





universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Hochgebirgsseen in Südtirol

Verbreitung, Entwicklung und Gefahrenpotenzial

verfasst von / submitted by

Marie-Claire Schug, BSc

angestrebter akademischer Grad / In partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it
appears on the student record sheet:

A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt /
Degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Geographie

Betreut von / Supervisor:

Dr. Martin Mergili

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass die ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, 03.01.2017

Danksagung

Für die vielfältige Unterstützung, die gemeinsamen Feldbegehungen, die anregenden und kritischen Gespräche, das Korrekturlesen sowie für die Geduld möchte ich mich herzlich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken.

Ein besonderer Dank geht an meinen Betreuer Dr. Martin Mergili für die stets hilfreiche und gute Betreuung sowie für seine wertvolle Unterstützung im Gelände.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	ix
Kurzfassung	xi
Abstract	xiii
1. Einleitung	1
1.1. Aktueller Stand der Wissenschaft	2
1.2. Fragestellungen und Aufbau	6
2. Gletschergefahren	7
2.1. Gletscherfluktuationen	7
2.2. Gletschergefahren	8
2.2.1. Gletscherlängen- und Volumenänderung	9
2.2.2. Massenbewegungen	11
2.2.3. Gletscherhochwasser	15
2.2.4. Fallbeispiele	20
3. Gefährdungsanalyse und Risikomanagement	25
3.1. Begriffserläuterungen	25
3.1.1. Hazard	25
3.1.2. Vulnerabilität	25
3.1.3. Risiko	26
3.1.4. Risikomanagement	26
3.2. Risikomanagement bei Gletscherseeausbrüchen	27
3.2.1. Gefahrenerkennung und -bewertung (hazard identification and assessment)	27
3.2.2. Vulnerabilitätsbeurteilung und Risikoeinschätzung (risk estimation)	28
3.2.3. Risikoauswertung (risk evaluation)	28
3.2.4. Risikoüberwachung und Risikominimierungsmassnahmen (risk control)	29
4. Untersuchungsgebiet	31
4.1. Klima	32
4.2. Geologie	34
4.3. Geomorphologie	34
4.4. Gletscher, Permafrost und Hochgebirgsseen	35
4.5. Historische (Gletscher-)Seeausbrüche	35

4.6.	Gesetzeslage bei Naturgefahren	36
5.	Daten und Methoden	39
5.1.	Seeninventar	39
5.1.1.	Datengrundlage	39
5.1.2.	Datenverarbeitung	40
5.1.3.	Herausforderungen	50
5.2.	Detailuntersuchung ausgewählter Seen	51
5.2.1.	Geomorphologische Kartierung ausgewählter Seen	52
5.2.1.1.	Kartierschlüssel	53
5.2.1.2.	Kartierung	53
5.2.2.	Seeentwicklung	53
5.2.2.1.	Datengrundlage	53
5.2.2.2.	Datenverarbeitung	54
5.2.2.3.	Herausforderungen	54
5.3.	Modellierung des Gefahrenpotenzials	54
5.3.1.	r.glachaz – Ermittlung gefährlicher Hochgebirgsseen	56
5.3.1.1.	Datengrundlage	56
5.3.1.2.	Datenverarbeitung	59
5.3.2.	r.randomwalk – Ermittlung der Bewegung	64
6.	Ergebnisse	66
6.1.	Seeninventar	66
6.2.	Detailuntersuchung ausgewählter Seen	73
6.2.1.	Kleiner Angelusferner-See	73
6.2.2.	Großer Angelusferner-See	75
6.2.3.	Zayferner-See	77
6.2.4.	Pederferner-See	79
6.2.5.	Zufallferner-Seenkomplex	80
6.2.6.	Schranferner-Seenkomplex	82
6.2.7.	Malerseekenkomplex	84
6.2.8.	Östlicher Rieserferner-Seenkomplex	86
6.2.9.	Hochgallferner-See	88
6.2.10.	Übeltalseenkomplex (Vogelhüttenseenkomplex)	90
6.3.	Modellierung	92

6.3.1.	Potenziell gefährliche Seen	92
6.3.1.1.	Südtirol	92
6.3.1.2.	Detailanalyse	93
6.3.2.	Potenzielle Ausbruchsreichweite	96
6.3.2.1.	Südtirol	96
6.3.2.2.	Detailanalyse	98
7.	Diskussion	103
7.1.	Seeninventar	103
7.2.	Detailuntersuchung ausgewählter Seen	104
7.3.	Modellierung	106
7.3.1.	Potenzielle Reichweite von Eislawinen	107
7.3.2.	Potenzielle Ausbruchsgefahr von Hochgebirgsseen	107
7.3.3.	Potenzielle Reichweite	108
7.3.4.	Validierung	109
7.3.4.1.	Sub- und intraglaziale Seen	109
7.3.4.2.	Pro- und periglaziale Seen	110
7.3.5.	Unsicherheiten und Einschränkungen der Modellierung	111
7.4.	Gefährdungspotenzial und Schutzmassnahmen	112
7.5.	Ausblick	113
8.	Conclusio	115
	Quellenverzeichnis	117
	Anhang	I
	Einzugsgebiete in Südtirol	I
	Geomorphologische Kartierung ausgewählter Seen	II
	Lakefile	XII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Talsperre Martelltal	1
Abbildung 2: Skizze einer typischen GLOF-Prozessabfolge.....	2
Abbildung 3: Workflow.....	6
Abbildung 4: Temperaturschwankungen der nördlichen Hemisphäre im Holozän.....	7
Abbildung 5: Surgegletscher-Modelle	10
Abbildung 6: Potenzielle Anrissgebiete einer Eislawine	12
Abbildung 7: Glaziale Wasserreservoirs	16
Abbildung 8: Schematische Darstellung eines potenziell gefährlichen moränengedämmten Sees.....	17
Abbildung 9: Eisgedämmte Gletscherseen.....	18
Abbildung 10: Laufbahn des Gletscherseeausbruchs der Laguna Palcacocha, Peru von 1941.....	21
Abbildung 11: Ablagerungen des Dig-Tsho-Ausbruchs 1985	22
Abbildung 12: Ablagerungen des Gletscherseeausbruchs des Ventisquero Negro 2009.....	23
Abbildung 13: Gornersee vor (l.) und nach (r.) dem Gletscherseeausbruch von 2004.....	24
Abbildung 14: Risikomanagement-Modell.....	27
Abbildung 15: Gefahrenminimierung.....	29
Abbildung 16: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets	31
Abbildung 17: Geologischer Aufbau Südtirols.....	34
Abbildung 18: Moränengedämmte Seen	43
Abbildung 19: Felsgedämmte Seen.....	44
Abbildung 20: Eisgedämmter See	44
Abbildung 21: Anthropogen gestauter See	44
Abbildung 22: Fels- und moränengedämmte Seen.....	45
Abbildung 23: Fels- und moränengedämmte Seen.....	45
Abbildung 24: Moränen- und felsgedämmter See.....	46
Abbildung 25: Fels- und massenbewegunggedämmter See	46
Abbildung 26: Gletscherkontakt.....	47
Abbildung 27: Oberflächenabfluss	48
Abbildung 28: Kalbende Gletscher	49
Abbildung 29: Seeoberfläche (2011) (l.) und Seeoberfläche (2008) (r.)	51
Abbildung 30: Räumliche Verteilung der ausgewählten Seen in Südtirol.....	52
Abbildung 31: Verwendeter Kartierschlüssel zur geomorphologischen Kartierung.....	53

Abbildung 32: Beurteilungsprozedur zur Ermittlung der Gefahr eines Seeausbruches und verwandter Gefahren	55
Abbildung 33: Workflow r.glachaz	59
Abbildung 34: Workflow r.randomwalk	64
Abbildung 35: Relative Position zum Gletscher im Vergleich zum Dammmaterial	67
Abbildung 36: Vergleich der Seetypen in gletschernahen und gletscherfernen Bereichen	68
Abbildung 37: Verteilung der Seetypen nach Untersuchungsgebiet	68
Abbildung 38: Verteilung der Seetypen nach Größenklassen.....	69
Abbildung 39: Seetypenverteilung nach Höhenstufen	70
Abbildung 40: Entwicklung der kartierten Seen zwischen 1999 und 2011	71
Abbildung 41: Seeentwicklung nach Dammtyp	71
Abbildung 42: Seeninventar Südtirol	73
Abbildung 43: Entwicklung Kleiner Angelusferner-See.....	73
Abbildung 44: Kleiner Angelusferner-See	74
Abbildung 45: Kleiner Angelusferner-See, Moränenlandschaft.....	74
Abbildung 46: Kleiner Angelusferner-See, Oberflächenabfluss	74
Abbildung 47: Entwicklung Großer Angelusferner-See.....	75
Abbildung 48: Großer Angelus-Seenkomplex	76
Abbildung 49: Entwicklung Zayferner-See	77
Abbildung 50: Zayferner und -See.....	78
Abbildung 51: Endmoräne des Zayferners	78
Abbildung 52: Moränenlandschaft Sulden-Seenkomplex.....	78
Abbildung 53: Entwicklung Pederferner-See	79
Abbildung 54: Entwicklung Zufallferner-See	80
Abbildung 55: Zufallferner-Seenkomplex.....	81
Abbildung 56: Zufallferner-See Nummer 2	81
Abbildung 57: Zufallferner-See Nummer 4	81
Abbildung 58: Entwicklung Schranferner-Seenkomplex.....	82
Abbildung 59: Schranferner-See Nordost (1)	83
Abbildung 60: Schranferner-See Südwest (2)	83
Abbildung 61: Entwicklung Malerseenkomplex.....	84
Abbildung 62: Oberer Malersee	85
Abbildung 63: Oberer Malersee Seitenerosion.....	85
Abbildung 64: Entwicklung Östlicher Rieserferner-Seenkomplex.....	86

Abbildung 65: Östlicher Rieserferner	87
Abbildung 66: Thermokarst Östlicher Rieserferner	87
Abbildung 67: Entwicklung Hochgallferner-See	88
Abbildung 68: Hochgallferner-See	89
Abbildung 69: Oberflächenabfluss Hochgallferner-See	89
Abbildung 70: Abfluss des Hochgallferner-Sees, lockeres Moränenmaterial	89
Abbildung 71: Entwicklung des Übeltalseenkomplexes.....	90
Abbildung 72: Verlandeter Übeltalferner-See im September 2014.....	91
Abbildung 73: Ausbruchsgefahr des Langsees	94
Abbildung 74: Ausbruchsgefahr des Wilden Sees.....	95
Abbildung 75: Ausbruchsgefahr des Kleinen Angelusferner-Sees	95
Abbildung 76: Ausbruchsgefahr des Zufallferner-Seenkomplexes	96
Abbildung 77: Potenzielle Gefahrenauswirkung von potenziellen GLOFs im Suldental (IIS).....	99
Abbildung 78: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs im Suldental (IHIS)	99
Abbildung 79: Potenzielle Gefahrenauswirkung eines potenziellen GLOFs des Grünsee-Stausees (IIS).....	100
Abbildung 80: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Grünsee-Stausees (IHIS).....	100
Abbildung 81: Potenzielle Gefahrenauswirkung eines potenziellen GLOFs des Arzkar-Stausees (IIS).....	100
Abbildung 82: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Arzkar-Stausees (IHIS).....	100
Abbildung 83: Potenzielle Gefahrenauswirkung eines potenziellen GLOFs des Langsees (IIS)	101
Abbildung 84: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Langsees (IHIS).....	101
Abbildung 85: Potenzielle Gefahrenauswirkung eines potenziellen GLOFs des Wilden Sees (IIS)	101
Abbildung 86: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Wilden Sees (IHIS).....	101
Abbildung 87: Potenzielle Gefahrenauswirkung von potenziellen GLOFs der Übeltalferner-Seen (IIS).....	101
Abbildung 88: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs der Übeltalferner-Seen (IHIS).....	101
Abbildung 89: Potenzielle Gefahrenauswirkung von potenziellen GLOFs der Zufallferner-Seen (IIS).....	102
Abbildung 90: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs der Zufallferner-Seen (IHIS).....	102
Abbildung 91: Potenzielle Gefahrenauswirkung von potenziellen GLOFs des Reinbachtals (IIS).....	102

Abbildung 92: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs des Reinbachtals (IHIS) .	102
Abbildung 93: Potenzielle Ausbruchsgefahr von Hochgebirgsseen und deren potenzielle Reichweite in Südtirol.....	103
Abbildung 94: Gletscherseenentwicklung.....	105
Abbildung 95: IHIS Sulden 20 m Auflösung	108
Abbildung 96: IHIS Sulden 5 m Auflösung	108
Abbildung 97: IHIS Ridnaun 20 m Auflösung.....	108
Abbildung 98: IHIS Ridnaun 5 m Auflösung.....	108
Abbildung 99: Potenzielle Reichweiten potenzieller GLOFs	115
Abbildung 100: Einzugsgebiete in Südtirol.....	I
Abbildung 101: Geomorphologische Karte Kleiner Angelusferner-See	II
Abbildung 102: Geomorphologische Karte Großer Angelusferner-See	III
Abbildung 103: Geomorphologische Karte Zayferner-See.....	IV
Abbildung 104: Geomorphologische Karte Sulden-Seenkomplex	V
Abbildung 105: Geomorphologische Karte Perderferner-See	VI
Abbildung 106: Geomorphologische Karte Zufallferner-Seenkomplex	VII
Abbildung 107: Geomorphologische Karte Schranferner-Seenkomplex	VIII
Abbildung 108: Geomorphologische Karte Malerseenkomplex	IX
Abbildung 109: Geomorphologische Karte Östlicher Rieserferner-Seenkomplex.....	X
Abbildung 110: Hochgallferner-See	XI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gefahrentypen.....	8
Tabelle 2: Gletschereigenschaften potenzieller Anrissgebiete einer Eislawine.....	13
Tabelle 3: Übersicht der Seeposition und des wahrscheinlichen Dammtyps	15
Tabelle 4: Orthophotos der Autonomen Provinz Südtirol	40
Tabelle 5: Shapefiles (Seen-, Fließgewässer-, Gletscher- und Permafrostinventar)	40
Tabelle 6: Klassifizierung des Seeninventars.....	41
Tabelle 7: Namensgebung der erfassten Seen nach Einzugsgebiet	42
Tabelle 8: Inputparameter r.glachaz	56
Tabelle 9: lakefile.....	58
Tabelle 10: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des IAHS	61
Tabelle 11: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des LOIS _{internal}	61
Tabelle 12: Beeinflussung der Wertigkeit von LOIS _{internal} und LOIS _{external} (Werte s. Tabelle 8)	62
Tabelle 13: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des LOHS	62
Tabelle 14: Schlüsselvariablen für r.glachaz.....	63
Tabelle 15: ^{1,2} ID(s) of test(s) where the rule of relationship is applied. ³ A bulking factor of 5 is applied to V.....	65
Tabelle 16: Dammmaterial der kartierten Seen.....	67
Tabelle 17: LOIS und LOHS der kartierten Seen	92
Tabelle 18: Übersicht von LOIS und LOHS der ausgewählten Seen	93
Tabelle 19: Gefährdungsklassen der Ausbruchreichweite	96
Tabelle 20: Maximalwerte der Reichweitenmodellierung	97
Tabelle 21: Potenzielle Auswirkungen einer GLOF (IIS)	98

Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
DGM	Digitales Geländemodell
GIS	Geoinformationssystem
GLOF	Glacier Lake Outburst Flood
IAHIS	Ice Avalanche Hazard Indicator Score
IAIS	Ice Avalanche Indicator Score
IF	Impact Frequency
IHIS	Impact Hazard Indicator Score
IIS	Impact Indicator Score
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
LAS	Lake Area Score
LIA	Little Ice Age (Kleine Eiszeit)
LOISe	Lake Outburst Indicator Score external
LOISi	Lake Outburst Indicator Score internal
LOIS	Lake Outburst Indicator Score
LOHIS	Lake Outburst Hazard Indicator Score
MISS	Mass Movement Impact Susceptibility Score
NDWI	Normalized Difference Water Index
TSI	Topographic Susceptibility Index
TSli	Topographic Susceptibility Index impact
TSlr	Topographic Susceptibility Index release
TSS	Topographic Susceptibility Score
ZAS	Zone Area Score

Kurzfassung

Der weltweit zu beobachtende Gletscherrückzug, der durch die Klimaerwärmung hervorgerufen wird, führt zunehmend zur Entstehung und Vergrößerung von Gletscherseen. Aufgrund von externen und/oder internen Faktoren verfügen diese Seen über ein gewisses Ausbruchspotenzial. Um die Gefährdung der Autonomen Provinz Südtirol durch solche Gletscherseeausbrüche (GLOF) bzw. Hochgebirgsseeausbrüche zu untersuchen, wurden in dieser Arbeit (i) ein Seeninventar erstellt, (ii) die Entwicklung ausgewählter Hochgebirgsseen zwischen 1945 und 2011 untersucht und (iii) eine Gefährdungsanalyse, im Hinblick auf die potenziell ausbruchsgefährdeten Seen sowie auf die potenziellen Auswirkungen eines GLOF, durchgeführt.

Das Seeninventar des Untersuchungsgebiets umfasst 1010 Seen, die grösser als 250 m² sind und über 2'000 m ü. M. liegen. Die Seen wurden mithilfe von Orthophotos manuell kartiert. Zusätzlich zur räumlichen Verteilung der Seen wurden weitere Seecharakteristika wie das Dammmaterial, der Gletscherkontakt, der Oberflächenabfluss, die Seeentwicklung etc. in das Seeninventar aufgenommen. Daraus geht hervor, dass knapp 89 % der Seen (898 Seen) des Untersuchungsgebietes durch Fels gedämmt werden. Bei gut 93 % der Seen (936 Seen) handelt es sich um gletscherferne Seen, welche mindestens 250 m vom Gletscher entfernt liegen. Die kartierten Seen des Untersuchungsgebietes haben mehrheitlich eine kleine bis mittlere Größe (< 5'000 m²), wobei der Größenmedian aller Seen 1'285 m² beträgt. Die Mehrheit der Seen (58 %) liegt auf einer Höhe zwischen 2'000 und 2'500 m ü. M. Zwischen 1999 und 2011 wies die Mehrheit der kartierten Seen (60 %) eine stabile Seegröße auf. Nur ca. 16 % der Seen (164 Seen) vergrößerten sich in diesem Zeitraum. Dabei handelt es sich vor allem um die gletschernahen Seen.

Im Zuge der Detailuntersuchung wurden die Entwicklung von zehn ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexen und die Entwicklung ihrer näheren Umgebung im Zeitraum von 1945 bis 2011 untersucht. Dazu wurden mehrere Orthophotos unterschiedlicher Jahre miteinander verglichen. Zusätzlich ermöglichte die Feldbegehung der ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe die Eruierung des aktuellen Gletscherstandes sowie der aktuellen Seegröße. Im Rahmen der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sich die Mehrheit der ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe in den frühen 1980er-Jahren gebildet hatten. Acht der insgesamt zehn untersuchten Seen bzw. Seenkomplexe hatten sich während des untersuchten Zeitabschnittes deutlich vergrößert. Mit dem Verlust des direkten Gletscherkontaktes der ausgewählten Seen hatte sich das Wachstum der meisten Seen jedoch spätestens um die Jahrtausendwende eingependelt. Aufgrund der aktuellen Entwicklungsphase der ausgewählten Seen kann davon ausgegangen werden, dass sich der Seedamm und die nähere Umgebung dieser Seen zunehmend stabilisiert haben und die potenzielle Ausbruchsgefahr deshalb abnimmt.

In einem weiteren Schritt wurden anhand unterschiedlicher Inputdaten die potenzielle Ausbruchsgefahr aller kartierter Seen sowie die potenziellen Reichweiten möglicher GLOFs modelliert. Für die Ermittlung der potenziell ausbruchsgefährdeten Seen wurde das Programm r.glachaz verwendet. Im Rahmen der Modellierung stellte sich heraus, dass drei Seen eine erhebliche Ausbruchsgefahr besitzen. Da die meisten Seen im Untersuchungsgebiet durch Fels gedämmt werden, ist die Gefahr eines Dammversagens in Südtirol relativ gering. Viel wahrscheinlicher ist es, dass ein See aufgrund einer externen Massenbewegung, die in den See gelangt, ausbricht. Mithilfe des Programmes r.randomwalk wurde anschließend die potenzielle Reichweite der GLOFs berechnet. Gemäß den Ergebnissen wären

GLOFs in Südtirol potenziell dazu in der Lage, weite Distanzen zurückzulegen und sich fast über sämtliche Gerinne bis knapp nach Bozen bemerkbar zu machen. GLOFs würden sich in Südtirol jedoch mehrheitlich nur durch den Anstieg des Wasserpegels im entsprechenden Gerinne bemerkbar machen. Mit der Entwicklung eines GLOFs zu einer Mure ist vor allem in abgelegenen Hochgebirgsregionen zu rechnen, sodass kaum größere Siedlungsgebiete gefährdet wären.

Abstract

All over the world glaciers are currently retreating. This is creating new glacial lakes or enlarging existing ones. Due to external and/or internal factors these lakes can potentially burst. In order to assess the danger of a glacial lake outburst flood (GLOF) in the Autonomous Province of South Tyrol, this study provides (i) an inventory of lakes, (ii) an analysis of the development of selected glacial lakes between 1945 and 2011 and (iii) the susceptibility of potentially dangerous lakes, which takes account of the possible effects of a GLOF.

The inventory of lakes includes 1010 lakes that are larger than 250 m² at an altitude above 2'000 meters above sea level. These lakes were mapped manually with orthophotos. Apart from collecting information on the spatial distribution of these lakes, the inventory lists dam material, glacier contact, surface runoff, lake development etc. Roughly 89 % of the lakes (898 lakes) in the survey area are dammed by bedrock, whereas 93 % of the lakes (936 lakes) are detached from the glacier. The majority of lakes is small to medium sized (< 5'000 m²), the median value of all lakes is 1'285 m². Most lakes are located at an altitude between 2'000 und 2'500 m above sea level. Between 1999 and 2011 the majority of lakes (60 %) were stable in terms of size. Only roughly 16 % of the lakes (164 lakes) grew in this period of time. This is especially true for lakes in proximity to a glacier.

A detailed analysis was conducted of the development of ten selected lakes and lake systems including the development of their surroundings between 1945 and 2011. For this purpose different orthophotos taken in different years were compared with each other. The current size of the lakes and the position of the glacial snout were measured in course of an on-site inspection. It is evident that the majority of the selected lakes and lake systems were created during the early 1980s. Eight of ten lakes grew significantly in that period. But when the lakes were disconnected from the glacier the growth slowed down significantly towards the millennium. Based on the current development of the selected lakes, it can be concluded that the dam area and the closer surroundings of these lakes has been stabilised and the potential danger of an outburst has thus decreased.

Furthermore the potential danger of an outburst of the mapped lakes and the potential reach of a potential GLOF was modelled based on various input data. The program r.glachaz was used to determine the potentially dangerous lakes. This model demonstrated that three glacial lakes are in considerable danger of bursting. But the overall danger of GLOF in South Tyrol is relatively low, as most lakes are dammed by bedrock. It is far likelier that a lake would burst because of an external mass movement. With the assistance of the program r.randomwalk the potential reach of a GLOF was calculated. GLOF in South Tyrol could possibly travel for long distances, reaching over all streambeds as far as Bolzano – albeit a GLOF would only incur rising water levels in already existing streambeds. In high alpine areas it is possible that a GLOF would turn into a debris flow, which would nonetheless not reach any larger settlements.

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Ermittlung der Verbreitung und Entwicklung der Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen in Südtirol sowie der Modellierung des Ausbruchspotenzials dieser Seen.

Der globale Klimawandel führt weltweit und insbesondere in den Hochgebirgsregionen zu einem deutlichen Gletscherschwund (CUBASCH et al., 2013; WORNİ et al., 2012). Das Aufschmelzen des ewigen Eises bewirkt ein vermehrtes Auftreten von Gletscherseen im Gletschervorfeld. Die topographischen Bedingungen, die für das Aufstauen eines Sees notwendig sind, wurden durch den letzten großen Gletschervorstoß während der kleinen Eiszeit geschaffen, die bis zum Ende des 19. Jahrhunderts andauerte (ANACONA et al., 2015; GRUBER & MERGILI, 2013; MERGILI et al., 2013; WORNİ et al., 2014). Äußere sowie auch damminterne Einflüsse können dazu führen, dass der Damm eines Sees ganz plötzlich von den Wassermassen überlaufen wird bzw. zusammenbricht. Folglich strömen die Wassermassen des Sees als Flutwelle talabwärts. Bei solchen Seeausbrüchen (GLOFs) handelt es sich um sehr komplexe und irreversible Phänomene, wobei jeder einzelne Seeausbruch aufgrund seiner Abhängigkeit von unzähligen Einflussparametern einzigartig ist (HUGGEL et al., 2004a; WESTOBY et al., 2014; WORNİ et al., 2012).

GLOFs „are considered the most important glacier-related hazard in terms of direct damage potential“ (WORNİ et al., 2013: 71). Sobald sie auf die Gesellschaft treffen, können sie katastrophale Auswirkungen haben (MERGILI et al., 2015). Noch heute zeugen historische Bauwerke in den Alpen von der Bedrohung, welche bereits früher von Gletscherseeausbrüchen ausgegangen ist. So konnte während eines Geländeganges im Martelltal in Südtirol eine massive Talsperre besichtigt werden, die im Jahr 1892 erbaut wurde (s. Abbildung 1). Die Bewohner des Martelltals – so wie auch die von vielen weiteren alpinen Tälern – wurden früher plötzlich von gewaltigen Wassermassen überrascht. Der massive Bau erinnert noch heute an die Gletscherseeausbrüche, die das Martelltal in den Jahren 1887/88, 1889 und 1891 verwüstet haben (BLIEM, o. J.).



Abbildung 1: Talsperre Martelltal (Foto: MERGILI (2015))

Auch im 20. Jahrhundert verursachten GLOFs noch immer große Schäden. So forderten sie beispielsweise in Peru 32'000 Tote und zerstörten Infrastruktur, Siedlungen und urbares Land (ANACONA et al., 2015; WESTOBY et al., 2014). In den Alpen ist das Ausmaß der Gletscher- bzw. Hochgebirgsseeausbrüche

heute zwar nicht mehr so groß wie beispielsweise in den Anden oder im Himalaya (ANACONA et al., 2015; ITURRIZAGA, 2011), dennoch können GLOFs auch noch heute in den Alpen und in Südtirol beobachtet werden (s. Kapitel 4.5).

Im Hochgebirge kann durch den Klimawandel eine Destabilisierung der Hänge festgestellt werden, welche einerseits auf die fehlende Stützkraft des Gletschereises und andererseits auf das Auftauen des Permafrostes zurückzuführen ist (GRUBER & MERGILI, 2013; PIACENTINI et al., 2012; WORNİ et al., 2014). Diese Entwicklung kann dazu führen, dass das Potenzial von Hochgebirgsseeausbrüchen in Zukunft zunehmen wird (WORNİ et al., 2012). Aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen und der zunehmenden Besiedelung gefährdeter Regionen verändert sich das Gefahrenpotenzial. Laufende Gefahrenbeurteilungen und Anpassungen sind daher essenziell. Durch Modellierungen von (potenziellen) Seeausbrüchen und der anschließenden Erstellung von Gefahrenhinweiskarten können die lokale Regierung und die Bevölkerung auf die Gefährdung durch GLOFs sensibilisiert werden. Dadurch kann das Risikomanagement verbessert werden (ANACONA et al., 2015; WORNİ et al., 2013).

1.1. Aktueller Stand der Wissenschaft

Aufgrund der Klimaerwärmung und des größer werdenden Schadenspotenzials von GLOFs beschäftigen sich zahlreiche Wissenschaftler mit dem Thema Gletscherseeausbruch. WORNİ et al. (2014) und GRUBER & MERGILI (2013) geben einen guten Überblick über einige Wissenschaftler, die sich derzeit mit bestimmten Regionen und ihrer Anfälligkeit auf Gletscherseeausbrüche beschäftigen. Neue technische Errungenschaften bzw. Weiterentwicklungen (z.B. Geoinformationssysteme [GIS] und Luft- bzw. Satellitenbilder) erleichterten die Erforschung dieses Themengebiets in den letzten Dekaden massiv. So können mittlerweile multitemporale Seeninventare erstellt werden, in denen die Seenentwicklung verzeichnet wird. Zudem können potenziell gefährliche Hänge oder kalbende Gletscher, also Gebiete, von denen sich potenziell gravitative Massenbewegungen ablösen könnten, eruiert werden (WESTOBY et al., 2014). Mithilfe von unterschiedlichen Methoden wie empirischen Zusammenhängen, physikalischen Grundsätzen oder statistischen Beziehungen können GLOFs modelliert werden. Dabei stellen Rekonstruktionen, also die Modellierung von vergangenen Gletscherseeausbrüchen, einen wichtigen Aspekt bei der Erkenntnisgewinnung über das Verhalten von GLOFs dar. Denn diese ermöglichen es, wichtige Parameter und Dynamiken besser nachzuvollziehen und zu verstehen (ANACONA et al., 2015; MERGILI et al., 2015). Da es sich bei Gletscherseeausbrüchen um sehr komplexe Prozessabfolgen handelt, wird die Abfolgekette in einzelne Prozesse aufgegliedert, die schließlich alle einzeln analysiert und modelliert werden können (GRUBER & MERGILI, 2013; HUGGEL et al., 2004a; WORNİ et al., 2012). Die verschiedenen Prozesse eines GLOFs können der Abbildung 2 entnommen werden.

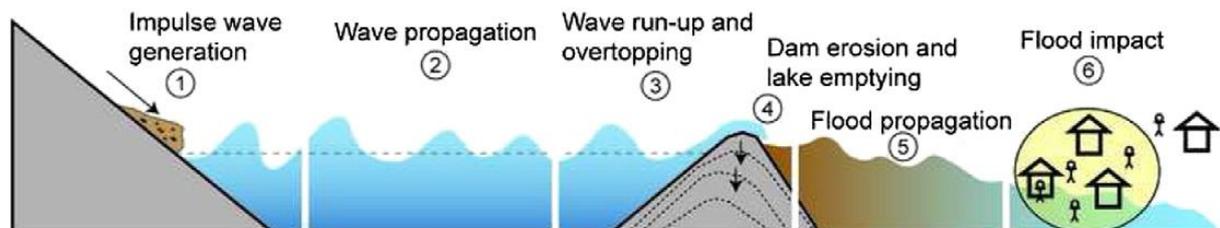


Abbildung 2: Skizze einer typischen GLOF-Prozessabfolge. 1. Auslösung einer Schwallwelle. 2. Wellenverbreitung. 3. Wellenaufbau und Überströmung. 4. Dammerosion und Seeentleerung. 5. Flutwellenausbreitung. 6. Flutauswirkungen (Quelle: WORNİ et al., 2014: 162)

Einleitung

Da vor allem die Ausbrüche von moränengedämmten Seen enorme Auswirkungen zeigen, beschäftigen sich die meisten Studien mit den Ausbrüchen jener Seen. Nachfolgend werden folglich die einzelnen Phasen eines GLOFs eines moränengedämmten Sees in Bezug auf ihre neuesten Kenntnisse und Modellierungsansätze erläutert:

Gemäß WORNİ et al. (2013) ist die Ausbruchswahrscheinlichkeit eines Sees die Funktion aus der Suszeptibilität des Dammes zu versagen und aus dem Potenzial von externen Auslösern betroffen zu sein (WORNİ et al., 2013).

(1) Auslösung einer Impulswelle

Die Entstehung eines Seeausbruches kann durch externe und damminterne Faktoren ausgelöst werden. Für eine strukturierte Erklärung gemäß Abbildung 2 wird hier zunächst nur auf die externen Auslösemechanismen eines GLOFs eingegangen.

WORNİ et al. (2013) weisen darauf hin, dass selbst instabile Gletscherseen einen externen Auslöser benötigen, damit der Damm versagt. Solche äußeren Auslöser können starke Regenfälle, Schneeschmelze, Erdbeben, Vulkanausbrüche oder Massenbewegungen sein. Bei Regenfällen bzw. bei der Schneeschmelze steigt der Seespiegel, bis der Damm überspült wird (HUGGEL et al., 2004a; WESTOBY et al., 2014). Die Ermittlung des Wasservolumens, das vom See zusätzlich aufgenommen werden kann, kann auf Basis von Höhenmodellen und unter der Berücksichtigung des Freibords relativ leicht berechnet werden. Allerdings ist die Bestimmung des Zeitpunktes, ab wann der See kein zusätzliches Wasser mehr aufnehmen kann und dementsprechend ausbricht, sehr schwierig (WESTOBY et al., 2014).

Die Modellierung von Erdbeben erweist sich als sehr kompliziert, wenn nicht sogar als unmöglich. Da Hochgebirgsregionen grundsätzlich eine relativ hohe tektonische Aktivität aufzeigen, sollte gemäß WESTOBY et al. (2014) die seismische Aktivität trotz ihrer Vorhersageschwierigkeiten stets bei der Modellierung von Gletscherseeausbrüchen berücksichtigt werden (WESTOBY et al., 2014).

In den meisten Fällen jedoch entsteht ein GLOF durch eine in den See eintreffende Massenbewegung, wie beispielsweise durch Felsstürze, Eislawinen und Murgänge (HUGGEL et al., 2004a). Diese verdrängt das äquivalente Wasservolumen und eine Schwallwelle entsteht. Folglich stellt die Ermittlung von potenziellen Ablösezone einer Massenbewegung, die meist von der Hangneigung abhängen, einen essenziellen Schritt für die Modellierung dar (WESTOBY et al., 2014). Zudem müssen das Volumen und die Geschwindigkeit der potenziell eintreffenden Massenbewegung ermittelt werden, um so die Dimension einer potenziellen Flutwelle zu bestimmen (HUGGEL et al., 2004a).

(2) Wellenausbreitung

Die empirischen Untersuchungen zur Wellenausbreitung stammen mehrheitlich aus Laborexperimenten. Allerdings wird bei diesen Untersuchungen die seitliche Streuung oft nicht berücksichtigt. Grundsätzlich sind die Wellendimension und -bewegung von der Menge, Geometrie, Geschwindigkeit und dem Eintrittswinkel der Massenbewegung in den See sowie vom Seevolumen, dem Seeuntergrund und der Seetiefe abhängig. Die Dimension der Welle nimmt später Einfluss auf die Erosionskraft der Wassermassen. WESTOBY et al. (2014) unterscheidet „displacement waves“ und „standing wave/seiche“. Bei der ersteren handelt es sich um eine einzige Welle, die nur die oberen Wassermassen in Bewegung bringt. Schaukelwellen („seiche“) entstehen, wenn das Volumen und die Geschwindigkeit des externen

Einleitung

Auslösers groß genug sind, um die gesamte Wassersäule in Bewegung zu versetzen. Diese Wellenart verursacht einen wiederholten Wellenauflauf und verfügt über eine deutlich höhere Erosionskraft als die Schwallwelle (HUGGEL et al., 2004a; WESTOBY et al., 2014).

(3) Wellenauflauf und Überströmung

Die Höhe des Wellenaufbaus wird bestimmt durch die Distanz der wellenauslösenden Massenbewegung vom Damm, den Eintrittswinkel der Massenbewegung, die Wellenlänge und -höhe, die Freibordhöhe und die Hangneigung des Damms (HUGGEL et al., 2004a). Je nach Wellenart kommt es zu einem wiederholten oder einfachen Wellenaufbau, der über unterschiedliche Erosionskräfte verfügt. Diese Erosionskraft des Wellenaufbaus ist meist der Beginn des Dammversagens (WESTOBY et al., 2014). Der Damm kann jedoch bereits geschwächt sein durch das potenzielle Auftauen des Permafrosts bzw. des Eiskerns einer Moräne. Die Moräne kann dadurch an Höhe und somit an Freibord verlieren. Folglich wird die Wellenamplitude, die vom Moränenwall noch zurückgehalten werden kann, herabgesetzt (WESTOBY et al., 2014).

(4) Dammerosion

Bei der Dammerosion müssen die internen Faktoren eines Damms berücksichtigt werden, die maßgeblich zu seiner Widerstandsfähigkeit beitragen. Die Stabilität eines Damms hängt vor allem von seiner Geometrie, seiner internen Struktur und den Materialeigenschaften ab. Das Auftauen des Permafrosts oder des Eiskerns in der Moräne kann im Laufe der Zeit zur Minderung der Moränenstabilität führen (WORNI et al., 2013). Sobald nun eine Welle auf den Moränendamm trifft, wird zunächst die feinere Sedimentfraktion erodiert. Daraus können sich Abflusskanäle bilden, die sich immer weiter vergrößern und somit die Dammstruktur und die physikalische Festigkeit des Dammmaterials reduzieren (WESTOBY et al., 2014). Die Wellenerosion führt also zu einem initialen Durchbruch des Moränendamms. Die fortschreitende Erosion vergrößert den Dammdurchbruch fortlaufend, bis die Durchbruchtiefe unter dem Seeniveau liegt und dann schließlich der hydrostatische Seedruck die treibende Kraft für die kontinuierliche Vergrößerung des Seeausbruchs wird (WORNI et al., 2013). Die Stärke der Kohäsionskraft im Dammmaterial beeinflusst, ob nur ein Teil oder das gesamte Seevolumen ausbricht und wie schnell oder langsam dieser Ausbruch erfolgt. Die detaillierte Analyse und Modellierung des Dammdurchbruchs stellt einen bedeutenden Aspekt für die nachfolgende Risikobewertung dar (WESTOBY et al., 2014).

(5) Flutwellenausbreitung

Die Flutwellen, die aus einem Seeausbruch resultieren, zeichnen sich durch ihre Kurzlebigkeit und eine relativ hohe Magnitude aus. Innerhalb kürzester Zeit (Minuten – Stunden) können sie Millionen von Kubikmetern Wasser über Distanzen von über 100 km transportieren (ANACONA et al., 2015; HUGGEL et al., 2004a). Ihre Geschwindigkeit kann sich während ihrer Ausbreitung ändern und über 10 km/h betragen. Die Flutwellen eines Seeausbruchs können sich als gering viskose Klarwasserflutwellen oder – wie mehrheitlich beobachtet – als hochviskoser und -konzentrierter Strom ergießen, der sich in weiterer Folge zu einem Murgang entwickeln kann. Die Sedimente und Vegetation, die dabei mittransportiert werden, können die Flutwellen zusätzlich vergrößern und die Erosionskraft erhöhen.

tiert werden, stammen entweder vom Moränendamm oder werden unterwegs beim Talabwärtsfließen der Flutwelle aufgenommen (WESTOBY et al., 2014). Die Abschätzung der Magnitude eines GLOFs erfolgt durch das Aufstellen von empirische Beziehungen (WORNI et al., 2013).

(6) Flutauswirkungen

Werden die oben aufgeführten Modellierungsschritte 1–5 mit der vorherrschenden Landnutzung kombiniert, können die Auswirkungen von zukünftigen GLOFs simuliert werden. Solche Gefahrenhinweiskarten vereinfachen die Planung und Dimensionierung von präzisen Schadenminderungsmaßnahmen. Folglich kann durch die Modellierungen eines GLOFs eine Anpassung des Risikomanagements erfolgen (ANACONA et al., 2015; WORNI et al., 2013).

Die Validierung der Modellierungen erfolgt meist anhand von vergangenen GLOFs (ANACONA et al., 2015; WORNI et al., 2012). Trotz unzähliger bestehender Methoden und Modelle besteht noch sehr viel Forschungsbedarf in der Modellierung und Erforschung von GLOFs (WORNI et al., 2012). Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei Gletscherseeausbrüchen um sehr komplexe Prozesse. Jeder GLOF ist einzigartig, was die Erforschung und insbesondere die Modellierung dieses Phänomens deutlich erschwert. Zudem beeinträchtigen Unsicherheiten in Bezug auf Inputparameter sowie auf empirische Beziehungen die Modellierungen (HUGGEL et al., 2004a; WESTOBY et al., 2014; WORNI et al., 2012). Die Vorhersage von Zeitpunkt und Magnitude zukünftiger GLOFs bleibt weiterhin eine Herausforderung (GRUBER & MERGILI, 2013).

In Südtirol wurden im Rahmen des Projektes ClimOpt, einer Kooperation zwischen Italien und der Schweiz, die sich die Optimierung des Managements von klimabedingten Naturgefahren zum Ziel gesetzt hat, Daten zur Bestimmung von „potenziellen Gefahrenbereichen, die aus Gletscherseeausbrüchen resultieren“ (ZISCHG & DINALE, 2013: 7), erhoben. Dabei wurde zunächst anhand von Orthophotos ein Seeninventar erstellt, in welchem die einzelnen Seen gemäß verschiedener Attribute qualitativ klassifiziert wurden. Nachdem die verschiedenen Seevolumina sowie die potenziellen Aufstauvolumina abgeschätzt und mögliche intraglaziale Wasseransammlungen identifiziert und lokalisiert worden waren, wurde das Gefahrenpotenzial der einzelnen Seen bestimmt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden zudem einige potenzielle Maßnahmen für das Risikomanagement aufgezeigt.

Die Untersuchungen stellen allerdings nur sehr grobe Abschätzungen dar, was auch von den zuständigen Wissenschaftlern betont wird. Konkrete Modellierungen beispielsweise für die Anfälligkeit auf äußere Auslöser, die interne Dammstabilität oder die Reichweite eines potenziellen GLOFs wurden im Untersuchungsgebiet nicht durchgeführt. Zudem wurden nur ausgewählte Seen und nicht das gesamte Südtirol untersucht. Diese Lücken sollen im Rahmen dieser Arbeit gefüllt werden.

1.2. Fragestellungen und Aufbau

Im Zuge dieser Arbeit werden drei Fragestellungen bearbeitet, die nachfolgend aufgelistet sind:

- i) Wie sind die Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen in Südtirol verbreitet?
- ii) Wie haben sich die Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen in Südtirol zwischen 1945 und 2011 entwickelt?
- iii) Geht von den Südtiroler Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen die Gefahr eines Seeausbruches aus?

Nachdem in Kapitel 1 ein kurzer Überblick über das Thema der Gletscherseeausbrüche und über den aktuellen Stand der Wissenschaft gegeben wurde, werden die aktuellen Gletschergefahren und deren Analyse und Bewertungen in Kapitel 2 genauer erläutert. Es soll ein Überblick über sämtliche Gletschergefahren dargestellt werden, um deutliche Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Gefahren und einem Gletscherseeausbruch aufzuzeigen. Die Analyse der Gefahren bzw. des Risikos von Gletscherseeausbrüchen und deren Risikomanagement werden in Kapitel 3 dargestellt. In Kapitel 4 wird das Untersuchungsgebiet Südtirol präsentiert, wobei verschiedene Aspekte wie Klima, Geomorphologie, Geologie etc. berücksichtigt werden. Anschließend werden die verschiedenen Daten und Methoden, die für die Beantwortung der drei oben genannten Fragestellungen verwendet werden, in Kapitel 5 vorgestellt. Dabei wird das Kapitel gemäß den drei Fragestellungen in drei Teile untergliedert. Zunächst werden, die Daten und Methoden erläutert, die für die (i) Erstellung des Seeninventars herangezogen werden und anschließend jene Daten und Methoden, die für die (ii) Detailuntersuchung ausgewählter Seen und die (iii) Modellierung des Gefahrenpotenzials sämtlicher Seen in Südtirol benötigt werden. Eine graphische Darstellung des Workflows kann Abbildung 3 entnommen werden. Die erarbeiteten Ergebnisse werden in Kapitel 6 mehrheitlich als Karten visualisiert und erläutert. Dabei erfolgt dieselbe Untergliederung wie in Kapitel 5. Schließlich werden die gewonnenen Ergebnisse in Kapitel 7 diskutiert. So werden allfällige Unsicherheiten und kritische Aspekte der Modellierungen genauer untersucht und aufgezeigt. Anschließend folgt ein Ausblick in die zukünftigen Gefahren von Hochgebirgsseeausbrüchen und deren Modellierung.

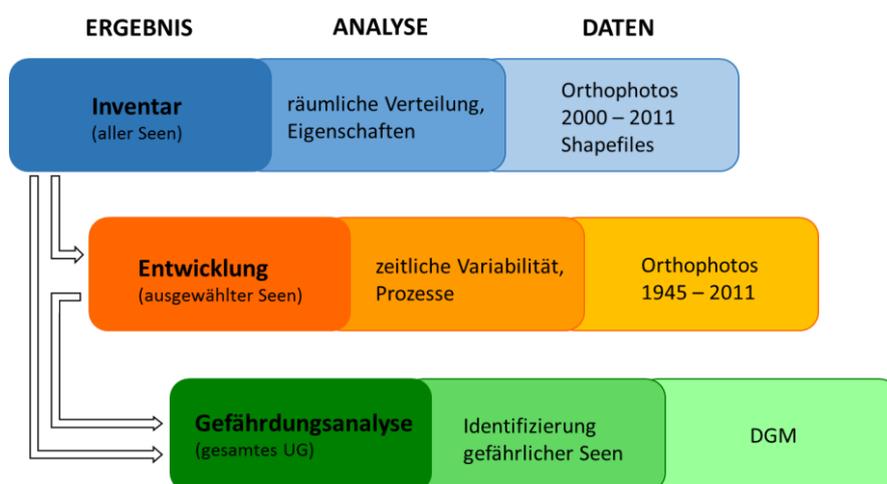


Abbildung 3: Workflow (verändert nach MERKL (2015))

Der Inhalt und insbesondere der Aufbau der Arbeit lehnt sich an die Masterarbeit von MERKL (2015) an, in der die Gefährdung von Gletscherseeausbrüchen des österreichischen Bundeslandes Tirol untersucht wurden.

2. Gletschergefahren

Gletscher sind dazu in der Lage, die Landschaft zu formen, und sie beeinflussen bis heute die Prozesse im Hochgebirge. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts befinden sich die Gletscher der Alpen mit nur kurzen Unterbrechungen im Rückzug. Schwankungen der Eisbedeckung gibt es bereits seit vielen tausend Jahren. Da das Auftreten von Gletschergefahren an die Veränderungen der Gletscherstände gekoppelt ist, wird nachfolgend ein grober Überblick über die Schwankungen der Eisbedeckung der Vergangenheit gegeben. Anschließend werden die verschiedenen Gletschergefahren erläutert und anhand von einigen Fallbeispielen veranschaulicht.

2.1. Gletscherfluktuationen

Bereits im Präkambrium und Paläozoikum sollen kalte Klimabedingungen zu Eisausbildungen auf der Erde geführt haben (ABERMANN, 2011). Die wechselnden Eis- und Warmzeiten des Quartärs, die unter anderem auf die Milankovitch-Zyklen sowie weitere Einflussfaktoren zurückgeführt werden, führten in den vergangenen ca. 2,5 Mio. Jahren zu ca. 50 glazialen/interglazialen Zyklen. Das weltweite Eismaximum der letzten Eiszeit wird auf ca. 24'000–19'000 Jahre zurückgeschätzt und kann teilweise noch heute in der Landschaft anhand von Moränenwällen erkannt werden. Nach diesem Höchststand der letzten Eiszeit zogen sich die Gletscher zurück und verloren innerhalb weniger hundert bis tausend Jahre rund 50 % ihrer Länge (ABERMANN, 2011). Gemäß VAN HUSEN (1997) ist dieser rapide Gletscherschwund auf die Bildung von Gletscherseen und das Kalben der Gletscher in ebendiese zurückzuführen. Während der jüngeren Dryaszeit (vor ca. 10'700–9'700 a) ermöglichten die kalten klimatischen Bedingungen einen erneuten Gletschervorstoß. Dennoch setzte sich der Trend des Gletscherrückzuges im Holozän (vor ca. 10'000 a bis heute) mit einigen Unterbrechungen weiter fort. Der Abbildung 4 können die Klimaschwankungen des Holozäns entnommen werden. Entsprechend diesen Klimaschwankungen entwickelten sich auch die Gletscher, die sich in Warmzeiten zurückzogen und unter kalten klimatischen Bedingungen vorstießen (ABERMANN, 2011).

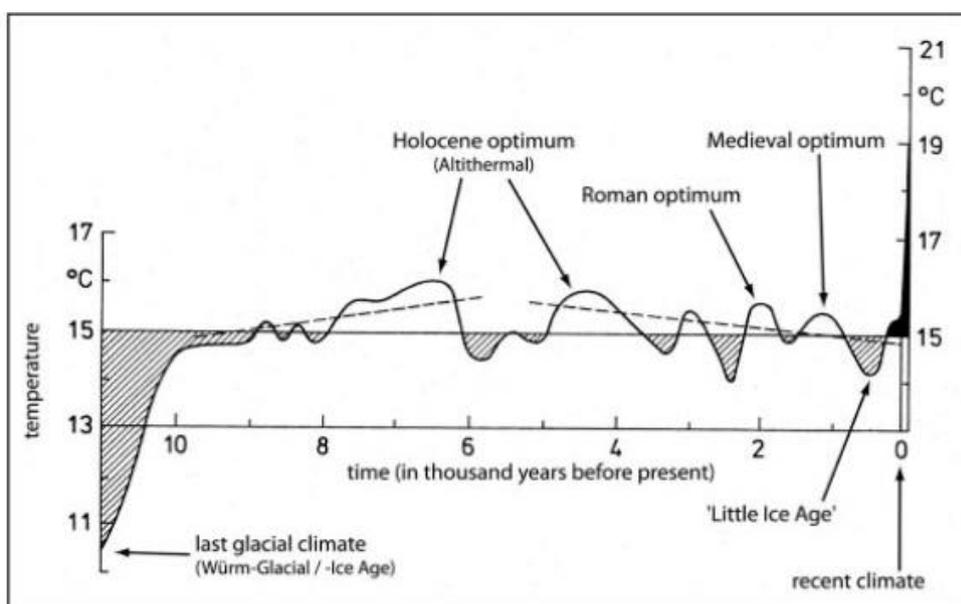


Abbildung 4: Temperaturschwankungen der nördlichen Hemisphäre im Holozän (Quelle: BLÜMEL (2009: 104))

„Das vergangene Jahrtausend war im Alpenraum klima- und umweltgeschichtlich in Relation zur gesamten Nacheiszeit weitgehend durch kühle Temperaturen und wiederholte, weitreichende Gletschervorstöße sowie überwiegend große Gletscherstände gekennzeichnet“ (NICOLUSSI, 2013: 69). Während der Kleinen Eiszeit (LIA), „deren Hauptphase vom späten 16. Jahrhundert bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts anzusetzen ist“ (NICOLUSSI, 2013: 69), und die vor allem durch Vulkanausbrüche eingeleitet wurde, kam es zu den größten historischen Gletscherfluktuationen. Die maximale Gletscherausdehnung der LIA wurde 1820–1850 erreicht. Noch heute kann diese maximale Ausdehnung der Alpengletscher im Gelände an den dominanten 1850er End- und Seitenmoränen erkannt werden, „die sich durch ihre Länge und Mächtigkeit oft deutlich von Moränen jüngerer Phasen unterscheiden“ (BAUMEISTER, 2013: 95). Anschließend wurde der Gletscherrückzug nur noch durch kleinere Gletschervorstöße in den Jahren 1895, 1920 und 1960 unterbrochen (ABERMANN, 2011; BLÜMEL, 2009). Seit dem letzten Gletscherhöchststand von 1850 nahm die alpine Gletscherfläche bis zum Jahr 1975 um 35 % und bis 2000 um 50 % ab. Die Gletscherschwundrate verdreifachte sich folglich in der Periode von 1975 bis 2000 im Vergleich zu jener von 1850 bis 1975 (ZEMP et al., 2006).

Die Klimaerwärmung (s. auch Kapitel 4.14.1) und der daraus resultierende Gletscherschwund beeinflussen das Auftreten, die Frequenz und die Magnitude von Naturgefahrenprozessen, insbesondere von Gletschergefahren (GRUBER & MERGILI, 2013; PIACENTINI et al., 2012; REYNOLDS, 2003; WORNİ et al., 2014).

2.2. Gletschergefahren

Gefahren, die von Gletschern oder Gletscheseen ausgehen bzw. mit ihnen in Zusammenhang stehen, werden unter dem Begriff Gletschergefahren zusammengefasst. Dabei unterscheidet REYNOLDS (2003) folgende Gefahrentypen (s. Tabelle 1): (REYNOLDS, 2003; RICHARDSON & REYNOLDS, 2000)

Tabelle 1: Gefahrentypen (Quelle: REYNOLDS (2003) verändert von MERKL (2015: 6))

Gefahrentyp	Prozessart	Prozessdauer
Massenbewegungen	Eislawine	Minuten
	Felslawine/Bergsturz	Minuten
	Murgang	Stunden
Gletscherhochwasser	Wassertaschenausbruch	Stunden
	Gletscherseeausbruch	Stunden
Gletscherlängen- und Volumenänderung	Gletscherfluktuation	Jahre
	Gletschersurge	Monate

Aufgrund der Beziehung der verschiedenen Gletschergefahren untereinander und insbesondere ihrer Auswirkungen auf die Auslösung oder Entwicklung eines Gletscherseeausbruches werden die einzelnen Gletschergefahren nachfolgend genauer erklärt. Dabei wird vor allem auf die detaillierte Erläuterung der Gletscherseeausbrüche Wert gelegt.

2.2.1. Gletscherlängen- und Volumenänderung

Gletscherfluktuation

In Abhängigkeit der Solarkonstante und der daraus resultierenden Klimaschwankungen sowie weiterer atmosphärischer Bedingungen schwanken die Gletscher zwischen Vorstoß und Rückzug. Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit kann allerdings ein grundsätzlicher Rückzug der Gletscher beobachtet werden. In Kapitel 2.1 Gletscherfluktuationen wurde bereits ausführlich auf die unterschiedlichen Aspekte der Gletscherfluktuationen hingewiesen, diese werden deshalb an dieser Stelle nicht nochmals erläutert.

Gletschersurge

Surgegletscher – auch galoppierende Gletscher genannt – können von den klassischen Gletscherfluktuationen primär anhand der Prozessdauer der Gletscherausbreitung differenziert werden. So stoßen Surgegletscher in verhältnismäßig kurzer Zeit vor und weisen eine deutlich höhere Vorstoß-Rückzug-Frequenz auf als andere Gletscher. Gemäß INGÓLFSSON et al. (2016) kann ein Surgegletscher folgendermaßen definiert werden: „(...) outlet glacier that periodically has major fluctuations in velocity over timescales that range from a few years to several decades or centuries“ (INGÓLFSSON et al., 2016: 38). Weltweit gehören nur weniger als 1 % aller Gletscher dem Gletschertyp der Surgegletscher an, die vor allem in Alaska, im arktischen Kanada, in Grönland, aber auch auf Island, im Kaukasus und im Pamir vorkommen. Das Auftreten von Surgegletschern wird durch bestimmte Umweltfaktoren kontrolliert, sodass sie nur in Regionen mit bestimmten klimatischen Bedingungen anzutreffen sind. Dabei sollten die mittlere jährliche Temperatur zwischen 0 und 10 °C und der mittlere jährliche Niederschlag zwischen 200 und 2'000 mm liegen. Entsprechend den klimatischen Rahmenbedingungen können sich sowohl temperierte als auch polythermale¹ Gletscher zu Surgegletschern entwickeln (BRYNJÓLFSSON et al., 2016; INGÓLFSSON et al., 2016). Es ist allerdings davon auszugehen, dass die Entstehung eines Surgegletschers nicht nur von klimatischen Bedingungen abhängt, denn im Vergleich zu anderen Gletschern reagieren Surgegletscher nicht direkt auf den Klimawandel (BRYNJÓLFSSON et al., 2016).

Trotz unzähliger Untersuchungen an Surgegletschern liegt noch vieles im Unklaren. Eine einheitliche Theorie zur Erklärung der Surgemechanismen besteht gemäß INGÓLFSSON et al. (2016) derzeit nicht. Dennoch werden heute drei unterschiedliche Surgemodelle differenziert, die die Entstehung des schwallartigen Gletschervorstoßes erklären sollen und die in Abbildung 5 graphisch dargestellt werden (BRYNJÓLFSSON et al., 2016; INGÓLFSSON et al., 2016):

¹ Bei polythermalen Gletschern handelt es sich um komplexe Gletscher mit sowohl warmem als auch kaltem Eis (ALEAN & HAMBREY, 2006).

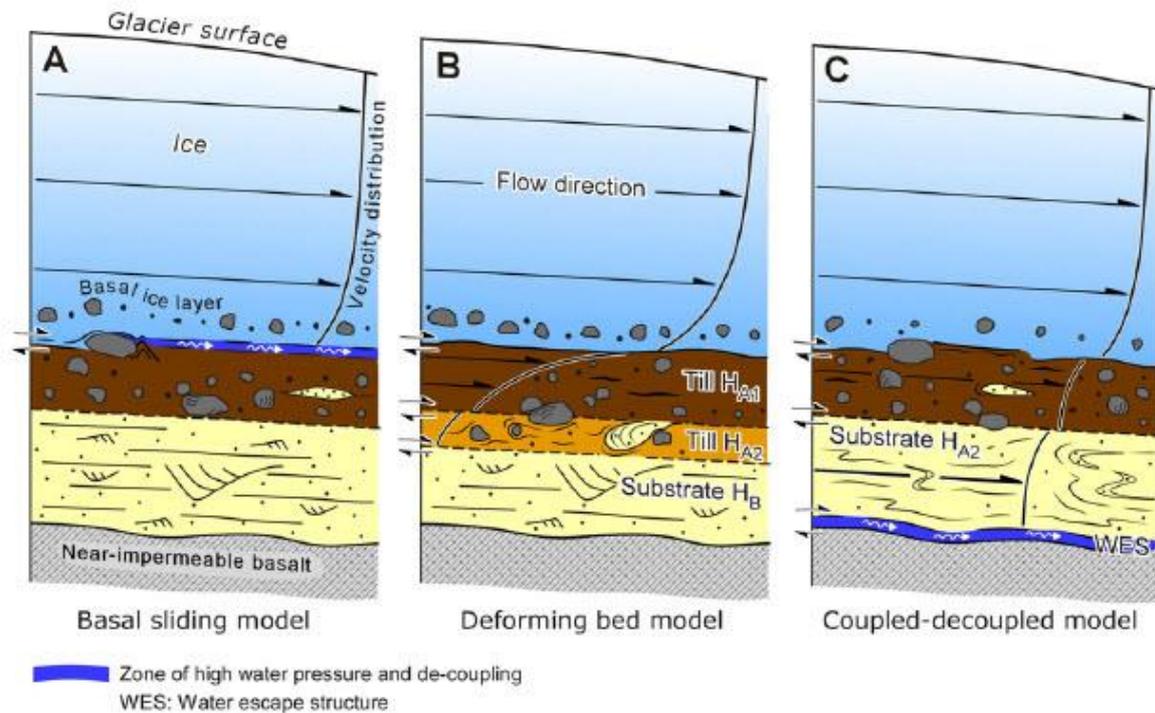


Abbildung 5: Surgegletscher-Modelle: a) basal sliding model; b) deforming bed model; c) coupled-decoupled model (Quelle: INGÓLFSSON et al. (2016: 43))

A) Basal sliding model (Gletschergleiten)

Der Gletscher ist durch einen Schmelzwasserfilm von seinem darunterliegenden Bett entkoppelt, sodass der Gletscher schneller über das Gletscher-Grundmoränen-Interface gleiten kann. Es kommt nur zu einer geringen bzw. keiner subglazialen Deformation des Untergrundes.

B) Deforming bed model

Der Gletscher ist mit der darunterliegenden Grundmoräne verbunden. Das schnelle, schwallartige Vordringen der Eismassen wird durch die subglaziale Deformation von wassergesättigten Sedimenten hervorgerufen. Der effektive Druck ist dabei relativ gering. Innerhalb der Grundmoräne können verschiedene Schichten differenziert werden, die unterschiedliche Deformierungsgrade aufweisen.

C) Coupled-decoupled model

Der Gletscher ist ebenfalls mit der Grundmoräne verbunden. Zwischen der Grundmoräne und dem felsigen Untergrund fließt allerdings Schmelzwasser. Der Überdruck, mit dem das Schmelzwasser zwischen dem Fels und der Grundmoräne fließt, führt dazu, dass die Grundmoräne vom Fels abgekoppelt wird, sodass das Gletschereis surgeartig vordringen kann. Zusätzlich zum Gletschereis werden auch die subglazialen Sedimente von der schwallartigen Bewegung des Gletschers mitgerissen.

Bei Surgegletschern wird eine aktive Phase (surge phase), während derer der Gletscher vorstößt, von einer passiven Phase (quiescent phase), in der der Gletscher deutlich langsamer fließt bzw. stagniert, differenziert. Während die surge phase einige Monate bis zu einigen Jahren anhalten kann, kann die

quiescent phase mehrere Dekaden bis Hunderte von Jahren andauern (BJÖRNSSON et al., 2003; BRYNJÓLFSSON et al., 2016; INGÓLFSSON et al., 2016). Die Surgephase wird üblicherweise bereits zwei bis drei Jahre vor den klaren Anzeichen des Gletschervorstoßes durch eine deutliche Erhöhung der Fließgeschwindigkeit des Gletschers eingeläutet. Dabei bildet sich innerhalb des oberen Akkumulationsgebiets des Gletschers eine Zone aus, in der die höchsten Geschwindigkeiten gemessen werden können. Im unteren Bereich dieser Zone kommt es schließlich aufgrund der höheren Fließgeschwindigkeiten zur Verdickung des Eises, die sich in Form einer Beule präsentiert. Das Auftreten und Vorstoßen einer solchen Beule ist der erste eindeutige Hinweis auf eine Surgephase. Mit einer Geschwindigkeit von 20–80 m/d dringt die Beule innerhalb von ca. sechs Monaten bis zu einem Jahr bis zur Gletscherschnauze vor. Sobald die Beule an der Gletscherschnauze angekommen ist, stößt der Gletscher schließlich als Ganzes vor (BJÖRNSSON et al., 2003). Dabei weisen die Gletscher in der surge phase Geschwindigkeiten auf, die zwei bis drei Mal grösser sind als diejenigen der quiescent phase (BRYNJÓLFSSON et al., 2016). Üblicherweise stoßen Surgegletscher während ihrer aktiven Phase um mehrere hundert Meter bis mehrere Kilometer vor (BJÖRNSSON et al., 2003; BRYNJÓLFSSON et al., 2016). So konnten beispielsweise bei den isländischen Surgegletschern Gletschervorstoßraten von 100 m in nur 24 h gemessen werden (BJÖRNSSON et al., 2003). Während einer Surge können bis zu 25 % des totalen Eisflusses des Gletschers und somit enorme Eisvolumen transportiert werden, was zu einer Ausdünnung der Eisdecke im Akkumulationsgebiet von bis zu 100 m führen kann (BJÖRNSSON et al., 2003; BRYNJÓLFSSON et al., 2016; INGÓLFSSON et al., 2016). Folglich widerfahren dem Gletscher während einer Surge markante Veränderung in seiner Geometrie und Morphologie (BJÖRNSSON et al., 2003; BRYNJÓLFSSON et al., 2016; INGÓLFSSON et al., 2016). So nimmt beispielsweise die Oberflächenrauigkeit des Gletschers deutlich zu. Diese zunehmende Oberflächenrauigkeit und das Vordringen in tiefere Höhen führen dazu, dass das Eis schneller schmilzt, was zu einem erhöhten Abfluss führt. Zudem nimmt auch die Sedimentfracht während einer Surge deutlich zu (BJÖRNSSON & PÁLSSON, 2008; BJÖRNSSON et al., 2003).

2.2.2. Massenbewegungen

Eine Klassifizierung der unterschiedlichen Massenbewegungstypen wird von HUNGR et al. (2014) vorgenommen. Im Rahmen dieser Arbeit werden allerdings nur jene Massenbewegungstypen genauer erläutert, die für die Entstehung bzw. die Ausbreitung eines Gletscherseeausbruches direkt relevant sind.

Eislawinen

Eislawinen entstehen verhältnismäßig selten, wenn Segmente eines steilen oder hängenden Gletschers aufgrund einer kritischen Massenverteilung abbrechen oder abrutschen und talwärts fallen (HUGGEL et al., 2004a; SALZMANN et al., 2004; VAW ETH ZÜRICH, o. J.). Dabei können interne Faktoren, wie beispielsweise die Abnahme der Adhäsion zwischen Gletschereis und Fels sowie die wirkenden Zug- und Scherkräfte, aber auch externe Faktoren, wie Erdbeben oder Felsstürze, die Auslösung einer Eislawine verursachen (ALEAN, 1984; RÖTHLISBERGER, 1977; SALZMANN et al., 2004). Nachdem sich die Eissegmente vom Gletscher abgelöst haben, zerfallen die Eismassen in kleine Stücke (MARGRETH & FUNK, 1999) und stürzen mit enormen Geschwindigkeiten von bis zu 400 km/h hangabwärts (ZGRAGGEN-OSWALD, 2005). Im Vergleich zu anderen Gletschergefahren, wie beispielsweise GLOFs, weisen sie allerdings eine relativ geringe Reichweite auf. ALEAN (1984) ermittelte in den Alpen maximale Reichwei-

Gletschergefahren

ten von 6 km. In anderen Regionen können jedoch durchaus größere Reichweiten von Eislawinen beobachtet werden (ALEAN, 1984; SALZMANN et al., 2004). Ein Zusammenhang zwischen dem Volumen der Sturzmasse und seiner Reichweite konnte mithilfe von empirischen Studien in den Alpen widerlegt werden. Die Untersuchungen haben ergeben, dass Eislawinen ein Pauschalgefälle von mindestens 17° aufweisen (HUGGEL et al., 2004a; SALZMANN et al., 2004; VAW ETH ZÜRICH, o. J.). Eislawinen können zu jeder Jahres- und Tageszeit auftreten, wobei die Wahrscheinlichkeit bei temperierten Gletschern vor allem im Sommer und Herbst während der Gletscherschmelze erhöht ist (MARGRETH & FUNK, 1999).

ALEAN (1984) studierte die Entstehung und Ausbreitung von Eislawinen in den Schweizer Alpen und differenzierte aufgrund seiner Untersuchungen zwei unterschiedliche Typen von potenziellen Anrissgebieten für Eislawinen: „*ramp-type*“ (Rampentyp) und „*cliff-type*“ (Kantentyp).²

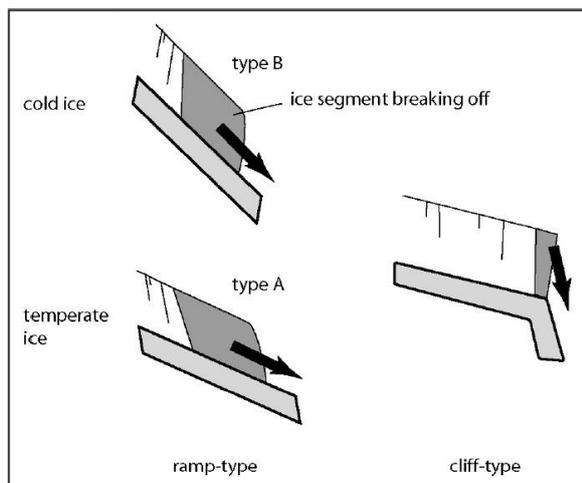


Abbildung 6: Potenzielle Anrissgebiete einer Eislawine (Quelle: SALZMANN et al. (2004: 77))

Wie in Abbildung 6 links ersichtlich, handelt es sich beim Rampentyp-Gletscher um ein Abgleiten des Gletschereises auf dem Felsuntergrund, das durch die Abnahme der Adhäsion, bedingt durch Schmelzwasser, hervorgerufen werden kann (HUGGEL et al., 2004a). Dabei können sehr große Eismassen von > 1 Mio. m³ losgelöst werden. Bei diesem Typ konnte eine Abhängigkeit der Eislawinenanfälligkeit und der Höhenlage des Gletschers sowie der Neigung des Untergrundes festgestellt werden. Bei kalten Gletschern, die sich in höheren Lagen befinden, ist für das Abrutschen der Eismassen eine steilere Hangneigung nötig, da sie grundsätzlich stabiler und dadurch resistenter gegenüber Eislawinen sind. Gemäß empirischen Studien lösen sich Eislawinen bei kalten Gletschern erst ab einer Hangneigung von 45°. Bei temperierten Gletschern hingegen, die sich in geringeren Höhenlagen befinden, können sich bereits ab einer Hangneigung von ca. 25° Eislawinen ablösen (vgl. Tabelle 2).

Bei Kantentyp-Gletschern hingegen (s. Abbildung 6 rechts) bewirken die Zug- und Scherbelastungen des hängenden Gletschers, dass immer wieder kleinere Gletschersegmente abbrechen, die schließlich während ihres Falls ins Tal in kleine Eisstücke zerbrechen. Im Vergleich zu den Rampentyp-Gletschern brechen bei diesem Typ deutlich kleinere Eismassen von < 1 Mio. m³ ab (vgl. Tabelle 2). Es handelt sich dabei um einen normalen Ablationsprozess jener Gletscher, die sich an sehr steilen Hängen befinden (ALEAN, 1984; HUGGEL et al., 2004a; SALZMANN et al., 2004; VAW ETH ZÜRICH, o. J.).

² Anmerkung: Die Untersuchungen von ALEAN (1984) beschränkten sich mehrheitlich auf Eislawinen in den Alpen. Die ermittelten Grenzwerte beziehen sich folglich primär auf den Alpenraum.

Gletschergefahren

Tabelle 2: Gletschereigenschaften potenzieller Anrissgebiete einer Eislawine

Gletschertypen	Gletscherart	Hangneigung	Volumen
Ramp-type Glacier	Cold ice	45°	> 1 Mio. m ³
	Temperate ice	25°	
Cliff-type Glacier	–	–	< 1 Mio. m ³

Zusätzlich zu den herunterstürzenden Eismassen können weitere sekundäre Effekte wie eine Luftdruckwelle oder, falls die Eislawine in einen See stürzt, eine Schwallwelle entstehen. Zudem sind Eislawinen dazu in der Lage, eine Talsperre zu bilden und so Flüsse oder Bäche aufzustauen (HUGGEL et al., 2004a; RÖTHLISBERGER, 1977). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass die abgelösten Eismassen Schnee und/oder Geröll mittransportieren und sich folglich zu einer Stein-Schnee-Eislawine entwickeln (HUGGEL et al., 2004a; HUGGEL et al., 2004c).

Eislawinen treten am selben Gletscher immer wiederkehrend und in ähnlicher Art auf. Dieser Fakt hilft bei der Beobachtung und Analyse des Phänomens. Dennoch ist das Wissen über Eislawinen weiterhin sehr begrenzt (HUGGEL et al., 2004a; RÖTHLISBERGER, 1977). Forscher gehen jedoch davon aus, dass die Klimaerwärmung das Gefahrenpotenzial bzw. die Auftretenswahrscheinlichkeit von Eislawinen in manchen Regionen erhöhen wird (HUGGEL et al., 2004a; REYNOLDS, 2003; SALZMANN et al., 2004).

Felslawine/Bergsturz

„Rock avalanche is an extremely rapid, massive, flow-like motion of fragmented rock from large rock slide or rock fall“ (HUNGR et al., 2001: 235). Obwohl sie ebenfalls nur mit einer relativ geringen Frequenz auftreten, gehören sie dennoch aufgrund ihrer Eigenschaften zu den destruktivsten und bedrohlichsten Massenbewegungen (NAGELISEN et al., 2015; REYNOLDS, 2003; SOSIO et al., 2008). Hervorgerufen werden sie durch die „Verminderung der großräumigen Kohäsion im Gesteinsverband durch fortschreitende Verwitterung in den hangparallelen Klüften; auch durch Erweiterung dieser Klüfte infolge von seitlicher Druckentlastung oder durch erhöhte Wasserführung auf Klüften oder Schichtflächen, die als potenzielle Gleitfläche in Frage kommen“ (AHNERT, 2009: 90), sowie durch das Aufschmelzen des Permafrosts oder Erdbeben, die ebenfalls zu erhöhter Hanginstabilität führen (AHNERT, 2009; REYNOLDS, 2003). Felslawinen können in jeglicher lithologischer Umgebung auftreten (CROSTA et al., 2007; HUNGR et al., 2001). Im Vergleich zu Felsstürzen unterscheiden sich Bergstürze und die daraus resultierenden Felslawinen in Volumen und Bewegung. Während Felsstürze ein deutlich kleineres Volumen aufweisen, kann das Volumen von Felslawinen in sehr seltenen Ausnahmefällen zehn Kubikkilometer übersteigen (CROSTA et al., 2007; SOSIO et al., 2008). Zudem handelt es sich bei einem Felssturz meist um kleinere Felsblöcke, die rollend, fallend oder springend talabwärts gelangen. Felslawinen weisen eine deutlich höhere Energie auf. Während die Bewegung einer Felslawine zu Beginn noch jener eines Felssturzes gleicht, kann sich der Bergsturz nach kurzer Zeit zu einer fließenden Gesteinsmasse entwickeln (CROSTA et al., 2007; HUNGR et al., 2001). Anhand von historischen Felslawinen konnten einige ihrer Eigenschaften ermittelt werden. So wird das Volumen auf einen unteren Schwellenwert von 0,5–1 Mio. m³ festgesetzt. In den Alpen lag das Volumen vergangener Felslawinen zwischen 2 und 40 Mio. m³ (CROSTA et al., 2007; SOSIO et al., 2008). Auch die Fallhöhe kann innerhalb einer relativ großen Spannweite von wenigen hundert bis zu mehreren tausend Metern liegen (CROSTA et al., 2007). Diese Eigenschaften üben entsprechenden Einfluss auf die Geschwindigkeit einer Felslawine aus, die zwischen 20

und 70 m/s liegen kann (CROSTA et al., 2007; SOSIO et al., 2008). Bei der Felslawine von 1970 in Huascarán, Peru, wurden sogar Geschwindigkeitsspitzen von 278 m/s rekonstruiert. Allerdings lag die durchschnittliche Geschwindigkeit dieser Felslawine bei 76 m/s (SOSIO et al., 2008). „Other factors, such as the character and water content of materials in the debris and along the path of the rock avalanche, also play an important role“ (HUNGR et al., 2001: 235). So entwickelte sich beispielsweise eine initiale Felslawine nach ihrem Aufprall auf einen Gletscher zu einer Kombination von Fels- und Eislawine und erreichte dadurch weit größere Geschwindigkeiten und Reichweiten (HUGGEL et al., 2004c).

Das Verhalten von Felslawinen ist sehr komplex und wird bis heute ungenügend verstanden, weil Felslawinen oftmals in eher abgelegenen Gebieten passieren und zudem nur sehr selten genau beobachtet und aufgezeichnet werden können (CROSTA et al., 2007; HUNGR et al., 2001). Die Bewegung der Felslawinen überschreitet das klassische coulombsche Reibungsmodell bei weitem, sodass Modellierungen von Felslawinen oft sehr fehlerhaft sind und ihre Reichweite deutlich unterschätzt wird (HUNGR et al., 2001; SOSIO et al., 2008). Eine Zunahme der Frequenz und Magnitude von Felslawinen aufgrund des Klimawandels und dessen Folgen kann angenommen werden.

Murgang

Muren gehören, wie auch die anderen Gletschergefahren, zu den typischen Erscheinungsformen im Hochgebirge. Gemäß HUNGR et al. (2001) handelt es sich bei einem Murgang um „a very rapid to extremely rapid flow of saturated non-plastic debris in a steep channel“ (HUNGR et al., 2001: 231). Grundsätzlich entstehen Muren durch die Zufuhr von Wasser in den Boden, beispielsweise durch Niederschlag oder Schmelzwasser. Die Bodenporen füllen sich dementsprechend mit Wasser, bis sie einen gesättigten Zustand erreichen und ein positiver Porenwasserdruck entsteht. Dieser führt dazu, dass sich der Boden in Bewegung setzen kann und zu rutschen beginnt (AHNERT, 2009; MA et al., 2016). „High pore pressure within the shearing zone or subsurface deposits on the landslide travelling path can cause a phenomenon called liquefaction, thus leading to scale enlargement“ (MA et al., 2016: 323). PAVLOVA et al. (2014) stellten allerdings fest, dass zumindest in den französischen Alpen die Niederschlagsmenge nur einen geringen Einfluss auf die Auslösung einer Mure hat. Weitere Voraussetzungen für die Entstehung einer Mure sind „eine umfangreiche Akkumulation von Schutt mit hinreichend großem Anteil von Feinmaterial (...) und ein großes Gefälle“ (AHNERT, 2009: 94). PAVLOVA et al. (2014) weisen zudem daraufhin, dass eine Korrelation zwischen der Temperatur und der Auftretenswahrscheinlichkeit von Muren besteht (PAVLOVA et al., 2014).

Muren können sich oftmals aus einer anfänglich oberflächlichen Massenbewegung in Abhängigkeit der Materialverfügbarkeit entwickeln und sind dann in der Lage, sehr weite Distanzen zurückzulegen (MA et al., 2016). Für gewöhnlich strömen Muren entlang von Erosionsrinnen und können dabei Geschwindigkeiten von 0,05–20 m/s erreichen. Durch die Mischung von Wasser, Geröll, Mineralien und organischem Material erhalten sie ein sehr großes zerstörerisches Potenzial (D'AGOSTINO et al., 2010; HUNGR et al., 2001). Mit abnehmender Hangneigung verlangsamt sich die Mure schließlich wieder und lagert das mitgeführte Material als Murkegel ab, der eine für ihn typische unsortierte Lagerung von Fein- und Grobmaterial aufweist. Üblicherweise weisen die Murkegel ein Gefälle von ca. 8–12° auf (AHNERT, 2009). Frequenz, Magnitude, Intensität und Schweregrad einer Mure weisen große Variationen auf (PAVLOVA et al., 2014).

Aufgrund der Interaktion zwischen den verschiedenen meteorologischen und geomorphologischen Einflussfaktoren, die die Auslösung einer Mure begünstigen, ist das Verständnis des Murgangprozesses nach wie vor begrenzt. Anhand von empirischen Analysen werden dennoch Versuche angestellt, um Niederschlagsschwellenwerte zu ermitteln, die die Verbesserung von Vorhersagen und dem Risikomanagement erzielen sollen (D'AGOSTINO et al., 2010; GIANNACCINI et al., 2016). Allerdings sind diese Schwellenwerte von der Höhe, Lithologie, Vegetation etc. abhängig und weisen daher starke regionale Unterschiede auf. Dementsprechend können die ermittelten Schwellenwerte eines Untersuchungsgebietes nur mit Vorsicht auf andere Regionen übertragen werden (PAVLOVA et al., 2014).

Wissenschaftler stellten fest, dass auch Muren gegenüber dem Klimawandel sensibel reagieren. Es wird davon ausgegangen, dass die Frequenz und die Magnitude von schwerwiegenden Murgängen in Zukunft zunehmen werden (PAVLOVA et al., 2014).

2.2.3. Gletscherhochwasser

Gletscherhochwasser sind in den meisten Fällen auf Seeausbrüche zurückzuführen. Durch die zunehmende Klimaerwärmung und das Aufschmelzen der Gletscher haben sich in den vergangenen Dekaden immer mehr Gletscherseen unterschiedlicher Größen gebildet (ITURRIZAGA, 2011). Die „plötzliche Entleerung eines glazial gespeicherten Wasserreservoirs“ (VAW ETH ZÜRICH, o. J.: 3) kann zu katastrophalen Flutwellen und Hochwasser führen, die sich mit nur wenigen Ausnahmen auf das Sommerhalbjahr beschränken (VAW ETH ZÜRICH, o. J.). „Among glacier hazards, glacier lake outburst floods possess the most far reaching impact zone“ (ITURRIZAGA, 2011: 394). Somit gehören Gletscherseeausbrüche zu den größten und wichtigsten Gletschergefahren, die über das größte direkte Gefahrenpotenzial verfügen (VAW ETH ZÜRICH, o. J.; WORNİ et al., 2013). Dennoch handelt es sich bei Gletscherseeausbrüchen um Gletschergefahren mit einer *low frequency*, die also nur relativ selten auftreten (MERGILI et al., 2015).

Grundsätzlich können zwei unterschiedliche Ausbruchstypen differenziert werden: Gletschersee- und Wassertaschenausbrüche. Bei Wassertaschen handelt es sich um subglaziale Seen, also um Wassersammlungen, die sich unter der Gletscheroberfläche befinden und daher nur sehr schwer bis gar nicht aufzufinden sind. Gedämmt werden sie durch das Gletschereis. Oftmals werden Wassertaschen- bzw. Gletscherausbrüche mit dem isländischen Begriff *jökulhlaup* (Gletscherlauf) gleichgesetzt, bei dem subglaziale vulkanische Aktivitäten zu einem Gletscherausbruch führen (RICHARDSON & REYNOLDS, 2000). Als Gletscherseen hingegen werden sämtliche Seen, die sich auf, vor oder neben dem Gletscher befinden, definiert. Sie sind folglich im Gelände ersichtlich und können durch unterschiedliche Dammmaterialien (s. Tabelle 3) aufgestaut werden (FLUBACHER, 2007; VAW ETH ZÜRICH, o. J.). In dieser Arbeit werden beide Ausbruchstypen unter dem Begriff Gletscherseeausbruch (GLOF) zusammengefasst.

Tabelle 3: Übersicht der Seeposition und des wahrscheinlichen Dammtyps (verändert nach MERKL (2015))

Lage des Sees	Dammmaterial
sub-/en-/supraglazial	Gletschereis
randglazial	Gletschereis und Moräne
proglazial	Moräne (evtl. mit Toteis) oder Fels
periglazial	Moräne/Lockermaterial oder Fels
nicht-glazial	Fels
anthropogen	Staumauer oder Staudamm

Gletschergefahren

Da die Lage und der Dammtyp eines Gletschersees Auswirkungen auf die Auslösung und die Entwicklung eines Ausbruches haben, werden diese beiden Attribute im Folgenden erläutert.

Gletscherseen können wie bereits erwähnt in Relation zum Gletscher an unterschiedlichen Positionen auftreten. Abbildung 7 zeigt eine schematische Visualisierung potenzieller Gletscherseelagen.

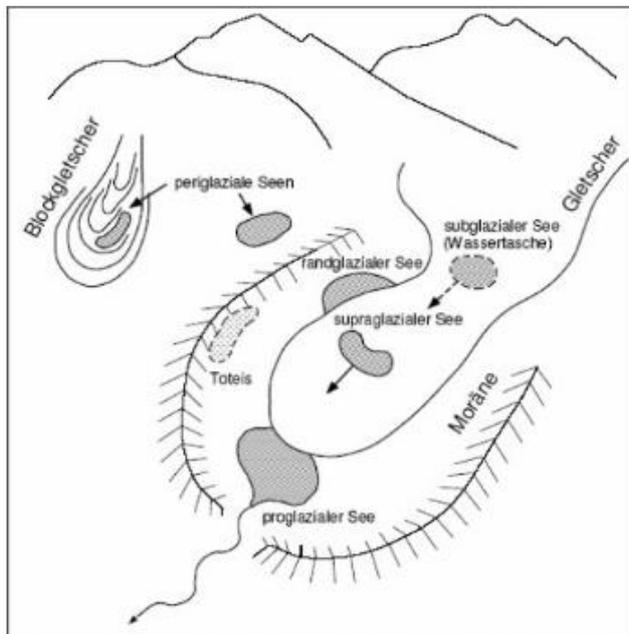


Abbildung 7: Glaziale Wasserreservoirs (Quelle: RAYMOND et al. (2003) übernommen aus FLUBACHER (2007: 7))

Je nach Lage des Gletschersees können interne und/oder externe Einflüsse für die Auslösung eines Ausbruches verantwortlich sein. Zu den externen Faktoren, die einen Gletscherseeausbruch auslösen können, gehören Massenbewegungen, kalbende Gletscher, Starkniederschläge, Schmelzwasser, Erdbeben oder auch vulkanische Aktivitäten. Sie können dazu führen, dass der See überflutet wird oder die internen Dammsstrukturen geschwächt werden (HUGGEL et al., 2004a; WESTOBY et al., 2014; WORNİ et al., 2013). In Abbildung 8 werden sämtlich externen (A–C, F, G) und internen (D–E, a–d) Faktoren, die zu einem Gletscherseeausbruch führen können, schematisch anhand eines moränengedämmten Sees visualisiert (WESTOBY et al., 2014).

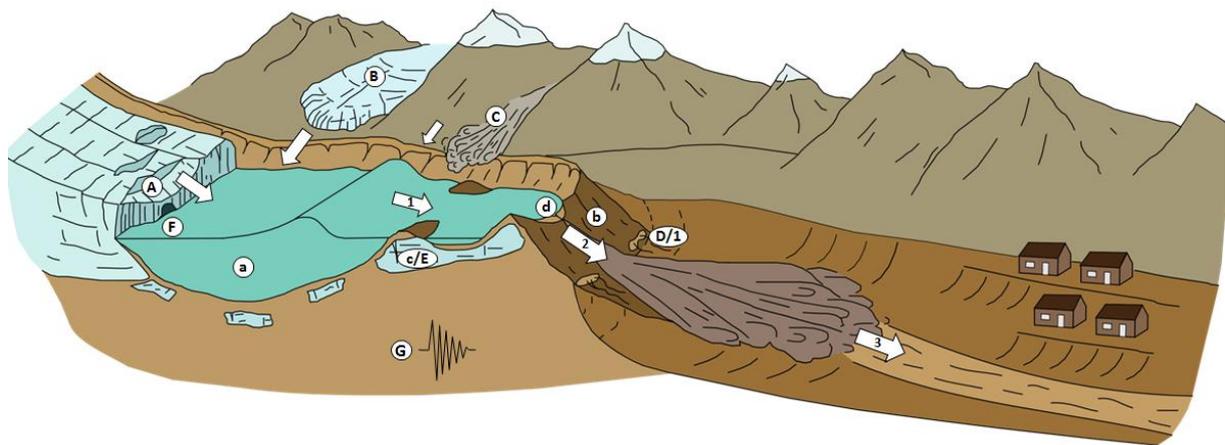


Abbildung 8: Schematische Darstellung eines potenziell gefährlichen moränengedämmten Sees. Dargestellt werden die potenziellen Trigger, die Faktoren der Grunddisposition sowie die Schlüsselphasen einer GLOF. Potenzielle Trigger: (A) kalbende Gletscher; (B) Eislawinen von hängenden Gletschern; (C) Fels-/Eis-/Schneelawinen; (D) Dammsenkung und/oder Dambruch; (E) Moräneneiskerndegradierung; (F) schneller Wasserinput von supra-, en- oder subglazialen Wasserquellen; (G) Erdbeben. Faktoren der Grunddisposition: (a) großes Seevolumen; (b) geringes Breite-Höhen-Verhältnis; (c) Degradierung des Eiskerns in der Moräne; (d) geringer Freibord. Schlüsselphasen einer GLOF: (1) Wellenausbreitung im See und Wellenauflauf und/oder Damüberströmung; (2) Dambruch; (3) Flutwellenausbreitung. (Quelle: WESTOBY et al. (2014: 139) verändert nach RICHARDSON & REYNOLDS (2000))

Je nach Dammtyp eines Gletschersees besteht die Möglichkeit des internen Versagens des Damms. Daher werden nachfolgend die unterschiedlichen Dammtypen und die potenziellen Faktoren, die zum internen Versagen führen können, erläutert.

Grundsätzlich kann ein Gletschersee durch Eis, Moränenmaterial oder Fels aufgestaut werden. In der Literatur wird meist nur zwischen eis- und moränengedämmten Gletscherseen unterschieden (ITURRIZAGA, 2011; VAW ETH ZÜRICH, o. J.). Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass einerseits die Verbreitung dieser Dammtypen am größten ist und dass andererseits das Gefahrenpotenzial eines Gletscherseeausbruchs bei diesen Dammtypen besonders hoch ist.

In der vorliegenden Arbeit werden zudem hochalpine Seen berücksichtigt, die durch Massenbewegungen oder durch Staumauern bzw. Staudämme (anthropogen) aufgestaut werden.

Eisdamm

Eisgedämmte Gletscherseen entstehen meist während Phasen des Gletschervorstoßes. In dieser Phase können die Gletscher beispielsweise Talsperren bilden und so Wasserläufe aufstauen. Allerdings können sich auch im Zuge des Gletscherrückzuges randglaziale Gletscherseen bilden, die ebenfalls von Gletschereis gedämmt werden (s. Abbildung 9) (ITURRIZAGA, 2011; VAW ETH ZÜRICH, o. J.).

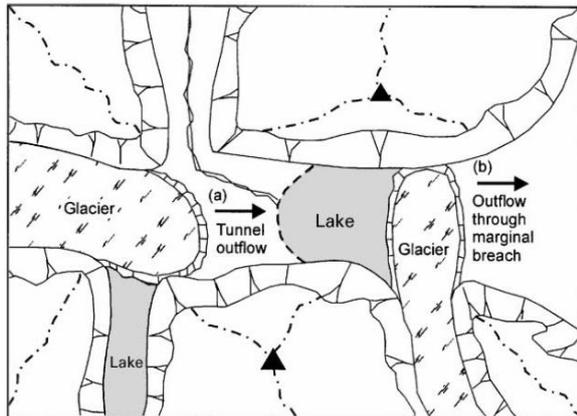


Abbildung 9: Eisgedämmte Gletscherseen (Quelle: WALDER & COSTA (1996), übernommen aus RICHARDSON & REYNOLDS (2000: 34))

Bei kalten Gletschern ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Eisdamm bricht, relativ gering. Dennoch kann der Damm bei einem Anstieg des Seepegels überspült werden (ITURRIZAGA, 2011). Bei temperierten oder polythermalen Gletschern kommt es vor, dass der Eisdamm durch mechanische oder hydraulische Mechanismen bricht, sodass die Wassermassen durch einen progressiv größer werdenden Abflusskanal ausfließen können. Beim mechanischen Bruch des Eisdammes kann der Damm den Wassermassen nicht mehr standhalten und versagt, sodass die Wassermassen meist durch subglaziale Kanäle aus dem See auslaufen können. Dieses Phänomen trifft vor allem auf Gletscherseen zu, deren Eisdamm aus Eistrümmern besteht. Hydraulische Mechanismen können dann zum Versagen des Eisdammes führen, wenn der Seespiegel auf 10/11 der Eismächtigkeit des Eisdammes ansteigt und somit das Eis, bedingt durch die Dichteunterschiede zwischen Eis und Wasser, in Schwebelage gebracht wird und auf dem Wasser aufschwimmt (ITURRIZAGA, 2011; RICHARDSON & REYNOLDS, 2000; VAW ETH ZÜRICH, o. J.). „Nach dem Anheben des Gletschers erfolgt ein progressiver Grundwasserabfluss am Gletscherbett. Die Entleerung des Sees ist von der Transportkapazität des subglazialen Kanals abhängig, welche zunächst durch die Schmelze ansteigt und mit der Zeit durch die Kontraktion des Kanals unter der Eislast wieder abnimmt“ (VAW ETH ZÜRICH, o. J.).

Moränendamm

Geformt werden Moränendämme während des Gletschervorstoßes. Sobald sich der Gletscher wieder zurückzieht, bleibt das von ihm transportierte und aufgetürmte Geröll in Form einer Moräne in der Landschaft zurück. Moränenwälle kennzeichnen sich durch sehr steile Hangneigungen, die eine innere Neigung von bis zu 80° und eine äußere Hangneigung von 20–35° aufweisen können. Zudem können sie Höhen von bis zu 200 m erreichen (ITURRIZAGA, 2011; WESTOBY et al., 2014). Moränen bestehen aus unkonsolidierten Lockergesteinen und können teilweise auch reliktsches Toteis enthalten (VAW ETH ZÜRICH, o. J.). Die Verdichtung, Porosität und der Permafrost- oder Toteiskern eines Moränendammes bestimmen seine Stabilität maßgeblich. Je größer die Verdichtung und der Permafrost-/Eiskernanteil sind und je geringer der Porenanteil ist, desto stabiler ist der Moränendamm (ITURRIZAGA, 2011).

Die Bildung von moränengedämmten Seen ist besonders bei geröllbedeckten, temperierten Gletschern zu beobachten (ITURRIZAGA, 2011). Durch externe Auslöser kann die Belastung auf den Moränendamm zunehmen, sodass es schließlich zur Erosion des Moränendammes kommen kann. Genauere

Gletschergefahren

Erläuterungen zum Verlauf eines Gletscherseeausbruchs bei moränengedämmten Seen bzw. zur Erosion des Moränendammes werden in Kapitel 1.1 dargestellt. Aufgrund ihrer schwachen Struktur und der losen internen Komposition sind moränengedämmte Seen besonders anfällig für einen Dammsammenbruch (WORNI et al., 2012).

Massenbewegungsdamm

Dieser Dammtyp verhält sich ähnlich wie der Moränendamm.

Felsdamm

Ein internes Versagen dieses Dammtyps kann grundsätzlich ausgeschlossen werden. Äußere Faktoren können allerdings dazu führen, dass der Gletschersee den Damm überspült und so Wassermassen ins Tal stürzen können (REYNOLDS, 2003).

Anthropogener Damm

Bei anthropogenen Dämmen handelt es sich um künstlich erbaute Staumauern, die einen See aufstauen und zurückhalten sollen. Diese künstlichen Dämme wurden so konzipiert, dass sie der Wasserlast des dahinterliegenden Sees standhalten können. Sie stehen unter ständiger Beobachtung. Dennoch kommt es in seltenen Fällen vor, dass der See die Staumauer überströmt oder Teile der Staumauer brechen und so große Schäden entstehen.³

Eigenschaften eines Gletscherseeausbruchs

Abhängig vom Seevolumen und davon, ob der Damm nur überflossen wurde oder teilweise bzw. ganz zusammengebrochen ist, können sich bei einem Gletscherseeausbruch mehrere tausend Kubikmeter Wasser innerhalb kurzer Zeit (Minuten – Stunden) mit Abflussraten von mehreren Mio. m³/s talwärts ergießen (ITURRIZAGA, 2011). Die Reichweite eines Gletscherseeausbruchs hängt stark von dessen Spitzenabfluss ab (VAW ETH ZÜRICH, o. J.). Grundsätzlich können die Flutwellen Distanzen von über hundert Kilometer zurücklegen (ANACONA et al., 2015; ITURRIZAGA, 2011). Dabei können sich die Wassermassen je nach Hangneigung des Geländes und der Materialverfügbarkeit von einer simplen Flutwelle zu einem Murgang weiterentwickeln und somit über eine signifikante Erosions- und Transportkapazität verfügen. Die Energie, die bei einem Gletscherseeausbruch freigesetzt wird, ist folglich sehr groß und weist bei eisgedämmten Seeausbrüchen die höchsten Werte auf (ANACONA et al., 2015; VAW ETH ZÜRICH, o. J.).

Die eben erläuterten Naturereignisse treten nur selten allein auf. Oftmals sind die einzelnen Prozesse aneinander gekoppelt und können Kettenreaktionen auslösen. So wird zum Beispiel angenommen, dass das surgeartige Vordringen des Allalngletschers im Sommer 1965 dazu geführt hat, dass Teile des Gletschers abgeglichen sind, was schließlich zur verheerenden Eislawine im Sommer jenes Jahres geführt hat (RÖTHLISBERGER, 1977). Des Weiteren können Felslawinen auf einen Gletscher stürzen und sich

³ Im Jahr 1987 brach der Zufritt-Stausee aufgrund anhaltender Regenfälle und technischer Probleme aus und richtete große Verwüstungen in der Gemeinde Martell an (MARTELL, 2012).

so zu einem Gemisch aus Fels- und Eislawine bilden. Ein Beispiel dafür war der Bergsturz im Kaukasus in Russland, der im Jahr 2002 auf einen Gletscher niederging und dadurch fast den kompletten Gletscher mit sich riss. Durch die Kombination der Fels- und Eisfragmente erreichte diese Fels-/Eislawine enorme Geschwindigkeiten und konnte dementsprechend eine lange Distanz zurücklegen (HUGGEL et al., 2004c).

2.2.4. Fallbeispiele

Anhand von unterschiedlichen Fallbeispielen von Gletscherseeausbrüchen aus unterschiedlichen Regionen werden im Folgenden die unterschiedlichen Einflussfaktoren, die einen Gletscherseeausbruch hervorrufen können, und deren Zusammenspiel nochmals verdeutlicht, denn insbesondere die Kombination von der Vielzahl der Einflussparameter macht einen Gletscherseeausbruch zu einem komplexen Phänomen. Die unterschiedlichen Fallbeispiele von Gletscherseeausbrüchen sollen auch die enormen potenziellen Auswirkungen von GLOFs und damit die dringende Notwendigkeit eines adäquaten Risikomanagements präsentieren.

Palcacocha, Cordillera Blanca, Peru, 1941

Nur 23 km nordöstlich der Andenstadt Huaraz, in einer Höhe von über 4'500 m ü. M., befindet sich der Gletschersee Palcacocha. Am 13. Dezember 1941 verursachte ein Erdbeben eine Eislawine, die in den See stürzte und dort eine Schwallwelle auslöste. Diese überschwemmte den Moränendamm, was zu dessen Destabilisierung und schließlich zu seinem Versagen führte. In der Folge entwickelte sich eine Flutwelle, die entlang der Erosionsrinne in den rund 8 km talabwärts liegenden moränengedämmten Jircacocha-See strömte. Die Massenbewegung führte dort ebenfalls zum Versagen des Moränendamms, sodass das Ausmaß des Gletscherseeausbruches weiter zunehmen konnte (CLAGUE & O'CONNOR, 2015; ITURRIZAGA, 2011; VILÍMEK et al., 2005). Die Flutwelle entwickelte sich aufgrund der Erosion des Moränenmaterials zu einem Murgang, der ca. 8 Mio. m³ Material mit sich führte. Nur kurze Zeit später erreichte der Murgang die Stadt Huaraz, wo er zum Tod von ca. 5'000 Menschen und der weitgehenden Zerstörung der Stadt führte (ITURRIZAGA, 2011). Bei diesem katastrophalen Ereignis handelt es sich um einen der tödlichsten Gletscherseeausbrüche (CLAGUE & O'CONNOR, 2015).

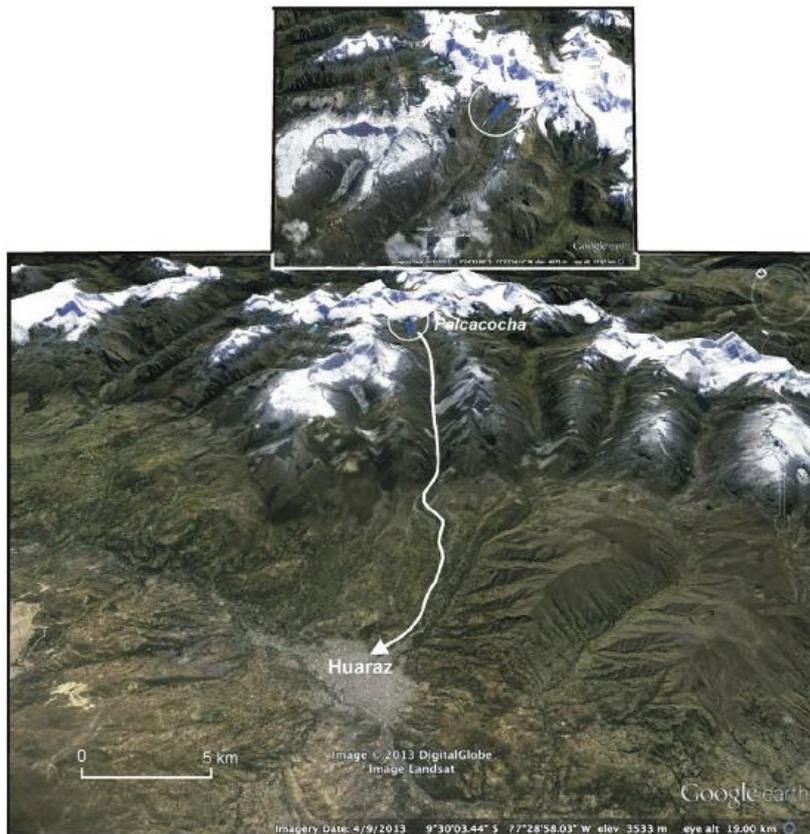


Abbildung 10: Laufbahn des Gletscherseeausbruchs der Laguna Palcacocha, Peru von 1941 (Quelle: CLAGUE & O'CONNOR (2015: 495))

Dig Tsho, Sagarmatha-Nationalpark, Nepal, 1985

Der Dig-Tsho-Gletschersee liegt im Westen des Sagarmatha-Nationalparks und wird durch die Endmoräne des Langmoche-Gletschers aufgestaut. Aufgrund einer ausgedehnten Warmperiode im Juli des Jahres 1985 löste sich vom Langmoche-Gletscher eine Eislawine ab, die in den vorgelagerten Dig-Tsho-See stürzte. Möglicherweise wurde die Eislawine von zusätzlichen Felsstürzen begleitet. Der Damm des Sees wurde von einer ca. 5 m hohen Welle überspült und anschließend fast vollständig erodiert. Forscher schätzen, dass innerhalb von nur vier Stunden ca. 6–10 Mio. m³ Wasser mit einer durchschnittlichen Abflussrate von ca. 500 m³/s aus dem See strömten. Zwischenzeitlich wies der Seeausbruch sogar maximale Abflussraten von ca. 2'000 m³/s auf. Während des Ausbruches riss der Strom das Moränenmaterial sowie weiteres loses Material, das sich entlang der Fließbahn befand, mit sich, sodass sich der Gletscherseeausbruch zu einer turbulenten Mischung von Wasser und Geröll entwickelte. Je nach Breite und Neigung der Laufbahn variierte das Volumen der Flutwelle, die schließlich mehrere zehn Kilometer zurücklegte und enormen Schaden anrichtete. Insgesamt fünf Menschen starben. Nebst einem Wasserkraftwerk und weiterer Infrastruktur wurden unzählige Hektar landwirtschaftliche Fläche und große Teile des Mount-Everest-Trekkingpfades zerstört. Zudem führte der Gletscherseeausbruch noch in 90 km Entfernung zur Destabilisierung der Talhänge und Flusskanäle. Insgesamt werden die Schäden auf ca. 3 Mio. Dollar geschätzt.

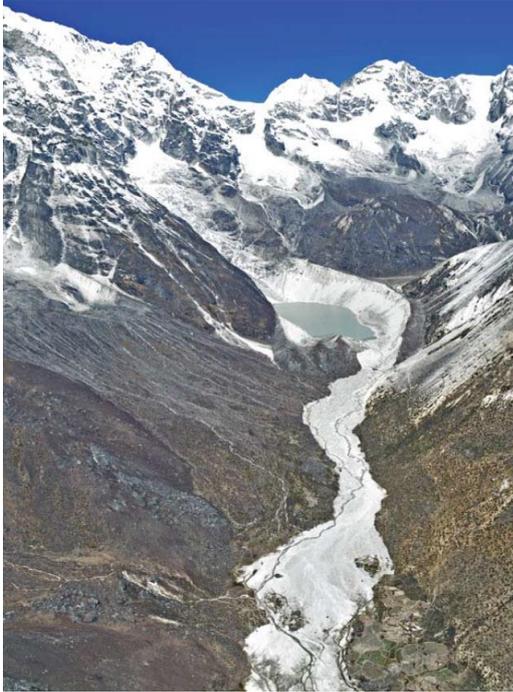


Abbildung 11: Ablagerungen des Dig-Tsho-Ausbruchs 1985 (Quelle: ICIMOD (2011: iv))

Der Moränendamm wurde während dieses Ereignisses fast vollständig erodiert, sodass sich heute nur noch ein kleiner See mit geringem Seepiegel bilden kann, dessen Ausbruchspotenzial nur noch sehr gering ist. Die Auswirkungen dieses Gletscherseeausbruches führten in Nepal zu einem wichtigen Wendepunkt in der Erforschung von potenziell gefährlichen Gletscherseen; dieser wurde ab dann wesentlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt (HORSTMANN, 2004; ICIMOD, 2011; RICHARDSON & REYNOLDS, 2000).

Lago Manso, Patagonien, Argentinien, 2009

An den Flanken des Vulkans Tronador befindet sich der Gletscher Ventisquero Negro, vor dem der moränengedämmte Lago Manso liegt. Lang anhaltende Starkniederschläge (170 mm in sechs Tagen) und warme Temperaturen führten im Mai 2009 zur internen Schwächung und dem anschließenden Versagen des Moränendammes. WORNİ et al. (2012) gehen davon aus, dass der erhöhte Seespiegel dazu führte, dass sich die Abflussrate des Sees und somit auch die Erosionsrate erhöhte. Die fortschreitende Erosion des Moränendammes führte schließlich zu dessen Zusammenbruch. Innerhalb von drei Stunden entleerte sich der See mit einem Volumen von ca. 10 Mio. m³ Wasser mit einer Abflussrate von ca. 4'100 m³/s. Die talwärts strömenden Wassermassen erodierten das Moränenmaterial und entwickelten sich zu einem Murgang, der sich allerdings nach ca. 1 km zu einem „hyperconcentrated flow“ entwickelte, welcher weiter stromabwärts floss. Dieser führte bis zu einer Entfernung von 10 km Überschwemmungen herbei, die Forstgebiete sowie Brücken und einige Häuser in Pampa Linda zerstörten (WORNİ et al., 2012). Die Ablagerungen des Gletscherseeausbruches des Ventisquero Negro sind nach wie vor sehr gut in Satellitenbildern des Jahres 2016 zu erkennen (s. Abbildung 12).



Abbildung 12: Ablagerungen des Gletscherseeausbruchs des Ventisquero Negro 2009 (Quelle: Google Maps 2016)

Russel Lake, Yukon, Kanada, 1986 und 2002

Der Hubbard-Gletscher, der im südlichen Alaska in den Pazifischen Ozean mündet, stößt immer wieder vor, sodass er in den Jahren 1968 und 2002 den Russel Fjord vom Meer abschnitt und dadurch den Russel Lake aufstaute. Durch das zusätzliche Schmelz- und Niederschlagswasser stieg der Seepiegel 1986 innerhalb von nur 5 Monaten um 26 m und 2002 innerhalb von zwei Monaten um 15 m an. Während es im Mai 1986 zu einem Versagen des Eisdammes kam, verursachte 2002 das Versagen des Moränendamms den Ausbruch des Gletschersees. Die maximalen Abflussmengen beliefen sich 1968 auf $112'418 \text{ m}^3/\text{s}$ und 2002 auf $52'386 \text{ m}^3/\text{s}$. Dabei handelt es sich um die beiden größten Gletscherseeausbrüche, die je erfasst wurden. Die ansässige Bevölkerung befürchtet, dass zukünftige Gletschervorstöße, die das Aufdämmen und anschließende Ausfließen des Russel Lake als Folge nach sich ziehen würden, einerseits zu Überschwemmungen des Ortes Yakutat und andererseits zur Überschwemmung des Situkflusses führen könnten. Dies würde große wirtschaftliche Folgen nach sich ziehen, da die Fischerei und der bekannte Anglertourismus darunter leiden würden (WILLEMS et al., 2011).

Gornersee, Schweiz, 2004/2005

Am seitlichen Rand des Gornergletschers bildet sich fast jedes Jahr ein eisgedämmter Gletschersee. In den Jahren 2004 und 2005 kam es in den Sommermonaten zu einem Gletscherseeausbruch (s. Abbildung 13). 2004 entleerten sich zwischen dem 2. und 6. Juli ca. 5,7 Mio. m^3 Wasser mit maximalen Abflussraten von $38 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Gletscherseeausbruch des Jahres 2005 wurde bereits früher eingeleitet,

Gletschergefahren

sodass eine deutlich geringere Wassermenge von nur ca. 1,5 Mio. m³ innerhalb von fünf Tagen ausbrach. Auch das Abflussmaximum von ca. 20 m³/s liegt deutlich unter jenem des Jahres 2004. HUSS et al. (2007) berechneten, dass es sich bei ca. 40–75 % der abfließenden Wassermassen um Seewasser handelte.

Es wird angenommen, dass der Eisdamm in der Nähe des Sees im Jahr 2004 kurzzeitig durch hydraulische Mechanismen angehoben worden war. Da der See 2005 ein deutlich geringeres Seevolumen als 2004 aufwies, wird davon ausgegangen, dass sich der See durch die progressive Zunahme des Ausflusses und durch die Vergrößerung der subglazialen Kanäle entleerte (Huss et al., 2007).

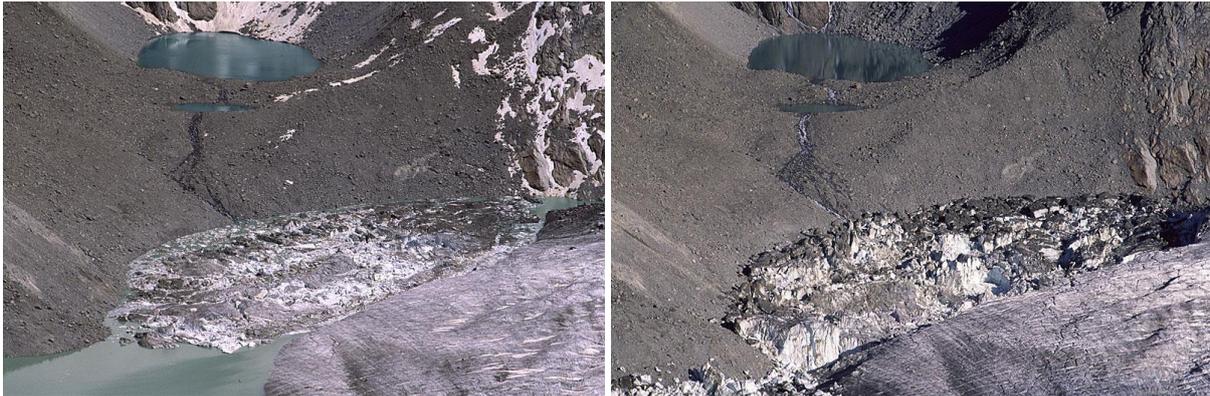


Abbildung 13: Gornersee vor (l.) und nach (r.) dem Gletscherseeausbruch von 2004 (Quelle: ALEAN & HAMBREY (2007))

Frühere Seeausbrüche (1900, 1944, 1966) führten im Tal bei Zermatt und Täsch zu enormen Schäden durch Hochwasser. „Seit eine Wasserfassung der Grande Dixence unterhalb der Gletscherzunge einen Teil des Wassers ableitet, sind die Abflussspitzen bei Zermatt allerdings kleiner geworden“ (ALEAN & HAMBREY, 2007).

Wie anhand der Fallbeispiele verdeutlicht wurde, können die Auslösemechanismen, das Ausmaß und die Auswirkungen eines Gletscherseeausbruches stark variieren. Sobald ein solches Naturphänomen auf menschliche Siedlungen oder Infrastruktur trifft, können die Auswirkungen katastrophale Ausmaße annehmen. Aufgrund der steigenden Bevölkerungsdichte entlang der Gletscherflüsse nimmt das Gefahrenpotenzial von Gletscherseeausbrüchen zu (WESTOBY et al., 2014). Daher sind die zunehmende Ermittlung und Beobachtung von potenziell gefährlichen Seen sowie ein adäquates Risikomanagement sehr wichtig.

3. Gefährdungsanalyse und Risikomanagement

3.1. Begriffserläuterungen

Innerhalb der Risikoforschung existieren einige wesentliche Begriffe, zu denen unterschiedliche Definitionen und Zugänge bestehen. Im Rahmen dieses Kapitels erfolgt daher zunächst eine kurze Erläuterung dieser Begriffe, um anschließend genauer auf die detaillierte Vorgehensweise des Risikomanagements bei Gletscherseeausbrüchen einzugehen.

3.1.1. Hazard⁴

Eine Übersetzung des Begriffes Hazard ins Deutsche erweist sich als relativ schwierig. Gemäß DIKAU & POHL (2011) wird Hazard oftmals auch mit dem Begriff Risiko gleichgesetzt. FELGENTREFF & DOMBROWSKY (2008) sind allerdings der Meinung, dass Hazard im deutschen Sprachgebrauch mit Naturgefahr bzw. -risiko gleichgesetzt wird. Grundsätzlich erweist sich eine klare Abgrenzung des Begriffs auch im Englischen als schwierig.

Die International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) der Vereinten Nationen definiert den Begriff Hazard wie folgt: „A potentially damaging physical event, phenomenon or human activity that may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation. Hazards can include latent conditions that may represent future threats and can have different origins: natural [...] or induced by human processes [...]. [...] Each hazard is characterised by its location, intensity, frequency and probability“ (FELGENTREFF & DOMBROWSKY, 2008: 15). Auch BIMAL KANTI (2011) nimmt eine Unterteilung des Terminus Hazard in natural, social, biological, technological und chronic hazards vor.

Früher wurde der Begriff Hazard grundsätzlich im Sinne von natural hazard verstanden. Im Laufe der Zeit wurde dies allerdings immer stärker kritisiert und die Haltung vertreten, dass ein Hazard erst durch die Interaktion der Systeme Natur und Mensch bzw. Gesellschaft zustande komme. Es entstand ein Paradigmenstreit um den Begriff Hazard, der sich damit beschäftigte, inwiefern natural hazard einen geeigneten Begriff darstellt. Später wurde auch das Verständnis von Hazard als Interaktion zwischen Natur und Mensch kritisiert und als zu trivial dargestellt. Im Rahmen dieses Kapitels wird allerdings nicht näher auf diese unterschiedlichen Paradigmen eingegangen.

Mittlerweile unterscheidet die ISDR zwischen den Begriffen natural hazard und hazard. Einige Forscher bevorzugen heute den Begriff environmental hazard anstelle von natural hazard (FELGENTREFF & DOMBROWSKY, 2008).

3.1.2. Vulnerabilität

Die Vulnerabilität (Verwundbarkeit) berücksichtigt die sozialen und gesellschaftlichen Aspekte in der Risikoforschung. So können beispielsweise gewisse Bevölkerungsgruppen oder -schichten verwundbarer gegenüber Hazards sein als andere. Das ISDR (2002) definiert Vulnerabilität folgendermaßen: „A set of conditions and processes resulting from physical, social, economic and environmental factors, which increase the sensitivity of a community to the impact of hazards“ (REYNOLDS, 2003: 1). Eine detailliertere Erläuterung wird von LESER (2011) formuliert, der die Vulnerabilität als die „Anfälligkeit bzw.

⁴ Dieses Kapitel beruht im Wesentlichen auf SCHUG (2014).

Empfindlichkeit bis Verletzbarkeit von Mensch, Gesellschaft, Infrastruktur und Sachwerten eines Lebens- und Wirtschaftsraumes, das heißt von Risikoelementen in einem Risikoraum gegenüber human hazards, Naturkatastrophen sowie Risiken, denen Mensch und Gesellschaft unterliegen, einschließlich man-made disasters und man-made hazards“ (LESER, 2011: 1052) definiert.

Entsprechend den obigen Erläuterungen kann sich die Vulnerabilität allerdings auch auf die Umwelt beziehen (REYNOLDS, 2003).

3.1.3. Risiko

Die ISDR (2002) definiert Risiko als: „The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human-induced hazards and vulnerable conditions and the ability to respond or cope with the consequences. Conventionally risk is expressed by the equation:

$$\text{Risk} = \text{Hazards} \times \text{Vulnerability/Coping Capacity} \text{ (REYNOLDS, 2003: 1).}$$

3.1.4. Risikomanagement

Grundsätzlich werden unter dem Begriff Risikomanagement die einzelnen Vorgehensschritte, die schließlich zur Minderung des Risikos bzw. der Gefährdung beitragen sollen, zusammengefasst:

$$\text{Risikomanagement} = \text{Risikoanalyse} + \text{Risikoabschätzung} + \text{Risikobewertung} \text{ (LESER, 2011).}$$

Die ISDR (2002) definiert das Risikomanagement als „the systematic management of administrative decisions, organisation, operational skills and responsibility to apply policies, strategies and practices for disaster risk reduction.

or

The process whereby decisions are made to accept a known or assessed risk and/or the implementation of actions to reduce the consequences or probabilities of occurrence“ (REYNOLDS, 2003: 1).

Gemäß LESER (2011) bedeutet das Risikomanagement im engeren Sinn „die Festlegung von Zielen (im Rahmen der Risikobewertung) und die daraus ableitbare Entwicklung von Konzepten für den Umgang mit einem Risiko durch Maßnahmen (Vorsorge im technisch-infrastrukturellen, im sozialen und im politisch-ökonomischen Bereich). Die Umsetzung von Entscheidungen über die Maßnahmen ist beim R. [Risikomanagement] der letzte Schritt“ (LESER, 2011: 779).

Wie bereits erwähnt, baut sich das Risikomanagement aus verschiedenen aufeinanderfolgenden Vorgehensschritten auf. Der Aufbau und der Zusammenhang der einzelnen Schritte kann der Abbildung 14 entnommen werden.

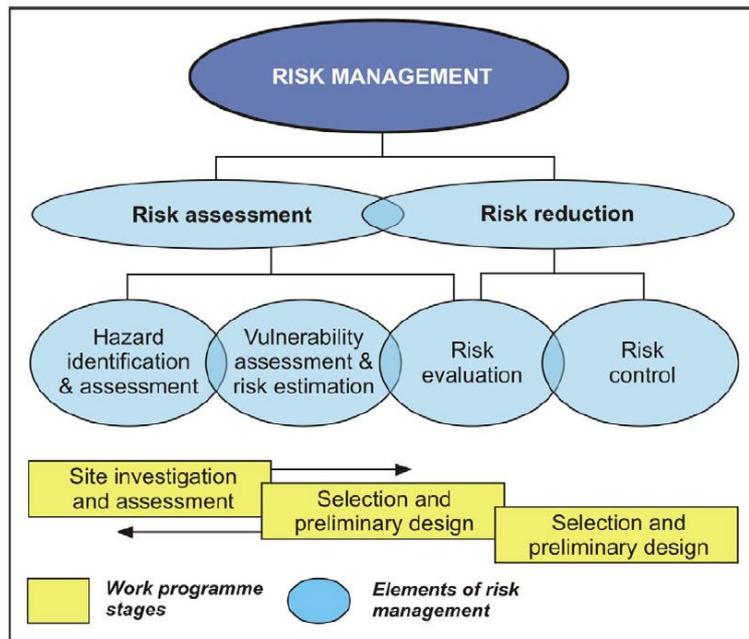


Abbildung 14: Risikomanagement-Modell (Quelle: REYNOLDS (2003: 8))

Die Identifizierung und Beurteilung der Gefahr (hazard identification und assessment) sowie die Beurteilung der Vulnerabilität (vulnerability assessment) entsprechen dabei der Risikoanalyse. Beide Punkte bilden die Basis für die Risikoabschätzung (risk estimation). Anschließend kann das ermittelte Risiko bewertet werden (risk evaluation), woraufhin im Rahmen der risk control adäquate Maßnahmen zur Minderung des Risikos aufgestellt werden können (REYNOLDS, 2003).

3.2. Risikomanagement bei Gletscherseeausbrüchen

Das Risikomanagement und die draus abgeleiteten Vorgehensweisen bzw. Maßnahmen variieren je nach Art des Risikos bzw. der Gefahr. Im Kontext des bearbeiteten Themengebietes wird im Folgenden die Vorgehensweise des Risikomanagements zum Schutz vor den Auswirkungen von Gletscherseeausbrüchen erläutert.

3.2.1. Gefahrenerkennung und -bewertung (hazard identification and assessment)

Zunächst muss die Gefahr von potenziellen Gletscherseeausbrüchen erkannt und so gut wie möglich quantifiziert werden. Anhand von topographischen Karten und zunehmend Luft- und Satellitenbildern wird zunächst ein Seeninventar erstellt, anhand dessen – basierend auf unterschiedlichen Eigenschaften der Seen und deren Umfeld – potenziell ausbruchsgefährdete Seen ermittelt werden können (ICIMOD, 2011; REYNOLDS, 2003). Das Gefahrenpotenzial entspricht dabei der Multiplikation von Magnitude und Auftretenswahrscheinlichkeit, die in einer negativen und nicht-linearen Beziehung zueinander stehen.

$$\text{hazard} = \text{magnitude} * \text{probability of occurrence}$$

Trotz des weiterhin lückenhaften Prozessverständnisses von Gletscherseeausbrüchen wird – auf Basis von Modellierungen und empirischen Beziehungen, die auf der Analyse von vergangenen Gletscherseeausbrüchen basieren – versucht, die Magnitude und die Auftretenswahrscheinlichkeit zu ermitteln. Durch die Analyse von vergangenen Gletscherseeausbrüchen können solche empirischen Zusammenhänge fortschreitend besser verstanden werden (ANACONA et al., 2015; HUGGEL et al., 2004a). Die Magnitude setzt sich aus der möglichen maximalen Abflussmenge, die durch die Ermittlung des Seevolumentens abgeschätzt werden kann, der maximalen Wegstrecke eines Gletscherseeausbruches, die unter anderem vom Dammmaterial und der Morphologie des potenziellen Ausbruchweges abhängig ist, und dem Durchflussvolumen zusammen. Detaillierte Ermittlungen bestimmter See- und Dammeigenschaften können durch Geländegänge eruiert werden. Deutlich schwieriger ist die Ermittlung der Auftretenswahrscheinlichkeit, die als Funktion der Suszeptibilität des Dammes zu versagen und dem potenziellen Einfluss von äußeren Triggern definiert werden kann. Anhand einer Beziehungsmatrix unterschiedlicher Indikatoren, wie Dammtyp, Freibordhöhe etc. (s. Tabelle 3 von HUGGEL et al. (2004a: 1073)), kann eine mögliche Auftretenswahrscheinlichkeit ermittelt werden (HUGGEL et al., 2004a; ICIMOD, 2011; REYNOLDS, 2003).

Durch die Kombination der potenziellen Magnitude mit der Auftretenswahrscheinlichkeit können schließlich unterschiedliche Gefahrenlevels definiert werden.

3.2.2. Vulnerabilitätsbeurteilung und Risikoeinschätzung (risk estimation)

Zusätzlich zur Gefahrenbeurteilung muss die Vulnerabilität des potenziell betroffenen Gebietes beurteilt werden. Im Zusammenhang mit Gletscherseeausbrüchen könnte eine hohe natürliche Vulnerabilität beispielsweise durch eine hohe Anzahl von erosionsanfälligen Sedimenten herbeigeführt werden. Grundsätzlich ist die natürliche Vulnerabilität in Zusammenhang mit Gletscherseeausbrüchen abhängig von der Geologie, der Talmorphologie, von Höhenunterschieden und von der Landnutzung. Die soziale und gesellschaftliche Vulnerabilität wird unter anderem durch soziale, politische, ökonomische und technische Aspekte sowie durch das Bildungsniveau beeinflusst und kann ebenfalls mittels Gewichtungen, die sich je nach Untersuchungsgebiet unterscheiden, anhand von einer Beziehungsmatrix ermittelt werden (FRIGERIO & DE AMICIS, 2016; REYNOLDS, 2003).

Kombiniert man schließlich die Beurteilung der unterschiedlichen Gefahrenlevels mit jener der Vulnerabilität können unterschiedliche Risikostufen, die von bestimmten Seen ausgehen, eingeschätzt werden (REYNOLDS, 2003).

3.2.3. Risikoauswertung (risk evaluation)

Anhand der ermittelten Risikoeinschätzung wird schließlich ermessen, welches Risiko noch im Rahmen des akzeptablen Risikos⁵ liegt und ab welcher Risikoklasse weitere Maßnahmen getroffen werden müssen. Folglich stellt dieser Schritt einen Schnittpunkt zwischen risk assessment und risk reduction dar (ISDR, o. J.; REYNOLDS, 2003).

⁵ „The level of potential losses that a society or community considers acceptable given existing social, economic, political, cultural, technical and environmental conditions. (...) In engineering terms, acceptable risk is also used to assess and define the structural and non-structural measures that are needed in order to reduce possible harm to people, property, services and systems to a chosen tolerated level, according to codes or “accepted practice” which are based on known probabilities of hazards and other factors” (ISDR, o. J.).

„If the evaluation process indicates a serious hazard potential, a more rigorous study with field work is usually required“ (HUGGEL et al., 2002). Solche Feldarbeiten werden im Rahmen der Risikoüberwachung durchgeführt.

3.2.4. Risikoüberwachung und Risikominimierungsmassnahmen (risk control)

Durch das ständige Monitoring von gefährlichen Gletscherseen, welches durch Feldbegehungen und vor allem durch Satellitenbilder ermöglicht wird, kann die Entwicklung des Gefahrenpotenzials überwacht werden (HUGGEL et al., 2002; ITURRIZAGA, 2011). Anhand der Risikoauswertung und des Schwellenwertes des akzeptablen Risikos treffen die unterschiedlichen Entscheidungsträger schließlich Entscheidungen, die das Risiko eingrenzen, reduzieren oder sogar beseitigen. Dabei kann entweder die Gefahr oder die Vulnerabilität oder beides reduziert oder beseitigt werden (REYNOLDS, 2003). Bei den Entschärfungsmaßnahmen können entweder harte – wie beispielsweise geotechnische Verbauungen – oder weiche Maßnahmen – wie beispielsweise Raumplanung – voneinander unterschieden werden (ANACONA et al., 2015).

Um die Ausbruchsfahr eines Sees zu reduzieren, stehen unterschiedliche technische Maßnahmen zur Verfügung, die anhand von Beispielbildern in Abbildung 15 dargestellt werden:

- A) Wasserabsenkung durch Abflusskanal (moränengedämmte Gletscherseen)
 - B) Wasserabsenkung durch Siphons und Pumpen (bei Gletscherseen > 4'500 m ü. M.)
 - C) Wasserabsenkung durch einen Tunnel (felsgedämmter Gletschersee)
 - D) Dammkonstruktion (Stärkung und Erhöhung des Dammes (meist durch Zement)
- (ANACONA et al., 2015; REYNOLDS, 2003)



Abbildung 15: Gefahrenminimierung. A) Wasserabsenkung durch einen Abflusskanal (Tsho Rolpa, Nepal); B) Wasserabsenkung durch Siphons (Tsho Rolpa, Nepal); C) Wasserabsenkung durch einen Tunnel (Lake 513, Peru); D) Dammkonstruktion (Cuchillacocha, Peru) (Quelle: REYNOLDS (2003: 27))

Eine Senkung der Vulnerabilität kann unter anderem durch Raumplanung, Frühwarnsysteme, Bewusstseins-Förderungsprogramme, gute Kommunikation, Integration und Bildung bzw. Aufklärung der potenziell betroffenen Bevölkerung sowie durch Notfalltraining erzielt werden (ANACONA et al., 2015; REYNOLDS, 2003).

Die erläuterten Analysen und Maßnahmen beziehen sich vor allem auf an der Oberfläche sichtbare Gletscherseen. Die Überwachung und Prognose des potenziellen Ausbruches von Wassertaschen ist nach wie vor fast unmöglich (VAW ETH ZÜRICH, o. J.).

Es gibt zahlreiche Organisationen, die sich das Risikomanagement rund um die Gletscherseeausbrüche zur Aufgabe gemacht haben. MERKL (2015) liefert in ihrer Arbeit eine Auflistung verschiedener Organisationen, die in diesem Bereich tätig sind.

Sämtliche Organisationen und Entscheidungsträger sollten bei ihren Risikokonzepten berücksichtigen, dass sowohl die natürlichen Gegebenheiten, wie Seegröße oder Hangstabilität, als auch die gesellschaftlichen Faktoren räumlichen wie auch zeitlichen Veränderungen ausgesetzt sind. Obwohl die Prognose dieser Veränderungen große Unsicherheiten birgt, sollten sie in die Risikokonzepte integriert werden, sodass dynamische Konzepte entstehen, in denen das Risiko immer wieder neu evaluiert wird (FUCHS et al., 2012).

4. Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet Südtirol erstreckt sich über eine Fläche von 7'400 km² und ist die nördlichste Provinz Italiens (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016a). Im Norden und Osten grenzt Südtirol an Österreich und im Westen an die Schweiz.

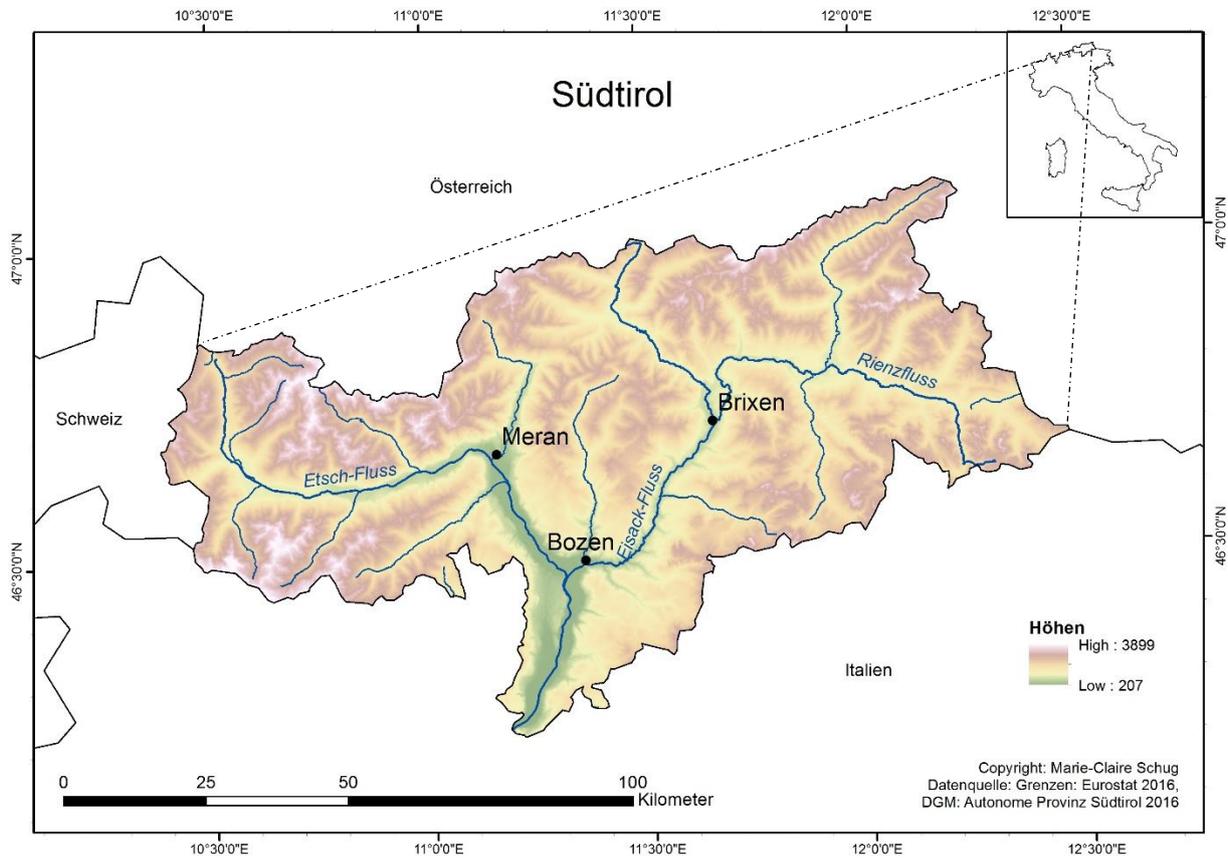


Abbildung 16: Übersichtskarte des Untersuchungsgebiets

Südtirol liegt direkt südlich des Alpenhauptkammes und somit mitten in den Alpen. Durch die inneralpine Lage umfasst das Gelände eine Vielzahl unterschiedlicher Höhenlagen. Die südlichen Ebenen des Etschtals weisen Höhen von nur ca. 200 m auf. Die höchste Erhöhung des Untersuchungsgebietes ist der Ortler im Westen des Untersuchungsgebietes mit einer Höhe von knapp 3'900 m. 13 % der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes liegen unterhalb von 1'000 m ü. M. und 39 % oberhalb von 2'000 m ü. M. Die durchschnittliche Hangneigung im Gelände beträgt 27°. Nur bei 0,2 % der Gesamtfläche Südtirols handelt es sich um Ebenen mit Hangneigungen < 3°.

Im Frühjahr 2016 zählte Südtirol 521'560 Einwohner in 116 Gemeinden (LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK, 2016a). Die Einwohnerdichte liegt somit bei ca. 70 Einwohnern pro Quadratkilometer. Da der Großteil der Bevölkerung Südtirols allerdings in den tieferen Tallagen lebt, ist die Bevölkerungsdichte in diesen Gebieten folglich deutlich höher (Bozen: 2'029 Einwohner/km², Meran: 1'497 Einwohner/km²). So leben knapp 45 % der Bevölkerung unterhalb von 1'000 m Seehöhe, wovon wiederum ca. 75 % auf Bozen, Meran und Brixen, die drei größten Ballungszentren des Südtirols, entfallen. Wie die gesamte Republik Italien ist auch Südtirol von einer Überalterung der Gesellschaft geprägt. Das Durchschnittsalter von 42 Jahren wird vor allem in Bozen und Meran deutlich übertroffen (LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK, 2016b).

Untersuchungsgebiet

Ein weiteres Merkmal Südtirols ist die Mehrsprachigkeit. Gemäß dem LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK (2015) sind rund 62,3 % Einwohner deutscher, 23,4 % italienischer und 4,1 % ladinischer Muttersprache (LANDESINSTITUT FÜR STATISTIK, 2015).

Diese Gesellschaftsstrukturen bzw. -merkmale könnten für das Risikomanagement von Naturgefahren von Bedeutung sein, da sie auf allfällige Schutzmaßnahmen bzw. Risikominimierungen einen Einfluss ausüben können.

4.1. Klima

Das Klima in Südtirol ist deutlich von seiner inneralpiner Lage geprägt. Die verschiedenen Luftströmungen, die die Alpen von nord- und südwestlicher Richtung prägen, beeinflussen vor allem die Randregionen der Alpen und gelangen kaum bis in die abgeschirmten inneralpiner Regionen. Folglich fallen die Niederschlagssummen in Südtirol relativ gering aus. Aufgrund der großen Höhenunterschiede im Untersuchungsgebiet variieren die Niederschlagswerte in Südtirol räumlich und zeitlich sehr stark. Dennoch kann bei der Niederschlagsmessung grundsätzlich eine Veränderung der Niederschlagssumme in Abhängigkeit der Seehöhe beobachtet werden. Je höher die Seehöhe, desto höher die Niederschlagssumme. Das trockenste Gebiet des Südtirols ist der Vinschgau, das im jährlichen Mittel nur ca. 530 mm Niederschlag erhält (3PCLIM o. J.). In Ridnaun (1'350 m ü. M.) liegt der mittlere Jahresniederschlag bei 1'122 mm, am Stausee Neves (1'860 m ü. M.) bei 1'226 mm und in Rein in Taufers (1'600 m ü. M.) bei 978 mm (TIROL ATLAS, o. J.).

Sehr ähnliche Muster zeigen sich bei der Schneedecke Südtirols. Auch sie ist stark abhängig von der inneralpiner Lage und der Seehöhe. Im Vergleich zur Alpennordseite fällt auf der Alpensüdseite deutlich weniger Schnee (15–25 %), und er fällt oft später und schmilzt früher wieder. Dementsprechend fällt der erste Schnee auf 1'000 m ü. M. erst ab Mitte November und bleibt dort bis Anfang April liegen. Zudem ist die mittlere Schneehöhe auf 2'000 m Seehöhe in Südtirol nur halb so hoch wie auf der Alpennordseite. In den abgeschirmten inneralpiner Tallagen liegt kein bis kaum Schnee. So liegt auf 500 m durchschnittlich nur an zwei Tagen Schnee (3PCLIM, o. J.).

Des Weiteren zeichnet sich das Untersuchungsgebiet durch verhältnismäßig milde Temperaturen aus. In den dicht besiedelten Tälern liegt die durchschnittliche jährliche Lufttemperatur bei 9–12 °C, in Suldern bei 2 °C und auf dem Ortler bei –9 °C. Die Null-Grad-Isotherme liegt im Jahresdurchschnitt in ca. 2'600 m Seehöhe und ist somit deutlich höher als auf der Alpennordseite. Das Temperaturminimum Südtirols, welches auf dem Ortler gemessen wurde, liegt bei –30 °C. Maximale Temperaturen von über 35 °C wurden in Bozen (37 °C), Meran (36 °C) und im Etschtal gemessen.

Klimawandel

Die globale Klimaerwärmung weist in den Alpen eine stärkere Ausprägung auf als im globalen Durchschnitt (SIEGRIST, 2001: 98). Im vergangenen Jahrhundert kam es in den Alpen zu einer Erwärmung von rund 2 °C. Im globalen Vergleich handelt es sich dabei um doppelt so hohe Werte (GOBIET et al., 2014: 1140). Gemäß AGRAWALA (2007) fällt der Klimawandel in den Alpen sogar drei Mal stärker aus als im globalen Vergleich.

Untersuchungsgebiet

Seit den 1980er-Jahren konnte folglich auch im Untersuchungsgebiet ein deutlicher Erwärmungstrend in den Sommermonaten festgestellt werden, der mit 0,3–0,5 °C/Dekade deutlich über den natürlichen Schwankungen liegt. Zudem kam es zu einer deutlichen Zunahme an Sommertagen (Tageshöchsttemperatur ≥ 25 °C). Auch in den Wintermonaten konnte ein Temperaturanstieg beobachtet werden. Allerdings wies dieser Anstieg bereits in den 1990er-Jahren sein Maximum auf. Dennoch kam es zu einer deutlichen Abnahme von Eistagen (Tageshöchsttemperatur < 0 °C). In Sexten (1'310 m ü. M.) nahmen die Eistage zwischen 2001 und 2010 beispielsweise um ein Drittel ab. Gemäß den Untersuchungen von 3PCLIM (o. J.) schwächt sich der Erwärmungstrend allerdings seit dem Jahr 2000 ab. Somit zeigt sich seit dieser Zeit ein „Plateaueffekt“ (3PCLIM, o. J.).

Anders als bei der Temperatur konnte beim Niederschlag seit Mitte des 20. Jahrhunderts kein klarer Trend in den Niederschlagsmessungen erkannt werden. „Hinweise auf eine Zunahme des Niederschlages im Nordwesten der Alpen und eine Abnahme im Südosten gibt es auch in den Untersuchungen der HISTALP-Daten (...). Diese beziehen sich allerdings auf größere Regionen im erweiterten Alpenraum“ (3PCLIM o.J.).

Um die zukünftige Klimaentwicklung im Untersuchungsgebiet abzuschätzen, wurden die unterschiedlichen Klimaszenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), die auf unterschiedlichen Emissionswerten basieren (IPCC, 2015), herangezogen und auf eine regionale Ebene herunterskaliert. Gemäß 3PCLIM (o. J.) soll es im zweiten Viertel des 21. Jahrhunderts (2026–2055) in Südtirol zu einer Erwärmung von ca. 1,5 °C kommen. Bis Ende des Jahrhunderts ist sogar mit einer Erwärmung von 3,8 °C zu rechnen. Zudem wird die Anzahl der Sommertage weiterhin zunehmen. Im Vergleich mit den globalen Werten des IPCCs befinden sich diese regionalen Werte am oberen Rand der globalen Skala. Diese Entwicklung wird unterschiedliche Konsequenzen haben, wie zum Beispiel die Verlängerung der Vegetationsperiode, das Auftauen von Permafrost und eine daraus resultierende potenzielle Zunahme von Steinschlägen und Felsstürzen oder Rutschungen.

Die Niederschlagsmodellierungen sind mit sehr großen Unsicherheiten behaftet, wodurch sehr unterschiedliche Modellresultate resultieren. Dennoch können daraus Trends abgeleitet werden. Die Modelle gehen im Untersuchungsgebiet grundsätzlich von einer Abnahme des mittleren jährlichen Niederschlages aus (bis 350 mm). Diese Abnahme verstärkt sich gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Jahreszeitliche Unterschiede in der Niederschlagsentwicklung fordern eine differenzierte Betrachtung der Sommer- und Winterniederschläge. In den Sommermonaten werden die Niederschlagssummen gemäß den Modellierungen verstärkt abnehmen. Im Winter allerdings werden die Niederschläge zunehmen. Vor allem in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts können sich diese beiden Gegensätze noch relativ gut kompensieren. Mit fortschreitender Zeit wird die Abnahme der Niederschlagssumme jedoch dominieren (3PCLIM, o. J.).

4.2. Geologie

Die Geologie Südtirols ist sehr vielfältig. Über das gesamte Untersuchungsgebiet treten metamorphe, magmatische und sedimentäre Einheiten zum Vorschein, deren Entstehung bis ins Perm zurückdatiert werden kann (s. Abbildung 17).

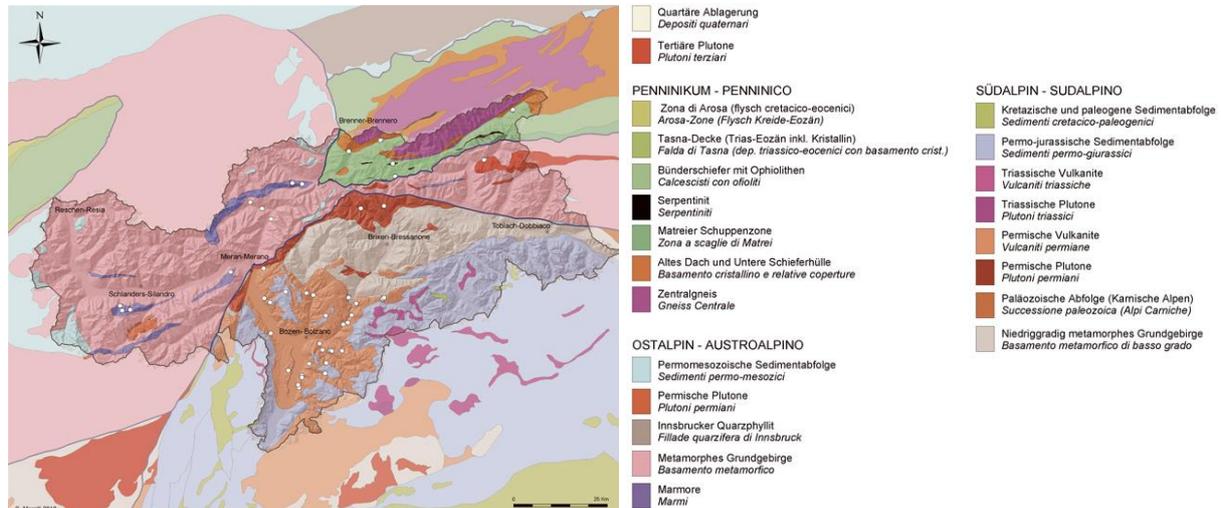


Abbildung 17: Geologischer Aufbau Südtirols (Quelle: www.naturstein-suedtirol.it (o. J.))

Quer durch Südtirol verläuft die Störungszone der Periadriatischen Naht, die von Osten her über das Pustertal nach Meran verläuft und sich schließlich Richtung Südwesten fortsetzt. Sie teilt Südtirol in zwei unterschiedliche geologische Bereiche: die süd- und die ostalpine Zone. Südlich der Periadriatischen Naht bildet ein metamorphes Grundgebirge das Fundament. Im Raum um Brixen tritt dieses heute noch zutage. Während des Perms bildeten sich durch vulkanische Aktivitäten magmatische Einheiten aus, die das metamorphe Grundgebirge vor allem in der Umgebung von Bozen und entlang der Periadriatischen Naht noch heute überdecken. Im Südosten und Süden wurde die magmatische Einheit von einer teilweise karbonhaltigen Sedimentabfolge aus dem Mesozoikum-Känozoikum überdeckt. Die Sedimentablagerungen sind mehrheitlich östlich von Bozen in den Dolomiten aufzufinden (PIACENTINI et al., 2012).

Die ostalpine Zone befindet sich nördlich und westlich der Periadriatischen Naht und zeichnet sich durch metamorphes Gestein, mehrheitlich Glimmerschiefer und Paragneis, aus. Vereinzelt treten Plutone aus dem Perm und Tertiär sowie Marmore auf. Im Nordosten Südtirols tritt das Penninikum in einem tektonischen Fenster (Tauernfenster) an die Oberfläche, das mehrheitlich durch Zentralgneise und Bündnerschiefer mit Ophiolithen dominiert wird (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016d; PIACENTINI et al., 2012).

4.3. Geomorphologie

Die geomorphologische Erscheinung Südtirols wurde sowohl durch tektonische als auch durch klimatische und anthropogene Einflüsse geprägt. Bedingt durch die Lage Südtirols mitten in den Alpen prägen Hochgebirge und somit steile Hänge und tiefe Täler das Bild des Untersuchungsgebietes. Der klimatisch bedingte Vorstoß von Gletschern bis zum Ende der kleinen Eiszeit prägte die Landschaftsfor-

mung von Südtirol. Durch den aktuellen Rückzug der Gletscher treten glazial geprägte Oberflächenformen wie beispielsweise Moränen, hängende Täler oder Rundhöcker auf. Heute sind diese Formen im gesamten Untersuchungsgebiet zu sehen. Periglaziale Formen wie beispielsweise Blockgletscher können im Vergleich zu glazialen Formen auch unter milderem Klimabedingungen erhalten bleiben und sind daher im Untersuchungsgebiet noch mehr verbreitet als Gletscher. Durch das Vorherrschen lösungsfähiger Karbonatgesteine entwickelten sich in den Dolomiten im Südosten Südtirols Karstformen. Aufgrund der topographischen Bedingungen treten über das gesamte Untersuchungsgebiet gravitative Massenbewegungen auf. Steinschläge und Murgänge gehören zu den häufigsten gravitativen Massenbewegungen in Südtirol (PIACENTINI et al., 2012). Durch die klimatischen Veränderungen und den daraus resultierenden Gletscherrückzug und das Aufschmelzen des Permafrosts konnten auch in Südtirol Veränderungen der Frequenz und der Magnitude solcher Ereignisse festgestellt werden (PIACENTINI et al., 2012; WORNİ et al., 2014).

4.4. Gletscher, Permafrost und Hochgebirgsseen

Die Gletscher- und die Permafrostverbreitung in Südtirol sind durch die Klimaerwärmung starken Änderungen unterworfen. Sowohl die Gletscher als auch der Permafrost sind vom Abschmelzen bedroht. Gletscher- und Permafrostinventare, die von der Autonomen Provinz Südtirol erstellt wurden, zeigen ihre Verbreitung auf. Die Gletscher sind vor allem im Westen und entlang der österreichischen Grenze im Norden und Nordosten verbreitet. Im Jahr 2006 waren knapp 1,3 % (94 km²) der Landesfläche Südtirols mit Gletschern bedeckt. Der größte Gletscher mit einer Fläche von knapp 7,3 km² ist der Übeltalferner, der im Norden des Untersuchungsgebietes in den Stubai Alpen liegt. Permafrostböden treten auf rund 7 % des Landesgebietes (16'500 km²) auf (Stand 2016). Davon sind knapp 0,5 % Blockgletscher (69 km²). Allerdings sind nur noch ca. 12 % der Blockgletscher in Südtirol aktiv. Bei rund 78 % der Blockgletscher handelt es sich um fossile Blockgletscher.

Gemäß KNOLL & KERSCHNER (2009) nahm die Gletscherbedeckung Südtirols zwischen 1983 und 2006 um 32 % ab. Im Rahmen der durchgeführten Analysen konnte allerdings in den vergangenen zehn Jahren ein deutlicher Gletscherrückgang festgestellt werden. Es ist folglich davon auszugehen, dass sich insbesondere die Zahlen zur Verbreitung der Gletscher nochmals verringert haben.

Durch das kontinuierliche Aufschmelzen der Gletscher konnte folglich auch in Südtirol in den letzten Dekaden eine Zunahme von Seen beobachtet werden. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Arbeit 1010 Hochgebirgsseen, die grösser als 250 m² sind und über 2'000 m ü. M. liegen, gezählt.⁶

4.5. Historische (Gletscher-)Seeausbrüche

Frühere Aufzeichnungen deuten drauf hin, dass die Bevölkerung Südtirols schon oft von (Gletscher-) Seeausbrüchen betroffen war. Beispielsweise kam es 1401 im Passeiertal zu einem Bergsturz des

⁶ Da keine einheitliche Definition von Gletscherseen besteht und da es sich bei der großen Mehrheit der untersuchten Seen in Südtirol um gletscherferne Seen (s. Tabelle 8 S. 56) handelt, wird in weiterer Folge der Terminus Hochgebirgssee verwendet.

Gspellerberges, der daraufhin eine Talsperre bildete. In der Folge wurde die Passer aufgestaut, daraufhin bildete sich der Kummersee mit den Ausmaßen von ca. 2 km Länge, 400 m Breite und einer Tiefe von 40 m. 18 Jahre später, im Jahr 1419, brach der See zum ersten Mal aus. Bis 1774 kam es noch zu sieben weiteren Seeausbrüchen. Der Dichter Michael Winnebacher beschrieb den Zustand des Passeiertals folgendermaßen:

*„Viel Muhren brechen aus, die sich im Grund anlegen
Und bringen mit der Schwöll bald neue See zuwegen.
So trug es dann sich zu in dem Passeyrer Thal,
Nachdem der Gspeller Berg sich neigte zu dem Fall
Und dessen großer Theil mit ungeheurem Krachen
In das sehr enge Thal sich thät heruntermachen.“*

(WINNEBACHER zitiert nach TOURISMUSVEREIN PASSEIERTAL, o. J.)

Die Flutwellen des Kummersees gelangten bis nach Meran, wo sie große Teile der Stadt zerstörten: *„Der erste dieser Seeausbrüche geschah im Herbste am St.-Moritz-Tage 1419 so plötzlich und unerwartet, dass dabei viele Menschen das Leben verloren. Das Spital und ein großer Theil der Stadt Meran wurde zerstört“* (WEBER (1852) zitiert nach PASSEIER.IT (o. J.)). Im 19. Jahrhundert waren unter anderem das Ridnauntal (1868) (HIRTLREITER, 2012: 120) sowie das Martelltal (1887/88, 1889 und 1891) (BLIEM, o. J.; MÜLLER, 2006) von mehreren Gletscherseeausbrüchen betroffen. In beiden Fällen wurden schließlich große Talsperren errichtet, um so das Risiko zu minimieren.

Jüngere Gletscherseeausbrüche konnten im Jahr 2005 in den Stubai Alpen im Ridnauntal (FRANCHI, 2015; MERKL, 2015) und im Pfoßental (ZISCHG & DINALE, 2015; ZISCHG et al., 2013) beobachtet werden. Im Ridnauntal erhöhte sich das Gletscherseeevolumen des Übeltalferners aufgrund der warmen Temperaturen und der Gletscherschmelze, sodass sich der See einen Abfluss durch den Gletscher grub und sich rund 1 Mio. m³ Wasser entleerten (FRANCHI, 2015). Im Pfoßental hingegen kam es aufgrund der hohen Temperaturen zu einer intraglazialen Wasseransammlung am Grafferner, deren Ausbruch schließlich zu einer Mure führte (ZISCHG et al., 2013). Im Jahr 2011 kam es im Schnalstal zum Ausbruch eines Sees, da dessen Damm aus Eis und Schnee der anhaltenden Wasserlast nicht mehr standhalten konnte. Eine kleine Flutwelle strömte ins Tal. Es wurden Evakuierungen angeordnet, die allerdings nach kürzester Zeit wieder aufgelöst werden konnten. Zudem mussten einige Straßen gesperrt werden (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2014). Auch in den Dolomiten ereignete sich im Herbst 2014 in der Sella ein Seeausbruch. Dabei konnte der Blockgletscher, der den immer grösser werdenden Drachensee dämmte, dem steigenden Druck des Sees nicht mehr standhalten (MAIR et al., o. J.).

4.6. Gesetzeslage bei Naturgefahren

In den vorhergehenden Kapiteln wurde erwähnt, dass Ausbrüche von Hochgebirgsseen sowie weitere Gebirgsgefahren wie Steinschläge oder Murgänge in Südtirol immer wieder auftreten. Um Schadens- und Risikominimierung betreiben zu können, muss das Risikomanagement gut ausgebaut sein. Aus diesem Grund werden die gesetzlichen Rahmenbedingungen Südtirols, die für das Risikomanagement von Naturgefahren relevant sind, nachfolgend erläutert.

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den Umgang mit Naturgefahren in der Raumplanung werden von der Republik Italien vorgegeben. Durch den Autonomiestatus von Südtirol besitzt die Provinz allerdings auf nachgeordneter Ebene Gesetzgebungsbefugnisse in den Bereichen Raumordnung, Wasser-, Land- und Forstwirtschaft. Das Land Südtirol ist somit für die übergeordnete, übergemeindliche und umfassende Raumordnung zuständig. Dadurch ist es auch für die Erstellung von Gefahrenzonenplänen verantwortlich. Die Planungshoheit dieser Pläne wird allerdings vom Land auf die Gemeinden übertragen (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2008). Im Jahr 2008 wurden die Südtiroler Gemeinden vom Land auf Basis einer Durchführungsverordnung beauftragt, einen Gefahrenzonenplan zu erstellen, in welchem die Gefahren Massenbewegungen, Wassergefahren und Lawinen sowie deren unterschiedliche Gefahrenstufen berücksichtigt werden (ABTEILUNG 27 - RAUMODNUNG, 2008; AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2008). Die Gefahrenbeurteilung erfolgt unter der Berücksichtigung der Intensität, der Eintrittswahrscheinlichkeit sowie eventuell bestehender Schutzbauten (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012b). „Um in angemessener Zeit und mit abschätzbarem Aufwand an Geld, Technik und Personal die Gefahrenzonenpläne (GZP) zu erarbeiten, wird das Landesgebiet in Abhängigkeit von der urbanistischen Relevanz klassifiziert. Es werden drei urbanistische Kategorien unterschieden, wobei jeder Kategorie eine unterschiedliche Genauigkeit der Untersuchung einwirkender Naturgefahren, genannt Bearbeitungstiefe, entspricht“ (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012b: 7). Die unterschiedlichen Gefahrenstufen (sehr hoch – hoch – gering – untersucht und nicht gefährlich) und die ermittelte Schadensanfälligkeit (sehr hoch – hoch – mittel – gering) werden zu einer Risikozonenkarte kombiniert, der das spezifische Risiko, also der zu erwartende Schaden, entnommen werden kann. Entsprechend dem spezifischen Risiko resultieren verschiedene Konsequenzen, wie beispielsweise Bauverbote oder die Errichtung von Schutzmaßnahmen etc.

Gemäß der Durchführungsverordnung müssen diese Fachpläne von den Gemeinden bis Ende des Jahres 2016 abgeschlossen sein. Bis zum Jahr 2012 haben ca. 34 % der Südtiroler Gemeinden mit der Ausarbeitung des Gefahrenzonenplans begonnen bzw. den Gefahrenzonenplan fertig erstellt (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012a). Die ständige Aktualisierung dieses Fachplanes liegt ebenfalls in der Verantwortung der Gemeinden (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012b). Die Kosten, die zur Erstellung des Gefahrenzonenplanes anfallen, werden vom Land und den Gemeinden getragen.

FUCHS et al. (2001) kritisierten, dass die Formulierungen der Gesetze, die einen adäquaten Umgang mit Naturgefahren gewährleisten sollten, sehr vage formuliert seien, und dass „moderne Aspekte der Risikoanalyse (...) wie Interdisziplinarität oder die Forderung nach Nachvollziehbarkeit der eingesetzten Verfahren“ (FUCHS et al., 2001: 16) fehlen. Dieser Kritik wurde mittlerweile mithilfe der Durchsetzungsverordnung von 2008 entgegengewirkt. In den „Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSP)“ werden die eingesetzten Verfahren, die zur Erstellung eines Gefahrenzonenplanes benötigt werden, präsentiert und sämtliche Abläufe genauestens erläutert. Ein weiterer Kritikpunkt, nämlich dass die Gefahrenpotenziale nicht flächendeckend erfasst und dargestellt wurden, wurde durch die Einführung der Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR) ebenfalls eliminiert. (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 1997; AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012b; AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016c; FUCHS et al., 2001) So wird neben den flächendeckenden Gefahrenzonenplänen der einzelnen Gemeinden in Art. 22/bis (2) des Landesraumordnungsgesetzes von 1997 festgehalten, dass „die Erstellung von übergemeindlichen Gefahrenzonenplänen (...) bevorzugt [wird],

Untersuchungsgebiet

wo dies aufgrund der naturräumlichen Situation angebracht ist“ (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 1997).

5. Daten und Methoden

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, gliedert sich die vorliegende Arbeit in drei unterschiedliche Themenbereiche. Zunächst wird ein (i) Inventar sämtlicher Seen, welche über 2'000 m ü. M. liegen und eine Mindestgröße von 250 m² aufweisen, erstellt, die anschließend entsprechend unterschiedlicher Attribute kategorisiert werden. Anhand dieses Inventars werden (ii) zehn ausgewählte Seen bzw. Seenkomplexe, die augenscheinlich als potenziell gefährdet für einen Seeausbruch eingestuft wurden, einer Detailuntersuchung unterzogen. Dazu werden einerseits eine Detailkartierung der unterschiedlichen Seen bzw. Seenkomplexe erstellt und andererseits die Entwicklung ebendieser Seen in der Periode von 1945 bis 2011 untersucht. Abschließend wird (iii) mit dem Programm r.glachaz eine Modellierung durchgeführt, welche potenziell gefährliche Seen ermitteln soll, um anschließend mittels des Programms r.randomwalk die potenzielle Reichweite im Falle eines Seeausbruches zu simulieren. Der Arbeitsablauf wird in Abbildung 3 dargestellt.

Dieser Ablauf der Analyseschritte entspricht der aktuell gebräuchlichen Vorgehensweise für die Analyse und Modellierung von Gletschersee- bzw. Hochgebirgsseeausbrüchen, wie sie von vielen Wissenschaftlern und Organisationen vorgeschlagen wird, wie zum Beispiel von EMMER et al. (2015); GRUBER & MERGILI (2013); HUGGEL et al. (2002); ICIMOD (2011); REYNOLDS (2003); WESTOBY et al. (2014); WORNİ et al. (2014).

Die zugrunde liegenden Daten und Methoden dieser drei Analysen werden in den folgenden Kapiteln genauer erläutert.

5.1. Seeninventar

Als Grundlage für weitere Analysen wird ein Seeninventar für das gesamte Landesgebiet von Südtirol benötigt. Ein solches wurde bereits von der Autonomen Provinz Südtirol erstellt und wird öffentlich zur Verfügung gestellt (AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL – ABTEILUNG INFORMATIONSTECHNIK, 2016). Allerdings wurden viele Seen in diesem Inventar nicht erfasst. Das Seeninventar ist daher lückenhaft und unvollständig (vergleiche dazu auch REYNOLDS (2003)). Um das bestehende Seeninventar zu vervollständigen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine manuelle, optische Inventarisierung durchgeführt. Dabei werden sämtlich Seen, die über 2'000 m ü. M. liegen und grösser als 250 m² sind, kartiert. Diese Einschränkung der Größe und Höhenlage der Seen wird von MERKL (2015) übernommen. Aufgrund der Auflösung der Orthophotos müssen die Seen eine gewisse Mindestgröße aufweisen. Ebenso erfordert eine aussagekräftige Modellierung eine bestimmte Mindestseegröße. Die Einschränkung der Höhenlage erfolgt aufgrund der Annahme, dass unterhalb von 2'000 m ü. M. keine Gletscherseen (also Seen, die noch in direktem Kontakt mit dem Gletscher stehen) mehr liegen. Die ermittelten Seen werden schließlich nach ihren qualitativen und quantitativen Eigenschaften klassifiziert (vergleiche dazu auch WORNİ et al. (2013)).

5.1.1. Datengrundlage

Die Autonome Provinz Südtirol stellt Orthophotos der Jahre 1945, 1954–56, 1982–85, 1992–95, 1999, 2003, 2006, 2008 und 2011 zur Verfügung.

Der Tabelle 4 kann die Auflösung, die Lizenz sowie die Darstellung in tabellarischer Form entnommen werden.

Tabelle 4: Orthophotos der Autonomen Provinz Südtirol

Jahr	Auflösung [m]	Lizenz	Darstellung
2011	0,5	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	RGB-Werte
2008	0,5	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	RGB-Werte
2006	0,5	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	RGB-Werte
2003	1	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	Graustufen
1999	1	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	RGB-Werte
1992–95	1	Autonome Provinz Bozen – Südtirol	Graustufen
1982–85	1	Istituto Geografico Militare	Graustufen
1954–56	1,5	Istituto Geografico Militare	Graustufen
1945	1,8	Istituto Geografico Militare	Graustufen

Bei Orthophotos handelt es sich um verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Luftbildprodukte. Die Aufnahmen werden nachträglich bearbeitet, indem die Verzerrungen, welche durch die Zentralprojektion einer Fotografie entstehen, sowie die Höhenunterschiede des Geländes korrigiert werden. Analoge Aufnahmen werden dabei orthorektifiziert. Digitale Aufnahmen werden mittlerweile anhand von Höhenmodellen neu berechnet und mithilfe von Passpunkten mit bekannten Koordinaten georeferenziert (HILDEBRANDT, 1996).

Ebenso stellt die Autonome Provinz Südtirol ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von 2,5 m sowie verschiedene Shapefiles mit unterschiedlichen Themen zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit wird das See- sowie das Gletscher- und Permafrostinventar für die Ermittlung der Ausbruchsfahr der Seen herangezogen (s. Tabelle 5).

Tabelle 5: Shapefiles (Seen-, Fließgewässer-, Gletscher- und Permafrostinventar)

Inhalt	Datentyp	Jahr	Copyright
See	Shapefile	2011	Autonome Provinz Bozen – Südtirol
Fließgewässer	Shapefile	2011	Autonome Provinz Bozen – Südtirol
Permafrost	Shapefile	2016	Autonome Provinz Bozen – Südtirol
Gletscher	Shapefile	2006 (überarbeitet 2012)	Autonome Provinz Bozen – Südtirol

Sämtliche Daten, welche von der Autonomen Provinz Südtirol zur Verfügung gestellt werden, liegen im Koordinatensystem WGS 1984 UTM Zone 32N vor.

5.1.2. Datenverarbeitung

Das gesamte Landesgebiet von Südtirol wird anhand der Orthophotos der Jahre 2008 und 2011 in einem Maßstab von 1:5'000 mithilfe der Software ArcGIS optisch nach Seen abgesucht, die anschließend kartiert werden. Dabei werden qualitative und quantitative Eigenschaften der Seen, welche für die Ausbruchsfahr relevant sein könnten, in einer Attributtabelle der kartierten Seen in ArcGIS aufgenommen. Die Klassifizierung der Seen nach verschiedenen Attributen kann der Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Klassifizierung des Seeninventars; * Ordinalskala; ** Nominalskala

Attribut	Subtyp	Wert(-ebereich)
See ID		
Name		
Fläche		in m ²
X-Koordinate (Zentrum)		
Y-Koordinate (Zentrum)		
Höhe		in m ü. M.
Freibord		in m
Hangneigung des Dammes		in °
Dammtyp (Σ3)	Moräne	0–3*
	Fels	0–3*
	Eis	0–3*
	Massenbewegung	0–3*
	Anthropogen	0–3*
Gletscherkontakt		0–1**
Schmelzwasserzufluss		0–1**
Oberflächenabfluss		0–3*
Position	Supraglazial (supra-glacial)	1**
	Gletschergedämmt (glacier-dammed)	2**
	Proglazial (proglacial)	3**
	vom Gletscher abgetrennt (glacier-detached)	4**
	Nicht-glazial (non-glacial)	5**
	Gletscherfreies Einzugsgebiet (glacier-free catchment)	6**
Kalben	Kalben nicht möglich (no possible calving)	0**
	Kalben möglich (possible calving)	1**
Evolution	Stabil (stable)	0**
	Interannuelle Schwankungen (interannual fluctuations)	1**
	Schrumpfend (shrinking)	2**
	Wachsend (growing)	3**

Im Anschluss werden die einzelnen Attribute und deren Generierung erläutert.

See ID

Die See ID wird entsprechend der Reihenfolge der Kartierung automatisch von ArcGIS generiert.

Namensgebung

Die Namensgebung der Seen wird anhand des jeweiligen Einzugsgebietes des Sees sowie einer fortlaufenden Nummerierung vorgenommen. Der Tabelle 7 können die verschiedenen Einzugsgebiete und ihre jeweilige Abkürzung entnommen werden.

Tabelle 7: Namensgebung der erfassten Seen nach Einzugsgebiet

Einzugsgebiet	Name
Ahr	AHR_001
Drau	DRA_001
Eisackfluss	EIS_001
Etsch	ETS_001
Falschauerbach	FAL_001
Gaderbach	GAD_001
Groednerbach	GRO_001
Karlinbach	KAR_001
Novellabach	NOV_001
Passerbach	PAS_001
Pescarabach	PES_001
Plimabach	PLI_001
Punibach	PUN_001
Rienzfluss	RIE_001
Schnalstal	SCH_001
Suldenbach	SUL_001
Talferbach	TAL_001
Valmiurbach	VAL_001

Im Anhang befindet sich in Abbildung 100 eine Karte mit den Einzugsgebieten.

Fläche, Koordinaten, Höhe, Freibord, Hangneigung

Diese Attribute werden ebenfalls von ArcGIS sowie von r.glachaz automatisch berechnet.

Die Bestimmung der übrigen in der Tabelle 6 stehenden Attribute beruht auf einer optischen Analyse der Orthophotos und birgt große Unsicherheiten, da die eindeutige Bestimmung der Oberflächenercheinungen und -prozesse aufgrund der Auflösung und der Momentaufnahme der Orthophotos nur beschränkt möglich ist. Um dieser Unsicherheit entgegenzuwirken, wird bei einigen Attributen ein Punktesystem eingeführt, mit welchem den verschiedenen Subklassen Punkte zwischen 0 und 3 vergeben werden können. Die eindeutige Bestimmung des Dammmaterials sowie des Oberflächenabflusses könnte nur durch eine Feldbegehung eindeutig erfolgen. Die Bestimmung des Oberflächenabflusses im Feld kann wiederum von saisonalen Schwankungen betroffen sein, sodass eindeutige Aussagen ebenso erschwert werden.

Auch die Subjektivität spielt bei der Analyse von Fernerkundungsdaten eine große Rolle. Diese kann bei den Attributen Dammtyp und Evolution, die nur durch die Analyse von Orthophotos eruiert werden, nicht vermieden werden. Attribute wie der Gletscherkontakt, der Schmelzwasserzufluss, der Oberflächenabfluss, die relative Position des Sees zum Gletscher sowie die Möglichkeit des Kalbens eines Gletschers in den See werden zusätzlich zur manuellen Eigenerfassung der Autorin von r.glachaz berechnet, wodurch die Subjektivität der Erfassung dieser Attribute herabgesetzt wird.

Im Folgenden wird die Anwendung des Punktesystems der unterschiedlichen Attribute, wie Dammtyp, Oberflächenabfluss etc. anhand von Beispielen erläutert:

Dammtyp

Der Dammtyp eines Hochgebirgssees sagt aus, durch welches Material der See gedämmt wird. Entsprechend der Tabelle 6 können Moränenmaterial, Fels, Eis, Massenbewegungen, eine Staumauer oder ein Staudamm (anthropogen) oder eine Kombination ebendieser das Aufstauen eines Sees bewirken. Die Klassifizierung des Dammtyps erfolgt durch eine manuelle Punktevergabe von 0 bis maximal 3 Punkte, die jeder dieser fünf Subklassen zugeteilt werden können.

- 0 Punkte: keine Beteiligung des entsprechenden Materials an der Dämmung des Sees
- 1 Punkt: geringfügig erkennbare Beteiligung des entsprechenden Materials an der Dämmung des Sees
- 2 Punkte: deutlich erkennbare Beteiligung des entsprechenden Materials an der Dämmung des Sees
- 3 Punkte: ausschließliche Dämmung durch das entsprechende Material

Die vergebenen Punkte werden schließlich für jeden einzelnen See aufsummiert. Die finale Punktschritte beträgt dabei immer 3; das heißt, dass jeder See durch ein oder mehrere Materialien gedämmt werden kann. Das überwiegende Dammmaterial wird durch den Grenzwert >1 festgesetzt.

Um die Punktevergabe nochmals zu verdeutlichen, werden nachfolgend beispielhaft einige Seen mit verschiedenen Punktekombinationen gezeigt. Die gelben Pfeile in den Abbildungen zeigen die Fließrichtung an.

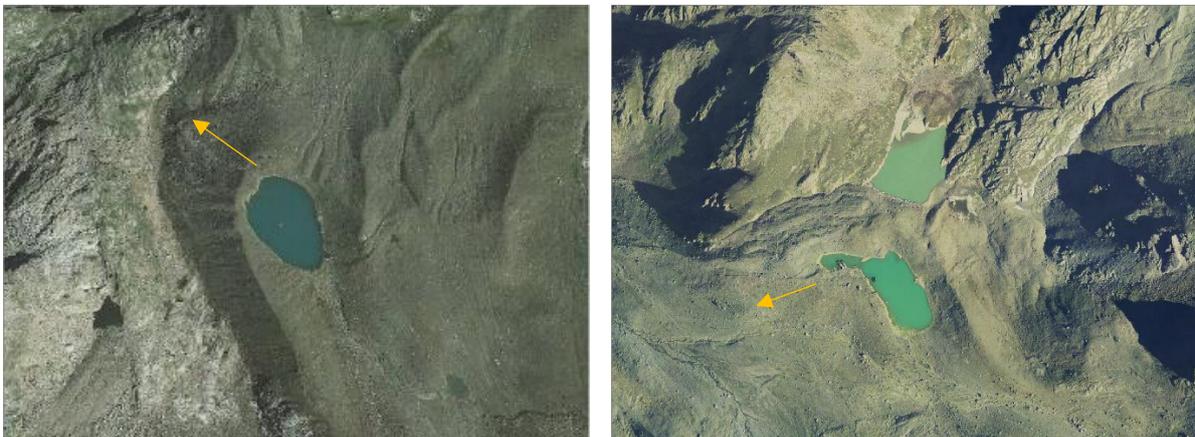


Abbildung 18: Moränengedämmte Seen; Oberer Malersee (l.) und Grünsee und Gelbsee (r.) (Moräne: 3, Fels: 0, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2011 und 2008)

Die drei oben abgebildeten Seen (s. Abbildung 18) werden, wie auf dem Orthophoto deutlich zu erkennen ist, durch Moränenmaterial gedämmt. Folglich werden dem Moränenmaterial 3 Punkte zugeschrieben.

Daten und Methoden

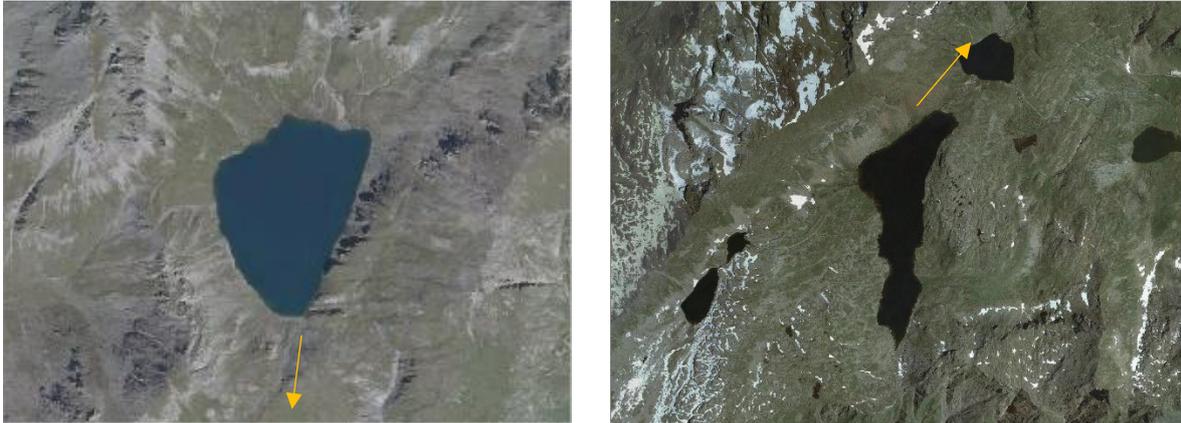


Abbildung 19: Felsgedämmte Seen; Wilder See (l.) und Langsee (r.) (Moräne: 0, Fels: 3, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2008 und 2011)

Abbildung 19 zeigt den Wilden See und den Langsee, die ausschließlich von Fels gedämmt werden.



Abbildung 20: Eisgedämmter See; See beim Gramsenferner (Moräne: 0, Fels: 0, Eis: 3, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2008)

Am westlichen Ende des Gramsenfernners kann auf dem Orthophoto des Jahres 2008 ein See identifiziert werden, der vom Gletscher und somit von Eis zurückgestaut wird (s. Abbildung 20).



Abbildung 21: Anthropogen gestauter See; Arzkar- Stausee (Moräne: 0, Fels: 0, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 3) (Orthophoto: 2011)

Der größte kartierte bzw. inventarisierte See von Südtirol ist der Arzkar-Stausee. Die Staumauer am östlichen Ende des Sees ist im Orthophoto deutlich zu erkennen (s. Abbildung 21).

Seen, die nur durch eine Massenbewegung aufgestaut werden, konnten im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden.

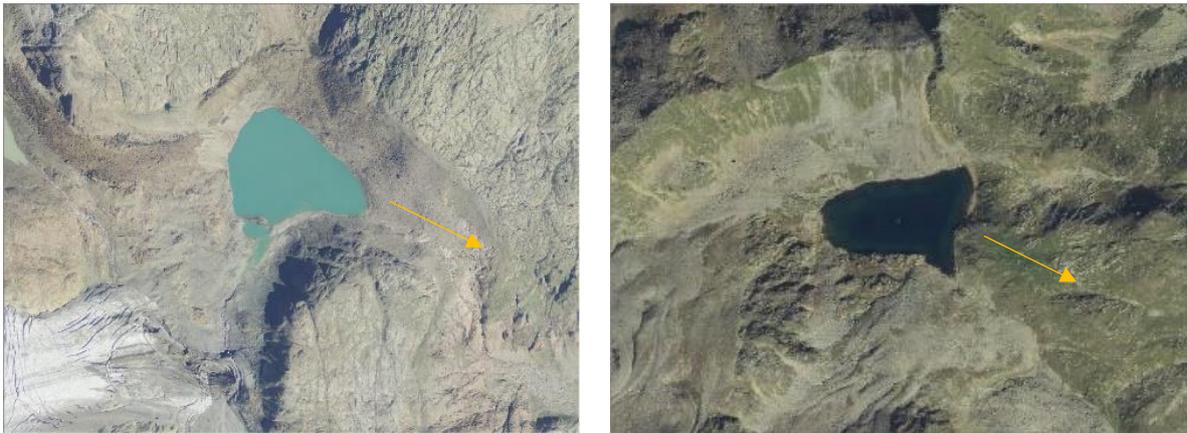


Abbildung 22: Fels- und moränengedämmte Seen; Vogelhüttensee (l.) und Saxalbersee (r.) (Moräne: 1, Fels: 2, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2008)

Das linke Orthophoto aus Abbildung 22 zeigt den Vogelhüttensee, der vor dem Übeltalferner liegt. Eine eindeutige Zuordnung des Dammtyps ist bei diesem See nicht möglich. Bei genauerer Auswertung wird hier angenommen, dass der See hauptsächlich durch Fels gedämmt wird, da rund um den Oberflächenabfluss Felsmaterial sichtbar ist. Allerdings liegt lockeres Moränenmaterial auf dem Fels, was auch die relativ tiefe Einschüfung des Oberflächenabflusses erklärt. Dementsprechend werden dem Moränenmaterial 1 Punkt und dem Fels 2 Punkte zugeschrieben.



Abbildung 23: Fels- und moränengedämmte Seen; Schranferner-See (Moräne: 1, Fels: 2, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2008) (l.) und Foto des Dammmaterials (r.)

Auf dem Orthophoto kann entlang des Schranferner-Sees relativ viel Moränenmaterial entdeckt werden (1 Punkt). Allerdings erkennt man insbesondere um den Seeausfluss den felsigen Untergrund, der an dieser Stelle an die Oberfläche tritt. Folglich wird angenommen, dass der See hauptsächlich durch den Fels zurückgestaut wird. Demnach erhält der Subtyp Fels 2 Punkte. Diese Annahme aufgrund des Orthophotos konnte im Zuge eines Geländeganges verifiziert werden (s. Foto rechts in Abbildung 23).



Abbildung 24: Moränen- und felsgedämmter See; See im Einzugsgebiet des Falschauerbachs (Moräne: 2, Fels: 1, Eis: 0, Massenbewegung: 0, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2008)

Der See, der in Abbildung 24 sichtbar ist, wird hauptsächlich durch Moränenmaterial (2) gedämmt. Aufgrund der umliegenden Felswände wird angenommen, dass der See ebenfalls durch den felsigen Untergrund (1) aufgestaut wurde. Dennoch ist im Orthophoto mehrheitlich Moränenmaterial entlang des Oberflächenabflusses zu erkennen.



Abbildung 25: Fels- und massenbewegunggedämmter See; See im Einzugsgebiet der Ahr (Moräne: 0, Fels: 2, Eis: 0, Massenbewegung: 1, Anthropogen: 0) (Orthophoto: 2011)

Abbildung 25 zeigt einen relativ kleinen See im Einzugsgebiet der Ahr. Auf dem Orthophoto können einige Blöcke erkannt werden, von denen anzunehmen ist, dass sie von Felsstürzen vom angrenzenden nördlichen Hang stammen. Die Massenbewegung staut den See auf der einen Seite des Oberflächenabflusses. Auf der anderen Seite wird der See allerdings durch Fels gedämmt. Da sich auf dem Orthophoto aus dem Jahr 2008 deutlich weniger Wasser in dem See befand, kann man erkennen, dass der See zu dieser Zeit ausschließlich vom felsigen Untergrund aufgestaut wurde. Folglich wird angenommen, dass Fels das hauptsächlich Dammmaterial ist.

Weitere Dammtypen (Punktkombinationen) konnten während der Inventarisierung des Untersuchungsgebietes nicht festgestellt werden.

Gletscherkontakt

Beim Gletscherkontakt handelt es sich um ein binäres Attribut. Der Kennwert 0 wird jenen Seen zugeschrieben, die keinen Gletscherkontakt aufweisen, und der Kennwert 1 wird vergeben, wenn der Gletscher den See berührt (s. Abbildung 26). Der Gletscherkontakt wird sowohl manuell über die optische Analyse der Orthophotos ermittelt als auch automatisch über das Programm r.glachaz berechnet.

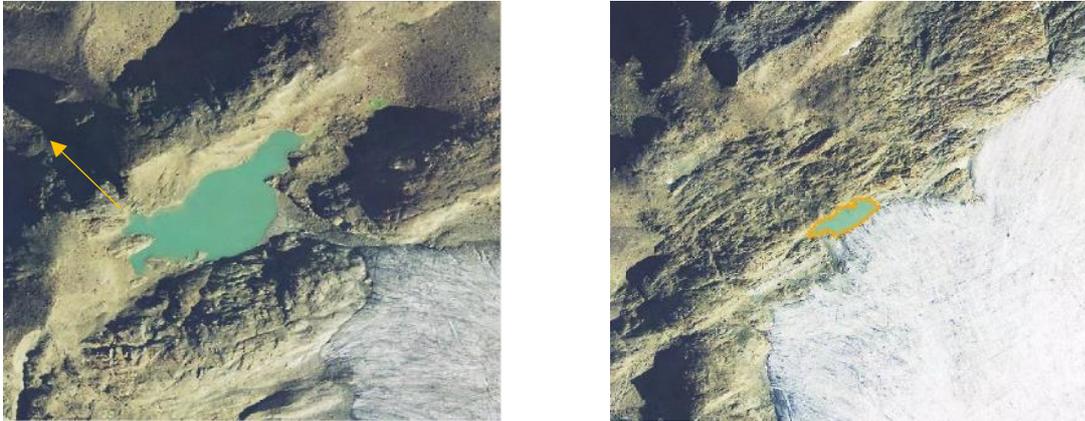


Abbildung 26: Gletscherkontakt; Schranferner-See (l.) (Gletscherkontakt: 0) und Hohenferner See (r.) (Gletscherkontakt: 1) (Orthophoto: 2008)

Schmelzwasserzufluss

Die Schmelzwasserversorgung eines Sees kann durch verschiedene Merkmale bestimmt werden. Bei direktem Kontakt zwischen Gletscher und See ist der Schmelzwasserzufluss eindeutig. Besteht zwischen dem Ende der Gletscherzunge und dem See ein deutlich erkennbares Gerinne bzw. eine deutlich erkennbare Erosionsrinne, wird ebenfalls von einer Versorgung des Sees mit Gletscherwasser ausgegangen. Als weiteres ausschlaggebendes Merkmal zur Bestimmung des Schmelzwasserzuflusses kann die Färbung der Seen herangezogen werden. Die Gletschermilch weist im Vergleich zum Dunkelblau der nicht von Gletschern gespeisten Seen eine türkise Farbe auf [vgl. Vogelhüttensee (Abbildung 22) und Schranferner (Abbildung 23) mit dem Wilden See (Abbildung 19) oder dem Saxalbersee (Abbildung 22)].

Die Speisung der Seen mit Schmelzwasser wird ebenfalls binär festgelegt. Der Kennwert 0 wird vergeben, wenn der See nicht offensichtlich vom Schmelzwasser eines Gletschers gespeist wird, und der Kennwert 1, wenn der See mit Schmelzwasser des Gletschers versorgt wird. Dieses Attribut wird ebenfalls sowohl mit Orthophotos als auch mithilfe des Programms r.glachaz eruiert.

Oberflächenabfluss

Die Bestimmung, ob ein See einen Oberflächenabfluss besitzt, erweist sich aufgrund der gegebenen Daten teilweise als schwierig. Aufgrund der Auflösung der Orthophotos kann man in manchen Fällen nur mit begrenzter Sicherheit feststellen, ob der See über einen Oberflächenabfluss verfügt. Um dieser Unsicherheit Abhilfe zu schaffen, wird erneut mit dem Punktesystem von 0 bis 3 Punkten gearbeitet.

0 Punkte: kein Oberflächenabfluss erkennbar

1 Punkt: geringfügige Erosionsrinne erkennbar

Daten und Methoden

2 Punkte: deutlich erkennbare Erosionsrinne sichtbar

3 Punkte: Wasser, das aus dem See fließt, ist erkennbar

Nachfolgend wird die Punktevergabe anhand von Beispielen verdeutlicht (s. Abbildung 27).

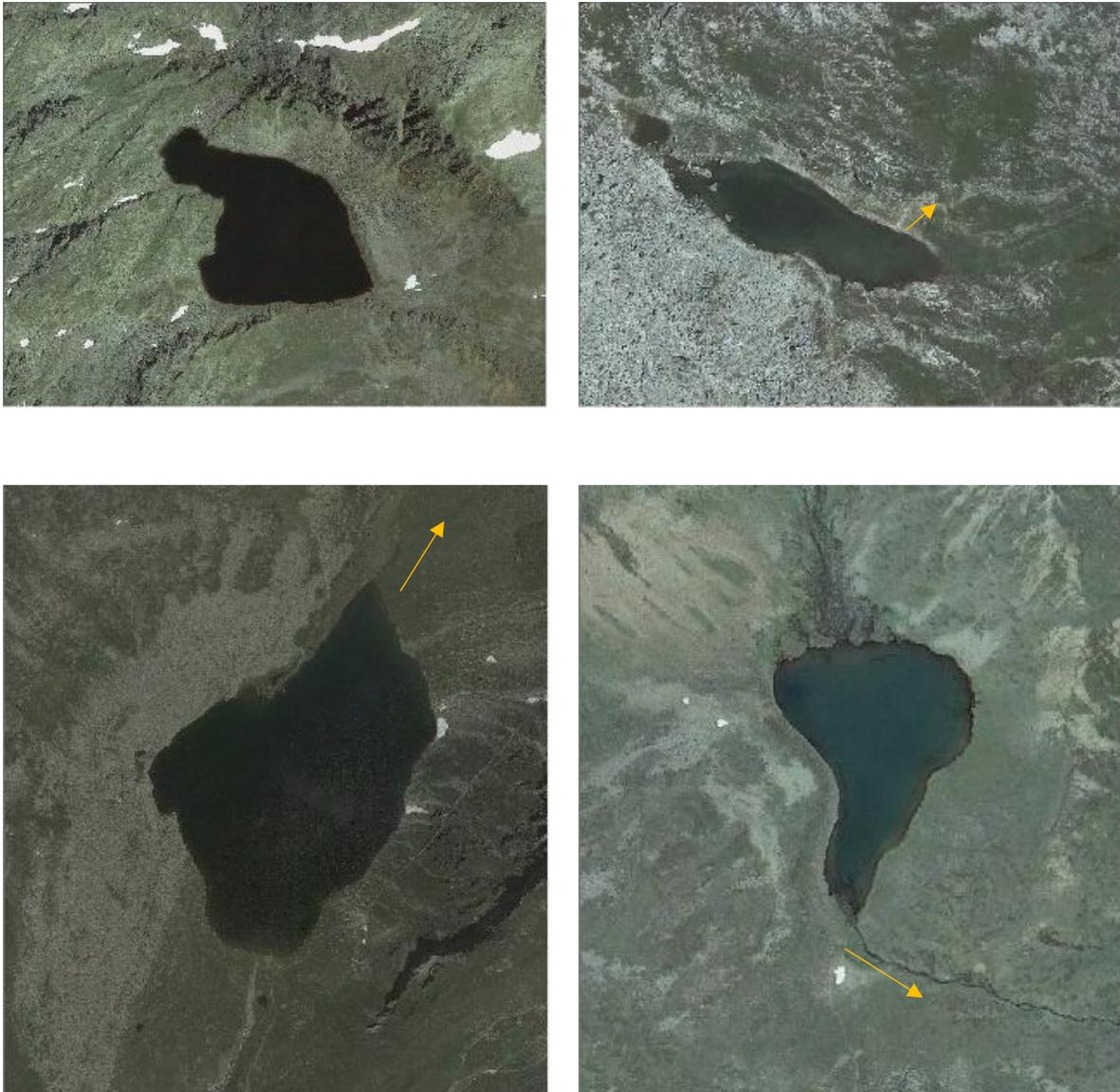


Abbildung 27: Oberflächenabfluss; Koflrasterseen (o.l.) (Oberflächenabfluss: 0); Krespeinasee (o.r.) (Oberflächenabfluss: 1); Eisbrucksee (u.l.) (Oberflächenabfluss: 2); Grünsee (u.r.) (Oberflächenabfluss: 3)

Das Vorhandensein eines Oberflächenabflusses wird zusätzlich zur optischen Analyse der Orthophotos von r.glachaz ermittelt. Dabei berücksichtigt r.glachaz den berechneten Freibord. Das Programm geht davon aus, dass ein Oberflächenabfluss besteht, sofern der Freibord 0 m ist.

Position

Die Position des Sees wird in Relation zum nächstgelegenen hang- bzw. talaufwärts liegenden Gletscher gestellt. So kann die Lage der Seen in sechs unterschiedliche Klassen eingeteilt werden (vgl. dazu Abbildung 7):

Kennwert 1: Der See befindet sich auf dem Gletscher (supraglazial).

Daten und Methoden

Kennwert 2: Der See wird vom Gletscher gedämmt.

Kennwert 3: Der See liegt unmittelbar vor dem Gletscher (proglazial).

Kennwert 4: Der See ist vom Gletscher abgetrennt (max. 250 m).

Kennwert 5: Im näheren Einzugsgebiet des Sees befindet sich kein Gletscher (max. 2'500 m).

Kennwert 6: Im Einzugsgebiet des Sees befindet sich kein Gletscher.

Die Position wird sowohl manuell mittels der optischen Analyse der Orthophotos als auch von r.glachaz ermittelt. Aufgrund der mangelnden Sichtbarkeit werden subglaziale Seen (Wassertaschen) hier nicht berücksichtigt.

Kalben

Die Gletscherkalbung ist unmittelbar an das Attribut des Gletscherkontaktes gekoppelt. Nur wenn der Gletscher und der See sich berühren, besteht die Gefahr, dass der Gletscher in den See kalbt. Folglich wird einem See der Kennwert zugewiesen, wenn keine Möglichkeit besteht, dass ein Gletscher in ihn kalbt, und der Kennwert 1, wenn ein angrenzender Gletscher potenziell in ihn kalben könnte (s. Abbildung 28).

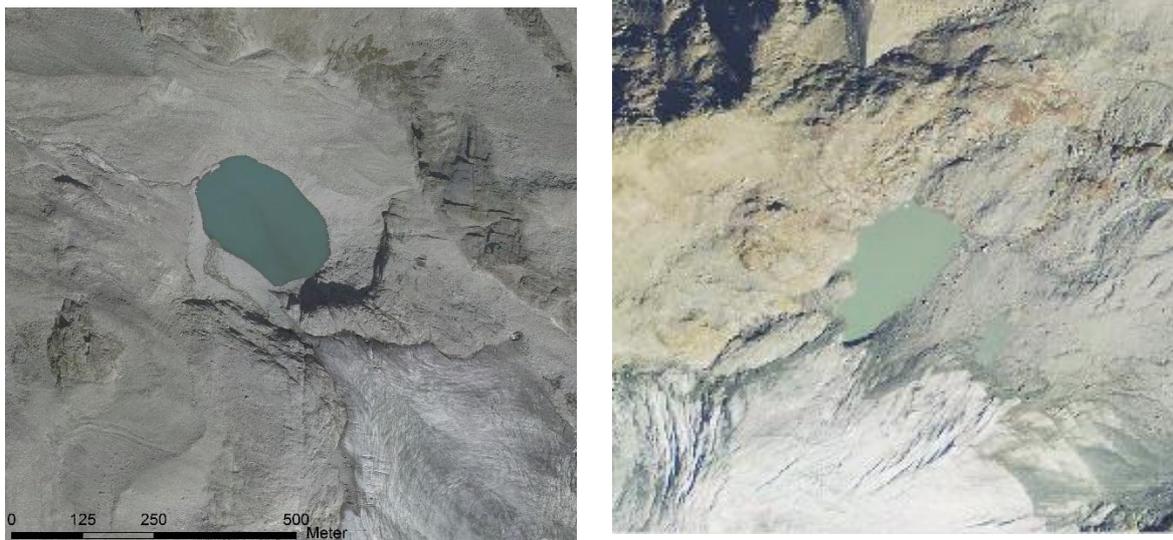


Abbildung 28: Kalbende Gletscher; Hochgallsee (l.) (Kalben: 0) und Zufallferner See (Kalben: 1) (Orthophoto: 2008)

Entwicklung

Als letztes Attribut wird die Entwicklung sämtlicher Seen zwischen 1999 und 2011 analysiert. Falls die Orthophotos von 2011 nicht interpretiert werden können, werden die Orthophotos zwischen 1999 und 2008 untersucht. Um eine allfällige Veränderung der Seeoberfläche feststellen zu können, werden bei jedem einzelnen See mehrere Orthophotos (1999, 2003, 2006, 2008, und 2011) übereinandergelegt. Differenziert werden folgende Entwicklungen:

Kennwert 0: Die Seegröße blieb während dieser Periode unverändert.

Kennwert 1: Die Seegröße wies während dieser Periode interannuelle Schwankungen auf.

Kennwert 2: Die Seegröße verringerte sich während dieser Periode.

Kennwert 3: Die Seegröße vergrößerte sich während dieser Periode.

Bei der Eruierung der Entwicklung der Seen ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den Orthophotos um Momentaufnahmen handelt. Daher muss die Aussagekraft der Seentwicklung, die anhand von Orthophotos gemacht wird, kritisch betrachtet werden. So kann nicht mit eindeutiger Sicherheit festgestellt werden, ob sich die Seeoberfläche während einer bestimmten Zeitperiode tatsächlich vergrößert hat oder ob sie nur saisonalen Schwankungen unterliegt, die beispielsweise durch klimatische Bedingungen beeinflusst werden. Durch die Berücksichtigung mehrerer Orthophotos, die während dieser Zeitperiode aufgenommen wurden (2003, 2006, 2008), wird versucht, die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse zu bekräftigen.

Die statistischen Auswertungen der Seen, die anhand der verschiedenen Attribute durchgeführt werden, erfolgen mittels Microsoft Excel®.

5.1.3. Herausforderungen

Die Inventarisierung der Seen in Südtirol anhand der Orthophotos erwies sich zum Teil aufgrund verschiedener Einflussfaktoren als schwierig. So waren im Jahr 2011 viele hochgelegene Gebiete und somit auch die Seen mit Schnee bedeckt. Daher müssen manche Seen gemäß ihrem Stand im Jahr 2008 kartiert werden. Während der Aufnahme des Orthophotos im Jahr 2008 wirkte es jedoch so, als ob große Gebiete Südtirols von starker Trockenheit betroffen waren (PERTERLI et al., 2008). Aus diesem Grund wiesen die Seen in dieser Aufnahme womöglich eine verhältnismäßig geringe Seeoberfläche auf.

Ein weiteres klassisches Problem, das bei der Analyse von Untersuchungsgebieten mittels Orthophotos auftritt, sind die Schatten. Je nach Tageszeit der Luftaufnahmen werfen Felsvorsprünge oder Berge Schatten. Teilweise gleichen diese Schatten auf den Orthophotos dem Umriss eines Sees oder erschweren das Erkennen eines tatsächlichen Sees. Durch das Übereinanderlegen von Orthophotos unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte verändern sich die Schatten resp. sie verschwinden vollkommen aus dem Orthophoto. Dadurch kann der Schatteneffekt minimiert werden.

Als weiterer Einflussfaktor der optischen Analyse von Orthophotos ist der Wind zu nennen. Teilweise wehte offensichtlich ein starker Wind über die Seen, sodass sich auf den glatten Seeoberflächen Wellen gebildet haben und dadurch die sonst dunkelblaue Oberfläche weiß-grau erscheint (s. Orthophoto 2011 in Abbildung 29). Die Seeoberfläche gleicht in diesem Fall vielmehr einer Schotter- als einer Wasserfläche (s. Abbildung 29).



Abbildung 29: Seeoberfläche (2011) (l.) und Seeoberfläche (2008) (r.)

Die starke Verlandung einiger Seen in Südtirol führt dazu, dass die Seegröße und die Wassertiefe fortlaufend verringert werden und dadurch das Wachstum der Vegetation in den Seen gefördert wird (SCHAEFER, 2012). Dadurch wird eine deutliche Abgrenzung zwischen See und Ufer teilweise massiv erschwert.

Es soll an dieser Stelle nochmals betont werden, dass es sich bei den Orthophotos um Momentaufnahmen handelt. Die Entwicklung betreffende Aussagen, also ob sich die Seeoberfläche in den letzten zehn Jahren vergrößert hat oder nur saisonalen Schwankungen unterliegt, sind daher mit Vorsicht zu verwenden.

5.2. Detailuntersuchung ausgewählter Seen

Im Zuge der Inventarisierung werden einige Seen ausgewählt, die aufgrund ihrer Größe, ihrer relativen Lage zum Gletscher und ihres Dammtyps augenscheinlich als potenziell gefährlich eingestuft werden können. So haben große, gletschnahe Seen, die durch Moränenmaterial oder Eis gedämmt werden, ein deutlich höheres Gefahrenpotenzial als kleine, gletscherferne Seen, die durch Fels gedämmt werden. Durch den direkten Kontakt von Gletscher und See ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Gletscher in den See kalbt und so einen Seeausbruch auslöst, relativ hoch. Außerdem weisen moränen- und eisgedämmte Seen – wie bereits erwähnt – aufgrund der instabilen internen Dammmkmale ein zusätzlich erhöhtes Ausbruchsrisiko auf. Eine große Seeoberfläche bzw. ein großes Seevolumen erhöht die maximale Abflussmenge und wirkt sich somit positiv auf die potenzielle Reichweite aus.

Aufgrund der oben genannten Seeigenschaften werden zehn Seen bzw. Seenkomplexe einer Detailanalyse unterzogen, die in Abbildung 31 aufgelistet und verortet werden.

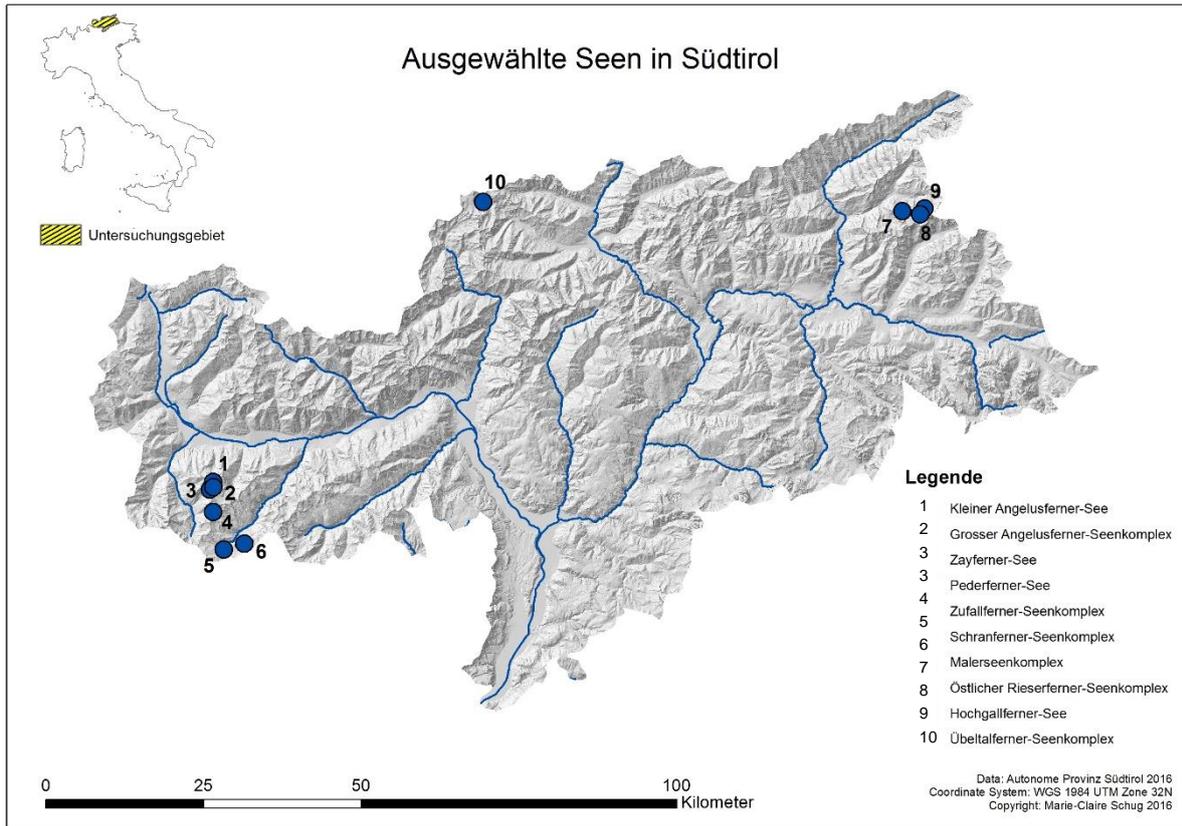


Abbildung 30: Räumliche Verteilung der ausgewählten Seen in Südtirol

Die oben aufgeführten Seen bzw. Seenkongplexe und ihr näheres Umfeld werden anschließend einerseits geomorphologisch kartiert und andererseits auf ihre Entwicklung im Zeitraum von 1945 bis 2011 untersucht.

5.2.1. Geomorphologische Kartierung ausgewählter Seen

Eine geomorphologische Kartierung hat zum Ziel, sämtliche Oberflächenerscheinungen und -prozesse im Raum zu verorten und die Ergebnisse in einer Karte zu visualisieren (DEMEK et al., 1982; HERGERT, 2007). Gemäß KIENHOLZ & KRUMMENACHER (1995) werden „mit der Geländeanalyse [...] im Wesentlichen die folgenden zwei Ziele verfolgt:

1. Erkennen und Interpretieren der „stummen Zeugen“ von früher abgelaufenen oder gegenwärtig ablaufenden gefährlichen Prozessen und
2. Erkennen und Beurteilen von kritischen Stellen im Gelände und speziellen Konstellationen im Zusammenspiel geomorphologischer, geologischer, hydrologischer usw. Erscheinungen und Prozesse“ (KIENHOLZ & KRUMMENACHER, 1995: 7).

Um schließlich eine fachlich fundierte Gefahrenbeurteilung durchführen zu können, ist eine geomorphologische Geländeanalyse als Grundlage also unumgänglich und stellt einen der wichtigsten Bestandteile dar (FUCHS et al., 2001). Je nach Fragestellung werden verschiedene Elemente in die Kartierung eines Untersuchungsgebietes aufgenommen bzw. berücksichtigt.

5.2.1.1. Kartierschlüssel

Für die Kartierung der geomorphologischen Erscheinungen und Prozesse in der näheren Umgebung der zehn ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe werden zwei verschiedene Kartierschlüssel herangezogen: zum einen derjenige des Schweizerischen Bundesamts für Umwelt (BAFU) (KIENHOLZ & KRUMMENACHER, 1995) und zum anderen die von ZANGERL und FEY veränderte Version desselben. Diese werden schließlich miteinander kombiniert, um so einen dem Untersuchungsgebiet und der Fragestellung gerechten Kartierschlüssel zu erstellen, der in Abbildung 31 gezeigt wird.

Legende					
	Gletscherabfluss		Fels		Thermokarst
	Oberflächenabfluss		Fels mit Grundmoräne		Murablagerung
	Erosionsrinne		Moräne		Massenbewegung überwiegend oberflächennah
	Störung vermutet		Seitenmoräne		Hangschutt Verwitterungsschutt
	Abbruch Blöcke (aktiv)		Moränenmaterial/fluvioglazialer Schotter/Sand		Felsschuttlawine verwittert
	Steinschlag		fluvioglazialer Schotter/Sand		Blockwerk Felssturzmateriale
	Murgang		Kies tw. konglomeriert Deltasedimente		Abbruch Grossblöcke
	See		Vernässungsfläche		
	Gletscher		Lakristine Ablagerung		

Abbildung 31: Verwendeter Kartierschlüssel zur geomorphologischen Kartierung

5.2.1.2. Kartierung

Während mehrerer Geländegänge werden die Seen bzw. Seenkomplexe sowie deren nähere geomorphologische Umgebung auf Grundlage der Orthophotos der Jahre 2011 und 2008 sowie der topographischen Karten von Tabacco (1:25'000) je nach Größe des relevanten Umfeldes im Maßstab 1:2'500 bis 1:10'000 kartiert. Berücksichtigt werden sowohl flächen- als auch linienhafte Erscheinungen (s. Abbildung 31). Im Fokus der Geländebegehung steht vor allem die Identifizierung des Dammtyps, des Oberflächenabflusses sowie der Gletschernähe (Sommer 2015) der ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe. Weitere geomorphologische Oberflächenformen und Prozesse, wie beispielsweise Moränen, Fels, Erosionsrinnen, Murgänge etc. werden ebenfalls nach ihrem aktuellen Stand aufgenommen. Die Geländegänge sowie die daraus resultierenden Detailkartierungen sollen dabei helfen, die tatsächliche Ausbruchsfahr der Seen besser abschätzen und beurteilen zu können. So kann die Aussagekraft der Modellierungsergebnisse von r.glachaz schließlich besser eingestuft werden.

5.2.2. Seentwicklung

Auf die klimatisch bedingte Entwicklung der Hochgebirgsseen und ihrer Umgebung wurde bereits mehrfach eingegangen. Um diese auch im Untersuchungsgebiet zu verdeutlichen, werden die oben aufgezählten Seen bzw. Seenkomplexe zusätzlich zur Entwicklung von 1999 bis 2011 über eine längere Zeitperiode analysiert. Untersucht wird die Entwicklung der Seen von 1945 bis 2011, da die zur Verfügung stehenden Orthophotos diese Zeitspanne abdecken.

5.2.2.1. Datengrundlage

Für die Analyse der Entwicklung der zehn ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe stellt die Autonome Provinz Südtirol die Orthophotos für den Zeitraum von 1992 bis 2011 und das Istituto Geografico Militare die Orthophotos von 1945 bis 1985 zur Verfügung (s. Tabelle 4).

5.2.2.2. Datenverarbeitung

Die Orthophotos der Jahre 2011, 2008 und 2006 wurden bereits von der Autonomen Provinz Südtirol georeferenziert und liegen daher wie bereits erwähnt im Koordinatensystem WGS 1984 UTM Zone 32N vor. Um die exakte räumliche Überlagerung sämtlicher Orthophotos sicherzustellen, werden auch die restlichen Orthophotos der Jahre 2003 bis 1945 mithilfe von ArcGIS in dasselbe Koordinatensystem projiziert. Anschließend werden alle Orthophotos in ArcMap übereinandergelegt, um so die zeitliche Entwicklung der Seen von 1945 bis 2011 zu analysieren. Die Seeoberflächen der unterschiedlichen Jahre werden schließlich kartiert und mit der aktuellen Seegröße (2011) vergleichend dargestellt.

5.2.2.3. Herausforderungen

Bei den Orthophotos der Jahre 1954–56 und 1945 kommt es trotz Georeferenzierung und Projizierung zu räumlichen Lageabweichungen. Dadurch weicht die Lage mancher Seen in diesen Jahren deutlich von der Lage der Seen in den darauffolgenden Jahren ab (Beispiel: Oberer Malersee). Da es jedoch bei der Entwicklungsanalyse um die relative Größenveränderung geht, die trotz der räumlichen Verschiebung erkannt werden kann, kann an dieser Stelle auf eine Korrektur verzichtet werden.

5.3. Modellierung des Gefahrenpotenzials

Die Erkennung und Einschätzung bzw. Bewertung der Ausbruchsfahr von Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen stellen einen wichtigen Bestandteil des Risikomanagements dar und ermöglichen die Minderung der Auswirkungen solcher Ausbruchereignisse sowie die Eindämmung des Risikos und der Schäden (MERGILI et al., 2015). Folglich werden in einem letzten Schritt die potenziellen zukünftigen Seeausbrüche in Südtirol modelliert, um so die Gefahr, die von potenziellen Seeausbrüchen ausgeht, bewerten zu können. Dabei können auf Grundlage der erhobenen Daten potenziell gefährliche Seen sowie potenzielle Reichweiten eines möglichen Seeausbruches ermittelt und berechnet werden. Das grundsätzliche Verfahren bei der Ermittlung der potenziellen Ausbruchsfahr wird von HUGGEL et al. (2004a) beschrieben und in Abbildung 32 dargestellt.

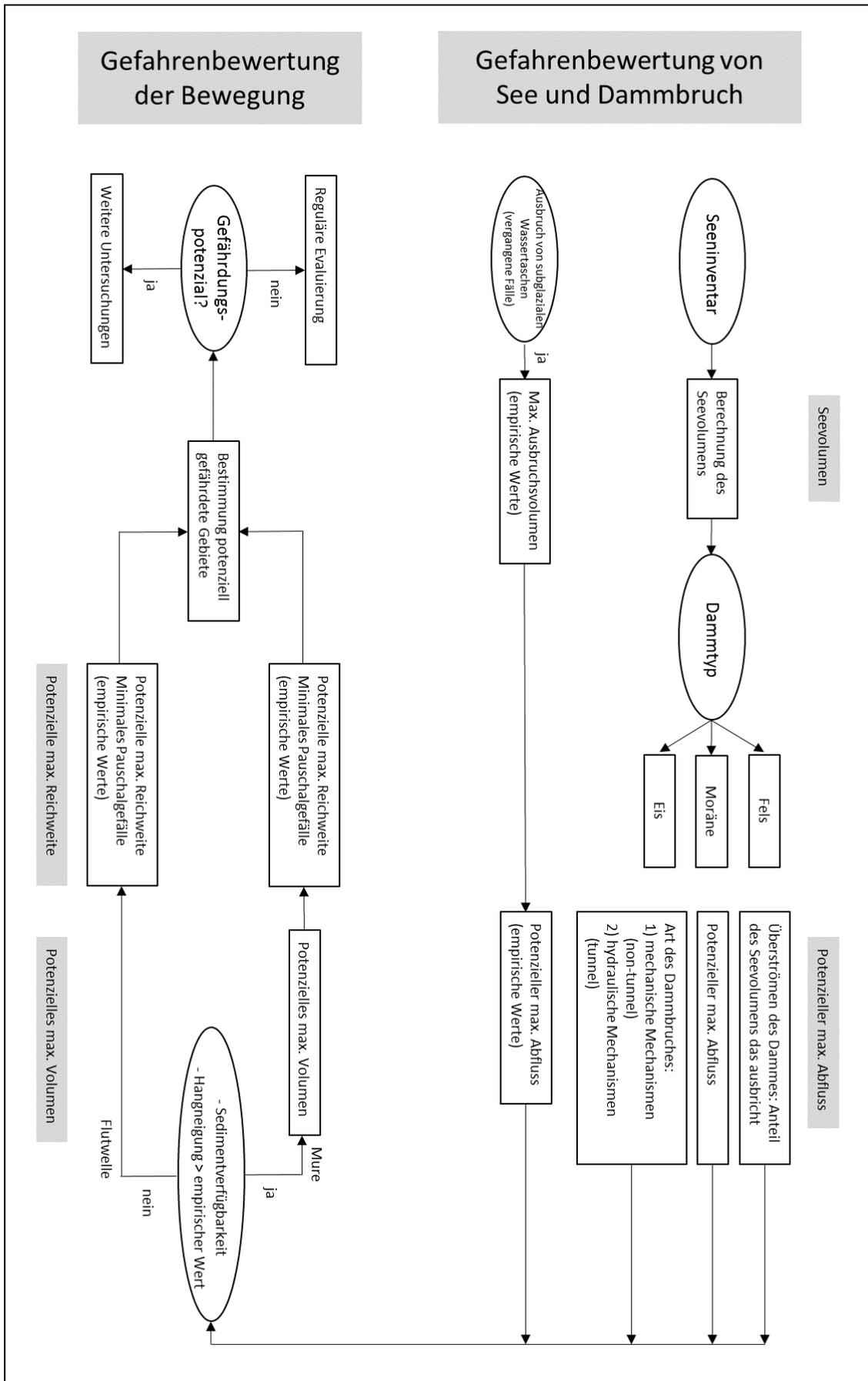


Abbildung 32: Beurteilungsprozedur zur Ermittlung der Gefahr eines Seeausbruches und verwandter Gefahren (verändert nach HUGGEL et al. (2004a))

Wie der Abbildung 32 entnommen werden kann, erfolgt die Modellierung von Gletscher- bzw. Hochgebirgsseeausbrüchen in zwei wesentlichen Schritten. Als Erstes werden (i) potenziell gefährliche Seen – sogenannte release areas – eruiert und in einem zweiten Schritt wird (ii) die Reichweite (propagation) von potenziell entstehenden Seeausbrüchen modelliert. Auf der Grundlage von empirisch-statistischen Ansätzen entwickelten GRUBER & MERGILI (2013) und MERGILI et al. (2015) zwei Computerprogramme mit deren Hilfe potenzielle (Gletscher-)Seeausbrüche und Eislawinen modelliert werden können. Beide Modellierungsprogramme wurden in die Open-source-Software GRASS GIS implementiert. Das Programm r.glachaz bestimmt (i) potenziell gefährliche Hochgebirgsseen (und Gletscher) und r.randomwalk ermittelt (ii) die mögliche Reichweite von potenziellen Seeausbrüchen (und Eislawinen) (MERGILI, 2016a). Da die Ergebnisse der Eislawinenmodellierung in die Seeausbruchsmodellierung einfließen, wird bei der Modellierung folgende Reihenfolge eingehalten:

1. Ermittlung potenzieller Anrissgebiete für Eislawinen mit r.glachaz
2. Reichweitenmodellierung der potenziellen Eislawinen mit r.randomwalk
3. Ermittlung potenziell gefährlicher Seen mit r.glachaz
4. Reichweitenmodellierung der potenziellen Seeausbrüche mit r.randomwalk

In den folgenden Kapiteln werden die Inputparameter sowie die Datenverarbeitung der beiden Programme gesondert erläutert. Sämtliche Berechnungen und Modellierungen werden schließlich als Gefahrenhinweiskarten visualisiert, die sieben unterschiedliche Gefährdungstufen aufzeigen. Diese Karten werden in Kapitel 6 präsentiert und erläutert.

5.3.1. r.glachaz – Ermittlung gefährlicher Hochgebirgsseen

Bei r.glachaz handelt es sich um ein Instrument zur überblicksmäßigen Analyse von Gletschergefahren für große Untersuchungsgebiete. Potenziell gefährliche Hochgebirgsseen, die durch interne oder externe Faktoren ausbruchsgefährdet sind, können mithilfe dieses Tools ermittelt werden.

5.3.1.1. Datengrundlage

Für die Ermittlung von potenziell gefährlichen Hochgebirgsseen werden verschiedene Inputparameter, die in Tabelle 8 aufgelistet sind, in r.glachaz eingespeist. Nachfolgend werden diese genauer erläutert:

Tabelle 8: Inputparameter r.glachaz

Input	Definition	Description
Prefix	Prefix for output files and folders	Any type of string
cellsize	Pixel size in metres	South Tirol: 20 and 40 m Catchments: 5 and 20 m
aoicoords	Set of coordinates delineating area of interest (N,S,E,W)	Coordinates of South Tirol and catchments
aoi	Name of area of interest raster map	Coordinates of South Tirol and catchments
elevation	Name of elevation raster map	DEM
elevfill	Name of filled elevation raster map	Derivative of DEM
slope	Name of slope raster map	Derivative of DEM
flowdir	Name of flow direction raster map	Derivative of DEM
flowacc	Name of flow accumulation raster map	Derivative of DEM

Input	Definition	Description
catchments	Name of catchments raster map	Martelltal Reintal Ridnauntal Suldental
temperature	Name of temperature raster map	Temperature gradient
glaciers	Name of raster map of glaciers	Glacier inventory
permafrost	Name of permafrost hazards raster map	Permafrost inventory
lakemap	Name of raster map of lakes	Lake inventory
lakefile	Path to text file with lake information	Attribute table lake inventory
seismic	Name of seismic hazards raster map	Earthquake inventory
imphaz	Name of raster map of impact hazards	Impact Hazard
cparams	Comma-separated list of parameters for catchment analysis	<ul style="list-style-type: none"> - Lower threshold of local slope (25°) - Upper threshold of local slope (45°) - Lower threshold of average slope of path (10°) - Upper threshold of average slope of path (30°) - Minimum distance at which a lake is considered glacier-detached (250 m) - Minimum distance at which a lake is considered non-glacial (2'500 m) - Distance after which the routing stops (25'000 m)
iparams	Comma-separated list of parameters for ice avalanche hazards	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum area of possible ice avalanches (1'000 m²) - Area of possible ice avalanche release zones (ZAS ≥ 6) (50'000 m²)
lparams	Comma-separated list of parameters for lake outburst hazards	<ul style="list-style-type: none"> - Minimum lake area to be considered in the analyses (1'000 m²) - Lake area (LAS = 6) (200'000 m²) - Dam slope threshold (10°) - Freeboard threshold (100 m) - Fraction of lake volume considered to drain (1.0) - Drainage time (1'000 s)

Auflösung (cellsize)

Die Auflösung der Inputdaten hängt vom gewünschten Genauigkeitsgrad sowie der Größe des Untersuchungsgebietes ab. Um keinen übermäßigen Speicherplatz zu benötigen und die Berechnungen innerhalb einer angemessenen Zeit durchzuführen, werden die Modellierungen über das gesamte Untersuchungsgebiet in einer Auflösung von 20 m und 40 m durchgeführt. Die Berechnungen der potenziellen Ausbruchsfahr für die Einzugsgebiete (catchments) werden in einer höheren Auflösung von 5 m und 20 m modelliert.

Koordinaten

Die Koordinaten werden durch die Ausmaße des Untersuchungsgebiets definiert.

Digitales Höhenmodell (DEM)

Mithilfe des digitalen Höhenmodells, welches von der Autonomen Provinz Südtirol zur Verfügung gestellt wurde, können unter Einsatz von ArcGIS die Derivate elevfill, slope, flowdir und flowacc abgeleitet und berechnet werden.

Einzugsgebiete (catchments)

Entsprechend der ausgewählten Seen der Detailanalyse werden vier Einzugsgebiete definiert, innerhalb derer die Modellierungen mit einer höheren Auflösung durchgeführt werden. Es handelt sich dabei um folgende Einzugsgebiete: Martelltal, Reintal, Ridnauntal, Suldental.

Tempertaturgradient

Anhand der beiden meteorologischen Stationen Laas (863 m ü. M.) und Sulden (1910 m ü. M) und der dort gemessenen mittleren jährlichen Lufttemperaturen kann in Südtirol ein Höhengradient von 0,5 °C/100 Höhenmeter ermittelt werden, der anschließend auf das gesamte Untersuchungsgebiet angewendet wird (TIROL ATLAS, o. J.).

Inventare

Das Gletscher- und Permafrostinventar (= Permafrost und Blockgletscher) der Autonomen Provinz Südtirol sowie das erstellte Seeninventar fließen ebenfalls in r.glachaz ein.

Lakefile

Das lakefile entspricht im Großen und Ganzen der Attributtabelle des Seeninventars. Allerdings wird der Datensatz vor der Einspeisung in r.glachaz bereinigt und bearbeitet. Zum einen werden für die Modellierung nur noch jene Seen berücksichtigt, die eine Oberfläche $\geq 1'000 \text{ m}^2$ haben. Diese Vergrößerung der minimalen Seegröße von 250 m^2 auf $1'000 \text{ m}^2$ erfolgt einerseits, weil eine Modellierung der Ausbruchsfahr erst ab einer gewissen Seegröße sinnvoll erscheint, und andererseits, weil während der Inventarisierung augenscheinlich festgestellt wurde, dass die potenziellen Auswirkungen eines Seeausbruches jener Seen, welche eine Oberfläche $< 1'000 \text{ m}^2$ haben, als sehr gering einzuschätzen ist (WORNI et al., 2013).

Zum anderen werden die folgenden Attribute überarbeitet:

- Ermittlung des Hauptmaterials des Dammes (= Werte > 1)
- Unterteilung der Seentwicklung in zwei statt vier Klassen:
 - growing (= Wert: 4)
 - stable or shrinking (= Werte: 1–3)

Die restlichen Werte, wie beispielsweise die Position oder der Oberflächenabfluss (s. Tabelle 9), wurden auf -9999 (= kein Wert) gesetzt. Dadurch werden sie zusätzlich von r.glachaz berechnet, sodass anschließend eine Validierung der selbst ermittelten Werte bzw. eine Evaluierung von r.glachaz erfolgen kann. Das überarbeitete lakefile enthält folglich die in Tabelle 9 ersichtlichen Attribute und wird als Textfile gespeichert.

Tabelle 9: lakefile

LAKEID	LAKETYPE	POSITION	DRAINAGE	FREEBOARD	DAMSLOPE	CALVING	EVOLUTION	LAKEAREA
--------	----------	----------	----------	-----------	----------	---------	-----------	----------

Erdbeben (seismic)

Aufgrund der geringen Erdbebentätigkeit in Südtirol wurde keine Erdbeben-Rasterkarte in r.glachaz integriert (ALP ARRAY, o. J.; AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016b; ZAMG, o. J.).

Impact Hazard (imphaz)

Der impact hazard wird von r.randomwalk berechnet und stellt die modellierte impact area von Eislawinen dar. Sofern sich diese impact area mit den kartierten Seen überlagert, ist der imphaz > 0.

Weitere Parameter

Durch die c-, i- und l-Parameter können weitere selbst definierte Schwellenwerte in die Modellierung integriert werden (s. Tabelle 8).

Sämtliche Rasterdatensätze werden schließlich zu ASCII-Files konvertiert, sodass sie in r.glachaz eingespeist werden können.

5.3.1.2. Datenverarbeitung

In Abbildung 33 wird der Workflow von r.glachaz präsentiert, der nachfolgend detailliert ausgeführt wird.

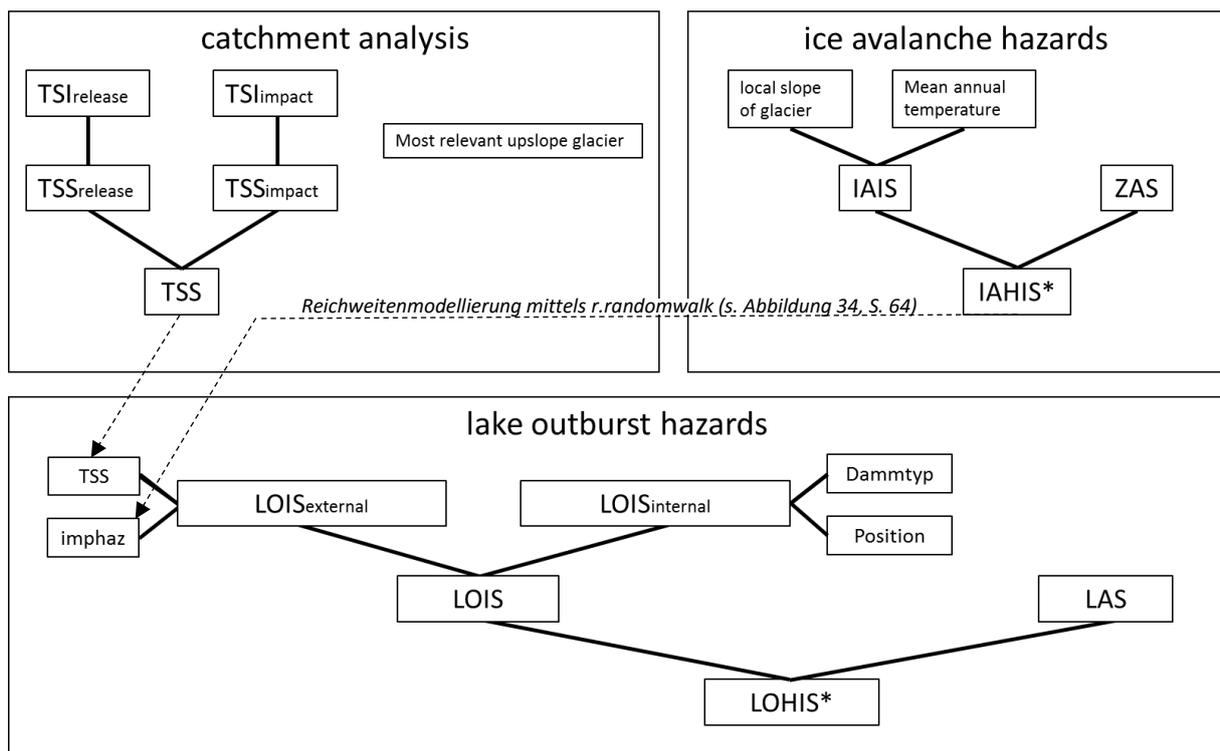


Abbildung 33: Workflow r.glachaz; *Inputparameter für r.randomwalk (s. Abbildung 34)

Die verwendeten Schlüsselvariablen (Inputs und Outputs) werden in Tabelle 14 erläutert.

Catchment analysis

In einem ersten Schritt wird das Einzugsgebiet des Sees auf seine Anfälligkeit gegenüber Massenbewegungen untersucht. Dazu werden zunächst zwei Indikatoren hergeleitet, die einerseits die Tendenz der

Loslösung einer Massenbewegung (TSI_{release}) sowie andererseits die potenziellen Einwirkungen auf die Umgebung (TSI_{impact}) berücksichtigen. Beide Indikatoren werden von der Hangneigung abgeleitet:

- TSI_{release} : Hangneigung
- TSI_{impact} : mittlere Hangneigung der potenziellen Laufbahn der Massenbewegung.

Folglich nehmen beide Indikatoren und damit die Anfälligkeit eines Pixels, von einer Massenbewegung betroffen zu sein, mit zunehmender Hangneigung zu. Die beiden Indizes werden schließlich in Scores (TSS_{release} und TSS_{impact}) umgewandelt, die einen Wertebereich von 0 bis 6 aufweisen. Schließlich werden die beiden Scores zum Topographic Susceptibility Score (TSS) vereint. Zusätzlich fließen mit den cparams, welche der Tabelle 8 entnommen werden können, weitere Inputparameter in die Modellierung bzw. in die Analyse des Einzugsgebietes ein. Des Weiteren wird innerhalb der Einzugsgebietsanalyse der relevante Gletscher eines Sees ermittelt. Als relevanter Gletscher wird jener Gletscher bezeichnet, der die geringste mittlere Hangneigung zwischen dem Gletscherterminus und einem See aufweist.

Ice avalanche hazards

In einem zweiten Schritt wird die Eislawinengefahr modelliert. Zunächst werden dazu die zusätzlichen Inputparameter Magnitude (M) und üblicherweise auch die Wahrscheinlichkeit (P) berechnet. Diese Berechnungen erweisen sich allerdings aufgrund der limitierten Datengrundlage und des seltenen Auftretens von Eislawinen als sehr schwierig. Eine Annäherung an die potenzielle Magnitude einer Eislawine ergibt sich aus der entsprechenden Gletscherfläche. Für die Ermittlung der Auftretenswahrscheinlichkeit erläutern HUGGEL et al. (2004a) eine mögliche Herangehensweise. Allerdings wird in der vorliegenden Arbeit auf die Berechnung bzw. auf die Herleitung einer Annäherung an die Auftretenswahrscheinlichkeit verzichtet, da sie aufgrund der enormen Unsicherheiten nicht sinnvoll erscheint.

Anhand der Inputdaten kann r.glachaz schließlich die Modellierung der Eislawinengefahr durchführen. Dabei werden zunächst die lokale Hangneigung der Gletscherpixel mit der mittleren jährlichen Lufttemperatur korreliert (vgl. HUGGEL et al. (2004a)), um so den Ice Avalanche Indicator Score (IAIS) zu erhalten. Die genaue Methodik zur Herleitung des IAIS wird von GRUBER & MERGILI (2013) erläutert. Sämtliche Pixel, die schließlich einen IAIS > 0 aufweisen, stellen dabei potenzielle Anrissgebiete für Eislawinen dar. Zusätzlich zum IAIS wird die potenzielle Anrissfläche [m^2] berechnet, von der anschließend der Zone Area Score (ZAS) abgeleitet wird. Schließlich werden der IAIS mit dem ZAS in einer zweidimensionalen Matrix miteinander kombiniert (s. Tabelle 10), aus der der Ice Avalanche Hazard Indicator Score (IAHIS) resultiert, der die potenzielle Gefahr einer Eislawinenablösung in unterschiedlichen Klassen (0–6) aufzeigt.

Tabelle 10: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des IAHS

IHS/ZAS	6	5	4	3	2	1	0
6	6	5	4	4	3	2	0
5	5	5	4	3	3	2	0
4	4	4	4	3	2	2	0
3	4	3	3	3	2	1	0
2	3	3	2	2	2	1	0
1	2	2	2	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Lake outburst hazards

In einem dritten Schritt erfolgt die Reichweitenmodellierung für Eislawinen mittels r.randomwalk (s. Kapitel 5.3.2). Anschließend kann in einem vierten Schritt die Modellierung von potenziell gefährlichen Seen vollzogen werden. Dazu berechnet das Programm r.glachaz zunächst die zusätzlichen Inputparameter Magnitude (M), Abflussmaximum (Q_p) und üblicherweise auch die Wahrscheinlichkeit P. Die Magnitude wird dem Seevolumen gleichgesetzt und kann mit der von HUGGEL et al. (2002) entwickelten Formel (s. Tabelle 14) berechnet werden. Das Abflussmaximum wird anhand von empirischen Beobachtungen und in Relation zum Seevolumen berechnet. Die Ermittlung der Auftretenswahrscheinlichkeit von Seeausbrüchen erweist sich wie auch bei den Eislawinen als sehr schwierig. HUGGEL et al. (2004a) zeigen dennoch Möglichkeiten auf, um die Auftretenswahrscheinlichkeit von Seeausbrüchen zu ermitteln. Wie bereits bei der Modellierung der Eislawinen wird im Rahmen dieser Arbeit allerdings auf die Berechnung der Ausbruchswahrscheinlichkeit verzichtet.

Anschließend führt r.glachaz mithilfe der Inputdaten die Modellierung der Ausbruchsgefahr der Seen im Untersuchungsgebiet durch. Dabei werden zunächst die externen und damminernen Faktoren, die einen See ausbruchsanfällig machen, ermittelt. Zur Bestimmung der damminernen Eigenschaften werden der Dammtyp und die Seeposition in einer zweidimensionalen Matrix gegenübergestellt und so der Lake Outburst Indicator Score internal ($LOIS_{internal}$) ermittelt (s. Tabelle 11).

Tabelle 11: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des $LOIS_{internal}$

Position/Dam	1 ice	2 bedrock	3 moraine	4 landslide	5 anthropogenic
1 Supra-glacial	6	NA	NA	NA	NA
2 Glacier-dammed	6	NA	NA	NA	NA
3 Proglacial	NA	0	4	6	NA
4 Glacier-detached	NA	0	1	6	NA
5 Non-glacial	NA	0	1	6	NA
6 Glacier-free	NA	0	1	6	NA

Bei den externen Eigenschaften, die einen Seeausbruch verursachen könnten, handelt es sich vorwiegend um Massenbewegungen, die in den See stürzen können. Dementsprechend werden der TSS und der von r.randomwalk generierte imphaz miteinander zum Lake Outburst Indicator Score external ($LOIS_{external}$) kombiniert.

Daten und Methoden

Die internen und externen Faktoren werden durch bestimmte Parameter positiv oder negativ beeinflusst. Verfügt ein Hochgebirgssee beispielsweise über einen Oberflächenabfluss, so wird sein $LOIS_{\text{internal}}$ um 1 herabgesetzt. Eine Übersicht dieser Beeinflussung der beiden Parameter wird in Tabelle 12 gegeben.

Tabelle 12: Beeinflussung der Wertigkeit von $LOIS_{\text{internal}}$ und $LOIS_{\text{external}}$ (Werte s. Tabelle 8)

Abnahme		Zunahme	
Parameter	Wertigkeit	Parameter	Wertigkeit
$LOIS_{\text{internal}}$	Oberflächenabfluss	Hangneigung des Dammes (user-defined: > 10°)	+1
	Stabile / kleiner gewordene Seefläche		
$LOIS_{\text{external}}$		Kalben	+1

Die maximalen Werte von $LOIS_{\text{internal}}$ und $LOIS_{\text{external}}$ werden schließlich miteinander zum Lake Outburst Indicator Score (LOIS) kombiniert. Dieser Score kann durch den Einfluss des Freibords um bis zu 4 Punkte herabgesetzt werden.

Anhand einer zweidimensionalen Matrix von LOIS und LAS (s. Tabelle 13) berechnet r.glachaz schließlich den Lake Outburst Hazard Indicator Score (LOHIS), der die Gefahr eines potenziellen Seeausbruchs widerspiegelt und ebenfalls in sechs verschiedenen Gefährdungsklassen (sehr gering 1 – sehr hoch 6) dargestellt wird.

Tabelle 13: Zweidimensionale Matrix zur Erstellung des LOHIS

LOIS/LAS	6	5	4	3	2	1	0
6	6	5	4	4	3	2	0
5	5	5	4	3	3	2	0
4	4	4	4	3	2	2	0
3	4	3	3	3	2	1	0
2	3	3	2	2	2	1	0
1	2	2	2	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

Daten und Methoden

Tabelle 14: Schlüsselvariablen für r.glachaz (verändert nach MERGILI et al. (2015))

Symbol	Wert (Bereich)	Name	Beschreibung
Input			
M	m ³ [>0]	Magnitude	Die Magnitude entspricht dem Seevolumen, das nach HUGGEL et al. (2002) folgendermaßen berechnet wird: $V = 0,104A^{1,42}$
Qp	m ³ s ⁻¹ [<0]	Peak discharge	Abflussmaximum
P	-9999	Probability	Wahrscheinlichkeit, dass ein GLOF bzw. eine Eislawine von einem bestimmten Pixel losgelöst werden kann.
Output			
area	m ²	Potential Release Area of Ice Avalanche	Die potenzielle Anrissfläche auf einem Gletscher, die durch eine Eislawine losgelöst werden könnte.
IAIS	[1–6]	Ice Avalanche Indicator Score	Der IAIS wird aus einer Korrelation zwischen der lokalen Neigung eines Gletscherpixels und der mittleren jährlichen Lufttemperatur ermittelt.
ZAS	[1–6]	Zone Area Score	Der ZAS wird aus der potenziellen Anrissfläche hergeleitet.
IAHIS	[1–6]	Ice Avalanche Hazard Indicator Score	Der IAHIS wird aus einer zweidimensionalen Matrix von IAIS und ZAS berechnet und zeigt die Suszeptibilität für die Einwirkungen durch eine Eislawine an.
FB	m	Freeboard	Der Freibord entspricht dem minimalen Höhenunterschied zwischen Damm und Seespiegel.
DW	m	Dam Width	Die Dammbreite in Richtung des Ausflusses entspricht der Distanz zwischen dem Seeabfluss und dem Punkt mit der tiefsten Geländehöhe des Sees.
DS	°	Dam Slope	Die Dammneigung entspricht der Neigung zwischen dem Seeabfluss und dem Punkt mit der tiefsten Geländehöhe des Sees.
GLD	m	Distance to glacier	Die minimale Distanz zwischen einem See- und einem Gletscherpixel.
POS	[1–6]	Position	Position des Sees in Relation zum Gletscher.
IIS	[1–6]	Impact Indicator Score	Der IIS entspricht der Anzahl der Modelle (Ansätze), die einen Impact auf ein bestimmtes Pixel vorhersagen.
IHIS	[1–6]	Impact Hazard Indicator Score	Der IHIS wird durch eine zweidimensionale Matrix von IIS und LOHIS berechnet.
TSS	[1–6]	Topographic Susceptibility Score	Der TSS beschreibt die Tendenz eines Pixels von einer Massenbewegung betroffen zu werden.
MISS	[1–6]	Mass Movement Impact Susceptibility Score	Der MISS setzt sich aus der ice avalanche impact susceptibility, topographic susceptibility und dem calving zusammen.
LOISe	[1–6]	Lake Outburst Indicator Score (internal)	Der LOISi berücksichtigt die internen Dammeigenschaften, die einen Seeausbruch auslösen könnten.
LOISi	[1–6]	Lake Outburst Indicator Score (external)	Der LOISe berücksichtigt externe Faktoren, die einen Seeausbruch auslösen könnten, wie z.B. Massenbewegungen in den See.
LOIS	[1–6]	Lake Outburst Indicator Score	Der LOIS kombiniert die maximalen Werte von LOISi und LOISe.
LAS	[1–6]	Lake Area Score	Der LAS fungiert als Stellvertreter für die mögliche Magnitude und wird durch benutzerdefinierte Flächen-Schwellenwerte bestimmt.
LOHIS	[1–6]	Lake Outburst Hazard Indicator Score	Der LOHIS wird durch eine zweidimensionale Matrix von LOIS und LAS ermittelt und zeigt die Suszeptibilität für die Einwirkungen durch einen Seeausbruch an.

5.3.2. r.randomwalk – Ermittlung der Bewegung

Anhand der durch r.glachaz ermittelten Daten kann schließlich mithilfe von r.randomwalk eine Reichweitenmodellierung der potenziellen Eislawinen und Seeausbrüche durchgeführt werden. Dabei handelt es sich bei r.randomwalk um eine regelbasierte Pauschalgefällemodellierung, die mehrere empirisch-statistische Ansätze miteinander kombiniert. In der Publikation von MERGILI et al. (2015) wird r.randomwalk und seine Anwendung auf Gletscherseeausbrüche ausführlich erklärt, weshalb an dieser Stelle nur noch eine kurze Erläuterung des Modells erfolgt.

Im Zuge der Reichweitenmodellierung werden die Impact Frequency (IF), der Impact Indicator Score (IIS) sowie der Impact Hazard Indicator Score (IHIS) berechnet:

- IF: Anteil der Modelldurchläufe (randomwalks), die bei einem Pixel einen Impact anzeigen (von insgesamt 1'000 Modelldurchläufen)
- IIS: Anzahl der Kriterien (Ansätze), mit denen ein Impact auf ein Pixel vorausgesagt wird (s. Tabelle 15).
- IHIS: Gefährdung eines Pixels, von einem bestimmten Impact betroffen zu werden (Kombination [zweidimensionale Matrix] von IIS und IAHS/LOHIS)

Eine Übersicht des Workflows von r.randomwalk wird in Abbildung 34 wiedergegeben.

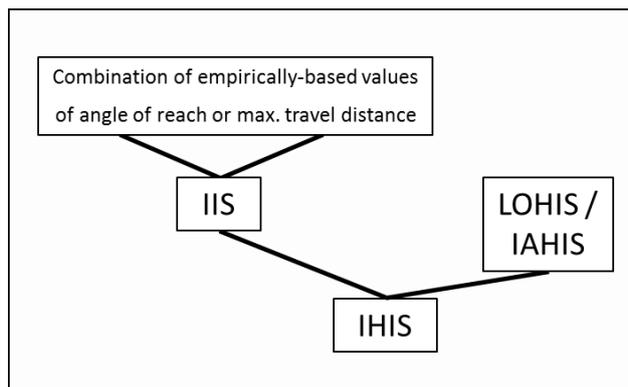


Abbildung 34: Workflow r.randomwalk

Zur Modellierung der Reichweite von Eislawinen wird beim IIS das Pauschalgefälle⁷ von Eislawinen berücksichtigt. Gemäß empirisch ermittelten Grenzwerten in den Alpen liegt der Pauschalwinkel von Eislawinen bei mindestens 17° (ALEAN, 1984; HUGGEL et al., 2004a). Dementsprechend wird der Pauschalwinkel bei der Reichweitenmodellierung von Eislawinen auf 17° festgesetzt. Zudem wird eine Mindestreichweite von 500 m festgelegt, um ein sofortiges Stehenbleiben der Flutwelle in flachen Bereichen direkt unterhalb des Sees zu vermeiden.

Bei der Reichweitenmodellierung von Seeausbrüchen werden bei der Herleitung des IIS sechs verschiedene Modelle bzw. Kriterien (Pauschalwinkel oder Reichweite) berücksichtigt, die der Publikation von MERGILI et al. (2015) entnommen werden können (s. Tabelle 15). Die Mindestreichweite wird ebenfalls auf 500 m festgesetzt.

⁷ „Gefälle einer gleichmäßig geneigten Linie vom obersten Anrisspunkt bis zum fernsten Ende der Ablagerung“ (ALEAN, 1984: 7).

Daten und Methoden

Tabelle 15: ^{1,2} ID(s) of test(s) where the rule of relationship is applied. ³ A bulking factor of 5 is applied to V (Quelle: Mergili et al. (2015: 4039) verändert nach IVERSON & THE (1997))

IDtest	Relationship	Reference	Process
1 ¹	$\omega_r = 11^\circ$	HAEBERLI (1983); ZIMMERMANN et al. (1997)	
1 ²	$\omega_r = 7^\circ$	HUGGEL et al. (2004a); HUGGEL et al. (2003); HUGGEL et al. (2004b)	Flood or debris flow
2 ^{1,2}	$\omega_r = 18Q_p^{-0.07}$	HUGGEL (2004)	
3 ^{1,2}	$L_{max} = 1.9V^{0.16}Z^{0.83}$	RICKENMANN (1999) ³	
4 ^{1,2}	$\omega_r = 6^\circ$		
5 ^{1,2}	$\omega_r = 4^\circ$		Flood
6 ^{1,2}	$\omega_r = 2^\circ$	HAEBERLI (1983); HUGGEL et al. (2004a)	

Nach der Berechnung des IIS werden der mithilfe von r.glachaz ermittelte LOHIS mit dem IIS kombiniert, um so den IHIS zu berechnen. Dieser gibt an, wie hoch die potenzielle Gefahr eines Pixels ist, von einem bestimmten Impact betroffen zu werden.

Detaillierte Ausführungen zu r.randomwalk können dem Paper von Mergili et al. (2015) entnommen werden. Das Programm sowie ein Handbuch werden von Mergili (2016b) auf seiner Website (www.mergili.at bzw. www.randomwalk.org) öffentlich zur Verfügung gestellt.

6. Ergebnisse

Der Aufbau dieses Kapitels gestaltet sich wie im vorangehenden. Zunächst werden die Ergebnisse der Erstellung des Seeninventars präsentiert. Dabei werden neben dem eigentlichen Seeninventar, das in Form einer Karte dargestellt wird, unterschiedliche Statistiken in Bezug auf die Eigenschaften der Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen durchgeführt. Anschließend werden die Ergebnisse, die im Rahmen der Detailuntersuchung eruiert wurden, präsentiert. Die kartierten geomorphologischen Erscheinungen und Prozesse in der näheren Umgebung der ausgewählten Hochgebirgsseen werden in Form von geomorphologischen Karten wiedergegeben. Um die Entwicklung der ausgewählten Seen zu veranschaulichen, wurden die Seeausdehnungen der unterschiedlichen Jahre kartiert und vergleichend mit jener des Jahres 2011 kartographisch dargestellt. Die in einem letzten Schritt durchgeführten Auslöse- und Reichweitenmodellierungen von potenziellen Eislawinen und Seeausbrüchen werden ebenfalls kartographisch aufbereitet und in unterschiedlichen Gefährdungstufen dargestellt. Zudem werden einige grundlegende statistische Auswertungen zu den Modellergebnissen durchgeführt.

6.1. Seeninventar

Insgesamt wurden im Untersuchungsgebiet 1'010 Seen kartiert, die über 2'000 m ü. M. liegen und eine Mindestgröße von 250 m² aufweisen. Davon liegen die meisten Seen in den Einzugsgebieten des Ahrflusses (~ 15 %), des Eisack (~ 14,5 %), der Etsch (~ 14 %) und des Rienzflusses (~ 11,5 %). Aufgrund der verhältnismäßig großen Ausdehnung dieser vier Einzugsgebiete ist ihre Seendichte allerdings im Vergleich zu den kleineren Einzugsgebieten teilweise deutlich geringer.⁸ Über das gesamte Untersuchungsgebiet (> 2'000 m ü. M.) verteilt ergibt sich eine mittlere Seendichte von ca. 38 Seen/100 km². Die höchste Seendichte weisen die beiden kleinen Einzugsgebiete des Pescarabaches (119 Seen/100 km²) und des Novellabaches (73 Seen/100 km²) auf. Verglichen mit der durchschnittlichen Seendichte weisen diese beiden Einzugsgebiete eine sehr hohe Seendichte auf. Dies ist allerdings auf die kleine Größe der beiden Einzugsgebiete zurückzuführen. Die Untersuchungsgebiete mit der nächst höheren Seendichte sind das Einzugsgebiet des Talferbaches mit einer Seendichte von 53 Seen/100 km² und das Einzugsgebiet des Falschauerbaches mit gut 50 Seen/100 km².

Die Mehrheit (~ 58 %) der kartierten Seen liegt auf einer Höhe zwischen 2'000 und 2'500 m ü. M., und nur gut 3 % aller kartierten Seen befinden sich auf einer Höhe von über 3'000 m ü. M. Die Größenverteilung der Seen zeigt, dass die Mehrheit der kartierten Seen (~ 38 %) eine Größe zwischen 1'000 und 5'000 m² aufweist – der Größenmedian aller Seen beträgt 1'285 m². Bei ca. 19 % der Hochgebirgsseen handelt es sich um relativ kleine Seen mit einer Größe kleiner als 500 m². Rund 23 % der Seen weisen eine Seegröße von 500–1'000 m² auf. Große Seen, die eine Fläche von über 100'000 m² aufweisen, sind im Untersuchungsgebiet mit nur ca. 0,4 % vertreten.

Die Lage der Seen wird in den statistischen Analysen aus Übersichtsgründen von den ursprünglichen sechs Klassen auf zwei Klassen zusammengefasst:

⁸ Bei der Analyse der Einzugsgebiete ist zu berücksichtigen, dass sich die Einzugsgebiete überlagern. Der Großteil der Südtiroler Flüsse mündet in die Etsch. Folglich befinden sich rund 95 % aller kartierten Seen im Einzugsgebiet der Etsch. Im Rahmen dieser Arbeit bezieht sich die Einzugsgebietsanalyse allerdings auf die Einteilung in 18 Einzugsgebiete, die sich nicht überlagern (s. Abbildung 100 im Anhang).

Ergebnisse

- Gletschernah (bis 250 m): 74 Seen
- Gletscherfern (> 250 m): 936 Seen

Durch diesen Zusammenschluss ergibt sich, dass nur gut 7 % aller kartierten Hochgebirgsseen in unmittelbarer Nähe des Gletschers liegen. Die restlichen 93 % liegen mehrheitlich deutlich weiter als 250 m von Gletschern entfernt.

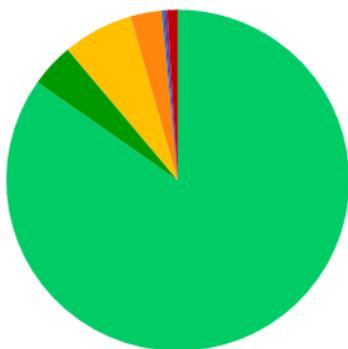
Die große Mehrheit der kartierten Seen in Südtirol wird durch Fels gedämmt. Nur knapp 10 % werden durch Moränenmaterial gedämmt. Der Tabelle 16 können sowohl die absoluten als auch die relativen Werte des dominanten Dammmaterials entnommen werden.

Tabelle 16: Dammmaterial der kartierten Seen

Dammtyp	Absolut	Relativ [%]
Fels	898	88,91
Moräne	97	9,60
Eis	2	0,20
Massenbewegung	3	0,30
Anthropogen	10	0,99

In Abbildung 35 ist die Gletschnähe der unterschiedlichen Seetypen (Moräne und Fels) ersichtlich. Dabei zeigt sich, dass der Großteil der felsgedämmten Seen (~ 85 %) nicht in der Nähe eines Gletschers liegt.

Gletschnähe der Seetypen



	Absolut	Prozent
Fels gletscherfern	856	84,75%
Fels gletschernah	42	4,16%
Moräne gletscherfern	67	6,63%
Moräne gletschernah	30	2,97%
Eis	2	0,20%
Massenbewegung	3	0,30%
Anthropogen	10	0,99%

Abbildung 35: Relative Position zum Gletscher im Vergleich zum Dammmaterial

Vergleicht man schließlich das Verhältnis der Seetypen im gletschnahen und -fernen Bereich, so zeigt sich ein völlig anderes Verhältnis zwischen den moränen- und felsgedämmten Seetypen (s. Abbildung 36).

Ergebnisse

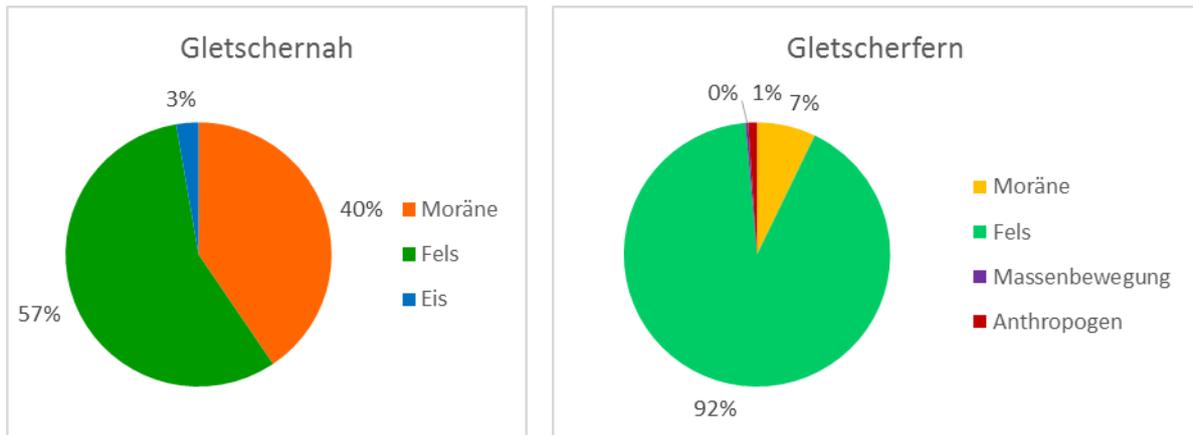


Abbildung 36: Vergleich der Seetypen in gletschernahen und gletscherfernen Bereichen

Die oben abgebildeten Diagramme zeigen, dass sich das Verhältnis zwischen moränen- und felsgedämmten Seen mit der Nähe zum Gletscher verändert. Bei den gletschernahen Seen nimmt der Prozentsatz der moränengedämmten Seen deutlich zu (um ca. 600 %). Dennoch werden auch in Gletschnähe die meisten Seen mehrheitlich durch Fels gedämmt.

Bei der Analyse der Verteilung der Seetypen nach den unterschiedlichen Einzugsgebieten zeigen sich innerhalb der verschiedenen Einzugsgebiete deutliche Unterschiede (s. Abbildung 37).

Verteilung der Seetypen nach Einzugsgebiet

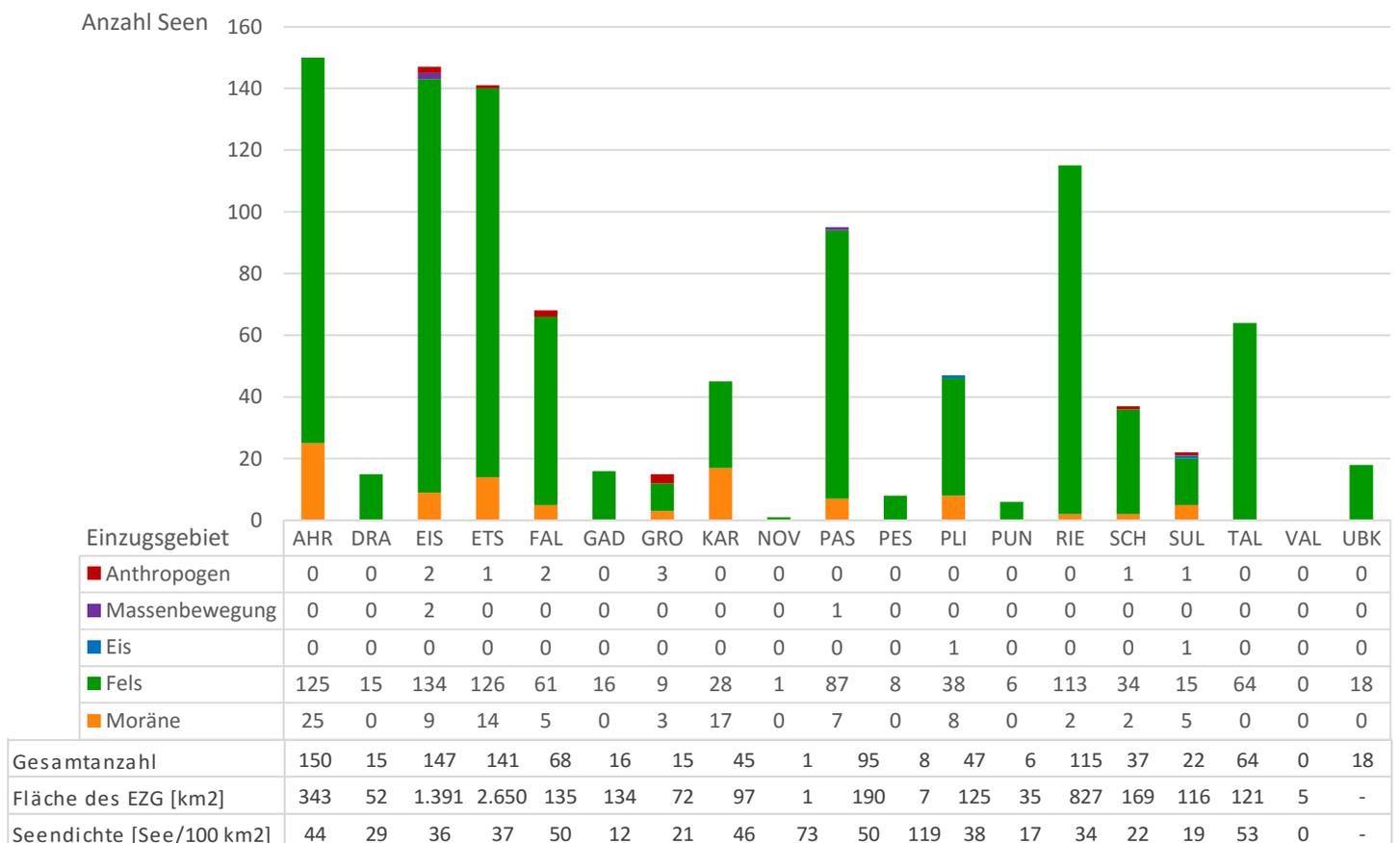


Abbildung 37: Verteilung der Seetypen nach Untersuchungsgebiet (Abkürzungen s. Tabelle 7)

Ergebnisse

In Abbildung 37 wird deutlich, dass Fels in allen Einzugsgebieten des Südtirols das am häufigsten vorkommende Dammmaterial der Seen darstellt. Nur im Einzugsgebiet des Karlinbaches befindet sich eine verhältnismäßig hohe Anzahl von moränengedämmten Seen von knapp 40 %. Im Einzugsgebiet der Drau, des Gaderbaches, des Novellabaches, des Pescarabaches, des Punibaches sowie des Talferbaches werden die Seen ausschließlich von Fels gedämmt. Jeweils ein eisgedämmter See wurde im Einzugsgebiet des Plimabaches und des Suldenbaches kartiert. Insgesamt wurden drei Seen kartiert, die durch Massenbewegungen aufgestaut wurden. Davon befinden sich zwei im Einzugsgebiet des Eisacks und einer im Einzugsgebiet des Passerbaches. Die größte Anzahl an Stauseen wurde im Einzugsgebiet des Grödnerbaches ermittelt.

Die kartierten Seen weisen wie bereits erwähnt sehr unterschiedliche Größen auf. Um zu ermitteln, ob ein Zusammenhang zwischen dem Dammmaterial und der Größe eines Sees besteht, werden diese beiden Seeigenschaften einander gegenübergestellt und in Abbildung 38 graphisch dargestellt.

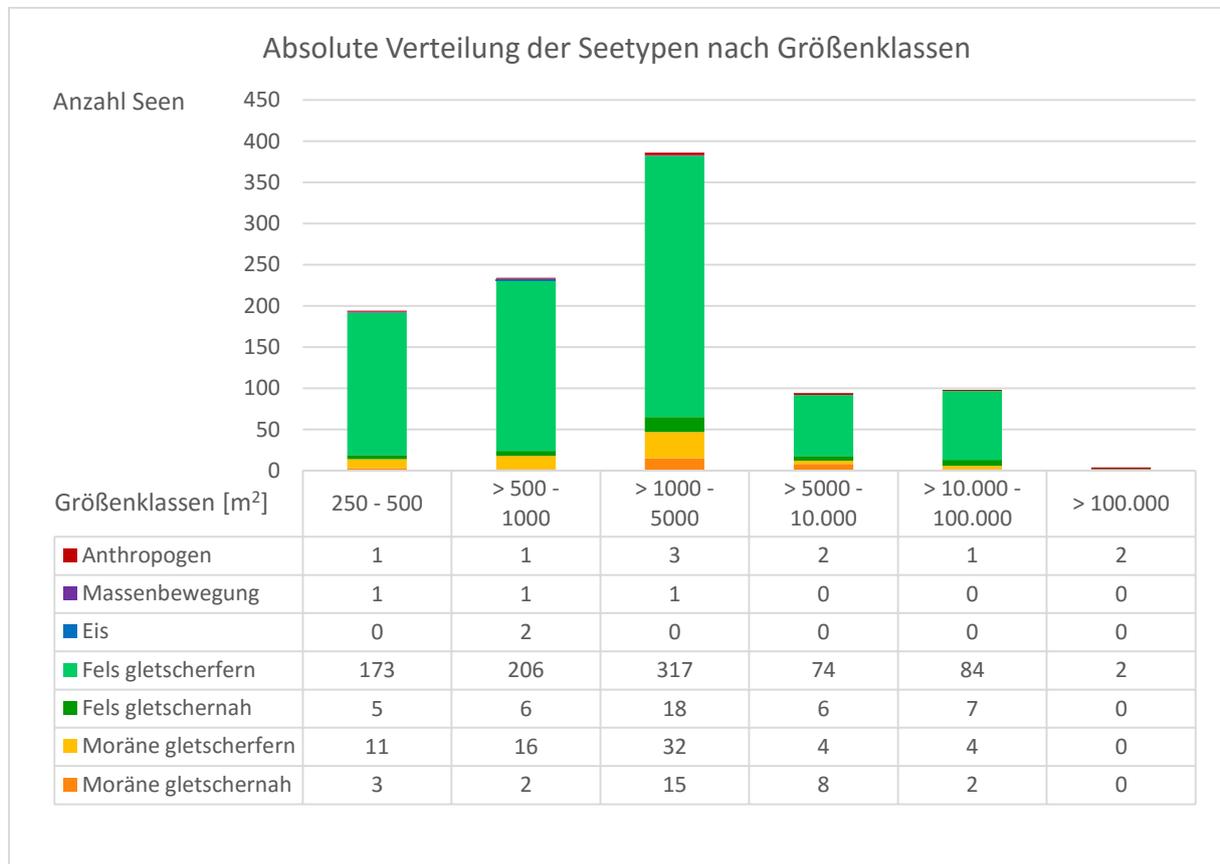


Abbildung 38: Verteilung der Seetypen nach Größenklassen

Der Abbildung 38 kann entnommen werden, dass es sich bei der Mehrheit der kartierten Seen in Südtirol um kleinere bis mittlere Seen handelt. Bis zur vierten Größenklasse (> 5'000–10'000) nimmt der Anteil an moränengedämmten Seen allgemein und an gletschernahen moränengedämmten Seen zu. Ab der fünften Größenklasse (> 10'000–100'000) nimmt der Anteil der moränengedämmten Seen wieder ab und verschwindet in der größten Klasse vollständig. Bei den Seen, die eine Größe von > 100'000 m² aufweisen, handelt es sich entweder um gletscherferne, felsgedämmte Seen oder um Stauseen.

Ergebnisse

Die durch Eis und Massenbewegung gedämmten Seen weisen eine verhältnismäßig kleine Seegröße von < 5'000 m² auf.

Im Rahmen der statistischen Analyse des Seeninventars wird zudem die Verteilung der jeweiligen Seetypen nach Höhenstufen analysiert. Diese Verteilung wird in Abbildung 39 dargestellt.

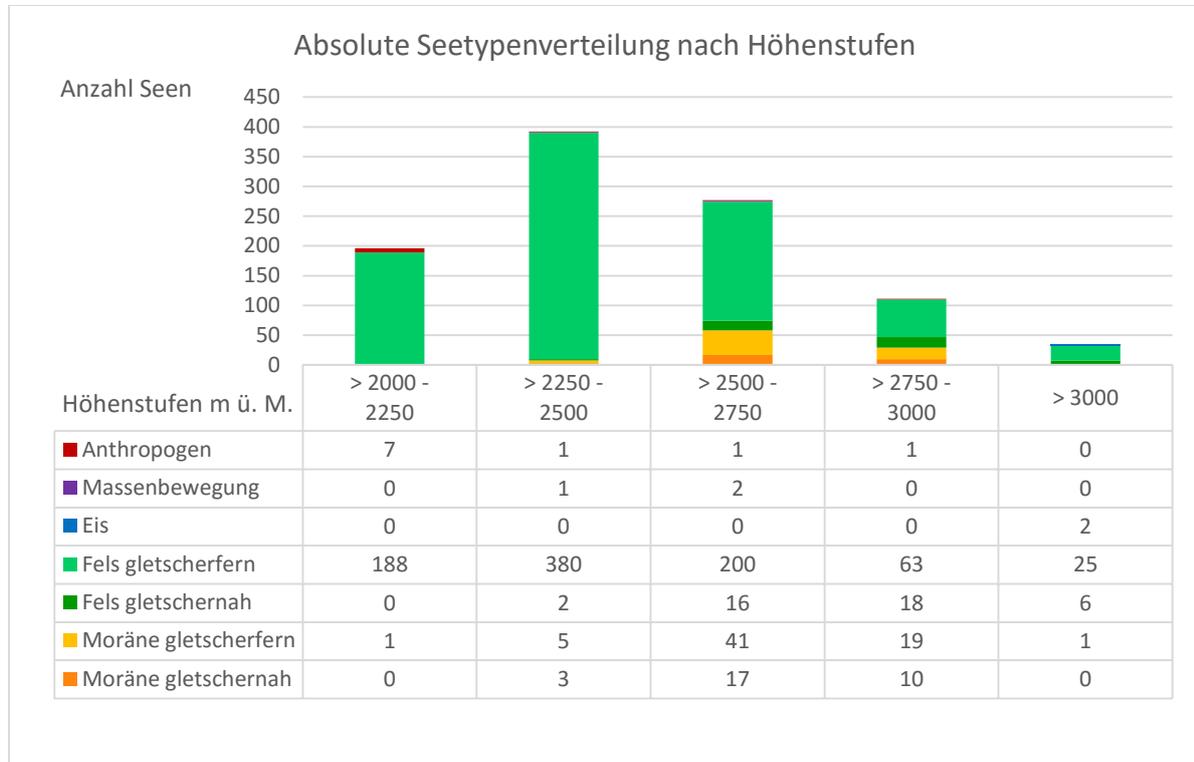


Abbildung 39: Seetypenverteilung nach Höhenstufen

Mit zunehmender Höhe nimmt die Anzahl an gletschernahen Seen zu. Während die felsgedämmten Seen in jeglichen Höhenlagen vorkommen, sind die moränengedämmten Seen vor allem in den mittleren Höhenstufen vertreten. Die eisgedämmten Seen kommen nur in der höchsten Höhenstufe vor, und die durch eine Massenbewegung aufgestauten Seen sind vor allem in den niedrigen bis mittleren Höhenstufen anzutreffen. Auch die anthropogenen Stauseen sind mehrheitlich in den niedrigen Höhenstufen anzutreffen.

Der Oberflächenabfluss der Seen verhält sich bei den beiden Seetypen Fels und Moräne sehr ähnlich: Etwa die Hälfte aller moränen- und felsgedämmter Seen verfügen über einen oberflächlichen Abfluss. Die beiden eisgedämmten Seen hingegen verfügen über keinen Oberflächenabfluss.

Für die Stabilität des Moränendamms sowie der gesamten Seeumgebung spielt der Permafrost eine wichtige Rolle. Daher wird im Rahmen der Erstellung des Seeninventars ermittelt, wie hoch die Verbreitung von Seen in den Permafrostgebieten des Südtirols ist. Anhand der Permafrostdaten, die von der Autonomen Provinz Südtirol zur Verfügung gestellt wurden, können keine detaillierteren Aussagen bezüglich der horizontalen Gliederung des Permafrosts gemacht werden. Es ist allerdings anzunehmen, dass der Permafrost in den Randbereichen nur unter sehr kalten klimatischen Bedingungen zustande

Ergebnisse

kommt. Insgesamt liegen 553 Seen, also gut die Hälfte aller kartierten Seen, in Gebieten mit Permafrost. Diese Seen bzw. die nähere Umgebung dieser Seen sind folglich großen Veränderungen ausgesetzt.

Im Rahmen der Inventarisierung wurde zudem die kurzfristige Entwicklung aller Seen im Zeitraum von 1999 bis 2010 untersucht. Der Abbildung 40 kann entnommen werden, dass 60 % aller kartierten Seen über den genannten Zeitraum eine stabile Seeoberfläche aufwiesen. 23 % der restlichen Seen wiesen zwischen 1999 und 2010 interannuelle Schwankungen an ihrer Oberfläche auf, und 16 % vergrößerten sich innerhalb dieser Periode.



Abbildung 40: Entwicklung der kartierten Seen zwischen 1999 und 2011

Bei der Analyse der Entwicklung der Seen in Verbindung mit unterschiedlichen Höhenstufen ergaben sich nur geringfügige Abweichungen zwischen den einzelnen Höhenstufen. Allerdings weisen die unterschiedlichen Seetypen unterschiedliche Entwicklungen bezüglich ihrer Größe auf (s. Abbildung 41).

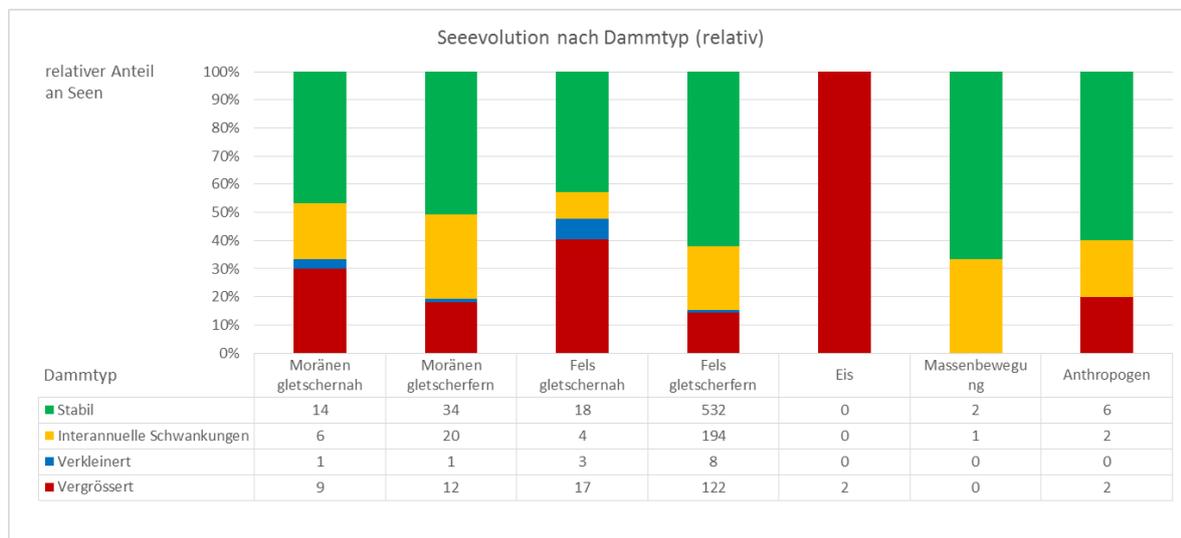


Abbildung 41: Seeentwicklung nach Dammtyp

Abbildung 41 zeigt, dass sich die beiden kartierten eisgedämmten Gletscherseen im Zeitraum von 1999 bis 2010 vergrößert haben. Zudem kann dem Diagramm entnommen werden, dass sich ca. 40 % der gletschernahen, felsgedämmten und 30 % der gletschernahen, moränengedämmten Seen vergrößert haben. Unter diesen beiden Seetypen befindet sich zudem auch der größte Anteil jener Seen, die sich im Laufe dieser Periode verkleinert haben (jeweils ca. 5 %).

Ergebnisse

Das gesamte Seeninventar wird in Abbildung 42 präsentiert. Die Seen werden dabei entsprechend ihrem Seetyp, ihrer Nähe zum Gletscher sowie ihrer Größe dargestellt.

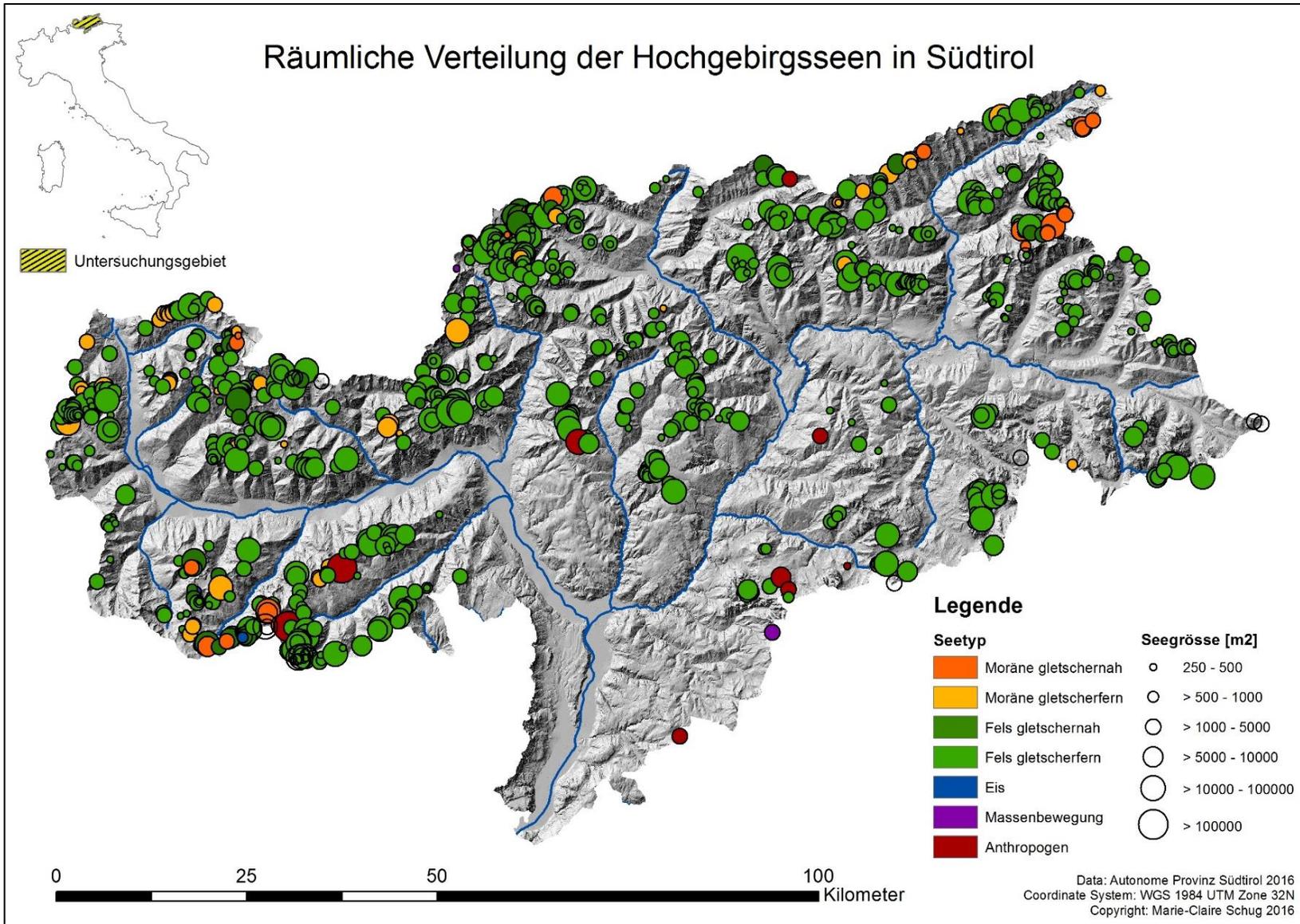


Abbildung 42: Seeninventar Südtirol (klassifiziert nach Seetyp und Seegröße)

6.2. Detailuntersuchung ausgewählter Seen

Im Rahmen der Detailuntersuchung wurden die längerfristige Entwicklung der zehn ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe sowie die Entwicklung ihrer näheren Umgebung untersucht. Die im Zuge der Kartierung erstellten geomorphologischen Karten befinden sich im Anhang. Zwischen 1945 und 2011 haben sich einige Seen vergrößert oder erst gebildet. Exemplarisch werden nachfolgend einige ausgewählte Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen und deren Eigenschaften sowie deren nähere Umgebung detailliert erläutert. Gemäß dem Permafrostinventar der Autonomen Provinz Südtirol liegen sämtliche ausgewählten Seen in Bereichen von Permafrostvorkommen. Die Reihenfolge der Besprechung erfolgt nach der Lage der Seen von West nach Ost und von Nord nach Süd.

6.2.1. Kleiner Angelusferner-See

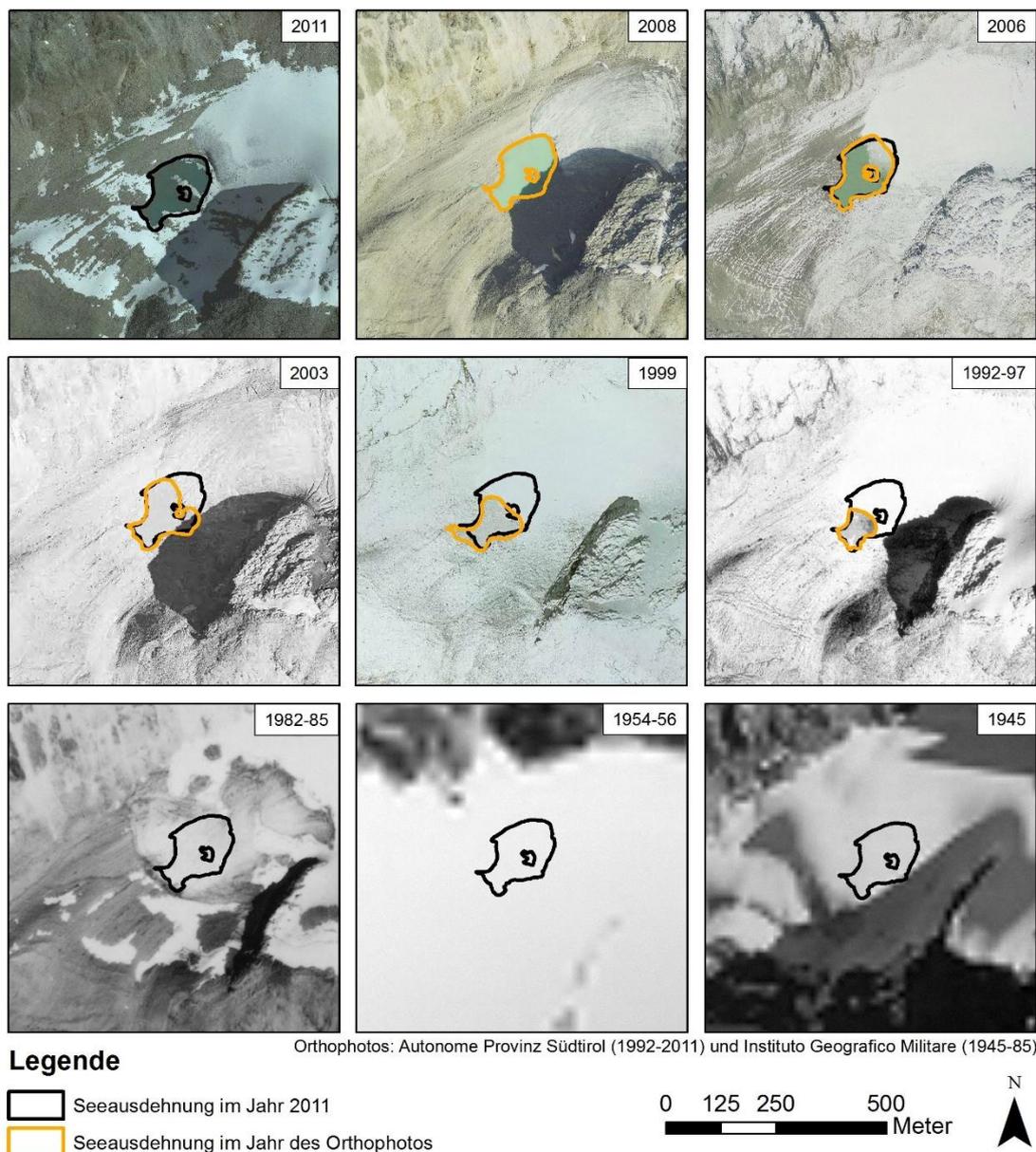


Abbildung 43: Entwicklung Kleiner Angelusferner-See

Ergebnisse

Der Kleine Angelusferner liegt im Einzugsgebiet des Suldenbaches und ca. 5 km nordöstlich der Ortschaft Sulden, auf einer Höhe von 2'953 m ü. M. Der See vor dem Gletscher kann zum ersten Mal auf dem Orthophoto der Jahre 1992–97 erkannt werden und entstand somit im Zeitraum zwischen 1985 und 1997. Anhand der Orthophotos kann festgestellt werden, dass sich die Gletscherzunge des Kleinen Angelusferner kontinuierlich zurückzog, sodass der See in den Jahren von 1992–97 bis 2011 von einer anfänglichen Fläche von 4'837 m² auf 14'361 m² angewachsen ist. Der See liegt mitten im Moränenmaterial des Kleinen Angelusfernens, dennoch wird er im Wesentlichen durch Fels gedämmt. In südwestliche Richtung verfügt der See über einen Oberflächenabfluss. Bis zum Jahr 2008 bestand zwischen dem Gletscher und seinem vorgelagerten See ein direkter Kontakt, der bereits drei Jahre später, im Jahr 2011, nicht mehr vorhanden war.

Anhand der geomorphologischen Karte (s. Anhang) kann erkannt werden, dass die nähere Umgebung des Kleinen Angelusferner-Sees sehr instabil ist. Im Südosten befindet sich eine Felswand, von der Großblöcke abbrechen und in den See stürzen könnten. Anhand der Ablagerungen vergangener Felsstürze (entlang des südöstlichen Seeufers) erscheinen solche Abbrüche durchaus wahrscheinlich. Die nördliche Umgebung des Sees ist ebenfalls deutlich mit Felssturzmaterial überlagert. Zudem konnten während der Geländebegehung im Sommer 2015 einige überwiegend oberflächliche Massenbewegungen sowie Murgänge und Felsschläge nördlich des Gletschers erkannt werden. Allerdings stellen sie für den See keine Gefahr dar, da diese Bewegungen zum einen durch den Moränenwall und zum anderen durch den Gletscher vom See abgetrennt werden und so eine Interaktion mit dem See verhindern.



Abbildung 44: Kleiner Angelusferner-See; Aufnahme von Südwesten (Quelle: MERGLI 2015)



Abbildung 45: Kleiner Angelusferner-See, Moränenlandschaft; Aufnahme von Norden (Quelle: HAUMANN 2015)



Abbildung 46: Kleiner Angelusferner-See, Oberflächenabfluss (2015)

6.2.2. Großer Angelusferner-See

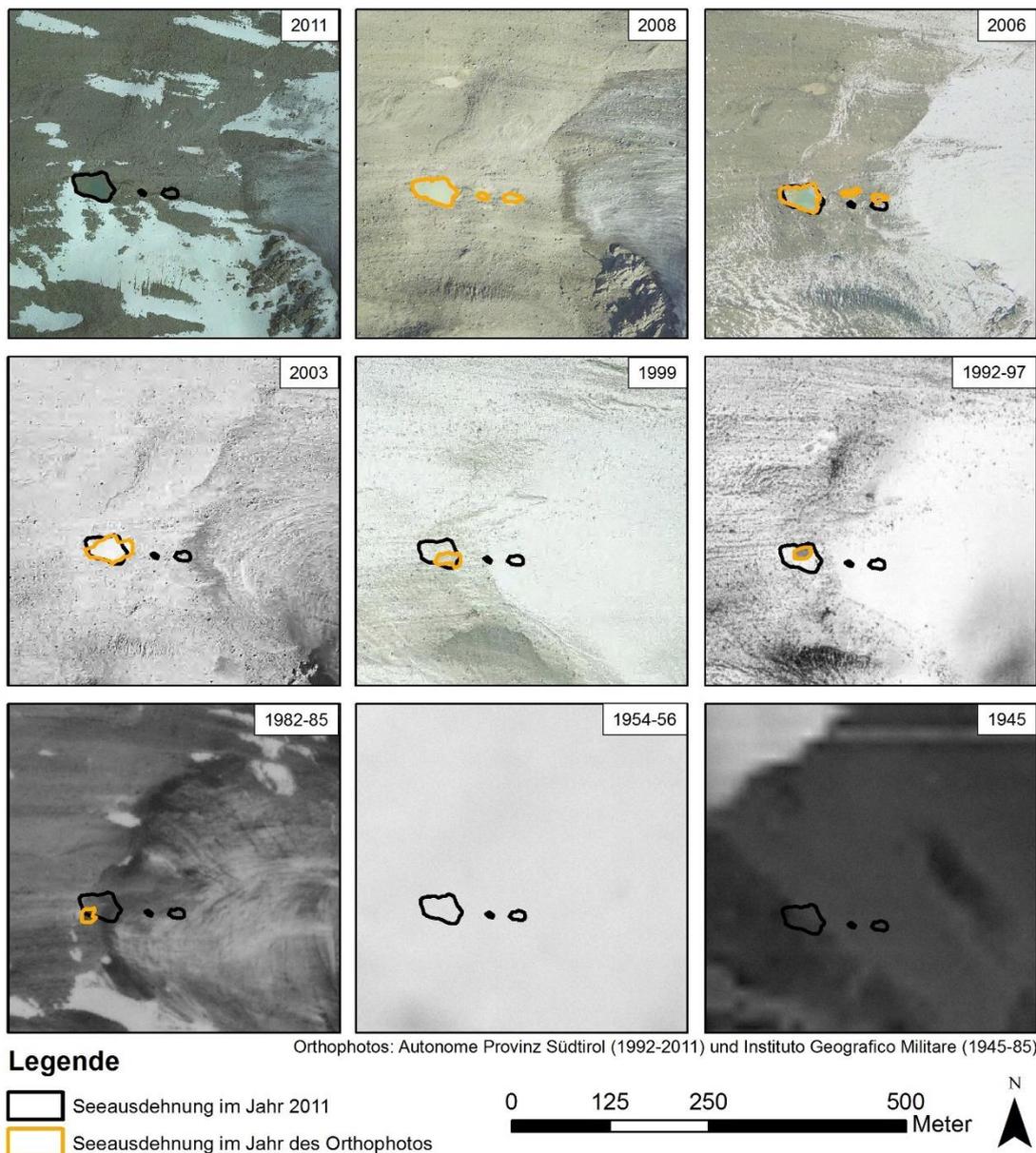


Abbildung 47: Entwicklung Großer Angelusferner-See

Der Große Angelusferner-See liegt knapp 1'000 m südlich des Kleinen Angelusferner-Sees auf einer Höhe von 2'860 m ü. M. und befindet sich ebenfalls im Einzugsgebiet des Suldenbaches. Durch den Rückzug des Großen Angelusfernern konnte erstmals auf dem Orthophoto der Jahre 1982–85 ein kleiner See, der eine Fläche von 246 m² aufwies, identifiziert werden. Bis zum Jahr 2011 zog sich der Gletscher kontinuierlich zurück, sodass sich der See auf eine Fläche von 1'355 m² vergrößerte. Zudem bildeten sich zwei weitere kleine Gletscherseen zwischen der Gletscherzunge und dem eigentlichen Großen Angelusferner-See, die ebenfalls von Gletscherwasser gespeist werden. Der eigentliche Gletschersee des Großen Angelusfernern steht seit spätestens 2003 nicht mehr in direktem Kontakt mit dem Gletscher. Wie der Kleine Angelusferner-See ist auch der Große Angelusferner-See in der Moränenlandschaft des Gletschers eingebettet. Anders als beim Kleinen Angelusferner wird der Große Angelusferner-See allerdings durch Moränenmaterial gedämmt. Während die beiden kleinen Gletscherseen noch über einen oberflächlichen Abfluss verfügen, besitzt der größte See keinen Oberflächenabfluss.

Ergebnisse

Im Zuge des Geländeganges im Sommer 2015 konnte akustisch ein Versickerungspunkt im Moränenmaterial festgestellt werden. Südlich des Hauptsees konnten überwiegend oberflächliche Massenbewegungen und darunterliegender Hang- bzw. Verwitterungsschutt beobachtet werden. Zudem befanden sich auf der Gletscherzunge Hangschuttablagerungen. Grundsätzlich wirken die umliegenden Felswände allerdings stabil. Nördlich des Sees befindet sich auf einer kleinen Erhöhung eine große Ebene, die mit fluvioglazialen Schotter bedeckt ist. Aufgrund dieses Schotters ist anzunehmen, dass sich an dieser Stelle zu einem früheren Zeitpunkt – als der Gletscher weiter nach vorne gedungen war – ein See befand, der neben oder unter dem Gletschereis lag. Eine alternative Erklärung für die Ablagerung dieses fluvioglazialen Schotters könnte sein, dass sich früher an dieser Stelle ein Gletscherabfluss befand, der das mitgeführte Material hier ablagerte (Sander).



Abbildung 48: Großer Angelus-Seenkomplex; Aufnahme von Norden (Quelle: HAUMANN 2015)

6.2.3. Zayferner-See

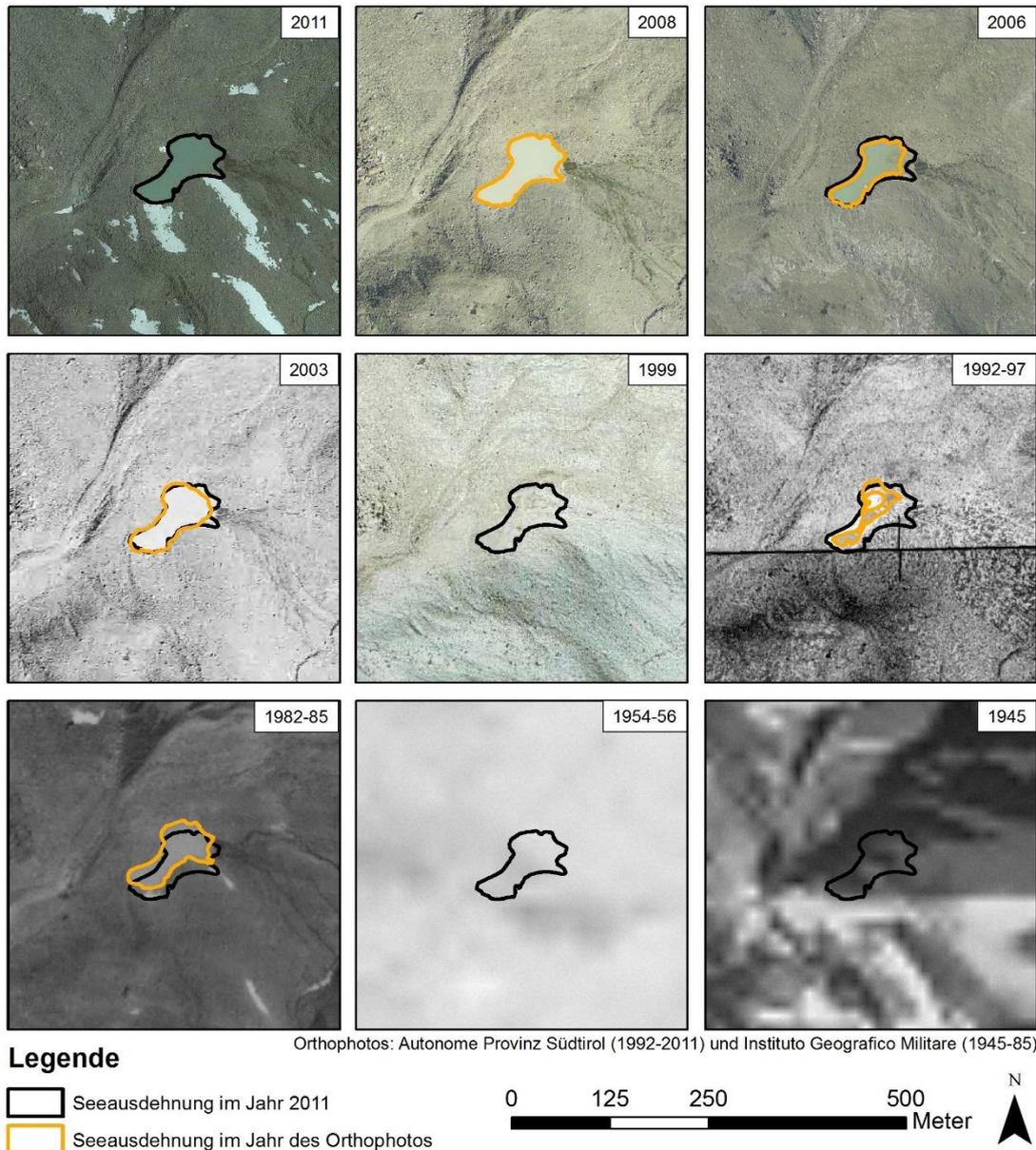


Abbildung 49: Entwicklung Zayferner-See

Der Zayferner-See liegt ca. 600 m südwestlich des Großen Angelusferner-Sees auf einer Höhe von 2'772 m ü. M. Der See ist auf den Orthophotos erstmals deutlich zwischen 1982 und 1985 zu erkennen. Aufgrund seiner beachtlichen Größe zu diesem Zeitpunkt ist allerdings anzunehmen, dass sich der See schon früher gebildet hatte, jedoch wegen der schlechten Qualität der Orthophotos nicht erkannt werden kann. Auf dem Orthophoto der Jahre 1982–85 hat sich die Lage des Sees deutlich verschoben. Diese Lageabweichung des Sees ist allerdings auf die räumliche Verschiebung des Orthophotos zurückzuführen, die in Kapitel 5.2.2.3 kurz erwähnt wurde. Auf dem Orthophoto des Jahres 1999 konnte kein See erkannt werden. Es ist anzunehmen, dass das Verschwinden des Sees auf die schlechte Bildqualität dieser Aufnahme zurückzuführen ist. Allerdings kann diese Annahme nicht eindeutig verifiziert werden. Die Seeoberfläche veränderte sich zwischen 1982–85 und 2011 nur geringfügig und hatte im Jahr 2011 eine Oberfläche von 4'752 m². 1945 zog sich der Zayferner sehr schnell zurück. Bereits in den 80er-Jahren hatte er keinen direkten Kontakt mehr zum See. Auffällig ist die starke Schuttbedeckung

Ergebnisse

im unteren Bereich des Gletschers. Der See wird durch eine kleine Endmoräne am westlichen Ende des Sees gedämmt, deren Material einen direkten Oberflächenabfluss verhindert, da das Wasser durch die Moräne durchsickert. Allerdings kommt das Wasser gleich hinter der Endmoräne wieder zum Vorschein und fließt dann oberflächlich ab. Während der Geländebegehung fiel auf, dass sich südöstlich des Sees ein hängender Gletscher befindet, der mit zunehmendem Rückzug immer instabiler werden könnte, sodass Teile des Gletschereises abbrechen und sich zu einer Eislawine entwickeln könnten.



Abbildung 50: Zayferner und -See; Aufnahme von Nordwesten (Quelle: HAUMANN 2015)



Abbildung 51: Endmoräne des Zayferners; Aufnahme von Süden (Quelle: HAUMANN 2015)



Abbildung 52: Moränenlandschaft Sulden-Seenkomplex. Kleiner Angelusferner-See (rechts) hängender Gletscher über dem Zayferner-See (Mitte links); Aufnahme von Nordosten (Quelle: MERGILI 2015)

6.2.4. Pederferner-See

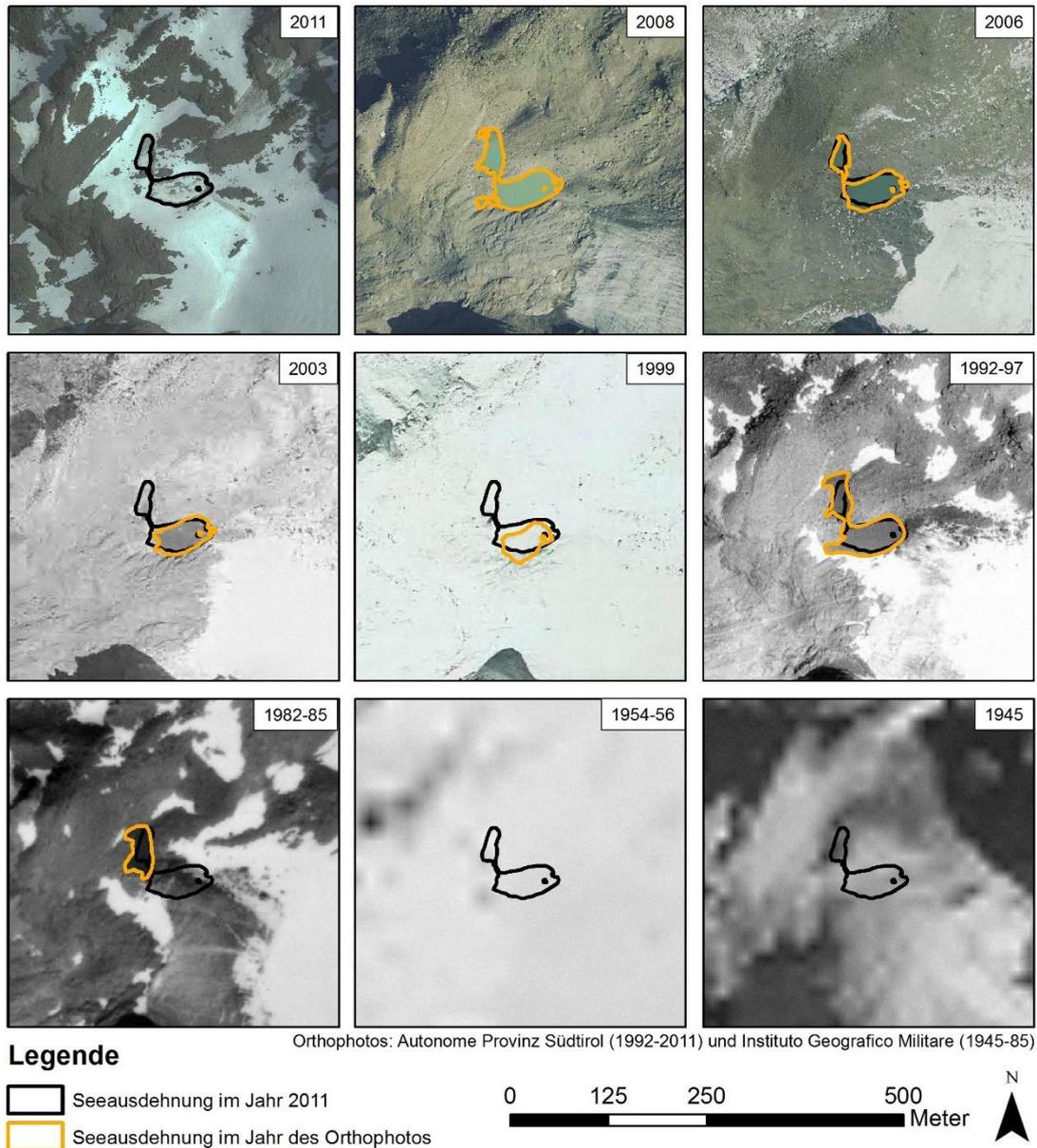
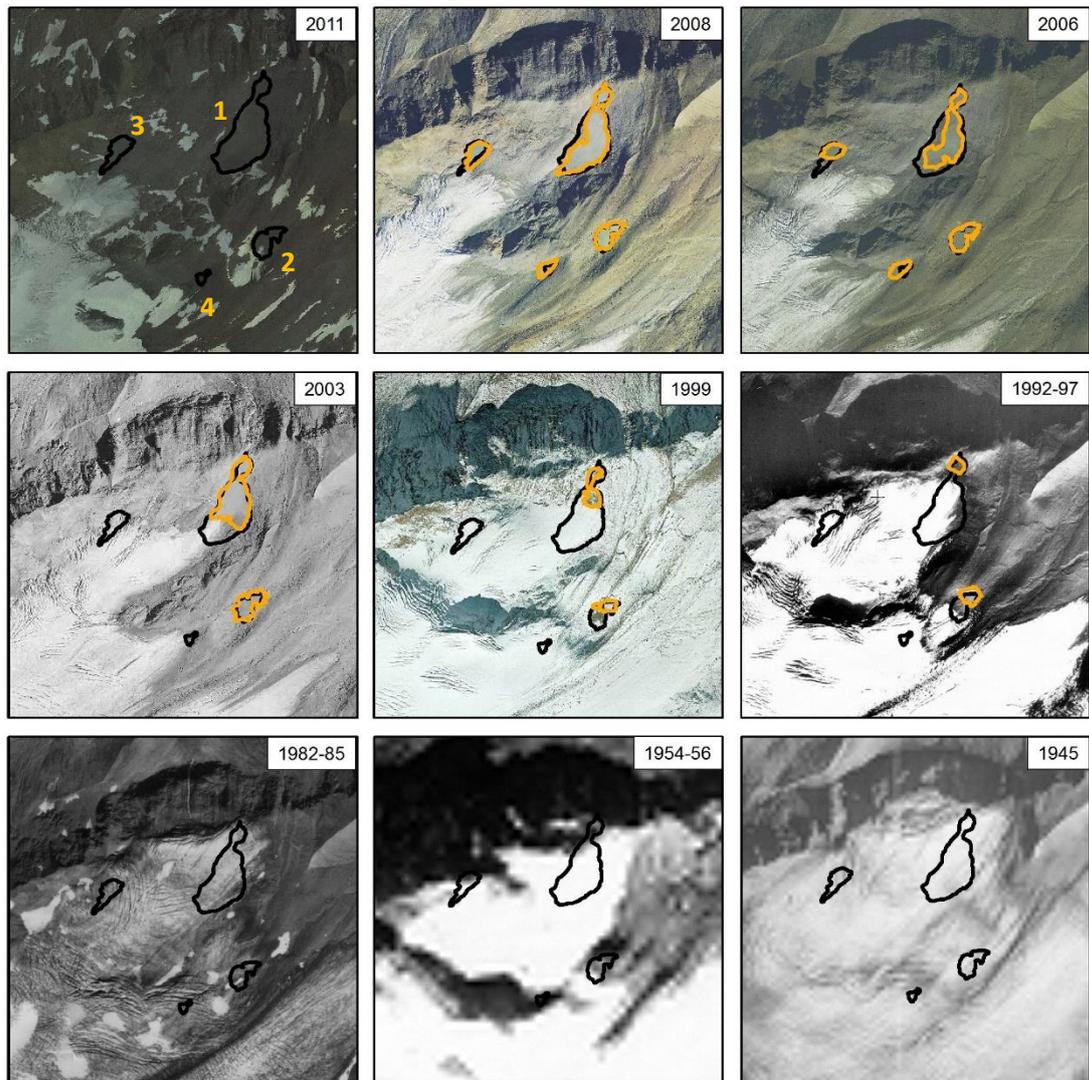


Abbildung 53: Entwicklung Pederferner-See

Der Pederferner-See liegt ebenfalls im Einzugsgebiet des Suldenbaches und ca. drei Kilometer östlich der Gemeinde Sulden auf ca. 3'005 m ü. M. Der See konnte erstmals auf dem Orthophoto der Jahre 1982–85 erkannt werden und wies damals eine Fläche von 1'692 m² auf. Der Pederferner zog sich kontinuierlich zurück und verlor Ende der 90er-Jahre den direkten Kontakt zu seinem vorgelagerten See. Aufgrund der vergrößerten eisfreien Fläche, die nun in östlicher Richtung zur Verfügung stand, konnte sich der See zunehmend ausbreiten. Seine Oberfläche nahm folglich kontinuierlich zu. Im Jahr 2011 wies der See schließlich eine Oberfläche von 3'049 m² auf. Gedämmt wird der See durch Fels, der stellenweise von Moränenmaterial überlagert wird. Auf den Orthophotos ist kein Oberflächenabfluss zu erkennen. Allerdings sind im tiefer gelegenen Moränenmaterial deutliche Erosionsrinnen sichtbar, die auf einen Oberflächenabfluss hindeuten könnten und sich im Laufe der Zeit nicht verändert haben. Aufgrund der schwierigen Erreichbarkeit konnte der See während des Geländeganges nicht besichtigt werden, sodass diese Annahmen nicht verifiziert werden können. Das nähere Umfeld des Sees weist

keine Massenbewegungen auf, die den See direkt tangieren. Allerdings liegt sehr viel Moränenmaterial entlang des Abflusses, welches im Falle eines Ausbruches erodiert werden könnte.

6.2.5. Zufallferner-Seenkomplex



Orthophotos: Autonome Provinz Südtirol (1992-2011) und Instituto Geografico Militare (1945-85)

Legende

- Seeausdehnung im Jahr 2011
- Seeausdehnung im Jahr des Orthophotos

0 0,25 0,5 1
Kilometer



Abbildung 54: Entwicklung Zufallferner-See

Der Zufallferner-Seenkomplex liegt im Einzugsgebiet des Plimabaches oberhalb des Martelltals auf einer Höhe zwischen 2'541 und 2'763 m ü. M. Die nächste Gemeinde, Martell, liegt knapp 14 km nordöstlich des Seenkomplexes. Der Abfluss des Seenkomplexes mündet in den gut sechs Kilometer entfernten Zufrittstausee. Der Gletschersee des Zufallferners erschien erstmals auf dem Orthophoto der Jahre 1992–97. Dabei bildeten sich zunächst die beiden östlichen Seen (1 und 2) des Seenkomplexes, die damals eine Größe von 1'926 m² (1) und 3'009 m² (2) aufwiesen. Während See 2 den Gletscherkontakt bereits kurz nach dessen Bildung noch in den 90er-Jahren verlor, koppelte sich die Gletscherzunge erst nach 2003 von See 1 ab. Durch den fortschreitenden Gletscherrückzug bildeten sich auf dem neugewonnenen Land weitere Seen (3 und 4) aus, und See 1 vergrößerte sich bis 2011 auf

Ergebnisse

26'520 m². Obwohl See 3 die geringste Entfernung zum Zufallferner aufweist, handelt es sich dabei um den einzigen See des Seenkomples, der nicht mehr von Gletscherwasser gespeist wird. Die Mehrheit der entstandenen Seen wird durch Fels gedämmt. Nur See 2 wird durch Moränenmaterial, möglicherweise durch einen Oser, aufgestaut. Alle Seen verfügen über einen Oberflächenabfluss. Während der Geländebegehung konnte festgestellt werden, dass sich zwischen See 3 und Gletscher eine große Verlässungsfläche befindet, die darauf schließen lässt, dass See 3 je nach Wasserspiegel sowohl nach vorne (Richtung Osten) als auch nach hinten (Richtung Süden) entwässert. Während der vordere Teil des Sees 3 von Fels aufgestaut wird, wird der hintere Teil durch Moränenmaterial aufgestaut. Im Zuge der Geländebegehung konnte zudem festgestellt werden, dass vor allem die beiden Seen 1 und 2 immer stärker verlanden.

In der näheren Umgebung des Seenkomples konnten während der Geländebegehung vereinzelt Erosionsrinnen und kleinere Massenbewegungen im Moränenmaterial erkannt werden. Von der Felswand, die nordwestlich des See 3 liegt, lösten sich vereinzelt Steinschläge. Dennoch wirkte die Felswand relativ stabil. Im Sommer 2015 stieß die Gletscherzunge des Zufallferners noch auf dem Gelände auf. Allerdings wird sich der Gletscher mit fortschreitendem Abschmelzen zu einem hängenden Gletscher entwickeln, von dem Eislawinen abgehen und in den See stürzen könnten. Talabwärts entlang des Seeabflusses sammelte sich einiges an Moränenmaterial an, welches im Falle eines Seeausbruches erodiert werden könnte.



Abbildung 55: Zufallferner-Seenkomples (See Nummer 1 und 3); Aufnahme von Südwesten (2015)



Abbildung 56: Zufallferner-See Nummer 2; Aufnahme von Westen (2015)



Abbildung 57: Zufallferner-See Nummer 4; Aufnahme von Osten (2015)

6.2.6. Schranferner-Seenkomplex

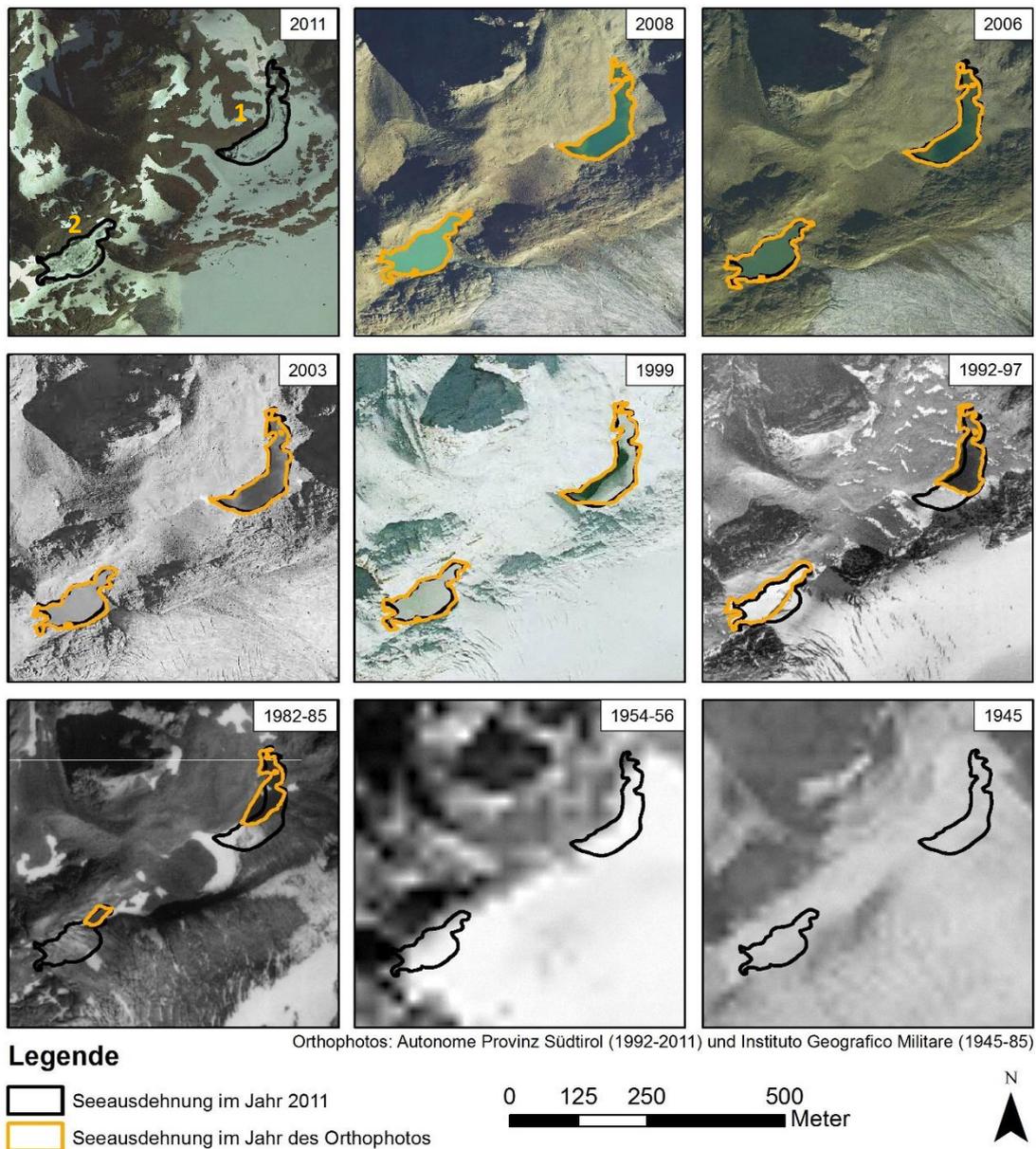


Abbildung 58: Entwicklung Schranferner-Seenkomplex

Der Schranferner liegt ebenfalls oberhalb des Martelltals im Einzugsgebiet des Plimabaches und ca. 3,5 km östlich des Zufallferner-Seenkomplexes auf einer Höhe von 2'889 m ü. M. Die beiden Seen, die sich im Vorfeld des Schranfernens befinden, bildeten sich im Zeitraum zwischen 1956 und 1985 aufgrund des Gletscherrückzuges. Die Gletscherzunge des Schranfernens zog sich zunächst stärker an seinem nordöstlichen Ende zurück, sodass der nordöstliche See (1) schneller anwuchs. Auf dem Orthophoto der Jahre 1982–85 wies See 1 eine Oberfläche von 4'626 m² und der See im Südwesten (2) eine Oberfläche von 862 m² auf. Während sich der Gletscher von See 1 bereits in den 90er-Jahren abkoppelte, stand er zu See 2 noch bis 2003 in direktem Kontakt. Durch den zunehmenden Rückzug des Gletschers und die neue eisfreie Fläche vergrößerten sich die beiden See auf eine Fläche von 8'370 m² (1) und 6'977 m² (2). Beide Seen werden durch Fels gedämmt. See 2 besitzt zudem einen Oberflächenabfluss. See 1 wird nicht mehr von Gletscherwasser gespeist und läuft wahrscheinlich unterirdisch ab. Sofern der Seespiegel des Sees 1 ansteigt, könnte er oberflächlich in See 2 abfließen, da zwischen den

Ergebnisse

beiden Seen eine deutliche Erosionsrinne erkennbar ist. Allerdings kann eine solche Verbindung der beiden Seen anhand der Orthophotos nicht verifiziert werden, da ihre zeitliche Auflösung dafür zu begrenzt ist.

Im Zuge der Geländebegehung konnten bei See 1 sehr viele Massenbewegungen wie Felslawinen, die bis in den See hinein reichen, kartiert werden. Zudem konnten große Felsblöcke auf dem Gletscher erkannt werden, welche ziemlich weit herunter reichen. Solche Felsstürze auf Gletscher können sich zu potenziell destruktiven Eislawinen weiterentwickeln (HUGGEL et al., 2004c). Entlang des Oberflächenabflusses befindet sich zudem sehr viel Moränenmaterial, das bei einem Ausbruch erodiert und mittransportiert werden könnte.



Abbildung 59: Schranferner-See Nordost (1); Aufnahme von Westen (2015)

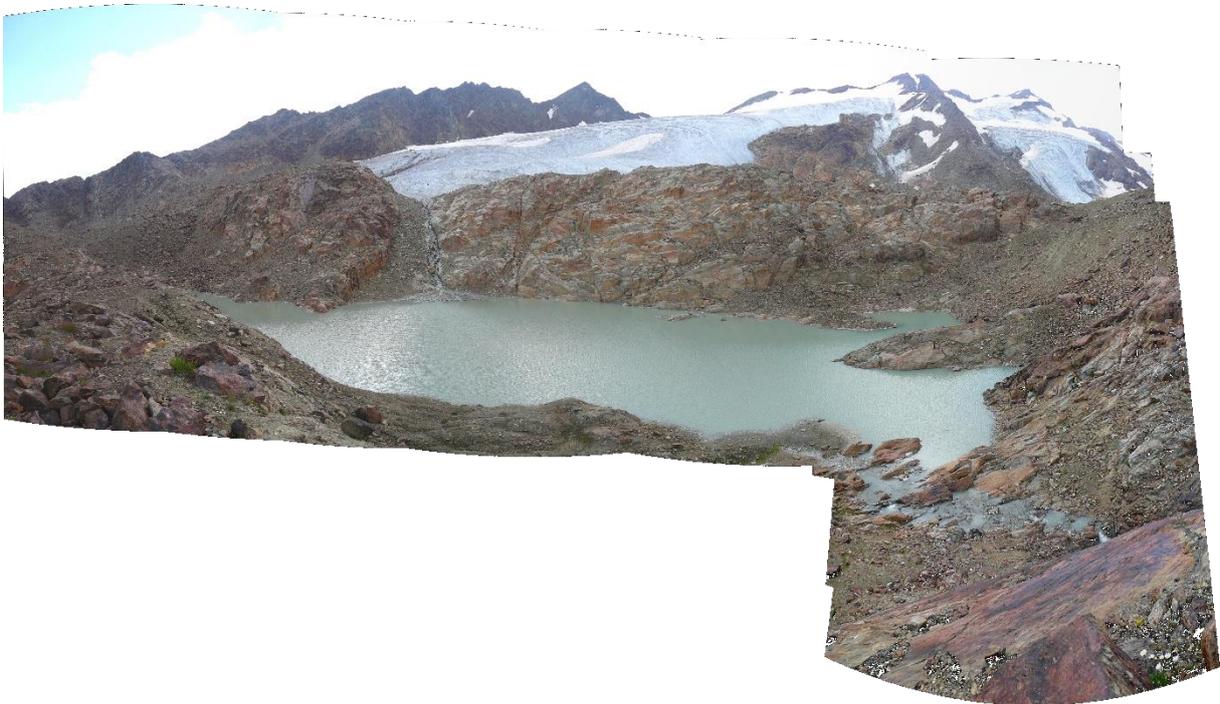


Abbildung 60: Schranferner-See Südwest (2); Aufnahme von Norden (2015)

6.2.7. Malerseenkomplex

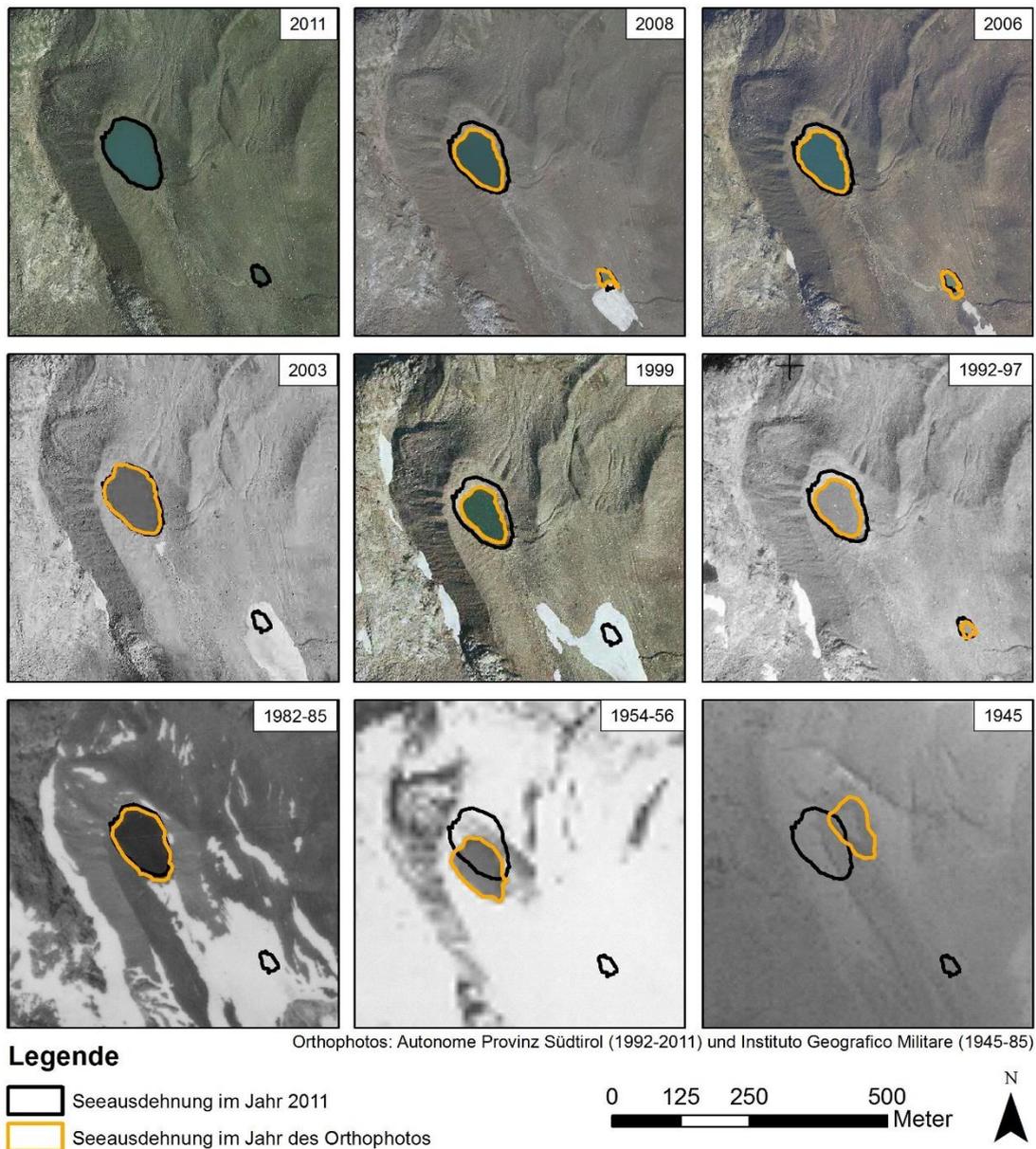


Abbildung 61: Entwicklung Malerseenkomplex

Der Malersee bzw. Malerseenkomplex liegt im Einzugsgebiet des Reinbaches auf einer Höhe von 2'590 m ü. M. und ca. 3,5 km südlich von der Gemeinde Rein in Taufers. Da sich besonders der Obere Malersee aufgrund seiner Entwicklung und seiner Eigenschaften für eine detaillierte Untersuchung eignet, wird im Folgenden nur auf den Oberen Malersee eingegangen. Der Obere Malersee kann bereits auf dem Orthophoto des Jahres 1945 identifiziert werden. 1945 hatte der See eine Oberfläche von 5'744 m² und im Jahr 2011 eine Oberfläche von 9'564 m². Dabei war der See immer wieder interannuellen Schwankungen ausgesetzt und variierte in seiner Größe. Auf den Orthophotos der Jahre 1982–85 und 2003 wies der See eine ähnliche Größe auf wie im Jahr 2011. Auf den anderen Orthophotos war die Seegröße deutlich kleiner. Der Schneebuger-Nock-Ferner hatte sich bereits im Jahr 1945 so weit zurückgezogen, dass er den See nicht mehr berührte. Der Obere Malersee liegt mitten im Moränenmaterial und wird von einer Endmoräne gedämmt. Es ist anzunehmen, dass das Wasser durch das Moränenmaterial durchsickert, daher besteht kein Oberflächenabfluss. Allerdings wurden während

Ergebnisse

der Geländebegehung mehrere Abflussrinnen entdeckt, die darauf hindeuten, dass der See bei höheren Wasserständen oberflächlich überströmt wurde. Zudem konnte im Moränenmaterial am östlichen Seeufer die starke Erosion des Moränenmaterials beobachtet werden. Das gesamte Moränenmaterial an dieser Stelle ist stark durchfeuchtet, sodass immer mehr Material zu rutschen beginnt. Sofern die rückschreitende Erosion anhält, könnte der Damm an dieser Stelle zu schwach werden und einbrechen.



Abbildung 62: Oberer Malersee; Aufnahme von Osten (2015)



Abbildung 63: Oberer Malersee Seitenerosion; Aufnahme von Nordosten (2015)

6.2.8. Östlicher Rieserferner-Seenkomplex

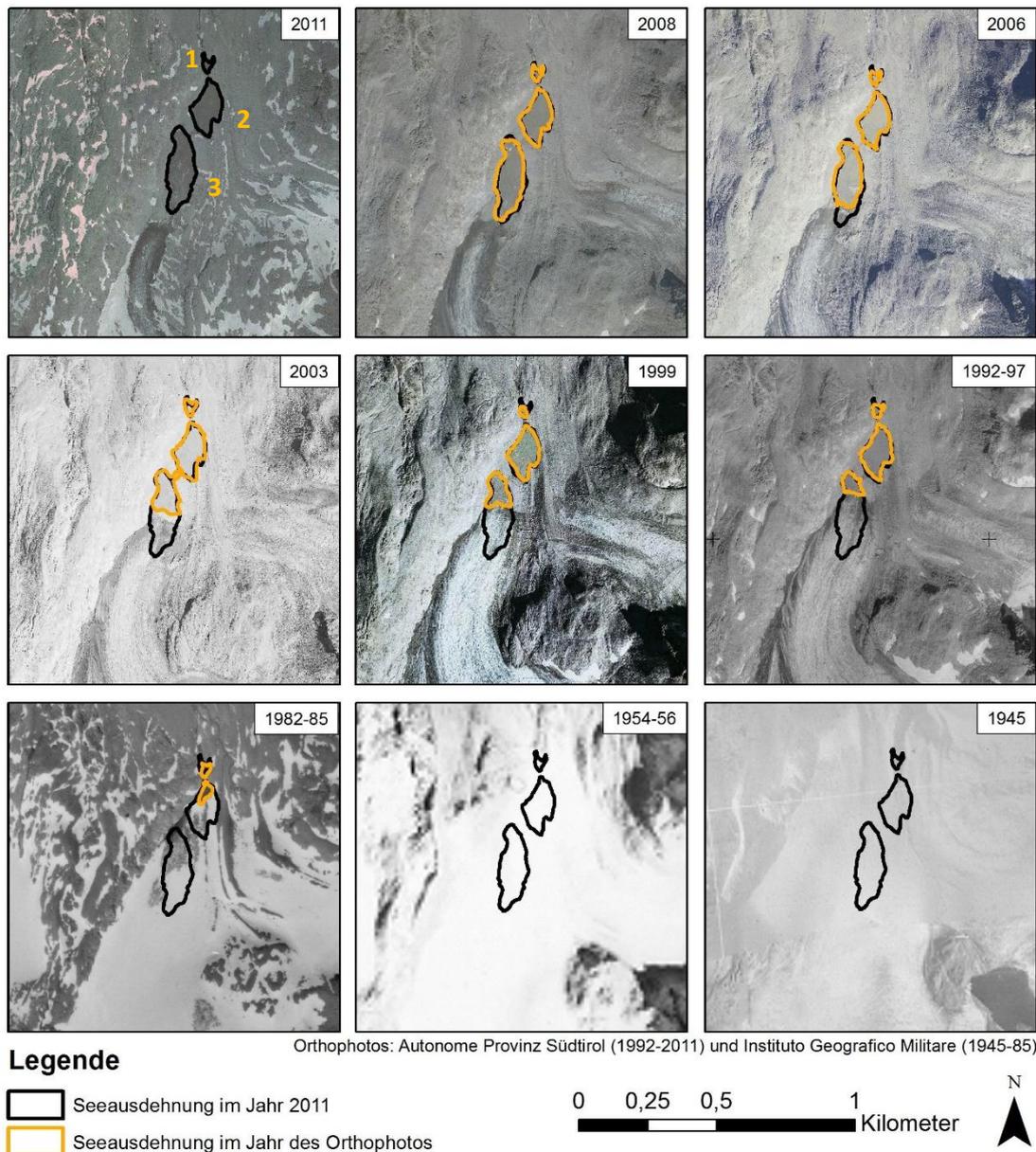


Abbildung 64: Entwicklung Östlicher Rieserferner-Seenkomplex

Der östliche Rieserferner liegt ebenfalls im Einzugsgebiet des Reinbaches und liegt knapp 6 km südöstlich der Gemeinde Rein in Taufers auf einer Höhe von ca. 2'581 m ü. M. Erstmals konnte im Vorfeld des Östlichen Rieserfernners ein Gletschersee (1) auf dem Orthophoto der Jahre 1982–85 gesichtet werden. Mit dem allmählichen Rückzug des Gletschers vergrößerte sich der See kontinuierlich bzw. bildeten sich zwei weitere Seen bzw. Vernässungsflächen (2 und 3). Anfänglich hatten die beiden Seen 1 und 2 in den Jahren 1982–85 zusammen eine Größe von ca. 3'254 m². Im Jahr 2011 wies der gesamte Seenkomplex eine Fläche von ca. 38'134 m² auf. Davon wies See 1 im Jahr 2011 eine Fläche von 1'446 m² auf. Seit den 80er-Jahren hat er sich nur noch geringfügig vergrößert. Bei den beiden anderen Seen handelt es sich mittlerweile genau genommen nicht mehr um Seen, da sie sehr stark verlandet sind. Im feinen Schwemmfächermaterial befinden sich immer wieder kleine Wasserteiche mit steilen Ufern, die auf Thermokarsterscheinungen hindeuten (s. Abbildung 66). Gedämmt wird See 1 durch Fels. Zu-

Ergebnisse

dem verfügt er über einen oberflächlichen Abfluss. Die nähere Umgebung des Sees bzw. des Seenkomples besteht aus Fels im Westen und Moränenmaterial im Osten und ist wohl auch aufgrund der geringen Hangneigung relativ stabil.



Abbildung 65: Östlicher Rieserferner; Aufnahme von Süden (2015)



Abbildung 66: Thermokarst Östlicher Rieserferner (2015)

6.2.9. Hochgallferner-See

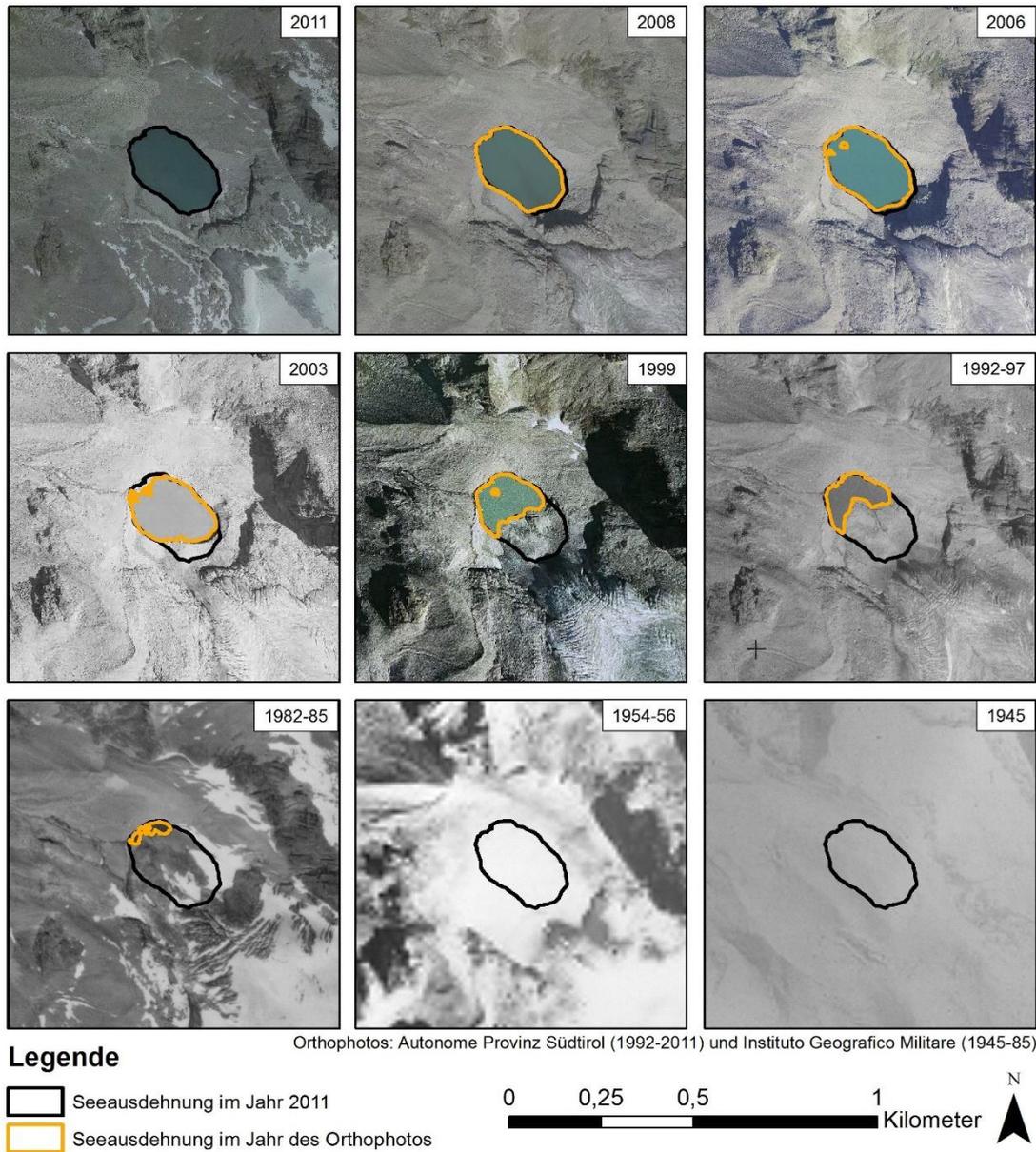


Abbildung 67: Entwicklung Hochgallferner-See

Der Gletschersee des Hochgallferners liegt ca. 1,5 km nordöstlich des östlichen Rieserferner-Seenkomplexes auf ca. 2'541 m ü. M. und entwässert ebenfalls in den Reinbach. Der See konnte erstmals im Orthophoto der Jahre 1982–85 gesichtet werden und hatte zum Aufnahmezeitpunkt eine Fläche von 2'325 m². Im Laufe der Jahre zog sich der Hochgallferner immer weiter Richtung Südosten zurück, so dass sich der See bis zum Jahr 2011 auf eine Fläche von 38'420 m² vergrößerte. Zwischen 2003 und 2006 verlor der Gletscher den direkten Kontakt zu seinem vorgelagerten Gletschersee. Der See wird durch das vom Gletscher zurückgelassene Moränenmaterial aufgestaut und besitzt einen Oberflächenabfluss, der in nordwestliche Richtung entwässert. Im Zuge der Geländebegehung konnte festgestellt werden, dass der Gletscher stark mit Schutt bedeckt ist, der von den umliegenden steilen Hängen im Osten stammt. Südöstlich des Sees direkt über dem Seeufer ragt eine steile Felswand empor, die zerklüftet ist. Von diesen Klüften ausgehend stürzen regelmäßig größere Blöcke herab, die bis in den See gelangen. Zudem konnten südlich des Seeufers mehrere Störungslinien in der Felswand identifiziert

Ergebnisse

werden. Entlang des Seeabflusses talabwärts befindet sich sehr viel lockeres Moränenmaterial, das im Falle eines Seeausbruches erodiert werden könnte.



Abbildung 68: Hochgallferner-See; Aufnahme von Norden (2015)



Abbildung 69: Oberflächenabfluss Hochgallferner-See; Aufnahme von Nordosten (2015)



Abbildung 70: Abfluss des Hochgallferner-Sees, lockeres Moränenmaterial; Aufnahme von Nordwesten (2015)

6.2.10. Übeltalseenkomplex (Vogelhüttenseenkomplex)

MERKL (2015) untersuchte im Rahmen ihrer Masterarbeit die Entwicklung des Übeltalseenkomplexes – von MERKL (2015) als „Vogelhüttenseenkomplex“ bezeichnet – von 1954–2011. Ihre Ergebnisse werden nachfolgend aufgeführt.

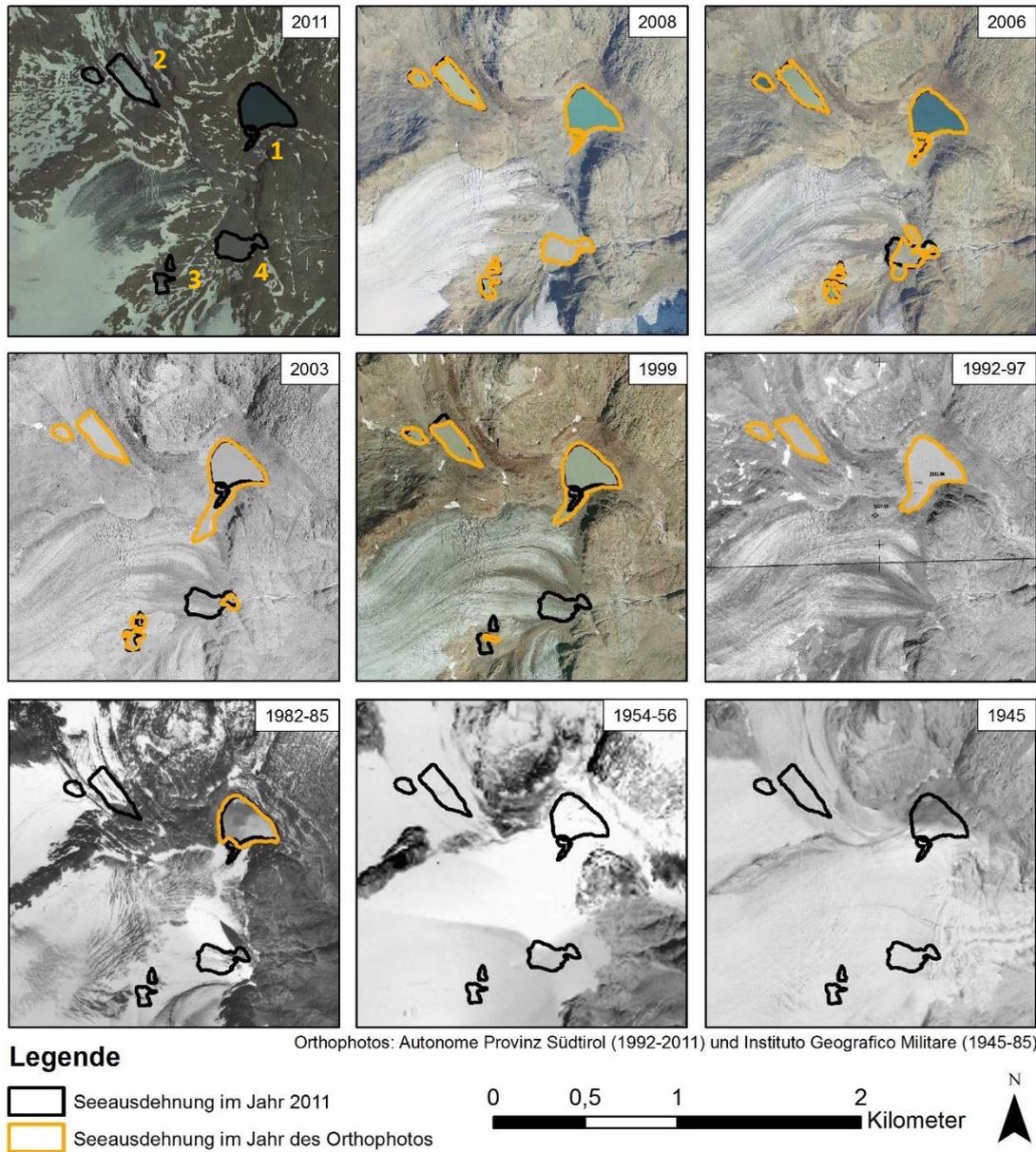


Abbildung 71: Entwicklung des Übeltalseenkomplexes. Die Nummerierung der Seen nach deren Erscheinungsreihenfolge und deren Benennung ist im ersten Bild festgelegt: 1) Vogelhüttensee, 2) Bechersee, 3) Übelrittsee, 4) Übeltalferner-See.

Der Übeltalseenkomplex liegt im Einzugsgebiet des Mareiter Baches, der bei Sterzing in den Eisack mündet. Der See befindet sich auf einer Höhe von 2'552 m ü. M. und liegt ca. 6,5 km nordwestlich der Gemeinde Ridnaun im Ridnauntal. Der Vogelhüttensee (1) erschien erstmals in den 1950er-Jahren. Durch den Rückzug des Übeltalferners, der in den 1960er-Jahren sehr schnell vor sich ging und in den 70er-Jahren an Geschwindigkeit verlor, wies der See bereits 1985 eine Oberfläche von 60'000 m² auf. Seinen Höchststand erreichte der See im Jahr 1999, als er eine Oberfläche von 75'000 m² aufwies. Nach 2003 koppelte sich der Gletscher vom See ab. Seit diesem Zeitpunkt besteht kein direkter Kontakt mehr zwischen dem Übeltalferner und dem Vogelhüttensee. Der Vogelhüttensee verfügt über zwei

Ergebnisse

oberirdische Abflüsse, wobei der südliche Abfluss in die Gletscherzunge mündet. Während der Damm des Sees am südlichen Abfluss aus Moränenmaterial besteht, wird der See am östlichen Abfluss durch Fels gedämmt, welcher von Moränenmaterial überlagert ist.

Am Nachmittag des 15. Juli 2005 brach der Vogelhüttensee aus, indem sich das in Richtung Süden abfließende Wasser einen Weg durch den Eisdamm grub. Insgesamt strömten an diesem Tag ca. eine Million m³ Wasser aus dem Vogelhüttensee. Gemäß MUNARI et al. (2007) entleerten sich folglich rund 11 m³ Wasser/s. Der Ausbruch hatte das Abschmelzen des Eisdammes und folglich die Unterbindung der Versorgung des Sees mit Schmelzwasser zur Folge. Aus diesem Grund schrumpft der See seit 2005 und wies 2011 nur noch eine Größe von 57'000 m² auf. Gemäß MERKL (2015) pendelte sich das Wachstum des Bechensees (2) bereits in den 90er-Jahren ein. Daher befindet sich der See bereits in einer stabilen Phase. Im Vergleich dazu befindet sich der Übelrittsee (3), der erstmals auf dem Orthophoto des Jahres 1999 beobachtet werden konnte, noch in der Wachstumsphase. Allerdings wird sich sein Wachstum aufgrund der umgebenden Morphologie schon bald einstellen. Es ist davon auszugehen, dass sich der Vogelhüttensee seit seinem Ausbruch und der Kappung des Schmelzwasserzuflusses in eine stabile Phase begeben hat (MERKL, 2015). Der Übeltalferner-See (4) war erstmals auf dem Orthophoto des Jahres 2003 zu identifizieren. Bis zum Jahr 2008 wies er ein starkes Wachstum auf. Anhand einer Geländebegehung im Herbst 2014 stellte MERKL (2015) fest, dass der Übeltalferner-See aufgrund starker Verlandung nicht mehr existiert. Da das Seeninventar auf Basis der Orthophotos bis zum Jahr 2011 aufgenommen wurde, wurde der Übeltalferner-See dennoch in den Analysen berücksichtigt.



Abbildung 72: Verlandeter Übeltalferner-See im September 2014 (Quelle: MERGILI (2014))

6.3. Modellierung

Als Ergebnis der Modellierung liefern die beiden Programme *r.glachaz* und *r.randomwalk* mehrere Datentabellen sowie Karten, in denen die berechneten Gefährdungsklassen des LOHIS sowie des IHIS visualisiert werden. Den Datentabellen können sämtliche berechnete Werte der potenziellen Eislawinen und Seeausbrüche, wie beispielsweise die potenzielle Magnitude, das potenzielle Durchflussmaximum sowie alle berechneten Indizes und Scores, entnommen werden.

Im Rahmen dieses Kapitels werden die Modellierungsergebnisse entsprechend der Modellierungsprogramme aufgeteilt. Demnach werden zunächst die Ergebnisse der potenziell gefährlichen Seen von *r.glachaz* und anschließend die Ergebnisse der Reichweitenmodellierung der potenziellen Seeausbrüche erläutert. Diese Aufteilung der Ergebnisse wird vorgenommen, weil die Ergebnisse der Reichweitenmodellierung nicht bzw. nicht immer auf einen bestimmten See zurückgeführt werden können. Zeigen die Berechnungen also beispielsweise eine Überflutung des Etschtals an, kommen unzählige Seen in dessen Einzugsgebiet in Frage, die diese Überschwemmung hätten auslösen können. Eine eindeutige Zuordnung der Überschwemmung zum Ursprungssee ist folglich nicht mehr möglich.

Innerhalb dieser Unterteilung in potenziell gefährliche Seen und potenzielle Reichweiten der Seeausbrüche werden zunächst die Modellierungsergebnisse des gesamten Untersuchungsgebietes präsentiert. Anschließend werden einige ausgewählte Seen bzw. potenzielle GLOFs, die aufgrund ihrer Gefährdungsklasse als besonders relevant bewertet werden, einer detaillierten Analyse unterzogen.

6.3.1. Potenziell gefährliche Seen

6.3.1.1. Südtirol

Im Zuge der Modellierungen wurden nur noch 583 Seen berücksichtigt, da nur diese eine Mindestgröße von 1'000 m² aufweisen. Die Gefahrenstufen reichen von 0 (unbedeutend) bis 6 (sehr hoch). Da diese sechs Gefahrenstufen von den gewählten Parameterwerten (s. Tabelle 15) abhängen, sind die Bezeichnungen „unbedeutend“ bis „sehr hoch“ als relative Angaben zu betrachten. Die Ergebnisse der Modellierungen werden auf einer Karte in Abbildung 93 (s. A3-Einlage bei Seite 102) visualisiert. In Tabelle 17 wird die Verteilung der potenziell gefährlichen Seen auf die unterschiedlichen Gefährdungsklassen dargestellt.

Tabelle 17: LOIS und LOHIS der kartierten Seen

LOIS	Anzahl Seen	Ausbruchsgefahr (LOHIS)	Anzahl Seen
unbedeutend	40	unbedeutend	40
sehr gering	18	sehr gering	154
gering	36	gering	340
mäßig	111	mäßig	38
erheblich	334	erheblich	3
hoch	25	hoch	0
sehr hoch	11	sehr hoch	0

Ergebnisse

Während bei der Berechnung des LOIS noch 25 Seen einen hohen und 11 Seen einen sehr hohen Score anzeigen, weist bei der Berechnung des LOHIS kein See mehr eine hohe bzw. sehr hohe Ausbruchsfahr auf. Dieser Rückgang der tatsächlichen Ausbruchsfahr der Seen ist auf deren Größe zurückzuführen. Nur Seen, die eine gewisse Größe haben, weisen eine erhebliche Ausbruchsfahr auf.

Betrachtet man nur den LOIS, so befinden sich die meisten der 583 Seen (insgesamt 3) mit einer sehr hohen Gefährdungsstufe (6) im Martelltal. Die restlichen 8 Seen liegen im Einzugsgebiet des Ahrflusses (2), des Eisack (2), der Etsch (1), des Schnalsbaches (1), des Suldenbaches (1) sowie eines weiteren Sees eines unbenannten Einzugsgebiets. Unter diesen Seen mit einem LOIS von 6 befinden sich auch 4 der ausgewählten Seen, welche in der Detailanalyse genauer analysiert wurden: nämlich der Kleine Angelusferner-See, 2 Seen des Zufallferner-Seenkomplexes (See 3 und 4) sowie 1 See des Übeltalferner-Seenkomplexes. Einen Überblick über die Scores der restlichen ausgewählten Seen bietet Tabelle 18.

Tabelle 18: Übersicht von LOIS und LOHIS der ausgewählten Seen

Ausgewählte Seen	LOIS	LOHIS
Kleiner Angelusferner-See	6	3
Großer Angelusferner-See	–	–
Zayferner-See	4	2
Pederferner-See	5	2
Zufallferner-Seenkomplex 1	5	3
Zufallferner-Seenkomplex 2	4	2
Zufallferner-Seenkomplex 3	6	2
Zufallferner-Seenkomplex 4	6	2
Schranferner-Seenkomplex 1	5	2
Schranferner-Seenkomplex 2	4	2
Malerseenkomplex	4	2
Östlicher Rieserferner 1	3	1
Östlicher Rieserferner 2	0	1
Hochgallferner-See	5	3
Übeltalferner-See	6	4

Bei den 3 Seen, die den höchsten LOHIS (erheblich) aufweisen, handelt es sich um den Langsee (2'384 m ü. M.; 2'718 m²) im Einzugsgebiet des Passerbaches, den Übeltalferner-See (2'512 m ü. M.; 844 m²) (vgl. Kapitel 6.2.10) und den Wilden See (2'532 m ü. M.; 1'326 m²) im Einzugsgebiet des Rienzflusses.

Der See mit der höchsten potenziellen Magnitude (5'051'759 m³) und dem höchsten Abflussmaximum (10'104 m³/s) ist der Arzkar-Stausee im Einzugsgebiet des Falschauerbaches. Er ist der größte See des Untersuchungsgebietes.

6.3.1.2. Detailanalyse

In diesem Kapitel wird die Ursache des erhöhten Ausbruchspotenzials des Langsees sowie des Wilden Sees untersucht.⁹ Zudem wird vergleichend das Ausbruchspotenzial einiger weiterer Seen erläutert.

⁹ Da der Übeltalferner nach dem untersuchten Zeitraum verlandete, erübrigt sich eine detaillierte Analyse seiner Ausbruchsfährdung.

Langsee

Der Langsee befindet sich ca. 8,5 km nordwestlich von Meran. Mit einer Größe von 197'289 m² gehört er zu den größeren Seen des Einzugsgebietes. Der See befindet sich in einem gletscherfreien Umfeld und wird ausschließlich von Fels gedämmt. Am nördlichen Ende verfügt er über einen Oberflächenabfluss. Sein Freibord ist mit 1 m relativ gering. Der TSS des Sees ist mit einem Wert von 4 relativ hoch. Folglich ist die Anfälligkeit des Sees, von einer Massenbewegung betroffen zu sein, relativ hoch. Dementsprechend hoch sind folglich auch der MISS sowie der LOIS_{external}, die beide ebenfalls einen Score von 4 aufweisen. Gemäß dem Permafrostinventar der Autonomen Provinz Südtirol liegen der See sowie seine nähere Umgebung nicht im Permafrostgebiet. Die internen Faktoren, die die Ausbruchsfahr eines Sees erhöhen, zeigen beim Langensee allerdings keine Auffälligkeiten. Weder der Dammtyp noch die Seeposition führen zu einem erhöhten LOIS_{internal}. Dennoch wird der See aufgrund des hohen LOIS_{external} und seiner Größe (LAS = 5) als erheblich ausbruchgefährdet eingestuft (LOHIS 4).

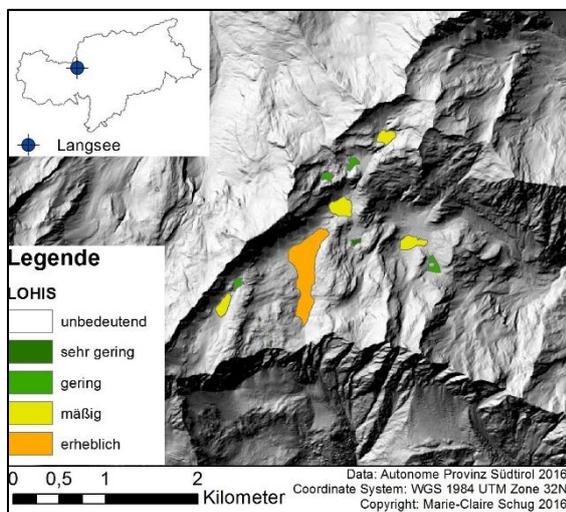


Abbildung 73: Ausbruchsfahr des Langsees

Wilder See

Der Wilde See liegt ca. 11,5 km östlich von Sterzing und hat eine Größe von 106'959 m². Der See liegt fern von einem Gletscher und wird von Fels gedämmt. Zudem hat sich der See seit 1999 in seiner Größe nicht verändert. Der Freibord des Sees beträgt 0 m. Die Umgebung des Sees, die auf Permafrost liegt, ist aufgrund der steilen Felswände potenziell sehr anfällig für Massenbewegungen, die in den See stürzen könnten. Dementsprechend ist der LOIS_{external} mit einem Score von 4 relativ hoch. Obwohl der See durch die Dämmung durch Fels sehr stabile interne Faktoren aufweist (LOIS_{internal} = 0) wird seine Ausbruchsfahr dennoch aufgrund seiner Größe (LAS = 5) und des hohen LOIS_{external} als erheblich eingestuft (LOHIS =4).

Ergebnisse

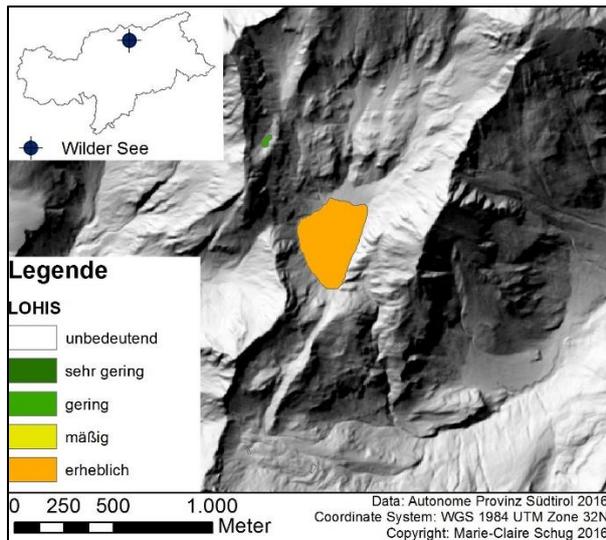


Abbildung 74: Ausbruchsfahr des Wilden Sees

Kleiner Angelusferner-See

Der Freibord des Kleinen Angelusferner-Sees ist 2 m. Das Umfeld des Sees weist eine sehr hohe Anfälligkeit für Massenbewegungen auf, die die Seeoberfläche erreichen könnten. So könnte der See gemäß den Modellierungsergebnissen auch von einer Eislawine betroffen werden. Aufgrund der hohen Suszeptibilität gegenüber äußeren Einflüssen liegt der $LOIS_{\text{external}}$ bei 5, was der höchsten $LOIS_{\text{external}}$ -Klasse entspricht, die im Untersuchungsgebiet vorkommt. Der $LOIS_{\text{internal}}$ des Sees erreicht einen Score von 6. Dies ist möglicherweise durch die Lage des Sees vor dem Gletscher zu erklären. Gedämmt wird der See, wie bereits in Kapitel 6.2.1 erwähnt, durch Fels, daher dürfte der Dammtyp des Kleinen Angelusferner-Sees kaum einen großen Einfluss auf die Ausbruchsfahr des Sees ausüben. Aufgrund seiner geringen Größe ($14'991 \text{ m}^2$) ($LAS = 2$) wurde das Ausbruchspotenzial des Sees dennoch nur als mäßig eingestuft ($LOHIS = 3$).

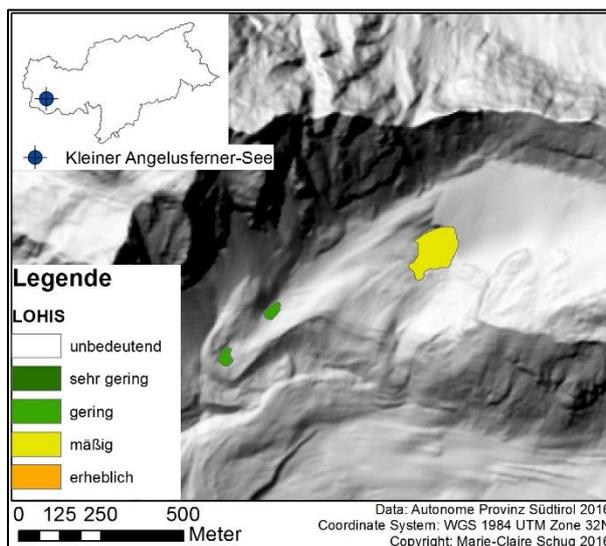


Abbildung 75: Ausbruchsfahr des Kleinen Angelusferner-Sees

Zufallferner-Seenkomplex

Die Seen 3 und 4 des Zufallferner-Seenkomplexes (s. Kapitel 6.2.5) weisen wie auch der Kleine Angelusferner-See einen sehr hohen $LOIS_{\text{external}}$ (5) und $LOIS_{\text{internal}}$ (6) auf. Der hohe $LOIS_{\text{external}}$ ist auf den Einfluss von potenziellen Eislawinen sowie einen relativ hohen MISS von 4 zurückzuführen. Zudem ist der TSS bei See 3 erhöht. Der Freibord ist wie auch bei den anderen Seen mit nur 1 m relativ gering. Der sehr hohe $LOIS_{\text{internal}}$ von 6 kann bei beiden Seen auf das Moränendammmaterial sowie auf ihre Lage vor dem Gletscher zurückgeführt werden. Aufgrund ihrer geringen Größe ($LAS = 1$) ist ihr Ausbruchspotenzial dennoch relativ niedrig ($LOHIS = 2$).

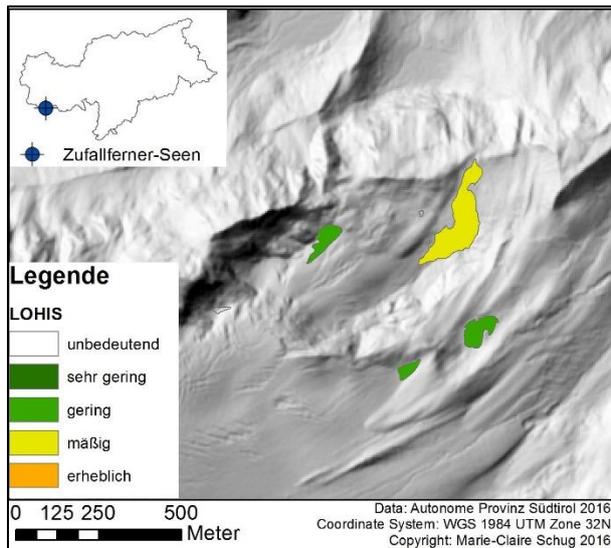


Abbildung 76: Ausbruchsfahr des Zufallferner-Seenkomplexes

6.3.2. Potenzielle Ausbruchsreichweite

6.3.2.1. Südtirol

Die Modellierung der Ausbruchsreichweite, die ebenfalls der Abbildung 93 entnommen werden kann, zeigt ein deutliches Überflutungspotenzial in Südtirol an. Der IHIS, also die potenzielle Ausbruchsreichweite bzw. der Gefahrenindikator der GLOFs in Südtirol, wird ebenfalls in folgende sechs Klassen unterteilt¹⁰:

Tabelle 19: Gefährdungsklassen der Ausbruchsreichweite

Gefährdungsklassen (IHIS)	
0	unbedeutend
1	sehr gering
2	gering
3	mäßig
4	erheblich
5	hoch
6	sehr hoch

¹⁰ Die Bezeichnungen dieser Gefährdungsklassen sind wie auch beim LOIS und beim LOHIS als relative Angaben aufzufassen.

Ergebnisse

Auf der Abbildung 93 kann erkannt werden, dass die potenziellen Seeausbrüche große Reichweiten erreichen und sich bis in die großen Täler, wie das Etschtal, das Eisacktal oder das Passertal erstrecken könnten. Beispielsweise zeigen die Modellierungen deutliche Überschwemmungen (IHIS 1–3) im Etschtal, vom Vinschgau bis fast nach Bozen, an. Diese Überschwemmungen sind allerdings so zu interpretieren, dass ein Seeausbruch eines Hochgebirgssees im Einzugsgebiet der Etsch an deren Wasserpegel bemerkbar werden würde. So könnte gemäß der Modellierung der Anstieg des Wasserpegels der Etsch bis knapp vor Bozen gemessen werden. Eine Anpassung der Darstellung der potenziell betroffenen Gebiete wäre daher empfehlenswert (s. Kapitel 7).

Wie in Kapitel 5.3.2 erwähnt wurde, werden zur Berechnung der potenziellen Reichweite eines Seeausbruches unterschiedliche Kriterien herangezogen, die die Reichweite markant beeinflussen. In Tabelle 20 werden die berechneten Extrema (maximale Reichweite und minimaler Pauschalwinkel) aller Seen aufgelistet:

Tabelle 20: Maximalwerte der Reichweitenmodellierung

Kriterium/Ansatz	LMAX [m]	OMEGA [°]
$\omega = 7^\circ$	22'297	7,02
$\omega = 18Q_p^{-0,08}$	10'419	12,05
$L_{max} = 1.9V^{0,16}Z^{0,83}$	11'685	9,88
$\omega = 6^\circ$	25'942	6,00
$\omega = 4^\circ$	39'077	4,00
$\omega = 2^\circ$	77'105	2,00

Gemäß Tabelle 20 nimmt die Reichweite mit abnehmendem Pauschalwinkel zu. Diesen Ergebnissen zufolge könnten die Auswirkungen eines Seeausbruches in Südtirol in maximal 77 km Entfernung des Ursprungsortes noch bemerkbar sein. Der am wenigsten konservative Ansatz hingegen rechnet mit einem Pauschalwinkel (ω) von $18Q_p^{-0,08}$, bei dem ein potenzieller Seeausbruch die maximal berechnete Distanz von gut 10 km zurücklegen kann. Die große Reichweite potenzieller Seeausbrüche in Südtirol ist darauf zurückzuführen, dass bei einigen Ansätzen bzw. Kriterien die Seegröße nicht miteinbezogen wird. So werden bei den Berechnungen mit einem Pauschalwinkel von 2° , der die maximale Auslauf-länge bestimmt (s. Tabelle 20), auch ganz kleine Seen berücksichtigt. Dies kann zu Überschätzungen der Reichweitenmodellierung führen.

Eine potenziell sehr hohe Gefährdungsstufe (IHIS = 6) wurde bei ca. neun Seeausbrüchen berechnet. Darunter befinden sich mehrheitlich anthropogen gestaute Seen. Es handelt sich dabei um die potenziellen Seeausbrüche folgender Seen:

- Madritsch-See (Suldenbach)
- Roter-Kofel-Hütte-See (Schnalsbach)
- Grünsee-Stausee (Falschauerbach)
- Arzkar-Stausee (Falschauerbach)
- Kesselberghütte (Etsch)
- Jochgrimm-Haus-See (Etsch)
- Compatscher Seen (Groednerbach)
- Semperbau-See (Eisack)

Ergebnisse

Aufgrund der verhältnismäßig großen Seeoberflächen des Madritsch-Sees, des Grünsee- sowie des Arzkar-Stausees werden ihre potenziellen Ausbrüche im nachfolgenden Kapitel einer detaillierten Analyse unterzogen. Dabei wird zusätzlich darauf eingegangen, ob sich ein potenzieller GLOF in Form einer Flutwelle oder einer Mure talabwärts bewegen würde. Diese Information kann aus den Ergebnissen des IIS abgeleitet werden (s. Tabelle 21).

Tabelle 21: Potenzielle Auswirkungen einer GLOF (IIS)

Gefährdungsklassen (IIS)	Auswirkungen
0	–
1	Flutwelle
2	Flutwelle
3	Flutwelle
4	Murgang
5	Murgang
6	Murgang

Der Tabelle 21 kann entnommen werden, dass sich potenzielle Seeausbrüche der Gefährdungsklassen von 1–3 potenziell in Form einer Flutwelle ereignen würden. Mit der Entwicklung zu einer Mure ist erst ab der Gefährdungsklasse 4 zu rechnen (GRUBER & MERGILI, 2013). Grundsätzlich könnte sich gemäß den Berechnungen des IIS ein Großteil der potenziellen GLOFs in Form einer Mure ausbreiten.¹¹ Dabei wären vor allem die höher gelegenen Talräume von den potenziellen Auswirkungen einer Mure betroffen.

6.3.2.2. Detailanalyse

Da insbesondere die Ergebnisse der Reichweitenmodellierung in Abbildung 93 nicht gut erkennbar sind, wird an dieser Stelle exemplarisch auf einige Seen bzw. potenzielle Seeausbrüche detailliert eingegangen. Zunächst werden dabei jene Gebiete mit dem höchsten IHIS dargestellt. Anschließend wird auf die Reichweite potenzieller GLOFs der vier ausgewählten Einzugsgebiete (Martelltal, Reintal, Rindnautal, Suldental) sowie jener drei Seen, die den höchsten LOHIS aufweisen, eingegangen.

¹¹ Die Voraussetzung dafür wäre allerdings das Vorhandensein von erodierbarem und murfähigem Lockermaterial.

Madritsch-See

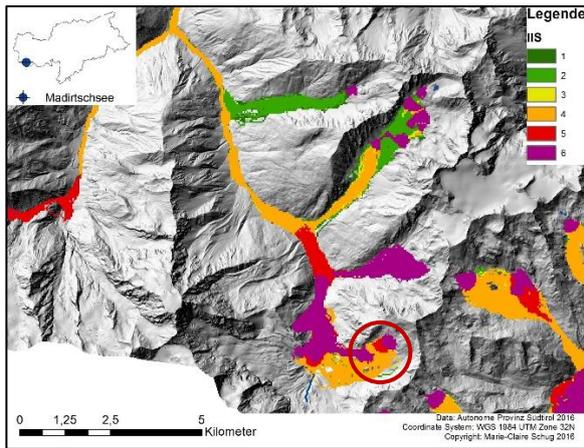


Abbildung 77: Potenzielle Gefahrenausswirkung von potenziellen GLOFs im Suldental (IIS)

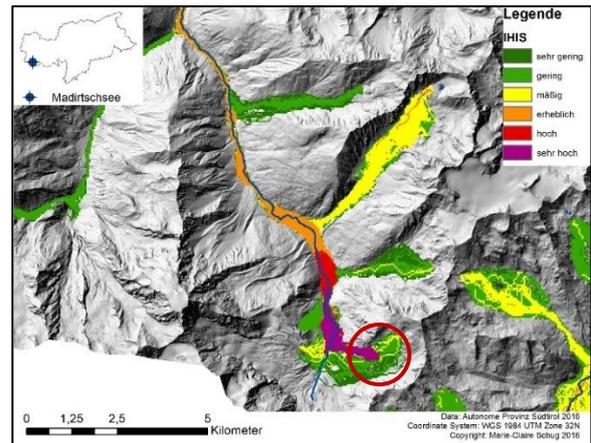


Abbildung 78: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs im Suldental (IHIS)

Der Madritschsee liegt südöstlich der Gemeinde Sulden. Zwar besteht keinerlei Ausbruchsgefahr des Sees, dennoch könnten sich die Wassermassen des Sees im Falle eines Ausbruches zu einer Mure entwickeln, die sich gemäß den Modellierungen im Suldental über weite Strecken ausbreiten könnte (s. Abbildung 77). Des Weiteren ist in Abbildung 78 das Gefährdungspotenzial der ausgewählten Seen im Suldental zu erkennen. Die Gefährdung eines GLOFs des Kleinen Angelusferner-Sees weist dabei nur in sehr geringem Ausmaß einen IHIS der Klasse 4 auf. Ein potenzieller Ausbruch des Kleinen Angelusferner-Sees könnte sich zu einer Mure entwickeln, die sich allerdings nur auf einem sehr kleinräumigen Gebiet ausbreiten würde. Ähnliche Auswirkungen wie beim potenziellen Ausbruch des Kleinen Angelusferner-Sees würden sich bei einem potenziellen Ausbruch des Großen Angelusferner-Sees sowie des Zayferner-Sees zeigen. Ein potenzieller Ausbruch des Pederferner-Sees könnte zu einer potenziell weitläufigen Mure führen. Allerdings ist das Gefährdungspotenzial eines potenziellen Ausbruches des Pederferner-Sees aufgrund seines geringen LOHIS relativ gering.

Grünsee- und Arzkar-Stausee

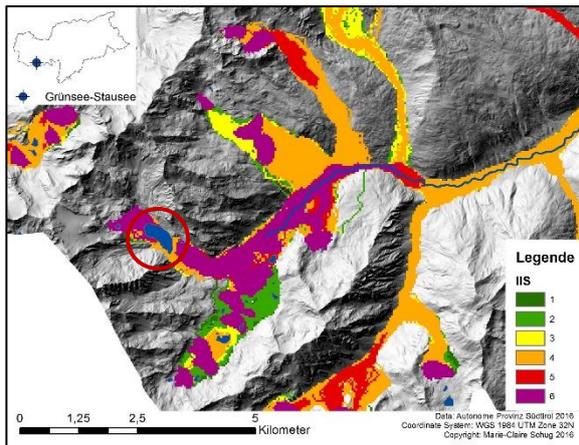


Abbildung 79: Potenzielle Gefahreauswirkung eines potenziellen GLOFs des Grünsee-Stausees (IIS)

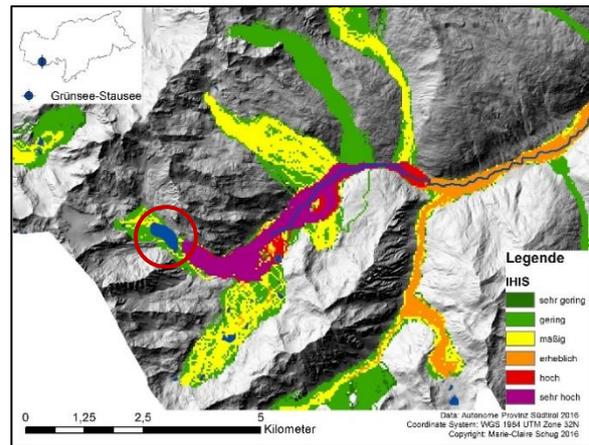


Abbildung 80: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Grünsee-Stausees (IHIS)

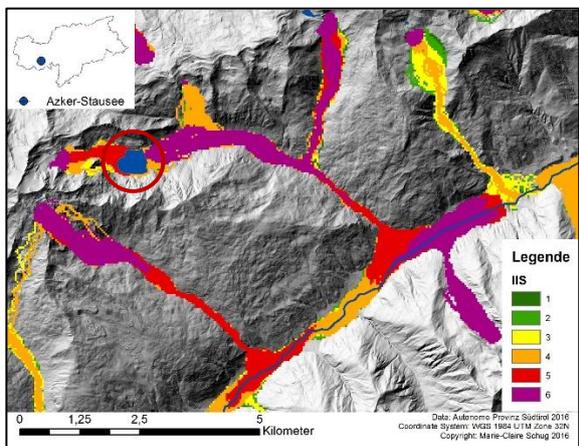


Abbildung 81: Potenzielle Gefahreauswirkung eines potenziellen GLOFs des Arzkar-Stausees (IIS)

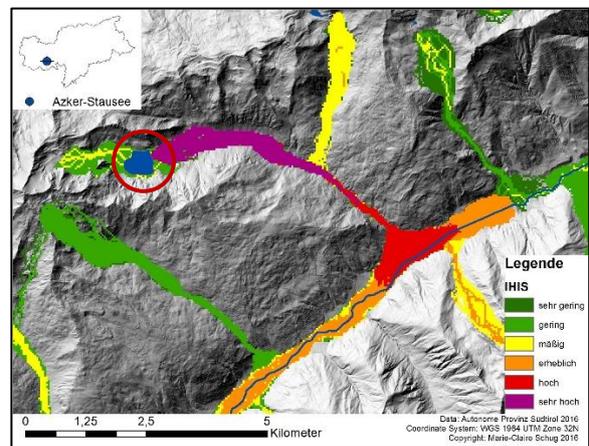


Abbildung 82: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Arzkar-Stausees (IHIS)

Beim Grünsee handelt es sich um einen Stausee im Einzugsgebiet des Falschauerbaches. Obwohl r.glachaz den See aufgrund seiner anthropogenen Dämmung in Bezug auf die Ausbruchsfahr als unbedeutend klassifiziert hat, könnte ein potenzieller GLOF schweren Schaden anrichten, da die Wahrscheinlichkeit der Murbildung im Falle eines Seeausbruches sehr hoch ist (s. Abbildung 79). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei einem potenziellen Ausbruch des Arzkar-Stausees. Auch hier ist im Falle eines Seeausbruches mit einer Mure zu rechnen, die sogar den Talboden des Ultentals erreichen könnte (s. Abbildung 81).

Langsee, Wilder See, Übeltalferner-Seenkomplex

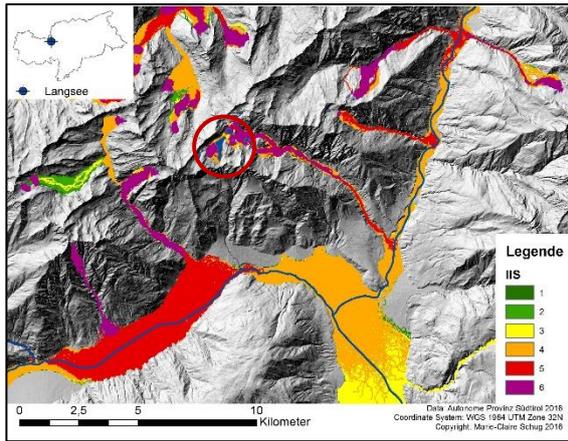


Abbildung 83: Potenzielle Gefahrenausswirkung eines potenziellen GLOFs des Langsees (IIS)

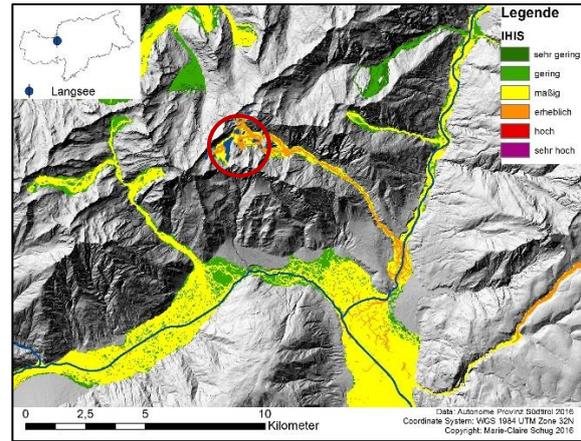


Abbildung 84: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Langsees (IHIS)

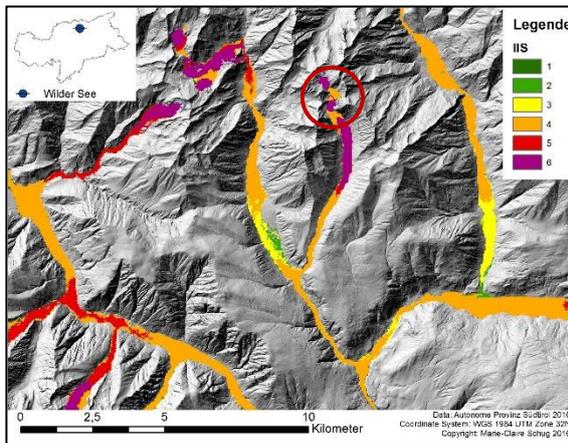


Abbildung 85: Potenzielle Gefahrenausswirkung eines potenziellen GLOFs des Wilden Sees (IIS)

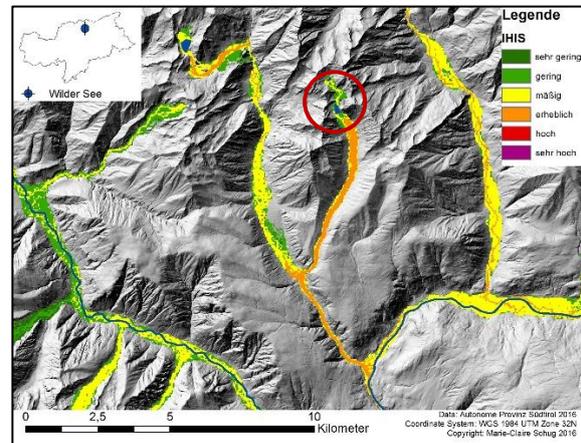


Abbildung 86: Gefahrenindikator und Reichweite eines potenziellen GLOFs des Wilden Sees (IHIS)

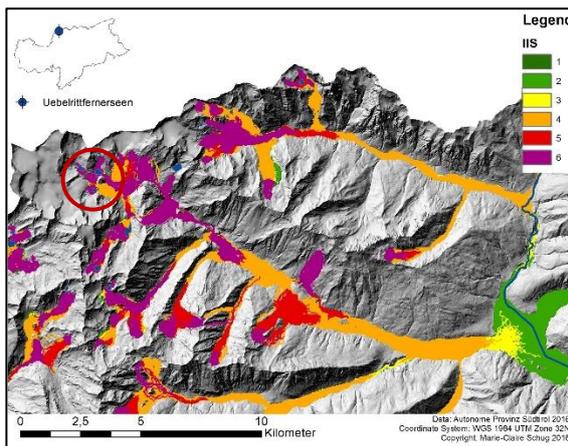


Abbildung 87: Potenzielle Gefahrenausswirkung von potenziellen GLOFs der Übeltalferner-Seen (IIS)

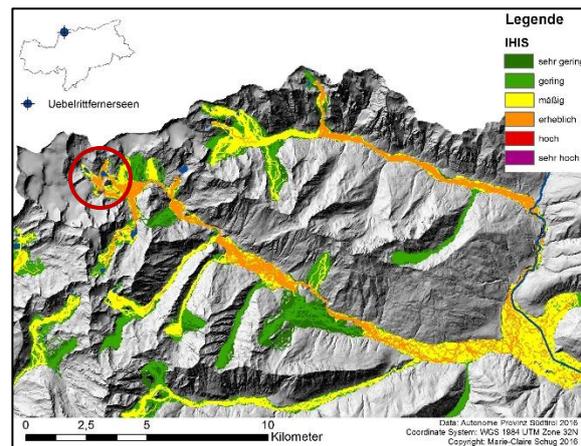


Abbildung 88: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs der Übeltalferner-Seen (IHIS)

Die Reichweitenmodellierung der drei Seen, welche den höchsten LOHIS und damit das höchste Ausbruchspotenzial in Südtirol besitzen, ergibt bei allen drei Seen ein ähnliches Ergebnis. Das Gefährdungspotenzial (IHIS) aller potenziellen GLOFs der drei Seen bzw. Seenkomplexe besitzt einen Score

Ergebnisse

von 4 (erheblich). Ein Ausbruch dieser Seen könnte eine Mure zur Folge haben (IIS). Diese Muren könnten potenziell die Talböden und somit potenziell Siedlungsgebiete erreichen. Ein potenzieller Ausbruch des Langsees könnte sich in Form einer Mure bewegen, die sich bis nach Meran bemerkbar machen könnte.

Zufallferner-Seenkomplex

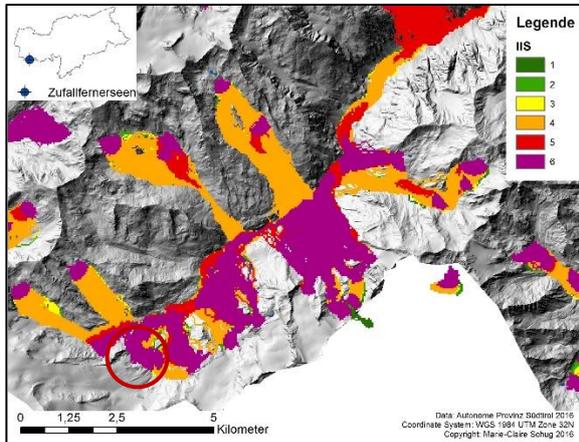


Abbildung 89: Potenzielle Gefahreauswirkung von potenziellen GLOFs der Zufallferner-Seen (IIS)

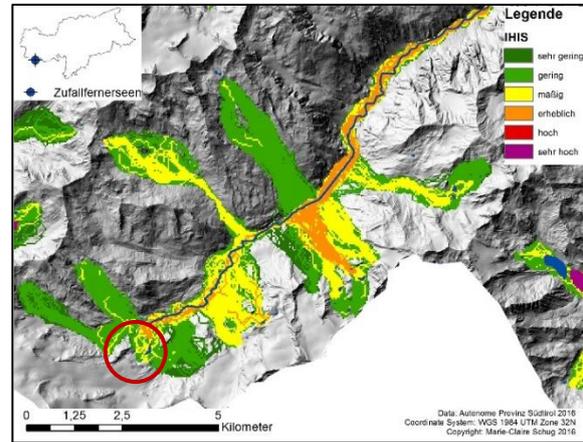


Abbildung 90: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs der Zufallferner-Seen (IHIS)

Das Gefährdungspotenzial von GLOFs des Zufallferner-Seenkomplexes sowie grundsätzlich des Einzugsgebietes des Plimabaches liegt im mittleren Bereich. Der IIS der potenziellen Seeausbrüche des Zufallferner-Seenkomplexes sowie des Einzugsgebietes des Plimabaches ist relativ hoch. Folglich könnten sich potenzielle Seeausbrüche des Einzugsgebietes in Form einer Mure talabwärts bewegen und bis in tiefere Talräume bemerkbar sein.

Reinbachtal

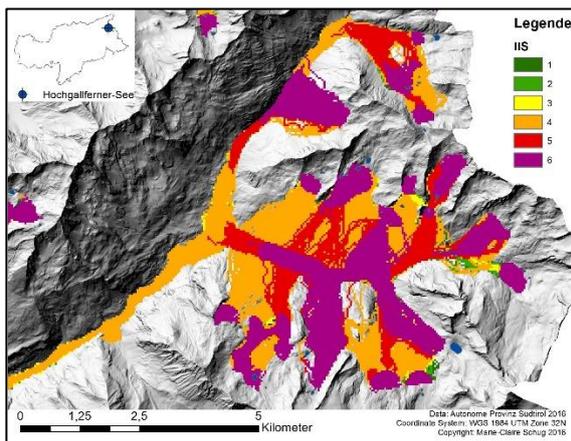


Abbildung 91: Potenzielle Gefahreauswirkung von potenziellen GLOFs des Reinbachtals (IIS)

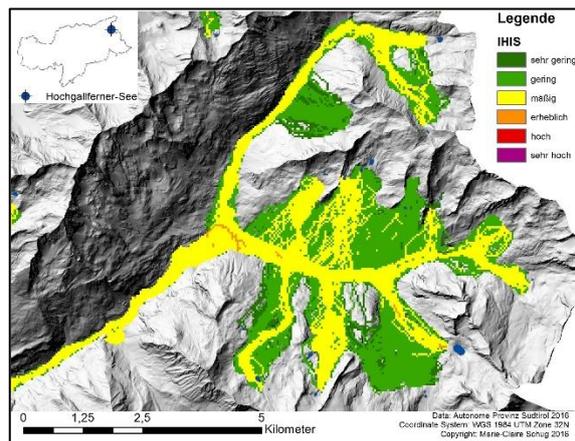


Abbildung 92: Gefahrenindikator und Reichweite von potenziellen GLOFs des Reinbachtals (IHIS)

Im oberen Einzugsgebiet des Reinbaches könnten sich potenzielle Seeausbrüche zu einer Mure entwickeln und so talabwärts strömen (IIS). Allerdings liegt das Gefährdungspotenzial dieses Einzugsgebietes im mittleren Bereich, da die potenzielle Ausbruchsgefahr der dort befindlichen Seen (LOHIS) relativ gering ist.

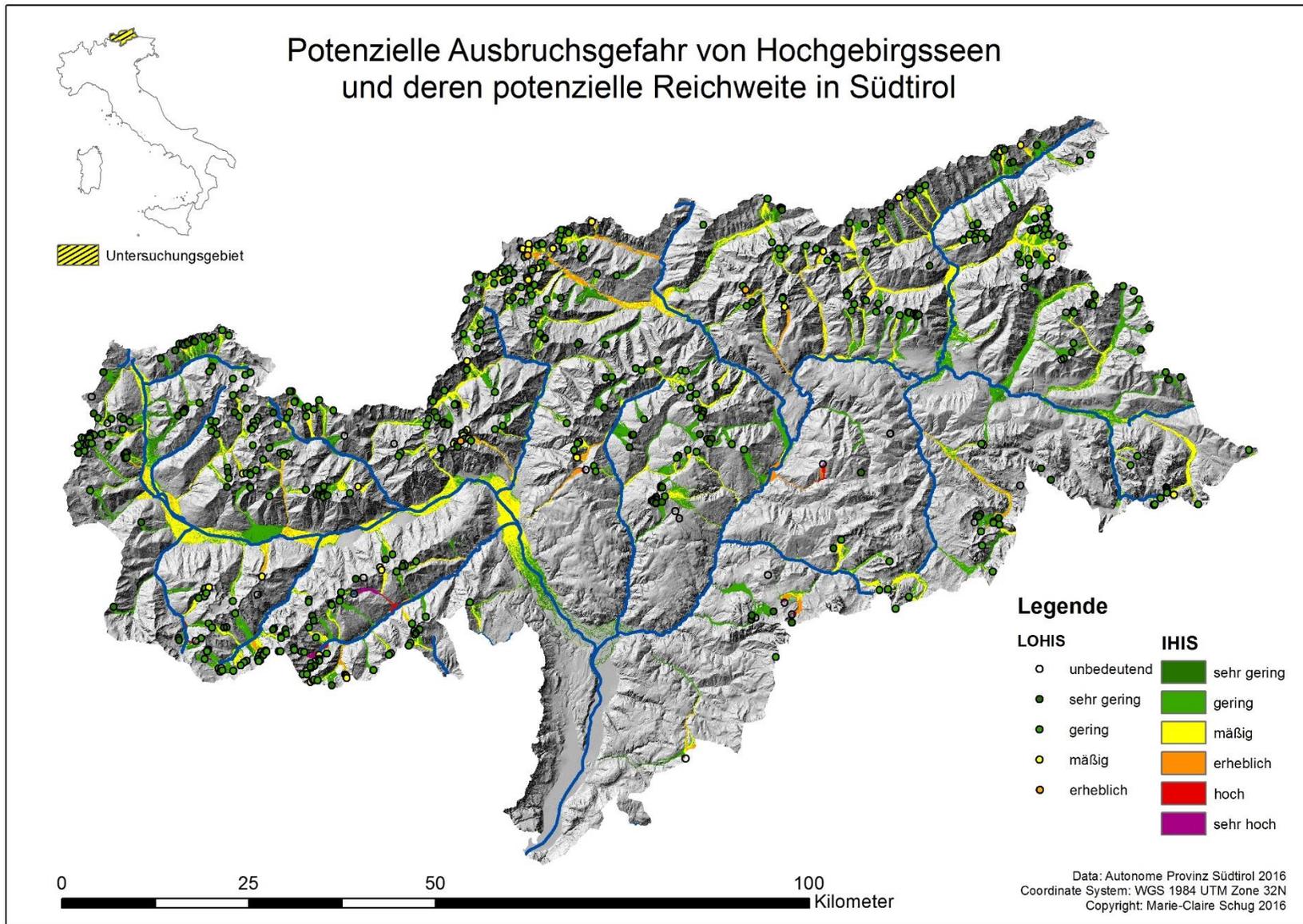


Abbildung 93: Potenzielle Ausbruchsgefahr von Hochgebirgsseen und deren potenzielle Reichweite in Südtirol

7. Diskussion

„Sporadic glacial lake outburst may drain as powerful floods (...), and are therefore considered the most important glacier-related hazard in terms of direct damage potential“ (WORNİ et al., 2013: 71). Aufgrund des enormen Schadenspotenzials von Gletscherseeausbrüchen stellt die Modellierung von GLOFs einen wichtigen Bestandteil für die Gefährdungsanalyse und das Risikomanagement dar.

Die Ziele diese Arbeit sind erstens die Erstellung eines Seeninventars mit allen Seen, die grösser als 250 m² sind und höher als 2'000 m ü. M. liegen, und zweitens die Durchführung einer Detailanalyse der zehn ausgewählten Seen. Das dritte Ziel der Arbeit ist es, eine überblicksmäßige Gefahreinschätzung in Südtirol vorzunehmen, die durch die Ermittlung von potenziell gefährlichen Seen sowie ihrer potenziellen Reichweite erfolgt und in Form einer Gefahrenhinweiskarte dargestellt wird. Die Ergebnisse der Modellierungen sagen allerdings weder den Zeitpunkt noch die Frequenz oder die Vulnerabilität voraus. Sie dienen lediglich dazu, mögliche gefährdete Gebiete hervorzuheben. Zudem stellen die Ergebnisse eine gute Grundlage für weitere, detailliertere Forschungsarbeiten dar (GRUBER & MERGILI, 2013).

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine wichtige und vor allem flächendeckende Erweiterung zu den Studien dar, die sich bereits dem Themengebiet der GLOFs in Südtirol gewidmet haben. Basierend auf Expertenwissen wurden in den bereits bestehenden Studien Analysen zur potenziellen Ausbruchsfahr einiger ausgewählter Seen und deren potenzielle Auswirkungen untersucht. Allerdings wurden keine flächendeckenden Modellierungen durchgeführt. Insbesondere die Reichweitenmodellierung stellt somit eine wichtige Ergänzung zu den bestehenden Forschungen in Südtirol dar. Die ermittelten Ergebnisse können folglich zur weiteren und vor allem detaillierteren Erforschung ausgewählter Seen und zur Entscheidungsfindung des Risikomanagements dienen. Vor allem unter der Berücksichtigung der zunehmenden Bevölkerung in den alpinen Gebieten sowie der Verschiebung der bisherigen Naturgefahrenmuster durch den Klimawandel kommt dem Risikomanagement zunehmend eine wichtige Rolle zu.

Im Folgenden werden die verschiedenen Aspekte der durchgeführten Untersuchungen, wie beispielsweise die Inputdaten oder die Methodik, diskutiert. Dabei wird das Kapitel erneut in die drei Hauptanalysen gegliedert: Seeninventar, Detailuntersuchung und Modellierung. Allfällige Unsicherheiten und Einschränkungen, die im Rahmen der vorgenommenen Analysen aufgetreten sind, werden dabei diskutiert. Zudem werden das Gefährdungspotenzial und allfällige Schutzmaßnahmen sowie die zukünftige Entwicklung des Untersuchungsgebietes im Hinblick auf die Ausbruchsfahr von Hochgebirgsseen diskutiert.

7.1. Seeninventar

Gemäß WORNİ et al. (2013) und vielen weiteren Autoren ist ein Seeninventar der erste Schritt zur Analyse und Modellierung der potenziellen Ausbruchsfahr von (Gletscher-)Seen. Das Seeninventar ermöglicht den lokalen Behörden und weiteren interessierten Gruppen eine schnelle Erfassung der räumlichen Verteilung der Hochgebirgsseen sowie der potenziell gefährlichen Seen.

Die Eingrenzungen der vorliegenden Untersuchungen, also bis zu welcher Seehöhe und bis zu welcher Größe die Seen in das Inventar aufgenommen wurden, richteten sich nach der Größe des Untersuchungsgebietes sowie nach weiteren lokalen Gegebenheiten wie zum Beispiel dem Klima etc. In der vorliegenden Arbeit wurden sämtliche Seen, die über 2'000 m ü. M. liegen und eine Größe von mindestens 250 m² aufweisen, kartiert. Der gewählte Höhengschwellenwert erwies sich, wie die Untersuchungen zeigten, als gut gewählt. Allenfalls hätte sie sogar etwas höher gewählt werden können, da gemäß den Berechnungen von r.glachaz der tiefst gelegene proglaziale See auf einer Höhe von 2'511 m ü. M. liegt. Würde man also in der Modellierung ausschließlich Gletscherseen berücksichtigen, könnte man die Mindesthöhe des Untersuchungsgebietes auf 2'500 m ü. M. ansetzen. Allerdings riskiert man dadurch, dass einige Seen, die für die Modellierung eines potenziellen Seeausbruches ebenfalls interessant sind, nicht in die Berechnungen miteinbezogen werden. Die Mindestgröße von 250 m² wurde von MERKL (2015) übernommen. Für die Erstellung des Seeninventars erwies sich diese Mindestoberfläche – die ca. einem Drittel eines Tennisplatzes entspricht – als angemessen. Für die Modellierung stellte sich diese minimale Seeoberfläche allerdings als zu gering heraus und wurde daher auf 1'000 m² erhöht.

Die Methodik, die für die Erstellung des Seeninventars gewählt wurde, erwies sich als geeignet, da bei der Verwendung eines automatischen Index (z.B. der Normalized Difference Water Index [NDWI] (WORNİ et al., 2013)) viele Seen nicht berücksichtigt und diese somit nicht ins Inventar aufgenommen werden. Die Anwendung eines automatischen Indizes würde folglich ein umfangreiches Post-processing nach sich ziehen. Allerdings stellt die Subjektivität ein großes Problem bei der manuellen Kartierung dar und kann kaum vermieden werden (ADRIZZONE et al., 2002; MERGILI et al., 2013). Zusätzliche Probleme, die bei der Kartierung aufgetreten sind, wurden bereits in Kapitel 5.1.3 besprochen und werden hier deshalb nicht mehr aufgeführt.

Beim Vergleich der statistischen Auswertung des Seeninventars mit anderen Regionen konnte in Südtirol eine deutlich höhere Seendichte als beispielsweise in Tirol (MERKL, 2015) oder im Pamir (MERGILI et al., 2013) festgestellt werden. So liegen die ermittelten Seendichten der einzelnen Einzugsgebiete Südtirols deutlich über der von MERKL (2015) ermittelten Seendichte in ausgewählten Gebieten Westösterreichs, wo die höchste Seendichte mit 42 Seen/100 km² im Einzugsgebiet der Salzach ermittelt wurde. MERKL (2015) verglich die ermittelte Seendichte Tirols mit der von MERGILI et al. (2013) ermittelten Seendichte im Pamir. Dabei wurden nur Seen mit einer Oberfläche > 2'500 m² berücksichtigt. Im Pamir ergibt sich dabei je nach Größe der Einzugsgebiete eine Seendichte von 5–10 Seen/100 km². In Tirol wurde eine durchschnittliche Seendichte von 11 Seen/100 km² ermittelt. In Südtirol ergibt sich unter Berücksichtigung derselben Eigenschaften eine Seendichte von 16 Seen/100 km². Dies ist womöglich auf die klimatischen Eigenschaften und den fortgeschrittenen Gletscherrückzug in Südtirol zurückzuführen.

7.2. Detailuntersuchung ausgewählter Seen

Die Detailuntersuchung einiger ausgewählter Seen sowie deren Begehung im Gelände dient zum einen der Verifizierung der durch die Orthophotos bestimmten Attribute, wie beispielsweise der Gletscher-

kontakt oder der Oberflächenabfluss, sowie zum ändern der Sensibilisierung zur besseren Interpretation der Orthophotos. Zudem erlaubt die genaue Eruierung der Seenentwicklung über einen längeren Zeitraum Rückschlüsse auf den generellen Entwicklungsstand der Seen im Untersuchungsgebiet.

Die Auflösung der verwendeten Daten (DGM und Orthophotos) ist mit 5 m relativ hoch, sodass die Detailuntersuchung der ausgewählten Seen gut durchgeführt werden konnte. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der berücksichtigte Zeitraum, in dem die Entwicklung der Seen beobachtet wurde, angemessen ist. Sämtliche Seen bildeten sich erst nach 1945. So kann die Entwicklung der Seen von ihrer Entstehung bis zu ihrer heutigen Ausprägung anhand der Orthophotos beobachtet werden. Eine Ausnahme bildet dabei der Malersee, der bereits 1945 eine ähnliche Ausdehnung wie heute hatte. Gemäß EMMER et al. (2015) besteht ein zeitlicher Zusammenhang zwischen den Entwicklungsphasen eines felsgedämmten Sees und seiner Entfernung zum Gletscher, seinem Seevolumen sowie seiner Suszeptibilität, von einem GLOF betroffen zu sein, und seiner Ausbruchsfahr (s. Abbildung 94).

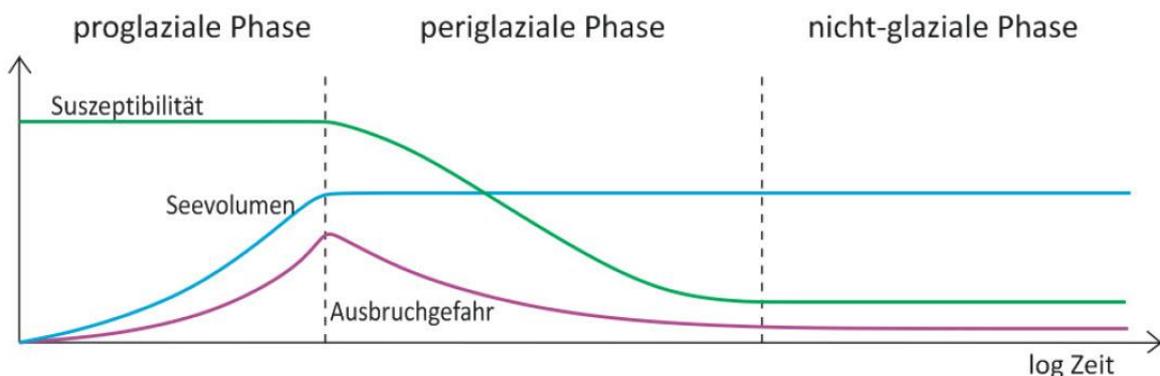


Abbildung 94: Gletscherseenentwicklung; Volumenzuwachs (blaue Linie), Suszeptibilitätsrückgang (grüne Linie) und Gefahrenpotenzial (lila Linie) (Quelle: MERKL (2015: 44))

Bei der proglazialen Phase handelt es sich um die initiale Phase der Seentwicklung. In dieser Phase besteht ein direkter Kontakt zwischen dem Gletscher und dem See. Die Dauer dieser Phase ist im Verhältnis zu den anderen beiden Phasen am kürzesten. Sie dauert von der Entstehung des Sees bis zum Zeitpunkt, an dem die Seeoberfläche die maximale Ausdehnung erreicht hat. Nach EMMER et al. (2015) dauert diese Phase in einer Umgebung wie den österreichischen Alpen ca. 10 Jahre. Der Abbildung 94 kann entnommen werden, dass das Seevolumen in dieser Zeit zunimmt. Zudem ist die Suszeptibilität des Sees, von einem GLOF betroffen zu sein, während der gesamten Phase relativ hoch. Dies kann auf den direkten Gletscherkontakt zurückgeführt werden, da die Wahrscheinlichkeit des Kalbens bei einem sich zurückziehenden Gletscher relativ hoch ist. In dieser Phase gehört das Kalben eines Gletschers in den See zu den wahrscheinlichsten Auslösern eines GLOFs. Die Ausbruchsfahr nimmt während dieser Phase zu und erreicht am Ende der Phase ihr Maximum. Gemäß den Detailuntersuchungen und den Berechnungen von r.glachaz befinden sich der See 4 des Zufallferner-Seenkomplexes, der Pederferner-See, der Hochgallferner-See, der See 3 des Übeltalferner-Seenkomplexes sowie der Kleine Angelusferner-See in dieser proglazialen Phase. Allerdings beruhen die Positionsberechnungen von r.glachaz auf dem Gletscherinventar der Autonomen Provinz Südtirol, welches auf dem Gletscherstand des Jahres 2006 basiert. Während der Geländebegehung im Sommer 2015 konnte festgestellt werden, dass zwischen keinem der Seen und Gletschern mehr ein direkter Kontakt besteht. Zudem blieb die Seeoberfläche aller genannten Seen zwischen 2008 und 2011 relativ konstant. Daher kann davon aus-

gegangen werden, dass sich keiner der ausgewählten Seen bzw. Seenkomplexe mehr in Phase I befindet. Aufgrund des veralteten Gletscherinventars werden anhand der Ergebnisse dieser Arbeit keine Schlüsse auf andere Seen gezogen, die sich potenziell noch in Phase I befinden könnten. Die Positionsberechnungen von r.glachaz könnten aufgrund der mangelnden Aktualität der Orthophotos nicht verifiziert werden. Die Bedeutung, die der Aktualität der unterschiedlichen Inputdaten zukommt, wird anhand dieses Beispiels nochmals verdeutlicht.

Die Phase II, also die periglaziale Phase, ist gekennzeichnet durch den Gletscherrückzug und dauert ca. 10–100 Jahre. Zwischen dem See und dem Gletscher besteht kein direkter Kontakt mehr, dennoch sind Teile der näheren Umgebung des Sees vergletschert. Das Seevolumen, welches am Ende der Phase I sein Maximum erreicht hat, bleibt in dieser Phase konstant. Interannuelle Schwankungen des Seevolumens können dennoch auftreten. Die Suszeptibilität des Sees, von stürzenden Eismassen eines kalbenden Gletschers betroffen zu sein, die einen GLOF auslösen, nimmt während dieser Phase stark ab. Auch die Ausbruchsfahr der Seen nimmt in dieser Phase wieder ab. Seen, die sich in dieser Phase befinden, sind in Gebieten anzutreffen, die momentan durch den Rückzug der Gletscher gekennzeichnet sind. Folglich sind alle der zehn ausgewählten Seen dieser Phase zuzuordnen, da die Seen keinen direkten Gletscherkontakt mehr aufweisen. Ihr näheres Umfeld ist allerdings weiterhin vergletschert. Die Ausbruchsfahr der ausgewählten Seen sowie der großen Mehrheit der periglazialen Seen im Untersuchungsgebiet ist also am Abnehmen.

Bei der letzten Phase eines Hochgebirgssees handelt es sich um die nicht-glaziale Phase. Diese zeichnet sich durch die komplette Abwesenheit von Gletschern im Einzugsgebiet des Sees aus. Mehr als 100 Jahre befinden sich die Seen in dieser Phase. Das Seevolumen von Seen, die sich in dieser Phase III befinden, bleibt weiterhin stabil. Allenfalls können wie bereits bei Phase II interannuelle Schwankungen beobachtet werden. Die Suszeptibilität von einem GLOF betroffen zu sein, sowie die potenzielle Ausbruchsfahr der Seen bleiben in dieser Phase ebenfalls sehr gering.

Über die Hälfte der kartierten Seen im Untersuchungsgebiet befinden sich bereits in einer gletscherfreien Umgebung und gehören folglich der Phase III an. Zwar gelten die Seen, die sich in dieser Phase befinden als relativ sicher, dennoch bleibt auch bei diesen Seen noch eine gewisse Restausbruchsfahr, die durch andere Prozesse bedingt ist, welche nicht direkt mit einem Gletscher in Verbindung stehen. Dazu gehören beispielsweise Stein- bzw. Felschläge, die in den See fallen und dort eine Schwallwelle verursachen können. Solche Ereignisse können durch das kontinuierliche Auftauen des Permafrostes und der dadurch bedingten Hangdestabilisierung begünstigt werden (EMMER et al., 2015).

7.3. Modellierung

Box (1979) untersuchte die Robustheit von wissenschaftlichen Modellierungen und war der Meinung, dass alle Modelle falsch, aber dass manche durchaus nützlich sind. Grundsätzlich handelt es sich bei Modellen um generalisierte und vereinfachte Darstellungen von Prozessen der Realität. Modellierungen dienen zwar der Gefahreinschätzung und als Basis für weitere detailliertere Forschungen, aber sie sind nicht dazu in der Lage, den genauen Zeitpunkt bzw. die Frequenz eines GLOFs bzw. sein genaues Ausmaß vorherzusagen. Modellierungen beherbergen unzählige Unsicherheiten, die folglich das Ergebnis maßgeblich beeinflussen. Der Einfluss von Unsicherheiten beginnt bereits bei den Inputdaten.

Wie bereits im vorherigen Kapitel erläutert wurde, hat beispielsweise die Aktualität der Inputdaten einen wichtigen Einfluss auf die Resultate der Berechnungen eines Modells. Daher ist die ständige Aktualisierung der Inputdaten von großer Bedeutung. Des Weiteren kommt der Auflösung der verwendeten Daten eine wichtige Rolle zu (s. Kapitel 7.2 und 7.3.3) (WATSON et al., 2015).

In den verwendeten Modellen wurden wichtige Inputparameter wie die Geologie, die Vegetationsdecke, der Boden oder die Verfügbarkeit von Lockermaterial nicht berücksichtigt, obwohl sie einen großen Einfluss auf die Suszeptibilität von Massenbewegungen in den See (Geologie) oder die Art der Ausbreitung eines GLOFs (Vegetation und Boden bzw. Lockersediment) haben. So wird beispielsweise beim TSS, also bei der Anfälligkeit eines Pixels, von einer Massenbewegung betroffen zu sein, nur die Hangneigung als Trigger einer Massenbewegung berücksichtigt. Die Loslösung einer Massenbewegung hängt jedoch von unzähligen weiteren Faktoren, beispielsweise von der Geologie, ab. Um folglich zu eruieren, ob ein bestimmter Hang tatsächlich instabil ist, müssen weitere detailliertere Untersuchungen vorgenommen werden.

Nachfolgend werden die einzelnen Ergebnisse der Modellierungen diskutiert.

7.3.1. Potenzielle Reichweite von Eislawinen

Die Gefahr, dass sich Eislawinen lösen, liegt in Südtirol vorwiegend im mittleren Bereich. Eine hohe oder sogar sehr hohe Eislawinengefahr ist im Untersuchungsgebiet kaum bis gar nicht vorhanden. Dennoch erreicht der Großteil der modellierten Eislawinen die Hochtäler, in denen sich Seen befinden können. Im Südwesten des Untersuchungsgebietes könnte eine Eislawine sogar den Talboden der Etsch erreichen. Die Ergebnisse der Modellierungen zeigen, dass potenzielle Eislawinen in der Lage wären, relativ weite Distanzen zurückzulegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für die Berechnungen der Eislawinen ein relativ geringes Pauschalgefälle von nur 17° herangezogen wurde.

7.3.2. Potenzielle Ausbruchsgefahr von Hochgebirgsseen

Bei der Ermittlung von potenziell gefährlichen (Gletscher-)Seen konnte bei einigen Seen eine erhebliche Ausbruchsgefährdung festgestellt werden, so zum Beispiel beim Kleinen Angelusferner-See. Bei diesem See ist die erhebliche Ausbruchsgefahr auf den hohen Score von $LOIS_{external}$ und $LOIS_{internal}$ zurückzuführen. Allerdings kann der höchstmögliche Wert des $LOIS_{internal}$ mit einem Score von 6 nicht ganz nachvollzogen werden. Wie in Kapitel 6.3.1.2 erläutert wurde, ist der hohe $LOIS_{internal}$ wahrscheinlich auf die Position des Sees zurückzuführen, da der See gemäß den Berechnungen von R. glachaz vom Gletscher gedämmt wird. Bei der manuellen Kartierung anhand der Orthophotos wurde die Position des Sees allerdings als proglazial klassifiziert. Diese Abweichung ist auf das veraltete Gletscherinventar zurückzuführen. R. glachaz geht folglich davon aus, dass der See nicht durch Fels, wie es im Seeninventar aufgenommen wurde, sondern durch Eis gedämmt wird. Es muss daher angenommen werden, dass aufgrund des veralteten Gletscherinventars falsche Schlüsse gezogen wurden. Anhand dieses Beispiels wird erneut gezeigt, wie wichtig die Aktualität der Inputdaten für die Generierung aktueller Ergebnisse ist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche $LOIS_{internal}$ wesentlich geringer, wenn nicht sogar 0 sein sollte. Dasselbe Problem ergibt sich auch beim Übeltalferner-See.¹²

¹² Die Kartierung der Seen basiert auf dem Stand der Seeausdehnung des Jahres 2011. Darum wurde der Übeltalferner-See in den Modellierungen noch berücksichtigt. Aufgrund seiner Verlandung existiert er allerdings spätestens seit dem Jahr 2014 nicht mehr. Daher besteht mittlerweile auch keine Ausbruchsgefahr mehr.

Diskussion

Anhand dieses Beispiels wird ersichtlich, dass das Programm trotz manueller Eingabe des Dammmaterials falsche Schlüsse anhand des Gletscherinventars zieht. Das Dammmaterial sollte deshalb schwerer gewichtet werden als die Dammposition, sodass r.glachaz die manuelle Eingabe des korrekten Dammmaterials nicht ignoriert bzw. korrigiert.

7.3.3. Potenzielle Reichweite

Bei der Berechnung der potenziellen Reichweite scheint die räumliche Auflösung des DGMs einen Einfluss auf die seitliche Ausdehnung eines potenziellen GLOFs zu haben. Dies kann anhand der unterschiedlichen Ergebnisse, welche einerseits in einer relativ geringen Auflösung (40 m) für das gesamte Untersuchungsgebiet und andererseits in einer relativ hohen Auflösung (5 m) für die einzelnen Einzugsgebiete vorliegen, illustriert werden.

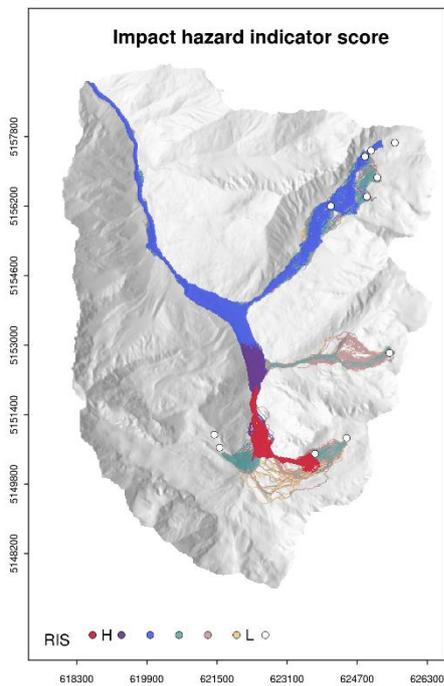


Abbildung 95: IHIS Sulden 20 m Auflösung

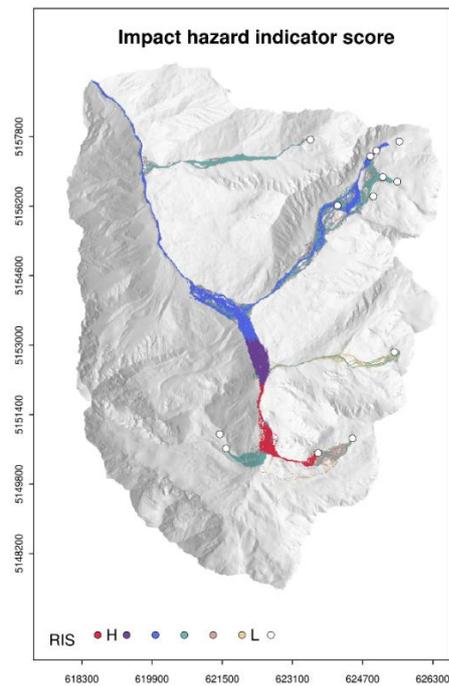


Abbildung 96: IHIS Sulden 5 m Auflösung

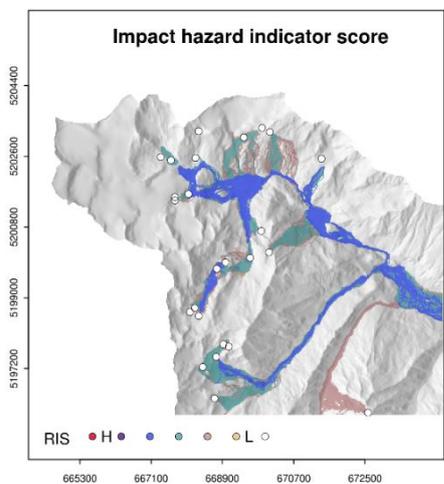


Abbildung 97: IHIS Ridnaun 20 m Auflösung

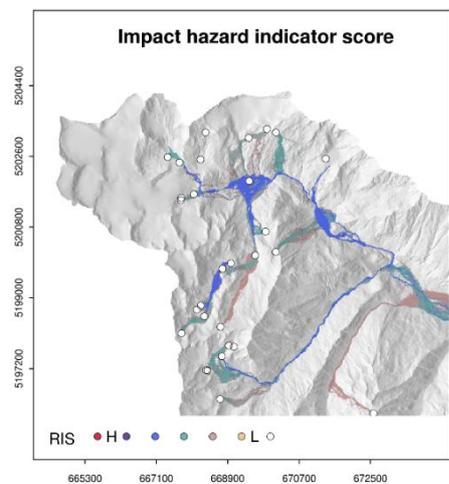


Abbildung 98: IHIS Ridnaun 5 m Auflösung

Wie in den Abbildungen 79–82 ersichtlich, ist die seitliche Ausbreitung der potenziellen GLOFs unter Verwendung einer höheren Auflösung des DGMs deutlich geringer, sodass sich die potenziellen Flutwellen eher innerhalb des Gerinnebettes ausbreiten und nicht mehr im gesamten Talboden. Durch die höhere Auflösung des DGMs verringert sich bei gewissen GLOFs sogar der IHIS, wie zum Beispiel beim Pederferner (s. Abbildung 96). Im Großen und Ganzen wird die Gefährdungsstufe allerdings nicht von der Auflösung des DGMs beeinflusst (s. Abbildung 97 und Abbildung 98). Modellierungen, die mit Inputdaten mit einer sehr hohen Auflösung durchgeführt werden, kosten sehr viel Zeit- und Speicherressourcen. Daher empfehlen MERGILI et al. (2015) eine Auflösung der räumlichen Inputparameter von 10–20 m, da mit dieser Auflösung die grundsätzliche Geometrie immer noch erfasst werden kann.

Anhand der beschriebenen Limitationen der Modellierungen kann erkannt werden, dass sich Modelle für einen groben Überblick der Gefahrensituation in einem bestimmten Gebiet eignen. Die Ergebnisse sind jedoch sehr konservativ, sodass die Ausbruchsfahr und die potenzielle Reichweite teilweise deutlich überschätzt werden (MERGILI et al., 2015). Daher sollte die Interpretation der erstellten Gefahrenhinweiskarte nur durch Experten erfolgen.

7.3.4. Validierung

Obwohl auf eine Validierung der Ergebnisse von *r.glachaz* und *r.randomwalk* verzichtet werden muss, da es sich um heuristische Modelle handelt und zudem keine Daten für eine statistische Validierung zur Verfügung stehen, wird an dieser Stelle ein Vergleich mit den Untersuchungen der ClimOpt Untersuchungen (ZISCHG & DINALE, 2013; ZISCHG et al., 2013) durchgeführt. Die Untersuchungen von ZISCHG & DINALE (2013) und diejenigen der vorliegenden Masterarbeit unterscheiden sich im Wesentlichen im methodischen Vorgehen der Ermittlung der potenziellen Abflussmechanismen, der potenziell ausgelösten Prozesse und ihrer potenziellen Reichweite (Hochwasserwelle oder Murgang). Während die potenzielle Reichweite und die potenziell ausgelösten Prozesse eines GLOFs in dieser Arbeit durch Modelle berechnet wurden, schätzen ZISCHG & DINALE (2013) die Abflussmechanismen und die ausgelösten Prozesse mithilfe ihres Expertenwissens. Mithilfe dieses Vergleichs werden die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Methoden, die zur Bestimmung der potenziellen Ausbruchsfahr und den potenziellen Auswirkungen eines GLOFs herangezogen werden, ermittelt.

7.3.4.1. Sub- und intraglaziale Seen

Sub- und intraglaziale Wasseransammlungen konnten in der vorliegenden Arbeit aufgrund ihrer fehlenden Sichtbarkeit auf Orthophotos nicht in das Seeninventar aufgenommen werden. Aus diesem Grund können mithilfe von *r.glachaz* und *r.randomwalk* keine potenzielle Ausbruchsfahr dieser Seen sowie keine potenzielle Reichweite von GLOFs bestimmt werden. Nur mit aufwändigen Messungen wie beispielsweise einem Georadar, das Übertiefungen im Gletscher feststellen kann, können sub- und intraglaziale Wasseransammlungen ermittelt werden (ZISCHG & DINALE, 2013). Diese Messungen würden allerdings den Rahmen dieser Arbeit, die die Erstellung einer überblicksmäßigen Gefährdungsanalyse zum Inhalt hat, sprengen. Folglich stellen besonders sub- und intraglaziale Seen eine Herausforderung für die Modellierung potenzieller Gefahren sowie für das Risikomanagement dar. Im Zuge detaillierter Untersuchungen, wie sie von ZISCHG & DINALE (2013) mithilfe eines Georadars durchgeführt wurden, konnten in Südtirol rund drei subglaziale Seen und 23 potenzielle intraglaziale Wasseransammlungen bestimmt werden. Unter anderem befinden sich subglaziale Wasseransammlungen unter dem Übeltalferner, dem Zufallferner sowie dem Grafferner (Pfossental) (s. Kapitel 4.5). Gemäß den

detaillierteren Untersuchungen von ZISCHG & DINALE (2013) geht momentan von keiner der untersuchten subglazialen Wasseransammlungen eine direkte Gefährdung für Siedlungen aus. Allerdings empfehlen sie für manche Gletscher, wie beispielsweise den Zufallferner oder den Grafferner (Pfossental), genauere Beobachtungen und Messungen der Eisdicke durchzuführen. ZISCHG & DINALE (2013) betonen, dass es sich bei der Ermittlung potenzieller subglazialer Wasseransammlungen und ihres potenziellen Ausbruchs viel mehr um eine Hypothese als um eine Gefahrenbeurteilung handelt. Daher können aus diesen Analysen keine konkreten Maßnahmen für das Risikomanagement abgeleitet werden.

7.3.4.2. Pro- und periglaziale Seen

Bei der Ermittlung der Gefährdungspotenziale der pro- und periglazialen Seen ermittelten die Wissenschaftler der ClimOpt-Studie rund 100 potenziell gefährliche Seen, die im Falle eines Ausbruches zu Muren oder Hochwasserwellen führen könnten. In der Studie werden die relevantesten Fälle in Bezug auf das Schadenspotenzial präsentiert (ZISCHG & DINALE, 2013). An dieser Stelle werden diejenigen vier Seen, die einerseits gemäß der ClimOpt-Studie ein erhöhtes Gefahrenpotenzial aufweisen und die sich andererseits mit den ausgewählten Seen der Detailstudie dieser Arbeit überschneiden, vorgestellt. Die Ergebnisse beider Studien werden einander dabei vergleichend gegenübergestellt.

Hochgallferner-See

Gemäß ZISCHG & DINALE (2013) könnten sich im Falle eines Ausbruches des Hochgallferners rund 400'000 m³ Wasser entleeren. Die Berechnungen von r.glachaz ergeben sehr ähnliche Werte. Die Magnitude eines potenziellen Ausbruches des Hochgallferners umfasst 336'344 m³ Wasser. Auch die potenziellen Auswirkungen eines Seeausbruches, welche sich gemäß ZISCHG & DINALE (2013) in Form einer Hochwasserwelle äußern würden, entsprechen den modellierten Ergebnissen von r.randomwalk (s. Abbildung 93). Gemäß den Modellierungen von r.randomwalk ist anzunehmen, dass die Hochwasserwelle tiefere Tallagen erreichen könnte, sodass sie in der Gemeinde Rein in Taufers deutlich zu bemerken wäre. Nach ZISCHG & DINALE (2013) könnten sogar einige Verbindungsstraßen von einem solchen Ereignis beschädigt werden. Folglich fordern sie eine periodische Detailabklärung der Situation.

Übeltalferner-Seenkomplex

Im Falle eines Ausbruchs des Bechersees prognostizieren ZISCHG & DINALE (2013) einen Murgang sowie eine Hochwasserwelle entlang des Gerinnebettes. Allerdings wird das Schadenspotenzial als relativ gering eingestuft, da der Abfluss des Bechersees in den tiefer gelegenen Vogelhüttensee mündet. Gemäß den Ergebnissen von r.randomwalk kann ebenfalls von der Bildung einer Mure ausgegangen werden.

Das Gefahrenpotenzial des Vogelhüttensees wird von ZISCHG & DINALE (2013) je nach Veränderung der Situation des Seeumfeldes als erheblich eingestuft. Die Forscher gehen von einer potenziellen Gefährdung des Siedlungsgebietes im Ridnauntal durch eine Hochwasserwelle aus. Entsprechend den Modellierungen durch r.randomwalk kann sich ein potenzieller Seeausbruch des Vogelhüttensees allerdings auch zu einer Mure entwickeln, die sogar das Siedlungsgebiet im Ridnauntal erreichen könnte. Allerdings kann anhand der Gefahrenhinweiskarte von r.randomwalk nicht mit Sicherheit festgestellt werden, ob ein potenzieller Murgang, der bis ins Ridnauntal reicht, durch einen potenziellen Ausbruch des Übeltalferner-Seenkomplexes ausgelöst werden könnte. Dafür wären weitergehende Modellierungen nötig.

Aufgrund des Vergleiches der beiden oben dargestellten unterschiedlichen Untersuchungsansätze (empirisch-statistische Modellierung vs. Expertenwissen) kann angenommen werden, dass insbesondere die Reichweitenmodellierung sehr konservativ ist und tendenziell eher zu weite Distanzen berechnet (MERGILI et al., 2015). Es muss hier betont werden, dass diese Modellierungen auf Worst-Case-Annahmen beruhen, wie zum Beispiel dem Ausbruch des gesamten Seevolumens oder der Gültigkeit der Schwellenwerte für alle Seegrößen, das heißt auch für sehr kleine Seen. Zudem wird durch die relativ grobe Auflösung der Modellrechnungen meist auch dort der gesamte Talboden als potenziell gefährdet eingestuft, obwohl wahrscheinlich meistens nur das Gerinne oder dessen direkte Umgebung betroffen sein werden.

7.3.5. Unsicherheiten und Einschränkungen der Modellierung

Modellierungen von GLOFs erweisen sich insbesondere aufgrund der Komplexität ihres Vorganges und aufgrund unzähliger Einflussfaktoren als sehr anspruchsvoll (PITMAN et al., 2013). Dabei hängt die Qualität der Ergebnisse von der Verfügbarkeit sowie der Auflösung der Inputdaten ab (WORNIG et al., 2012). Allerdings beherbergen bereits die Inputdaten unzählige Unsicherheiten. So ist beispielsweise bereits die Parametrisierung der Inputdaten von Seeattributen, wie zum Beispiel der Oberflächenabfluss, das Dammmaterial oder die Seeentwicklung, von Unsicherheiten geprägt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb versucht, durch das Erstellen eines Punktesystems eine robustere Parametrisierung zu erstellen. Dennoch sind die Inputattribute des erstellten Seeninventars sowie die Seepolygone von starker Subjektivität bzw. von großen Unsicherheiten geprägt. Die Unsicherheiten bezüglich der Seeentwicklung lassen sich nicht verhindern. Mithilfe einer Feldbegehung können die Unsicherheiten bzw. die Subjektivität der anderen Attribute jedoch verringert werden. Auch die Berechnung des Seevolumens beinhaltet große Unsicherheiten. Mithilfe der Formel von HUGGEL et al. (2002) erfolgt zwar eine Annäherung an das Seevolumen, allerdings sollten insbesondere für detailliertere Untersuchungen eines Sees genaue Daten bezüglich des Seevolumens vorliegen, die nur mithilfe von bathymetrischen Messungen vor Ort erhoben werden können (ANACONA et al., 2015). Um den Unsicherheiten der Ausbruchskriterien Rechnung zu tragen, wurden mehrere Ausbruchskriterien in das Modell eingespeist (s. Tabelle 15) (MERGILI et al., 2015).

Bei der Rekonstruktion von vergangenen GLOFs, die oftmals zur Validierung bzw. Kalibrierung eines Modells herangezogen werden, erleichtert das Vorhandensein von DGMs, welche die Situation vor und nach dem Ereignis zeigen, die Modellierung. Im Gegensatz zu anderen Massenbewegungstypen sind GLOFs oft singuläre oder niederfrequente Ereignisse, sodass nur wenige Referenzdaten vorhanden sind, so auch in Südtirol. Die Rekonstruktion eines GLOFs wird dadurch deutlich erschwert.

Trotz der unzähligen Unsicherheiten und Einschränkungen der Modellierung, die vor allem bei simplen rasterbasierten Modellen auftreten, eignet sie sich sehr gut für eine überblicksmäßige Gefahreinschätzung. Die generierte Gefahrenhinweiskarte, die das Ausbruchspotenzial der Seen sowie die potenzielle Reichweite der GLOFs visualisiert, vereinfacht die Planung und die Dimensionierung von angemessenen Gefahren- bzw. Risikominimierungsmaßnahmen und hilft, die Entscheidungen, die getroffen werden müssen, um die Infrastruktur und bewohnte Gebiete vor einem gewissen Risiko zu schützen, zu rechtfertigen. Bei detaillierteren Gefährdungsuntersuchungen eines ausgewählten Sees steigen der Forschungsaufwand sowie die Kosten um ein Vielfaches, da Feld- und Laborarbeiten in die Analyse und Modellierung integriert werden müssen (WORNIG et al., 2013).

7.4. Gefährdungspotenzial und Schutzmassnahmen

Die Ermittlung des Gefährdungspotenzials sowie die Eruiierung potenzieller Schutzmaßnahmen sind Inhalt möglicher Folgestudien. Um dennoch einen groben Überblick über die Gefährdungssituation durch GLOFs in Südtirol zu erhalten, wird diese Thematik an dieser Stelle kurz dargestellt.

Insbesondere im Kontext der Risikobeurteilung ist zu beachten, dass die Auswirkungen eines GLOFs vor allem im bzw. entlang des engeren Umfeldes des Gerinnes bemerkbar werden und sich die GLOFs nicht – wie in Abbildung 93 dargestellt – über den gesamten Talboden – beispielsweise der Etsch – ausbreiten. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass sich eine potenzielle Flutwelle in Südtirol mehrheitlich im Anstieg des Wasserpegels des jeweiligen Flusses äußern würde. Besonders für die Interpretation des Gefährdungspotenzials durch Nichtexperten eignet sich die Darstellung der Abbildung 93 daher nicht. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der Reichweitenmodellierung, die die unterschiedlichen Gefahrenstufen in Südtirol anzeigen, mit den Flüssen und Bächen des Untersuchungsgebietes überlagert. Diese neue Darstellung des Gefahrenpotenzials in Südtirol, die in Abbildung 99 (s. A3-Einlage bei Seite 114) zu erkennen ist, stellt sich als geeignetere Gefahrenhinweiskarte dar. Jedoch muss bei der Verbreitung einer derartigen Karte explizit darauf hingewiesen werden, dass die Darstellung auf Basis der Gerinne erfolgt und die seitliche Ausbreitung nicht berücksichtigt wird. Für zukünftige Modellierungen, die über ein relativ großes Untersuchungsgebiet und folglich in einem relativ kleinen Maßstab erstellt werden, eignet sich diese Darstellung als Gefahrenhinweiskarte der potenziellen Reichweiten von GLOFs womöglich besser.

In einem weiteren Schritt könnten die ermittelten potenziellen Reichweiten der möglichen GLOFs in Südtirol mit einer Landnutzungskarte überlagert werden. Durch solche Karten können Informationen bzgl. des Risikos und des Schadenspotenzials hergeleitet werden, welche für das Risikomanagement von großer Bedeutung sind. Da eine solche Überlagerung der Gefahrenhinweiskarte mit einer Landnutzungskarte jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, wurde sie nicht durchgeführt. Sie könnte Gegenstand möglicher Folgestudien sein. Um dennoch einen Überblick über das Gefährdungspotenzial der größeren Ballungsräume im Untersuchungsgebiet zu erhalten, wird nachfolgend analysiert, ob potenzielle GLOFs einen Einfluss auf die größeren Ballungsräume haben könnten.

Dabei zeigt sich, dass die Gefährdung, von einem potenziellen GLOF betroffen zu sein, in Meran am größten ist. Gemäß der Reichweitenmodellierung durch *r.randomwalk* könnten Seeausbrüche in den Einzugsgebieten westlich von Meran zu Überschwemmungen bzw. Pegelerhöhungen der Etsch in der Stadt führen. Auch aus dem Einzugsgebiet des Passerbaches könnten potenzielle GLOFs bis nach Meran gelangen. Potenzielle Seeausbrüche aus dem Spronsertal (u.a. des Langsees) könnten zu Murgängen führen, die fast bis nach Meran reichen könnten. Geringfügige Pegelerhöhungen des Eisacks könnten sich sogar noch in Bozen, dem größten Ballungsraum Südtirols, bemerkbar machen, wenn sich im Einzugsgebiet des Talferbaches und des Eisacks Seeausbrüche ereignen würden. In Bruneck könnten potenzielle Seeausbrüche aus dem Ahrntal zu Überschwemmungen bzw. zur Erhöhung des Pegels der Ahr bzw. des Rienzflusses führen. Die Gemeinde Brixen könnte von Seeausbrüchen, welche nördlich und westlich der Gemeinde im Einzugsgebiet des Eisackflusses entstehen könnten, betroffen sein. Ein potenzieller Seeausbruch würde sich in der Gemeinde in Form eines Pegelanstiegs des Eisackflusses bemerkbar machen. Im südlichen Etschtal in der Gemeinde Leifers ist gemäß den Modellierungen mit

keiner Gefährdung durch GLOFs zu rechnen. Da die Fließgewässer aber besonders in den großen Ballungsräumen reguliert werden, kann davon ausgegangen werden, dass sich das Schadenspotenzial in Grenzen halten würde.

Höhere Gefährdungspotenziale bestehen vorwiegend in ruralen und abgelegeneren Gebieten. Dementsprechend fällt das Schadenspotenzial wesentlich geringer aus. Auch in den ClimOpt-Studien erläutern ZISCHG & DINALE (2013), dass in Südtirol insbesondere Wanderer gefährdet sind, die von einem plötzlichen Seeausbruch überrascht werden könnten. Aufgrund des geringen Ausbruchspotenzials der Seen in Südtirol eignen sich somit besonders weiche Schutzmaßnahmen. In potenziell gefährdeten Gebieten könnten so zum Beispiel Warntafeln aufgestellt werden, die vor dem plötzlichen Ansteigen des Wasserlaufes oder einer Mure, die beide auch an Schönwettertagen auftreten könnten, warnen (ZISCHG & DINALE, 2013; ZISCHG et al., 2013). Technische Maßnahmen, wie beispielsweise das Absenken des Seepegels durch Siphons, müssen in Südtirol aufgrund der relativ geringen Ausbruchsfahrer der (Gletscher-)Seen, nicht erfolgen. Allerdings sollten einige ausgewählte Seen, die beispielsweise aufgrund ihrer relativen Position zum Gletscher oder aufgrund externer Faktoren eine erhöhte Suszeptibilität aufweisen, wie beispielsweise der Hochgallferner-See und der Zufallferner-Seenkomplex, detaillierteren Forschungen und Überwachungen unterzogen werden.

7.5. Ausblick

ZEMP et al. (2006) modellieren in den Alpen einen Gletscherrückzug von 80 % der Gletscherbedeckung des Jahres 2006 bei einer Erhöhung der Sommertemperaturen um 3 °C. Bei einem Anstieg der Sommertemperaturen um 5 °C gehen die Wissenschaftler davon aus, dass fast das komplette Eis der Alpen schmelzen würde. Veränderte Niederschlagsmuster um $\pm 20\%$ könnten den Erhalt der Gletscherdecke zusätzlich beeinflussen. Dieser alpine Trend des Gletscherrückzuges, der sich auch im globalen Maßstab bemerkbar macht, ist auch in Südtirol zu beobachten. Der Gletscherrückzug führt zur vermehrten Entwicklung von Gletscherseen, die in Zukunft in immer höheren Lagen entstehen werden – sofern dies die topographischen Gegebenheiten zulassen. Folglich wird sich die Entwicklungs-, Suszeptibilitäts- und Gefahrenphase, in denen sich die Seen heute befinden, verschieben, sodass die Seen, die sich momentan noch in der Phase II (periglaziale Phase) befinden, allmählich in die Phase III (nicht-glaziale Phase) übergehen werden. Seen, die sich durch den Gletscherrückzug neu bilden, werden sich wiederum zuerst in der Phase I (proglaziale Phase) befinden (EMMER et al., 2015). Gemäß EMMER et al. (2015) entwickeln sich mit dem Fortschritt der Entgletscherung auch die Eigenschaften der Seen. Während der initialen Phase des Gletscherrückzuges entstehen supraglaziale Seen, welche sich zunehmend auf der Gletscherzunge ausbilden. Mit fortschreitendem Gletscherrückzug entwickeln sich diese zunehmend zu moränengedämmten proglazialen Seen (EMMER et al., 2015; WESTOBY et al., 2014). Dieses Stadium ist beispielsweise im Pamir (MERGILI et al., 2013) zu beobachten. Bei fortschreitendem Rückzug der Gletscher dominieren zunehmend felsgedämmte Gletscherseen, die sich in ehemaligen subglazialen Depressionen oder Karen entwickeln (EMMER et al., 2015). Im Untersuchungsgebiet werden knapp 89 % aller kartierten Seen durch Fels gedämmt. Das Dammmaterial und die Detailuntersuchung sowie die Bestimmung der Entwicklungs-, Suszeptibilitäts- und Gefahrenphase der ausgewählten Seen deuten darauf hin, dass der Gletscherrückgang in Südtirol schon sehr weit fortgeschritten ist. Zwar sind noch immer Gletscher vorhanden, allerdings werden sich diese noch weiter zurückziehen. Daher werden auch in Südtirol noch weitere neue Gletscherseen entstehen. Vergleicht man die Gletscherverbreitung in den Westalpen mit den Ostalpen, können deutliche Unterschiede festgestellt werden. So ist

die Gletscherverbreitung in den Westalpen noch deutlich grösser. Dadurch sind auch das Potenzial der Seeneubildung bzw. -vergrößerung sowie das Gefahrenpotenzial der Seen entsprechend der Entwicklungs-, Suszeptibilitäts- und Gefahrenphasen in den Westalpen deutlich höher als in den Ostalpen. Dieser Unterschied zwischen den West- und Ostalpen kann primär auf die klimatischen Bedingungen zurückgeführt werden, da die Nord- und Westalpen deutlich mehr Niederschlag bekommen als die Ostalpen. Vor allem in den Wintermonaten ermöglichen die erhöhten Niederschläge in den Westalpen eine höhere Akkumulationsrate. Inneralpine Lagen wie das Landesgebiet der Autonomen Provinz Südtirol sind zudem zusätzlich von Niederschlag abgeschirmt (s. Kapitel 4.1) (ROTT et al., o. J.).

„The question of whether and where future glacial lakes will appear is of high scientific and practical importance“ (EMMER et al., 2015). Dementsprechend sind weitere Studien bzw. Beobachtungen zur Entwicklung neuerer Seen notwendig. EMMER et al. (2015) gehen davon aus, dass folgende Gletscher das Potenzial besitzen, neue Gletscherseen zu bilden:

- Geröllfreie Gletscherzungen oder Kargletscher
- Der Teil des Gletschers, wo die Veränderungen der Hangneigung von steil ($> 25^\circ$) zu relativ flach ($< 12^\circ$) verläuft, also dort, wo man die Bildung einer Depression im Fels annimmt (EMMER et al., 2015; WESTOBY et al., 2014).

Wie dargestellt, beeinflussen der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Gletscher und den Permafrost die Entwicklung von Gletscherseen sowie auch ihre potenzielle Ausbruchsfahr. Es ist anzunehmen, dass es künftig zu einer Verschiebung der Gefahrenzonen kommt. Diese Veränderungen erfordern daher eine Anpassung des aktuellen Prozessverständnisses. Sie sollten deshalb auch in den Modellen berücksichtigt werden. Zudem sind aktuelle Daten sowie eine angemessene Zeitreihe für die Erforschung und Modellierung von GLOFs von großem Interesse, um so den aktuellen Zustand und die potenziellen künftigen Entwicklungen darzustellen (WORNİ et al., 2014).

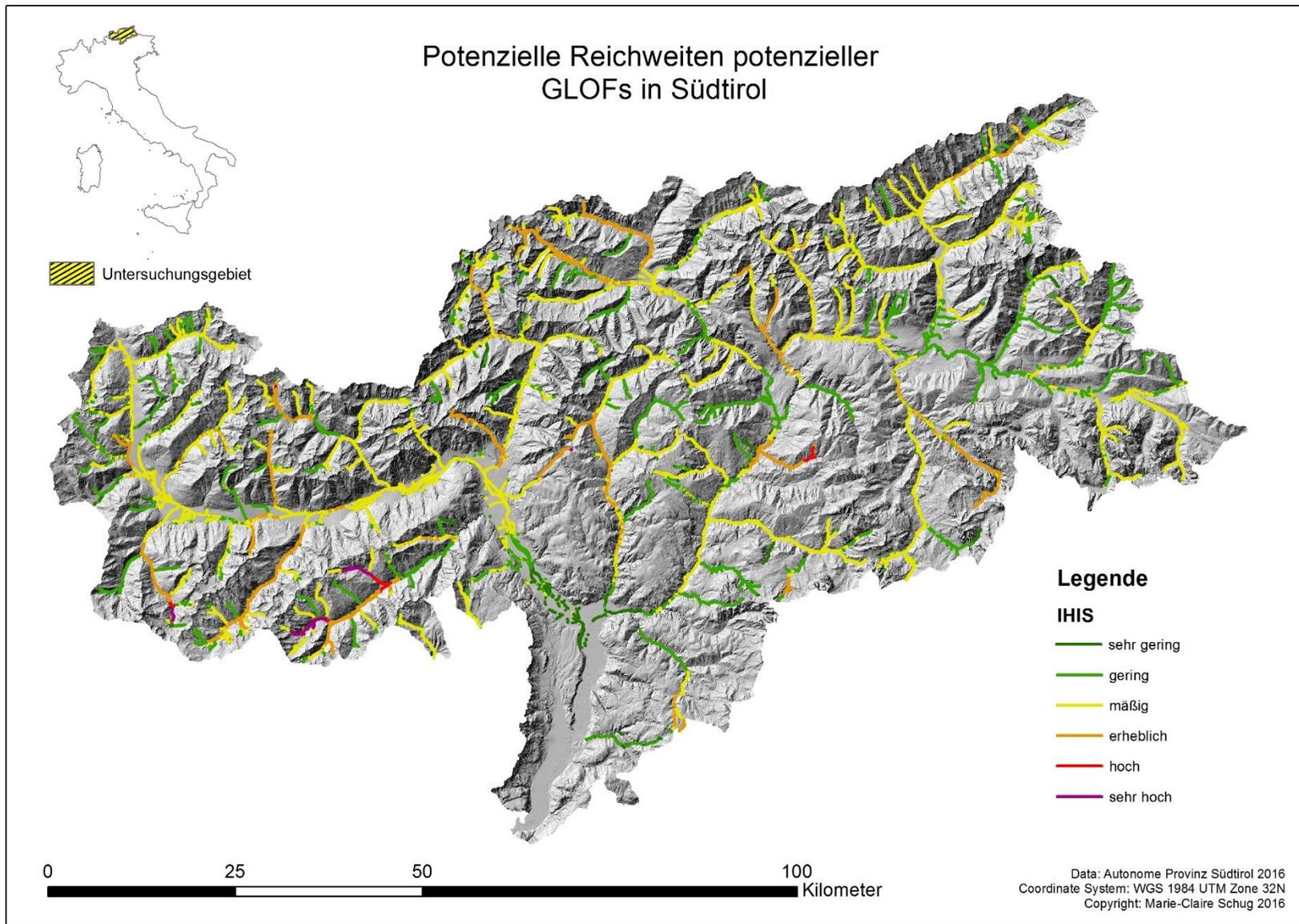


Abbildung 99: Potenzielle Reichweiten potenzieller GLOFs; Darstellung entlang der Gerinne

8. Conclusio

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde die räumliche Verteilung, die Entwicklung sowie das Gefahrenpotenzial von Hochgebirgsseen in Südtirol untersucht. Dazu wurden (i) ein Seeninventar erstellt, (ii) die Entwicklung ausgewählter Gletscher- bzw. Hochgebirgsseen zwischen 1945 und 2011 analysiert und (iii) eine Gefährdungsanalyse der Seen im Hinblick auf ihre potenzielle Ausbruchsgefahr und die potenzielle Reichweite von GLOFs durchgeführt.

Im Zuge der Erstellung des Seeninventars wurden 1010 Seen mithilfe von Orthophotos kartiert. Diese Seen wurden nach unterschiedlichen qualitativen und quantitativen Merkmalen klassifiziert. Dabei konnte festgestellt werden, dass 89 % aller kartierten Seen durch Fels gedämmt werden. Zudem liegen knapp 93 % der Seen in einem gletscherfreien Umfeld. Ca. 16 % der Seen haben sich zwischen 1999 und 2011 vergrößert. Die Mehrheit der Seen (60 %) wies in diesem Zeitraum jedoch eine stabile Seegröße auf. Aufgrund der mangelnden Aktualität der Orthophotos und des Gletscherinventars können im Seeninventar allerdings Abweichungen zur tatsächlichen Seegröße und zum tatsächlichen Gletscherkontakt entstehen. Zudem ist die Bestimmung relevanter Seeigenschaften wie zum Beispiel das Dammmaterial, der Oberflächenabfluss oder die Seentwicklung stark abhängig von der Subjektivität des Bearbeiters. Diese Unsicherheiten bei den Inputdaten führen schließlich zu Verzerrungen der Modellierungsergebnisse. Nur mittels Feldbegehungen könnten diese Unsicherheiten, die durch die Ermittlung der Seeigenschaften anhand von Orthophotos entstehen, größtenteils vermieden werden.

Im Rahmen der Detailuntersuchung wurden die Entwicklung von zehn ausgewählten Seen bzw. Seekomplexen und die Entwicklung ihres näheren Umfelds im Zeitraum von 1945 bis 2011 untersucht. Die Mehrheit dieser Seen bildete sich in den frühen 80er-Jahren als Folge des fortschreitenden Gletscherrückzuges. Acht der zehn Seen bzw. Seekomplexe vergrößerten sich im untersuchten Zeitraum. Spätestens um die Jahrtausendwende verlor jedoch die Mehrheit der Seen den direkten Kontakt zum Gletscher, sodass sich die Seegröße mittlerweile bei fast allen Seen stabilisiert hat. Im Rahmen der Detailuntersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Seen nach ihrer Entstehung verschiedene Entwicklungsphasen durchlaufen, in denen sich ihr Seevolumen, ihre Suszeptibilität sowie ihre Ausbruchsgefahr verändern. Alle ausgewählten Seen befinden sich derzeit in der periglazialen oder in der nicht-glazialen Phase, in der sich das Seevolumen zunehmend einpendelt. Zudem stabilisieren sich die Dämme (bei moränengedämmten Seen) und die nähere Umgebung allmählich, sodass die Suszeptibilität der Seen und ihre Ausbruchsgefahr abnehmen. Aufgrund der Position sämtlicher kartierter Seen des Untersuchungsgebietes kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mehrheit der sich im Untersuchungsgebiet befindenden Seen in der periglazialen bzw. in der nicht-glazialen Phase befinden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass aufgrund des weiteren Rückzuges der Gletscher neue Gletscherseen in höheren Lagen entstehen werden. Die Suszeptibilität und das Ausbruchspotenzial dieser neuen Gletscherseen werden zunächst zunehmen. Die Ermittlung der Gebiete, in denen künftig neue Gletscherseen entstehen werden, ist von großem Interesse, um gefährliche Seen rechtzeitig zu entdecken und allfällig erforderliche Schutzmaßnahmen umzusetzen. Dazu bedarf es jedoch weiterer und detaillierter Analysen.

In einem letzten Schritt wurden in der vorliegenden Arbeit mithilfe unterschiedlicher Inputdaten die potenzielle Ausbruchsgefahr sowie die potenzielle Reichweite der GLOFs modelliert. Die Ergebnisse der Modellierungen, die in einer Gefahrenhinweiskarte dargestellt werden, ermöglichen die Unterscheidung zwischen potenziell gefährdeten Gebieten und nicht gefährdeten Gebieten. Aussagen über

die Frequenz oder das Risiko können allerdings aufgrund der modellierten Ergebnisse nicht gemacht werden. Für die Ermittlung der potenziell ausbruchsgefährdeten Seen wurde das Programm r.glachaz verwendet. Da knapp 90 % der kartierten Seen in Südtirol durch Fels gedämmt werden, ist die Ausbruchsgefahr durch Dammversagen im Untersuchungsgebiet relativ gering. Dennoch weisen einige Seen bzw. ihre nähere Umgebung eine relativ hohe Suszeptibilität für Massenbewegungen auf, die schließlich in den See gelangen und so zum Ausbruch des Sees führen könnten. Mithilfe der Modellierung konnten drei Seen eruiert werden, die ein erhebliches Ausbruchspotenzial aufweisen. Dabei handelt es sich um den Langsee und den Wilden See, die beide in einem gletscherfreien Umfeld liegen und aufgrund ihrer hohen Suszeptibilität, von einer Massenbewegung betroffen zu sein, eine erhebliche Ausbruchsgefahr aufweisen. Der dritte See, der gemäß den Modellierungen ein erhebliches Ausbruchspotenzial aufweist, ist der Übeltalferner-See. Allerdings verlandete dieser See nach dem Untersuchungszeitraum komplett, sodass mittlerweile keine Gefährdung mehr besteht. Damit die Funktionsweise des Programms r. glachaz besser nachvollzogen werden kann, wurden die Modellierungsergebnisse einiger relevanter Seen in der vorliegenden Arbeit dargestellt. So konnte beispielsweise gezeigt werden, ob ein erhöhtes Ausbruchspotential auf interne oder externe Trigger zurückzuführen ist. Die Erkenntnisse, die aus den Modellierungsergebnissen gezogen werden können, eignen sich als Basis für weitere Detailuntersuchungen, die bei Seen mit einem erhöhten Ausbruchspotenzial durchgeführt werden sollten. In einem letzten Schritt wurde mithilfe des Programmes r.randomwalk die potenzielle Reichweite potenzieller GLOFs berechnet. Gemäß den Ergebnissen könnten potenzielle Seeausbrüche in Südtirol weite Distanzen zurücklegen. Fast alle tiefer gelegenen Talflächen könnten von den Auswirkungen eines potenziellen GLOFs betroffen sein. Erst südlich von Bozen geht die Wahrscheinlichkeit, von den Auswirkungen eines GLOFs betroffen zu sein, gegen null. Potenzielle Seeausbrüche würden sich in Südtirol mehrheitlich am Anstieg des Wasserpegels im entsprechenden Gerinne bemerkbar machen. Mit der Entwicklung eines GLOFs zu einer Mure ist vor allem in abgelegenen Gebieten zu rechnen, kaum jedoch in größeren Siedlungsgebieten.

Es bleibt zu berücksichtigen, dass die berechneten Ergebnisse maßgeblich von den Unsicherheiten und den Einschränkungen der Modellierung beeinflusst werden. Folglich sollten vor allem für jene Seen, die ein relativ hohes Ausbruchspotenzial aufweisen, detailliertere Gefahren- und Risikoanalysen, die auf physikalisch basierten dynamischen Modellen beruhen, durchgeführt werden. Solche Untersuchungen und vor allem ein permanentes Monitoring von Gebieten, in denen in Zukunft mit der Entwicklung von neuen Gletscherseen gerechnet werden muss, sind sinnvoll, um potenzielle Gefahren zeitgerecht zu erkennen und allfällige Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Quellenverzeichnis

- 3PCLIM, o. J. Das Klima von Tirol - Südtirol - Belluno; online <http://www.alpenklima.eu/> (02.09.2016).
- ABERMANN, J., 2011. Glaciers in Austria. Past and present. - Dissertation, Leopold-Franzens Universität, Innsbruck.
- ABTEILUNG 27 - RAUMODNUNG, 2008. Gefahrenzonenplanung – Mitteilung über das Inkrafttreten der Durchführungsverordnung und Richtlinien
- ADRIZZONE, F., CARDINALI, M., CARRARA, A., GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., 2002. Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2, S. 3-14.
- AGRAWALA, S., 2007. Climate change in the European Alps. Adapting winter tourism and natural hazards management. - Paris.
- AHNERT, F., 2009. Einführung in die Geomorphologie. - Stuttgart.
- ALEAN, J.-C., 1984. Untersuchungen über Entstehungsbedingungen und Reichweiten von Eislawinen. *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie*, 74. Vischer, D. - Zürich.
- ALEAN, J.-C., HAMBREY, M. J., 2006. Polythermal glacier; online <http://www.swisseduc.ch/glaciers/glossary/polythermal-glacier-en.html> (26.09.2016).
- ALEAN, J.-C., HAMBREY, M. J., 2007. Glaciers online. Gornersee vor und nach dem Auslaufen 2004; online <http://www.swisseduc.ch/glaciers/alps/gornergletscher/gornersee-2004-de.html>
- ALP ARRAY, o. J. The AlpArray initiative. Research; online <http://www.alparray.ethz.ch/research/overview/> (21.08.2016).
- ANACONA, P. I., MACKINTOSH, A., NORTON, K., 2015. Reconstruction of a glacial lake outburst flood (GLOF) in the Engano Valley, Chilean Patagonia: Lessons for GLOF risk management. *Science of the Total Environment*, 527–528, S. 1–11.
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL – ABTEILUNG INFORMATIONSTECHNIK, 2016. Geokatalog; online <http://geokatalog.buergernetz.bz.it/geokatalog/#!> (13.12.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 1997. Landesraumordnungsgesetz; online <http://pubsrv.provinz.bz.it/apps/lexweb/current/lg-1997-13.html> (28.11.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2008. Landesgesetz vom 11. August 1997, Nr. 13 1) Landesraumordnungsgesetz. Art. 22/bis (Gefahrenzonenpläne); online http://www.provinz.bz.it/natur-raum/download/LROG_Art.22-bis_GZP.pdf (28.11.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012a. Antwort der Landtagsanfrage 2650/12; online http://www2.landtag-bz.org/documenti_pdf/idap_242423.pdf (28.11.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2012b. Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des spezifischen Risikos (KSR); online http://www.provinz.bz.it/natur-raum/download/BLR_712_2012_Richtlinie_Amtsblatt.pdf (28.11.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2014. Seeausbruch im Schnalstal: Ursache geklärt, Situation unter Kontrolle; online http://www.provinz.bz.it/news/de/news.asp?news_action=4&news_article_id=382079 (24.08.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016a. Digitales Geländemodell; online <http://www.provinz.bz.it/natur-raum/themen/landeskartografie-digitales-Gelaendemodell.asp> (25.08.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016b. Erdbeben; online <http://www.provinz.bz.it/zivilschutz/was-tun/erdbeben.asp> (21.08.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016c. Gefahrenzonenplanung. Rechtsgrundlagen und Mitteilungen der Verwaltung; online <http://www.provinz.bz.it/natur-raum/gefahrenzonenplanung.asp> (09.09.2016).
- AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL, 2016d. Geologie und Baustoffprüfung; online <http://www.provinz.bz.it/hochbau/themen/geologie.asp> (06.09.2016).

- BAUMEISTER, A., 2013. Das Potential historischer Karten zur Rekonstruktion des Gletscherrückgangs im Gurgler Tal. In: E.-M. Koch, B. Erschbamer (Hrsg.): Klima, Wetter, Gletscher im Wandel. - Innsbruck, S. 95–118.
- BIMAL KANTI, P., 2011. Environmental Hazards and Disasters. Contexts, Perspectives and Management. - Chichester, Oxford und Hoboken.
- BJÖRNSSON, H., PÁLSSON, F., 2008. Icelandic glaciers. *Jökull*, 58, S. 365–386.
- BJÖRNSSON, H., PÁLSSON, F., FLOWERS, G. E., 2003. Surges of glaciers in Iceland. *Annals of Glaciology*, 36, S. 82–90.
- BLIEM, K., o. J. Die Sintflut aus den Bergen. Gletscherseeausbrüche verwüsten das Tal. - Konsortium Nationalpark Stifiser Joch, Infotafel.
- BLÜMEL, W. D., 2009. Natural Climatic Variations in the Holocene: Past Impacts on Cultural History, Human Welfare and Crisis. In: H.G. Brauch, N.C. Behera, P. Kameri-Mbote, J. Grin, Ú. Oswald Spring, B. Chourou, C. Mesjasz, H. Krummenacher (Hrsg.): Facing Global Environmental Change. Environmental, Human, Energy, Food, Health and Water Security Concepts. - Berlin, Heidelberg, S. 103–118.
- BOX, G., 1979. Robustness in the Strategy of Scientific Model Building. Academic Press, S. 201–236.
- BRYNJÓLFSSON, S., SCHOMACKER, A., KORSGAARD, N. J., INGÓLFSSON, Ó., 2016. Surges of outlet glaciers from the Drangajökull ice cap, northwest Iceland. *Earth and Planetary Science Letters*, 450, S. 140–151.
- CLAGUE, J. J., O'CONNOR, J. E., 2015. Glacier-Related Outburst Floods. In: W. Haeberli, C. Whiteman (Hrsg.): Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters. - Amsterdam, S. 487–519.
- CROSTA, G. B., FRATTINI, P., FUSI, N., 2007. Fragmentation in the Val Pola rock avalanche, Italian Alps. *Journal of Geophysical Research*, 112 (F1).
- CUBASCH, U., WUEBBLES, D., CHEN, D., FACCHINI, M. C., FRAME, D., MAHOWALD, N., WINTHER, J.-G., 2013. Introduction. Intergovernmental Panel on Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, S. 40.
- D'AGOSTINO, V., CESCA, M., MARCHI, L., 2010. Field and laboratory investigations of runout distances of debris flows in the Dolomites (Eastern Italian Alps). *Geomorphology*, 115 (3-4), S. 294–304.
- DEMEK, J., EMBLETON, C., KUGLER, H., 1982. Geomorphologische Kartierung in mittleren Maßstäben: Grundlagen, Methoden, Anwendungen. - Gotha.
- DIKAU, R., POHL, J., 2011. Hazards: Naturgefahren und Naturrisiken. In: H. Gebhardt, R. Glaser, U. Radtke, P. Reuber (Hrsg.): Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. - Heidelberg, S. 1115–1169.
- EMMER, A., MERKL, S., MERGILI, M., 2015. Spatiotemporal patterns of high-mountain lakes and related hazards in western Austria. *Geomorphology*, 246, S. 602–616.
- FELGENTREFF, C., DOMBROWSKY, W. R., 2008. Hazard-, Risiko- und Katastrophenforschung. In: C. Felgentreff, T. Glade (Hrsg.): Naturrisiken und Sozialkatastrophen. - Berlin und Heidelberg, S. 13–29.
- FLUBACHER, M., 2007. Dokumentation weltweiter historischer Gletscherkatastrophen. GIS-basierte Inventarisierung, Web-Aufbereitung und Analyse der Ereignisse. - Diplomarbeit, Universität Zürich, Zürich.
- FRANCHI, G. D., ROBERTO, 2015. Die Gletscher in Ridnaun, gestern - heute - morgen. - Informationsbroschüre zur Ausstellung in der Bergbau-Welt Ridnaun Schneeberg, S. 1–15.
- FRIGERIO, I., DE AMICIS, M., 2016. Mapping social vulnerability to natural hazards in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies. *Environmental Science & Policy*, 63, S. 187–196.
- FUCHS, S., KEILER, M., SOKRATOV, S., SHNYPARKOV, A., 2012. Spatiotemporal dynamics: the need for an innovative approach in mountain hazard risk management. *Natural Hazards*, 68 (3), S. 1217–1241.
- FUCHS, S., KEILER, M., ZISCHG, A., 2001. Risikoanalyse Oberes Suldental Vinschgau. Konzepte und Methoden zur Erstellung eines Naturgefahrenhinweis-Informationssystems. *Innsbrucker Geographische Studien*, 31. - Innsbruck.

- GIANNECCHINI, R., GALANTI, Y., D'AMATO AVANZI, G., BARSANTI, M., 2016. Probabilistic rainfall thresholds for triggering debris flows in a human-modified landscape. *Geomorphology*, 257, S. 94–107.
- Gobiet, A., Kotlarski, S., Beniston, M., Heinrich, G., Rajczak, J., Stoffel, M., 2014. 21st century climate change in the European Alps - a review. *Science of the Total Environment*, 493, S. 1138–1151.
- GRUBER, F. E., MERGILI, M., 2013. Regional-scale analysis of high-mountain multi-hazard and risk indicators in the Pamir (Tajikistan) with GRASS GIS. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13 (11), S. 2779–2796.
- HAEBERLI, W., 1983. Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. *Annals of Glaciology*, 4, S. 85–90.
- HERGERT, J., 2007. Feld- und Labormethoden: Geographie. Physische Geographie und Humangeographie. - Heidelberg, S. 97–109.
- HILDEBRANDT, G., 1996. Fernerkundung und Luftbildmessung. für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. - Heidelberg, Freiburg, Reinheim.
- HIRTLEITER, G., 2012. Südtirol West: Vinschgau - Meran - Kalterer See. 52 Touren zwischen Stilfser Joch und Sterzing, Schnals und Salurn. - München.
- HORSTMANN, B., 2004. Glacial Lake Outburst Floods in Nepal and Switzerland. New Threats Due to Climate Change, - Germanwatch. - Bonn, Berlin.
- HUGGEL, C., 2004. Assessment of Glacial Hazards based on Remote Sensing and GIS Modeling. - Dissertation, Universität Zürich, Zürich.
- HUGGEL, C., HAEBERLI, W., KÄÄB, A., BIERI, D., RICHARDSON, S., 2004a. An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 41 (6), S. 1068–1083.
- HUGGEL, C., KÄÄB, A., HAEBERLI, W., KRUMMENACHER, B., 2003. Regional-scale GIS-models for assessment of hazards from glacier lake outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3, S. 647–662.
- HUGGEL, C., KÄÄB, A., HAEBERLI, W., TEYSSEIRE, P., PAUL, F., 2002. Remote sensing based assessment of hazards from glacier lake outbursts: a case study in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 39 (2), S. 316–330.
- HUGGEL, C., KÄÄB, A., SALZMANN, N., 2004b. GIS-based modeling of glacial hazards and their interactions using Landsat-TM and IKONOS imagery. *Norsk Geografisk Tidsskrift*, 58, S. 761–773.
- HUGGEL, C., ZGRAGGEN-OSWALD, S., HAEBERLI, W., KÄÄB, A., POLKVOJ, A., GALUSHKIN, I., EVANS, S. G., 2004c. The 2002 rock/ice avalanche at Kolka/Karmadon, Russian Caucasus: assessment of extraordinary avalanche formation and mobility, and application of QuickBird satellite imagery. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, S. 173–187.
- HUNGR, O., EVANS, S. G., BOVIS, M. J., HUTCHINSON, J. N., 2001. A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7 (3), S. 221–238.
- HUNGR, O., LEROUEIL, S., PICARELLI, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11 (2), S. 167–194.
- HUSS, M., BAUDER, A., WERDER, M., FUNK, M., HOCK, R., 2007. Glacier-dammed lake outburst events of Gornensee, Switzerland. *Journal of Glaciology*, 53 (181), S. 189–200.
- ICIMOD, 2011. Glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal. - Kathmandu.
- INGÓLFSSON, Ó., BENEDIKTSSON, Í. Ö., SCHOMACKER, A., KJÆR, K. H., BRYNJÓLFSSON, S., JÓNSSON, S. A., KORSGAARD, N. J., JOHNSON, M. D., 2016. Glacial geological studies of surge-type glaciers in Iceland - Research status and future challenges. *Earth-Science Reviews*, 152, S. 37–69.
- IPCC, 2015. Climate Change 2014. Synthesis Report. - Genf.
- ISDR, o. J. Terminology; online <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology> (07.10.2016).
- ITURRIZAGA, L., 2011. Glacier Lake Outburst Floods. In: V. Singh, P. Singh, U. Haritashya (Hrsg.): *Encyclopedia of Snow, Ice and Glaciers*. - Dordrecht, S. 381–399.
- IVERSON, R. M., THE, 1997. The physics of debris flows. *Reviews of Geophysics*, 35, S. 245–296.
- KIENHOLZ, H., KRUMMENACHER, B., 1995. Symbolbalkasten zur Kartierung der Phänomene. - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Wasser und Geologie.
- KNOLL, C., KERSCHNER, H., 2009. A glacier inventory for South Tyrol, Italy, based on airborne laser-scanner data. *Annals of Glaciology* 50 (53), S. 7.

- LANDESIINSTITUT FÜR STATISTIK, 2015. Bevölkerung (2011): Statistisches Jahrbuch. - Bozen; online http://www.provincia.bz.it/astat/download/JB2015_K3.pdf (28.11.2016).
- LANDESIINSTITUT FÜR STATISTIK, 2016a. Bevölkerungsentwicklung. - Bozen; online http://www.provinz.bz.it/astat/de/bevoelkerung/445.asp?demographischebewegungen_action=4&demographischebewegungen_article_id=309827 (28.11.2016).
- LANDESIINSTITUT FÜR STATISTIK, 2016b. Demographische Daten 2014. - Bozen; online http://www.provinz.bz.it/astat/de/bevoelkerung/439.asp?demographischestruktur_action=4&demographischestruktur_article_id=297103 (28.11.2016).
- LESER, H., 2011. Diercke. Wörterbuch Geographie. - Baunschweig.
- MA, C., WANG, Y.-J., DU, C., WANG, Y.-Q., LI, Y.-P., 2016. Variation in initiation condition of debris flows in the mountain regions surrounding Beijing. *Geomorphology*, 273, S. 323–334.
- MAIR, V., TONIDANDEL, D., LANG, K., REINTHALER, J., o. J. Naturgefahren auf Permafrostarealen.
- MARGRETH, S., FUNK, M., 1999. Hazard mapping for ice and combined snow/ice avalanches - two case studies from the Swiss and Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 33, S. 1–15.
- MARTELL, G., 2012. Von den Fluten der Plima überrascht. - Schianbliamtal. *Informationszeitschrift des Martelltals*, S. 1–40.
- MERGILI, M., 2014. Ridnauntal - sandur of Übeltalferner; online <http://www.mergili.at/worldimages/picture.php?/7613/category/24> (18.12.2016).
- MERGILI, M., 2016a. Open source computer models; online <http://www.mergili.at/software.html> (28.11.2016).
- MERGILI, M., 2016b. r.randomwalk; online <http://www.mergili.at/randomwalk.html> (28.11.2016).
- MERGILI, M., KRENN, J., CHU, H. J., 2015. r.randomwalk v1, a multi-functional conceptual tool for mass movement routing. *Geoscientific Model Development*, 8 (12), S. 4027–4043.
- MERGILI, M., MÜLLER, J. P., SCHNEIDER, J. F., 2013. Spatio-temporal development of high-mountain lakes in the headwaters of the Amu Darya River (Central Asia). *Global and Planetary Change*, 107, S. 13–24.
- MERKL, S., 2015. Gefahrenpotential von Gletscherseen in Tirol unter Betrachtung deren räumlicher und zeitlicher Entwicklung. - Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- MÜLLER, S., 2006. Gletscherstände und Klimawandel im Hinteren Martelltal, Südtirol. - Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg., Freiburg im Breisgau.
- MUNARI, M., DINALE, R., OBERSCHMIED, R., 2007. Glaziologische Untersuchungen am Übeltalferner. - Bozen; online http://www.ing.unitn.it/~foralps/3%20Conferenza%20Finale/Poster/Poster_UBF.pdf (02.11.2016).
- NAGELISEN, J., MOORE, J. R., VOCKENHUBER, C., IVY-OCHS, S., 2015. Post-glacial rock avalanches in the Obersee Valley, Glarner Alps, Switzerland. *Geomorphology*, 238, S. 94–111.
- NICOLUSSI, K., 2013. Zur Geschichte des Vernagtferners - Gletschervorstöße und Seeausbrüche im vergangenen Jahrtausend. In: E.-M. Koch, B. Erschbamer (Hrsg.): *Klima, Wetter, Gletscher im Wandel*. - Innsbruck, S. 69–94.
- PASSEIER.IT, o. J. Historisches Drama am Ende der Welt. Kummersee in Rabenstein (1.007 m); online <http://www.passeier.it/suedtirol-passeiertal/wandern/kummersee-in-rabenstein.html> (07.09.2016).
- PAVLOVA, I., JOMELLI, V., BRUNSTEIN, D., GRANCHER, D., MARTIN, E., DÉQUÉ, M., 2014. Debris flow activity related to recent climate conditions in the French Alps: A regional investigation. *Geomorphology*, 219, S. 248–259.
- PERTERLI, D., TOLLARDO, M., OBERPARLEITER, C., GEIER, G., 2008. Climareport. August 2008; online <http://www.provinz.bz.it/wetter/climareport.asp> (21.08.2016).
- PIACENTINI, D., TROIANI, F., SOLDATI, M., NOTARNICOLA, C., SAVELLI, D., SCHNEIDERBAUER, S., STRADA, C., 2012. Statistical analysis for assessing shallow-landslide susceptibility in South Tyrol (south-eastern Alps, Italy). *Geomorphology*, 151-152, S. 196–206.
- PITMAN, E. B., PATRA, A. K., KUMAR, D., NISHIMURA, K., KOMORI, J., 2013. Two phase simulations of glacier lake outburst flows. *Journal of Computational Science*, 4 (1-2), S. 71–79.

- RAYMOND, M., WEGMANN, M., FUNK, M., 2003. Inventar der gefährlichen Gletscher in der Schweiz. Mitteilungen Nr. 182 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich.
- REYNOLDS, J. M., 2003. Development of glacial hazard and risk minimisation protocols in rural environments. Guidelines for the management of glacial hazards and risks. Project No: R7816.
- RICHARDSON, S., REYNOLDS, J. M., 2000. An overview of glacial hazards in the Himalayas. *Quaternary International*, 65-66, S. 31–47.
- RICKENMANN, D., 1999. Empirical Relationships for Debris Flows. *Natural Hazards*, 19, S. 47–77.
- RÖTHLISBERGER, H., 1977. Ice Avalanches. *Journal of Glaciology*, 19 (81), S. 669–671.
- ROTT, H., SCHERLER, K., REYNOUD, L., SERANDREI BARBERO, R., ZANON, G., o. J. *Glaciers of the Alps*. U. S. Geological survey professional Paper, 1386-E-1.
- SALZMANN, N., KÄÄB, A., HUGGEL, C., ALLGÖWER, B., HAEBERLI, W., 2004. Assessment of the hazard potential of ice avalanches using remote sensing and GIS-modelling. *Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography*, 58 (2), S. 74–84.
- SCHAEFER, M., 2012. Wörterbuch der Ökologie. - Heidelberg.
- SCHUG, M.-C., 2014. Risikomanagement bei Hurrikans am Beispiel der Südstaaten der USA. - Bachelorarbeit, Universität Wien, Wien.
- SIEGRIST, D., 2001. Klimawandel. Eine alpine Spurensuche.: Alpenreport 2. Daten - Fakten - Probleme - Lösungsansätze. Internationale Alpenschutzkommission CIPRA. - Bern, S. 4.
- SOSIO, R., CROSTA, G. B., HUNGR, O., 2008. Complete dynamic modeling calibration for the Thurwieser rock avalanche (Italian Central Alps). *Engineering Geology*, 100 (1-2), S. 11–26.
- TIROL ATLAS, o. J. Geographie Innsbruck. Tirol Atlas; online <http://tirolatlas.uibk.ac.at/> (16.08.2016).
- TOURISMUSVEREIN PASSEIERTAL, o. J. Geschichte des Kummersees; online <http://www.passeiertal.it/de/kultur/passeierer-geschichte-brauchtum/geschichte-kummersee/> (07.09.2016).
- VAN HUSEN, D., 1997. LGM and late-glacial fluctuations in the eastern alps. *Quaternary International*, 38 (39), S. 109–119.
- VAW ETH ZÜRICH, o. J. Gletschergefahren; online <http://glaciology.ethz.ch/inventar/danger.html> (21.08.2016).
- VILÍMEK, V., ZAPATA, M. L., KLIMEŠ, J., PATZELT, Z., SANTILLÁN, N., 2005. Influence of glacial retreat on natural hazards of the Palcacocha Lake area, Peru. *Landslides*, 2 (2), S. 107–115.
- WALDER, J. S., COSTA, J. E., 1996. Outburst floods from glacier-dammed lakes: the effect of mode of lake drainage on flood magnitude. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, S. 701–723.
- WATSON, C. S., CARRIVICK, J., QUINCEY, D., 2015. An improved method to represent DEM uncertainty in glacial lake outburst flood propagation using stochastic simulations. *Journal of Hydrology*, 529, S. 1373–1389.
- WEBER, B., 1852. Das Thal Passeier und seine Bewohner: Mit besonderer Rücksicht auf Andreas Hofer und das Jahr 1809. Wagner. - Innsbruck.
- WESTOBY, M. J., GLASSER, N. F., BRASINGTON, J., HAMBREY, M. J., QUINCEY, D. J., REYNOLDS, J. M., 2014. Modelling outburst floods from moraine-dammed glacial lakes. *Earth-Science Reviews*, 134, S. 137–159.
- WILLEMS, B. A., POWELL, R. D., COWAN, E. A., JAEGER, J. M., 2011. Glacial outburst flood sediments within Disenchantment Bay, Alaska: Implications of recognizing marine jökulhlaup deposits in the stratigraphic record. *Marine Geology*, 284 (1-4), S. 1–12.
- WORNİ, R., HUGGEL, C., CLAGUE, J. J., SCHAUB, Y., STOFFEL, M., 2014. Coupling glacial lake impact, dam breach, and flood processes: A modeling perspective. *Geomorphology*, 224, S. 161–176.
- WORNİ, R., HUGGEL, C., STOFFEL, M., 2013. Glacial lakes in the Indian Himalayas--from an area-wide glacial lake inventory to on-site and modeling based risk assessment of critical glacial lakes. *Science of the Total Environment*, 468-469, S. 71–84.

- WORNI, R., STOFFEL, M., HUGGEL, C., VOLZ, C., CASTELLER, A., LUCKMAN, B., 2012. Analysis and dynamic modeling of a moraine failure and glacier lake outburst flood at Ventisquero Negro, Patagonian Andes (Argentina). *Journal of Hydrology*, 444–445, S. 134–145.
- ZAMG, o. J. Erdbeben – Karten und Liste; online
<https://www.zamg.ac.at/cms/de/geophysik/erdbeben/aktuelle-erdbeben/karten-und-listen> (21.08.2016).
- ZEMP, M., HAEBERLI, W., HOELZLE, M., PAUL, F., 2006. Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters*, 33 (13), S. 1–4.
- ZGRAGGEN-OSWALD, S., 2005. Ice Avalanches; online
http://www.geo.uzh.ch/microsite/nathaz/cvsdownload/natural_hazard/module02/02020501/media/02020501txt01.pdf (28.09.2016).
- ZIMMERMANN, M., MANI, P., GAMMA, P., 1997. Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS basierter Ansatz. NFP 31 Schlussbericht, Hochschulverlag an der ETH, Zürich, Switzerland.
- ZISCHG, A., DINALE, R., 2013. Gefahren von Gletscherseeausbrüchen in Südtiro. Screening, Analyse der Prozesse, potenzielle Schadensfolge und Maßnahmen, - ClimOpt. Optimierung des Managements klimabedingter Naturgefahren.
- ZISCHG, A., DINALE, R., 2015. Synthesebericht, - ClimOpt. Optimierung des Managements klimabedingter Naturgefahren.
- ZISCHG, A., DINALE, R., GEIER, G., HANSPETER, S., 2013. Gletscherseeausbruch und Murgangereignis im Pfossental am 29 Juli 2005. Analyse der meteorologischen und geomorphologischen Bedingungen, - ClimOpt. Optimierung des Managements klimabedingter Naturgefahren.

Anhang

Einzugsgebiete in Südtirol

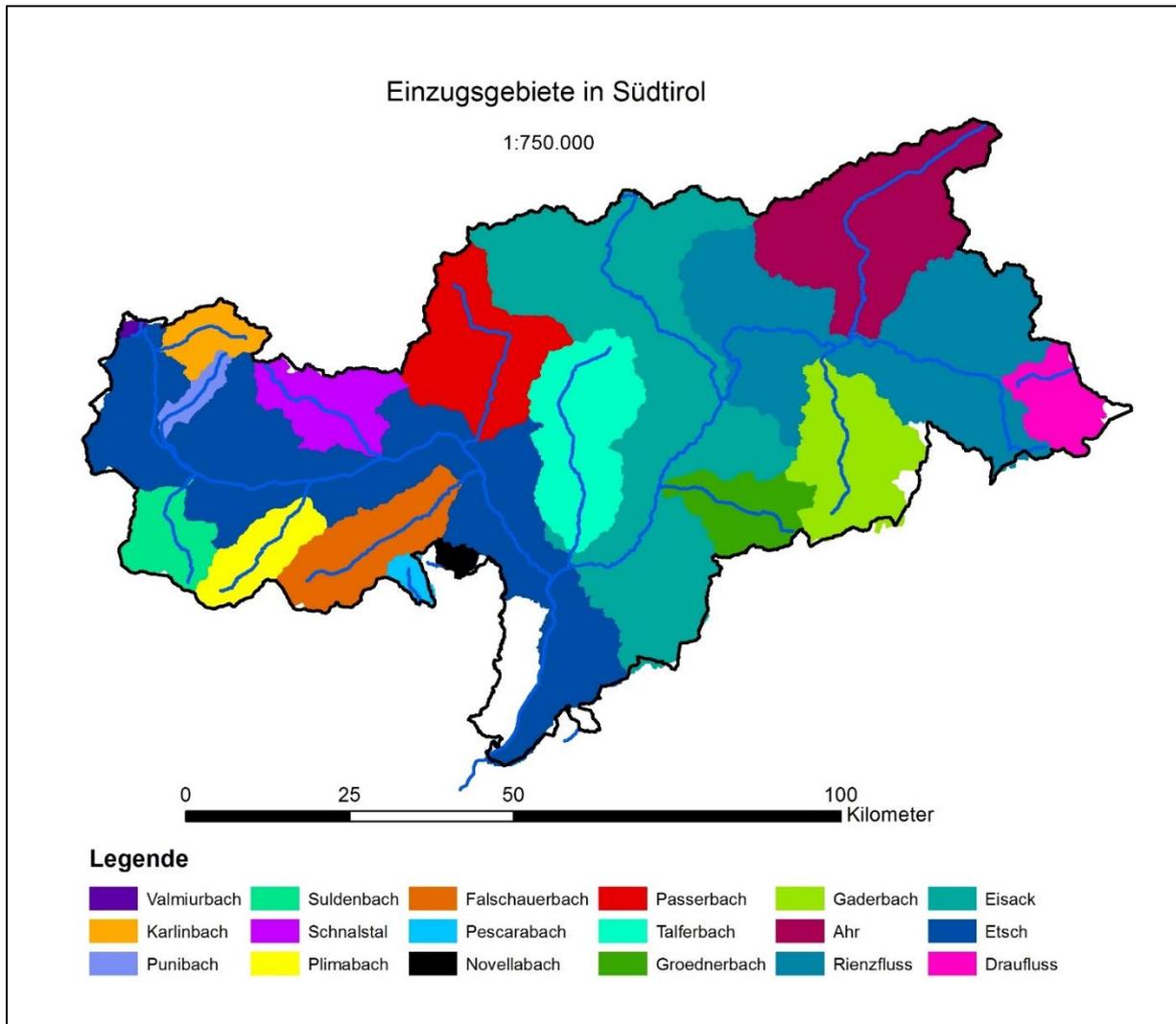


Abbildung 100: Einzugsgebiete in Südtirol

Geomorphologische Kartierung ausgewählter Seen

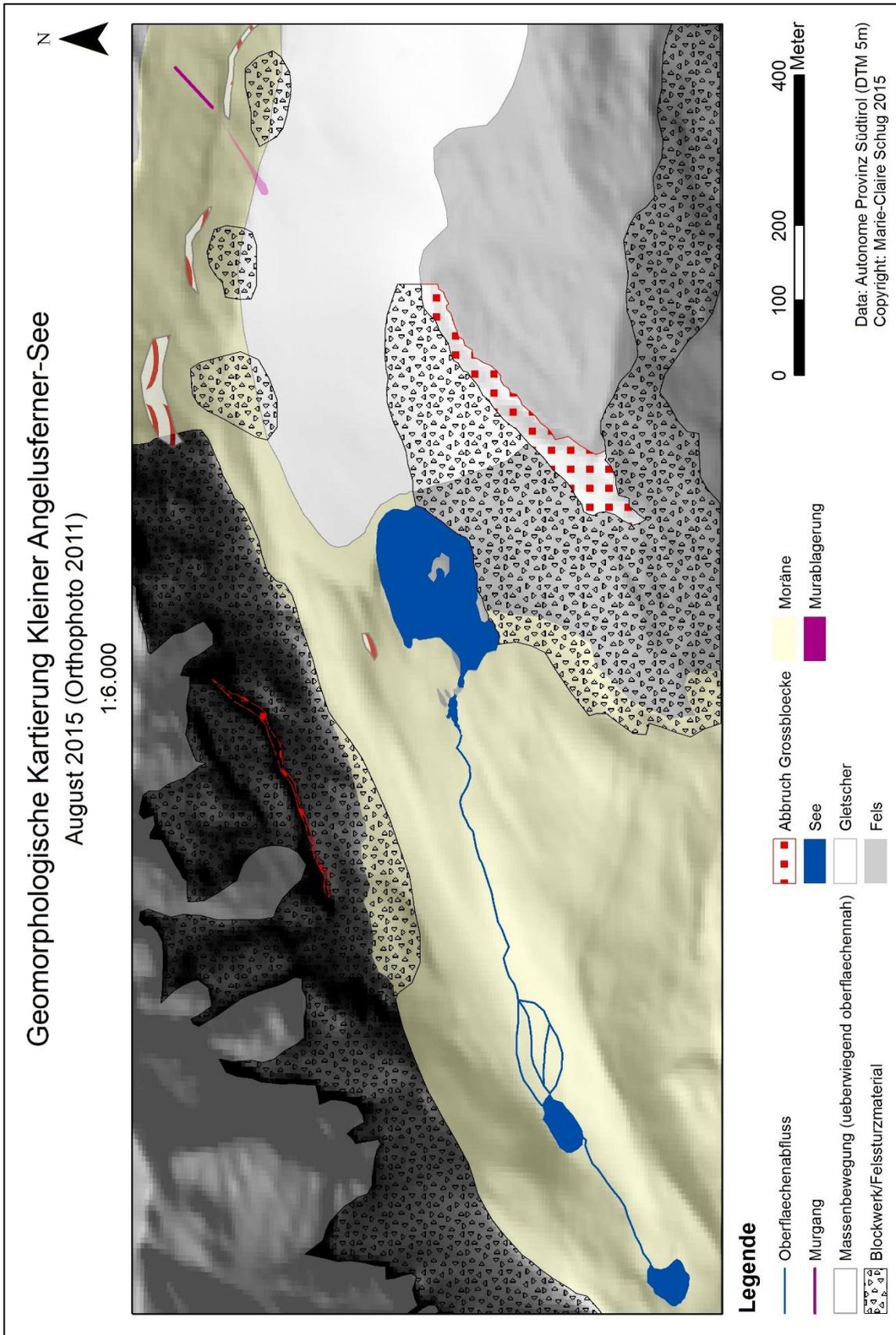


Abbildung 101: Geomorphologische Karte Kleiner Angelusferner-See

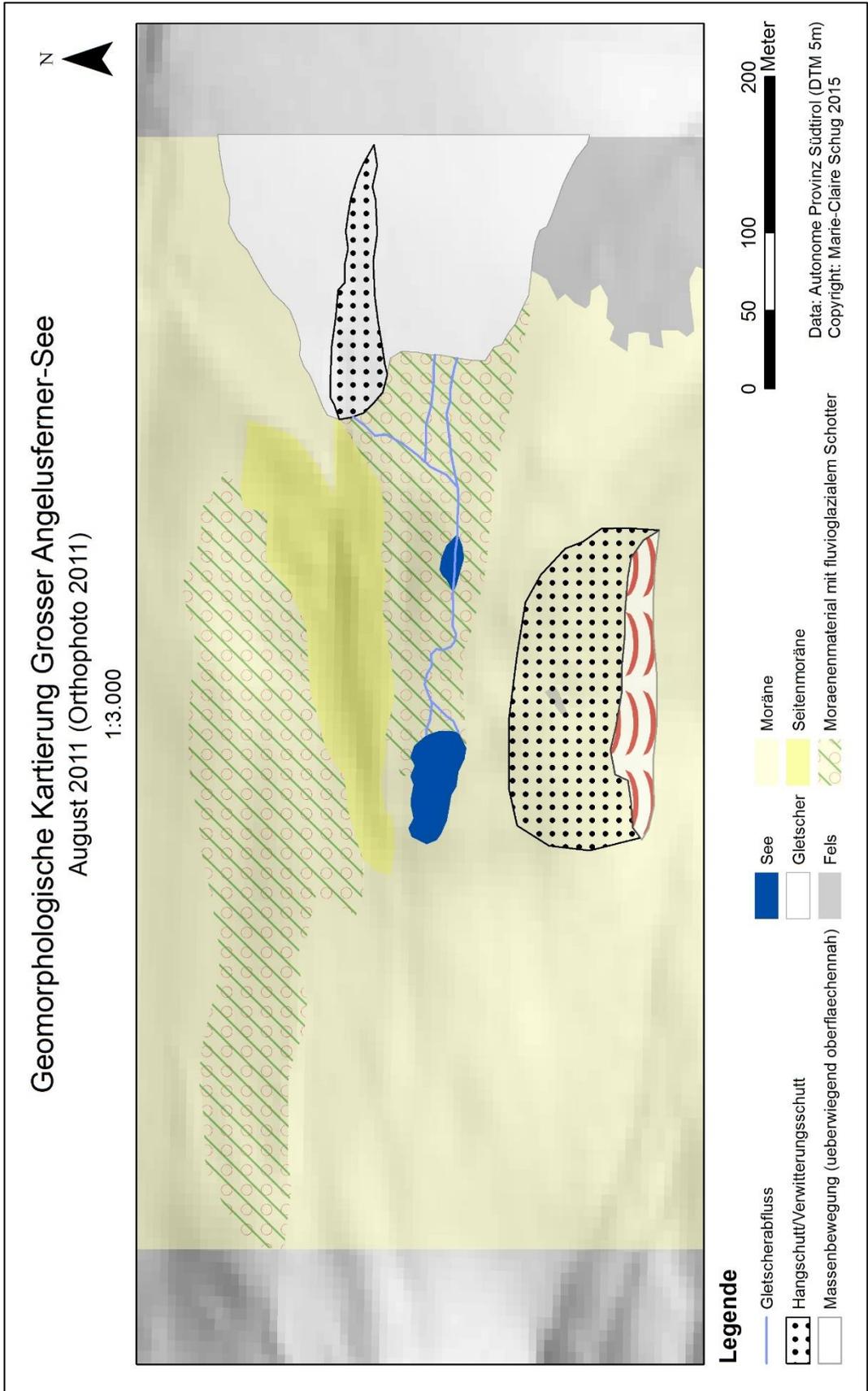


Abbildung 102: Geomorphologische Karte Grosser Angelusferner-See

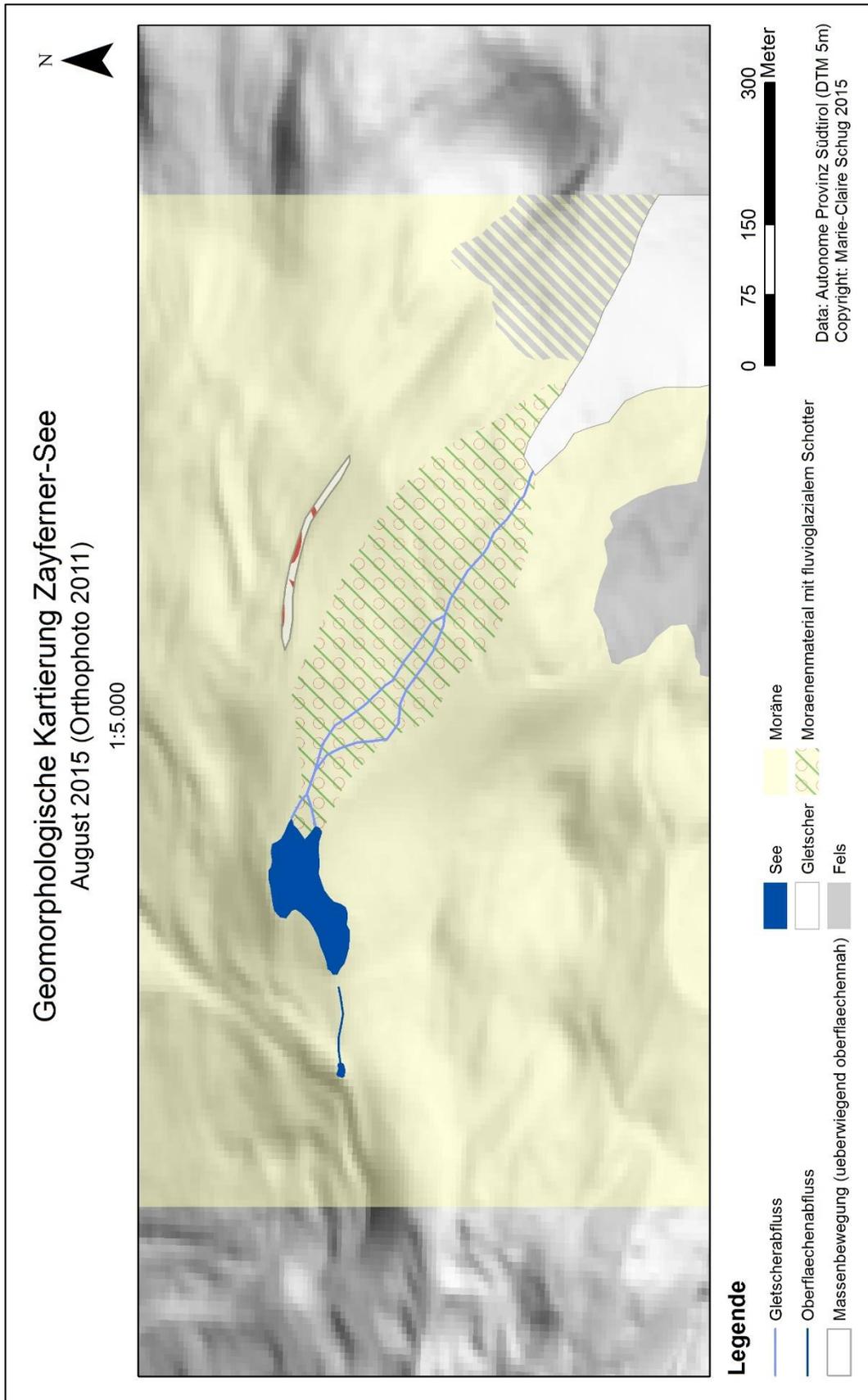
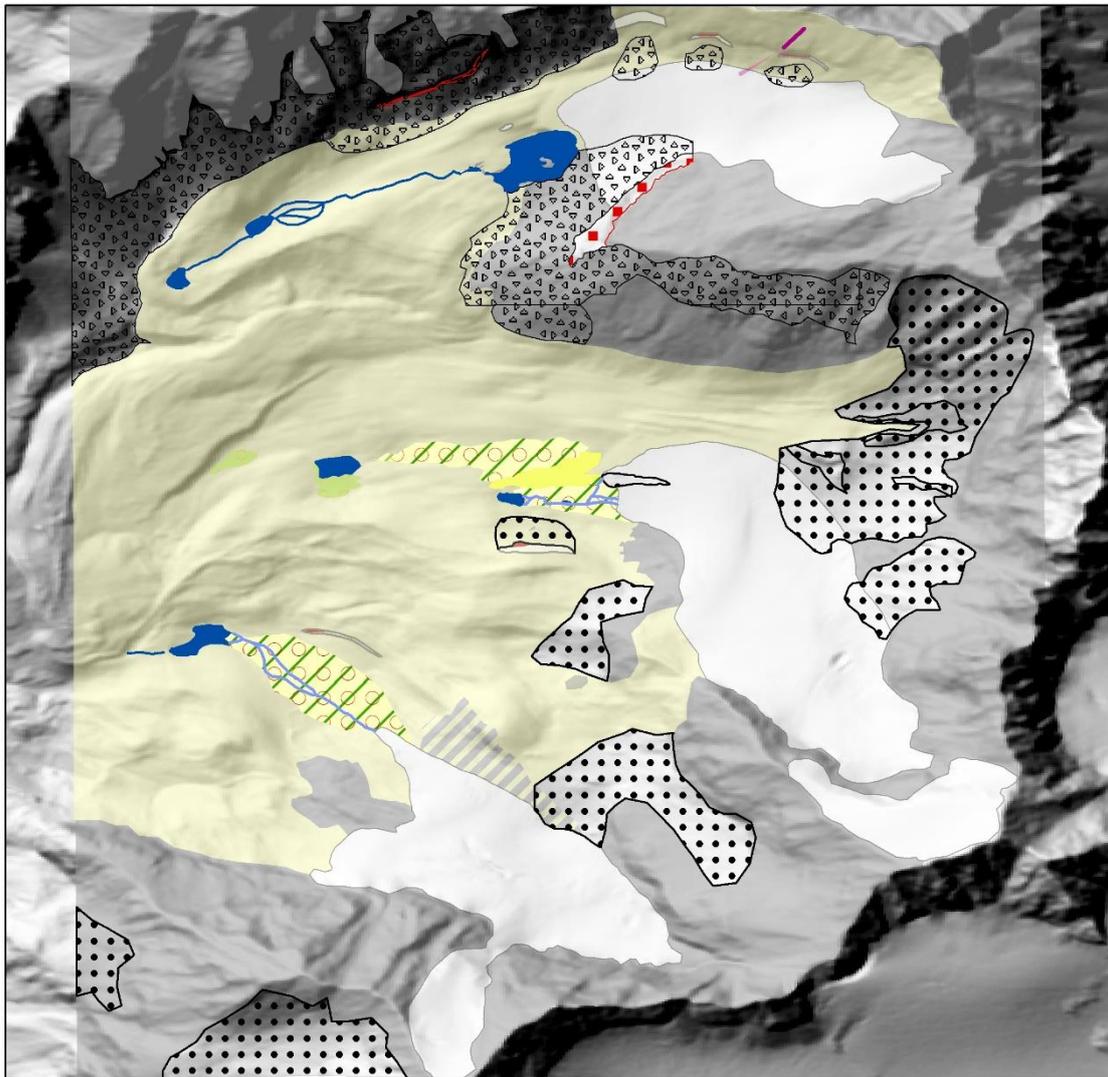


Abbildung 103: Geomorphologische Karte Zayferner-See

Geomorphologische Kartierung Sulden Seenkomplex

August 2015 (Orthophoto 2008)

1:15.000



Legende

- | | | |
|---|----------------------|---|
| Gletscherabfluss | Abbruch Grossbloecke | Seitenmoräne |
| Oberflaechenabfluss | See | Moraenenmaterial mit fluvioglazialen Schotter |
| Murgang | Gletscher | fluvioglazialer Schotter/Sand |
| Massenbewegung (ueberwiegend oberflaechennah) | Fels | Murablagerung |
| Hangschutt/Verwitterungsschutt | Fels mit Grundmoräne | |
| Blockwerk/Felssturzmaterial | Moräne | |

0 250 500 1.000

 Meter

Data: Autonome Provinz Südtirol (DTM 5m)
 Copyright: Marie-Claire Schug 2015

Abbildung 104: Geomorphologische Karte Sulden-Seenkomplex

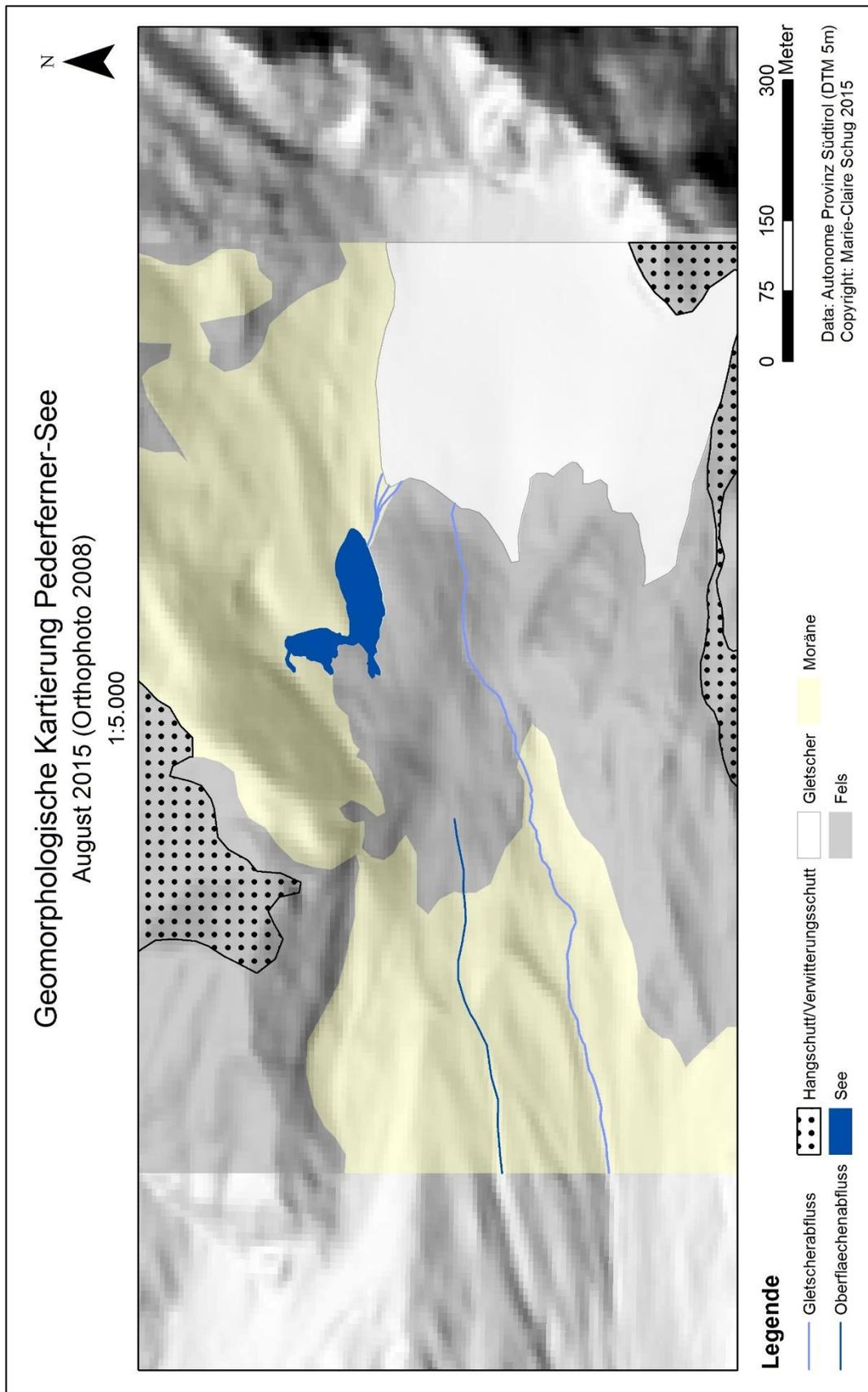
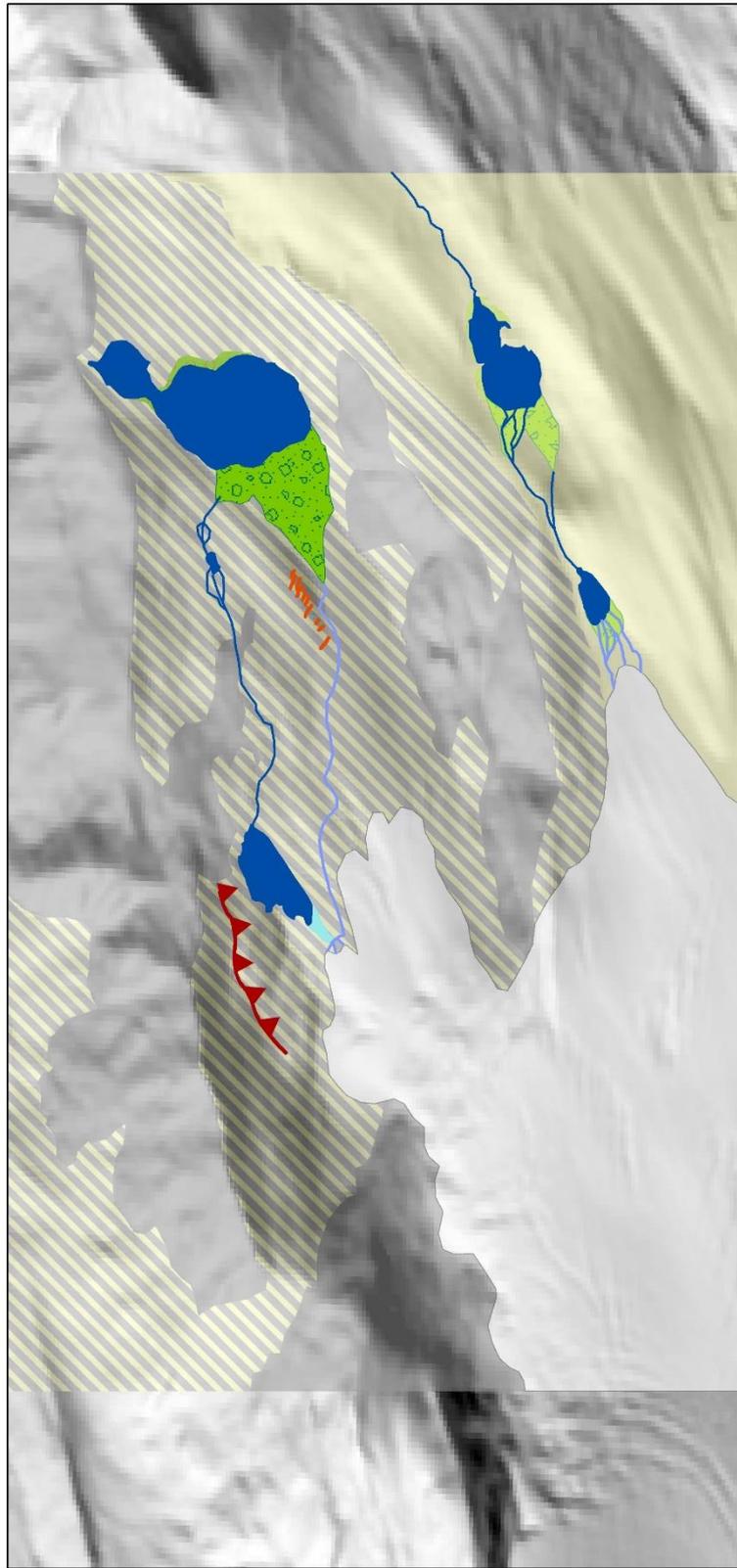


Abbildung 105: Geomorphologische Karte Pederferner-See

Geomorphologische Kartierung Zufallferner-Seenkomplex
 August 2015 (Orthophoto 2008)
 1:7.000



Legende

-  Gletscherabfluss
-  See
-  Kies tw. konglomerierte Deltasedimente
-  Erosionsrinne
-  Gletscher
-  Vermessungsfläche
-  Steinschlag
-  Fels
-  Moräne



Data: Autonome Provinz Südtirol (DTM 5m)
 Copyright: Marie-Claire Schug 2015

Abbildung 106: Geomorphologische Karte Zufallferner-Seenkomplex

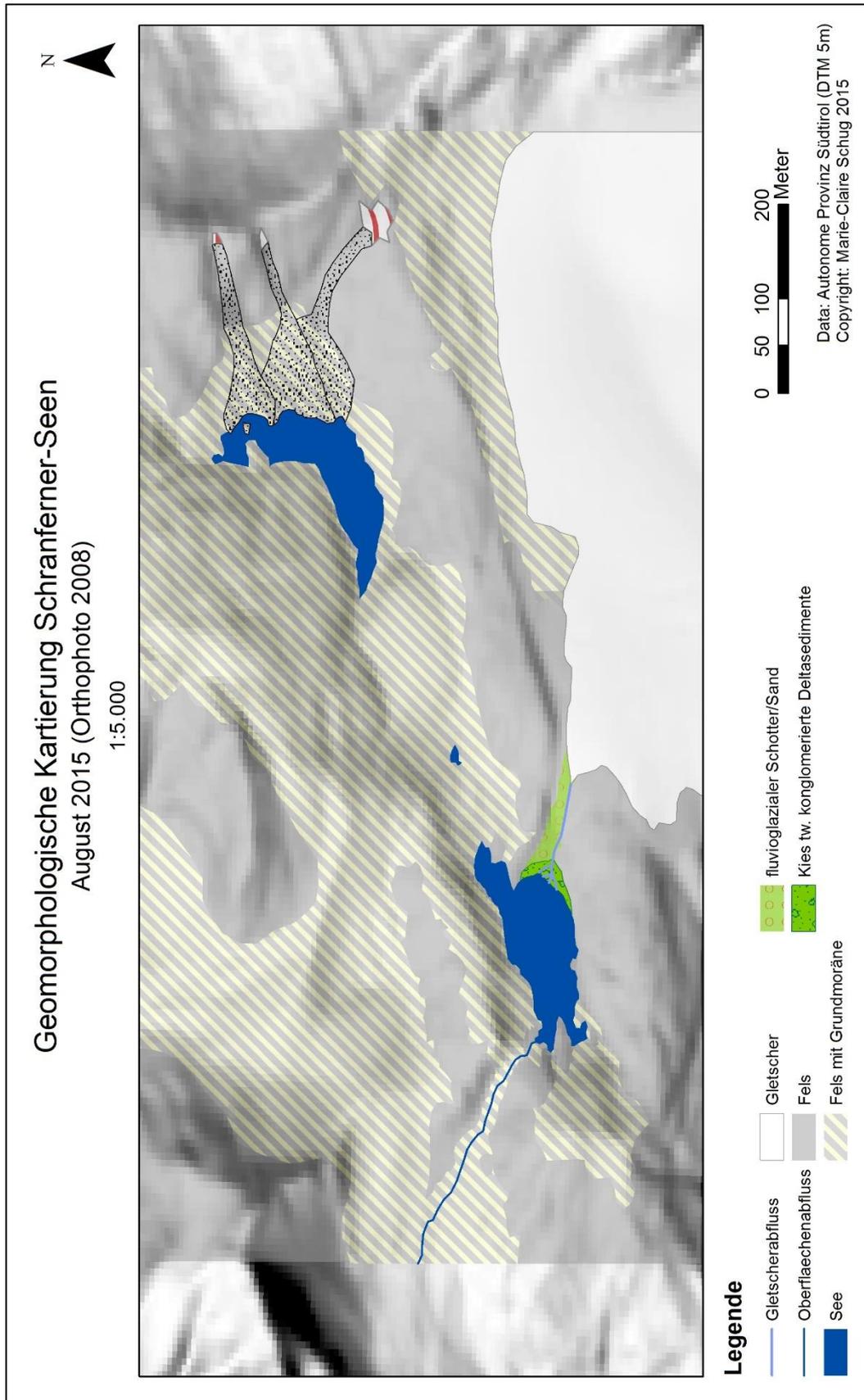


Abbildung 107: Geomorphologische Karte Schranferner-Seenkomplex

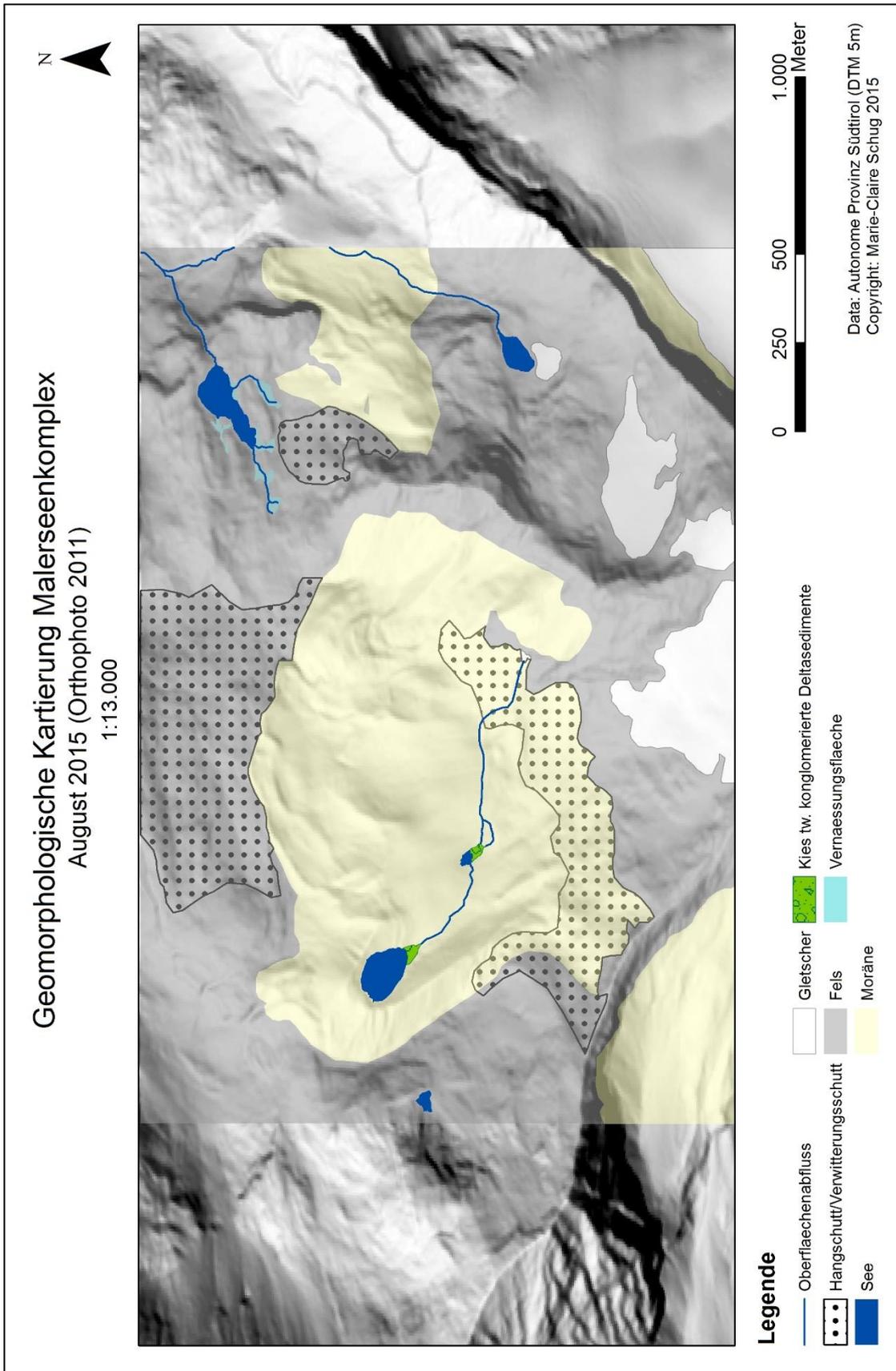


Abbildung 108: Geomorphologische Karte Malerseenkomplex

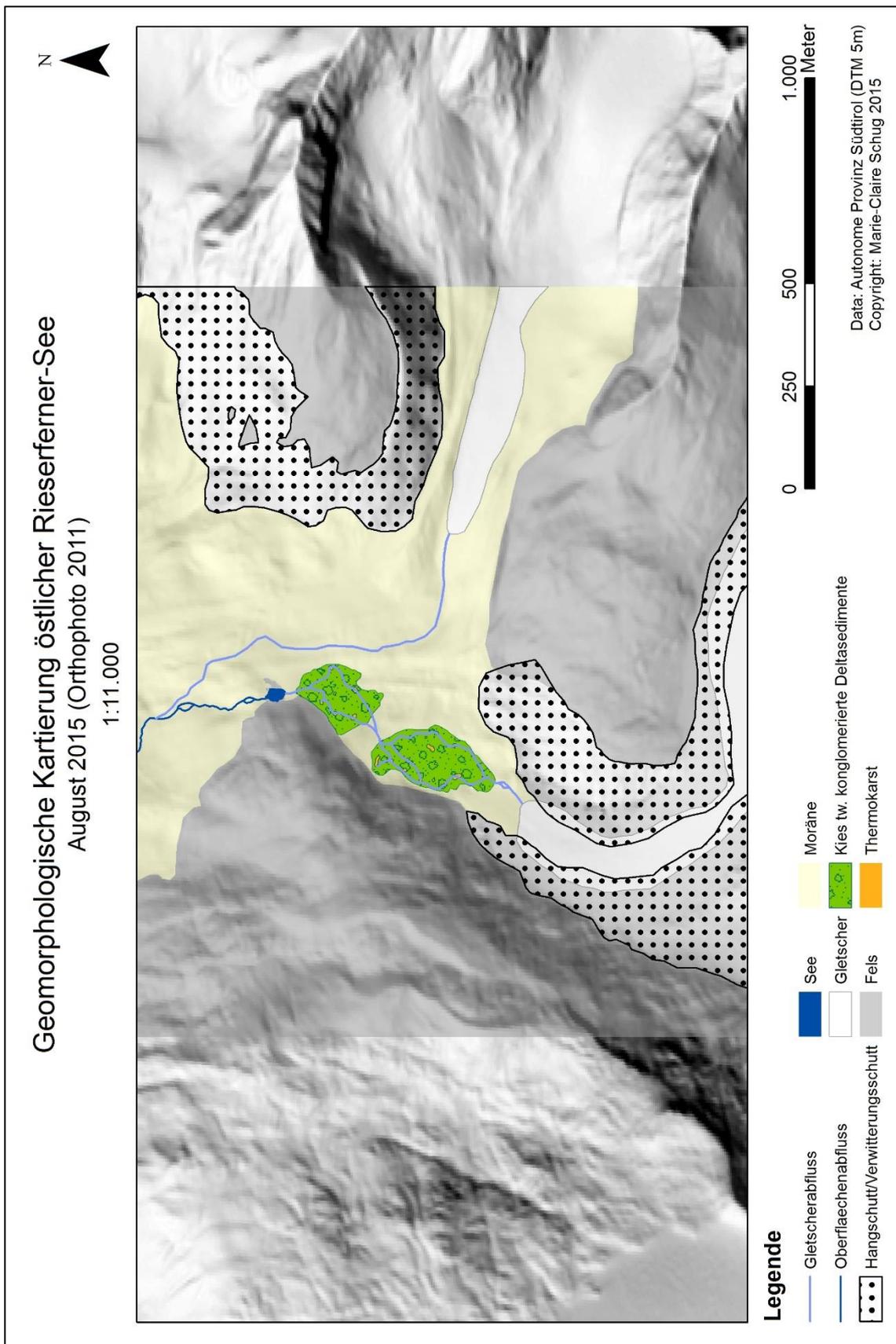
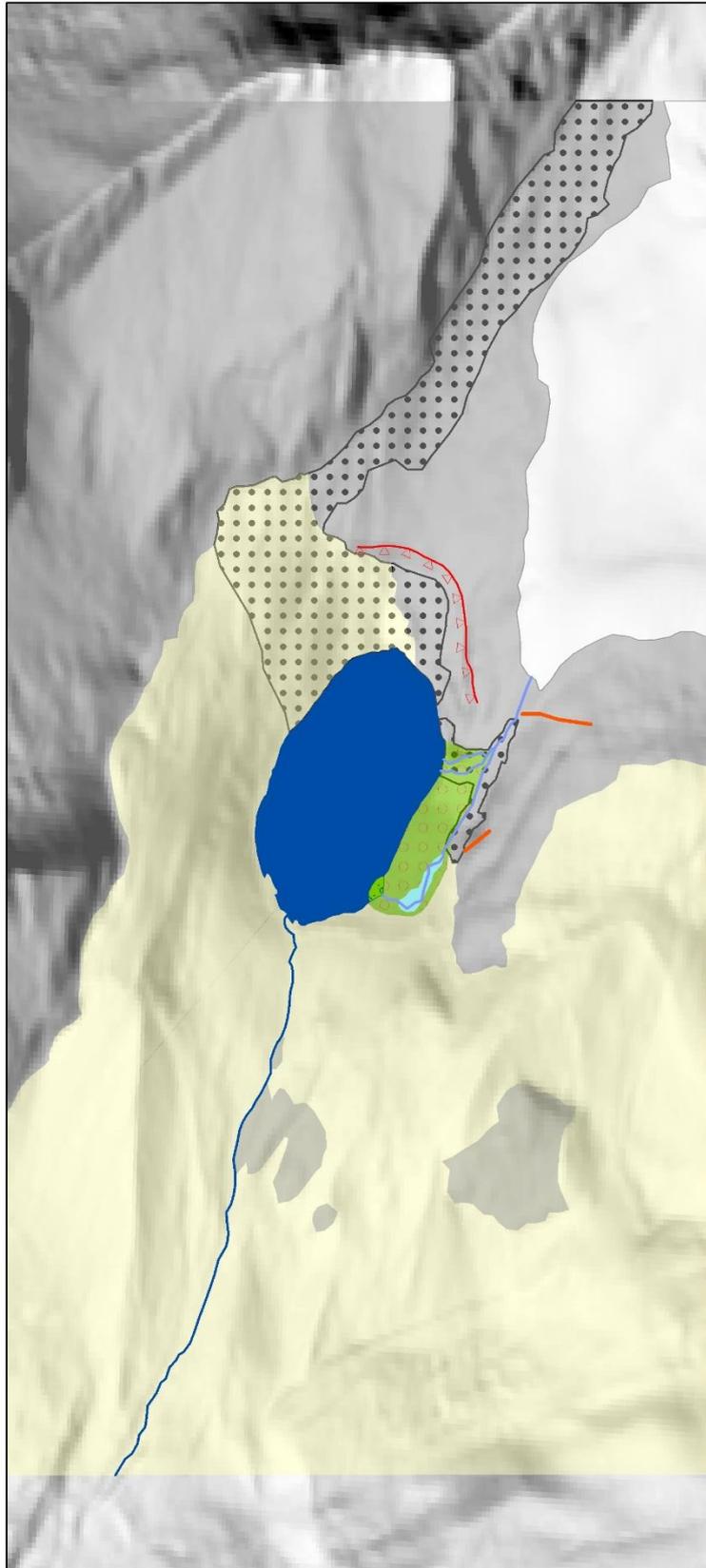


Abbildung 109: Geomorphologische Karte Östlicher Rieserferner-Seenkomples

Geomorphologische Kartierung Hochgallferner-See

August 2015 (Orthophoto 2011)

1:7.000



Legende

-  Gletscherabfluss
-  Oberflaechenabfluss
-  Stoerung vermutet
-  Abbruch Bloecke (aktiv)
-  Hangschutt/Verwitterungsschutt
-  See
-  Gletscher
-  Fels
-  Moräne
-  fluvioglazialer Schotter/Sand
-  Vermaessungsflaechche

Data: Autonome Provinz Südtirol (DTM 5m)
Copyright: Marie-Claire Schug 2015

Abbildung 110: Hochgallferner-See

Lakefile

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
1	ETS_001	2.315,63	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	478,66
2	ETS_002	2.315,08	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	280,16
3	ETS_003	2.022,47	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	281,92
4	ETS_004	2.767,36	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.637,61
5	ETS_005	2.636,06	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	1	17.600,49
6	ETS_006	2.496,35	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	923,29
7	ETS_007	2.568,92	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	3.719,58
8	ETS_008	2.382,26	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.766,58
9	ETS_009	2.306,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.995,58
10	ETS_010	2.305,57	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.968,33
11	ETS_011	2.293,55	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	605,12
12	ETS_012	2.289,89	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	807,53
13	ETS_013	2.301,62	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	771,18
14	ETS_014	2.305,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	266,37
15	ETS_015	2.305,15	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	457,06
16	ETS_016	2.304,72	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	479,61
17	ETS_017	2.304,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.442,87
18	ETS_018	2.304,73	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	343,61
19	ETS_019	2.553,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.516,05
20	ETS_020	2.771,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.105,79
21	ETS_021	2.597,83	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	3.954,44
22	ETS_022	2.560,42	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	917,01
23	ETS_023	2.623,00	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.593,69
24	ETS_024	2.584,19	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.521,59
25	ETS_025	2.693,23	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	4.373,95
26	ETS_026	2.682,91	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	752,82
27	ETS_027	2.682,63	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	15.759,57
28	ETS_028	2.570,42	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.294,49
29	ETS_029	2.419,00	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.018,72
30	ETS_030	2.345,68	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.756,18
31	ETS_031	2.253,36	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.939,22
32	ETS_032	2.253,04	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	512,50
33	ETS_033	2.359,12	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	569,72
34	ETS_034	2.322,75	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	300,22
35	ETS_035	2.609,60	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	2.949,13
36	ETS_036	2.610,36	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.096,54
37	ETS_037	2.461,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	724,93
38	ETS_038	2.536,20	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.000,83
39	ETS_039	2.518,84	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.227,11
40	ETS_040	2.475,34	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	276,48
41	ETS_041	2.520,09	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	4.924,11
42	ETS_042	2.753,20	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	678,16
43	ETS_043	2.562,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	421,85
44	ETS_044	2.644,63	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	405,85
45	ETS_045	2.770,51	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	353,31
46	ETS_046	2.373,86	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	431,00
47	ETS_047	2.449,79	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	344,54
48	ETS_048	2.438,15	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	154,11
49	ETS_049	2.469,18	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.546,85
50	ETS_050	2.472,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.001,83
51	ETS_051	2.288,07	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	778,73
52	ETS_052	2.707,62	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	2.109,57

OBIJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
53	ETS_053	2.032,67	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.034,23
54	ETS_054	2.593,45	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	1	5.922,29
55	ETS_055	2.637,45	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.264,94
56	ETS_056	2.510,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	372,29
57	ETS_057	2.498,69	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	301,42
58	ETS_058	2.488,69	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.726,67
59	ETS_059	2.134,34	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.576,12
60	ETS_060	2.445,32	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.069,99
61	ETS_061	2.341,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	305,87
62	ETS_062	2.492,19	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	280,29
63	ETS_063	2.372,63	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	497,02
64	ETS_064	2.359,33	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.028,65
65	ETS_065	2.361,09	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.653,95
66	ETS_066	2.365,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	701,38
67	ETS_067	2.346,62	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	494,91
68	ETS_068	2.306,00	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	876,78
69	ETS_069	2.259,64	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	641,26
70	ETS_070	2.221,96	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	18.748,55
71	ETS_071	2.214,65	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.260,57
72	SUL_001	2.605,18	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	2	746,98
73	SUL_002	2.601,59	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	617,42
74	SUL_003	2.491,90	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	394,58
75	SUL_004	2.572,36	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	642,34
76	SUL_005	2.559,73	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	713,87
77	SUL_006	2.482,09	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	890,46
78	SUL_007	2.241,43	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	426,87
79	ETS_072	2.268,41	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	5.153,62
80	SUL_008	2.330,27	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	483,30
81	KAR_001	2.603,25	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.665,42
82	KAR_002	2.649,58	2	1	0	0	0	1	0	0	2	1	6	0	0	0	1.195,57
83	KAR_003	2.651,08	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	1.787,82
84	ETS_073	2.160,90	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	762,57
85	ETS_074	2.385,72	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	566,74
86	KAR_004	2.733,87	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	1	4.081,65
87	KAR_005	2.657,14	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	3.643,94
88	KAR_006	2.656,64	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	570,00
89	KAR_007	2.713,83	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	2	616,98
90	KAR_008	2.603,93	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	3.130,36
91	KAR_009	2.607,28	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	774,38
92	KAR_010	2.629,77	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.411,78
93	KAR_011	2.588,42	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.034,79
94	KAR_012	2.576,87	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.512,01
95	KAR_013	2.581,59	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.423,02
96	KAR_014	2.640,50	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	922,04
97	KAR_015	2.631,02	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	885,18
98	KAR_016	2.652,43	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	816,52
99	KAR_017	2.599,32	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	4.285,96
100	ETS_075	2.631,77	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.421,62
101	ETS_076	2.651,95	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	3.494,91
102	ETS_077	2.596,01	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.562,76
103	KAR_018	2.692,30	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	1	2.249,70
104	KAR_019	2.626,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.493,34
105	KAR_020	2.613,91	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.698,05
106	KAR_021	2.620,71	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	633,30
107	KAR_022	2.618,23	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	409,31

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
108	KAR_023	2.600,78	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	11.625,25
109	KAR_024	2.728,99	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	627,46
110	KAR_025	2.727,64	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	644,26
111	KAR_026	2.722,00	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	652,40
112	KAR_027	2.721,94	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	602,23
113	KAR_028	2.888,40	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	991,96
114	SUL_001	2.708,06	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	1.040,13
117	SUL_004	2.709,98	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0	1.576,62
118	SUL_005	2.720,87	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	1	447,22
121	SUL_008	2.813,46	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	5	0	0	0	7.393,31
122	PLI_001	3.017,23	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	361,73
123	PLI_002	2.825,96	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.494,58
124	KAR_029	2.710,32	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	2.153,73
125	KAR_030	2.637,09	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	815,71
126	KAR_031	2.358,44	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	1.217,61
127	KAR_032	2.362,48	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	2.214,88
128	KAR_033	2.534,98	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.188,82
129	PUN_001	2.464,91	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	503,18
130	PUN_002	2.590,70	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	973,69
131	PUN_003	2.693,07	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.252,96
132	PUN_004	2.844,07	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	616,85
133	PUN_005	2.937,05	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.320,62
134	PUN_006	2.888,59	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.654,47
135	ETS_078	2.773,47	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.689,95
142	PLI_003	3.048,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.727,64
143	PLI_004	3.022,07	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	518,23
144	PLI_005	3.019,99	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	414,11
145	PLI_006	2.961,81	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	3.255,61
146	PLI_007	2.950,50	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	1.000,98
147	PLI_008	2.637,61	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	359,16
148	PLI_009	2.845,72	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	875,55
150	PLI_011	2.711,48	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	3	1	1	3	4.802,41
151	KAR_033	2.766,03	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	12.703,93
152	KAR_034	2.618,14	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.289,61
153	KAR_035	2.490,32	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	4	1	0	0	843,87
154	KAR_036	2.492,24	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	4	1	0	0	266,10
155	ETS_079	3.187,30	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	5.143,83
156	ETS_080	2.797,99	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.255,37
157	ETS_081	2.896,09	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	267,61
158	ETS_082	2.465,32	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	432,45
159	ETS_083	2.670,32	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	587,52
160	ETS_084	2.929,11	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	3.453,79
161	ETS_085	2.911,90	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	2.113,85
162	ETS_086	2.871,49	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.446,79
163	ETS_087	2.993,17	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	841,09
164	ETS_088	3.014,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	343,68
165	ETS_089	2.696,51	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	646,75
167	PLI_012	2.835,29	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.341,15
168	PLI_013	2.662,95	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	914,29
169	PLI_014	2.639,60	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.269,33
170	PLI_015	2.650,36	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	185,48
171	PLI_016	2.648,23	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	4	1	0	3	170,16
176	KAR_037	2.717,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	350,36
177	KAR_038	2.489,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	635,37
178	KAR_039	2.545,09	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	285,92

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff*	position	position*	calving	evolution	Shape_Area
179	KAR_040	2.766,58	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	4	1	0	1	7.297,49
180	KAR_041	2.870,97	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	4	1	0	0	564,40
182	ETS_091	3.211,72	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	5	0	0	3	1.846,59
183	ETS_092	2.976,44	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.978,70
184	ETS_093	2.472,43	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.721,71
185	ETS_094	2.419,78	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	723,03
186	ETS_095	2.556,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	34.127,15
187	ETS_096	2.594,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.305,24
188	ETS_097	2.813,03	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	1	2.053,52
189	ETS_098	2.827,15	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	3.520,24
190	ETS_099	2.712,41	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	842,36
191	ETS_100	2.663,48	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	8.523,97
192	ETS_101	2.669,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	10.157,42
193	PLI_021	2.968,69	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	13.537,32
194	PLI_022	2.662,42	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	830,34
195	PLI_023	2.657,62	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	689,33
196	PLI_024	2.895,98	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	3	1	0	0	8.524,68
199	KAR_043	2.782,56	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	596,47
200	KAR_044	2.558,71	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	1	0	3	310,62
201	ETS_102	3.091,46	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.118,80
202	ETS_103	3.083,61	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	307,21
203	ETS_104	2.908,75	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.617,08
204	ETS_105	2.912,57	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	562,94
205	ETS_106	2.919,93	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	279,03
206	ETS_107	2.923,04	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	5.234,05
207	ETS_108	2.784,38	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.431,94
208	ETS_109	2.781,25	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.302,16
209	ETS_110	2.756,95	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	5.331,68
212	ETS_113	2.611,30	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	839,72
213	ETS_114	3.146,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	3.683,83
214	ETS_115	3.222,30	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	553,79
215	ETS_116	2.515,68	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	20.952,07
216	PLI_027	2.930,25	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.655,14
217	PLI_028	2.727,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	2.182,43
218	PLI_029	2.827,15	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	9.145,13
221	PLI_032	2.972,24	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	909,79
222	PLI_033	2.922,29	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	4	1	0	0	2.662,96
226	SCH_001	2.883,57	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	516,60
227	SCH_002	2.903,92	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	335,39
228	SCH_003	2.527,08	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	1	750,83
229	SCH_004	2.514,93	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	1.278,95
230	SCH_005	2.428,97	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.813,28
231	SCH_006	2.954,34	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	2.203,82
232	ETS_117	2.779,55	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	17.222,82
233	ETS_118	2.713,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.279,43
234	ETS_119	2.432,75	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.669,52
235	PLI_037	2.534,73	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	578,69
236	PLI_038	2.529,93	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.272,96
237	PLI_039	2.502,19	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.524,40
239	PLI_041	3.036,41	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.961,99
240	SCH_006	3.118,60	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.854,10
241	SCH_007	3.142,43	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.423,23
242	SCH_008	2.907,43	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	810,25
243	SCH_009	2.909,34	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	644,92
244	SCH_010	2.435,65	0	1	0	0	2	5	0	0	3	1	6	0	0	1	953,98

OBIJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff*	position	position*	calving	evolution	Shape_Area
245	SCH_011	2.390,08	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	727,39
246	SCH_012	2.338,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	5.139,36
247	SCH_013	2.041,58	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.912,07
248	SCH_014	2.058,42	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.096,97
249	ETS_120	2.667,52	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	6.650,20
250	ETS_121	2.509,20	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	35.714,01
251	ETS_122	2.538,27	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	5.693,06
252	ETS_123	2.291,68	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	481,63
253	PLI_042	3.012,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.212,87
257	UBK_001	3.014,79	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	13.734,12
258	UBK_002	3.007,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.721,54
259	SCH_015	2.749,85	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	33.754,87
260	SCH_016	2.744,37	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.574,47
261	UBK_003	3.164,80	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.950,12
262	UBK_004	3.261,32	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	4.704,78
263	SCH_017	2.711,79	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	16.906,57
264	ETS_124	2.852,07	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	3	292,46
265	ETS_125	2.703,63	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.564,78
266	FAL_001	2.781,65	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	0	1	356,17
267	FAL_002	2.780,75	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	5	0	0	1	972,61
268	FAL_003	2.772,35	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	1	499,12
271	FAL_006	2.474,81	0	2	0	0	1	2	0	0	3	1	5	0	0	0	2.539,93
272	FAL_007	2.459,67	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	912,34
273	FAL_008	2.541,78	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.363,93
274	FAL_009	2.482,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	11.435,46
275	UBK_005	2.671,34	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	272,81
277	ETS_126	3.352,99	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	851,21
279	SCH_019	2.817,39	1	2	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	8.303,76
280	SCH_020	2.702,84	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.349,10
281	SCH_021	2.782,95	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	8.219,75
282	SCH_022	2.748,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.892,54
283	SCH_023	2.673,46	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.484,89
284	SCH_024	2.673,51	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.522,27
285	SCH_025	2.673,44	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	2.265,60
286	SCH_026	2.599,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.264,52
287	PLI_046	2.371,56	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	18.241,24
288	PLI_047	2.561,29	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	9.409,36
289	FAL_010	2.781,35	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.905,42
290	FAL_011	2.756,78	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	915,18
291	FAL_012	2.557,32	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	4.368,70
292	FAL_013	2.393,72	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	970,99
293	FAL_014	2.319,62	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.993,17
294	FAL_015	2.067,52	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	17.790,13
295	FAL_016	2.213,42	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.397,55
296	FAL_017	2.223,33	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	10.402,69
297	FAL_018	2.298,29	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.925,26
298	FAL_019	2.324,08	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	6.044,51
299	FAL_020	2.322,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	7.195,86
300	FAL_021	2.341,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	35.877,48
301	FAL_022	2.344,52	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.756,03
302	UBK_006	2.543,90	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	36.899,57
303	UBK_007	2.542,75	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.838,90
304	UBK_008	2.544,12	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.215,15
305	FAL_023	2.382,86	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	11.552,68
306	FAL_024	2.381,78	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	886,55

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
307	FAL_025	2.386,60	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	590,57
308	FAL_026	2.343,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	589,89
309	FAL_027	2.389,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	334,41
310	FAL_028	2.388,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	359,39
311	UBK_009	2.614,85	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	973,37
312	UBK_010	2.543,31	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	739,89
313	UBK_011	3.139,42	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	3	1	1	3	3.922,74
314	SCH_027	2.593,64	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	874,34
315	SCH_028	2.525,56	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	8.845,49
316	FAL_029	2.738,15	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	3	1.544,86
317	FAL_30	2.712,08	3	0	0	0	0	1	0	0	2	1	6	0	0	3	2.890,12
318	FAL_031	2.107,87	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.850,10
319	FAL_032	2.277,96	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	549,50
320	FAL_034	2.479,54	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	651,97
321	FAL_035	2.496,22	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	290,37
322	FAL_036	2.471,26	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	428,58
323	FAL_037	2.592,55	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	538,38
324	FAL_038	2.605,50	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	398,41
325	FAL_039	2.615,12	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	3.927,20
326	FAL_040	2.647,18	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	541,27
327	FAL_041	2.300,69	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	108,12
328	SCH_029	2.718,44	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	4.385,40
329	SCH_030	2.737,58	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	2.180,78
330	FAL_042	2.791,81	2	1	0	0	0	1	0	0	2	1	6	0	0	0	1.531,52
331	FAL_043	3.075,80	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.955,75
332	FAL_044	3.028,41	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	831,62
333	FAL_045	2.236,97	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	6	0	0	0	258.351,21
334	FAL_046	3.006,68	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.343,64
335	FAL_047	2.379,29	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.168,73
336	FAL_048	2.382,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.765,10
337	FAL_049	2.387,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	31.402,16
338	SCH_031	2.463,88	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	21.556,54
339	ETS_126	2.444,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.027,54
340	FAL_050	2.439,26	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.341,36
341	FAL_051	2.451,98	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	376,21
342	FAL_052	2.405,35	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	30.718,38
343	FAL_053	2.402,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	31.627,07
344	FAL_054	2.278,21	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	270,77
345	FAL_055	2.181,92	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.661,12
346	SCH_032	3.048,80	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.383,09
347	ETS_126	2.109,93	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	11.926,35
348	ETS_127	2.117,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	814,25
349	ETS_128	2.123,12	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.110,31
350	FAL_056	2.169,97	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	14.503,88
351	FAL_057	2.180,22	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.549,56
352	ETS_129	2.955,41	3	0	0	0	0	1	0	0	2	1	6	0	0	0	6.559,51
353	ETS_130	3.000,12	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	5.052,78
354	ETS_131	2.845,45	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	365,95
355	ETS_132	2.861,83	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	435,69
356	FAL_058	2.488,67	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	30.488,45
357	FAL_059	2.441,05	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	13.367,49
358	FAL_060	2.501,10	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.883,30
359	FAL_061	2.394,97	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	5.284,73
360	FAL_062	2.401,36	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	491,91
361	FAL_063	2.304,64	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	401,70

OBIJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
362	FAL_064	2.191,09	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	18.652,92
363	PES_001	2.207,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.553,78
364	PES_002	2.351,11	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.783,23
365	PES_003	2.351,83	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	720,12
366	PES_004	2.296,48	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.677,68
367	PES_005	2.260,21	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.229,70
368	PES_006	2.184,61	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	296,10
369	PES_007	2.218,98	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	5.403,39
370	PES_008	2.297,49	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	3.996,77
371	SCH_033	2.743,57	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	589,52
372	ETS_133	2.999,72	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.034,28
373	FAL_065	2.175,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.858,28
374	PAS_001	2.702,65	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	723,23
375	PAS_002	2.510,23	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.693,82
376	PAS_003	2.569,20	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.354,86
377	PAS_004	2.592,89	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	611,56
378	PAS_005	2.585,98	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	591,23
379	PAS_006	2.690,01	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	11.598,39
380	PAS_007	2.833,54	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	3.446,99
381	SCH_034	3.059,28	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	874,56
382	SCH_035	2.693,25	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	8.683,50
383	ETS_134	2.776,59	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	4	1	0	0	497,34
384	ETS_135	2.753,80	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	4	1	0	0	893,51
385	FAL_066	2.092,47	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	669,90
386	FAL_067	2.091,46	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	296,95
387	FAL_068	2.029,82	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.882,87
388	PAS_008	2.063,30	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	7.743,68
389	PAS_009	2.228,54	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.132,42
390	PAS_010	2.225,45	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	371,52
391	PAS_011	2.291,51	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.295,65
392	PAS_012	2.290,66	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.733,28
393	PAS_013	2.299,29	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	646,46
394	PAS_014	2.463,58	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	2.089,53
395	PAS_015	2.478,35	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.589,38
396	PAS_016	2.334,11	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.775,44
397	PAS_017	2.330,43	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	428,76
398	PAS_018	2.385,15	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	841,89
399	PAS_019	2.506,89	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.118,99
400	PAS_020	2.537,03	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	466,72
401	PAS_021	2.541,50	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.968,69
402	PAS_022	2.541,32	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	23.507,72
403	PAS_023	2.490,11	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.079,71
404	ETS_136	2.470,72	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.733,95
405	PAS_024	2.573,72	0	1	0	2	0	4	0	0	0	0	6	0	0	1	281,27
406	ETS_137	2.652,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.038,28
407	ETS_138	2.669,79	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	2.426,81
408	FAL_069	2.018,85	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	289,84
409	PAS_024	2.544,43	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.056,39
410	PAS_025	2.390,02	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.747,55
411	PAS_026	2.391,83	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	493,74
412	PAS_027	2.587,11	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	23.197,12
413	PAS_028	2.494,51	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.946,42
414	PAS_029	2.511,23	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	8.678,06
415	PAS_030	2.338,51	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	40.307,73
416	PAS_031	2.307,48	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.280,04

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
417	PAS_032	2.380,95	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	197.289,32
418	PAS_033	2.117,25	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	30.333,11
419	PAS_034	2.123,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	14.800,92
420	PAS_035	2.760,25	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	4.409,00
421	PAS_036	2.763,04	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	2.578,90
422	PAS_037	2.789,56	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	987,83
423	PAS_038	2.759,16	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	742,71
424	PAS_039	2.419,70	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	805,24
425	PAS_040	2.419,60	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	4.291,13
426	PAS_041	2.295,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	570,54
427	PAS_042	2.574,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.272,03
428	PAS_043	2.807,35	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	17.010,41
429	PAS_044	2.377,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	721,37
430	PAS_045	2.517,15	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	470,64
431	PAS_046	2.372,81	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	660,21
432	NOV_001	2.181,52	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.914,77
433	PAS_047	2.693,85	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.334,02
434	PAS_048	2.229,27	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.070,39
435	PAS_049	2.162,35	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	367,39
436	PAS_050	2.231,00	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.652,09
437	PAS_051	2.596,66	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	351,46
438	PAS_052	2.595,71	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	513,60
439	PAS_053	2.554,33	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	723,91
440	PAS_054	2.443,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.078,33
441	PAS_055	2.401,10	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	509,80
442	PAS_056	2.354,35	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	453,69
443	PAS_057	2.259,78	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.285,89
444	PAS_058	2.151,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.484,72
445	PAS_059	2.293,68	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	332,13
446	PAS_06	2.602,53	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	14.604,36
447	PAS_061	2.729,08	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.544,20
448	PAS_062	2.513,89	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	63.741,79
449	PAS_063	2.576,26	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.761,76
450	PAS_064	2.579,00	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	824,55
451	PAS_065	2.460,04	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	377,15
452	PAS_066	2.434,91	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.855,58
453	PAS_067	2.412,57	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.355,33
454	PAS_068	2.446,35	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.410,34
455	PAS_069	2.421,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	376,32
456	PAS_070	2.137,34	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.229,38
457	PAS_071	2.268,22	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	311,58
458	PAS_072	2.093,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.541,87
465	PAS_073	2.575,77	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	719,00
466	PAS_074	2.620,34	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	390,23
467	PAS_075	2.662,26	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	707,16
469	EIS_007	2.854,31	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	676,53
470	EIS_008	2.819,67	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	953,77
471	EIS_009	2.646,97	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	3.041,73
472	EIS_010	2.654,33	1	2	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	2.853,51
473	EIS_011	2.649,69	1	2	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	43.876,96
474	EIS_012	2.879,36	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.113,15
475	EIS_013	2.884,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	719,58
476	PAS_077	2.609,17	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	16.363,43
477	PAS_078	2.618,74	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	4.576,06
478	PAS_079	2.380,47	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	298,28

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype*	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
479	PAS_080	2.368,67	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.685,02
480	PAS_081	2.461,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	907,79
481	PAS_082	2.588,31	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.891,94
482	PAS_083	2.333,03	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	436,53
483	PAS_084	2.276,72	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	414,27
485	EIS_015	2.800,43	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.316,83
486	EIS_016	2.802,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.573,26
487	EIS_017	2.166,02	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.156,90
488	EIS_018	2.142,99	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	647,46
489	EIS_019	2.178,94	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	686,77
490	EIS_020	2.181,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	401,47
492	EIS_022	2.335,18	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.463,85
493	EIS_023	2.496,03	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	4.572,86
494	EIS_024	2.345,50	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	80.279,70
495	EIS_025	2.528,01	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.213,35
496	EIS_026	2.528,53	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	856,58
497	EIS_027	2.514,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.351,07
498	EIS_028	2.671,73	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.138,73
499	EIS_029	2.469,44	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	30.609,55
500	EIS_030	2.536,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.139,56
501	EIS_031	2.545,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.377,71
502	EIS_032	2.445,26	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.622,94
503	EIS_033	2.445,51	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.161,58
504	EIS_034	2.301,85	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.037,29
505	EIS_035	2.318,06	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	580,40
506	EIS_036	2.385,45	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	391,81
507	EIS_037	2.409,76	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.141,02
508	EIS_038	2.357,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	614,40
509	EIS_039	2.472,61	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	324,01
510	EIS_040	2.464,50	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	660,37
511	EIS_041	2.465,86	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.510,73
512	EIS_042	2.430,96	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.759,21
513	EIS_043	2.342,39	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.979,86
514	EIS_044	2.342,32	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.093,72
515	EIS_045	2.363,68	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.526,21
516	PAS_085	2.336,84	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	638,82
517	EIS_046	2.456,65	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	86.012,55
518	EIS_047	2.358,32	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	357,07
519	EIS_048	2.275,05	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.522,47
520	EIS_049	2.264,65	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	473,62
521	PAS_086	2.315,02	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	6.260,33
522	PAS_087	2.331,80	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.371,43
523	PAS_088	2.322,85	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	2.649,59
524	PAS_089	2.256,55	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	340,42
525	PAS_090	2.257,28	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	371,94
526	EIS_050	2.776,92	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	656,16
529	EIS_054	2.580,76	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	18.408,28
530	EIS_055	2.399,39	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	15.150,80
531	EIS_056	2.399,43	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	1.507,18
535	EIS_060	2.283,50	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	940,95
536	EIS_061	2.596,56	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	1.059,48
537	EIS_062	2.596,71	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	1.114,71
538	EIS_063	2.819,85	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	641,70
539	EIS_064	2.044,29	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	881,77
540	EIS_065	2.380,21	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.106,52

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
541	EIS_066	2.409,03	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	298,56
542	EIS_067	2.146,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	312,81
543	EIS_068	2.295,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	734,77
544	PAS_091	2.141,57	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	13.409,82
545	EIS_069	2.821,28	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	442,92
546	EIS_070	2.158,68	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.050,09
547	EIS_071	2.290,02	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	1.091,13
548	EIS_072	2.262,97	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.773,85
549	EIS_073	2.331,33	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	486,63
550	EIS_074	2.320,09	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.967,92
551	EIS_075	2.339,35	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	415,42
552	EIS_076	2.103,05	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.067,34
553	EIS_077	2.151,76	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	639,40
554	EIS_078	2.027,16	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	814,23
555	EIS_079	2.025,42	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.910,60
556	PAS_092	2.017,23	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	2.550,23
557	TAL_001	2.081,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	813,02
558	TAL_002	2.093,42	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	2.279,40
559	TAL_003	2.093,68	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	579,63
560	TAL_004	2.084,28	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.644,35
561	TAL_005	2.149,14	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.546,96
562	TAL_006	2.263,20	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	10.746,96
563	TAL_007	2.117,60	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	23.736,11
564	EIS_080	2.369,50	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	33.853,63
565	EIS_081	2.497,62	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	742,05
566	EIS_082	2.395,22	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	783,38
567	EIS_083	2.648,79	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	251,70
568	EIS_084	2.345,35	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	259,33
569	EIS_085	2.215,64	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	2.025,13
570	EIS_086	2.194,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	403,90
571	TAL_008	2.183,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.647,11
572	ETS_139	2.206,45	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	6	0	0	3	10.312,61
573	TAL_009	2.008,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.587,80
574	EIS_087	2.042,54	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	966,05
575	EIS_088	2.045,26	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.942,40
576	EIS_089	2.267,61	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	915,14
577	PAS_093	2.289,75	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	2.067,16
578	PAS_094	2.123,15	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.345,64
579	TAL_010	2.235,96	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.882,98
580	EIS_090	2.183,24	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	3.924,54
581	EIS_091	2.195,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	278,50
582	TAL_011	2.150,35	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	545,94
583	TAL_012	2.128,75	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	273,60
584	TAL_013	2.252,47	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	227,51
585	TAL_014	2.297,85	1	2	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	3.641,00
586	EIS_092	2.308,26	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	910,84
587	EIS_093	2.345,06	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	322,28
588	TAL_015	2.319,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.093,80
589	TAL_016	2.321,71	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.024,35
590	TAL_017	2.505,66	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	426,47
591	TAL_018	2.179,66	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.928,32
592	TAL_019	2.158,39	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	2.483,40
593	TAL_020	2.181,90	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	1.318,05
594	TAL_021	2.183,75	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	290,81
595	TAL_022	2.202,50	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.378,47

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
596	TAL_023	2.200,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.499,23
597	TAL_024	2.197,91	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.052,22
598	TAL_025	2.332,92	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.074,39
599	TAL_026	2.348,01	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	597,81
600	TAL_027	2.327,90	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.578,69
601	TAL_028	2.279,48	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.224,14
602	TAL_029	2.295,83	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	768,80
603	TAL_030	2.298,42	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	283,55
604	TAL_031	2.280,44	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	538,86
605	TAL_032	2.272,73	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.635,90
606	TAL_033	2.300,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.457,69
607	TAL_034	2.280,82	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.417,85
608	TAL_035	2.217,21	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.739,47
609	TAL_036	2.226,81	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	951,21
610	TAL_037	2.259,34	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	608,94
611	TAL_038	2.264,55	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	592,75
612	TAL_039	2.243,57	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.376,52
613	TAL_040	2.254,25	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	869,40
614	EIS_094	2.112,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	452,78
615	EIS_095	2.130,71	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	622,08
616	EIS_096	2.162,26	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	3	319,65
617	EIS_097	2.230,37	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	781,05
618	EIS_098	2.085,35	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	752,08
619	TAL_041	2.062,81	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	293,48
620	TAL_042	2.036,20	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.746,19
621	TAL_043	2.034,58	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.955,57
622	TAL_044	2.034,69	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.138,88
623	EIS_099	2.209,54	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.640,78
624	EIS_146	2.067,63	0	0	0	0	3	5	0	0	3	1	6	0	0	0	3.211,59
625	TAL_045	2.126,89	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.176,02
626	TAL_046	2.254,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.903,85
627	TAL_047	2.147,97	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	390,69
628	TAL_048	2.149,22	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	402,11
629	TAL_049	2.133,46	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	302,60
630	TAL_050	2.203,45	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.412,35
631	TAL_051	2.278,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	761,31
632	TAL_052	2.423,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.315,09
633	TAL_053	2.368,18	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.479,24
634	TAL_054	2.401,03	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.258,26
635	TAL_055	2.340,38	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	2.680,67
636	TAL_056	2.047,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	615,32
637	TAL_057	2.053,94	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	457,86
638	EIS_100	2.059,63	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	343,40
639	TAL_058	2.016,62	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.180,72
640	EIS_101	2.113,00	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	16.228,60
641	EIS_102	2.386,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	805,63
642	TAL_059	2.289,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	793,04
643	TAL_060	2.305,03	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.650,53
644	TAL_061	2.314,84	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	348,40
645	EIS_103	2.352,52	0	2	0	1	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.156,67
646	EIS_104	2.352,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.890,23
647	EIS_105	2.478,89	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.481,03
648	EIS_106	2.359,94	0	1	0	2	0	4	0	0	0	0	6	0	0	0	974,13
649	EIS_108	2.359,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	543,84
650	EIS_109	2.230,46	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.361,44

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
651	EIS_110	2.256,65	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	972,39
652	EIS_111	2.333,52	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	2.116,95
653	EIS_112	2.452,06	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.674,81
654	TAL_062	2.300,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	519,92
655	TAL_063	2.191,47	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	2.798,86
656	TAL_064	2.168,53	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	304,18
657	EIS_113	2.285,01	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	554,33
658	EIS_114	2.469,30	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	3.656,57
659	EIS_115	2.251,91	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	661,68
660	EIS_116	2.181,14	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.720,56
661	EIS_117	2.322,04	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	771,28
662	EIS_118	2.382,84	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	4.705,82
663	EIS_119	2.273,78	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.967,31
664	EIS_120	2.225,54	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.823,52
665	EIS_121	2.271,39	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	742,40
666	EIS_122	2.244,78	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.142,32
667	EIS_123	2.189,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	380,13
668	EIS_124	2.146,35	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	471,73
669	RIE_001	2.747,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.880,37
670	RIE_002	2.533,30	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	106.959,35
671	RIE_003	2.474,14	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	297,98
672	RIE_004	2.435,63	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	680,43
673	RIE_005	2.397,74	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.815,29
674	EIS_125	2.569,37	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.612,21
675	EIS_126	2.478,12	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	258,80
676	EIS_127	2.256,66	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.148,29
677	EIS_128	2.434,46	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	400,51
678	EIS_129	2.748,38	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	810,96
679	RIE_006	2.420,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	262,93
680	RIE_007	2.282,98	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	454,18
681	RIE_008	2.270,63	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	848,20
682	RIE_009	2.453,35	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	270,94
683	EIS_130	2.328,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.554,96
684	EIS_131	2.352,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.264,89
685	EIS_132	2.324,53	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	637,69
686	EIS_133	2.376,30	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.564,84
688	EIS_135	2.037,50	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.286,17
689	EIS_136	2.462,76	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.023,44
690	GRO_001	2.121,87	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	977,46
691	GRO_002	2.108,55	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	613,19
692	EIS_137	2.008,01	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	2.314,45
693	EIS_138	2.607,10	0	1	0	2	0	4	0	0	3	1	6	0	0	0	1.678,58
694	EIS_139	2.232,91	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.731,02
695	EIS_140	2.235,96	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	955,27
696	EIS_141	2.206,75	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	766,12
697	EIS_142	2.242,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.522,45
698	EIS_143	2.243,52	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	548,55
699	EIS_144	2.241,47	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.470,83
700	EIS_145	2.254,56	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	5.053,20
701	RIE_010	2.496,18	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.696,43
702	RIE_011	2.477,98	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	536,26
703	RIE_012	2.407,69	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	255,34
704	RIE_013	2.483,15	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	15.740,40
705	RIE_014	2.578,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	489,44
706	RIE_015	2.307,52	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.656,78

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
707	RIE_016	2.210,27	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	258,31
708	RIE_017	2.514,84	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	6.454,07
709	RIE_018	2.503,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.566,00
710	RIE_019	2.275,50	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	54.286,46
711	RIE_020	2.394,74	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.079,84
712	GRO_003	2.029,90	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	6	0	0	3	5.243,76
713	GRO_004	2.054,15	0	0	0	0	3	5	0	0	3	1	6	0	0	1	1.489,82
714	EIS_146	2.385,31	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	262,61
715	RIE_021	2.654,50	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	465,17
716	RIE_022	2.578,74	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.612,91
717	GRO_005	2.134,60	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	906,32
718	RIE_023	2.648,09	0	2	0	1	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	959,78
719	EIS_147	2.116,22	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	6	0	0	0	1.537,60
720	RIE_024	2.351,00	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	77.593,40
721	AHR_001	2.491,70	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	901,27
722	AHR_002	2.490,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	786,71
723	AHR_003	2.420,38	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	19.283,16
724	AHR_004	2.429,67	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	283,08
725	AHR_005	2.414,62	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.346,59
726	AHR_006	2.414,40	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.371,90
727	RIE_025	2.593,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.250,30
728	RIE_026	2.287,89	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	280,25
729	GRO_006	2.096,70	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.108,16
730	GRO_007	2.071,50	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	700,59
731	AHR_007	2.643,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.336,59
732	AHR_008	2.516,43	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	645,07
733	AHR_009	2.508,31	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	404,26
734	AHR_010	2.420,73	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	656,17
735	AHR_011	2.389,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.638,51
736	AHR_012	2.408,28	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	15.367,08
737	AHR_013	2.440,23	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	4.370,62
738	RIE_027	2.520,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	372,52
739	RIE_028	2.550,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	934,49
740	RIE_029	2.531,30	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.296,95
741	RIE_030	2.442,94	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.215,63
742	GRO_008	2.262,54	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	383,31
743	GRO_009	2.209,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.065,71
744	GRO_010	2.138,03	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	974,71
745	AHR_014	2.637,41	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	3	2.426,54
746	AHR_015	2.167,26	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	338,40
747	RIE_031	2.305,46	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.023,13
748	RIE_032	2.180,73	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	469,09
749	EIS_148	2.210,00	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	461,09
750	RIE_033	2.108,91	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.250,32
751	GRO_011	2.030,35	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	6	0	0	0	392,37
752	AHR_016	2.344,05	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	10.885,72
753	AHR_017	2.215,08	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	7.319,30
754	AHR_018	2.405,13	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	4.903,74
755	AHR_019	2.510,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	310,42
756	AHR_020	2.510,20	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	257,91
757	AHR_021	2.501,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	267,30
758	AHR_022	2.383,70	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.969,31
759	AHR_023	2.141,38	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	872,91
760	AHR_024	2.140,87	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.925,29
761	RIE_033	2.311,69	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	324,97

OBIECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
762	RIE_034	2.259,43	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	1.726,67
763	RIE_035	2.324,50	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	255,48
764	AHR_025	2.527,12	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	1	6.512,87
765	AHR_026	2.627,06	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.184,46
766	AHR_027	2.621,82	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	749,51
767	AHR_028	2.609,35	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	369,93
768	AHR_029	2.306,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.141,69
769	AHR_030	2.178,05	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	538,08
770	RIE_036	2.249,41	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.434,19
771	RIE_037	2.050,39	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	397,08
772	RIE_038	2.149,37	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	2.601,68
773	RIE_039	2.149,37	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.040,20
774	RIE_040	2.060,65	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	366,78
775	GRO_012	2.374,00	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	13.299,25
776	GRO_013	2.674,28	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	3	3.448,97
777	GRO_014	2.676,37	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	3	563,88
778	GRO_015	2.676,72	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	3	503,63
779	GAD_001	2.567,71	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	10.020,29
781	AHR_032	2.103,51	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	477,06
782	AHR_033	2.188,04	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	473,29
783	RIE_041	2.263,36	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	928,13
784	RIE_042	2.256,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	15.423,24
785	RIE_043	2.290,83	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	532,93
786	RIE_044	2.352,99	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	514,87
787	UBK_012	2.828,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.050,11
788	GAD_002	2.251,92	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	7.079,06
789	AHR_034	2.514,32	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	736,19
790	AHR_035	2.626,19	2	1	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	0	1.512,47
791	AHR_036	2.619,80	2	1	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	3	2.598,95
792	AHR_037	2.498,08	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	3	553,29
793	AHR_038	2.250,74	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	645,02
794	AHR_039	2.253,36	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	265,77
795	AHR_040	2.277,77	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.098,01
796	RIE_045	2.299,68	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.235,28
797	RIE_046	2.266,03	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	2.409,37
798	RIE_047	2.263,48	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.105,32
799	RIE_048	2.293,20	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.002,00
800	RIE_049	2.366,84	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	501,29
801	RIE_050	2.338,90	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	681,07
802	RIE_051	2.337,36	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	2.166,38
803	RIE_052	2.320,66	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.333,25
804	RIE_053	2.264,92	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	937,46
805	RIE_054	2.260,05	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.607,32
806	RIE_055	2.295,31	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.283,27
807	RIE_056	2.315,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.587,06
808	AHR_041	2.203,75	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	690,69
809	RIE_057	2.264,25	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.087,88
811	AHR_043	2.039,83	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.152,43
812	AHR_044	2.039,74	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	432,00
813	AHR_045	2.265,59	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	522,78
814	AHR_046	2.556,16	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	302,78
815	AHR_047	2.028,51	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	985,45
816	AHR_048	2.026,61	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	746,81
817	AHR_049	2.159,34	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	12.537,54
818	AHR_050	2.292,87	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.299,48

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
819	AHR_051	2.277,93	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	3.119,75
820	AHR_052	2.276,19	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	298,10
821	AHR_053	2.325,03	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	10.611,87
822	AHR_054	2.551,43	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	805,30
823	AHR_055	2.523,76	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	326,15
824	AHR_056	2.511,07	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.150,17
825	AHR_057	2.513,47	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	320,17
826	AHR_058	2.518,87	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	998,89
827	AHR_059	2.550,34	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	9.920,41
828	AHR_060	2.517,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	591,60
829	AHR_061	2.252,99	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.402,65
830	AHR_062	2.238,86	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.702,47
831	GAD_003	2.433,03	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.263,07
832	GAD_004	2.411,84	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.842,12
833	GAD_005	2.390,24	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.788,01
834	GAD_006	2.375,99	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	3.823,92
835	GAD_007	2.310,34	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	19.775,24
836	GAD_008	2.583,06	0	2	0	1	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	556,36
837	GAD_009	2.926,10	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	699,32
838	GAD_010	2.744,24	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	405,70
839	GAD_011	2.517,95	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	11.494,52
840	AHR_063	2.486,93	1	2	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	15.768,86
841	AHR_064	2.602,12	3	0	0	0	0	1	0	0	1	0	6	0	0	0	2.944,60
842	AHR_065	2.565,78	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	21.247,39
843	AHR_066	2.776,12	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.837,59
844	AHR_067	2.218,63	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	265,71
845	AHR_068	2.247,88	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	537,78
846	AHR_069	2.271,02	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	300,23
847	AHR_070	2.281,65	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	843,01
848	AHR_071	2.300,53	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.046,71
849	AHR_072	2.214,67	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	567,45
850	AHR_073	2.226,52	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	455,44
851	AHR_074	2.177,66	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	434,19
852	RIE_056	2.171,25	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	432,12
853	RIE_057	2.174,80	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	612,57
854	RIE_058	2.127,57	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	361,18
855	RIE_059	2.212,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	1.270,16
856	RIE_060	2.251,01	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	20.476,84
857	GAD_012	2.252,16	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.740,84
858	GAD_013	2.032,77	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	7.910,05
859	GAD_014	2.043,07	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	10.948,22
860	GAD_015	2.180,65	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	5.130,39
861	AHR_075	2.641,76	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	291,94
862	AHR_076	2.636,80	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.659,56
863	AHR_077	2.381,98	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	393,73
864	AHR_078	2.384,86	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	896,69
865	AHR_079	2.379,04	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.418,91
866	AHR_080	2.125,04	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	492,18
867	AHR_081	2.815,81	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	504,26
868	AHR_082	2.577,53	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	406,85
869	RIE_061	2.287,98	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	392,75
870	RIE_062	2.240,68	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	319,20
871	RIE_063	2.232,46	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	288,30
872	GAD_016	2.014,54	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.434,32
873	UBK_013	2.156,16	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	19.331,94

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
874	AHR_083	2.332,26	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	66.389,53
875	AHR_084	2.237,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	343,46
876	AHR_085	2.220,98	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.381,79
877	AHR_086	2.198,01	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.842,28
878	AHR_087	2.409,93	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.927,32
879	AHR_088	2.409,84	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	752,56
880	AHR_089	2.503,60	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	4.469,79
881	AHR_090	2.448,67	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	301,71
882	AHR_091	2.380,58	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	3.711,81
883	AHR_092	2.434,97	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	769,75
884	AHR_093	2.627,70	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.188,23
887	UBK_014	2.116,28	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	2.199,44
888	AHR_096	2.230,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.069,30
889	AHR_097	2.218,04	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	878,27
890	AHR_098	2.177,69	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	910,25
891	AHR_099	2.177,18	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	1.344,24
892	AHR_100	2.259,02	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	675,64
893	AHR_101	2.564,24	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	2.799,77
894	AHR_102	2.361,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	2.961,76
895	AHR_103	2.443,52	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	5.444,44
896	AHR_104	2.460,92	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.386,50
897	AHR_105	2.484,96	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	1.032,15
898	AHR_106	2.435,02	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.540,70
899	AHR_107	2.409,50	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	5.646,84
900	AHR_108	2.307,20	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	1.357,56
901	AHR_109	2.511,80	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	972,15
902	AHR_110	2.504,99	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	10.797,44
905	RIE_064	2.787,64	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	1.559,68
906	RIE_065	2.757,92	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	392,59
907	AHR_113	2.043,09	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	486,30
908	AHR_114	2.062,05	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	323,91
909	AHR_115	2.114,88	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	285,98
910	AHR_116	2.428,55	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	305,79
911	UBK_015	2.359,39	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	362,28
912	AHR_117	2.239,84	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	11.613,95
913	AHR_118	2.505,93	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	833,60
914	AHR_119	2.512,88	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.067,60
915	AHR_120	2.509,19	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	996,87
916	AHR_121	2.476,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.489,93
917	AHR_122	2.652,56	0	2	0	1	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	512,87
918	AHR_123	2.775,73	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.450,12
919	AHR_124	2.672,66	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	1.261,30
920	AHR_125	2.609,40	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	1	651,57
921	AHR_126	2.399,24	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	991,50
922	AHR_127	2.501,74	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	3.853,79
923	AHR_128	2.389,15	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	324,13
924	AHR_129	2.451,81	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	1.039,31
925	AHR_130	2.464,18	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	3.575,95
926	AHR_131	2.463,48	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	1.181,03
932	RIE_066	2.027,45	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	1.881,75
933	RIE_067	2.218,00	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	1.297,95
934	AHR_137	2.938,90	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	680,45
935	AHR_138	2.563,10	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	655,14
936	AHR_139	2.669,51	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	1.920,26
937	AHR_140	2.782,60	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	566,21

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
938	AHR_141	2.860,02	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6	0	0	0	424,68
941	RIE_068	2.474,20	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	411,18
942	RIE_069	2.457,79	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	1.278,02
943	RIE_070	2.433,41	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	406,78
944	RIE_071	2.362,74	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	468,26
945	RIE_072	2.360,98	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	392,72
946	RIE_073	2.393,76	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	476,02
947	RIE_074	2.367,64	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	799,87
948	RIE_075	2.270,37	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	2.234,60
949	RIE_076	2.243,97	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.940,72
950	AHR_144	2.158,65	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	517,15
951	AHR_145	2.551,71	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	320,53
952	AHR_146	2.660,41	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	1	386,34
956	AHR_150	2.553,16	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	1	757,81
957	RIE_077	2.554,41	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	7.157,00
958	RIE_078	2.510,27	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	4.543,02
959	RIE_079	2.326,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.451,88
960	RIE_080	2.306,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	959,51
961	RIE_081	2.355,90	3	0	0	0	0	1	0	0	2	1	6	0	0	3	442,13
962	RIE_082	2.371,65	3	0	0	0	0	1	0	0	3	1	6	0	0	3	585,14
963	RIE_083	2.268,16	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	255,15
964	RIE_084	2.258,80	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	441,42
965	RIE_085	2.238,27	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.044,22
966	RIE_086	2.248,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.155,91
967	RIE_087	2.555,07	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	636,23
968	RIE_088	2.514,94	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.173,38
969	RIE_089	2.483,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.346,30
970	RIE_090	2.457,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.999,14
971	RIE_091	2.457,33	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	592,51
972	RIE_092	2.525,41	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	539,14
973	RIE_093	2.386,17	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	315,37
974	RIE_094	2.252,73	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.961,29
975	RIE_095	2.472,54	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	783,20
976	RIE_096	2.574,87	1	2	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	1.296,90
977	RIE_097	2.295,59	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.082,69
978	RIE_098	2.301,23	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	3	332,52
979	RIE_099	2.410,14	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.595,99
980	RIE_100	2.216,72	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	5.202,46
981	RIE_101	2.386,54	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	741,95
982	RIE_102	2.343,59	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	2.610,67
983	RIE_103	2.217,17	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	329,58
984	RIE_104	2.319,27	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	381,76
985	RIE_105	2.244,25	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	5.606,66
986	RIE_106	2.246,33	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	4.054,12
987	RIE_107	2.245,50	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	0	4.672,65
988	RIE_108	2.375,12	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	287,92
989	RIE_109	2.375,60	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	562,06
990	RIE_110	2.411,10	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.807,10
991	RIE_111	2.355,16	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	704,47
992	DRA_001	2.423,90	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.180,04
993	DRA_002	2.392,46	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.402,84
994	DRA_003	2.364,49	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	893,14
995	DRA_004	2.348,22	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.620,50
996	DRA_005	2.335,06	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	3.606,83
997	DAR_006	2.339,45	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	6.789,50

OBJECTID	name	elevation	lake_mora	lake_bedro	lake_iceda	lake_lands	lake_anthr	laketype *	gl_contact	gl_watsup	surf_runof	surface runoff *	position	position *	calving	evolution	Shape_Area
998	DRA_007	2.315,13	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.016,29
999	DRA_008	2.337,92	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	0	19.193,48
1000	DRA_009	2.337,30	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	17.420,89
1001	DRA_010	2.208,88	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0	30.222,25
1002	RIE_112	2.165,33	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	3	1.137,28
1003	DRA_011	2.337,82	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	1.003,54
1004	UBK_016	2.404,97	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	618,22
1005	DRA_012	2.403,00	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	337,58
1006	DRA_013	2.406,81	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	6	0	0	3	376,59
1007	DRA_014	2.313,67	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	0	592,94
1008	DAR_015	2.326,39	0	3	0	0	0	2	0	0	2	1	6	0	0	3	10.497,61
1009	UBK_017	2.420,75	0	3	0	0	0	2	0	0	1	0	6	0	0	1	757,68
1010	UBK_018	2.316,95	0	3	0	0	0	2	0	0	3	1	6	0	0	1	1.165,66