HORA, zusammengeführt und bereinigt von S. Hohensinner)

3.3. METHODIK

In den folgenden Kapiteln wird näher auf die Methodik dieser Masterarbeit eingegangen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem bearbeiteten Projekt um ein rein digitales handelt, das auf GIS-Datensätze beruht. Der Autor hatte dabei die Aufgabe, den historischen Datensatz für Osttirol zu erstellen und zu bearbeiten. Der aktuelle Datensatz wurde von Severin Hohensinner zur Verfügung gestellt und musste lediglich in weiterer Folge noch so weit bearbeitet werden, um eine Auswertung der Daten zu ermöglichen.

3.3.1. LANDBEDECKUNG UND LANDNUTZUNG

Landnutzung und Landbedeckung sind zwei zentrale Begriffe in dieser Masterarbeit. Sie bilden die Grundlage für die Untersuchung des Gebietes hinsichtlich der historischen sowie aktuellen Ausmaße. Die Begrifflichkeiten werden in diesem Kapitel nun genauer definiert, sowie sich vergleichend gegenübergestellt.

Die Landbedeckung ist definiert als die beobachtbare physische und biologische Bedeckung der Erdoberfläche an einer bestimmten Stelle. Dazu zählt z.B. Vegetation, Gestein, Wasserkörper, einschließlich künstlicher Flächen wie Gebäude (Lambin et al., 2001; Arnold et al., 2017; Alam et al., 2020).

Die Landnutzung beschreibt die Verwendung einer bestimmten Bedeckung der Erdoberfläche unter vorwiegend sozio-ökonomischen Gesichtspunkten, wie z.B. dem Anbau von landwirtschaftlichen Produkten, industrieller Nutzung, aber auch zur Nutzung als Freizeit- und Wohngebiete (Lambin et al., 2001; Arnold et al., 2017; Alam et al., 2020).

Die Bezeichnung Landnutzung ist ein recht abstrakter Begriff und kann oft nicht direkt beobachtet werden. Die Landbedeckung ist hingegen sehr viel erfahrbarer im natürlichen und kulturellen Raum. Auch findet eine Unterscheidung des ökonomischen statt, die der Landnutzung zu eigen ist (Wenig, 2010; Alam et al., 2020).

Für ein leichteres Verständnis gibt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** eine Gegenüberstellung von Landbedeckung und Landnutzung:

Tabelle 5: Landbedeckung und Landnutzung (Beispiele nach Schardt, 2009; modifiziert)

Landbedeckung	Landnutzung
Gras	Wiese
Bäume in größeren Gruppen	Wald
Vereinzelte Bäume, Gras, Wege, nahe städtischem Gebiet	Parkanlage
Straßen mit mehreren Fahrspuren	Autobahn
Gebäude, Straßen, Gras, Bäume	Lockere bis dichte Bebauung

AUSGEWÄHLTE LANDNUTZUNGSKLASSEN

Landnutzungsklassen stellen immer eine prozentuale Mischung aus verschiedenen Landbedeckungsklassen dar. Im naturnahen Bereich kann jedoch im engeren Sinne nicht immer von Landnutzung gesprochen werden. Es liegt nicht immer EINE ausgewiesene Nutzung vor. Dementsprechend werden beispielsweise unter LISA natürliche und naturnahe Kategorien der Landbedeckungsklassen subsumiert.

Für eine optimale Bearbeitung dieses Projektes, sowie zur späteren Verwendung hinsichtlich eines Wasserbilanzmodells wurden die folgenden Landnutzungsklassen bestimmt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Jede ausgewählte Klasse hat dabei eine eigene hydraulische Rauigkeit und Beschaffenheit hinsichtlich der Bodenfiltration bei Niederschlägen.

Legende

	Äcker
	Grünland
	(Obst)baumwiesen
	Weinbau
	Feuchtgebiete
	Wälder
	Fließgewässer
	stehende Gewässer
	Siedlungsgebiete
	Ödland
	Gletscher

Abbildung 16: Ausgewählte Landnutzungsklassen für Untersuchungsgebiet

3.3.2. BEARBEITUNG UNTERSUCHUNGSGEBIET

Für dieses Projekt wurde auf Geoinformationssystem-Software der Firma ESRI zurückgegriffen. Mithilfe der Anwendungen ArcMap 10.7.1 sowie ArcCatalog 10.7.1 konnten digitale geometrische Daten mit digitalisiertem Kartenmaterial verknüpft, organisiert und analysiert werden.

In Abbildung 17 ist die Oberfläche der Software bei der Bearbeitung des historischen Datensatzes veranschaulicht. Sämtliche historische Landbedeckungen bzw. -nutzungen in Osttirol wurden vom Autor als Polygone händisch eingezeichnet. Nachfolgend wird kurz beschrieben, anhand welcher Kriterien diese Arbeit erfolgte.

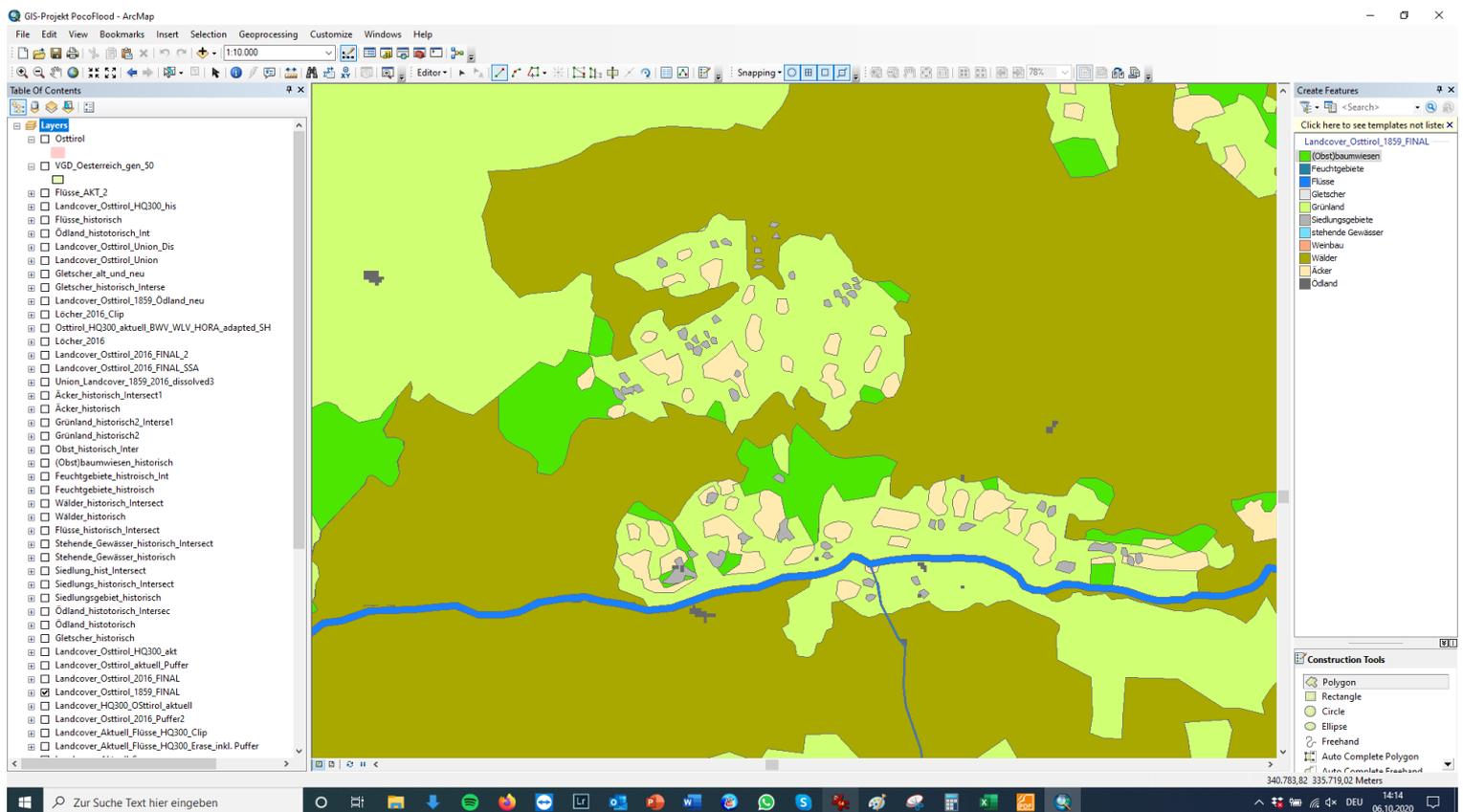


Abbildung 17: Bearbeitung des historischen Untersuchungsgebietes mit ArcGIS

ÄCKER

Bei der Einzeichnung der historischen Ackerflächen wurde die Kulturenskelettkarte, sowie bei Unsicherheit die basemap als Kontrollmittel zu Hilfe genommen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Konturen der Ackerflächen genau eingehalten werden. In Abbildung 18 wird beispielhaft auf der linken Seite die Ackerfläche der Kulturenskelettkarte und auf der rechten Seite Äcker laut basemap dargestellt.

Für die aktuellen Ackerflächen wurden die sehr detaillierten INVEKOS Geodaten genutzt, um die Ackerflächen zu erhalten (siehe Kapitel 3.2.4).



Abbildung 18: Äcker Kulturenskelettkarte – Orthofoto

GRÜNLAND

Im historischen Teil der Arbeit wurde die gesamte Fläche an Grünland durch Zuhilfenahme der Kulturenskelettkarte eingezeichnet. In Abbildung 19 ist auf der linken Seite ein Ausschnitt des Grünlandes der Kulturenskelettkarte zu sehen. Auf der rechten Seite der Abbildung sieht man einen Ausschnitt aus der basemap. Es findet sich einmal oben rechts Grünland in tieferen oder Tallagen vor, beziehungsweise unten rechts in den höheren und alpinen Lagen.

Für die Bestimmung der aktuellen Fläche wurde für hochalpines Grünlandes, wie zum Beispiel Almwiesen der LISA-Datensatz beansprucht, zur Bestimmung des landwirtschaftlich genutzten Grünlandes die INVEKOS-Daten. Die Bestimmung wurde dabei automatisiert durchgeführt.

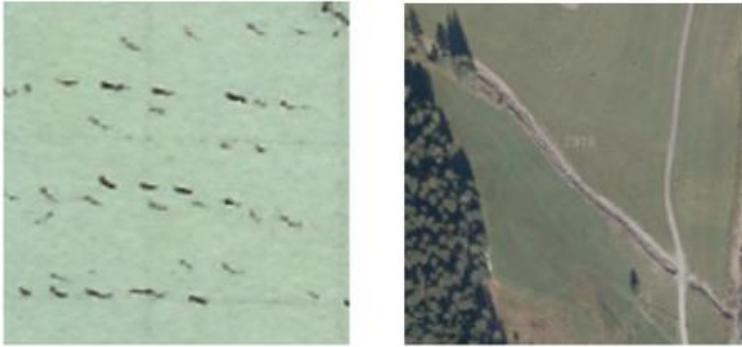


Abbildung 19: Grünland Kulturenskelettkarte – Orthofoto

(OBST-)BAUMWIESEN/OBSTANLAGEN

Die Einzeichnung der historischen Fläche der (Obst-)Baumwiesen bzw. aktuellen Obstanlagen erfolgte manuell unter Zuhilfenahme der Kulturenskelettkarte. Dabei handelt es sich einerseits um Streuobstwiesen in der Nähe von Siedlungsflächen und Wiesen oder Weiden (Almen) mit verstreutem Gehölzbestand (Abbildung 20).

Für den aktuellen Datensatz ist es wichtig zu erwähnen, dass dieser keine Baumwiesen wie im historischen Kataster enthält. Im aktuellen Datensatz stehen lediglich Obstanlagen laut INVEKOS zur Verfügung. Bei LISA gäbe es zwar eine Klasse namens „Bushes and shrubs“, welche jedoch vielmehr eine Klasse beschreibt, die eine flächigere Bestockung aufweist und eher Wald zuzurechnen ist. So fallen im historischen Datensatz auch hochalpine Krummholzzonen (Latschen) in die Klasse der (Obst-)Baumwiesen, während sie aktuell den Wäldern zugerechnet werden. Daher folgt, dass im historischen Datensatz die Klasse (Obst-)Baumwiesen um einiges größer ausfällt als im aktuellen Datensatz.

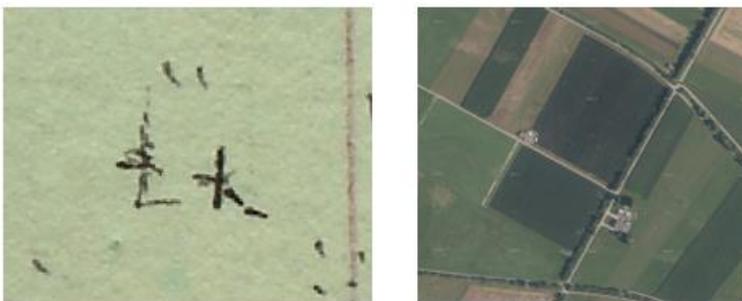


Abbildung 20: (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen Kulturenskelettkarte – Orthofoto

WEINBAU

Scheinbar gab es weder in historischen, noch gibt es im aktuellen Osttirol Weinbau. Es wurde keinerlei Fläche laut Kulturenskelettkarte oder automatisiert laut LISA und INVEKOS aufgefunden. Wie man weiter unten bei den Ergebnissen der Auswertung sehen wird, gibt es daher keinerlei Zahlenmaterial zum Weinbau.

Da jedoch im Gesamtprojekt in einigen Bereichen Weinbau eine Rolle spielt, kommt auch in diesem Untersuchungsgebiet die Klasse Weinbau vor.

FEUCHTGEBIETE

Die wenigen Feuchtgebiete, wie Auegebiete, Sümpfe und Moore, die historisch vorhanden waren, wurden mittels Kulturreisenskettkarte und Franziszeischen Kataster in <https://mapire.eu> eingezeichnet (siehe Abbildung 21)Abbildung 21.

Durch die fortschreitenden Regulierungsarbeiten im gesamten Einzugsgebiet gingen scheinbar sämtliche Feuchtgebiete verloren. Bei der automatisierten Auswertung durch die LISA Daten konnten keine Feuchtgebiete aufgefunden werden. Auf diesen Punkt wird weiter unten bei der Diskussion der Ereignisse noch genauer eingegangen.



Abbildung 21: Feuchtgebiete Franziszeischer Kataster

FLIEßGEWÄSSER

Das gesamte historische Fließgewässersystem wurde mittels der Kulturreisenskettkarte sowie dem Franziszeischen Kataster in <https://mapire.eu> vom Autor eingezeichnet. Ein kleiner Ausschnitt der Kulturreisenskettkarte, sowie eine Veranschaulichung mittels eines Orthofotos ist in Abbildung 22 ersichtlich.

Mit Hilfe der Katasterkarte auf mapire.eu war es möglich, die historisch genaue Breite der Flüsse und Bäche nachzumessen und anschließend dem Verlauf in der Kulturreisenskettkarte

anzupassen. Dies war notwendig, da sämtliche Fließgewässer in der Kulturskelettkarte nur grob eingezeichnet sind. Für das Fließgewässersystem wurden Fließgewässer mit einer Mindestbreite von 5 Metern digitalisiert. Damit wurden auch Bäche in Einzugsgebieten kleiner als 10 km² erfasst.

Zum Fließgewässersystem wurden auch Altarme sowie Schotterbänke hinzugefügt. Dabei wurde beim Einzeichnen der fluvialen Sedimentflächen darauf geachtet, dass jene nicht mit reinen Ödlandflächen verwechselt wurden. Dafür wurde auf Orthofotos der basemap, sowie auf das Geländemodell (DEM 10 m) zurückgegriffen.

Für die aktuellen Fließgewässer wurde eine Reihe verschiedener Datensätze verwendet. Eingeflossen sind dabei der LISA-Datensatz sowie OpenStreetMap und das Spare Gewässernetz.

Große Fließgewässer wurden aus den LISA-Daten entnommen, wobei diese hier nur fragmentarisch vorliegen. Die fehlenden größeren Fließgewässer wurden mit OpenStreetMap ergänzt und weitere fehlende von Severin Hohensinner manuell durch Zuhilfenahme von Orthofotos eingezeichnet.

Kleine Fließgewässer, mit einem Einzugsgebiet über 10 km² wurden aus dem Spare Projekt entnommen. Da dieser GIS-Datensatz lediglich aus Polylinien besteht, wurden die Linien gemäß ihrer Flussordnungszahl und Einzugsgebietsgröße klassifiziert. Jede Linienklasse wurde derart gepuffert, dass sie im Mittel der Breite der einzuzeichnenden Gewässer entsprechen. Daraus wurden anschließend Gewässerpolygone generiert.

Um auch kleine Bäche mit einer Mindestbreite von 5 Metern im aktuellen Datensatz akkurat darzustellen, wurden jene Flächen unter Zuhilfenahme der OpenStreetMap ergänzt. Hierfür wurde die entsprechende Flussbreite der Polylinien aus OpenStreetMap gepuffert, um daraus ebenfalls Gewässerpolygone zu generieren.

Um eine Vergleichbarkeit des historischen mit dem aktuellen Datensatz der Fließgewässer zu ermöglichen, wurden im aktuellen Fließgewässernetz nur jene Gewässerabschnitte integriert, die auch im historischen Datensatz vorzufinden sind. Somit sind im historischen, wie im aktuellen Datensatz sämtliche Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet größer als 10 km² enthalten. Zudem auch Gewässer mit kleineren Einzugsgebieten, insofern sie historisch eine Mindestbreite von 5 Metern aufwiesen.



Abbildung 22: Flüsse Kulturenskelettkarte – Orthofoto

STEHENDE GEWÄSSER

Stehende Gewässer wurden für den historischen Teil der Arbeit mittels der Kulturenskelettkarte erfasst und eingezeichnet. Als bildhaftes Beispiel dient Abbildung 23, wo auf der rechten Seite auch das dazugehörige Orthofoto abgebildet ist.

Der aktuelle Datensatz für die stehenden Gewässer wurde mittels OpenStreetMap und der LISA-Daten erfasst.



Abbildung 23: Stehende Gewässer Kulturenskelettkarte – Orthofoto

SIEDLUNGSGEBIET

Für die Kartierung von Siedlungsgebieten wurde festgelegt, dass mindestens drei Gebäude in unmittelbarer Nähe zueinanderstehen müssen, damit diese als Siedlung gelten. Dies wurde anhand der Kulturenskelettkarte bestimmt und eingezeichnet. Direkt anliegenden oder dazwischen liegende, kleinere Gärten, Obstbaumwiesen, Parks und Grünflächen, wurden

teilweise den Siedlungsgebieten zugerechnet. Zudem wurden breite Straßen, die in mapire.eu nachgemessen wurden, mit in das Siedlungsgebiet integriert. Das Beispiel eines Siedlungsgebietes findet sich in Abbildung 24.

Für den aktuellen Datensatz wurden Siedlungsflächen aus dem LISA-Datensatzes entnommen. Kleinere Siedlungsgebiete sind darin meist nicht ausgewiesen. Gärten und Parks innerhalb von Siedlungen sind teilweise als solche gesondert ausgewiesen.



Abbildung 24: Siedlungsgebiet Kulturenskelettkarte – Orthofoto

WÄLDER

Ein Großteil des Untersuchungsgebietes bestand bzw. besteht aus Wald. Um die Gesamtfläche der Wälder um 1859 zu erhalten, wurden im Vorhinein alle anderen Landbedeckungstypen eingezeichnet und in einem zweiten Schritt die fehlenden Flächen im Gesamtgebiet mit dem Landbedeckungstyp Wälder gefüllt. In Abbildung 25 ist ein kleiner Ausschnitt der Waldfläche der Kulturenskelettkarte sowie eines Orthofotos laut basemap dargestellt.

Für den aktuellen Datensatz wurden die LISA-Daten ausgewertet.

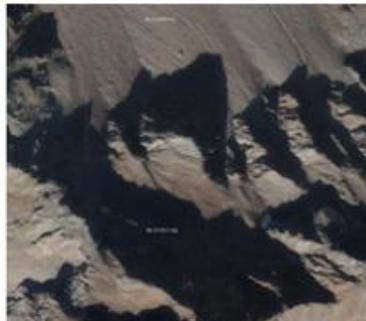
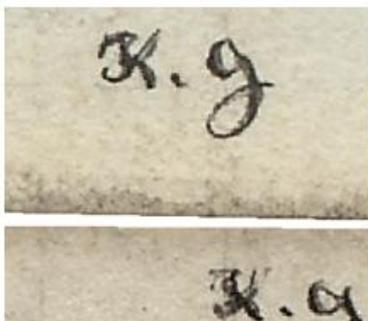


Abbildung 25: Wälder Kulturenskelettkarte – Orthofoto

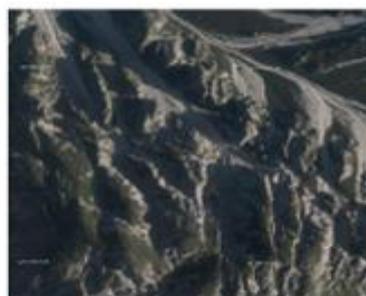
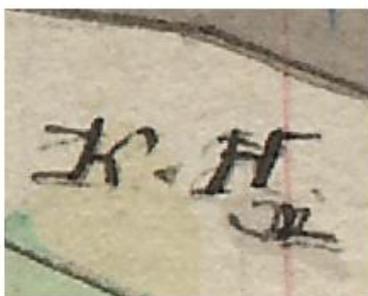
ÖDLAND

Ödland wurde mittels der Kulturenskelettkarte eingezeichnet. Wie in Abbildung 26 verdeutlicht, wurden dabei laut der Kulturenskelettkarte zwei verschieden beschriftete Flächentypen als Ödland bestimmt.

Die Beschriftung „K.G.“ deutet auf kahles Gestein hin, die Beschriftung „K.H.“ auf Krummholz. Beide Flächen finden sich vor allem im hochalpinen Bereich des Untersuchungsgebietes und bezeichnen großteils unbewachsene Schutthalden und Gestein. Zum Landbedeckungstyp Ödland wurden zudem Steinbrüche und Schottergruben hinzugezählt. Da das Ödland im aktuellen Datensatz (LISA) wesentlich detaillierter dargestellt ist und auch kleinere Felswände und unbewachsene Bereiche in tieferen Lagen zeigt, wurde das aktuelle Ödland in den historischen Datensatz zusätzlich übernommen. Historisch reichte das alpine Ödland aufgrund der damaligen klimatischen Verhältnisse zum Ende der „Kleinen Eiszeit“ vielerorts in tiefere Lagen als heute. Durch die Kombination von historischem und aktuellem Ödland im historischen Datensatz ergibt sich eine bessere Vergleichbarkeit der beiden Datensätze zur Landbedeckung Osttirols.



(K.G. = Kahles Gestein)



(K.H. = Krummholz)

Abbildung 26: Ödland Kulturenskelettkarte – Orthofoto

GLETSCHER

Gletscher finden sich über das gesamte Untersuchungsgebiet verteilt. Für die Digitalisierung der historischen Fläche wurde die Kulturenskelettkarte sowie die Franziszeische Landesaufnahme Tirol von 1816-1821 benutzt. Der Gebrauch beider Karten war notwendig, da

die Landesaufnahme Tirols von 1816-1821 in den höheren Lagen ein genaueres Bild bezüglich der Gletscherausdehnung liefert als die Kulturenskelettkarte.

In Abbildung 27 sieht man beispielhaft eingezeichnete Gletscherflächen laut der Kulturenskelettkarte, sowie ein Orthofoto des gleichen Gletschergebietes.

Hinsichtlich des aktuellen Datensatzes wurde wie in Kapitel 3.2.6 beschrieben auf die Daten von Buckel et al. (2018) zurückgegriffen. Darin enthalten sind die Gletscherflächen von 2015.

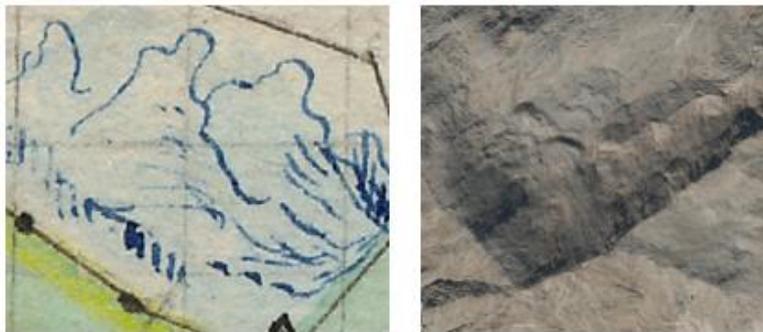


Abbildung 27: Gletscher Kulturenskelettkarte – Orthofoto

AUSWERTUNG DER FLÄCHENDATEN

Für die Zusammenführung und Auswertung der historischen wie auch der aktuellen Flächen wurde die Software MS EXCEL 2016 verwendet. Die Auswertung umfasste die Einzelflächen der verschiedenen Landbedeckungs- bzw. Landnutzungstypen. Zudem wurde eine Auswertung innerhalb des HQ₃₀₀-Überflutungsgebietes durchgeführt. Hier wurde wiederum der historische und aktuelle Datensatz zugrunde gelegt.

Um eine gute Unterscheidbarkeit der einzelnen Typen zu erhalten wurde eine kontrastvolle Farblegende, die in

Abbildung 28 ersichtlich ist, gewählt.

Farblegende
Siedlungsgebiete
Fließgewässer
Stehende Gewässer
Feuchtgebiete
Grünland
Äcker
Weingärten
(Obst)Baumwiesen /Obstanlagen
Wälder



Abbildung 28: Farblegende für die Auswertungen der Landbedeckungs-/nutzungs-Typen

4. ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Landbedeckung bzw. Landnutzung Osttirols im Jahre 1859 und 2016 dargestellt und miteinander verglichen. Auch wird ein Vergleich des Überflutungsraumes in Osttirol durchgeführt. Als letzter Punkt wird die Transformation der Landbedeckungstypen zwischen den Jahren 1859 und 2016 aufgezeigt.

4.1. OSTTIROL IM JAHRE 1859

Wie in Abbildung 29 sichtbar ist, herrschte im Jahr 1859 ein heterogenes Landschaftsbild vor, welches grob in Waldflächen, Grünland, Ödland und Gletscher unterteilt werden kann.

Landbedeckung Osttirol 1859

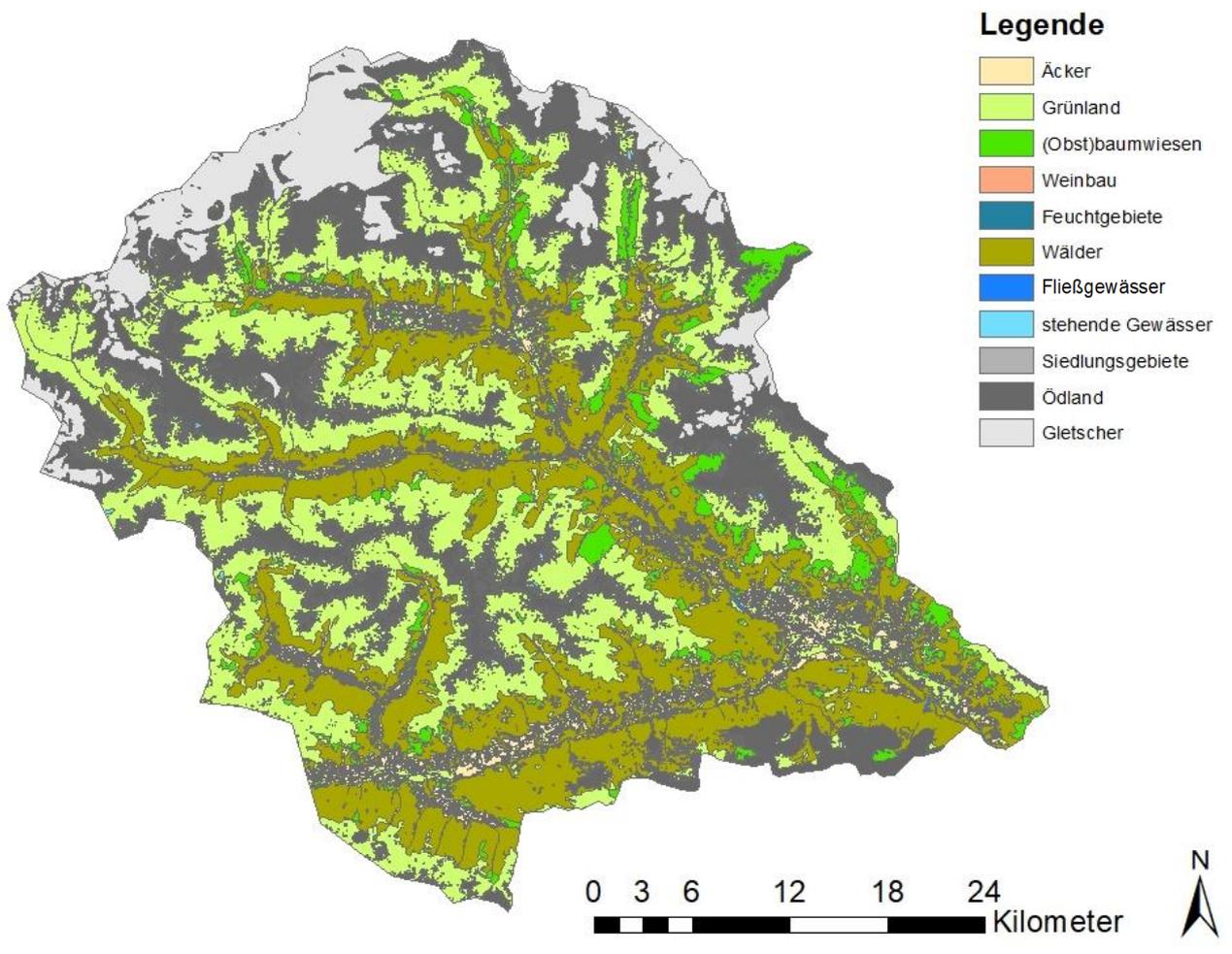


Abbildung 29: Landbedeckung Osttirols im Jahr 1859

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (Osttirol) beläuft sich auf 1900 km². Dabei machte Grünland mit 701 km² den größten Anteil aus (Abbildung 30). Folgend mit Wald mit 528 km², Ödland mit 344 km², Gletscher mit 152 km², (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen mit 104 km² und Äcker mit 56 km². Die Fließgewässer machten laut der generierten Daten rund 9 km² aus, Siedlungsgebiete ca. 5 km², stehende Gewässer ca. 2 km² und Feuchtgebiete lediglich 0,007 km². Im gesamten Gebiet wurden keinerlei Weingärten bei der Digitalisierung aufgefunden.

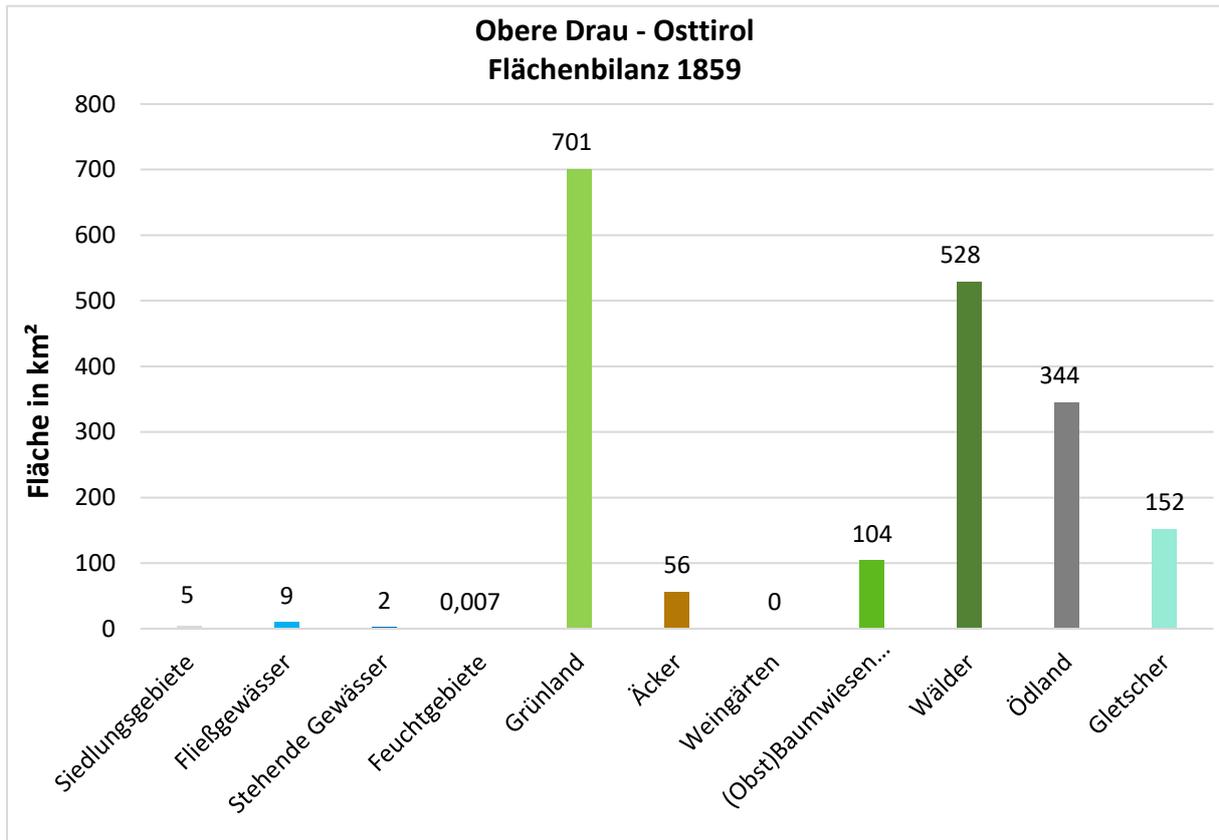


Abbildung 30: Osttirol – Flächenbilanz 1859 in km²

Abbildung 31 zeigt die Flächenbilanz Osttirols im Jahre 1859 zahlenmäßig in Prozent an. Gleich der obigen Auswertung ist das Säulendiagramm anhand der Landbedeckungsklassen gegliedert.

Den größten Anteil im Einzugsgebiet machte das Grünland mit 37% aus, gefolgt von Wald mit 28%, sowie Ödland mit einem Anteil von 18%. Des Weiteren ist ersichtlich, dass Gletscher einen Anteil von 8%, (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen von 5% und Äcker von 2,9% an der Gesamtfläche hatten. Einen prozentual kleineren Anteil hatten Fließgewässer, wobei hier zu

bedenken ist, dass es zwar meist nur schmale Flüsse und Bäche in Osttirol gab, jedoch davon eine große Anzahl. Wie in Kapitel 2.2 ersichtlich ist, war das Netz an Fließgewässern sehr umfangreich und ausgedehnt.

Zuzüglich zu dem oben genannten Formen der Landbedeckung nahmen Siedlungsgebiete vor ein Ausmaß von 0,2% ein; stehende Gewässer 0,1% und Feuchtgebiete lediglich 0,0004%.

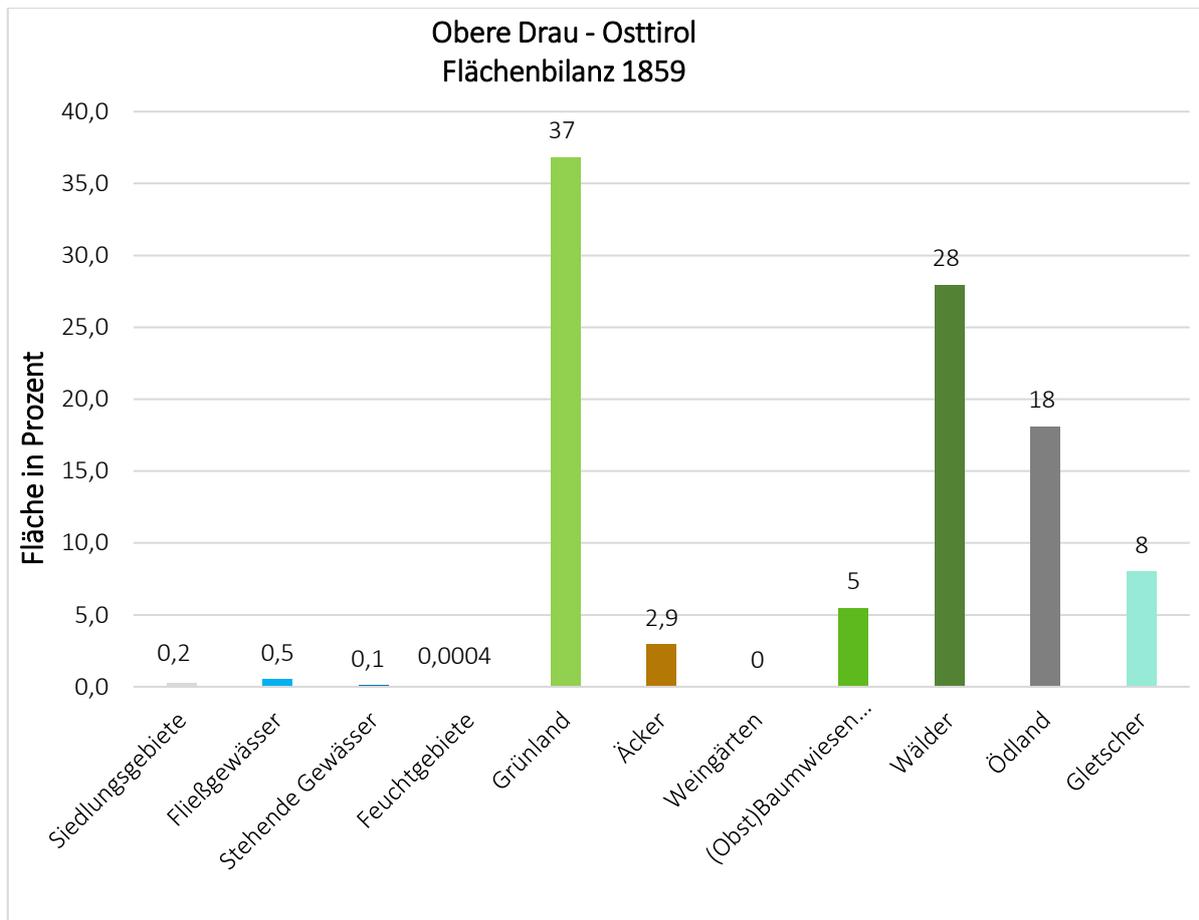


Abbildung 31: Osttirol – Flächenbilanz 1859 in Prozent

4.2. OSTTIROL IM JAHRE 2016

Betrachtet man die aktuelle Landbedeckung Osttirols in Abbildung 32, ist sogleich bemerkbar, dass im Vergleich zu Abbildung 29 nun der Anteil an Wald stark angestiegen zu sein scheint. Vorherrschend sind des Weiteren wie auch in der historischen Landbedeckung der Anteil an Grünland, Ödland sowie Gletscher.

Landbedeckung Osttirol 2016

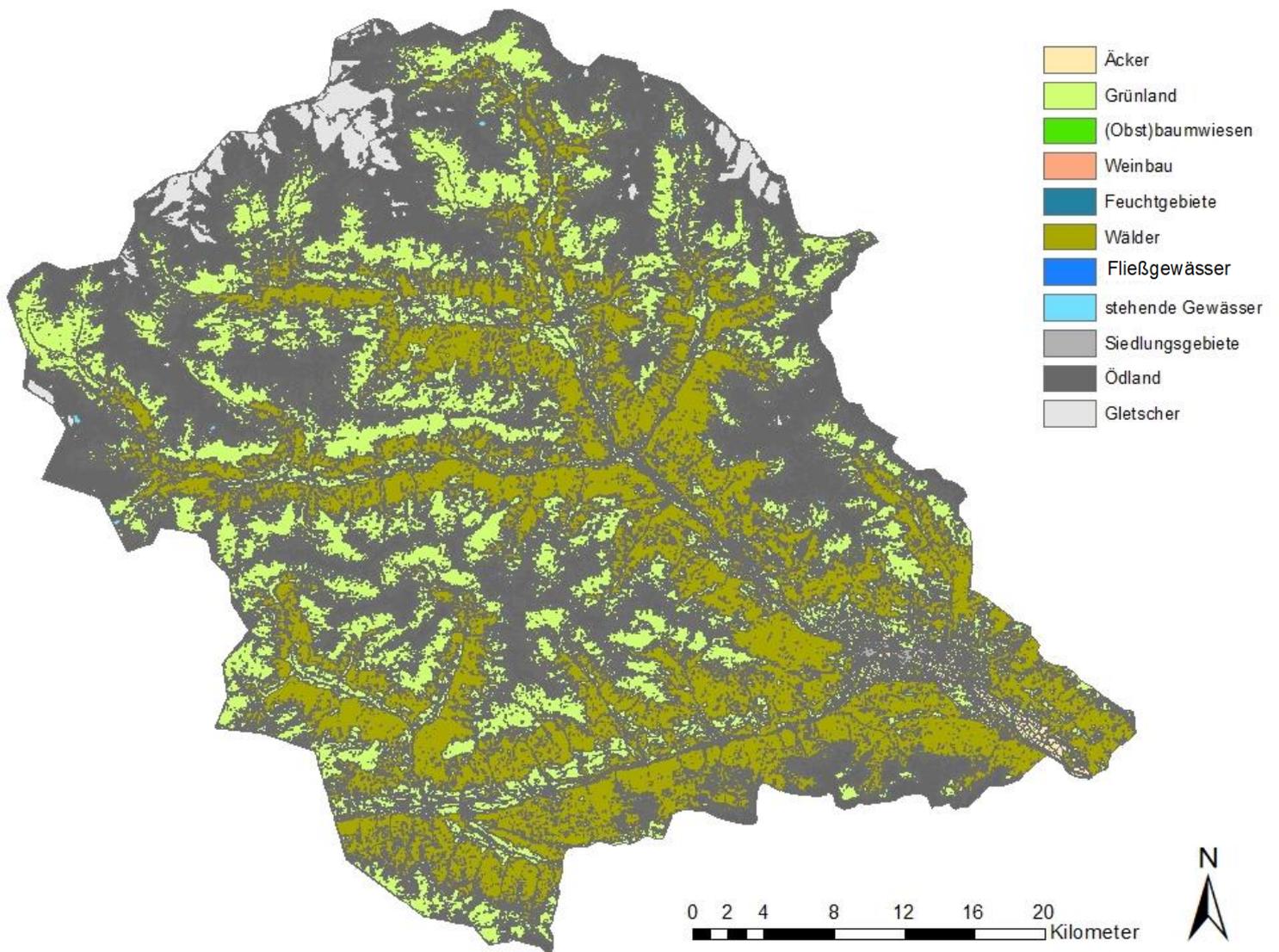


Abbildung 32: Landbedeckung Osttirols 2016

Die Flächenbilanz Osttirols im Jahre 2016 fällt wie folgt aus: In Abbildung 33 ist ersichtlich, dass Grünland den größten Anteil ein mit 722 km² einnimmt, gefolgt von den Wäldern mit 705 km², Ödland mit 395 km² und Gletscher mit 46 km². Geringere Anteile haben Äcker mit 12 km², die Siedlungsgebiete mit 11 km², Fließgewässer mit 6 km², die stehenden Gewässer mit 2 km², sowie den (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen mit 0,2 km². Feuchtgebiete und Weingärten sind aktuell auf Basis der ausgewerteten Datensätze keine (mehr) vorhanden.

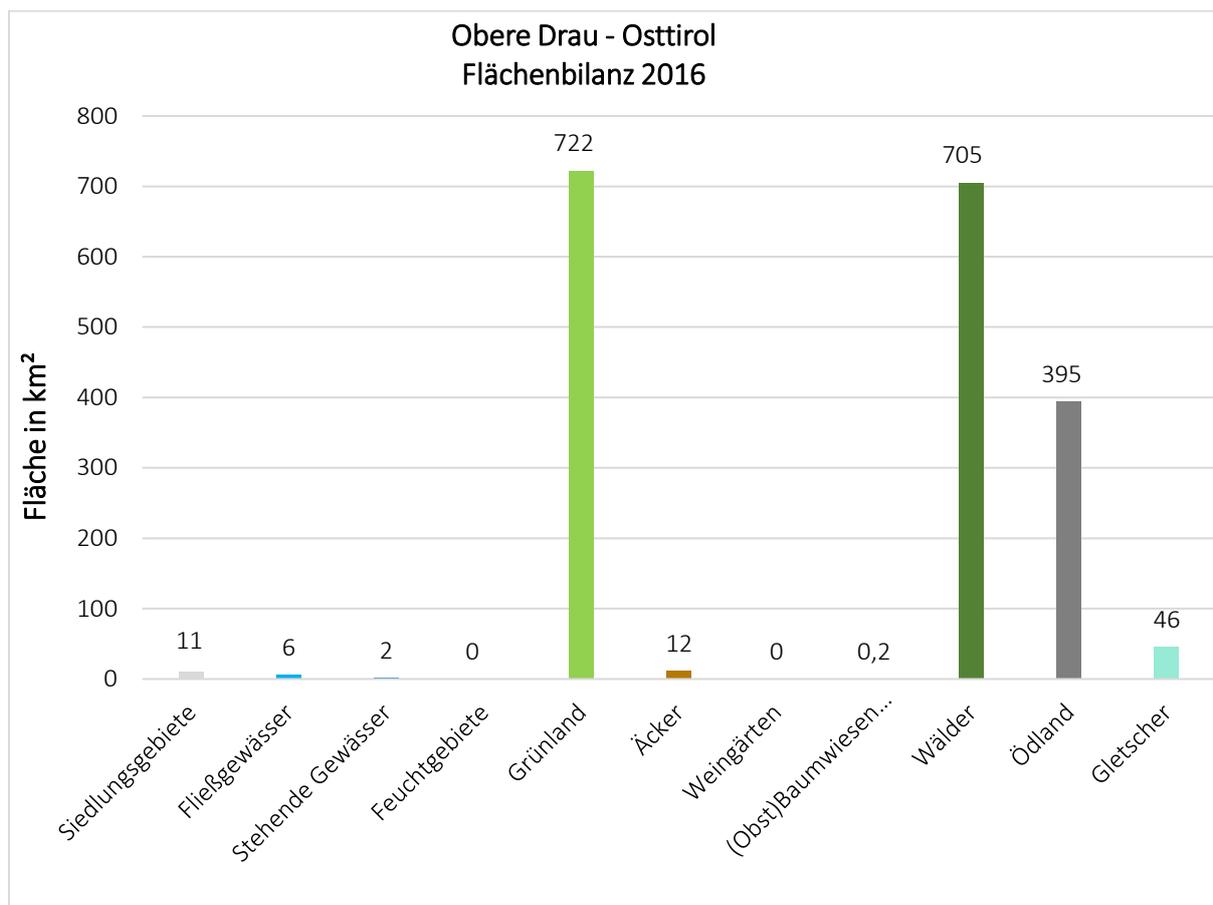


Abbildung 33: Osttirol – Flächenbilanz 2016 in km²

Abbildung 34 veranschaulicht die prozentuale Aufteilung der Landbedeckung Osttirols im Jahre 2016. Gleich sichtbar ist die Tatsache, dass Grünland und Wald fast gleichauf sind. Grünland nimmt laut der Auswertung 38% der Fläche ein, Wälder 37% und Ödland 21%. Die Gletscher betreffen 2,4% des Untersuchungsgebietes, Äcker 0,7% und das Siedlungsgebiet nunmehr 0,6%. Einen eher geringen Anteil des Arealen machen Fließgewässer mit 0,3%, stehende Gewässer mit 0,1%, sowie (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen mit 0,01% aus.

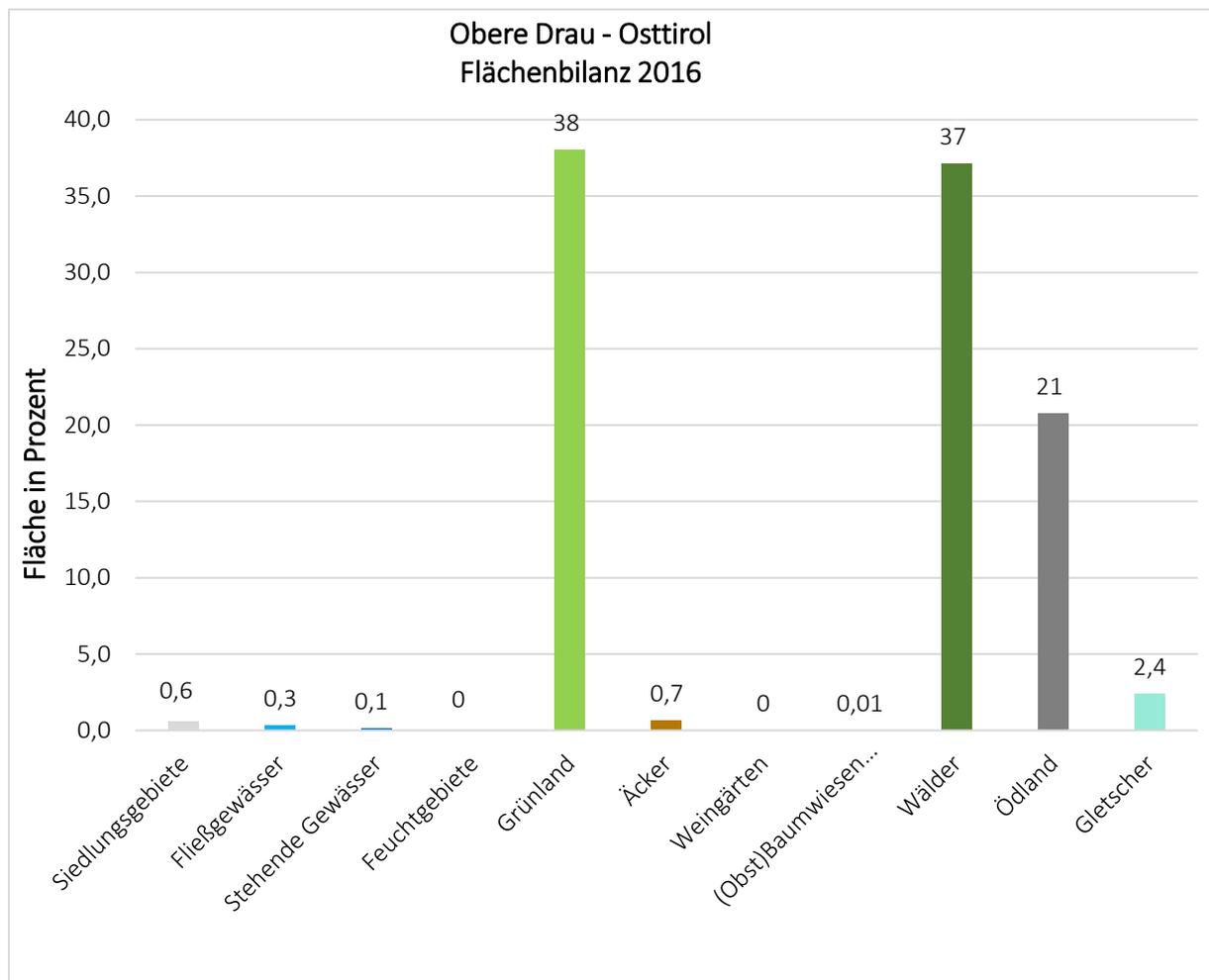


Abbildung 34: Osttirol – Flächenbilanz 2016 in Prozent

4.3. VERGLEICH DER LANDBEDECKUNG IN OSTTIROL 1859 UND 2016

In diesem Kapitel wird ein Vergleich des Untersuchungsgebietes Osttirols durchgeführt. Dafür erfolgt ein Vergleich der beiden Stichjahre 1859 und 2016, um zu ermitteln auf welche Weise sich die Landbedeckung in den 157 Jahren verändert hat.

Angefangen mit dem Vergleich der Aufteilung in Quadratmeter in Abbildung 35 und der Aufteilung in Prozent in Abbildung 36 kann folgendes festgestellt werden:

- Laut den Grafiken ist ersichtlich, dass sich die Fläche des Siedlungsgebietes von 5 km² auf ungefähr 11 km² erhöht hat. Die Siedlungsgebiete machte im Jahre 1859 lediglich 0,2 Prozent aus. Bis zum Jahre 2016 hat sich dieser Wert auf 0,6 Prozent erhöht. Dies stellt fast eine Verdreifachung des Wertes innerhalb des oben besagten Zeitraumes von 157 Jahren dar.
- Die Fließgewässer haben von einer Fläche von 9 km² im Jahre 1859 in Richtung 6 km² 0,3% für das Jahr 2016 abgenommen. Beziehungsweise von einem prozentualen Anteil von 0,5% hin zu 0,3%. Dies zeigt, dass bei Fließgewässer eine eindeutige Abnahme von zirka einem Drittel im Untersuchungsgebiet zu verzeichnen ist.
- Die Oberfläche der stehenden Gewässer in Osttirol machten im Jahre 1859, sowie im Jahre 2016 gleichbleibend rund 2 km² des gesamten Gebietes aus. Dies sind jeweils 0,1% des Untersuchungsgebietes.
- Die Feuchtgebiete hatten 1859 noch einen Anteil von 0,007 km², beziehungsweise 0,0004%. Dies scheint nicht sehr viel im Verhältnis zu den vorherigen Bedeckungsklassen. Jedoch hat sich das Gebiet soweit entwickelt und verändert, dass im Jahre 2016 keinerlei Feuchtgebiete mehr vorhanden sind laut der durchgeführten Analyse.
- Das Grünland macht in beiden Stichjahren den größten Teil in Osttirol aus. 1859 sind dies 701 km² und 2016 sind es 722 km². Beziehungsweise 37% bei der historischen und 38% bei der aktuellen Auswertung. Dies lässt erkennen, dass sich im Laufe der Zeit der Grünlandanteil nicht sehr stark verändert hat.
- Die Äcker nehmen im Vergleich der historischen mit den aktuellen Daten sehr stark ab. Im Jahre 1859 waren es noch 56 km² beziehungsweise 2,9% der Gesamtfläche. So sind es 2016 nur noch 12 km² oder 0,7%. Grob gesehen gab es eine Verminderung der Ackerflächen von zirka drei Viertel.
- Weingärten wurden bei der durchgeführten Untersuchung weder 1859 noch 2016 gefunden.
- Die (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen haben wohl den eindeutigsten flächenmäßigen Unterschied. 1859 machte die Landbedeckungsklasse laut der Digitalisierung 104 km² beziehungsweise 5% der Fläche aus. 2016 sind es nur noch 0,2 km² oder 0,01%. Dies stellt eine effektive Minderung um den Faktor 500 dar. Der starke Unterschied ist jedoch erklärbar durch den Fakt, dass bei der aktuellen Landbedeckung keine „Baumwiesen“ (z.B. in der alpinen Krummholzzone) wie im historischen Kataster mehr gibt. Daher ist hier ein großer Unterschied bemerkbar und die Werte sind nicht direkt miteinander vergleichbar.

- Die Wälder haben im Untersuchungsgebiet den zweitgrößten Anteil. Interessant ist dabei, dass es innerhalb der 157 Jahre einen gut sichtbaren Anstieg der bewaldeten Fläche gab. Im Jahre 1859 konnte eine Fläche von 528 km² beziehungsweise 28% ermittelt werden. 2016 machte die Fläche mit bewaldeter Fläche ganze 705 km² oder 37% aus. Grob gesehen ist das eine Zunahme von einem Viertel.
- Ödland ist auf die Fläche bezogen die drittstärkste Landbedeckungskategorie mit einem Anteil von 344 km², beziehungsweise 18% im Jahre 1859 und einem Anteil von 395 km² oder 21% im Jahre 2016. Der Vergleich deutet damit einen leichten, jedoch eindeutigen Anstieg erkennen.
- Die Gletscher hatten im Laufe der Zeit starke Veränderungen erfahren. Vergleichend kann man erkennen, dass die Gletscherfläche innerhalb der 157 Jahren einen starken Rückgang hatte. Im Jahre 1859 war noch eine Fläche von 152 km² beziehungsweise 8% auszumachen. Im Jahre 2016 waren es lediglich noch 46 km² der Gesamtfläche beziehungsweise 2,4%. Dabei nimmt die Minderung der Gletscherfläche zirka den Faktor 3,3 ein beziehungsweise gab es einen Rückgang um rund 70%.

All die oben genannten Beschreibungen machen über die Zeit hinweg ist ersichtlich, dass einige Landbedeckungstypen einige besonders weitreichende Veränderungen aufwiesen.

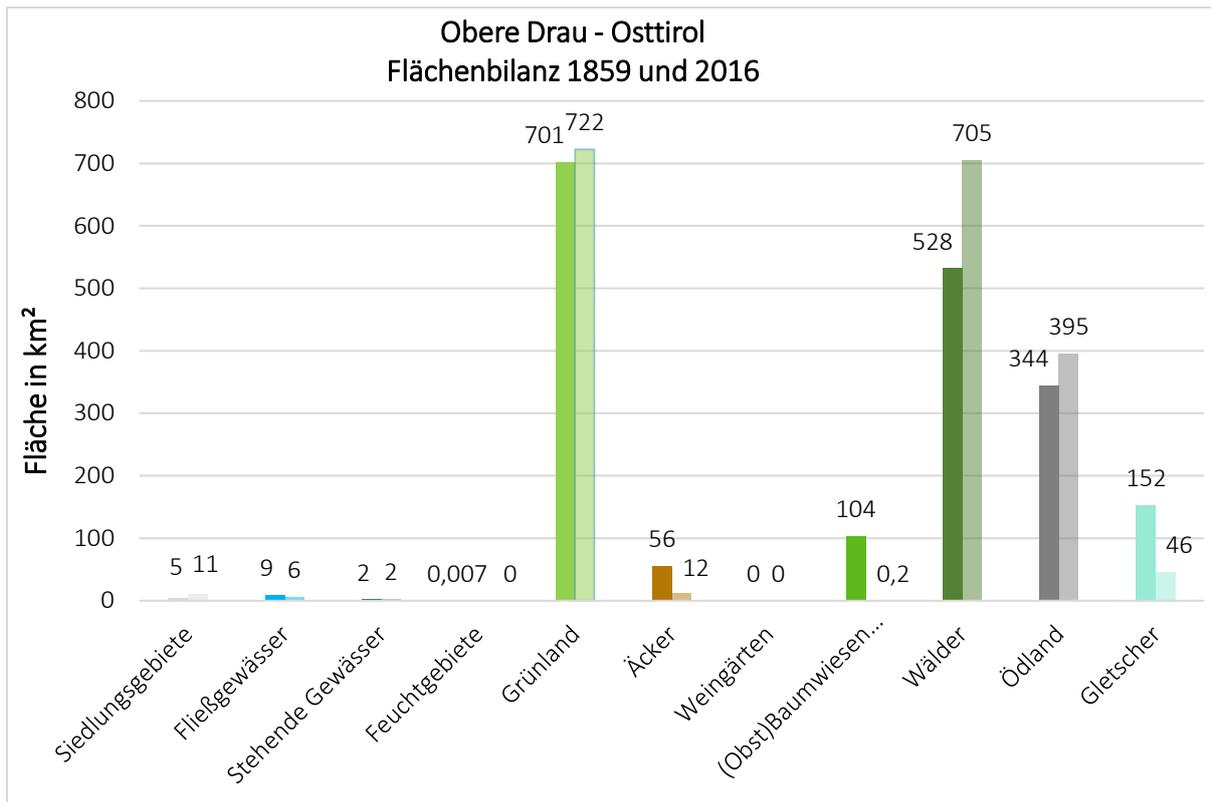


Abbildung 35: Vergleich Flächenbilanz Osttirol 1859 / 2016 in km²

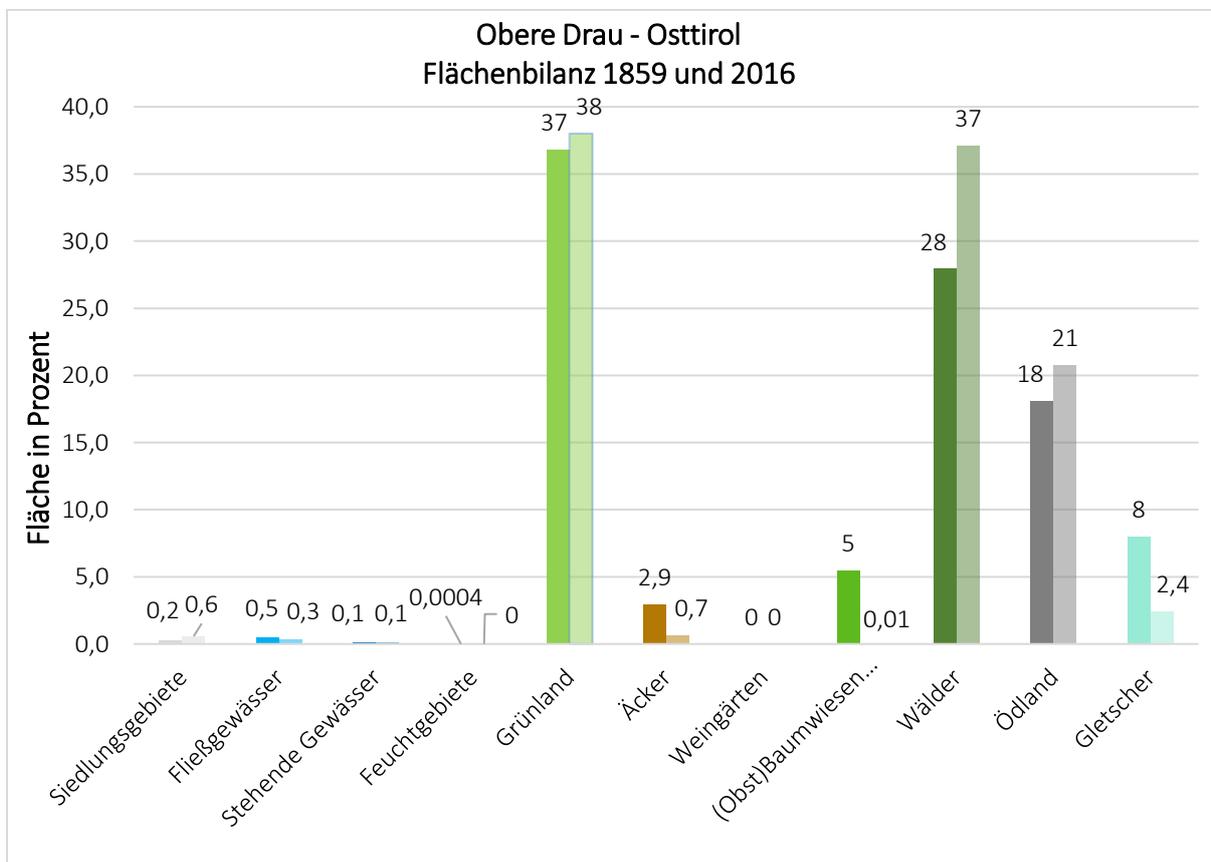


Abbildung 36: Vergleich Flächenbilanz Osttirol 1859 / 2016 in Prozent

4.4. VERGLEICH HQ₃₀₀-ÜBERFLUTUNGSRAUM OSTTIROL 1859 UND 2016

Um eine bessere Übersicht über die möglichen Überflutungszonen in den HQ₃₀₀-Gebieten zu erhalten, erfolgt in Abbildung 37 eine Gegenüberstellung der beiden Flächen in Quadratkilometern, in Abbildung 38 in Prozent im Verhältnis zum gesamten Untersuchungsgebiet.

In Abbildung 37 ist gut erkennbar, dass die historische HQ₃₀₀-Fläche 84 km² ausmachte. Bei der aktuellen HQ₃₀₀-Fläche ist jedoch immer noch eine Fläche von 67 km² als mögliche Überflutungsfläche bei 300-jährlichen Hochwassern auszumachen. Vergleichend ergibt sich ein Unterschied von 17 km².

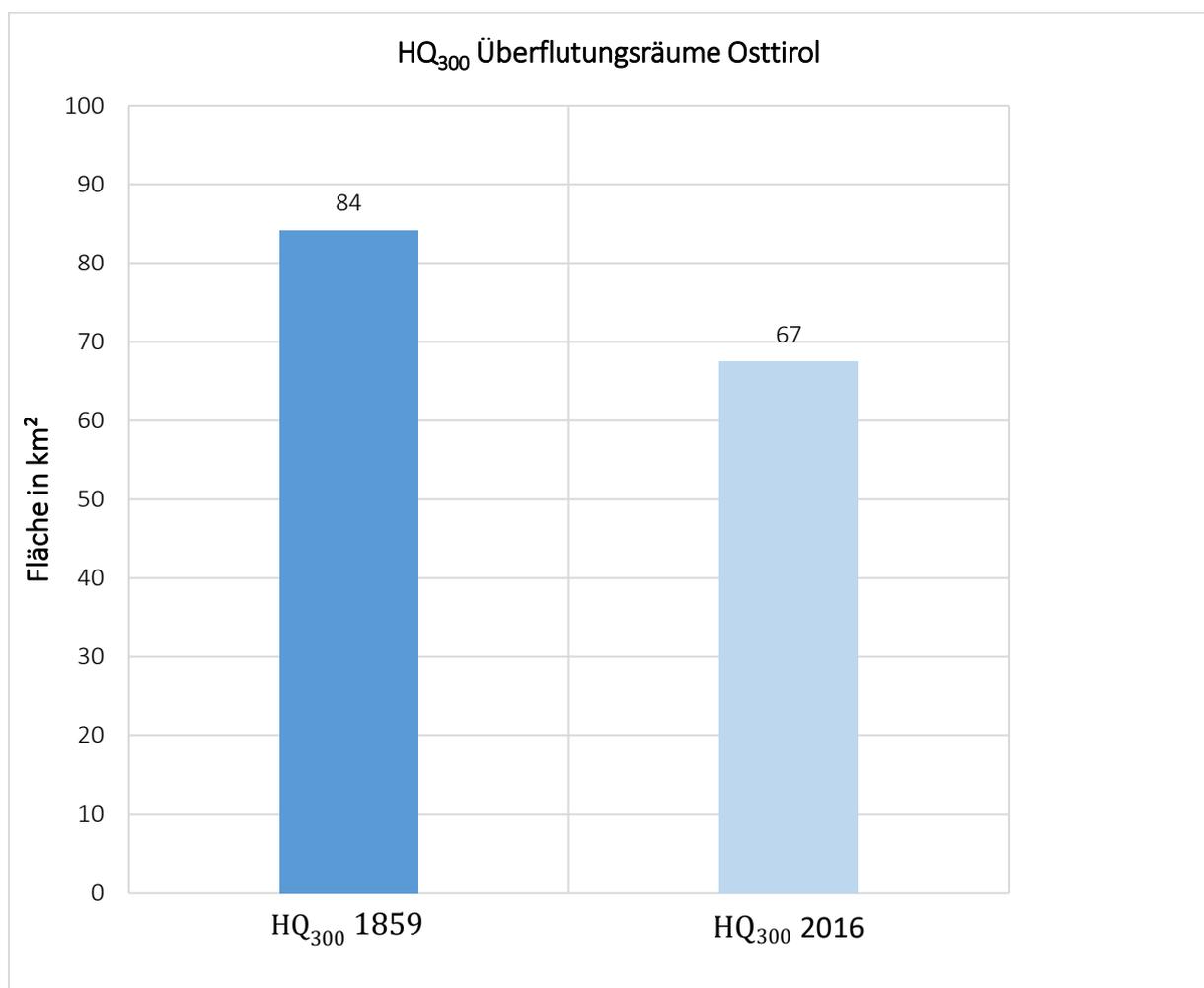


Abbildung 37: HQ₃₀₀-Überflutungsräume in Osttirol in km²

In Abbildung 38 wird der HQ₃₀₀-Überflutungsraum prozentual zur Fläche Osttirols dargestellt. Wie man sieht, begrenzt sich die Fläche welches bei einem 300-jährlichen Hochwasserrisiko historisch auf 4,4%. Die aktuelle HQ₃₀₀-Fläche 3,5% des untersuchten Gebietes. Dies scheint bei beiden kein sehr hoher Wert zu sein, was dem (hoch)alpinen Charakter des Untersuchungsgebietes geschuldet ist. Wie in Abbildung 30 zu sehen, handelt es sich dabei aber dennoch insgesamt um große Flächen.

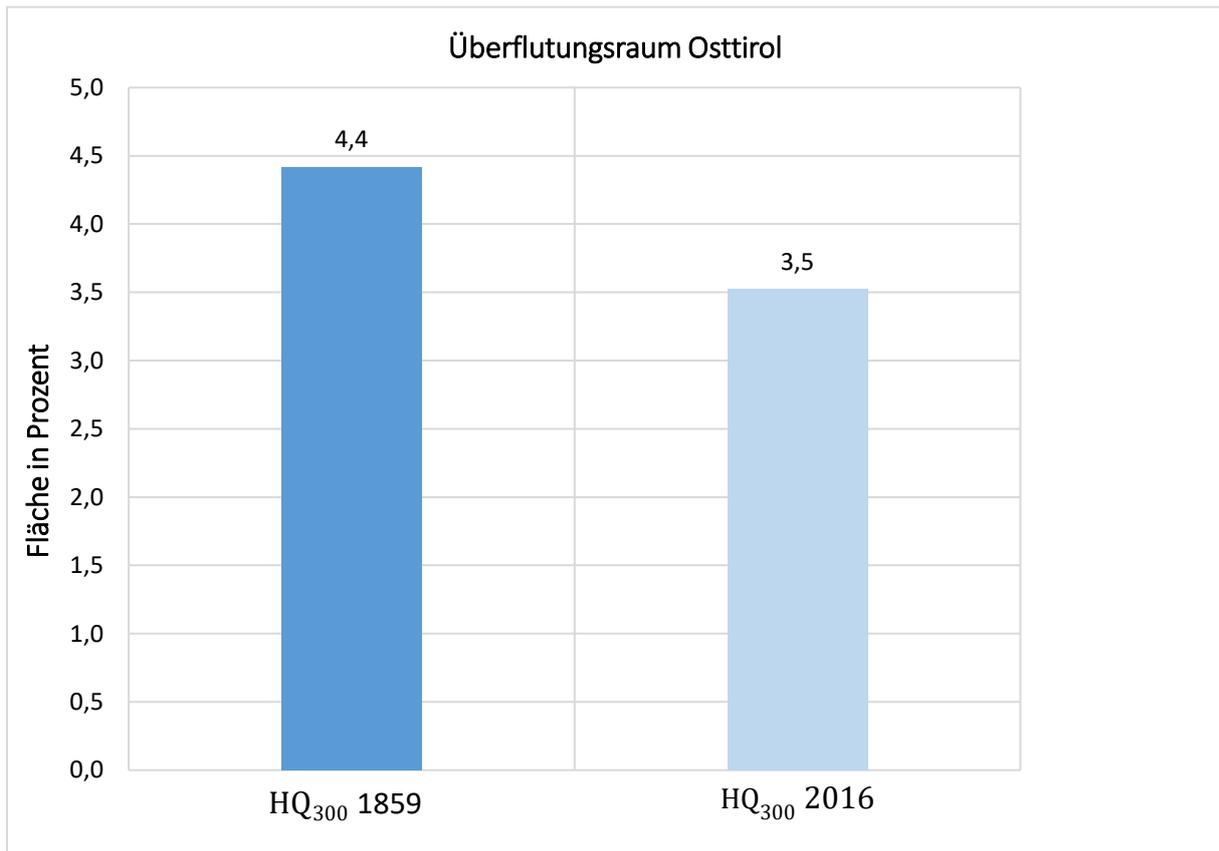


Abbildung 38: HQ₃₀₀-Überflutungsräume in Osttirol in Prozent

4.5. LANDBEDECKUNG IM HQ₃₀₀-GEBIET

Das 300-jährliche Hochwassergebiet in Osttirol durchlief über die Jahrzehnte einige Veränderungen. In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick darüber gegeben, welche Landesteile historisch von der Überflutung betroffen gewesen wären beziehungsweise sind und welche aktuellen Landbedeckungen dem Risiko einer Überflutung ausgesetzt sind beziehungsweise sein könnten.

4.5.1. LANDBEDECKUNG IM HQ₃₀₀-GEBIET 1859

Wie in Abbildung 39 zu sehen ist, wirkt die historische Landbedeckung im HQ₃₀₀-Gebiet sehr zersplittert. Eine ganze Reihe an Landbedeckungstypen befinden sich im Überflutungsgebiet und könnten von 300-jährlichen Hochwässern betroffen sein.

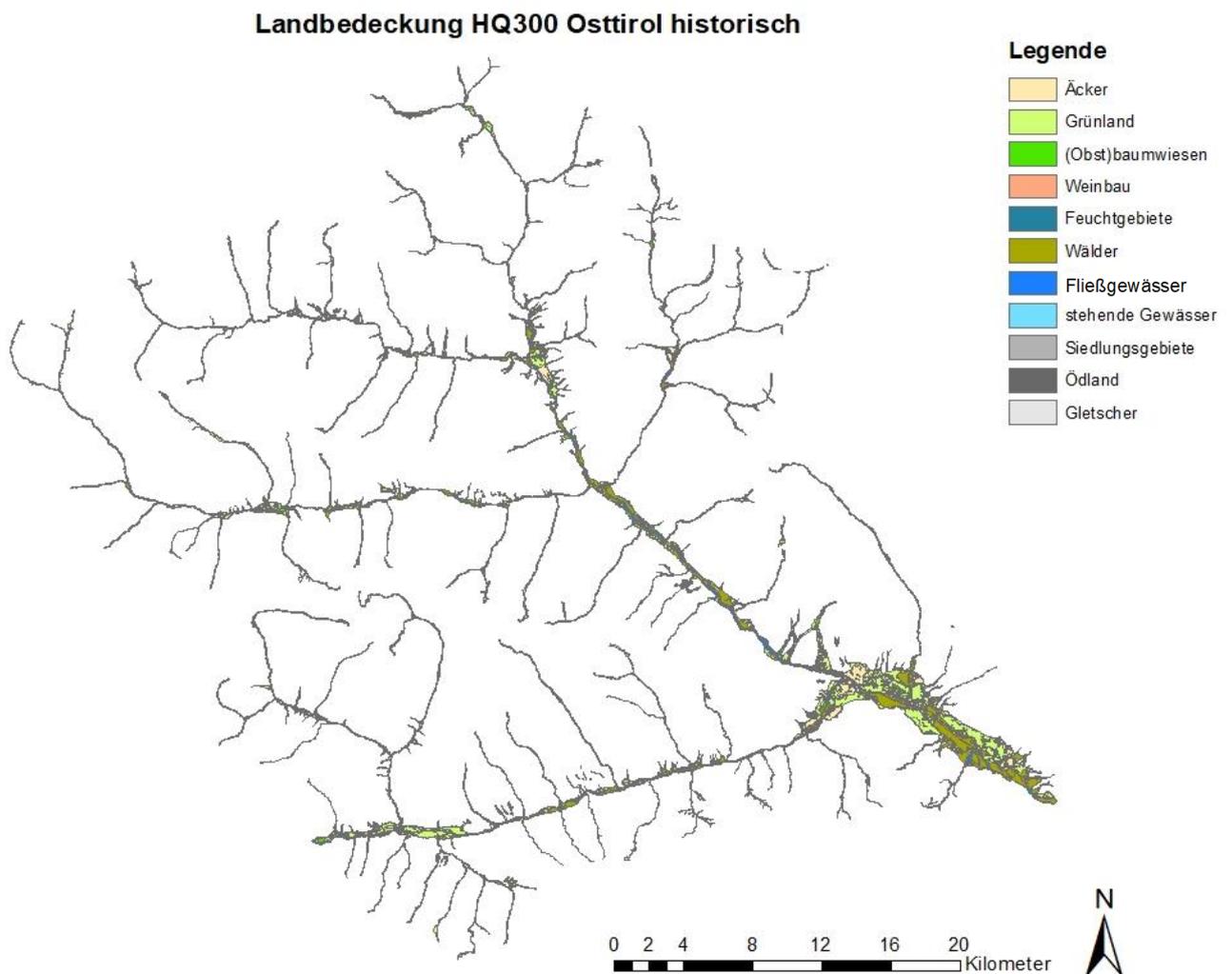


Abbildung 39: Landbedeckung HQ₃₀₀ Überflutungsbereich in Osttirol 1859

In Zahlen ausgedrückt erhält man folgendes Ergebnis: Wie man in Abbildung 40 sehen kann, wurde die HQ₃₀₀-Überflutungsfläche vor allem von Grünland, Wäldern und Äcker dominiert. Somit befand sich der Retentionsraum zu einem großen Teil auf unbewohnten Grund. Grünland hat dabei eine Fläche von 33 km², Wälder 23 km² und Äcker 10 km², was in Summe eine Fläche von 66 km² sind und zirka 79% der gesamten HQ₃₀₀-Überflutungsfläche ausmacht. Darüber hinaus kamen 9 km² auf Fließgewässer, 4,2 km² auf (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen und lediglich 0,9 km² der Überflutungsfläche wurden durch Siedlungsgebiete eingenommen. Feuchtgebiete hatten einen sehr geringen Anteil von lediglich 0,007 km².

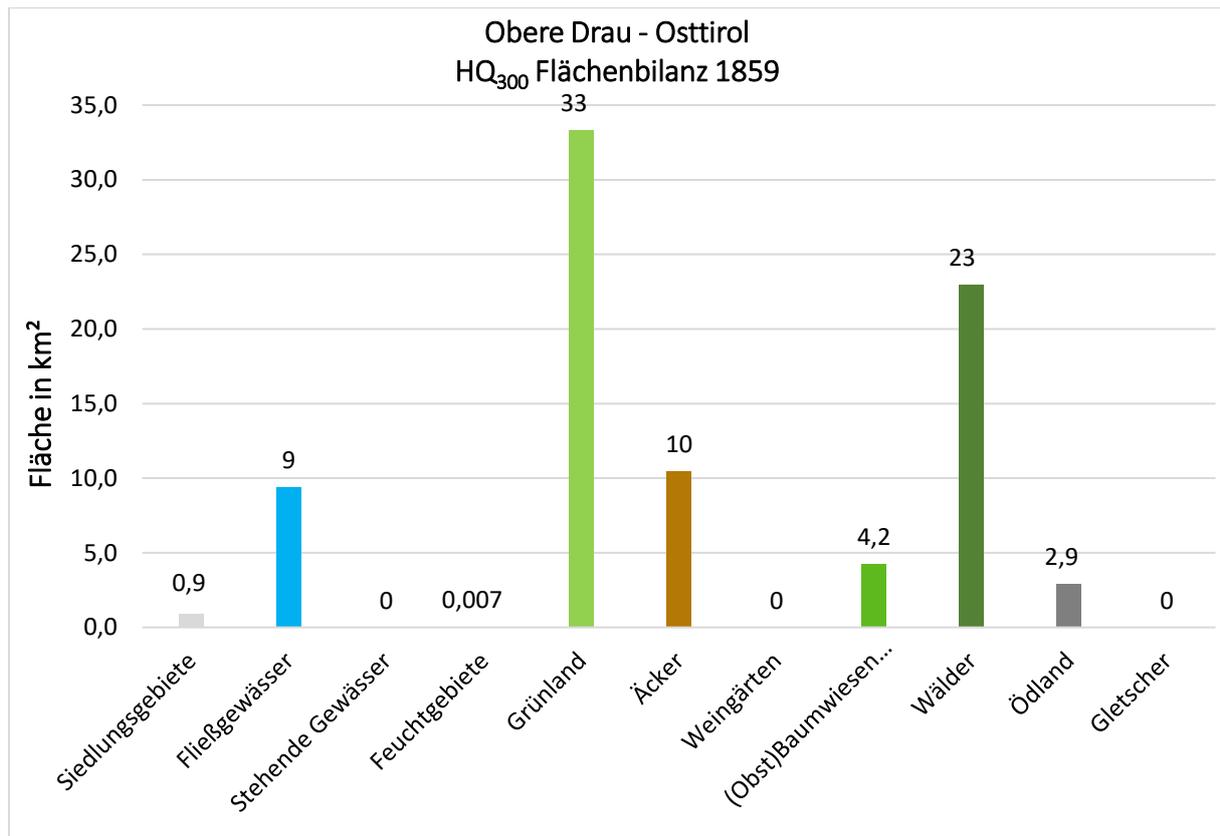


Abbildung 40: Flächenbilanz im HQ₃₀₀-Überflutungsraum 1859 in km²

Wie Abbildung 41 aufzeigt, wird das Überflutungsgebiet vor allem von Grünland, Wäldern und Äcker dominiert. Grünland machte dabei 40% aus, Wälder 27% und Äcker 12%. In Summe machte diese Fläche zirka 79% der Gesamtfläche des Überflutungsgebietes aus. Des Weiteren kamen Fließgewässer auf 11%, (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen auf 5%, sowie Ödland auf 3,4% und lediglich 1,1% der Überflutungsfläche entfiel auf Siedlungsgebiete. Sehr geringen Anteil hatten Feuchtgebiete mit 0,008%.

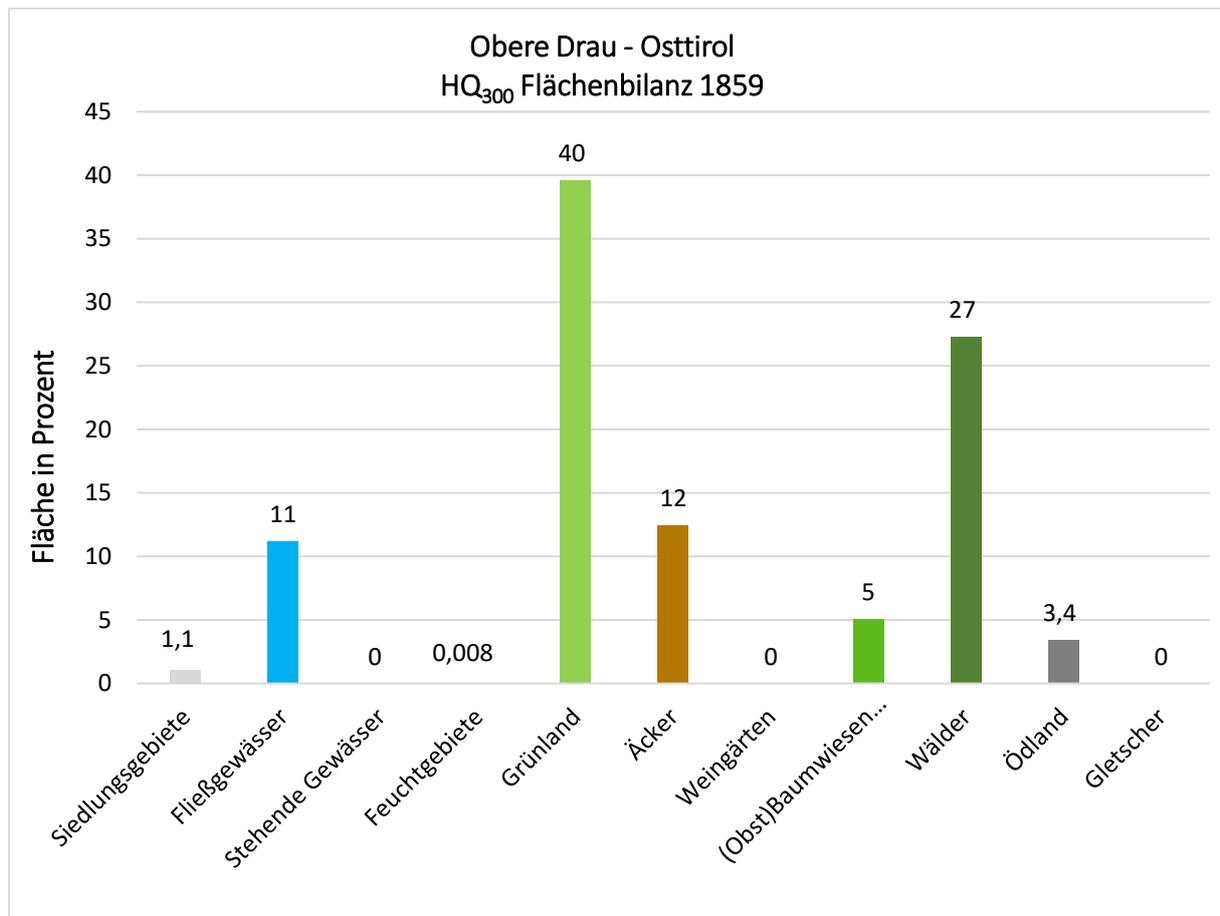


Abbildung 41: Flächenbilanz im HQ₃₀₀-Überflutungsraum 1859 in Prozent

4.5.2. LANDBEDECKUNG IM HQ₃₀₀-GEBIET 2016

Analog zur Karte in Abbildung 39 wird auch in Abbildung 42 die Landbedeckung im HQ₃₀₀-Bereich dargestellt. Diesmal jedoch wird auf das aktuelle Kartenmaterial zurückgegriffen und für den Zustand im Jahr 2016 ausgewertet.

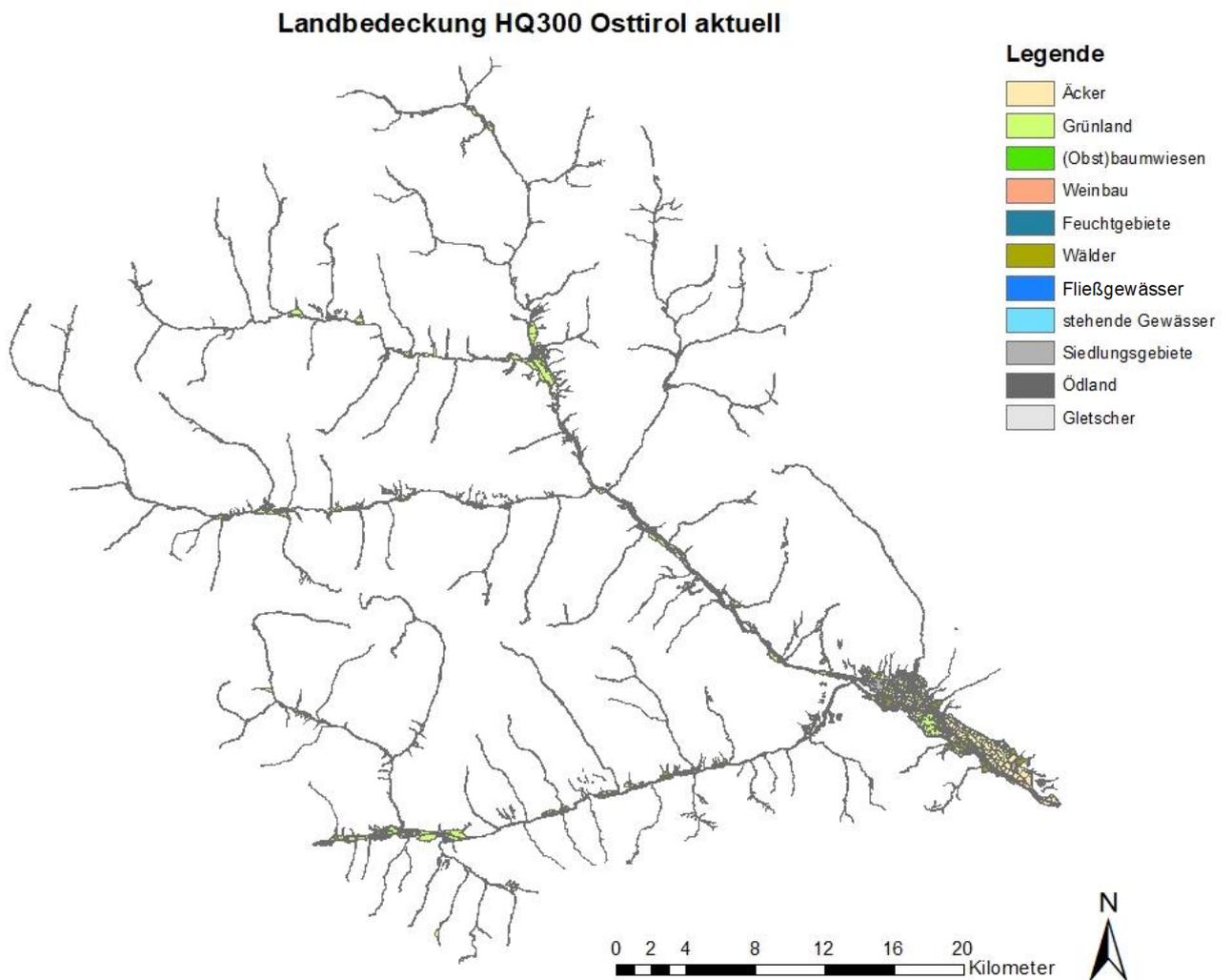


Abbildung 42: Landbedeckung im HQ₃₀₀-Überflutungsbereich in Osttirol 2016

Laut Abbildung 43 und Abbildung 44 kommen aktuell (2016) im HQ₃₀₀-Gebiet vor allem Grünland, Wälder und Äcker vor. Diese machen insgesamt rund 55 km² beziehungsweise 81% des gesamten Überflutungsgebietes aus. Grünland hat dabei einen Anteil von 32 km² oder 47%, was einer Steigerung um 7 Flächenprozent (bezogen auf das HQ₃₀₀-Gebiet) im Vergleich zu 1859 bedeutet. Wälder machen heute 15 km² oder 23% im HQ₃₀₀-Gebiet aus. Historisch waren diese noch 27%. Bei den Äckern macht die mögliche Überflutungsfläche 7,5 km² beziehungsweise 11% aus.

Fließgewässer machen 2016 6 km² bzw. 9% aus. Ödland macht heute 2,4 km² bei 3,5% aus und ist somit bei mit dem historischen Vergleichswert von 3,4% fast ident. Siedlungsgebiete macht 4,3 km² beziehungsweise 6% aus. Parallel zum Wert von 1859 mit lediglich 1,1% macht dies zirka eine Verfünffachung aus.

Die (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen haben 2016 einen Wert von 0,9 km² bei 0,1%. Entsprechend dem Wert von 1859 mit 5% ist dies eine starke Abnahme, welcher wie oben beschrieben der Verzerrung geschuldet ist. Stehende Gewässer machen lediglich eine Fläche von 0,1 km², was einem Prozentsatz von unter 0,1% entspricht und dem prozentualen Wert von 1859 entspricht.

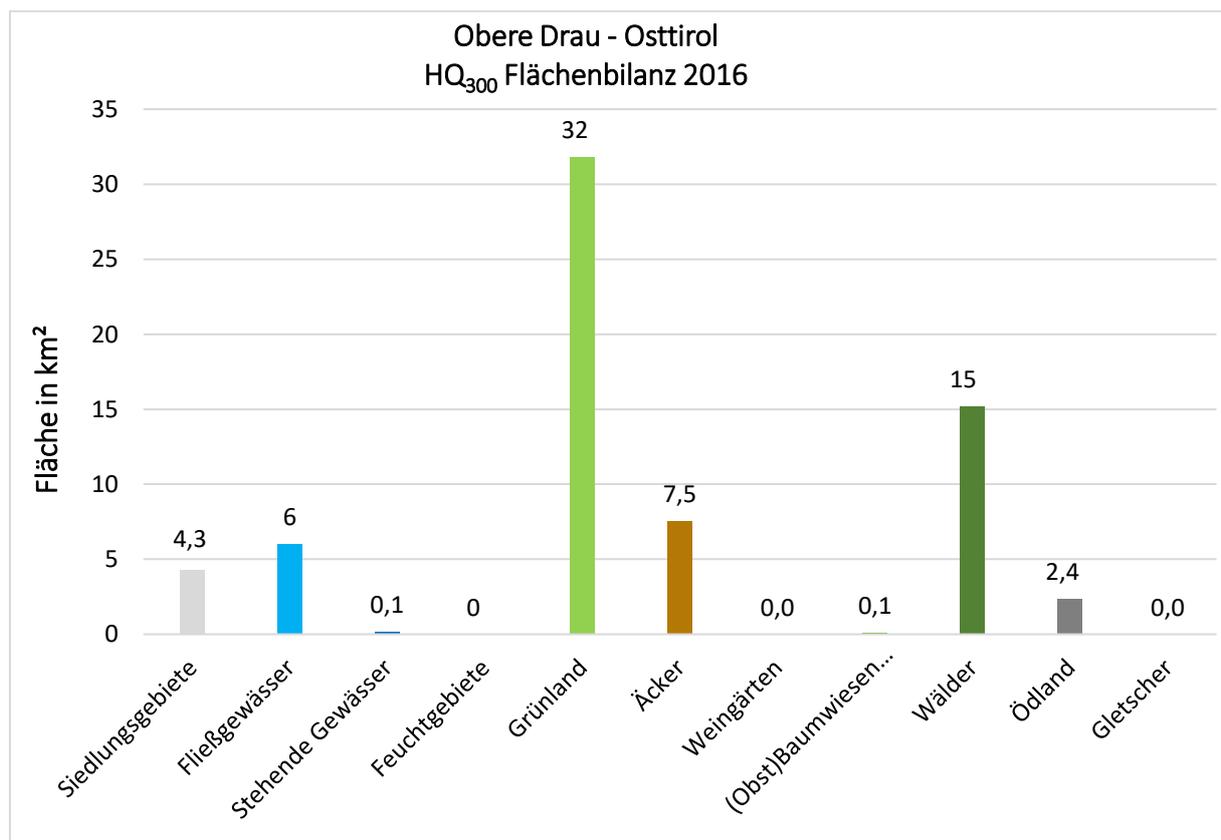


Abbildung 43: Flächenbilanz im HQ₃₀₀-Überflutungsraum 2016 in km²

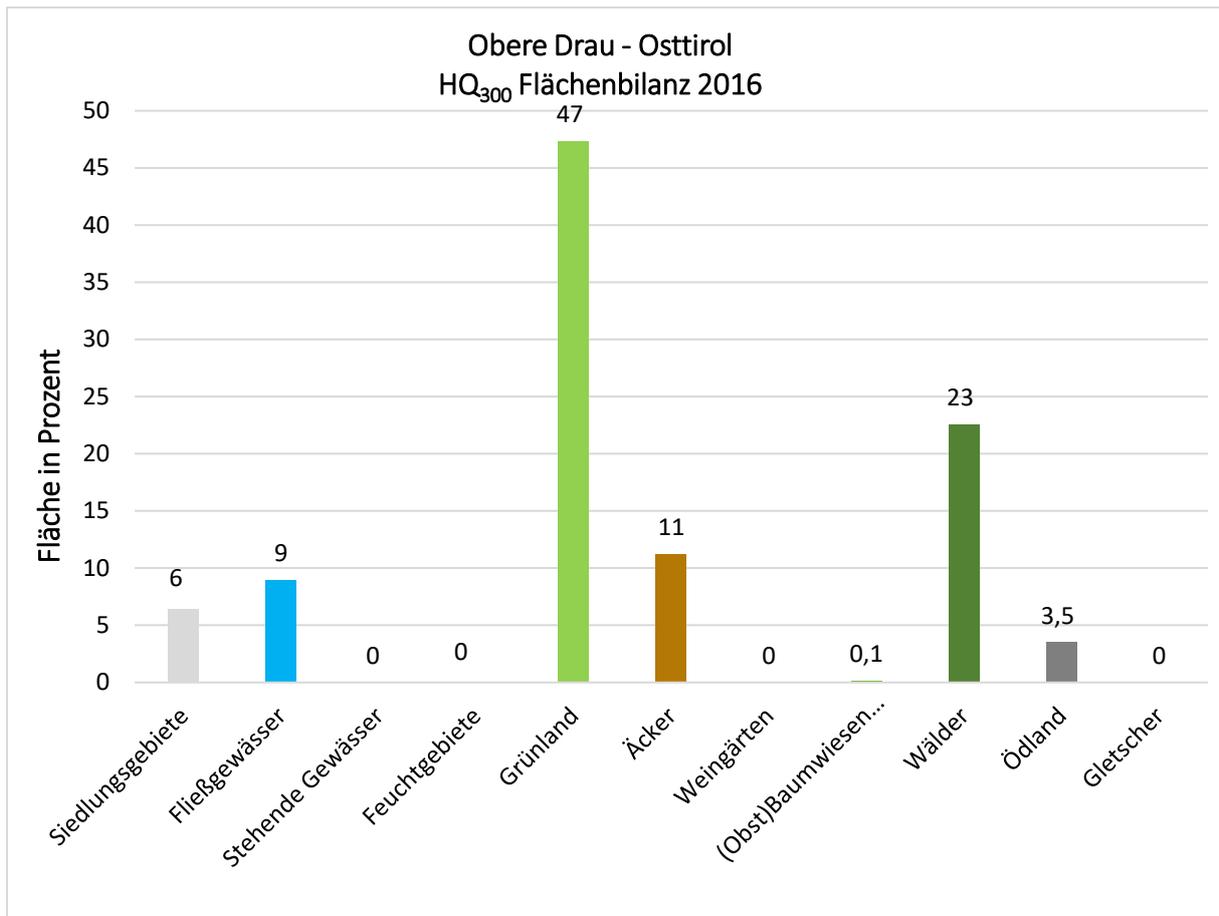


Abbildung 44: Flächenbilanz im HQ₃₀₀-Überflutungsraum 2016 in Prozent

4.6. TRANSFORMATION DER LANDBEDECKUNG ZWISCHEN 1859 UND 2016

In diesem Kapitel wird anhand der historischen und aktuellen Landbedeckungs- und Landnutzungstypen aufgezeigt, inwieweit sich die historischen Klassen verändert und in welche Kategorien sie sich in den 157 Jahren umgewandelt haben.

Abbildung 45 zeigt, welchen Wandel historische Siedlungsgebiete im Laufe der Zeit erfuhren. An jenen Stellen, an denen sich 1859 noch Siedlungsgebiete befanden, besteht nun 74% der Fläche aus Grünland 11% aus Wäldern. Lediglich 14% bestehen auch heutzutage noch aus Siedlungsgebieten. Dies ist eine starke, unerwartete Veränderung. Der Grund liegt in der Datenstruktur der historisch und aktuell ausgewerteten Siedlungsflächen (siehe Kapitel 3.1). Im Jahr 1859 waren die meisten Siedlungen sehr klein und auch deren Lage in der verwendeten Kulturenskelettkarte weist Ungenauigkeiten auf. Aber auch die aktuellen Siedlungsflächen sind nicht so genau erfasst, als man sich erwarten würde (siehe Kapitel 3.2). Aus den Ungenauigkeiten beider Datensätze ergeben sich gerade bei so kleinräumigen Strukturen wie die Siedlungsflächen bei der GIS-Verschneidung vergleichsweise große Fehler. Daher sind die dargestellten Werte für weitere Analysen nicht brauchbar.

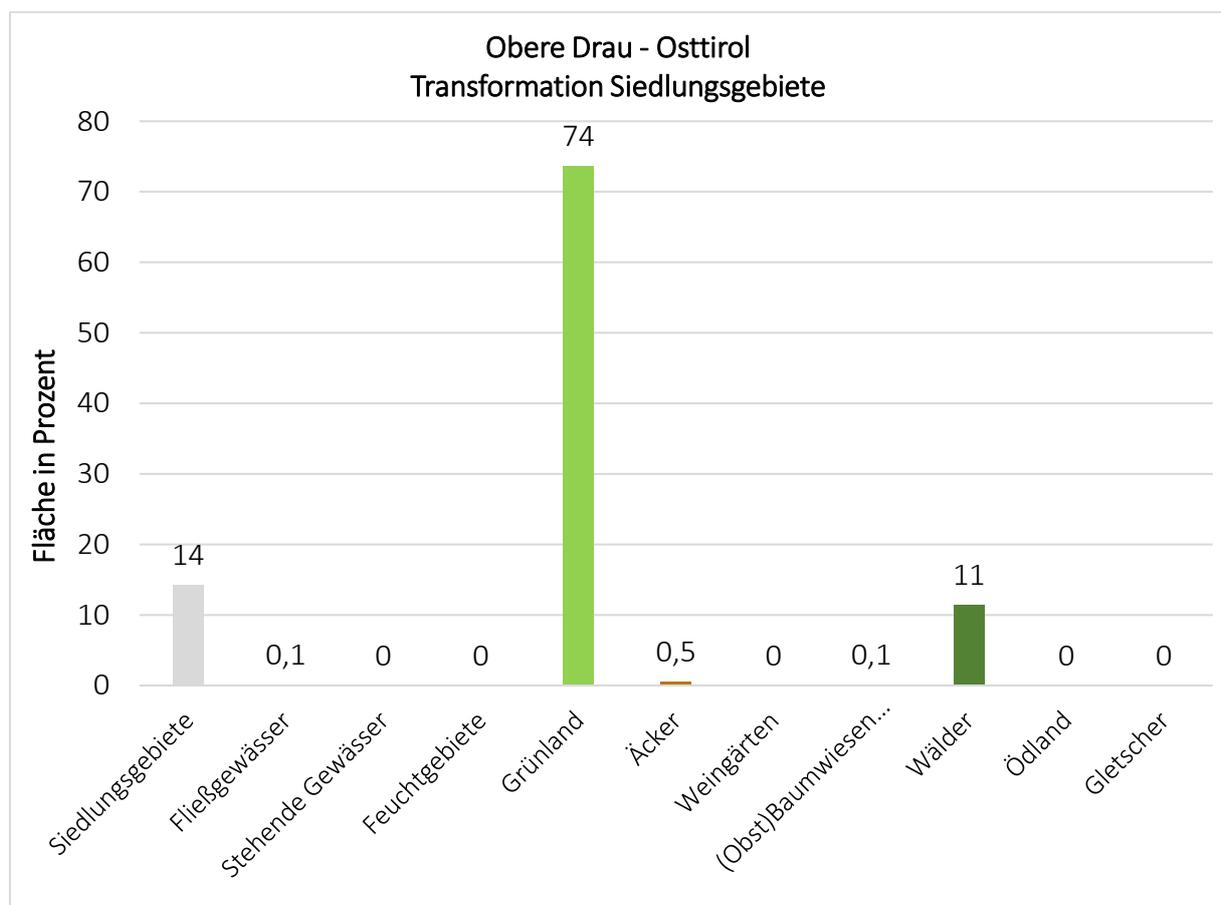


Abbildung 45: Transformation der Siedlungsgebiete zwischen 1859 und 2016

Wie oben bereits erwähnt, war die Fließgewässerlandschaft in Osttirol zahlreichen Regulierungsmaßnahmen unterworfen, welches sich einschneidend auf die Landbedeckung auswirkte. Wie in Abbildung 46 zu sehen ist, sind heutzutage nur noch 36% der einstigen Fließgewässerflächen vorhanden. Zu 28% bestehen ehemalige Fließgewässerflächen heute aus Grünland beziehungsweise zu 27% aus Wald. Aber auch der Siedlungen machen nun rund 5% dieser Bereiche aus. Weiters finden sich nun in 2,2% der ehemaligen Fließgewässerflächen Ödland sowie 1,8% Äcker. Es ist jedoch nicht ersichtlich, ob seit 1859 neue Fließgewässer in Bereichen anderer Landbedeckungstypen entstanden sind. Neu hinzugekommene Gewässer sind in den anderen Transformationsdiagrammen ersichtlich.

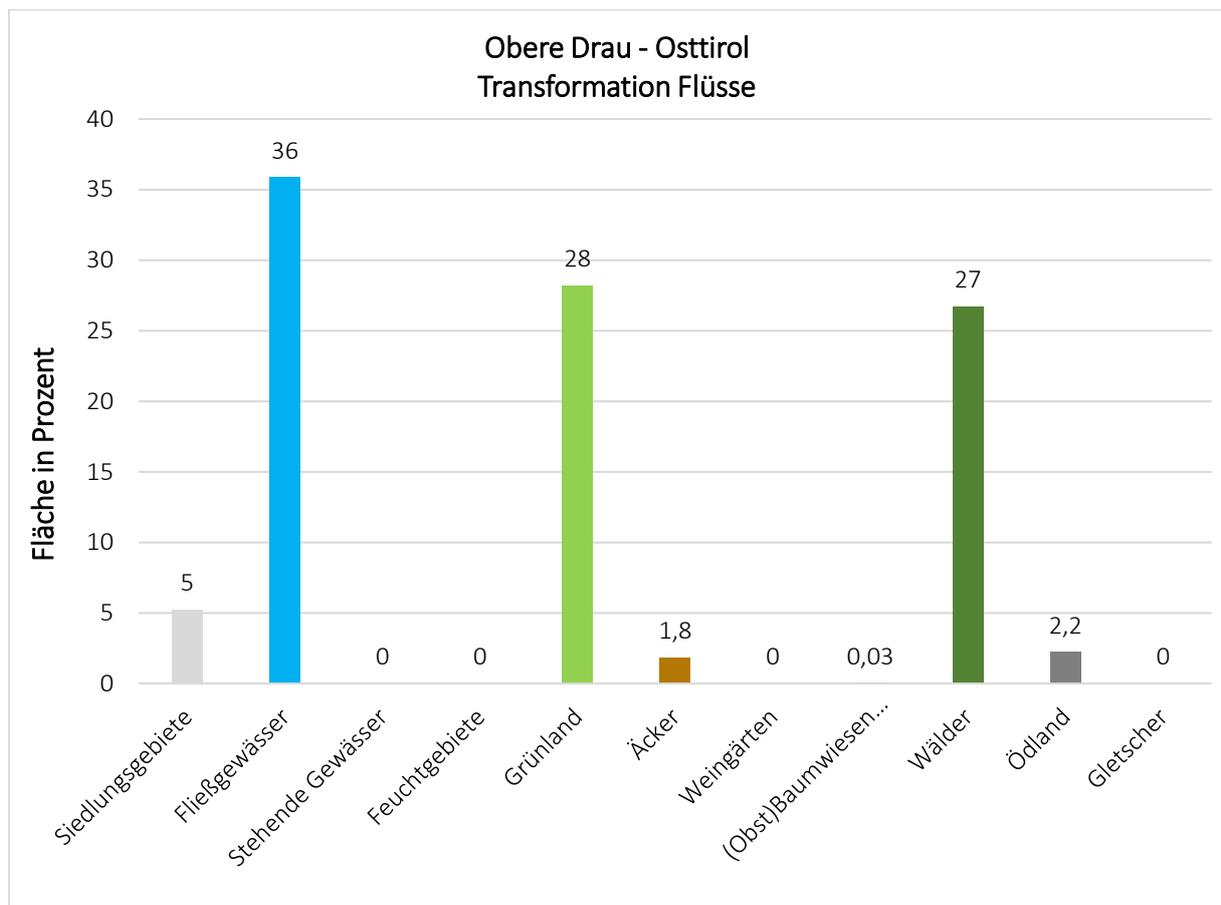


Abbildung 46: Transformation der Fließgewässer zwischen 1859 und 2016

Bei den stehenden Gewässern verhält es sich ähnlich den Fließgewässern. Hier gelten, laut Abbildung 47, nur noch 39% der ehemaligen Fläche als stehende Gewässer. Über die Zeit hinweg haben sich Seen und Teiche zu 36% in Grünland, zu 18% in Ödland und zu 7% in Wälder umgewandelt. Siedlungsgebiete sind lediglich mit 0,09% auf der Fläche zu finden.

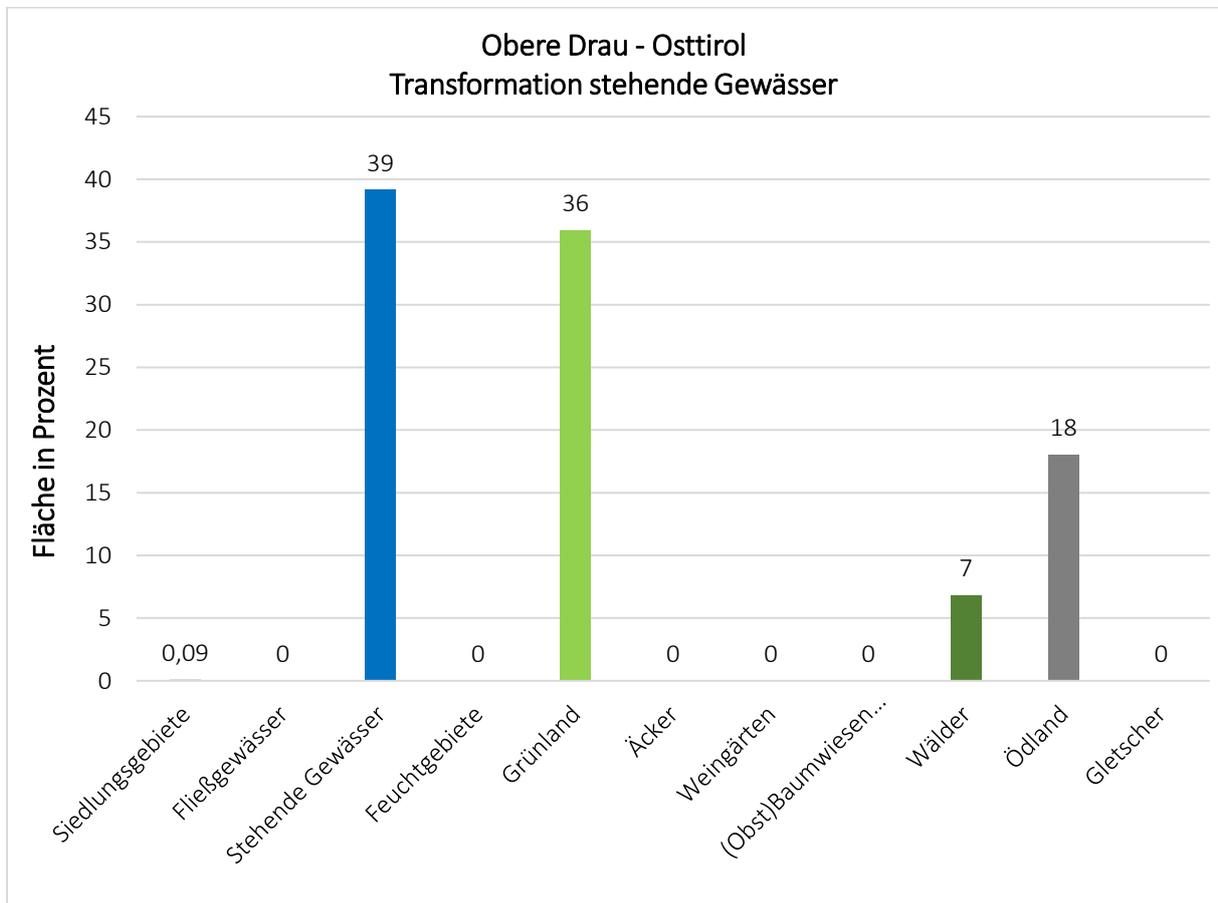


Abbildung 47: Transformation der stehenden Gewässer zwischen 1859 und 2016

In Abbildung 48 wird die Transformation des historische Feuchtgebietes abgebildet. Gleich erkennbar ist, dass Feuchtgebiete im Laufe der Zeit vollends verschwunden sind. Jenes Gelände hat sich zu 54% in Grünland, zu 28% in Ackerland, zu 14% in Siedlungsgebiete und zu 3,9% in Fließgewässer umgewandelt. Letzteres ist vermutlich Flussregulierungen geschuldet.

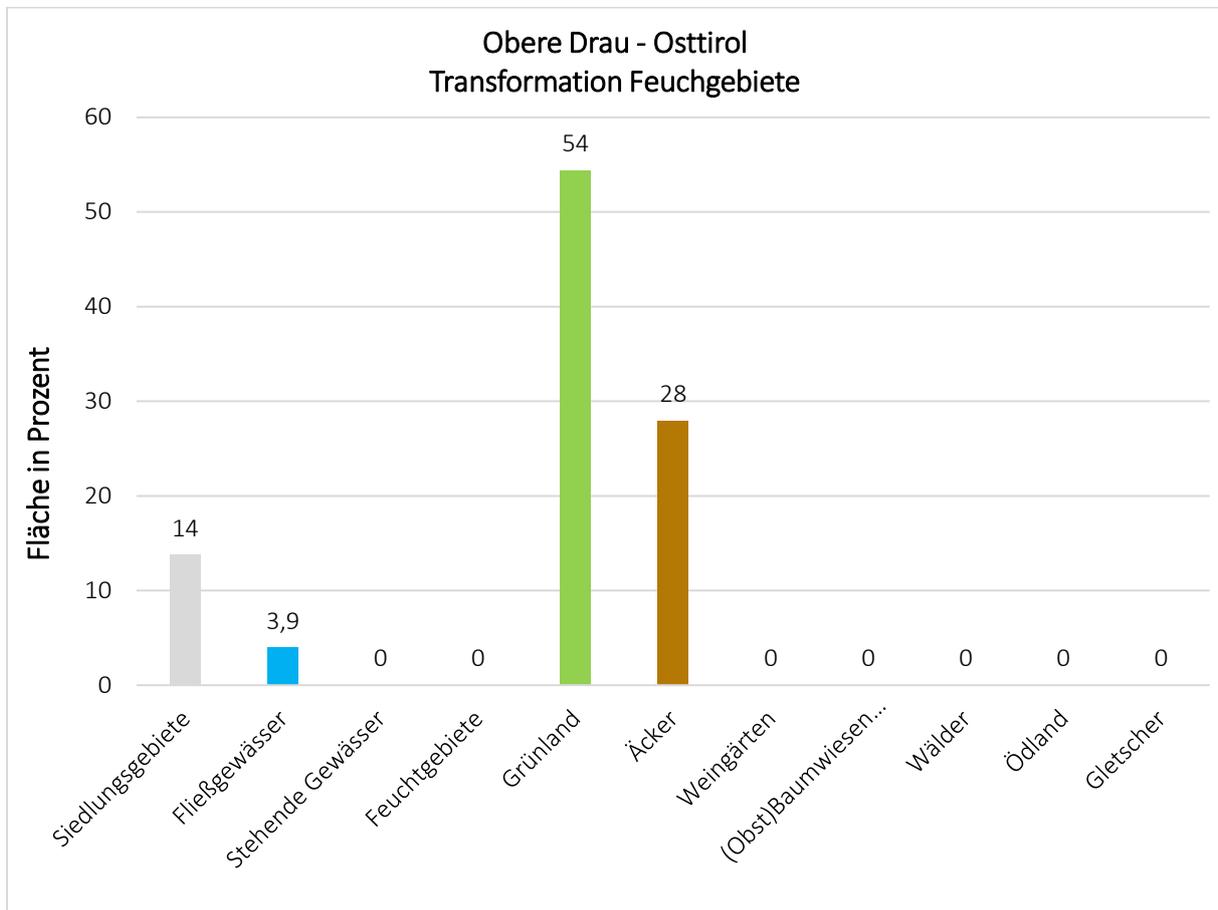


Abbildung 48: Transformation der Feuchtgebiete zwischen 1859 und 2016

Wie in Abbildung 49 sichtbar besteht ursprüngliches Grünland heutzutage immer noch zu 77% aus Grünland. Jedoch sind nun 21% davon mit Wald bedeckt. Alle anderen Landbedeckungsklassen sind hier nur von untergeordneter Rolle. Lediglich Siedlungsgebiete sind hervorzuheben, die nun 0,6% des ehemaligen Grünlands einnehmen.

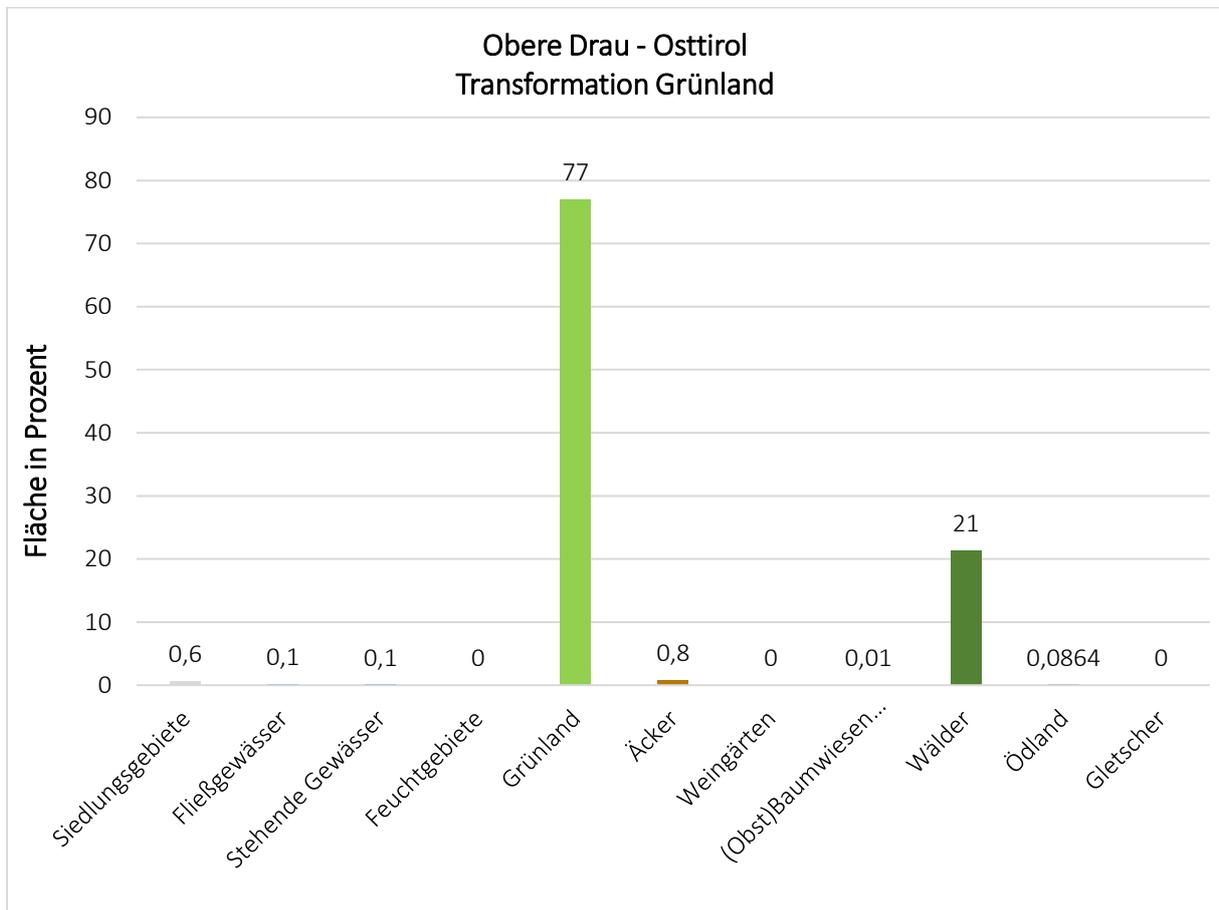


Abbildung 49: Transformation des Grünlandes zwischen 1859 und 2016

Hinsichtlich der Transformation des Ackerlandes gibt Abbildung 50 genauer Auskunft. Dabei besteht die gesamte historische Ackerfläche nun nur noch zu 8% aus Äckern. Ein großer Anteil wird nun von Grünland mit einem Wert von 77% gebildet. Wälder machen nun 10% der einstigen Ackerflächen aus, Siedlungsgebiete 4,5% und Fließgewässer 0,1%.

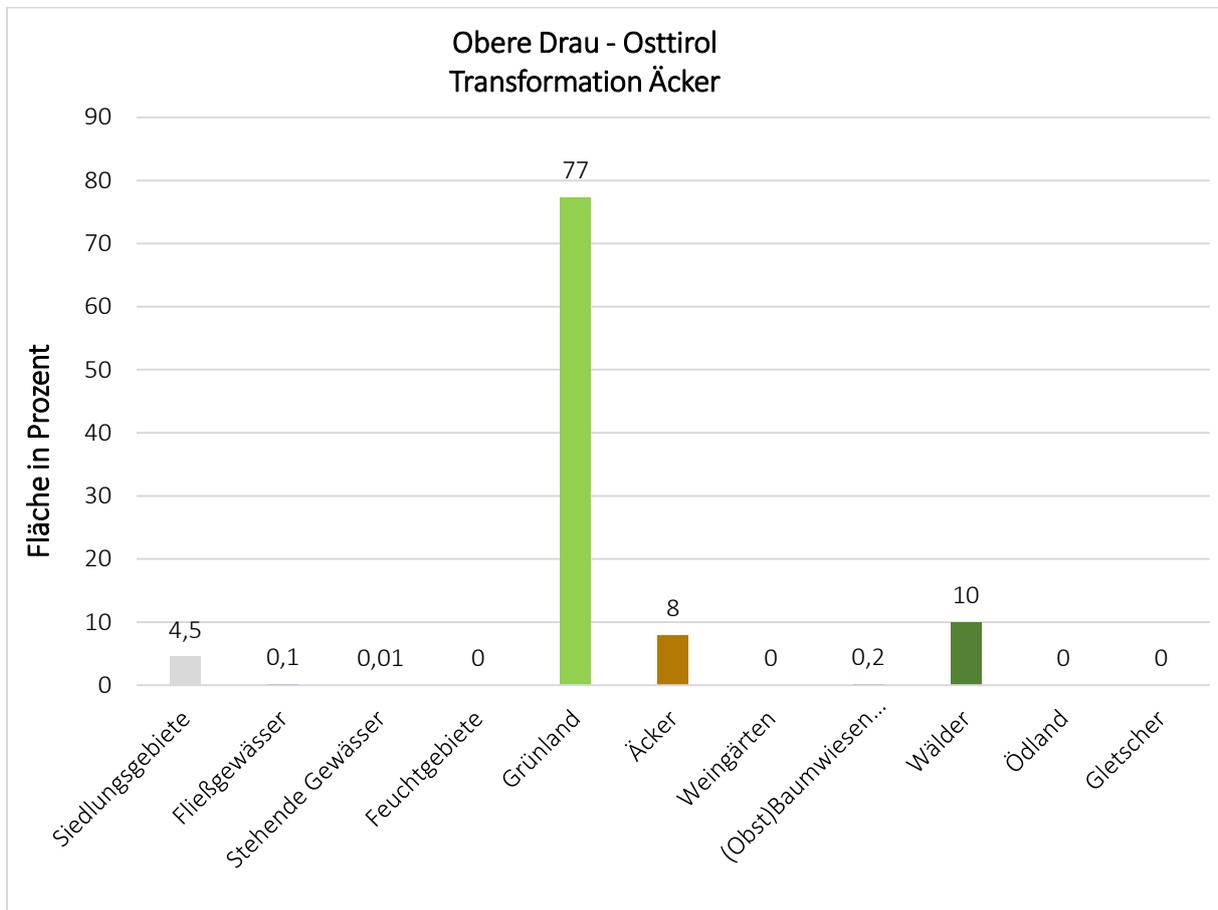


Abbildung 50: Transformation der Äcker zwischen 1859 und 2016

Bei den (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen hat sich laut Abbildung 51 ein starker Wandel eingestellt. In den vergangenen 157 Jahren ist auf jener Fläche, wo Baumwiesen oder Obstanlagen zu finden waren, kaum mehr welche zu finden. Nun befindet sich in jenem Gebiet mit 57% Wald und mit 42% Grünland sowie mit einem geringen Anteil von 0,5% Siedlungsflächen. Wie bereits in Kapitel 3.3.2 erwähnt, sind aber der historische und der aktuelle Datensatz bei dieser Kategorie der Landbedeckung nicht direkt vergleichbar. So werden aktuell Krummholzzonen Wäldern zugerechnet, während sie 1859 als Baumwiesen klassifiziert wurden. Daher dürften die dargestellten Werte zu einem großen Teil methodischen Problemen geschuldet sein. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch auch eine Intensivierung bzw. Extensivierung der Landnutzung, wodurch einstmalige (Obst-)Baumwiesen entweder zu reinem Grünland umgewandelt oder aufgelassen und zu Wald verwandelt wurden.

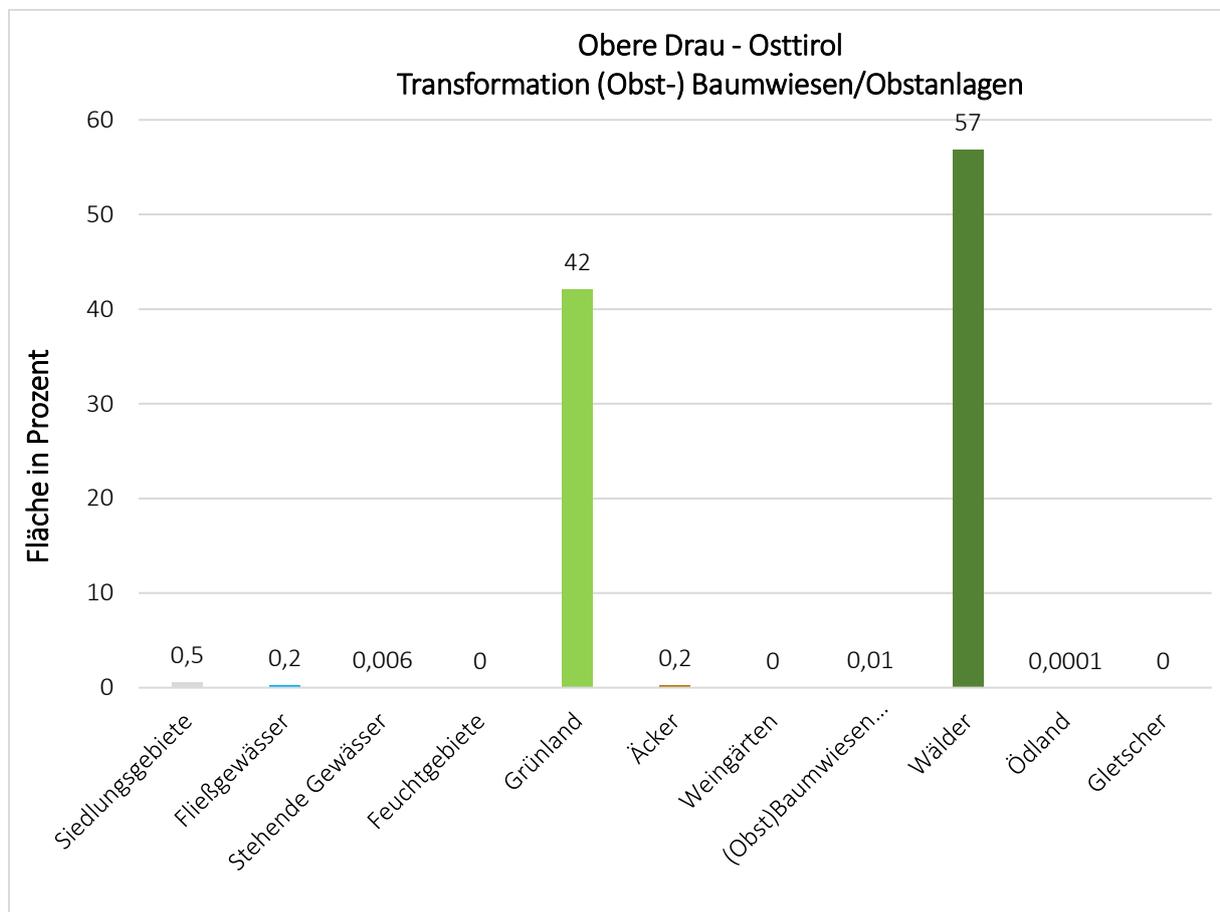


Abbildung 51: Transformation der (Obst)Baumwiesen/Obstanlagen zwischen 1859 und 2016

Bei Wäldern gab es weniger überraschend nur eine kleine Änderung der Landbedeckung. Abbildung 52 spiegelt einen stetigen Zuwachs an Wäldern über die Jahrzehnte wider. Heute nehmen Wälder nun noch 90% der Fläche ein, auf der es historisch gesehen 1859 bereits Wald gab. Nunmehr befinden sich auf einstigen Waldflächen zu 9% Grünland, zu 0,4% Siedlungsgebiete, zu 0,4% Äcker und zu 0,3% Fließgewässer.

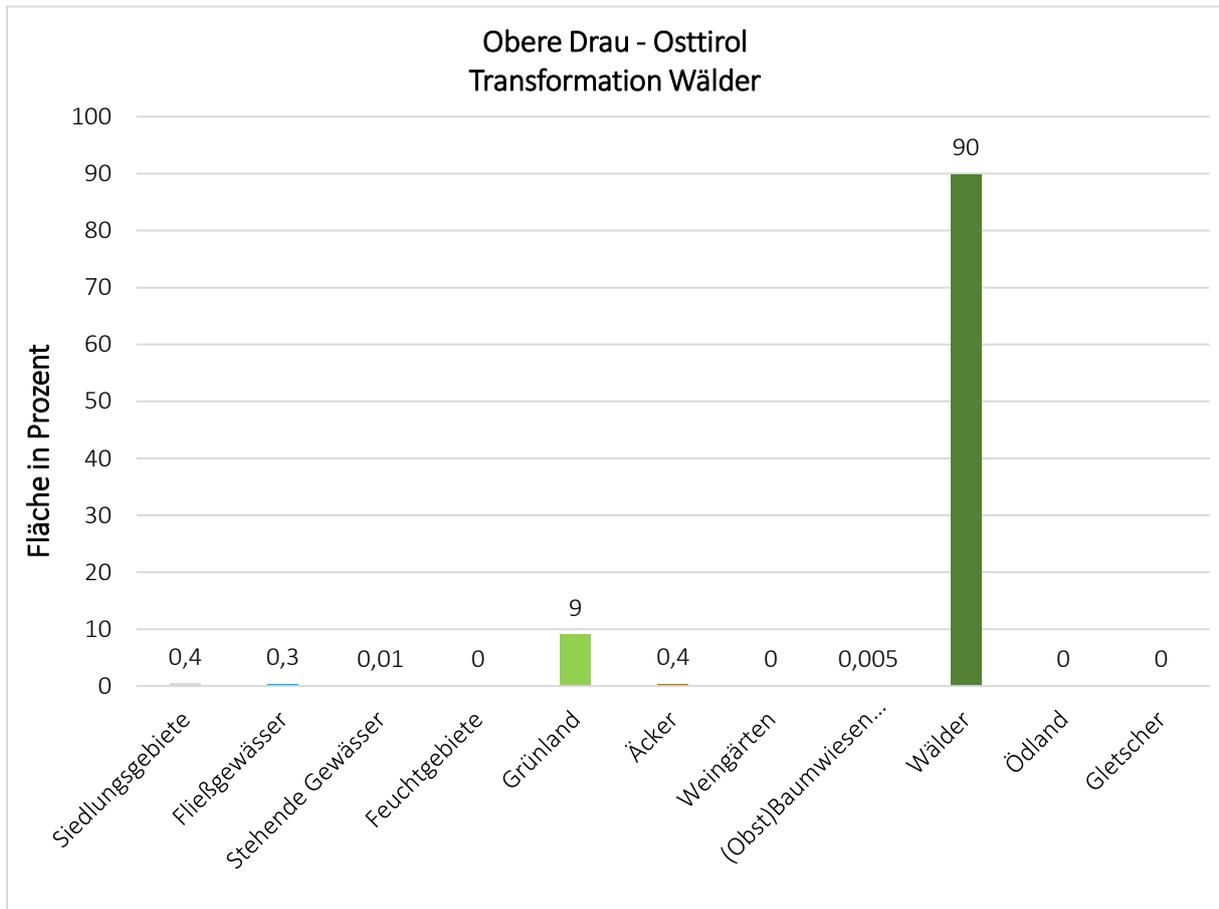


Abbildung 52: Transformation der Wälder zwischen 1859 und 2016

Laut Abbildung 53 gab es auch bei Ödland keine allzu große Veränderung in den letzten 157 Jahren. Auch heute findet man auf jener Fläche von 1859 zu 87% noch Ödland vor. Geändert hat es sich dahingehend, dass nun 10% des Gebietes Grünland sind sowie 3,5% Wälder und 0,1% stehende Gewässer.

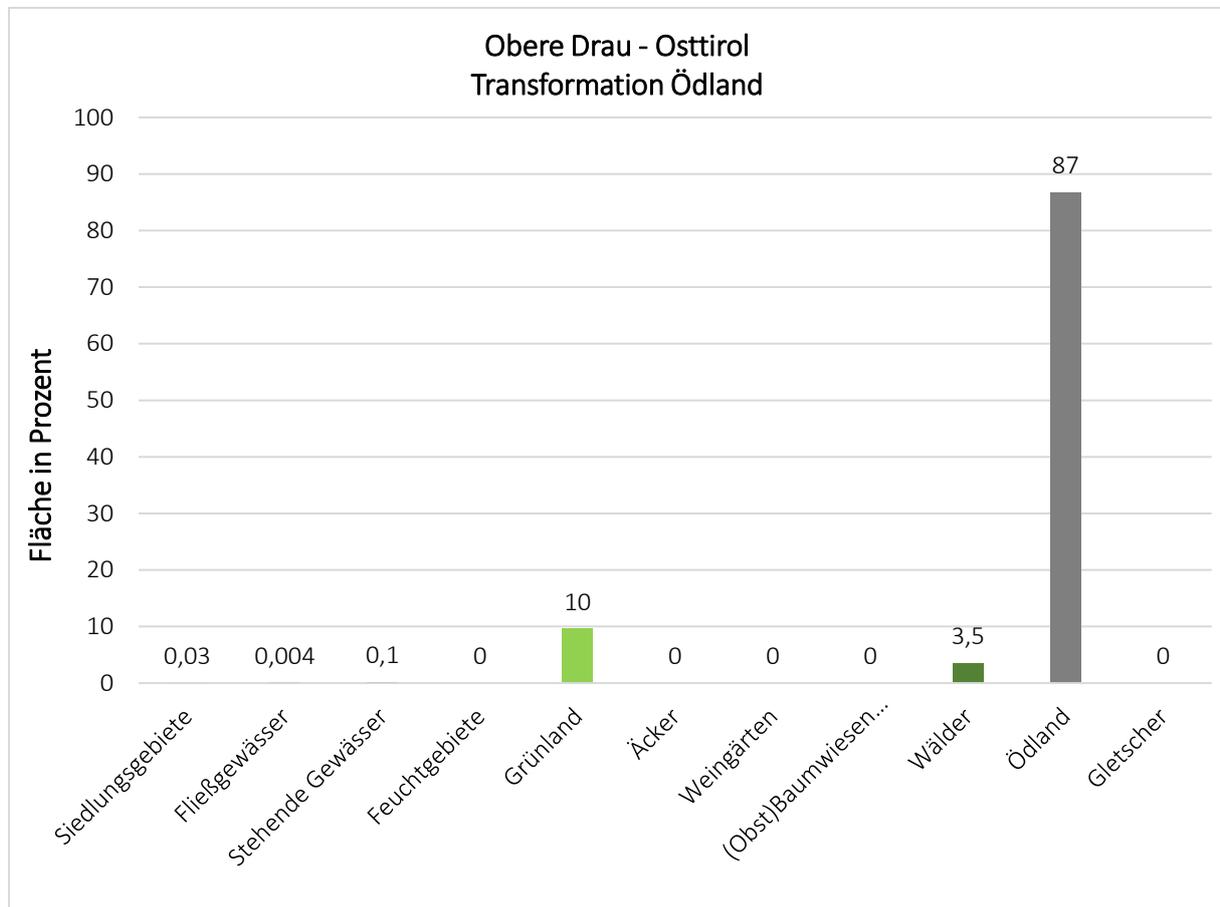


Abbildung 53: Transformation des Ödlandes zwischen 1859 und 2016

Abbildung 54 veranschaulicht, dass sich die Gletscherfläche stark zurückgezogen hat. Derzeit findet man nur noch 30% der einstigen Gletscherfläche. Hauptsächlich wurden Gletscher von Ödland abgelöst. Zudem findet man nun in jenem Bereich auch Grünland zu 6% und Wald zu 0,6% vor.

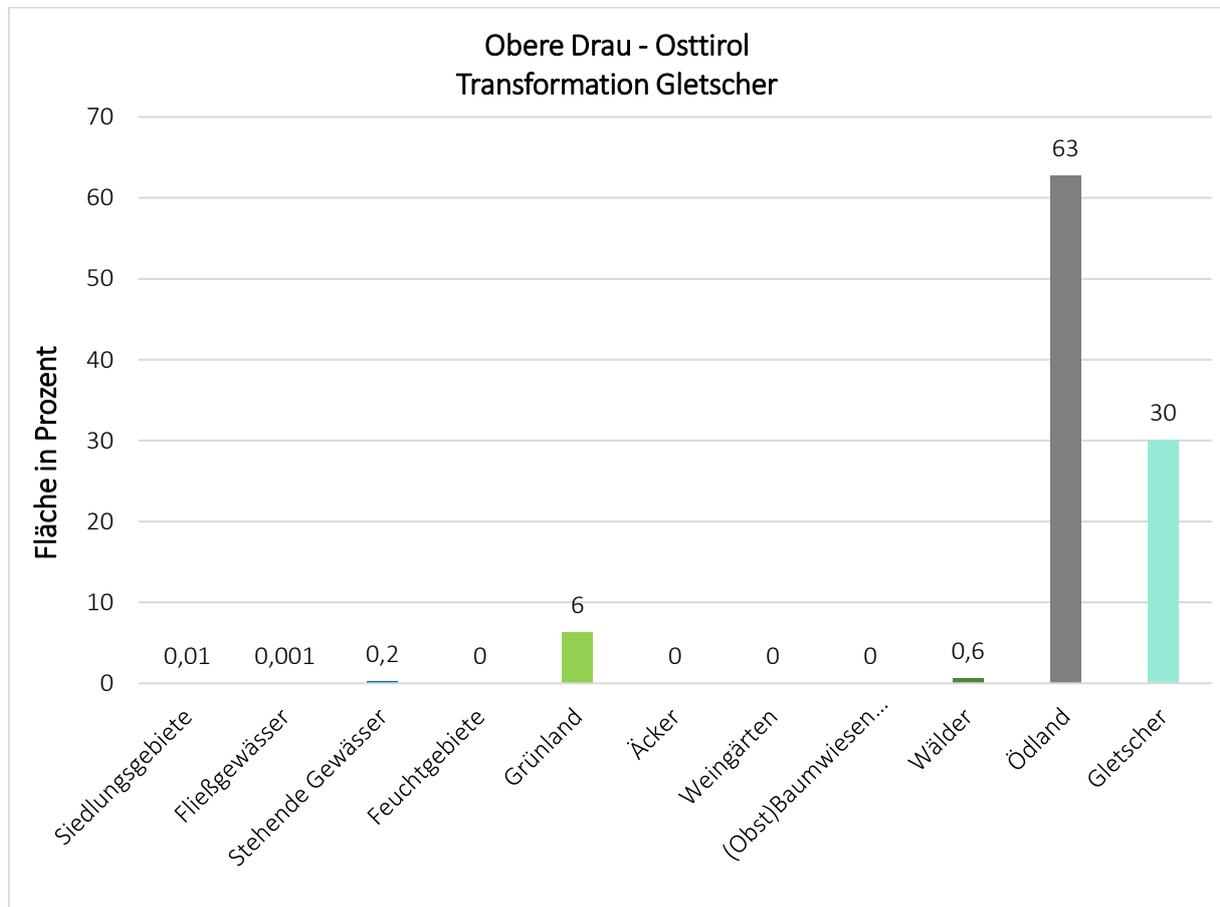


Abbildung 54: Transformation der Gletscher zwischen 1859 und 2016

5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die in Kapitel 1.2 genannten Forschungsfragen und postulierten Hypothesen diskutiert. Forschungsfragen 1 und 2 werden auf Basis der Ergebnisse in Kapitel 4 unter Zuhilfenahme von wissenschaftlicher Literatur beantwortet. Forschungsfrage 3 wird zwar basierend auf den Ergebnissen dieser Masterarbeit diskutiert, es können jedoch nur Rückschlüsse gezogen werden, ob die in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Beobachtungen und postulierten Hypothesen auch auf das Einzugsgebiet der Drau in Osttirol zutreffen.

5.1. DISKUSSION FORSCHUNGSFRAGE 1

Welche Veränderungen hinsichtlich der Landbedeckung bzw. Landnutzungen sind im gesamten untersuchten Einzugsgebiet zwischen 1859 und 2016 erkennbar?

ZUNAHME DER SIEDLUNGSGEBIETE UND INFRASTRUKTUR

Die Literaturrecherche ergibt, dass in Österreich während des 19. Und 20. Jahrhunderts ein stetiges Wachstum der Gesamtbevölkerung festzustellen ist. In Tirol ist dabei sogar mehr als eine Verdreifachung der Bevölkerung zwischen 1869 und 2020 zu verzeichnen (Tazi-Preve et al., 1999; Krausmann et al., 2003; Statistik Austria, 2020). Dabei ist anzunehmen, dass mit dem Zuwachs der Bevölkerung in gesamtes Staatsgebiet und insbesondere im Bundesland Tirol, simultan auch ein Zuwachs an Siedlungen und Infrastruktur in Osttirol notwendig wurde.

Vergleicht man die Flächenbilanzen Osttirols im Jahr 1859 laut Abbildung 31 mit der Flächenbilanz von 2016 laut Abbildung 34 ist sogleich erkennbar, dass tatsächlich eine Verdreifachung des Siedlungsgebietes inklusive der notwendigen Infrastruktur vorliegt.

In Anbetracht der österreichischen Topografie mit den vielen Steillagen und Gebirgen stehen lediglich an die 37% der Gesamtfläche als potenzieller Dauersiedlungsraum zur Verfügung (Lexer & Linser, 2005). In Tirol sind es nur knappe 12% die dauerhaft besiedelt werden können. Somit ist es das Alpenland mit dem kleinsten möglichen Lebensraum. Der stark ansteigende Tourismus Ende des 19. Jahrhunderts brachte zudem einen wirtschaftlichen Aufschwung und einen fortschreitenden Ausbau an Infrastruktur und Beherbergungsbetrieben (Köfler, s.a.). Bei Tappeiner et al. (2006) ist nachzulesen, dass im gesamten Alpenraum eine Siedlungsausdehnung zu vermerken ist.

Die gestellte Annahme stimmt somit vollends mit der einschlägigen Literatur und den Ergebnissen dieses Forschungsprojektes überein. Daher kann die Hypothese, dass zwischen den beiden Stichjahren eine Zunahme des Siedlungsgebietes und der damit verbundenen Infrastruktur stattgefunden hat, angenommen werden.

ZUNAHME DER WÄLDER

Die Nutzung des Waldes hat seit vielen Jahrhunderten eine große Bedeutung in Osttirol. Das Holz war in vergangenen Jahrhunderten vor allem wertvoll als Baustoff, als Heizmittel, aber auch für den Bergbau. In Osttirol gab es wie im gesamten Tirol große Bergbautätigkeiten. Es wurden dementsprechend große Mengen an Holz für den Abbau von Erzen und Industriemineralien benötigt, aber auch zur Verarbeitung zu Holzkohle und die Gewinnung von Reinmetallen (Mutschlechner, s.a.; Exel, 1986). Zwischen dem 18. und 19. Jahrhundert waren bereits große Flächen abgeholzt, weswegen es notwendig wurde mittels neuer Gesetze und einem verbesserten Waldmanagement die Nutzung des Holzes zu regeln (Hasenauer et al., 1999; Krausmann, 2001; Höher, 2019).

In der hier vorliegenden Arbeit konnte ermittelt werden, dass die Gesamtwaldfläche vom Jahr 1859 bis zum Jahr 2016 eine große Zunahme zu verzeichnen hatte. Es handelt sich, wie man sehr gut in Abbildung 36 und Abbildung 37 sehen kann, um eine Steigerung von zirka einem Viertel der ursprünglichen Fläche.

Zurückzuführen ist dies vermutlich durch eine, wie oben genannt, verbesserte Rechtslage, sowie ein fortschrittlicheres Management der Waldflächen. Aber auch die Nutzung anderer Baustoffe führte dazu, dass in ganz Österreich und in Tirol weniger Holz von Nöten war. Dadurch konnte sich die Waldflächen großteils erholen und weiterhin einen stetigen Zuwachs verzeichnen ist (Ross, 1997; Krausmann et al., 2003; BFW, 2016).

Ein wichtiger Punkt ist auch die Tatsache, dass durch den fortschreitenden Wandel einer Agrargesellschaft hin zu einer industrialisierten Gesellschaft ungünstige landwirtschaftlich genutzte Standorte vermehrt aufgelassen wurden und eine Extensivierung jener Flächen stattfand. Bereits an steileren Hangflächen im Talbereich kann dies festgestellt werden. Vor allem in den höheren Lagen wie Almwiesen und Weiden konnte sich dadurch das Waldgebiet ausweiten (Tappeiner et al., 2006; Kuemmerle et al., 2010).

Hinzu kommt, dass einige Berg- und Waldflächen Tirols unter Schutz gestellt wurden. Beispielsweise wurden Gebiete Osttirols als Nationalpark oder auf EU-Ebene als Natura 2000 Gebiet klassifiziert. Dabei gilt es die Flora und Fauna eine bestimmte Fläche als Schutzgebiet ausweisen und zu schützen. In Osttirol macht dies im Bereich des Nationalparks Hohe Tauern einen Anteil von 611 km² aus, was knapp ein Drittel der Gesamtfläche Osttirols bedeutet (Kupper & Wöbse, 2013).

Die Ergebnisse der Masterarbeit spiegeln die Informationen aus der Literaturrecherche wider. Damit kann die Hypothese, dass es zu einer Zunahme der Waldfläche zwischen 1859 und 2016 kam, bestätigt werden.

VERRINGERUNG VON GRÜNLAND, ACKERFLÄCHEN UND OBSTBAUMWIESEN

Der weitläufige Alpenbereich ist historisch gesehen Bauernland. Bis in die späten 1960er-Jahre hinein war auch Osttirol stark bäuerlich geprägt. Der wirtschaftliche und berufliche Wandel machte jedoch auch nicht vor diesem Alpenland halt. Die Agrargesellschaft in Tirol vermindert sich bereits seit Anfang des 19. Jahrhundert schrittweise durch den zunehmenden Tourismus und ist seitdem einem tiefgreifenden Wandel unterworfen (Köfler, s.a.; Bätzing, 2003; Statistik Austria, 2020).

Wie auch in Tappeiner et al. (2018) zu lesen ist, findet seit über hundert Jahren ein Prozess statt, der von der traditionellen Landwirtschaft hin zu einer Intensivierung und generellen Industrialisierung führt. Grünland in Form von Wiesen und Weiden, Ackerflächen und Obstbaumwiesen waren um 1900 noch vorherrschend. Der demographische Wandel führte jedoch zur Aufgabe von Grünland und Ackerflächen, hin zu einer vermehrten Nutzung der Flächen für Freizeitaktivitäten und als Siedlungsraum sowie für industrielle Zwecke (Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003; Baumgartner, 2017). Weniger wirtschaftliche und dezentralere Anbau- und Nutzflächen mussten jenen weichen, die eine höhere Produktivität durch Intensivkulturen erlaubten. Nicht genutztes Grünland und Ackerflächen wurden unter anderem sich selbst überlassen (Bätzing, 2003; Tappeiner et al. 2006).

Die Auswertung der Daten zwischen 1859 und 2016 ergeben dabei ein zweideutiges Bild. Aus Abbildung 35 und Abbildung 36 lässt sich erkennen, dass es im gesamten Untersuchungsgebiet eine starke Abnahme der Ackerflächen gibt sowie eine starke Abnahme der Obstbaumwiesen, jedoch ein leichter Anstieg des Grünlandes zu verzeichnen ist.

Dies lässt sich darauf zurückführen, dass in vielen Regionen Mitte des 20. Jahrhunderts eine Änderung der Nutzungsform zu vermerken ist. Besonders die Ackerflächen haben stark abgenommen. Die Flächen wurden zu Grünland umfunktioniert, da die Milchwirtschaft vermehrt an Bedeutung gewann. Dies lässt sich auch anhand der vorliegenden Daten bestätigen. Laut der Transformationsstudie lässt sich in Abbildung 50 erkennen, dass sich das Ackerland fast vollends zu Grünland gewandelt hat (Tappeiner et al., 2006).

Bezüglich der (Obst-)Baumwiesen sei jedoch noch einmal darauf hingewiesen, dass im aktuellen Datensatz keine Baumwiesen wie im historischen Datensatz enthalten sind. Lediglich Obstanlagen laut dem INVEKOS-Datensatz stehen zur Verfügung. Daher ist die effektive Darstellung hier leider verzerrt. Genauere Information hierzu findet sich in Kapitel 3.3.2 unter „(Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen“. Es ist allerdings bei genauerer Betrachtung der Daten ein Trend der Intensivierung beziehungsweise Extensivierung landwirtschaftlicher Flächen festzustellen. So wurden teilweise bestockte Wiesen entweder in reines Grünland oder in Wald umgewandelt (Tappeiner et al., 2006; Kuemmerle et al., 2010).

Durch den fortschreitenden Rückgang der Gletscherflächen und der Zunahme der Jahresmitteltemperatur im Alpenraum in den letzten 150 Jahren um 1,4°C haben sich ehemaliges Ödland und Gletscher in alpine Wiesen gewandelt (Pichler, 2010). Sichtbar wird dies auch an der Transformation der Landbedeckungen in Abbildung 53 und Abbildung 54.

Die Hypothese, dass es eine Verringerung des Grünlandes, der Äcker und der Obstbaumwiesen gäbe, lässt sich nur teilweise annehmen. Insbesondere der genannten Verzerrung der Daten hinsichtlich der Obstbaumwiesen. Dennoch kann grundsätzlich die Hypothese bezüglich der Äcker und Obstbaumwiesen angenommen werden. Bezüglich des Grünlandes muss die Hypothese jedoch verworfen werden.

VERRINGERUNG DER GLETSCHER UND SCHNEEFELDER

Die Gletscher und Schneeflächen im Alpenraum stehen bereits seit langem unter Beobachtung. Beispielsweise untersucht der Österreichische Alpenverein (ÖAV) seit bereits über 128 Jahren die heimischen Gletscherflächen und hat somit eine der längsten und am besten dokumentierten Messreihen weltweit (Alpenverein, s.a.; Koch & Erschbamer, 2013; Fischer, 2015).

Um 1850, dem Beginn der Industrialisierung, konnte im gesamten Alpenraum ein neuzeitlicher Gletscherhöchststand gemessen werden. In Österreich waren dabei um 1890, 1920 und in den 1970er-Jahren nochmals Gletschervorstöße zu beobachten. Bezogen auf das Jahr 1850 ist zu vermerken, dass sich die Gletscherfläche in Österreich bis zum heutigen Tag mehr als halbiert hat. Die wenigen Vorstöße konnten dabei keine Trendwende einläuten (ZAMG, s.a.; Fischer et al., 2015; Lieb & Kellerer-Pirklbauer, 2019).

Zwischen 1850 und 1975 verloren die Gletscher im Alpenraum im Schnitt um etwa einen Drittel an Fläche und fast die Hälfte ihres Gesamtvolumens. Zwischen 1975 und 2010 verloren sie ein weiteres Viertel ihrer Masse. Generell hat sich das Tempo seit den 1990er-Jahren erhöht und ein Ende dieses Trends scheint nicht in Sicht. Im Jahr 2017 war ein Rückgang der österreichischen Gletscher zu vermerken, wie es in 60 Jahren nicht der Fall war (Präg, 2014; Lieb & Kellerer-Pirklbauer, 2018; BMDW, 2020b). Speziell auch in Osttirol ist dieser Trend eindeutig messbar. Sämtliche Gletscher sind davon betroffen. Detaillierte und verfeinerte Messungen der letzten Jahrzehnte zeigen wie stark der Rückgang auf den Gletschern Tirols aussieht (Koch & Erschbamer, 2013).

Anzunehmen ist, dass der stetige und starke Rückgang der Gletscher und Schneefelder zu einem großen Teil mit dem Klimawandel zusammenhängt. Die Durchschnittstemperatur auf der Erde steigt kontinuierlich. Dabei erhöht sich die Temperatur jedoch überdurchschnittlich in den Bergen (BMDW, 2020b; Pröbstl-Haider, 2021). Die letzten 150 Jahre ist die Jahresmitteltemperatur im Alpenraum bereits um 1,4° C gestiegen (Pichler, 2010). Auch Rückkopplungsprozesse werden dabei in Gang gesetzt. Wenn die oberflächennahe Temperatur durch das Abschmelzen steigt, kann dadurch auch der Permafrost auftauen, der als eine Art Klebstoff der Berge gilt. Hangrutschungen, Muren und Felsstürze können sich häufen (Dang, 2019).

Nicht zu unterschätzen ist auch die Tatsache, dass das Abschmelzen der Gletscher einen empfindlichen Eingriff in die Wasserversorgung darstellt. Gletscher sind wichtige Trinkwasserspeicher der alpinen Regionen. Auch ist die Landwirtschaft in Tirol großteils auf die saisonale Versorgung mit Gletscherwasser angewiesen (Strattmann, 2006; BMDW, 2020b).

Der Vergleich der Flächenbilanzen zeigt ein Bild, das mit der Literatur übereinstimmt. Wie in Abbildung 35 und Abbildung 36 zu sehen ist, hat sich in Osttirol die Gletscherfläche stark verringert. Zwischen 1859 und 2015 ist nur noch zirka ein Drittel der ursprünglichen Fläche vorhanden. Damit stimmen die errechneten Daten mit der postulierten Hypothese überein.

ZUNAHME DES ÖDLANDES

Die Gletscher in den Alpen passen sich schrittweise an das sich verändernde, wärmere Klima an. Der Rückzug der Gletscher in den Alpen wird sichtbar, da immer mehr Schutt dort zu finden ist, wo vor Jahren und Jahrzehnten noch Eis und Schnee vorzufinden waren. Nahe der Gipfelbereiche werden vermehrt Hangschutt und Moränen freigelegt. Zudem kommen Permafrostböden zum Vorschein und es lassen sich immer mehr Felsstürze beobachten (Krainer, 2007; Fischer, 2012; Schaffer, 2018). Das Material der Felsstürze und Seitenmoränen landet dabei oft auf verbleibenden Gletscheroberflächen und bedeckt somit mit einer gräulichen Schicht das Eis. Dies erschwert es vor allem für digitale Auswertungen die effektive Gletscherfläche genau abzuschätzen. Durch den meist Dezimeter dicken Schutt verlangsamt sich jedoch interessanterweise die Abschmelzung, da die Sonnenstrahlen nicht bis zum Eis vordringen und das Felsmaterial die Sonnenenergie aufnehmen kann (Fischer, 2012; Schaffer, 2018).

Anhand Abbildung 35 und Abbildung 36 kann festgestellt werden, dass Ödland leicht zugenommen hat. Wie vermutet, hängt dieser Zuwachs an Ödland direkt mit dem Gletscherschwund zusammen, der anhand der Transformation in Abbildung 54 gut zu erkennen ist. Die Hypothese ist somit bestätigt und kann angenommen werden.

VERRINGERUNG DER FEUCHTGEBIETE WIE AUWÄLDER, MOORE UND SÜMPFE

In den letzten 200 Jahren hat die intensive menschliche Nutzung der alpinen Landschaft zugenommen und Feuchtgebiete verschwinden zunehmend (Koch et al., 2014; Haidvogel et al., 2018).

Dieser Verlauf ist auch anhand der Aulandschaften in Osttirol zu sehen. Vor 140 Jahren prägten noch Aulandschaften das Bild im Lienzer Becken, im Isel- und Drautal (Mihelčič, s.a.). Menschliche Eingriffe haben jedoch besonders ab 1870 dieses System empfindlich gestört und zerstört. Regulierungsmaßnahmen und die Begradigung der Drau zur Landgewinnung und Verbesserung des Hochwasserschutzes für bestehende Siedlungen trugen zum Verlust von Feuchtgebieten bei. Durch die Regulierung wurde dabei nicht nur die Drau gebändigt, sondern auch das Ziel erreicht, den Grundwasserspiegel zu senken, um die Auen vom Fluss zu entkoppeln und trocken zu legen. Außerdem konnte man dadurch den Bau einer Bahnlinie vorantreiben, wodurch in der Summe schrittweise die Auenlandschaften und Feuchtgebiete verschwanden (Lebensministerium, 2011; Haidvogel et al., 2018). Auch konnten neue Flächen für den Siedlungsbau und zur Ansiedlung von Industriebetrieben gewonnen werden (Köfler, s.a.; Drescher, 2016).

Dies ist auch anhand der Auswertung der Masterarbeit gut zu sehen, da Feuchtgebiete 2016 nicht mehr aufgefunden werden konnten (siehe Abbildung 35 und Abbildung 36). Grundsätzlich

sind zwar noch Moorlandschaften in Osttirol zu finden, jene sind jedoch aus klimatischen und geomorphologischen Gründen nur selten und kleinflächig (Lederbogen, 2003). Dementsprechend ist die Verringerung der Feuchtgebiete offenkundig und die Hypothese kann angenommen werden.

5.2. Diskussion FORSCHUNGSFRAGE 2

Wie unterscheidet sich die Veränderung der Landbedeckung in den bei 300-jährlichen Hochwassern (HQ₃₀₀) überfluteten Talräumen von jener im gesamten Einzugsgebiet?

ZUNAHME DER SIEDLUNGSGEBIETE UND INFRASTRUKTUR IM TALBEREICH

Die Entwicklung des Siedlungsraumes im gesamten Einzugsgebiet der Drau in Osttirol wurde bereits in Kapitel 5.1 genauer erläutert. Dementsprechend wird in diesem Kapitel näher auf die bei extremen Hochwässern potenziell überfluteten Talbereiche eingegangen.

Der Siedlungsraum im Talbereich in Osttirol ist wertvoll und wurde auch gerne so weit als möglich genutzt (Krausmann, 2001). Dies war dringend notwendig, da insbesondere in den Tälern im 19. Jahrhundert der wirtschaftliche Aufschwung sich bemerkbar machte und für den Eisenbahnbau, sowie den Siedlungsausbau und die Infrastruktur freie Flächen benötigt wurden (Köfler, s.a.). Zeitgleich fand neben der Urbanisierung auch eine Industrialisierung statt, was zunehmend Baufläche für Ansiedlung von (Industrie-)Betriebe forderte (Land Tirol, s.a.; Tazi-Preve et al., 1999; Krausmann et al., 2003).

Durch Regulierungsmaßnahmen wurden vor allem die Hauptflüsse in ein enges Korsett gezwängt. Zudem wurden die natürlichen Überflutungsflächen wie Auen aufgegeben und zu Siedlungsraum umgewandelt. Diese Änderung ermöglichte zwar mehr Siedlungsflächen in den Tälern, jedoch verschärfte sich dadurch auch die Hochwasserproblematik. Die Talbewohner/-innen fühlten sich dank der zahlreichen Hochwasserschutzmaßnahmen sicher. Es wurde jedoch nicht bedacht, wie wichtig die Retentionsräume sind, um ein effektives Hochwassermanagement durchzuführen und damit das effektive Schadensausmaß von vornherein zu verringern (Tazi-Preve et al., 1999; Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003).

Auch bei Haidvogel et al. (2018) ist nachzulesen, dass im Talbereich bei St. Pölten eine große Zunahme der Siedlungstätigkeit im Verlauf der letzten 150 Jahre zu vermerken war. Auwälder wurden entlang der Traisen stillgelegt und für Wohngebäude und zur Dauerbesiedelung genutzt. Der regulierte technische Hochwasserschutz wurde ausgebaut, um Überschwemmungen zu verhindern. Dafür musste der natürliche Überflutungsschutz in Form von Überflutungsflächen weichen.

Die, wie oben beschrieben, durchgeführten Regulierungsmaßnahmen der Fließgewässersysteme insbesondere im Talbereich, sowie die stetige Verkleinerung des landwirtschaftlichen Sektors begünstigten die Bildung neuer Siedlungsräume.

Somit ist es verständlich, dass ein Anstieg der bewohnten Areale und Infrastruktur zu verzeichnen ist (Krausmann, 2001; Krausmann et al., 2003; Baumgartner, 2017).

Betrachtet man die prozentuale Siedlungsfläche des gesamten Einzugsgebietes laut Abbildung 36 mit jener der HQ₃₀₀-Zone laut Abbildung 41 und Abbildung 44, fällt auf, dass es für den historischen, wie aktuellen Zeitpunkt einen starken Anstieg der Siedlungsgebiete gab. Im gesamten Landesteil hat sich das Siedlungsgebiet verdreifacht. Anhand der Transformationsanalyse des gesamten Untersuchungsgebietes laut Kapitel 4.6 lässt sich auch sehr gut erkennen, dass in jenen Bereichen, wo sich früher vermehrt Fließgewässer, Feuchtgebiete und Äcker befunden haben, sich heute teilweise Siedlungsgebiet befindet. Im Vergleich zum gesamten Einzugsgebiet haben sich die Siedlungsgebiete im HQ₃₀₀-Gebiet sogar verfünffacht.

Da sich die Literatur mit den Forschungsdaten deckt, beziehungsweise die Veränderung im HQ₃₀₀-Gebiet sogar jene des gesamten Tiroler Raums übersteigt, kann die Hypothese angenommen werden.

VERRINGERUNG DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN IM TALBEREICH

Die weitläufigen Auenlandschaften, besonders entlang der Drau, wurden durch die Regulierungsmaßnahmen im 19. Jahrhundert zerstört. Dies brachte nicht nur mehr Raum für Siedlungszwecke, sondern auch für landwirtschaftliche Flächen. Diese mussten durch die fortschreitende Urbanisierung und den zunehmenden Tourismus vor allem im Laufe der letzten Jahrzehnte schrittweise wieder weichen. Es wurde vermehrt Bauland benötigt. Dennoch war das Ackerland von hoher Bedeutung, um sicherzustellen, dass die Bevölkerung ernährt werden konnte (Krausmann et al., 2003; Lebensministerium, 2011; Baumgartner, 2017).

Wie in Kapitel 5.1 bereits nachzulesen ist, wurde Mitte des 20. Jahrhunderts der Wechsel von Ackerbau hin zu Grünland und Milchwirtschaft vorangetrieben. Dies ist gut sichtbar anhand der Transformation der Ackerflächen in Abbildung 50. Der Großteil des einstigen Ackerlandes ist heute zu einem großen Teil in Form von Grünland vorzufinden (Tappeiner et al., 2006; Kuemmerle et al., 2010).

Hinsichtlich der (Obst-)Baumwiesen wird bereits in Kapitel 3.3.2 erklärt, dass der große Rückgang mit der aktuellen Datenlage zusammenhängt, welche hier ein verzerrtes Bild wiedergibt. Dennoch ist anzumerken, dass Standorte in Ungunstlagen größtenteils aufgegeben und in Weidefläche, sowie Wald umgewandelt, was anhand der Transformation in Abbildung 49 und Abbildung 51 verdeutlicht wird. Dafür wurden vorteilhafte Standorte intensiver genutzt. Auch hat sich die Siedlungsfläche im Laufe der Zeit durch die Urbanisierung immer mehr verdichtet und damit entfallen bei immer mehr Grundstücken die angehängten Feldwiesen mit den verschiedensten Obstbäumen (Tappeiner et al., 2006; Kuemmerle et al., 2010).

Um einen Vergleich zwischen den beiden Stichjahren im gesamten Einzugsgebiet, sowie im HQ₃₀₀-Gebiet zu erhalten, ist es von Vorteil die Summe der gesamten landwirtschaftlichen Flächen zu ermitteln. 1859, wie in Abbildung 36 zu sehen ist, machte die gesamte landwirtschaftliche Fläche, zu dem das Grünland, die Ackerflächen und die (Obst-)Baumwiesen gehören, rund 45% der Gesamtfläche aus. 2016 waren es jedoch nur noch 39%.

Vergleichend dazu, wie in Abbildung 41 und Abbildung 44 gezeigt wird, machte um 1859 die landwirtschaftliche Fläche 57% des HQ₃₀₀-Gebietes aus. Im Jahr 2016 waren dies sogar 58%.

Die zeigt, dass der Trend in der HQ₃₀₀-Zone gegenüber dem gesamten Einzugsgebiet anderweitig verlaufen ist. Zu erklären ist dies damit, dass Flüsse, aber vor allem Feuchtgebiete, die in Talbereichen vorzufinden sind, im Laufe der Zeit zu Ackerflächen und Grünland umgewandelt wurden (Lebensministerium, 2011; Drescher, 2016).

Aufgrund der Datenlage kann festgestellt werden, dass gegenteilig der Hypothese es keine Verringerung der landwirtschaftlichen Fläche in der HQ₃₀₀-Zone gibt, während dies für das gesamte Einzugsgebiet festzustellen ist. Dieser Befund ist umso überraschender, als sich die Siedlungsgebiete in den HQ₃₀₀-Zonen stärker als im gesamten Einzugsgebiet ausgeweitet haben.

VERRINGERUNG DES FLÄCHENMÄßIGEN ANTEILS AN FLIEßGEWÄSSERN

Die Regulierungsmaßnahmen des 19. und 20. Jahrhunderts entlang der Drau und anderer Flüsse hatten das Ziel, bestehende Siedlungen und Äcker vor Hochwasser zu schützen und vor Überschwemmungen zu bewahren, sowie dadurch neue Siedlungsflächen und Ackerflächen zu generieren. Die ursprünglichen Retentionsräume, die Teil der Flusslandschaft waren, verschwanden und der kanalartige Flussverläufe prägen nun die Landschaft. Die Siedlungsgebiete breiteten sich im Laufe der Zeit stetig aus und näherten sich an die regulierten Flussverläufe an. Dadurch verkleinerte sich der flächenmäßige Anteil der Drau drastisch (Lebensministerium, 2011; Drescher, 2016; Baumgartner, 2017).

Haidvogl et al. (2018) gibt an, dass dies auch im Bereich von St. Pölten der Fall war und die Auwälder entlang der Traisen verschwanden, der Fluss verschmälert wurde und damit seinen ursprünglichen morphologischen Charakter verloren hatte.

Sichtbar wird dies auch anhand der Transformation des Fließgewässers. Wie in Abbildung 46 ersichtlich, macht das Fließgewässer im Einzugsgebiet nur noch zirka einen Drittel der Fläche im Verhältnis zu 1859 aus. Vor allem Grünland und Waldfläche, aber auch Siedlungsgebiete befinden sich nun dort, wo einst Flüsse und Bäche vorgefunden wurden.

Vergleicht man ganz Osttirol mit der HQ₃₀₀-Fläche ergibt sich folgendes Bild. Im gesamten Einzugsgebiet der Drau hatten die Fließgewässer 1859 laut Abbildung 36 noch einen Anteil an 0,5%, welcher im Jahr 2016 nur noch 0,3% ausmachte. Vergleichend dazu hatten die Fließgewässer in der HQ₃₀₀-Zone laut Abbildung 41 und Abbildung 44 im Jahr 1859 naturgemäß mit 11% einen wesentlich größeren Anteil als im gesamten Einzugsgebiet, 2016 waren es jedoch nur noch 9%.

Da per Definition alle Fließgewässer im HQ₃₀₀-Überflutungsgebiet liegen, ergeben sich für das gesamte Einzugsgebiet und die Überflutungszonen absolut in km² betrachtet auch gleiche Flächenreduktionen. Die prozentualen Unterschiede ergeben sich nur aus den unterschiedlichen Größen der Bezugsflächen. Dazu kommt noch, dass sich die Gesamtfläche der HQ₃₀₀-Zone seit 1859 signifikant verringert hat, wodurch ein prozentualer Vergleich schwierig ist.

Es stimmt zwar die Hypothese, dass sich die Fließgewässer im HQ₃₀₀-Bereich stark verringert haben, es ist aber auf Basis der ausgewerteten Daten kein Unterschied zwischen der einzugsgebietsweiten Betrachtung und jener der Talböden feststellbar.

5.3. DISKUSSION FORSCHUNGSFRAGE 3

Welche Auswirkungen auf das Abflussverhalten der Drau und ihrer Zubringer sind aufgrund der veränderten Landbedeckung/-nutzung potenziell möglich?

BEBAUUNGEN IN VORMALIGEN ÜBERFLUTUNGSFLÄCHEN ERHÖHEN HOCHWASSERRISIKEN

In jenem Bereich, wo Drau und Isel zusammentreffen, gibt es das größte Überflutungsgebiet in Osttirol. Genau an jener Stelle befindet sich die Stadt Lienz, welche im Falle eines Hochwassers sehr stark betroffen wäre. Doch die Bewohner entlang der Bäche und Flüsse in Osttirol hatten sich in der Vergangenheit mit der dortigen Lage arrangiert. Insbesondere die Auen entlang der Drau wurden in das alltägliche Leben der Menschen integriert, welche es verstanden, bei Überschwemmungen das Schadensausmaß so weit als möglich zu verringern (Haidvogel et al., 2018).

Doch das Leben mit den Naturgewalten war nicht mehr tragbar für eine moderne industrielle Gesellschaft. Daher ging man dazu über, die Bäche und Flüsse wie in Osttirol im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert einer Regulierung zu unterwerfen (UBA, 2011; Guber & Wheeler, 2015; Drescher, 2016). Dabei stand das Ziel im Mittelpunkt, bereits bestehenden Siedlungen und das Ackerland vor Überschwemmungen zu schützen. Hierfür wurde der Hochwasserschutz ausgebaut und oder neu implementiert, um die Folgen von Überschwemmungen zu minimieren, beziehungsweise jene zur Gänze zu verhindern (Haidvogel et al., 2018).

Die Auen entlang der Drau wurden im Zuge der Regulierung vom Fluss großteils entkoppelt. Es fand dabei nicht nur ein Verlust wertvoller Ökosysteme statt, zudem wurde durch die Bebauung die Bodenversiegelung verstärkt. Überflutungsflächen waren für den Menschen immer von großer Bedeutung, und standen zwischen den Nutzen für die Landwirtschaft und zum Transport, aber auch als Baugrund und zur Gewinnung neuen fruchtbaren Ackerlandes. Die bisher vorhandene Überflutungsfläche wurden aufgegeben und anstelle dessen künstliche Hochwassermaßnahmen wie Dämme und Staustufen errichtet. (Vigliani et al. 2014; Drescher, 2016; Fuchs et al. 2017).

Da Hochwasserschutzbauten generell für 100-jährliche Ereignisse konzipiert sind, sind dahinter liegende Siedlungsgebiete bei größeren Hochwässern, wie zum Beispiel bei 300-jährlichen Hochwässern dennoch stark betroffen. Die vermeintliche Sicherheit hinter Dämmen, auch als „Dämmeffekt“ bezeichnet, führt bei extremen Hochwässern zu besonders großen Schäden (Kundzewicz & Takeuchi, 1999; Brown et al. 2009). Durch die Urbanisierung und den massiven Ausbau der Siedlungsflächen vergrößerte sich mit der Zeit das mögliche Schadenspotenzial, dass bei Hochwasser in Osttirol entstehen könnte. Dadurch muss immer mehr Geld in die Hand genommen werden, um die bereits bestehenden Hochwasserschutzdämme zu erhöhen und besser abzusichern (UBA, 2011; Drescher, 2016; Haidvogel et al., 2018).

Die in der Masterarbeit generierten Daten spiegeln das vergrößerte Schadenspotenzial in von Hochwässern gefährdeten Bereichen wider. Demnach haben sich zwischen 1859 und 2016 die Siedlungsgebiete in der HQ₃₀₀-Zone zirka verfünffacht. (siehe Abbildung 41 und Abbildung 44).

Schlussendlich verstand man mit der Zeit jedoch, dass der bestehende künstliche Hochwasserschutz keine optimale Lösung bei Überschwemmungen bot. Man richtete sich nach der Natur und versucht heutzutage vermehrt durch Flussaufweitungen wieder natürliche Retentionsräume zu schaffen. Durch ein professionelles Hochwassermanagement soll das potenzielle Schadensausmaß entlang der Hauptflüsse in Osttirol gebannt werden, um die Bewohner und Gebäude besser zu schützen (Drescher, 2016).

REGULIERUNGEN UND HOCHWASSERSCHUTZBAUTEN VERRINGERN RETENTIONS-RÄUME UND POTENZIELLE PUFFERFLÄCHEN ZUR VERSICKERUNG

Mit dem Verschwinden der Feuchtgebiete und Auwälder im 19. und 20. Jahrhundert in Osttirol verschwanden auch natürliche Überflutungsflächen im Bereich der Drau und Isel. Der Ausbau eines Hochwasserschutzes und des Eisenbahnnetzes stand dabei im Vordergrund. (Lebensministerium, 2011). Wichtig dabei ist zu beachten, dass die potenziellen Überflutungsflächen vor allem in den Bereichen entlang der Drau und Isel, und vor allem wo sich die beiden Flüsse treffen, zu finden sind.

Gut sichtbar ist in Abbildung 41 und Abbildung 44, dass sich in der HQ₃₀₀-Zone die Siedlungsflächen seit 1859 verfünffacht haben. Während der Rekonstruktion der historischen Landbedeckung konnte festgestellt werden, dass im Bereich der Siedlungsflächen um 1859 lediglich die wichtigsten Straßen und Plätze befestigt waren. Daher gab es damals eine viel geringere Bodenversiegelung im Verhältnis zur Siedlungsfläche als es heute der Fall ist. Wasser konnte somit um einiges leichter versickern als heute.

Fachlich gesehen, ist es bewiesen, dass Retentionsflächen als passive Schutzmaßnahme einen starken Hochwasserschutz per se bieten. Dadurch können Hochwasserwellen besser abgefangen und verlangsamt und zugleich der Wasserrückhalt verbessert werden (Kundzewicz, 1999; Brown et al., 2009; Di Baldassarre et al., 2015). Zudem spielt die Landwirtschaft beim Hochwasserschutz in Überschwemmungsgebieten eine wichtige Rolle. Landwirtschaftlich genutzte Flächen dienen nicht nur als reine Retentionsflächen, sondern haben auch zusätzliche Einflüsse auf Hochwasser (BMLUW, 2006). Wasser kann in unversiegelten Böden versickern wodurch dieses als eine Art hydrologischer Puffer fungiert (UBA, 2011; Xiao et al., 2013; Schanbacher, 2020).

Dabei ergibt sich ein Konflikt zwischen der vermehrten Bodenversiegelung durch Bautätigkeiten und dem Erhalt von Landschaftsräumen, die als potenzielle Retentionsräume und dementsprechend für den Hochwasserschutz dienen können. Je mehr versiegelte Fläche vorliegt, desto mehr Oberflächenabfluss ergibt sich. Dadurch erhöht sich die potenzielle Gefahr eines Hochwasserereignisses. Es gilt hier wohl einen Kompromiss zu finden der einen Hochwasserschutz gewähren und natürliche Landschaften mit ihrem eigenen Ökosystem erhalten kann. Zudem ist es aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht auch sinnvoll, mittels eines modernen Hochwassermanagements die Kosten eines hohen Schadensausmaßes abzuwehren und zugleich natürliche Überflutungsflächen wiederherzustellen (Rudolf-Micklau, 2009; Scalenghe & Ajmone Marsan, 2009; Krampfl et al., 2016).

FEHLENDE ÜBERFLUTUNGSFLÄCHEN UND REGULIERUNGEN BEGÜNSTIGEN SCHNELLERE FLIEßGESCHWINDIGKEIT IN RICHTUNG TAL

Grundsätzlich gilt, dass die Fließgeschwindigkeit bei Hochwasser ein wichtiger Faktor ist, der über das entstehende Schadensausmaß mitentscheidet. Die Fließgeschwindigkeit ist ausschlaggebend, wie stark die Kräfte des Wassers die Grundsubstanz von Gebäuden angreifen können, um jene stark in Mitleidenschaft zu ziehen oder gar mitzureißen und zu zerstören (Kundzewicz, 1999; Jonkman & Penning-Rowsell, 2008; Kreibich et al., 2009). Der Effekt zwischen Urbanisierung beziehungsweise einer Landbedeckungsänderung durch den Menschen und einer damit steigenden Geschwindigkeit der Fließgeschwindigkeit eines Hochwassers ist wissenschaftlich bekannt (Cammerer et al., 2013; Gober & Weather, 2015; Szwagrzyk et al., 2018). Natürliche, abflussverzögernde hydrologische Prozesse werden durch bauliche Maßnahmen gestört und das Wasser wird schneller in Richtung Tal zu den Hauptflüssen transportiert. Dies fördert häufigere und weitreichendere Hochwässer (Blöschl et al., 2015; Früh-Müller et al., 2015).

Zudem hat die Fließgeschwindigkeit auch eine Wirkung auf den Untergrund und kann große Sedimentmengen an Boden- und Ufermaterial abtragen und flussab weitertransportieren. Durch Überflutungsflächen kann jedoch die Geschwindigkeit von Hochwasserwellen verlangsamt werden. In Folge dessen wird die Höhe der Wasserwelle vermindert und die Abflussspitzen gedämpft. Physikalisch gesehen, wird die kinetische Energie des Wassers in potenzielle Energie und Reibungsenergie umgewandelt, welches durch letzteres die Hochwasserwelle abbremst (Löffler et al., 2003; Scalenghe & Ajmone Marsan, 2009; UBA, 2011).

In Abbildung 40 und Abbildung 44 ist erkennbar, dass sich die Fließgewässerfläche im HQ₃₀₀-Gebiet zwischen 1859 und 2016 um 3 km² verringert hat. Zieht man die Fläche der Fließgewässer vom gesamten bei HQ₃₀₀ überfluteten Bereich ab, so ergibt sich die tatsächliche Retentionsfläche. Diese erstreckte sich 1859 über eine Fläche von rund 75 km². Bis 2016 nahm diese Retentionsfläche um 19% auf 61 km² ab. Daher ist anzunehmen, dass sich die Fließgeschwindigkeit bei Hochwässern durch den verringerten Retentionsraum generell erhöht hat.

VERÄNDERUNG PUFFERFÄHIGKEIT VON NIEDERSCHLÄGEN DURCH VERMINDERUNG DER GLETSCHER

Das Hochgebirge hat eine wichtige Funktion für den Wasserhaushalt in Osttirol. Die vielen Gletscher dienen als massive Wasserspeicher, welche die kleinen und großen Bäche in den Bergen mit Wasser speisen und helfen, den saisonalen Abfluss auszugleichen. Die Eismassen werden durch die winterlichen Niederschläge aufgestockt, welche in Form von Eis und Schnee gebunden werden. Dadurch kann das gespeicherte Wasser zeitverzögert abgegeben werden und Abflussspitzen werden reduziert (Koch & Erschbamer, 2013; Käyhkö et al., 2015; Zhang et al., 2020).

Ohne die Gletscher wäre eine Versorgung des gesamten Fließgewässersystems in Osttirol nicht möglich und insbesondere während der Sommermonate würden Bäche und Flüsse deutlich weniger an Wasser führen. Dies hätte gravierende Auswirkungen auf die Landwirtschaft, sowie die Funktionalität des Laufkraftwerks an der Drau (DAV, 2015; Keller, 2019; Borunda, 2020).

Ein Verlust dieses natürlichen Puffers droht nun jedoch durch den fortschreitenden Klimawandel, welcher die Gletscher und Schneefelder schneller schmelzen lässt. Infolgedessen ist damit zu rechnen, dass sich der Basisabfluss (Nieder- bis Mittelwasserabfluss) in den wärmeren Monaten verringern wird (Grah & Beaulieu, 2013). Zudem ist davon auszugehen, dass Starkregenereignisse in ehemals vergletscherten Gebieten vermehrt fluvio-glaziale Sedimente in Richtung Tal bewegen und damit Muren und Hangrutschungen auslösen werden (DAV, 2015; Keller, 2019; Zhang et al., 2020).

Anhand der Transformationsstudie lässt sich in Abbildung 54 erkennen, dass lediglich ein Drittel des vormaligen Gletschervorkommen in jenem Gebiet noch vorhanden ist. Unbewachsenes Ödland macht nun zwei Drittel aus, ein kleiner Teil Grünland. Die Daten der vorliegenden Masterarbeit zeigen, dass sich der durch Gletscher gebildete Wasserpuffer seit 1859 massiv reduziert hat. Dadurch ist auch von einem veränderten Abflussregime in den Fließgewässern Osttirols auszugehen.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Vergleich der Landbedeckung beziehungsweise Landnutzung im Einzugsgebiet der Drau in Osttirol in den Jahren 1859 und 2016 vorgenommen.

Hierfür wurden in Kapitel 1.2 drei Forschungsfragen und mehrere Hypothesen formuliert.

In Hinblick auf die einzugsgebietsweite Betrachtung (Forschungsfrage 1) konnte eine Zunahme der Siedlungs- und Infrastrukturflächen von 0,2 auf 0,6% bezogen auf das gesamte Untersuchungsgebiet festgestellt werden, sowie eine starke Zunahme an Waldfläche von 28 auf 37%. Zudem gab es im Laufe der Zeit eine leichte Zunahme an Ödland von 18 auf 21%. Zu beobachten ist aufgrund der Datenlage jedoch das komplette Verschwinden größerer Feuchtgebiete und eine Abnahme an Fließgewässern von 0,5 auf 0,3% des gesamten Einzugsgebietes, sowie der landwirtschaftlich genutzten Flächen (Grünland, Äcker und (Obst-)Baumwiesen) von insgesamt 45 auf rund 39%. Auch ist eine sehr große Verringerung von Gletschern zu verzeichnen. Hier findet sich eine Abnahme zwischen 152 km² im Jahr 1859 hin zu 46 km² im Jahr 2016. Lediglich gleichbleibend finden sich stehende Gewässer mit je 2 km².

Die zweite Forschungsfrage fokussiert auf die Veränderung der Landbedeckung in den bei 300-jährlichen Hochwassern überfluteten Talräumen. Hier zeichnet sich ein anderes Bild als zuvor ab: Siedlungsgebiete in Tallagen haben sich im Vergleich zum gesamten Einzugsgebiet zwischen 1859 und 2016 wesentlich stärker ausgebreitet. Im gesamten Einzugsgebiet hat sich die Siedlungsfläche verdreifacht, im Überflutungsgebiet jedoch mehr als verfünffacht. Während sich die landwirtschaftlich genutzten Flächen im gesamten Gebiet um rund 14% verminderten, gingen Fließgewässer sogar um 33% zurück. In den HQ₃₀₀-Zonen fand jedoch bei den landwirtschaftlich genutzten Flächen ein Anstieg um rund 2% statt, bei Fließgewässern jedoch eine Verminderung von 18%. Auffallend ist zudem, dass größere Feuchtgebiete sowohl in den HQ₃₀₀-Zonen als auch im gesamten Einzugsgebiet vollends verschwunden sind.

Die Ergebnisse der Masterarbeit ermöglichen in Zusammenschau mit wissenschaftlicher Literatur zu anderen Projektgebieten Rückschlüsse hinsichtlich der dritten Forschungsfrage. Diese zielt auf die durch die geänderte Landbedeckung potenziell zu erwartenden Veränderungen des Abflussverhaltens der Drau und der Zubringer ab. Demzufolge ist anzunehmen, dass durch die vermehrte Gletscherschmelze weniger Wasser in Form von Eis zeitlich gepuffert werden kann. Dies hat einen unmittelbaren Einfluss auf das Abflussverhalten der Fließgewässer. Regulierungsmaßnahmen und Ausweitung von Siedlungsgebieten führten zu einer signifikanten Verringerung der bei extremen Hochwässern zur Verfügung stehenden Retentionsräume von 75 km² im Jahr 1859 auf 61 km² im Jahre 2016 (Fläche der jeweiligen HQ₃₀₀-Zone abzüglich der Fließgewässerflächen). Prozentual ist dies eine Verringerung von 19%, wobei Hochwasserschutzbauten, die bei HQ₃₀₀ wirksam sind, nicht berücksichtigt sind. Zudem nahm die Bodenversiegelung durch die fortschreitende Urbanisierung zu und damit die potenziellen Versickerungsflächen ab. Daher ist davon auszugehen, dass sich das Hochwasserrisiko in den alpinen Tallagen seit 1859 generell erhöht hat.

Eine konkrete Beantwortung der Frage, inwiefern der Wandel der Landbedeckung das Hochwasserregime der Osttiroler Fließgewässer beeinflusst, kann nur mittels

Wasserbilanzmodellen oder Hochwassersimulationen vorgenommen werden. Die Ergebnisse der Masterarbeit stellen eine wesentliche Grundlage für derartige weiterführende Untersuchungen dar.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Alam, A., Sultan Bhat, M., Maheen, M. (2020). Using Landsat satellite data for assessing the land use and land cover change in Kashmir valley. *GeoJournal* 85: 1529–1543.
- Alpenverein (s.a.). Gletscherbericht: Das ewige Eis schmilzt weiter. Verfügbar in: https://www.alpenverein.at/portal/news/aktuelle_news/2019/2019_04_12_gletscherbericht.php [Abfrage am 23.11.2020].
- Alpine Space (2017). Über das Projekt SPARE. Verfügbar in: https://www.alpinespace.eu/projects/spare/downloads/170904_spare_flyer_steyr.pdf [Abfrage am 23.11.2020].
- Austria-Forum (2020). Bezirk Lienz. Verfügbar in: https://austria-forum.org/af/AustriaWiki/Bezirk_Lienz [Abfrage am 23.07.2020].
- Arnold, S., Kurstedt, R., Riecken, J., Schlegel, B. (2017). Paradigmenwechsel in der Landschaftsmodellierung – von der Tatsächlichen Nutzung hin zu Landbedeckung und Landnutzung. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. Ausgabe: 1/2017. Wießner-Verlag, Augsburg.
- basemap (s.a.). Grundkarte Basemap. Verfügbar in: [https://www.basemap.at/application/index.html#%22center%22:\[1311329.6673857956,5924019.543514075\],%22zoom%22:7.5156782020104815,%22rotation%22:0,%22layers%22:%2210000000000000%22](https://www.basemap.at/application/index.html#%22center%22:[1311329.6673857956,5924019.543514075],%22zoom%22:7.5156782020104815,%22rotation%22:0,%22layers%22:%2210000000000000%22) [Abfrage am 26.07.2020].
- basemap (2016). Über das Projekt. Verfügbar in: <https://www.basemap.at/> [Abfrage am 26.07.2020].
- Banko, G. (2011). LISA Land Informationssystem Austria aus Nutzersicht. Verfügbar in: <https://docplayer.org/38920529-Lisa-land-informationssystem-austria-aus-nutzersicht.html> [Abfrage am 26.07.2020].
- Baumgartner, A. (2017). Regionalprogramm betreffend landwirtschaftliche Vorsorgeflächen für die Gemeinden des Planungsverbandes Lienz und Umgebung. Verfügbar in: https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/landesentwicklung/raumordnung/ueberoertl_ro/freiraum_TUP_Kundmachung/171127LWVF_PVLienzuU_Umweltbericht.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Bätzing, W. (2003). *Die Alpen. Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft*. Ch Beck München.
- Beimrohr, W. (2006). *Die Kulturen-Skelett-Karte Tirol-Vorarlberg (um 1861)*. Tiroler Landesarchiv. Verfügbar in: <https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/kunst-kultur/landesarchiv/downloads/Kulturen-Skelett-Karte.PDF> [Abfrage am 23.07.2020].
- Bennett, J. (2010). *OpenStreetMap*. Packt Publishing Ltd. Olton.

- BEV – Bundesamt für Eich- und Vermesswesen (2019). BEV – KATASTER. Verfügbar in: https://antrag.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0550_SUPPORT/0500_DOWNLOADS/PRODUKTFOLDER/BEV-Kataster_Broschuere.pdf [Abfrage am 23.07.2020].
- Blöschl, G., Gaál, L., Hal, J., Kiss, A., Komma, J., Nester, T., Parajka, J., Perdigao, R., Plavcova, L., Rogger, M., Salinas, J., Voglione, A. (2015). Increasing river floods: fiction or reality? WIREs Water 2015, 2: 329–344. DOI 10.1002/wat2.1079.
- BMDW – Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2020a). Basemap.at Verwaltungskarte Raster Österreich. Verfügbar in: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/2c54f4d6-5712-4e5a-a025-b7f7a396c39b> [Abfrage am 23.07.2020].
- BMDW - Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2020b). Der Klimawandel und seine Folgen. Verfügbar in: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/Seite.1000200.html [Abfrage am 26.11.2020].
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006). Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung RIWA-T gemäß § 3 abs. 2 WBFVG, Fassung 2006.
- BMLRT – Bundesministerium Landwirtschaft, Region und Tourismus (s.a.a). Fluss des Monats. Verfügbar in: <https://www.wasseraktiv.at/fluss-des-monats/745,die-drau.html> [Abfrage am 26.07.2020].
- BMLRT – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (s.a.b). Gefahrenzonenausweisung der Bundeswasserbauverwaltung. Bedeutung der Gefahrenzonen.
- BMLRT – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2011). die.wildbach - Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung.
- BMLRT - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014): Hochwasserrisikozonierung Austria – HORA. Verfügbar in: https://www.hora.gv.at/assets/eHORA/pdf/HORA_Hochwasser>Weiterfuehrende-Informationen_v4.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- BMLRT – Bundesministerium Landwirtschaft, Region und Tourismus (2020). GIS-Anwendungen des BMLRT. Verfügbar in: <https://www.bmlrt.gv.at/service/geo-informationen.html> [Abfrage am 26.07.2020].
- Brown, P. H., Tullos, D., Tilt, B., Magee, D., Wolf, A. T. (2009). Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. Journal of Environmental Management. Volume 90, Supplement 3: 303-311. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.025>.

- Borunda, A. (2020). Weltweit schmelzen die Gletscher – und damit auch unsere Trinkwasserreserven. Verfügbar in:
<https://www.nationalgeographic.de/umwelt/2020/06/weltweit-schmelzen-die-gletscher-und-damit-auch-unsere-trinkwasserreserven> [Abfrage am 26.11.2020].
- Buckel, J., Otto, J.C., Prasicek, G., Keuschnig, M. (2018). Glacial lakes in Austria - Distribution and formation since the Little Ice Age. Verfügbar in:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0921818117304198?token=D95771F8635FF12ADCF7908F0782CD5D13335591E7854758246B6DCB0D7D670796E0B0266AD1CDAF7D3B29B97446D4D6> [Abfrage am 26.07.2020].
- BWF – Bundesforschungszentrum für Wald (2016). Österreichs Wald. Verfügbar in:
https://bfw.ac.at/cms_stamm/050/PDF/Oesterreichs_Wald_2016_final_14062016.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- CadasterENV (2017). Final Report (TD-9) – Public Version. I 1.0. 20/12/2017. Contract No.: 4000114323/15/I-SBo-1.
- Cammerer, H., Thieken, A. H., Verburg, P. H. (2013). Spatio-temporal dynamics in the flood exposure due to land use changes in the Alpine Lech Valley in Tyrol (Austria). *Natural Hazards* 68: 1243–1270. DOI 10.1007/s11069-012-0280-8.
- Cipra (2016). SPARE – Alpenflüsse als Lebensadern der Gesellschaft. Verfügbar in:
<https://www.cipra.org/de/cipra/international/projekte/abgeschlossen/spare> [Abfrage am 26.11.2020].
- DAV – Deutscher Alpenverein (2015). Wasser-Schloss Alpen. DAV Panorama - Magazin des Deutschen Alpenvereins 67. Jahrgang, Nr. 4, August/September 2015.
- Dang (2019). Interaktive Karte zeigt den Rückgang der Gletscher. Verfügbar in:
<https://www.derstandard.at/story/2000108752716/interaktive-karte-zeigt-den-rueckgang-der-gletscher> [Abfrage am 26.11.2020].
- Drescher, A. (2016). Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark (2016). Band 145: 75–110. Verfügbar in:
https://www.zobodat.at/pdf/MittNatVerSt_145_0075-0110.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Yan, K., Brandimarte, L., Blöschl, G. (2015). Debates—Perspectives on socio-hydrology: Capturing feed backs between physical and social processes. *Water Resources Research*, 51: 4770–4781. DOI 10.1002/2014WR016416.
- EG-HWRL (2007). Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union. L288/27. 06.11.2007.

- Seher, W., Herrnegger, M., Nordbeck, R., Niedermayr, J., Grüneis, H., Wesemann, J., Löschner, L., Hohensinner, S., Wagner, K. (2019). Flood risk management in mountain regions: a policy coordination perspective.
- Ernst, J., Mansberger, R., Muggenhuber, G., Navratil, G., Ouzlberger, S., Twaroch, C. (2019). Der Grenzkataster in Österreich: Eine Erfolgsgeschichte? *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*. Ausgabe: 5/2019. Wießner-Verlag, Augsburg.
- Erschbamer, B., Mallaun, M., Unterluggauer, P. (2006). Plant diversity along altitudinal gradients in the Southern and Central Alps of South Tyrol and Trentino (Italy). *Gredleriana*. 6: 47–68.
- Exel, R. (1986). Erläuterung der Lagerstättenkarte von Osttirol. *Archiv für Lagerstättenforschung der geologischen Bundesanstalt Wien*. Band 7, August 1986: 19–31.
- Fischer, A. (2012). Gletscherbericht. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahre 2012. *Bergauf* 02/2012, Jahrgang. 67 (137): 30–36.
- Fischer, A. (2015). Gletscherbericht 2014/2015. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahre 2015. *Letzter Bericht: Bergauf* 02/2015, Jahrgang. 70 (140): 26–33.
- Fischer, A., Seiser, B., Stocker Waldhuber, M., Mitterer, C., Abermann, J. (2015). Tracing glacier changes in Austria from the Little Ice Age to the present using a lidar-based high-resolution glacier inventory in Austria. DOI 10.5194/tc-9-753-2015. Verfügbar in: <https://pdfs.semanticscholar.org/16a7/4d4cf9a8838f9c558ec6b1a5ec1dc5b49876.pdf?ga=2.208214610.1317124870.1606834550-1681039911.1605800176> [Abfrage am 23.07.2020].
- Früh-Müller, A., Wegmann, M., Koellner, T. (2014). Flood exposure and settlement expansion since pre-industrial times in 1850 until 2011 in north Bavaria, Germany. *Regional Environment Change* (2015) 15: 183–193. DOI 10.1007/s10113-014-0633-9.
- Fuchs, F., Karagiorgos, K., Kitikidou, K., Maris, F., Paparrizos, S., Thaler, T. (2017). Flood risk perception and adaptation capacity: a contribution to the socio-hydrology debate. *Hydrology and Earth System Sciences*. Volume 21: 3183–3198. <https://doi.org/10.5194/hess-21-3183-2017>.
- Fuhrmann, S. (2007). Digitale Historische Geobasisdaten im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) Die Urmappe des Franziszeischen Kataster. *Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation* 1/2007: 24–35. Verfügbar in: https://portal.bev.gv.at/pls/portal/docs/PAGE/BEV_PORTAL_CONTENT_ALLGEMEIN/0200_PRODUKTE/PDF/URMAPPE-FRANZISZEISCHERKATASTER_VGI_2007_1.PDF [Abfrage am 23.07.2020].

- Gesellschaft für ökologische Forschung e.V. (s.a.). Klimawandel. Verfügbar in:
<http://www.gletscherarchiv.de/klimawandel/> [Abfrage am 23.11.2020].
- GeoVille (2010). Land Information System Austria. Verfügbar in:
<http://docplayer.org/28370048-Standardisiertes-monitoring-der-landbedeckung-und-landnutzung-in-oesterreich.html> [Abfrage am 23.10.2020].
- Gober, P. & Wheeler, H. S. (2015). Debates—Perspectives on socio-hydrology: Modeling flood risk as a public policy problem. *Water Resource Research*. Volume 51, Issue 6: 4782–4788. <https://doi.org/10.1002/2015WR016945>.
- Grah, O. & Beaulieu, J. (2013). The effect of climate change on glacier ablation and baseflow support in the Nooksack River basin and implications on Pacific salmonid species protection and recovery. In: Maldonado J.K., Colombi B., Pandya R. (eds) *Climate Change and Indigenous Peoples in the United States*. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-05266-3_12.
- Grillmayr, R., Banko, G., Scholz, J., Perger, C., Steinnocher, K., Walli, A., Weichselbaum, J. (2010). Land Information System Austria (LISA): Objektorientiertes Datenmodell zur Abbildung der Landbedeckung und Landnutzung. Verfügbar in:
https://www.researchgate.net/publication/230822358_Land_Information_System_Austria_LISA_Objektorientiertes_Datenmodell_zur_Abbildung_der_Landbedeckung_und_Landnutzung/citation/download [Abfrage am 23.11.2020].
- Haidvogel, G., Eberstaller, J., Eberstaller-Fleischanderl, D., Fraiß, B., Gabriel, H., Hohensinner, S. (2018). Historische Landnutzung und Siedlungsentwicklung in Flussauen und Hochwasserschutz: Das Beispiel der Traisen und St. Pölten 1870–2000. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 70: 305–315.
<https://doi.org/10.1007/s00506-018-0473-9>.
- Hainz-Renetzeder, C., Muhar, A., Salak, B., Schauppenlehner, T., Taczanowska, K. (2016). Einführung in geographische Informationssysteme. Verfügbar in:
https://learn.boku.ac.at/pluginfile.php/401653/mod_resource/content/1/853.105_VU_GIS_Skriptum_WS16.2.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Hasenauer, H., Nemani, R. R., Schadauer, K., Running, S.W. (1999). Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria. *Forest Ecology and Management*, Volume 122. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00010-9).
- Hofer, O. (2017). INVEKOS-DATENPOOL 2017 des BMLFUW. Verfügbar in:
<https://gruenerbericht.at/cm4/jdownload/send/47-datenpoolbeschreibung/1770-invekos-datenpool-2017> [Abfrage am 26.07.2020].
- Höher, M. (2019). Die österreichische Waldinventur. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

- Jonkman, S. N. & E. (2008). Human Instability in Flood Flows. JAWRA. Volume 44, Issue 5: 1208–1218.
- Käyhkö, J., Apsite, E., Bolek, A., Filatov, N., Kondratyev, S., Korhonen, J., Kriaučiūnienė, J., Lindström, G., Nazarova, L., Pyhr, A., Sztobryn, M. (2015). Recent Change—River Run off and Ice Cover. In: The BACC II Author Team (eds) Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Regional Climate Studies. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16006-1_5.
- Keller, M. (2019). Grosses Speicherpotenzial künftig eisfreier Gletscherbecken. Verfügbar in: <https://www.wsl.ch/de/newsseiten/2019/11/gletscherbecken-als-wasserspeicher.html> [Abfrage am 26.11.2020].
- Kling, H. & Nachtnebel, H. (2009). A spatio-temporal comparison of water balance modelling in an Alpine catchment. Hydrological Processes. 23.: 997-1009. 10.1002/hyp.7207.
- Koch, E.-M. & Erschbamer, B. (2013). Klima, Wetter, Gletscher im Wandel. Alpine Forschungsstelle Obergurgl - Band 3. Innsbruck University Press.
- Koch, K., Wagner, C., Sahlén, G. (2014). Farmland versus forest: comparing changes in Odonata species composition in western and eastern Sweden. Insect Conservation and Diversity. Volume 7, Issue 1, January 2014: 22-31. <https://doi.org/10.1111/icad.12034>.
- Köfler, W. (s.a.). Geschichte Tirols. Verfügbar in: <https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/kunst-kultur/landesarchiv/downloads/geschichte-tirols.PDF> [Abfrage am 26.11.2020].
- Krainer, K. (2007). Permafrost und Naturgefahren in Österreich. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft Jahrgang 2007. Verfügbar in: https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:d676d22c-f9bf-4c8d-844c-9b37d070f181/Krainer_pdf_END.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Krampl, M., Sohm, S., N. Suntinger, N. (2016). Retentionsbereiche und Rückhalteräume im Hochwasserschutz - eine Herausforderung für die Raumplanung; in: Masterprojekt Integrales Naturgefahrenmanagement, A. Kanonier, H.P. Walchhofer (Hrg.). Department für Raumplanung, Wien.
- Krausmann, F. (2001). Land use and industrial modernization: an empirical analysis of human influence on the functioning of ecosystems in Austria 1830–1995, Land Use Policy, Volume 18, Issue 1. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(00\)00042-9](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(00)00042-9).
- Krausmann, F., Haberl, H., Schulz, N. B., Erb, K-H., Darge, E., Gaube, V. (2003). Land-use change and socio-economic metabolism in Austria—Part I: driving forces of land-use change: 1950–1995. Land Use Policy. Volume 20, Issue 1. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(02\)00048-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00048-0).

- Kreibich, H., Piroth, K., Seifert-Dähn, I., Maiwald, H., Kunert, U., Schwarz, J., Merz, B., Thieken, A. (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? *Natural Hazards Earth System Sciences.*, 9: 1679–1692.
- Kuemmerle, T., Olofsson, P., Baumann, M., Radeloff, V., Woodcock, C., Hostert, P. (2010). Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*. Volume 17, Issue 3. March 2011: 1335–1349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x>.
- Kundzewicz, Z. W. (1999). Flood protection—sustainability Issues. *Hydrological Sciences Journal*, 44:4: 559-571. DOI 10.1080/02626669909492252.
- Kundzewicz, Z. W. & Takeuchi, K. (1999). Flood protection and management: quo vadimus? *Hydrological Sciences Journal*, 44:3: 417-432. DOI 10.1080/02626669909492237.
- Kupper, P. & Wöbse, A.-K. (2013). *Geschichte des Nationalparks Hohe Tauern*. Verlagsanstalt Tyrolia Gesellschaft m.b.H. Innsbruck.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., Skånes, H., Steffen, W., Stone, G. D., Svedin, U., Veldkamp, T. A., Vogel, C., Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11: 261–269.
- Lammersen, R., Engel, H., van de Langemheen, W., Buiteveld, H. (2002). Impact of river training and retention measures on flood peaks along the Rhine. *Journal of Hydrology* 267: 115–124.
- Land Tirol (s.a.). Bevölkerung in Tirol. Verfügbar in: <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/statistik/wohnbevoelkerung/> [Abfrage am 26.11.2020].
- Lebensministerium (2011). Lebensdauer Obere Drau. Verfügbar in: https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:3c034316-e5cc-4bb3-961e-54c53d8bce4a/Drau_Laienbericht_DE_End.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Lederbogen, D. (2003). *Vegetation und Ökologie der Moore Osttirols unter besonderer Berücksichtigung von Hydrologie und Syndynamik*. Borntreger Verlag.
- Lexer, W. & Linser, S. (2005). *Nicht-nachhaltige Trends in Österreich: Qualitative Lebensraumveränderung durch Flächenverbrauch*. Umweltbundesamt Lebensministerium und Forum Nachhaltiges Österreich. Wien.

- Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2018). Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahre 2017. Letzter Bericht: Bergauf 2/2017, Jahrgang. 72 (142): 18–25.
- Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2019). Gletscherbericht 2017/2018. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahre 2018. Letzter Bericht: Bergauf 2/2018, Jahrgang. 73 (143): 20–29.
- Löffler et al. (2003). Auenschutz- und Auenentwicklungskonzept für das Saarland. Verfügbar in: https://www.bund-saar.de/fileadmin/user_upload/Themen_und_Projekte/ASEK_Auen/ASEK.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- Lourdes González-Arqueros, M., Mendoza, M. E., Bocco, G., Solís Castillo, B. (2018). Flood susceptibility in rural settlements in remote zones: The case of a mountainous basin in the Sierra-Costa region of Michoacán. Mexico, Journal of Environmental Management. Volume 223: 685-693. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.075>.
- Merz, B., Bittner, R., Grünwald, U., Piroth, K. (2011). Management von Hochwasserrisiken. Stuttgart: Verlag Schweizerbart.
- Mihelčič, F. (s.a.). Oribatiden (Oribatei) einiger Auwälder Osttirols. Verfügbar in: https://www.zobodat.at/pdf/CAR_157_77_0236-0245.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- Muhar, S., Grüner, B., Böck, K., Scheickl, S., Becsi, R. (2018). SPARE synthesis report: Balancing river protection needs, ecosystem functions and human uses. European Regional Development Fund (ERDF) – Interreg Alpine Space, 31, Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences.
- Mustafa, A., Bruwier, M., Archambeau, P., Epicum, S., Piroton, M., Dewals, B., Teller, J. (2018). Effects of spatial planning on future flood risks in urban environments. Journal of Environmental Management Volume 225: 193-204. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.090>.
- Mutschlechner, G. (s.a.). Aus der Bergbaugeschichte von Matrei in Osttirol. Das Berggericht Windisch-Matrei und seine Bergbaue. Tiroler Landesmuseum. Verfügbar in: https://www.zobodat.at/pdf/VeroeffFerd_69_0107-0136.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- ÖAV – Österreichischer Alpenverein (2019). Kraftwerk Tauernbach-Gruben: Massive Gefahr für Osttirols Naturjuwele. Verfügbar in: https://www.alpenverein.at/portal/news/aktuelle_news/2019/2019_06_26_PK-Tauernbach-Osttirol.php [Abfrage am 26.11.2020].
- ÖAW – Österreichische Akademie der Wissenschaften (2018). ESS Projekte 2018. Verfügbar in: <https://www.oeaw.ac.at/ess/ess-projekte-2018/> [Abfrage am 26.07.2020].

- Pichler, M. (2010). Holozäne Waldgrenzentwicklung im Alpenraum. Verfügbar in: https://www.researchgate.net/profile/Mario_Pichler/publication/269810486_Holozane_Waldgrenzentwicklung_im_Alpenraum/links/54972c8c0cf2ec13375d3ac8.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Präg, A. (2014). Die Folgen des Klimawandels im alpinen Gebirgsraum für den Wasserkreislauf der voralpinen Ballungsräume. Natur und Mensch - Jahresmitteilungen der naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.: 111-122. Verfügbar in: https://www.zobodat.at/pdf/Natur-und-Mensch_2014_0111-0122.pdf [Abfrage am 26.07.2020].
- Pröbstl-Haider, U., Lund-Durlacher, D., Olefs, M., Prettenthaler, F. (2021). Tourismus und Klimawandel. Springer Spektrum. DOI 10.1007/978-3-662-61522-5.
- Ramm, F. (2019). OpenStreetMap in Layered GIS Format. Verfügbar in: <https://www.geofabrik.de/data/geofabrik-osm-gis-standard-0.7.pdf> [Abfrage am 26.07.2020].
- Ross, W. (1997). Waldfläche wächst weiter - Tendenz zu mehr Laubholz. Verfügbar in: <https://bfw.ac.at/inst7/publ/oezf12-97/russ.html> [Abfrage am 26.07.2020].
- Rudolf-Miklau, F. (2009). Naturgefahrenmanagement in Österreich: Vorsorge – Bewältigung – Information. Wien: LexisNexis.
- Scalenghe, R. & Ajmone Marsan, F. (2009). The anthropogenic sealing of soils in urban areas, Landscape and Urban Planning. Volume 90, Issues 1–2: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.011>.
- Schaffer (2018). Österreichs Gletscher und der Klimawandel: Bilder eines Niedergangs. Verfügbar in: <https://kurier.at/wissen/oesterreichs-gletscher-bilder-eines-niedergangs/400318197> [Abfrage am 26.11.2020].
- Schanbacher, A. (2020). Sealing the Land: Recognizing Urban Developments in Past and Present Göttingen. RCC Perspectives, (2): 85-92. DOI 10.2307/26937567.
- Schartd, M. (2009). Skriptum zur Lehrveranstaltung Anwendungen der Fernerkundung 1. – Graz.
- Shao, J., Zhang, S. & Li, X. (2015). Farmland marginalization in the mountainous areas: Characteristics, influencing factors and policy implications. 25: 701–722. <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1197-4>.
- SPARE (s.a.). Ziele und Aktivitäten. Verfügbar in: <https://www.alpine-space.eu/projects/spare/de/about/ziele-und-aktivitaeten> [Abfrage am 26.07.2020].

- Statistik Austria (2020). ÖSTERREICH ZAHLEN. DATEN. FAKTEN. Verfügbar in:
https://www.bmeia.gv.at/fileadmin/user_upload/Zentrale/Publikationen/oesterreich.zahlen.daten.fakten.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- Steinnocher, K., Banko, G., Weichselbaum, J. (2011). Planungsrelevante Datengrundlagen für Österreich: LISA – Land Information System Austria. Verfügbar in:
https://www.corp.at/archive/CORP2011_61.pdf [Abfrage am 26.11.2020].
- Strattmann, B. (2006). Alarm für die Gletscher. Verfügbar in:
<https://www.greenpeace.de/themen/klimawandel/folgen-des-klimawandels/berge-ohne-eis-die-gletscher-schmelzen> [Abfrage am 26.11.2020].
- Szwagrzyk, M., Kaim, D., Price, B., Wypych, A., Grabska, A., Kozak, J. (2018). Impact of forecasted land use changes on flood risk in the Polish Carpathians. Natural Hazards 94: 227–240. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3384-y>.
- Tappeiner, U., Tasser, E., Leitinger, E., Tappeiner, G. (2006). Landnutzung in den Alpen: historische Entwicklung und zukünftige Szenarien. Verfügbar in:
https://www.researchgate.net/publication/258375519_Landnutzung_in_den_Alpen_historische_Entwicklung_und_zukunfftige_Szenarien [Abfrage am 26.07.2020].
- Tazi-Preve I. M., Kytir J., Lebhart G., Münz R. (1999). Bevölkerung in Österreich. Verfügbar in:
<http://www.forschungsnetzwerk.at/downloadpub/demographie.pdf> [Abfrage am 26.07.2020].
- tirol.gv – Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung Umwelt (2004). Naturschutzplan der Fließgewässerräume Tirols. Verfügbar in:
<https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/umwelt/naturschutz/downloads/nsp-fg-osttirol-190204.pdf> [Abfrage am 26.07.2020].
- rm-Osttirol (s.a.). Die Region Osttirol im Überblick. Verfügbar in:
<https://www.rm-tirol.at/regionen/osttirol/unsere-region/> [Abfrage am 23.07.2020].
- UBA – Umweltbundesamt (s.a.). LISA – Land Information System Austria. Verfügbar in:
<https://www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/boden/rp-projekte/rp-lisa> [Abfrage am 23.07.2020].
- UBA – Umweltbundesamt (2011). Hochwasser – Verstehen, Erkennen, Handeln! Verfügbar in:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/uba_hochwasser_barrierefrei_new.pdf [Abfrage am 23.07.2020].
- UBA – Umweltbundesamt (2012). Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten – Technischer Leitfaden zur Bearbeitung der Datengrundlage für Bundesentwurf und Länderbearbeitung. Report Umweltbundesamt. Wien.
- UBA – Umweltbundesamt (2019). Katalog Sentinel-2 Bodenbedeckung Österreich 2016. Verfügbar in: <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/97327f91-93b7-4dbb-94a4-008a09f45d77> [Abfrage am 23.07.2020].

- Uiblien, F., Friedl, T., Prochinig, U. (2002). FISCHÖKOLOGISCHER UND FISCHEREILICHER MANAGEMENTPLAN FÜR DAS NATURA 2000-GEBIET OBERE DRAU. Verfügbar in: https://www.zobodat.at/pdf/Pub-Kaerntner-Institut-fuer-Seenforschung_99_0001-0081.pdf [Abfrage am 23.07.2020].
- Viglione A., Di Baldassarre, G., Brandimarte, L., Kuil, L., Carr, G., Salinas, J. L., Scolobig, A., Blöschl, G. (2014). Insights from socio-hydrology modelling on dealing with flood risk – Roles of collective memory, risk-taking attitude and trust. *Journal of Hydrology*. Volume 518, Part A: 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.018>.
- WENG, Q. (2010). *Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications*. McGraw Hill Book Companies Inc. USA.
- Xiao, R., Su, S., Zhang, Z., Qi, J., Jiang, W., Wu, J. (2013). Dynamics of soil sealing and soil landscape patterns under rapid urbanization. *CATENA*, Volume 109: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.05.004>.
- ZAMG- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (s.a.). *Vergangenheit*. Verfügbar in: <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/standpunkt/klimafolgen/gebirgsgletscher/vergangenheit> [Abfrage am 26.07.2020].
- Zhang, Z., Deng, S., Zhao, Q., Zhang, S., Zhang, X. (2019). Projected glacier meltwater and river run-off changes in the Upper Reach of the Shule River Basin, north-eastern edge of the Tibetan Plateau. *Hydrological Processes*. 33: 1059–1074. <https://doi.org/10.1002/hyp.13384>.
- Zhang, Y., Xu, C.-Y., Hao, Z., Zhang, L., Ju, Q., Lai, X. (2020). Variation of Melt Water and Rainfall Runoff and Their Impacts on Streamflow Changes during Recent Decades in Two Tibetan Plateau Basins. *Water*. 12, 3112. DOI 10.3390/w12113112.

8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: (Nord-)Tirol und Osttirol (rm-Osttirol, s.a.).....	12
Abbildung 2: Untersuchungsgebiet - Osttirol.....	13
Abbildung 3: Drau in Osttirol (blau) inkl. Zubringer	15
Abbildung 4: Legende Urmappe 1824 (Tiroler Landesarchiv).....	18
Abbildung 5: Legende Urmappe 1865 (Tiroler Landesarchiv).....	18
Abbildung 6: Katastralarbeit der österreichischen Monarchie 1864 (Fuhrmann, 2007).....	19
Abbildung 7: Meilensteine des öst. Landadministrationssystems 1817 – 2019 (Ernst et al., 2019)	19
Abbildung 8: Kulturenskelettkarte ca. 1875 basierend auf Kataster 1859 – Osttirol (Landesarchiv Tirol)	21
Abbildung 9: Detailaufnahme der Kulturenskelettkarte ca. 1875 basierend auf Kataster 1859 – Osttirol (Landesarchiv Tirol).....	23
Abbildung 10: 2. Tiroler Landesaufnahme 1816 – 1821 (Österreichisches Staatsarchiv)	24
Abbildung 11: 2. Tiroler Landesaufnahme – Osttirol	25
Abbildung 12: Überflutungsgebiet HQ ₃₀₀ Osttirol - historisch (basierend auf S. Hohensinner)	28
Abbildung 13: basemap-Karte (basemap, s.a.)	30
Abbildung 14: LISA-Sentinel 2 Landbedeckung (UBA, 2019).....	31
Abbildung 16: Überflutungsgebiet HQ ₃₀₀ Osttirol – aktuell (basierend auf WLV, BWV, HORA, zusammengeführt und bereinigt von S. Hohensinner)	35
Abbildung 15: Ausgewählte Landnutzungsklassen für Untersuchungsgebiet.....	37
Abbildung 17: Bearbeitung des historischen Untersuchungsgebietes mit ArcGIS.....	38
Abbildung 18: Äcker Kulturenskelettkarte – Orthofoto	39
Abbildung 19: Grünland Kulturenskelettkarte – Orthofoto	39
Abbildung 20: (Obst-)Baumwiesen/Obstanlagen Kulturenskelettkarte – Orthofoto	40
Abbildung 21: Feuchtgebiete Franziszeischer Kataster	41
Abbildung 22: Flüsse Kulturenskelettkarte – Orthofoto	42
Abbildung 23: Stehende Gewässer Kulturenskelettkarte – Orthofoto	43
Abbildung 24: Siedlungsgebiet Kulturenskelettkarte – Orthofoto	43
Abbildung 25: Wälder Kulturenskelettkarte – Orthofoto.....	44
Abbildung 26: Ödland Kulturenskelettkarte – Orthofoto.....	45
Abbildung 27: Gletscher Kulturenskelettkarte – Orthofoto.....	46
Abbildung 28: Farblegende für die Auswertungen der Landbedeckungs-/nutzungs-Typen.....	46
Abbildung 29: Landbedeckung Osttirols im Jahr 1859.....	47
Abbildung 30: Osttirol – Flächenbilanz 1859 in km ²	48
Abbildung 31: Osttirol – Flächenbilanz 1859 in Prozent	49
Abbildung 32: Landbedeckung Osttirols 2016	50
Abbildung 33: Osttirol – Flächenbilanz 2016 in km ²	51
Abbildung 34: Osttirol – Flächenbilanz 2016 in Prozent	52
Abbildung 35: Vergleich Flächenbilanz Osttirol 1859 / 2016 in km²	55
Abbildung 36: Vergleich Flächenbilanz Osttirol 1859 / 2016 in Prozent.....	55
Abbildung 37: HQ ₃₀₀ -Überflutungsräume in Osttirol in km ²	56
Abbildung 38: HQ ₃₀₀ -Überflutungsräume in Osttirol in Prozent	57
Abbildung 39: Landbedeckung HQ ₃₀₀ Überflutungsbereich in Osttirol 1859	58
Abbildung 40: Flächenbilanz im HQ ₃₀₀ -Überflutungsraum 1859 in km ²	59
Abbildung 41: Flächenbilanz im HQ ₃₀₀ -Überflutungsraum 1859 in Prozent	60
Abbildung 42: Landbedeckung im HQ ₃₀₀ -Überflutungsbereich in Osttirol 2016.....	61
Abbildung 43: Flächenbilanz im HQ ₃₀₀ -Überflutungsraum 2016 in km ²	62
Abbildung 44: Flächenbilanz im HQ ₃₀₀ -Überflutungsraum 2016 in Prozent	63

Abbildung 45: Transformation der Siedlungsgebiete zwischen 1859 und 2016	64
Abbildung 46: Transformation der Fließgewässer zwischen 1859 und 2016.....	65
Abbildung 47: Transformation der stehenden Gewässer zwischen 1859 und 2016.....	66
Abbildung 48: Transformation der Feuchtgebiete zwischen 1859 und 2016	67
Abbildung 49: Transformation des Grünlandes zwischen 1859 und 2016.....	68
Abbildung 50: Transformation der Äcker zwischen 1859 und 2016	69
Abbildung 51: Transformation der (Obst)Baumwiesen/Obstanlagen zwischen 1859 und 2016	70
Abbildung 52: Transformation der Wälder zwischen 1859 und 2016	71
Abbildung 53: Transformation des Ödlandes zwischen 1859 und 2016.....	72
Abbildung 54: Transformation der Gletscher zwischen 1859 und 2016.....	73

9. TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Geofachdaten historisch	16
Tabelle 2: Farben und Signaturen der Kulturrenskelettkarte ca. 1875 (Beimrohr, 2006; modifiziert)	22
Tabelle 3: Fernerkundungs- und Geofachdaten aktuell.....	29
Tabelle 4: Zuordnung der Klassen des Land Information Systems Austria (LISA) zu den Landbedeckungsklassen der Masterarbeit	32
Tabelle 5: Landbedeckung und Landnutzung (Beispiele nach Schardt, 2009; modifiziert)	36