

Die Gletscher der Nördlichen Kalkalpen und deren Veränderung in den letzten 30 Jahren mit besonderem Fokus auf den Mieminger Schneeferner, den Eiskarlferner und den Hochglückkarferner

Bachelorarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of science

Eingereicht bei

Univ.-Prof. Dr. Ulrich Strasser

Institut für Geographie, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften

Universität Innsbruck

Seminar mit Bachelorarbeit (716042) SS 24, LV-Leitung: Dr. Rudolf Sailer, Dipl. Geogr. Jutta Kister,
PhD

Vorgelegt von

Susanne Steiner (01627346)

Innsbruck, 11.06.2024

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herr Ulrich Strasser für die Unterstützung und Geduld. Ebenso möchte ich Herr Michael Kuhn für die ambitionierte Unterstützung danken. Herr Christoph Spötl danke ich für die Tipps und die Bereitstellung der Fotografien der Gletscher. Mein Dank gilt auch dem Team des Naturparks Karwendel und den Mitarbeitern des „Land Tirols“. Meine Familie und Freunde unterstützten mich tatkräftig bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Zusammenfassung

Die Nördlichen Kalkalpen, welche das Untersuchungsgebiet darstellen, befinden sich größtenteils in Österreich. Die beobachteten Gletscher liegen in den Gebirgsgruppen Mieminger Kette, Karwendelgebirge, Wettersteingebirge, Dachsteingebirge und den Berchtesgadener Alpen. Aufgrund ihrer vergleichsweise niedrigen Lage ist das Vorkommen von Gletschern in diesen Regionen ungewöhnlich und daher besonders interessant für wissenschaftliche Untersuchungen.

Die spezifisch untersuchten Gletscher, Mieminger Schneeferner, Eiskarlferner und Hochglückkarferner, zeichnen sich durch ihre geringe Größe von bis zu oder weniger als einem Hektar aus. Im Karwendelgebirge befinden sich die Gletscherflächen Eiskarlferner und Hochglückkarferner auf einer Höhe von etwa 2170 bis 2320 Metern. Im Jahr 2022 hatten diese Gletscher eine Ausdehnung von 1,2 bis 1,5 Hektar, was auf einen erheblichen Rückzug hinweist, da sie im Jahr 1993 noch eine Fläche von 4 Hektar beziehungsweise 2 bis 3 Hektar aufwiesen.

Der Mieminger Schneeferner, der zwischen 2375 und 2455 Metern liegt, ist mit einer Eisfläche von 0,8 Hektar der kleinste der untersuchten Gletscher und hat ebenfalls einen starken Rückgang erfahren. Im Jahr 1993 betrug seine Fläche noch 3 Hektar.

Diese Gletscher liegen in den nördlichen Bereichen der Alpen und profitieren von hohen Niederschlagssummen, die sich positiv auf die Massenbilanz auswirken und zum Fortbestehen der kleinen Gletscher in diesen niedrigen Höhen beitragen. Viele der beobachteten Gletscher werden als Kargletscher klassifiziert und sind durch die sie umgebenden hohen Karwände vor Sonneneinstrahlung und Windverwehung geschützt, was die Akkumulation begünstigt. Ein weiterer Faktor, der die Akkumulation erhöht, sind Lawinen, welche auf die Gletscher fallen.

Zusätzlich wurden die Gletscher Nördlicher Schneeferner, Watzmannletscher, Blaueis und Hallstätter Gletscher untersucht. Auch bei diesen Gletschern konnte ein Rückgang festgestellt werden. Aufgrund des sich erwärmenden Klimas wird angenommen, dass die meisten der kleinen österreichischen Gletscher, einschließlich der beobachteten, bis zum Ende des 21. Jahrhunderts gänzlich verschwunden sein werden.

Abstract

The Northern Limestone Alps, which constitute the study area, are mostly located in Austria. The observed glaciers are situated in the mountain groups Mieminger Kette, Karwendelgebirge, Wettersteingebirge, Dachsteingebirge, and the Berchtesgadener Alps. Due to their comparatively low altitude, the presence of glaciers in these regions is unusual and therefore a particularly interesting topic for scientific studies.

The studied glaciers, specifically Mieminger Schneeferner, Eiskarlferner, and Hochglückkarferner, are characterized by their small size of up to or less than one hectare. In the Karwendelgebirge, the glacier surfaces Eiskarlferner and Hochglückkarferner are located at an altitude of approximately 2170 to 2320 meters. In 2022, these glaciers had an area of 1.2 to 1.5 hectares, indicating a significant retreat, as in 1993 they still covered an area of 4 hectares and 2 to 3 hectares, respectively.

The Mieminger Schneeferner, lying between 2375 and 2455 meters, is the smallest of the studied glaciers with an ice surface of 0.8 hectares and has also experienced a strong decline. In 1993, its area was still 3 hectares.

These glaciers are located in the northern parts of the Alps and benefit from high precipitation amounts, which have a positive impact on the mass balance and contribute to the persistence of the small glaciers at these low altitudes. Many of the observed glaciers are classified as cirque glaciers and are protected by the surrounding high cirque walls from solar radiation and wind drift, which favors accumulation. Another factor that increases accumulation are avalanches sliding onto the glaciers.

Additionally, the glaciers Nördlicher Schneeferner, Watzmann Glacier, Blaueis, and Hallstätter Glacier were studied. A decline was also observed in these glaciers. Due to the warming climate, it is assumed that most of the small Austrian glaciers, including those observed, will have completely disappeared by the end of the 21st century.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Abstract	4
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	10
Einleitung.....	11
Forschungsinteresse	13
Methodik	14
1. Basisinformationen über die Nördlichen Kalkalpen	17
1.1. Karwendelgebirge	19
1.1.1. Eiskarlferner und Hochglückkarferner	23
1.2. Mieminger Kette	26
1.2.1. Mieminger Schneeferner	29
2. Allgemeine Beschreibung von Gletschern.....	30
3. Gletschersituation in den Nördlichen Kalkalpen	33
3.1. Dachsteingebirge	33
3.2. Wettersteingebirge	35
3.3. Berchtesgadener Alpen.....	37
4. Gletschersituation des Eiskarlferners und des Hochglückkarfeners	42
Entwicklung vor 1993	42
Entwicklung ab 1993	43
5. Gletschersituation des Mieminger Schneeferners	51
Entwicklung vor 1993	51
Entwicklung ab 1993	53
6. Zukünftige Gletscherentwicklung in den Alpen	60
Quellen	63

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: bearbeitete Grafik. Datenquelle: Google (2024): Google maps. <https://www.google.com/maps/@47.6683207,12.8992072,10.63z/data=!5m1!1e4?entry=ttu> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 2: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 3: bearbeitete Grafik. Datenquelle: KOMPASS-Karten (o.J.): Digitale Karte. Wanderkarte. <https://www.kompass.de/wanderkarte/> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 4: Geographie Innsbruck. Tirol Atlas (o.J.): Topographische Karte. <https://tirolatlas.uibk.ac.at/maps/interface/topo.py/index?lang=de> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 5: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Offene Daten Österreich (o.J.): data.gv.at. <https://www.data.gv.at/> [Zugriff am 11.06.2024] & Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 6: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 7: Naturpark Karwendel (o.J.): Gebietsgrenzen und Steckbrief. <https://www.karwendel.org/naturpark-karwendel/gebietsgrenzen/#1654111236244-628e54ff-c706> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 8: Geologische Bundesanstalt (Hrsg.) (2013): Geologie von Österreich – Postkarte. – Geol. B.-A., Wien.
- Abbildung 9: Orlik A., Rohrböck A., Müller P., Tilg A.-M. (2024): Klimarückblick Tirol 2023, Wien. Klimastatusbericht Österreich 2023, Klimarückblick Tirol, Hrsg. CCCA 2024. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Klimarueckblick-Tirol-2023.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 10: Orlik A., Rohrböck A., Müller P., Tilg A.-M. (2024): Klimarückblick Tirol 2023, Wien. Klimastatusbericht Österreich 2023, Klimarückblick Tirol, Hrsg. CCCA 2024. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Klimarueckblick-Tirol-2023.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 11: Fotografie von Christoph Spötl, 2018, zur Verfügung gestellt
- Abbildung 12: Google (2024): Google Earth. <https://earth.google.com/web/@0,-2.078,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r> [Zugriff am 11.06.2024]

- Abbildung 13: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Offene Daten Österreich (o.J.): data.gv.at. <https://www.data.gv.at/> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 14: KOMPASS-Karten (o.J.): Digitale Karte. Wanderkarte. <https://www.kompass.de/wanderkarte/> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 15: Geologische Bundesanstalt (Hrsg.) (2013): Geologie von Österreich – Postkarte. – Geol. B.-A., Wien.
- Abbildung 16: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 17: Fotografie von Ulrich Strasser zur Verfügung gestellt
- Abbildung 18: World Heritage Experience Switzerland (o.J.): Wieso fließen Gletscher?. <https://ourheritage.ch/artikel/wieso-gletscher-fliesen> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 19: Blue Sky Wetteranalysen Traunmüller u. Reingruber OG, Dachsteingletscher.info (o.J.): Dachsteingletscher. <https://dachsteingletscher.info/das-projekt/dachsteingletscher/> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 20: Eigene Darstellung. Verwendete Software: Excel (2024). Datenquelle: Österreichischer Alpenverein (o.J.): Gletschermessdienst. <https://www.alpenverein.at/portal/museum-archiv/gletschermessdienst/index.php> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 21: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 22: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 23: Eigene Darstellung. Verwendete Software: Excel (2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 24: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 25: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]

- Abbildung 26: Eigene Darstellung. Verwendete Software: Excel (2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 27: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 28: Eigene Darstellung. Verwendete Software: ArcGIS Pro (ESRI, 2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 29: Eigene Darstellung. Verwendete Software: Excel (2024). Datenquelle: Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 30: Fotografie von Christoph Spötl, 2023, zur Verfügung gestellt
- Abbildung 31: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 32: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 33: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 34: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 35: Orlik A., Rohrböck A., Müller P., Tilg A.-M. (2024): Klimarückblick Tirol 2023, Wien. Klimastatusbericht Österreich 2023, Klimarückblick Tirol, Hrsg. CCCA 2024. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Klimarueckblick-Tirol-2023.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 36: Selbst aufgenommene Fotografie, 29.04.2024
- Abbildung 37: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 38: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 39: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 40: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]

- Abbildung 41: GeoSphere – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (o.J.): Zukunft. (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafolgen/gebirgsgletscher/zukunft>) [Zugriff am 11.06.2024]
- Abbildung 42: Orlik A., Rohrböck A., Müller P., Tilg A.-M. (2024): Klimarückblick Tirol 2023, Wien. Klimastatusbericht Österreich 2023, Klimarückblick Tirol, Hrsg. CCCA 2024. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Klimarueckblick-Tirol-2023.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
- Abbildung 43: Umweltbundesamt (2024): Klimaszenarien. <https://www.klimawandelanpassung.at/kwa-allgemein/kwa-klimaszenarien> [Zugriff am 11.06.2024]

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Tabelle 2: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Tabelle 3: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Tabelle 4: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Tabelle 5: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
- Tabelle 6: Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]

Einleitung

Gletscher sind wichtige und einzigartige Landschaftsmerkmale und dienen unter anderem als wichtige Süßwasserspeicher oder fungieren als Klimaarchive. Aufgrund von diesen und weiteren Punkten ist das fortschreitende Gletscherschmelzen, welches, bis zu einem gewissen Grad, ein natürliches Ereignis ist, kritisch zu beobachten und sorgfältig zu dokumentieren. Auch die Alpen sind gekennzeichnet durch etliche vergletscherte Gebiete, die verschiedene Rückgänge aufzeigen. In den Gebirgszügen der Alpen nördlich des Flusses Inn, auch Nördliche Kalkalpen genannt, können ebenfalls Gletscher gefunden werden, trotz der vergleichsweise geringen Höhen. Das Karwendelgebirge liegt in Tirol nördlich von Innsbruck und ist bekannt für etliche Wanderwege und Klettersteige. Gletscher dahingegen sind kein charakteristisches Merkmal des Karwendelgebirges, jedoch können auch hier, zwei gefunden werden. Die Mieminger Kette grenzt im Westen an das Karwendelgebirge an und dort befindet sich ebenfalls ein kleiner Gletscher, der im Folgenden näher betrachtet wird. Diese beiden Gebirgsgebiete befinden sich in den Nördlichen Kalkalpen, worauf ebenfalls eingegangen wird. Die aktuelle Gletschersituation in den Nördlichen Kalkalpen wird untersucht und die Veränderung der Gletscher in den vergangenen 30 Jahren wird beobachtet. Daraus wird eine Prognose aufgestellt, wie sich die Gletscher in Tirol, speziell die drei näher beobachteten kleinen Gletscher entwickeln werden. Zwei der untersuchten Gletscher, die des Karwendelgebirges, befinden sich südlich der Eng Alm im Gebiet rund um die Eiskarlspitze. Diese Gebirgsspitze als auch das Hochglückkar wirken namensgebend für die beiden Kleinstgletscher. Ein weiterer beobachteter Gletscher befindet sich nördlich von Stams in der Mieminger Kette an der südlichen Hangseite der östlichen Griesspitze. Im Folgenden werden diese drei Gletscher analysiert, die bisher weitestgehend nur in Fachspezifischen Kreisen rund um Gletscherforschung der Alpen Anklang gefunden haben.

Eine Beschreibung und Analyse dieser Gletscherfelder wurde von Michael Kuhn im Jahr 1993 publiziert. Ein Teil der vorliegenden Arbeit basiert auf den Forschungen und Publikationen von Michael Kuhn. Es soll untersucht werden wie sich die Gletscher in den letzten 30 Jahren, von dem Jahr 1993 bis zum Jahr 2023, verändert haben hinsichtlich ihrer Ausdehnung und welche Merkmale entscheidend für einen schnellen oder langsameren Rückgang sind beziehungsweise, vermutlich, waren.

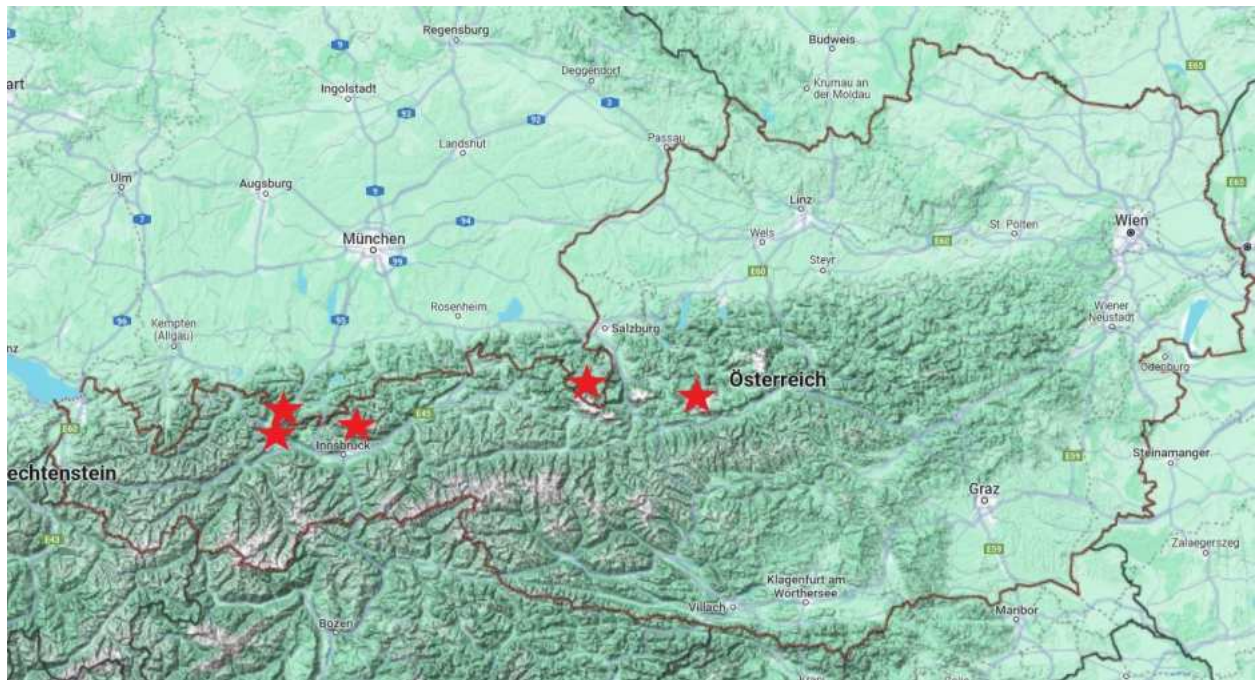


Abbildung 1: Verteilung der beobachteten Gletscher (Quelle: bearbeitete Grafik; Google maps)

Außerdem wird auf weitere gut erforschte Gletscher der Nördlichen Kalkalpen eingegangen. Der Hallstätter Gletscher in dem Dachsteingebirge, das am östlichen Gebirgsrand liegt, wird untersucht. Es werden auch drei Gletscher in Bayern analysiert, da sie ebenfalls Teil der Kalkalpen sind. Der Watzmann Gletscher und das Blaueis in den Berchtesgadener Alpen und der Nördliche Schneeferner auf der Zugspitze werden beobachtet. Durch die folgende Karte Österreichs (Abb. 1) und den sich darin befindlichen roten Sternen werden die Positionen der Untersuchungsobjekte visualisiert.

Forschungsinteresse

Anhand von Gletschern können Aussagen über die vergangenen Klimasituationen geäußert werden, folgend wirken sie als Klimazeugen. Diese Klimadaten können genutzt werden, um zu prognostizieren, wie sich die Gletscher in der Zukunft entwickeln werden. Gletscher wirken ebenfalls als Süßwasserspeicher, sie verändern nachhaltig Landschaften und sind ein wichtiger Bestandteil des Ökosystems. Sie wirken auch als Lebensraum und sind essentiell für bestimmte Tier- und Pflanzenarten wie zum Beispiel Schnee- und Eisalgen, die innerhalb eines Gletschers gefunden werden können oder Pflanzenarten, die das Gletschervorfeld besiedeln wie das Fetthennen-Steinbrech. (Naturpark Ötztal, o.J., o.S.) Der fortschreitende Klimawandel wird an den zurückschmelzenden Gletscherzungen verdeutlicht und kann mit Hilfe der Gletscher als wissenschaftlich belegte Tatsache öffentlichkeitswirksam gemacht werden. Da Gletscher zeitverzögert auf Klimaänderungen beziehungsweise Erwärmungen reagieren, können Temperaturerhöhungen der letzten Jahrzehnte an den heutigen Schmelzverläufen sichtbar gemacht werden. (GeoSphere, o.J.)

Ebenfalls von Bedeutung sind die bestimmten Jahresschichtungen der Gletscher. Anhand von Schwefeleinschlüssen und beispielsweise Stäuben kann die Klimasituation seit Entstehung des untersuchten Gletschers festgestellt werden. Die vergangenen atmosphärischen Temperaturen lassen sich durch Untersuchungen von Isotopeneinschlüssen ebenfalls rekonstruieren. Wenn die vergletscherten Gebiete verschwinden, gehen diese wichtigen und einzigartigen Daten mehrerer vergangener Jahrhunderte, neben der Funktion als Wasserspeicher, Lebensraum oder auch ästhetisch beeindruckendem Gebiet, verloren. Der Schutz der Gletscher ist aus diesen Gründen von hohem Stellenwert der Gletscherforschung und sollte in der öffentlichen Wahrnehmung fest verankert werden. Das Abschmelzen kann jedoch nur begrenzt gestoppt werden, da die Temperaturen in den letzten Jahren sehr stark angestiegen sind, worüber ausführlicher in dem letzten Kapitel diskutiert wird. (Glawion, et al., S. 178)

Methodik

In der vorliegenden Arbeit wurde von verschiedenen wissenschaftlichen Arbeitsmethoden Gebrauch gemacht. Es wurde ein Interview mit Michael Kuhn, dem Autor von zwei bedeutenden Publikationen, auf denen diese Arbeit beruht, geführt. Weitere schriftliche Arbeiten von Michael Kuhn wurden indirekt zitiert beziehungsweise trugen wesentlich zum inhaltlichen Verständnis bei. Dieses Interview hatte den Charakter eines Experteninterviews, jedoch war der Grad der Strukturierung eher niedrig, da nur ein paar Interviewfragen vorab verfasst wurden. Diese Art des Gesprächs wurde ausgewählt, da es sich gut eignet, um der interviewten Person Platz für eigene Gedankenzüge zu geben. Dadurch können spezielle Aspekte des Themas zur Sprache kommen, die dem/r Interviewer/in fremd sind. An einen gewissen problemzentrierten Leitfaden wurde sich jedoch gehalten. Das Gespräch wurde anhand von offenen Fragen gestaltet und aufgenommen. (Meier Kruker & Rauh, 2005, S. 64f)

Zur Erstellung der verschiedenen Karten des Berichts wurde das Programm „ArcGIS Pro“ verwendet. Hierbei wurden zahlreiche Verbindungen zu WMS-Servern erstellt sowie verschiedene Datenverzeichnisse heruntergeladen. Das Programm „ArcGIS Pro“ wurde von dem Softwarehersteller ESRI erstellt und dient zur Erstellung von GIS-Projekten. GIS bedeutet Geoinformationssystem und stellt ein System dar, mit welchem man die Erde untersuchen, dokumentieren oder beispielsweise auch visualisieren kann. (ESRI, o.J., o.S.)

Außerdem wurden verschiedene Institutionen kontaktiert und um ihre Expertise gebeten. Der Naturpark Karwendel als auch die Abteilung Geoinformation des Amtes der Tiroler Landesregierung half mit Hinweisen zu dieser Thematik zur Fertigstellung bei. Das Amt der Tiroler Landesregierung verwies auf deren Website „Geoinformationen & Karten | Land Tirol“, von welcher etliche Geodaten zur Erstellung der verschiedenen GIS-Projekte heruntergeladen wurden. Die verwendeten Daten lagen als shapefile, Raster- oder Vektordatei vor. Der „Naturpark Karwendel“ verwies auf eine Publikation von Herr Christoph Spöttl, die ebenfalls in der Recherchearbeit berücksichtigt wurde.

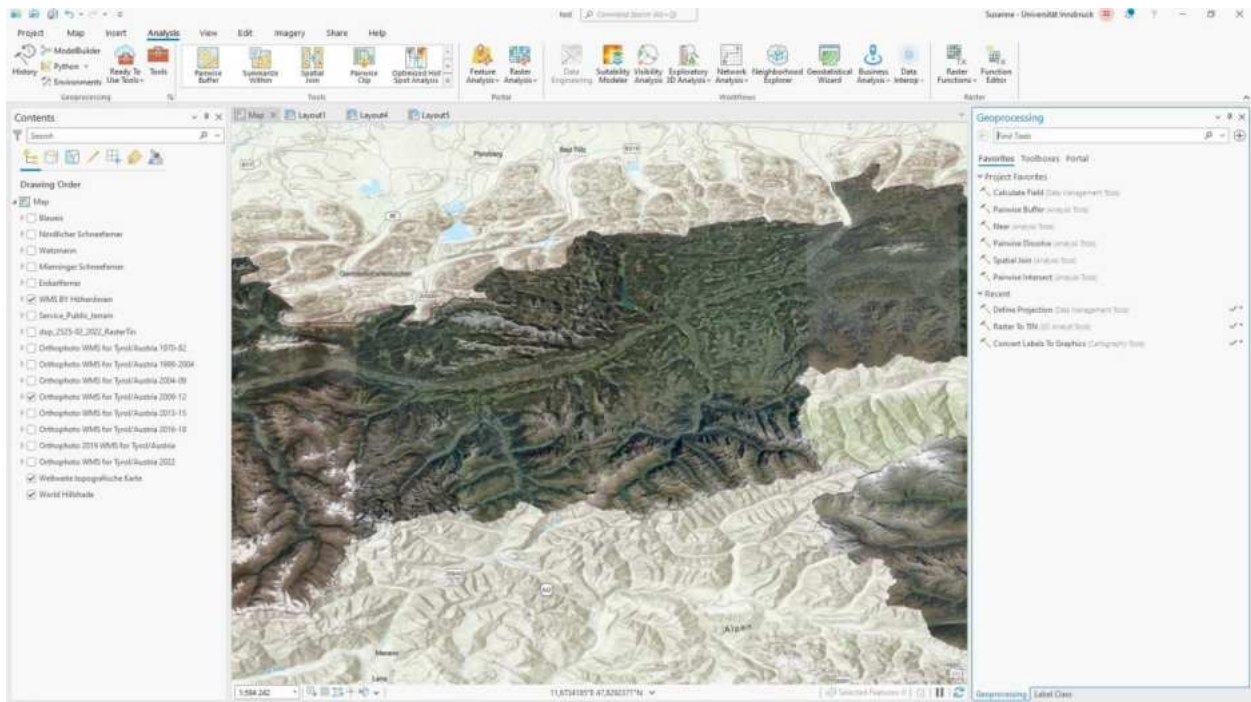


Abbildung 2: selbst erstelltes GIS-Projekt das Grundlage für die schriftliche Ausarbeitung ist (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Land Tirol)

Ebenfalls genutzt wurden Orthophotos und historische Luftbilder von der Abteilung „Geoinformation“ des Amtes der Tiroler Landesregierung verwendet. Ein Orthophoto setzt sich aus den einzelnen Luftbildern zusammen, welches ein „vollständig entzerrtes und georeferenziertes“ (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.) Bild der Landschaft ergeben. Die Grundlage von dieser Entzerrung bildet ein aktuelles Geländemodell des beobachteten Bereichs, das eine Auflösung von 5m hat. Die Landschaftselemente wie Häuser beispielsweise, welche in einer gewissen Höhe enden also sich nicht vollständig auf der Erdoberfläche befinden, erscheinen auf dem Orthophoto „gekippt“. Dies wird als „Bildsturz“ bezeichnet. (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.) Die Website, auf welcher diese Daten gefunden werden können, heißt „Land Tirol“. Die dort verfügbaren Orthophotos besitzen eine Auflösung von 20 cm und wurden aus digitalen Luftbildern zusammengesetzt. Es können shapefiles zu den Befliegungsjahren, Blattsnitte M28 oder Blattsnitte M31 heruntergeladen werden. Die aktuellen Orthophotos sind von 2023 und umfassen das Gebiet von Telfs bis Mauterhorn am Brenner und den gesamten westlichen Teil Tirols. Der östlichste Bereich Tirols bis Kufstein und Osttirol wurde 2021 beflogen, wobei eine neue Befliegung 2024 geplant ist und der restliche mittlere Teil Tirols wurde im Jahr 2022 aufgenommen. Es werden ungefähr alle 3 bis 4 Jahre neue Befliegungen durchgeführt und Orthophotos ermittelt. Diese Orthophotos stehen als WMS-, WMTS-Server zur freizugänglichen Verfügung und zusätzlich ist eine WMTS-Orthophoto Verbindung für ganz Österreich verfügbar. Der WMS-Server wurde für die Forschungen dieser Arbeit verwendet, da hier auch historische Orthophotos hinterlegt sind. So konnten die vergangenen Gletscherflächen betrachtet werden. (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.)

Luftbilder werden senkrecht häufig von Flugzeugen aus gemacht und stellen die Landschaft dar. Das Amt der Tiroler Landesregierung besitzt einen Laser- und Luftbildatlas, in welchem Luftbilder bis zu dem Jahr 1946 gefunden werden können. Der genaue Zeitpunkt der Erstellung ist jeweils bekannt. Bis zu dem Jahr 2009 wurden die Bilder analog aufgenommen, danach wurden sie digital erfasst und eine Erweiterung der Bilder mit einem Color-Infrarot-Luftbild (CIR) wurde eingeführt. Ein CIR bildet das Pflanzenvorkommen des jeweiligen Bereichs ab und kann beispielsweise in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Früher wurden die Bilder in schwarz-weiß aufgenommen, später wurden Farbluftbilder (RGB) erstellt. (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.)

Zusätzlich wurde von dem Digitalen Geländemodell (DGM) und dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) von der Seite „Land Tirol“ Gebrauch gemacht. Die Erstellung eines Digitalen Oberflächen- oder Geländemodells benötigt den Einsatz eines Lasers, dieser misst die Erdoberfläche ab und zeichnet die Entfernung des Laserstrahls bis zu einer reflektierenden Oberfläche auf. So entsteht ein Modell des Geländes. Die Auflösung eines solchen Modells liegt bei den von dem Amt der Tiroler Landesregierung erstellten Daten bei mindestens einem Meter. Als Laserscanning wird dieses Vorgehen bezeichnet, wobei die aktuellen Vermessungen Tirols von 2017 bis 2021 reichen. Das DGM besteht aus den Messpunkten, die bis zum Erdboden gelangt sind und bildet Vegetation oder kleinere Gebäude beispielsweise nicht ab. Das DOM andererseits besteht aus allen gemessenen Punkten und bildet so die Bedeckung der Erdoberfläche wieder. In Tirol werden seit dem Jahr 2005 Laserscans durchgeführt. Die Daten der DGM und DOM stehen auf der Website in dem Geotiff Format zur Verfügung und ein Datensatz, der die Höhenlinien in einem Meter Abstand enthält, der vom Datentyp dxf ist. Zusätzlich ist ein WMS-, als auch ein WCS-Server verfügbar. Die Schummerungen der Modelle können ebenfalls betrachtet werden. (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.)

1. Basisinformationen über die Nördlichen Kalkalpen

Die Nördlichen Kalkalpen sind Teil der Alpen und befinden sich zu ihrem größten Teil auf österreichischem Staatsgebiet. Zwei der untersuchten Gletscher, der Nördliche Schneeferner auf der Zugspitze und der Watzmann Gletscher in den Berchtesgadener Alpen, liegen allerdings in dem deutschen Teil der Nördlichen Kalkalpen. Das große Gebirgsgebiet reicht ungefähr von Bludenz in Vorarlberg bis beinahe nach Wiener Neustadt im Osten Österreichs. (GeoSphere, o.J., o.S.)

Dieses Gebiet wird unterteilt in verschiedene Gebirgsgruppen wie das Karwendelgebirge oder die Mieminger Kette, welche auch Mieminger Gebirge genannt werden kann. In diesen Gebirgsgruppen befinden sich die drei Gletscher, auf denen der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt: der Eiskarlferner, der Hochglückkarferner und der Mieminger Schneeferner. (Kuhn, 1993, S.85)

In Abbildung 3 sind die beiden Gebiete, Mieminger Kette mit einem blauen Rechteck und Karwendelgebirge mit einem roten Rechteck, hervorgehoben worden.



Abbildung 3: Mieminger Kette und Karwendelgebirge (Quelle: bearbeitet Grafik; KOMPASS-Karten)

Eine Übersichtskarte der topographischen Erhebungen von Österreich wurde eingefügt, um einen Teil der Ausdehnung der Alpen zu visualisieren und aufzuzeigen, wo der östliche Rand der Nördlichen Kalkalpen liegt (Abb. 4). Anhand dieser Darstellung kann ebenfalls erkannt werden, dass die Bereiche der Nördlichen Kalkalpen niedriger liegen als die Zentralalpen wie beispielsweise den Ötztaler Alpen. In dem westlichen Bereich der Nördlichen Kalkalpen befindet sich deren höchster Gipfel, die Parseierspitze mit 3036 Metern. Sie ist in den Lechtaler Alpen Nahe Landeck zu finden. (Seibert, 2008, S. 15)



Abbildung 4: Erhebungen Österreichs (Quelle: Geographie Innsbruck)

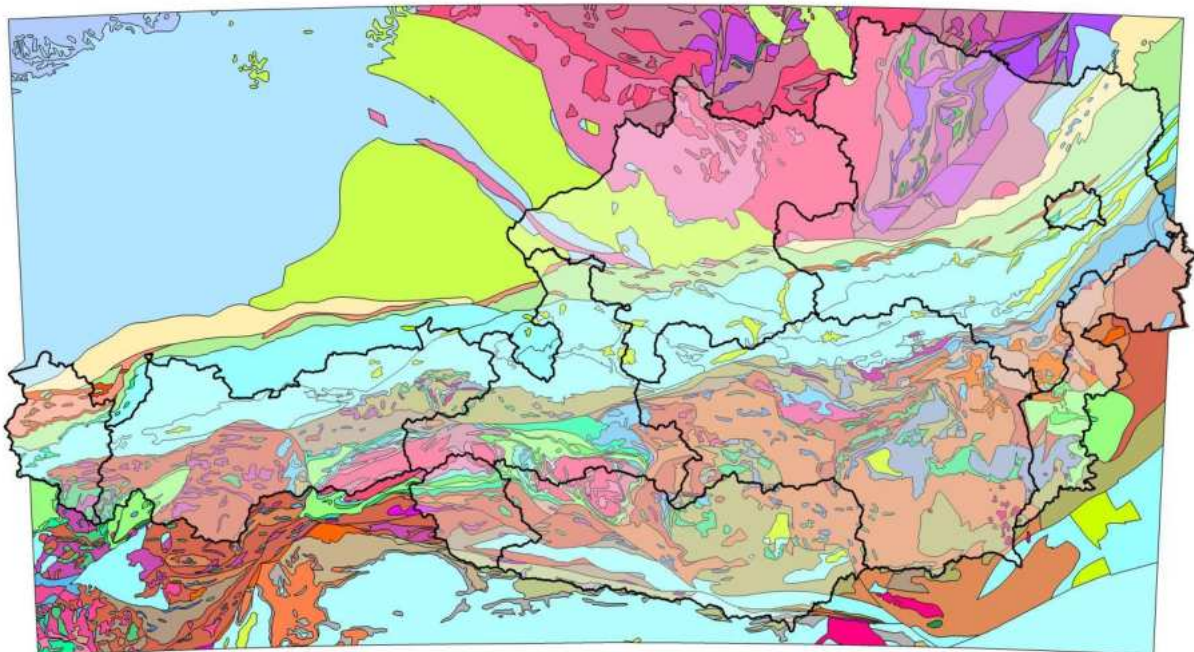


Abbildung 5: Geologische Karte Österreichs mit eingezeichneten Bundesländergrenzen (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; data.gv.at & Land Tirol)

1.1. Karwendelgebirge

Das Karwendelgebirge liegt nord-östlich von Innsbruck und erstreckt sich von Scharnitz bis zum Achensee west-östlich gesehen. Das Gebiet reicht im Norden bis zum Isartal bei Wallgau und im Süden bis zum Inntal. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2006, S. 1) Der Großteil der Gebirgskette liegt in Österreich, in den Tiroler Bezirken Schwaz, Innsbruck-Stadt und Innsbruck-Land. Es umfasst insgesamt neun Tiroler Gemeinden. (Amt der Tiroler Landesregierung, o.J., o.S.) Der restliche Flächenanteil befindet sich in der angrenzenden Bundesrepublik Deutschland, im südlichen Teil von Bayern. Das Gebirge wird im Westen von dem Wettersteingebirge begrenzt und im Osten von dem Rofan. Das gesamte Karwendelgebirge nimmt eine Fläche von etwa 900 km² ein und weist einen niedrigen Besiedelungsgrad auf im Vergleich zu den Tiroler Tälern. (Klier, 2011, S.16)

Der bayrische Teil des Karwendelgebirges hat eine ungefähre Ausdehnung von 210 km² und der höchste Punkt ist die Östliche Karwendelspitze mit 2538 m. Ungefähr die Hälfte des Gebiets wird von dem Bayerischen Landesamt für Umwelt als schützenswertes Biotop ausgeschrieben. Auwald, Magerrasen oder Latschengebüsch sind Beispiele, der dort vorkommenden Biotope. Eine Vielzahl von verschiedenen Pflanzen ist hier angesiedelt, wie die Zwergprimel oder die Edelraute. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2006, S. 1-7)

Relief des Karwendelgebirges (Tirol)

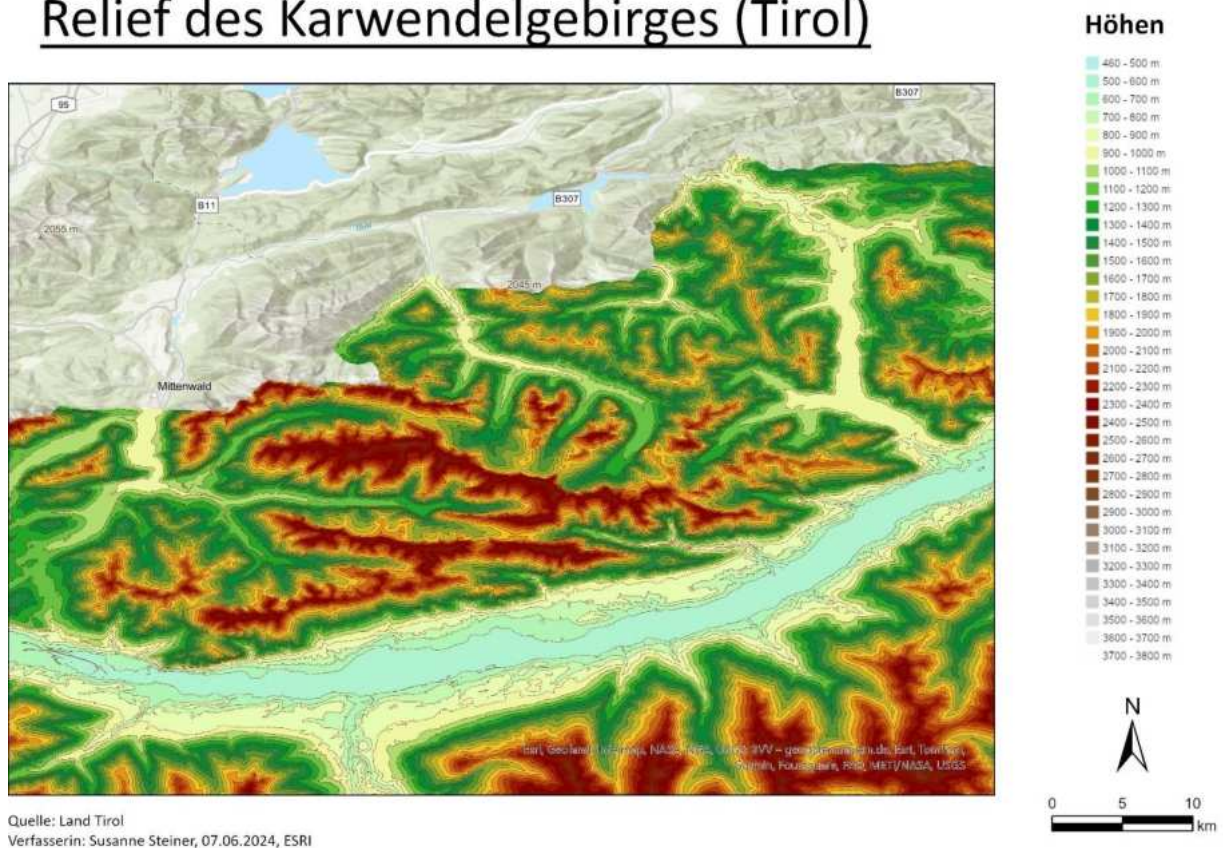


Abbildung 6: Karte des Reliefs vom Karwendel, mit den eingefärbten Höhenlinien und Höhenstufen (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024: Land Tirol)

Ein großer Teil des Karwendelgebirges ist Teil des „Naturparks Karwendel“. Dieser Naturpark ist ein Schutzgebiet für die dort vorkommenden Tiere und Pflanzen und bedeckt eine Fläche von 739 km² (Abb.7). Es ist der größte Naturpark Österreichs und wurde im Jahr 1928 gegründet. Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete und Ruhegebiete sind die drei Kategorien der Schutzzräume dieses Naturparks. Das Tal am Berghang der Eiskarlspitze, das Engtal, gehört dem „Landschaftsschutzgebiet Großer Ahornboden“ an, welches geprägt ist durch traditionelle Landwirtschaft und den bis zu mehreren Jahrhunderten alten Ahornbäumen. (Naturpark Karwendel, o.J., o.S.)

Die höchste Erhebung des Karwendelgebirges ist die Birkkarspitze, die eine Höhe von 2749 Meter erreicht. Oberhalb von 2700 Metern liegen nur drei weitere Gipfel, der Große Bettelwurf mit einer Höhe von 2725 m, der Westgipfel der Ödkarspitzen auf 2711 m und die Kaltwasserkarspitze auf einer Meereshöhe von 2733 m. Das Karwendelgebirge kann weiter untergliedert werden in etliche Gebirgsgruppen wie der Erlspitzgruppe, der Inntalkette, Nördliche Karwendelkette, Falkengruppe oder dem Sonnjochkamm. Die beiden folgenden näher untersuchten Gletscher, die bei der Eiskarlspitze und der Spritzkarspitze liegen, befinden sich in der Hinterautal-Vomper-Kette. (Klier, 2011, S. 202)

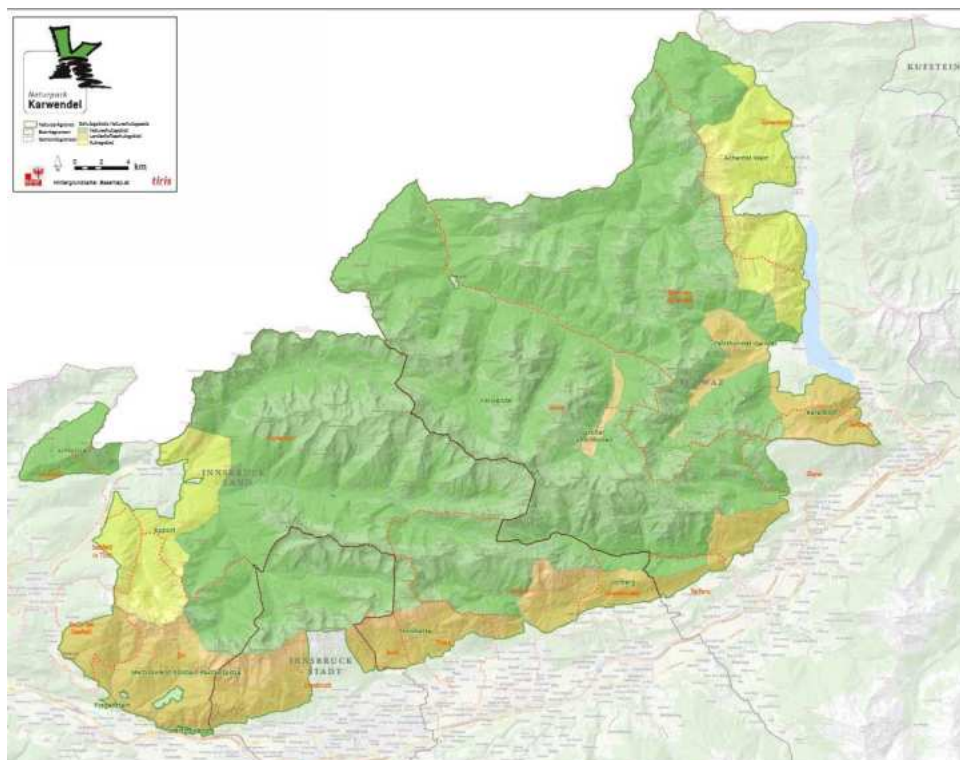


Abbildung 7: Ausdehnung des „Naturpark Karwendel“ (Quelle: Naturpark Karwendel)

Da das Karwendelgebirge Teil der Nördlichen Kalkalpen ist, ist dessen Geologie geprägt von Kalkstein und Dolomit. In Abbildung 8 kann das Gesteinsvorkommen erkannt werden. Der auffällige hellblaue Bereich

der Abbildung weist auf eben die bereits genannten beiden Gesteinsarten hin. Es kommen weitere Gesteine vor, wie Mergelstein, Tonschiefer und Sandstein. (Geologische Bundesanstalt, 2013, o.S.) Der Untergrund des Wettersteinkalksteins bildet Anstehendes Hauptdolomit. (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2006, S. 1f)

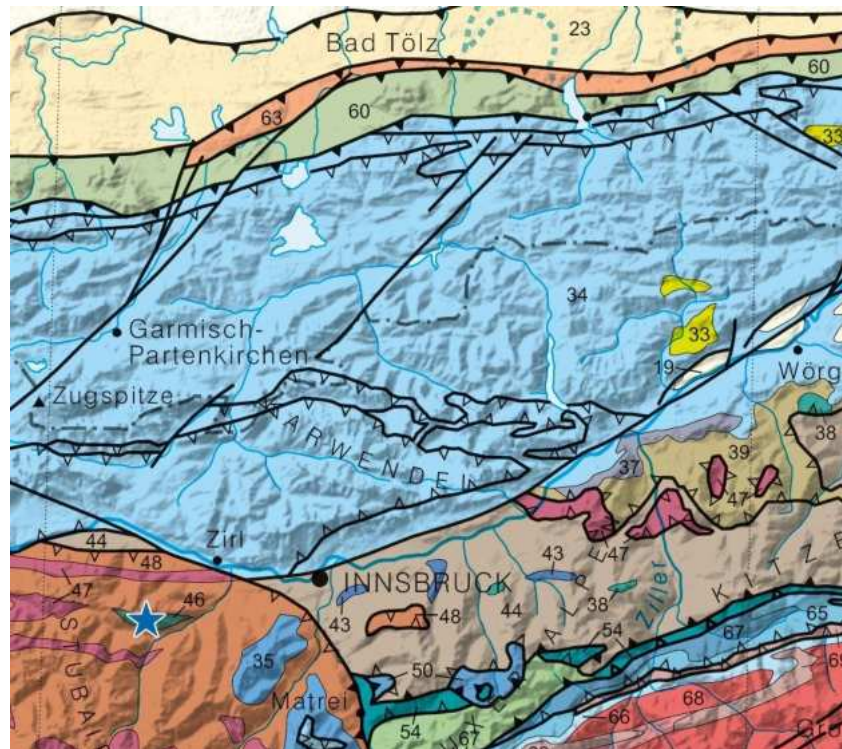


Abbildung 8: Geologie vom Karwendelgebirge, Ausschnitt der geologischen Übersichtskarte Österreichs (Quelle: Geologische Bundesanstalt, 2013)

Der aufsummierte Niederschlag des Karwendelgebirges lag im Jahr 2023 zwischen 2000 und 2500 mm, dies entspricht im Vergleich zur Referenzperiode von 1961-1990 einer Abweichung von +20% bis +35%. Es kam somit im Jahr 2023 zu einer erhöhten Niederschlagsmenge. (Orlik et al., 2024, S. 8) Zu beobachten sind erhöhte Niederschlagswerte in den nördlichen Gebirgen des Inns und niedrigere auf der südlichen Seite. In Abbildung 9 kann ein Anstieg des Niederschlags in Österreich seit ungefähr dem Jahr 2000 erkannt werden.

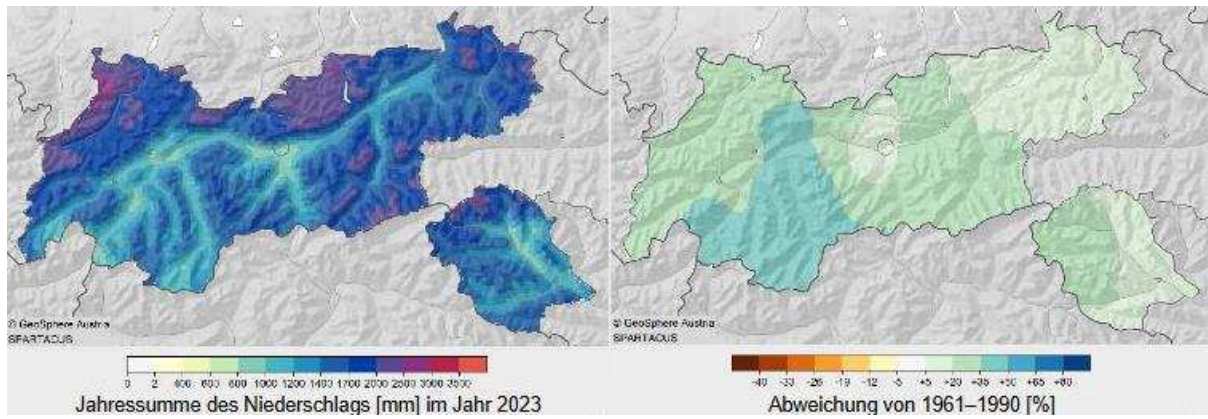


Abbildung 9: Niederschlagswerte in mm von Tirol im Jahr 2023 im Vergleich zu dem Zeitraum 1961 – 1990 (in %) (Quelle: Orlik et al., 2024)

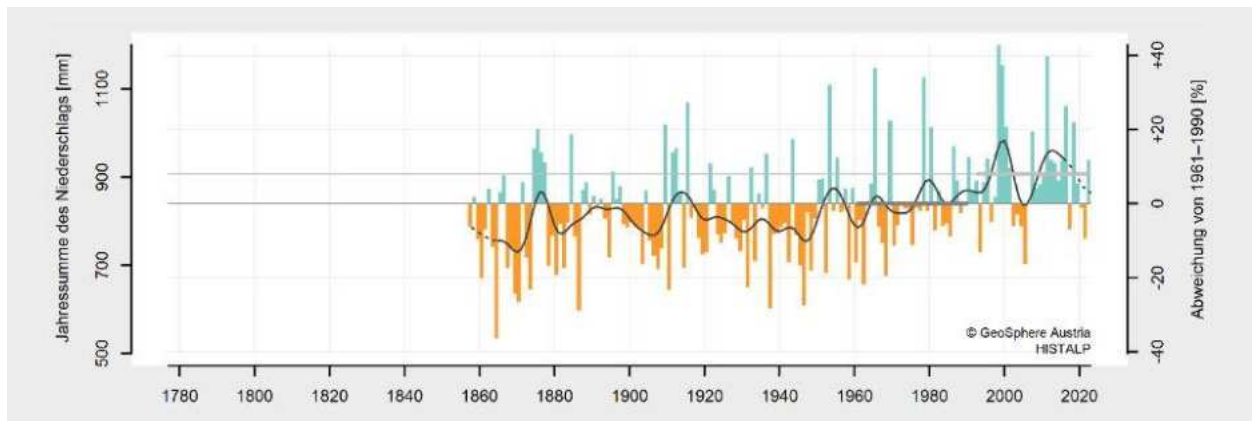


Abbildung 10: Niederschlagswerte in mm von Österreich ab dem Jahr 1860 bis 2022 und die Abweichung zu den Jahren 1961 – 1990 (in %) (Quelle: Orlik et al., 2024)

1.1.1. Eiskarlferner und Hochglückkarferner

Im Karwendelgebirge befinden sich zwei der untersuchten Kleinstgletscher, der Eiskarlferner und der Hochglückkarferner. Die beiden Gletscher liegen jeweils in einem Kar, welche namensgebend wirken und befinden sich in der Schwazer Gemeinde Vomp. Die Gletscher befinden sich an den Koordinaten 47°23' N und 11°33' E. Zwischen der Eiskarlspitze (2613 Meter über Meereshöhe) und der Spritzkarspitze (2605 Meter über Meereshöhe) befinden sich zwei kleine Mulden, die als EiskarlIn bezeichnet werden und Kare sind. Die Hänge der beiden Gebirgsspitzen grenzen am nördlichen Hangende das Engtal ab, welches in das Rißtal mündet. Im östlichen Eiskarl liegt einer der beiden einzigen Gletscher im Karwendelgebirge, der Eiskarlferner. Der westliche Eiskarl zeichnet sich dahingegen nicht durch einen Gletscher aus, dennoch ist auch hier ein Eisfleck zu finden. In dem Hochglückkar, das östlich der Eiskarlspitze ist, liegt das andere Untersuchungsobjekt, der Hochglückkarferner. Die Gebirgserhöhung Hochglück ist auf einer Höhe von 2572 m verortet. (Klier, 2011, S. 244 & 247)

Die Namen dieser beiden Gletscher stammen von Michael Kuhn und wurden aus einem Bericht, welcher sich mit den Gletschern im Karwendel befasst und von ebengenannten Autor verfasst wurde, übernommen. (Kuhn, 1993, S. 86)

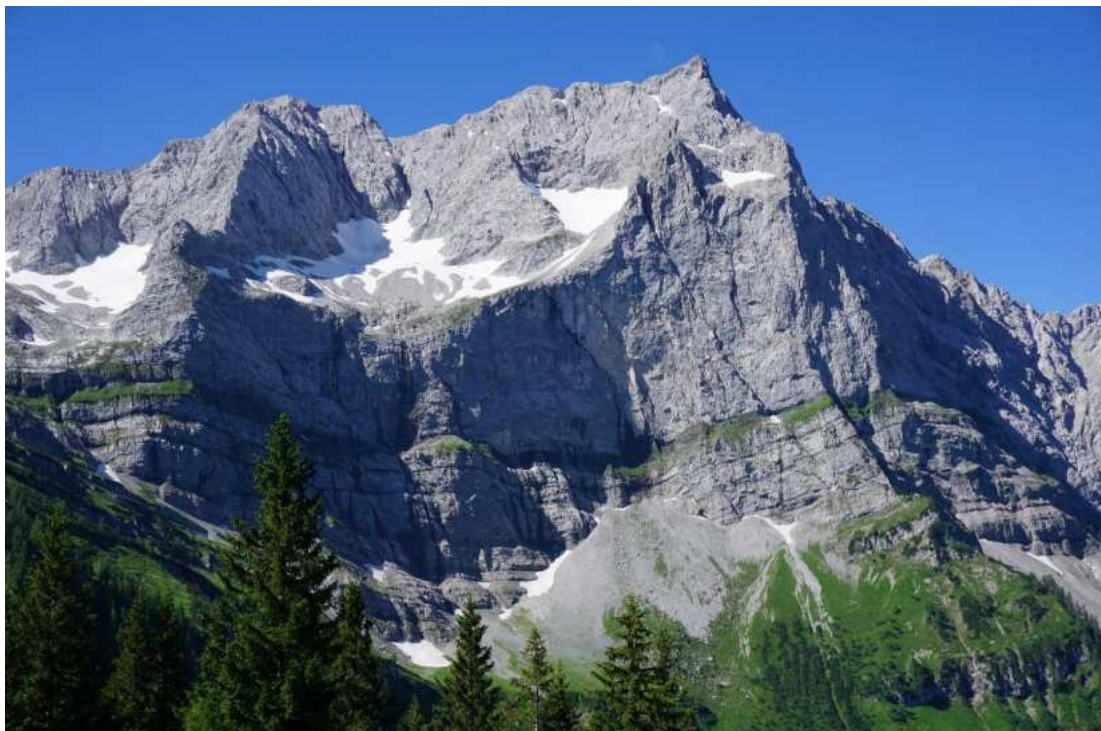


Abbildung 11: Hochglückkar, Eiskarlspitze, EiskarlIn, Spritzkarspitze (Quelle: Spötl, 2018)

In Abbildung 12 ist auf der linken Bildseite das Hochglückkar und der Hochglückkarferner und rechts die beiden Eiskarln mit dem Eiskarlferner in der Bildmitte. Von links nach rechts gesehen sind die beiden Gebirgsspitzen Eiskarlspitze und Spritzkarspitze zu erkennen. (Kuhn, 1993, S. 85ff)



Abbildung 12: Lage der Gipfel rund um die beiden Gletscher (Quelle: Google Earth, 2024)

Das obere Ende des Eiskarlfernens ist auf einer Meereshöhe von ungefähr 2340 Metern, der Hochglückkarferner liegt etwas niedriger bei 2310 Metern. Eine niedrige Sonneneinstrahlung aufgrund der nördlichen Exposition des Eiskarlfernens trägt dazu bei, dass der Gletscher weiterhin besteht. Die nord-nord-östliche Exposition des Hochglückkarfernens hat denselben positiven Effekt. Beide Gletscher besitzen eine Neigung der Eisoberfläche von ungefähr 35 Grad. (Kuhn, 1993, S. 86)

Da der Eiskarlferner und der Hochglückkarferner auf der nördlichen Gebirgsseite liegen ist ein Aufstieg auf dieser Seite am kürzesten, jedoch sind in dem Karwendelgebirge Aufstiege über Norden schwieriger als von Süden, da hier das Gebirge eine stärkere Neigung aufweist.

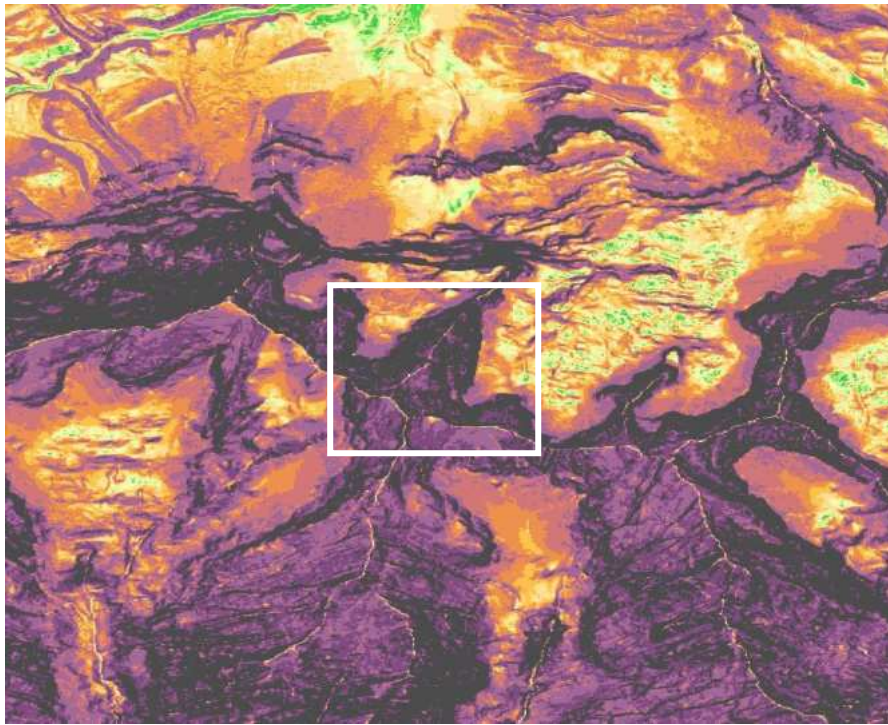


Abbildung 13: Geländeneigung, das weiße Rechteck zeigt die Lage der beiden Gletscher auf
(Quelle: Eigene Darstellung; data.gv.at)

Laut einem Tourenbericht von der Webseite „alpenvereinaktiv.com“, beginnt der Aufstieg zur Eiskarlspitze, von wo aus der Eiskarlferner und Hochglückkarferner bestiegen werden kann, am besten von der Engalm. Der weitere Weg wird wandernd, als auch kletternd, beschritten und führt bis zum Hochglückkar. Durch die Hochglückscharte geht der Aufstieg über die ersten Grate, bis nach einer insgesamt etwa 2,4 Kilometer langen Strecke die Eiskarlspitze erreicht wird. (alpenvereinaktiv, Leeb, 2024, o.S.) In dem Rother Alpenvereinsführer „Karwendel alpin. Alle Routen für Wanderer und Bergsteiger“, welcher in Zusammenarbeit des Österreichischen, Deutschen und Südtiroler Alpenverein 2011 neu aufgelegt wurde, finden sich noch weitere Wander- und Kletterrouten zu besagten Gebirgsspitzen. Etliche Kletter- und Wanderrouen in den deutschen-, südtiroler- und österreichischen Gebirgen wurden mit Hilfe des Rother Alpenvereinsführer publiziert. (Deutscher Alpenverein, 2021, o.S.)

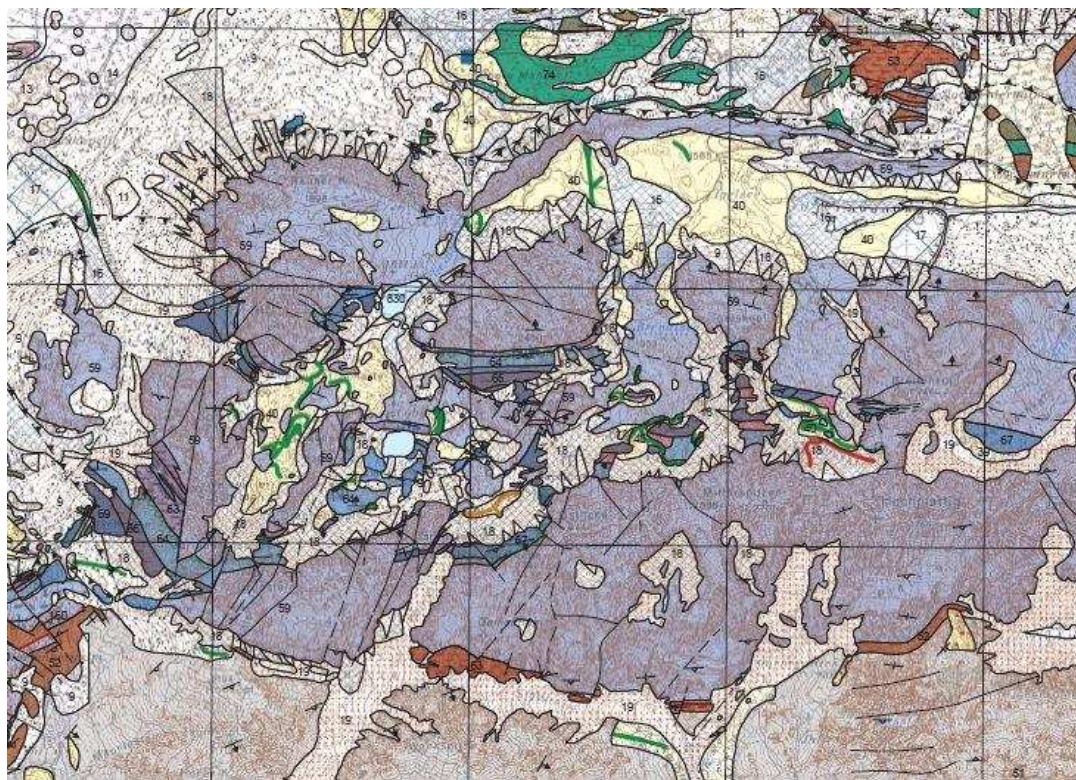
1.2. Mieminger Kette

Das zweite Untersuchungsgebiet befindet sich in dem Gebirge „Mieminger Kette“, welches nördlich des Inntals und südlich von dem Gaistal verortet ist. Westlich wird das Gebirge durch den Gurglbach und den Fernpass abgegrenzt. Das Karwendelgebirge grenzt im Osten an die Mieminger Kette. (Westreicher, 2019, S.2) Es umfasst in etwa eine Fläche von 60 km², wobei dieser Wert durch eigenständige Messungen auf Grundlage eines Orthophotos vom Land Tirol, und dem GIS-Programm ArcGIS Pro, festgestellt wurde.



Abbildung 14: Umgebungskarte des Gletschers, der hier als „Fisch“ bezeichnet ist (Quelle: KOMPASS-Karten)

Die Mieminger Kette wird häufig zusammen mit dem Wettersteingebirge betrachtet. Das Wettersteingebirge reicht im Norden von Grainau über Garmisch-Partenkirchen bis nach Mittenwald. Die wohl bekannteste Erhebung des Wettersteingebirges ist die Zugspitze, auf welcher sich ebenfalls Gletscher befinden, die in dieser schriftlichen Arbeit auch berücksichtigt werden. Die Mieminger Kette besteht zu einem Großteil aus Wettersteinkalk und Hauptdolomit, es sind auch Vorkommen der Raibler Schichten, wie Tonstein, Mergel und Sandstein, vorhanden. (Geologische Bundesanstalt, 2013)



OSTALPIN

Tirolisches Deckensystem

Inntal-Decke



Abbildung 15: Ausschnitt der Geologischen Karte von dem Bereich Telfs und Ausschnitt dessen Legende (Quelle: Geologische Bundesanstalt, 2013)

In der verwendeten Literatur wird das Mieminger Gebirge unterteilt in einen Hauptkamm, Nördliche Seitenkämme, Südliche Seitenkämme und Tschirgant-Simmering-Stock. Erhebungen im Hauptkamm sind beispielsweise Hohe Munde (2659 m), Karkopf (2471 m) oder Östliche Griesspitze (2751 m). Die Gipfel Scharrenkopf (2331 m) oder Vorderer Drachenkopf (2301 m) zählen zum Beispiel zu den Nördlichen Seitenkämmen. (Pfanzelt, Aeberli, 1971, S.303-350)

Relief der Mieminger Kette

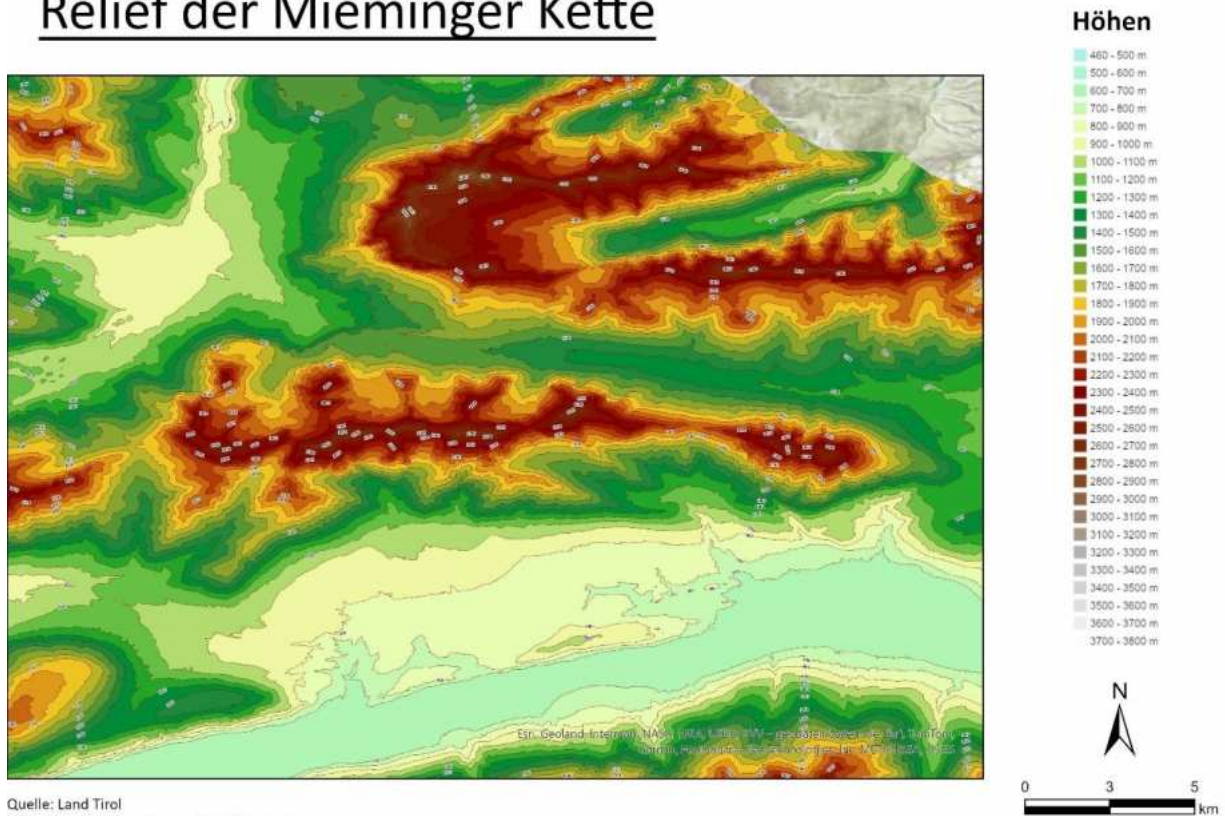


Abbildung 16: Topographie der Mieminger Kette (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Land Tirol)

Die Niederschlagswerte (Abb.9) der Mieminger Kette sind vergleichbar mit jenen des Karwendelgebirges und lagen im Jahr 2023 zwischen 2000 bis 25000 mm Jahressumme. Dies entspricht einer Abweichung von +35% bis +50% im Vergleich zu den Referenzwerten von 1961 bis 1990. Erhöhte Niederschlagswerte wirken sich positiv auf die Gletscherbilanz aus, jedoch müssen andere Parameter, die zur Massenbilanz betragen, berücksichtigt werden. (Orlik et al., 2024, S. 8)

1.2.1. Mieminger Schneeferner

Der untersuchte Gletscher befindet sich in der Gemeinde Mieming, die dem Tiroler Bezirk Imst zugeschrieben wird. Das kleine vergletscherte Gebiet wird „Mieminger Schneeferner“ oder umgangssprachlich auch „Fisch“ genannt. (Meinhardinum Gymnasium, o.J., o.S.) Der Mieminger Schneeferner besitzt die geographischen Koordinaten von 47°21' N und 10°57' E. Der Gletscher liegt in einem Kar auf der südlichen Seite zwischen der westlichen Griesspitze, die auf 2743 Meter Seehöhe liegt, und der östlichen Griesspitze, welche sich auf 2751 Metern über Seehöhe befindet. Bei diesem, verhältnismäßig, kleinen Gletscher handelt es sich ebenfalls, wie auch bei dem Eiskarlferner und dem Hochglückkarferner, um einen Kargletscher. Der Mieminger Schneeferner reichte im Jahr 1993 bis zu einer Höhe von 2500 Meter über dem Meeresspiegel. Im oberen Teil weist die Gletscherfläche eine östliche Exposition auf und im unteren Teil ab ungefähr 2400 m eine südliche. Der Mieminger Schneeferner weist eine Neigung von ungefähr 30 Grad auf. (Kuhn, 1993, S. 154ff)



Abbildung 17: Mieminger Schneeferner (Quelle: Strasser)

Der Aufstieg in den Mieminger Schneeferner ist nur erfahrenen Bergsteiger: innen mit sicherem Gehen zu empfehlen und da die Geländeneigungen sich ähneln, ist ein Aufstieg über Norden als auch von Süden durchführbar. In dem Rother Alpenvereinsführer können verschiedene Routen gefunden werden, die zur Östlichen Griesspitze leiten, eine führt über die Nordseite. Von der Östlichen Griesspitze verläuft ein Seitengrat, hangabwärts, in Richtung des Hinteren Tajakopf (2408 Meter), über welchen aufgestiegen werden kann. Die Bergspitze wird von dem Hinteren Tajakopf aus in ungefähr 2 bis 3 Stunden erreicht. Von der Östlichen Griesspitze kann hinunter gestiegen werden in den Mieminger Schneeferner. (Härter et al., 1984, S. 511ff)

2. Allgemeine Beschreibung von Gletschern

Hochgebirge sind häufig geprägt von Gletscherlandschaften und so auch die Alpen. Um ein besseres Verständnis zu dem Forschungsgegenstand aufzubauen, erläutert das folgende Kapitel die Faktoren, Prozesse und Eigenschaften die Gletscher ausmachen, wie sie entstehen und wie sie untergliedert werden können. Es wird zwischen der Forschungsrichtung der Glazialmorphologie, die sich mit den verschiedenen Formen, die durch Gletscher entstanden sind, deren Sedimenten, Schmelzvorgängen und Eisdynamik beschäftigt, und der Glaziologie, deren Forschungsschwerpunkt auf den Gletschermassenbilanzen und Typisierung von Gletschern liegt, unterschieden. (Glawion et al., 2013, S. 179)

Das Gefüge von Eis, Schnee, Altschnee, Schuttmaterial und Sedimente, Firn und Schmelzwässer wird Gletscher genannt. Gletscher sind aktiv, wenn sie sich in Bewegung befinden, inaktive Bereiche werden Stagnanteis genannt und werden letztendlich als Toteis bezeichnet, wenn sie deutlich von dem aktiven Gletscher abgetrennt sind. Gletscher entstehen durch Schneefall, welcher durch Vorgänge des Schmelzens und wieder Gefrierens zu kompaktem Altschnee wird, wodurch sich die Dichte vergrößert, und Firn entsteht. Als Firn werden Schneefelder bezeichnet, die mindestens einen Sommer überdauert haben. Firn wird durch weiteres Schmelzen und Gefrieren zu Eis, das zum Großteil luftfrei ist. Der Prozess der Gletscherentstehung reicht von mehreren Jahren bis zu Jahrhunderten. Durch Schneefall im Akkumulationsgebiet und Schmelzvorgänge im Ablationsgebiet, verändert sich die Ausdehnung eines Gletschers, wobei die Grenze zwischen Akkumulationsgebiet/Nährgebiet und Ablationsgebiet/Zehrgebiet als Gleichgewichtslinie bezeichnet wird. (Glawion et al., 2013, S. 179f)

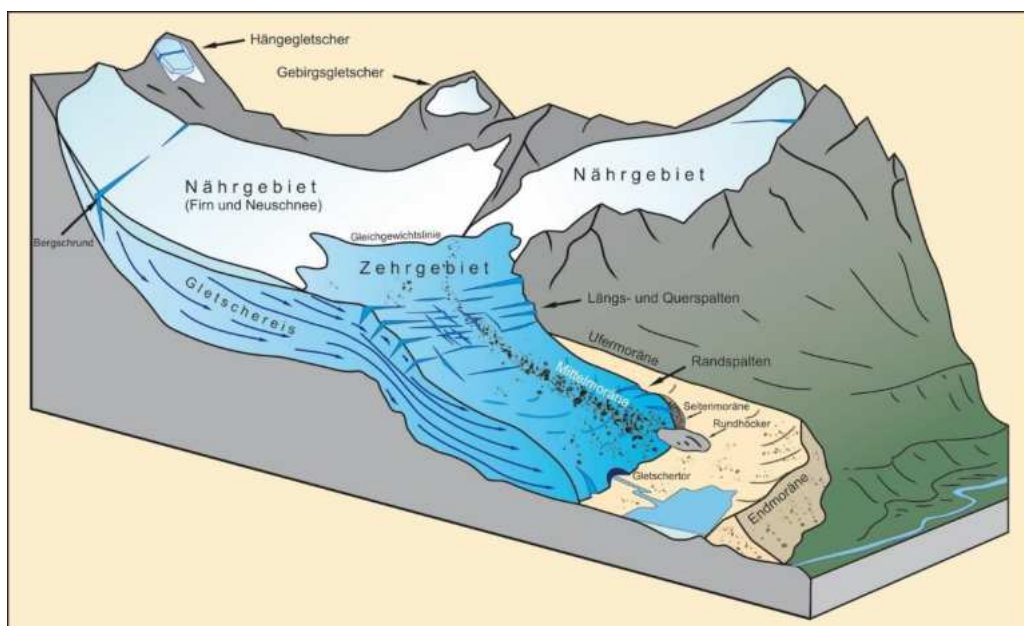


Abbildung 18: Schemenhafte Darstellung eines Gletschers (Quelle: World Heritage Experience Switzerland)

Eine Einteilung in verschiedene Gletscherarten wird in den Publikationen zur Gletscherforschung unterschiedlich vorgenommen. Eine Art Gletscher in Gruppen einzuordnen, stellt die Art der Ernährung der Gletscher dar, die jedoch in den letzten Jahren als überholt gilt. Oftmals wird untergliedert nach den morphologischen Eigenschaften wie der Gletschergröße, -lage und dessen Auswirkungen auf die Eisbewegung. (Hagg, 2020, S. 70f)

Laut Michael Kuhn finden bei Kargletschern hauptsächlich vier verschiedene Prozesstypen der Gletscherbewegung statt: Schnee und Eis können ins Gleiten kommen, das Eis hat hier die Erdoberfläche unter dem Gletscher als Gleitfläche. Das Eis kann in eine „starre Rotation auf internen Gleit- oder Scherflächen“ (Kuhn, 1993, S. 168) geraten und ebenso kann das Eis Verformung erfahren. Schnee gerät in eine Gleitbewegung, wenn er wassergesättigt ist und auf der Eisfläche liegt, dadurch bildet sich ein Wasserfilm. Es kann zur Bildung von Spalten und Randklüften im Schnee kommen. Bei inneren Eisbewegungen kommt es zur Hebung von Grundmoränenmaterial des Untergrunds. Dieses Material wird an die Oberfläche befördert, wobei die Fläche dieser Rotation als Gleitfläche bezeichnet wird. Gletscher können eine veränderte Formbildung erfahren durch Bewegung auf einem Untergrund, welcher eine gewisse Neigung aufweist. (Kuhn, 1993, S. 168f)

Die hauptsächlich in dieser schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit behandelten Kargletscher sind Teil der Kleinstgletscher. Diese Gletscher besitzen eine Mindestgröße von 10.000 m², was einem Hektar entspricht. Eine Einteilung nach bestimmten Längen- oder Breitengrößen ist jedoch kritisch zu betrachten, da es, natürlich gesehen, keine eindeutigen logischen Grenzen gibt. Kleine Gletscher existieren aufgrund ihrer erhöhten Akkumulation unterhalb der klimatischen Schneegrenze, die beeinflusst wird durch eine starke Advektion von Luftmassen. Die winterliche Akkumulation setzt sich aus Lawinen, Niederschlag oder auch Windverwehungen zusammen. Aufgrund von Lawinen in dem oberen Kargletscher Bereich kommt es zu einer erhöhten Rotation des Gletschers, somit beeinflussen Lawinen die gesamte Gletscherfläche. Wobei kleine vergletscherte Flächen nicht an die langfristigen klimatischen Bedingungen geknüpft sind, sondern an die topographischen Gegebenheiten. Kargletscher sind somit in ihrer Längenausdehnung begrenzt und es kann nur die Gletscherdicke und die Breite zunehmen. Jedoch ist auch dieses Wachstum bis zur Erreichung der abgrenzenden Moränenwälle am Gletscherende beschränkt und weiterer Niederschlag kann sich nicht mehr positiv auf die Massenbilanz auswirken. Solche Grenzen werden meist aus gletschertransportiertem Material, Felsstürzen oder Steinschlägen gebildet. Die Wälle können allerdings durch diese Ablagerungen auch vertikal anwachsen und so kann die Gletscherdicke ansteigen. (Kuhn, 1995, S. 171-177)

Wenn ein Gebirgsgipfel oberhalb der Gleichgewichtslinie liegt, kann dies zur Bildung von kleinen Gletschern führen. Die Vergletscherungen an Nord- und Südpol sind die massivsten weltweit und werden

folgernd daraus die größte Zeitspanne benötigen, um vollständig abzuschmelzen. Aus der Gletscherdicke kann ebenfalls geschlossen werden, wie viel Zeit die Gletscherentstehung benötigte, um auf die jetzige Dicke zu kommen, wobei die jährliche Akkumulation ein entscheidender Faktor ist. Sehr kleine Gletscher können innerhalb weniger Jahre verschwinden oder mit passenden klimatischen Bedingungen an Masse gewinnen. Das Wasseräquivalent liegt bei kleinen Gletschern bei etwa 8 m und besitzen einen Winterniederschlag von durchschnittlich 1 bis 1,5 m. Solche kleinen Gletscher können häufiger gefunden werden als beispielsweise große Plateaugletscher, da die großen Gletscher bei ihrem Abschmelzen häufig in kleinere Gletscher zerfallen. (Kuhn, 1995, S. 176ff)

3. Gletschersituation in den Nördlichen Kalkalpen

Die heute bestehenden Gletscher sind Überreste der letzten Vergletscherungen, die im Quartär stattfanden. Das Quartär kann unterteilt werden in das Holozän, das vor 10.000 Jahren begann und bis heute andauert, neuere wissenschaftliche Diskurse bringen allerdings auch den Begriff „Anthropozän“ in die Diskussion. Er soll die Zeitspanne ab ungefähr 1950 bezeichnen. Pleistozän ist die zweite Untergliederung des Quartärs, das vor 2,6 Millionen Jahre vor heute begann. Die Vergletscherungen des Quartärs können in vier größere Eiszeiten beziehungsweise Glaziale untergliedert werden, das Günz-, Mindel-, Riss- und Würm-Glazial. Der Beginn der Vergletscherung der Alpen wird auf 870.000 Jahre vor heute datiert, wobei dessen Vorland erst etwa 200.000 Jahre später ebenfalls vergletscherte. Die letzte Phase der Vergletscherung ist das Würm-Glazial das von 115.000 bis 11.700 vor heute reichte. Seit diesem letzten Glazial befindet sich die Erde in einer Warmzeit beziehungsweise Interglazial. Jedoch kam es ungefähr im Jahr 1850 zu einer erneuten großen Vergletscherung der Alpen, die als „Kleine Eiszeit“ bezeichnet wird. Die Gletscher hatten damals ungefähr die doppelte Fläche im Vergleich zu deren heutigen Zustand. (GeoSphere, o.J., o.S.)

Es können mehrere Gletschergebiete in den Nördlichen Kalkalpen gefunden werden, einige davon sind gut erforscht wie der Nördliche Schneeferner auf der Zugspitze. Einige weitere Gletscher sind beispielsweise der Höllentalferner, Watzmann Gletscher, Blaueis, Schwarzmilzferner, Südlicher Schneeferner, Hallstätter Gletscher oder Übergossene Alm. Da die Ausarbeitung all dieser Gletscher den Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit überschreiten würde, wird im Folgenden auf drei ausgewählte näher eingegangen.

3.1. Dachsteingebirge

Im östlichen Teil der österreichischen Alpen befindet sich das Dachsteingebirge. Es liegt auf der Grenze zwischen Oberösterreich, Steiermark und Salzburg. Ein paar Gletscher können im Dachsteingebirge noch gefunden werden, wie der Schladminger Gletscher, Hallstätter Gletscher, Schneeloch Gletscher und der Große Gosaugletscher. (Lieb & Kellerer-Pirklbauer, 2024, S. 18) Der hier untersuchte Gletscher ist der Hallstätter Gletscher, der an der Bergspitze Hoher Dachstein, welche 2996 m hoch ist, liegt. Mit einer ungefähren Ausdehnung von 300 Hektar zählt er als der größte Gletscher der Nördlichen Kalkalpen und hat eine Nord-Ost Exposition. Jedoch hat sich seine Ausdehnung in den letzten 200 Jahren um ungefähr die Hälfte halbiert. (Dachsteingletscher.info, o.J., o.S.)

Zu Zeiten der „Kleinen Eiszeit“ besaß der Gletscher eine Eisfläche von 527 ha und hatte in diesem Zeitraum die letzten Höchstwerte, bevor eine Abschmelzperiode begann, wobei sich auch sein Volumen verringerte. Diese Veränderungen sind in Abbildung 19 zu sehen. (Dachsteingletscher.info, o.J., o.S.)

Massenhaushalt des Hallstätter Gletschers seit der Kleinen Eiszeit

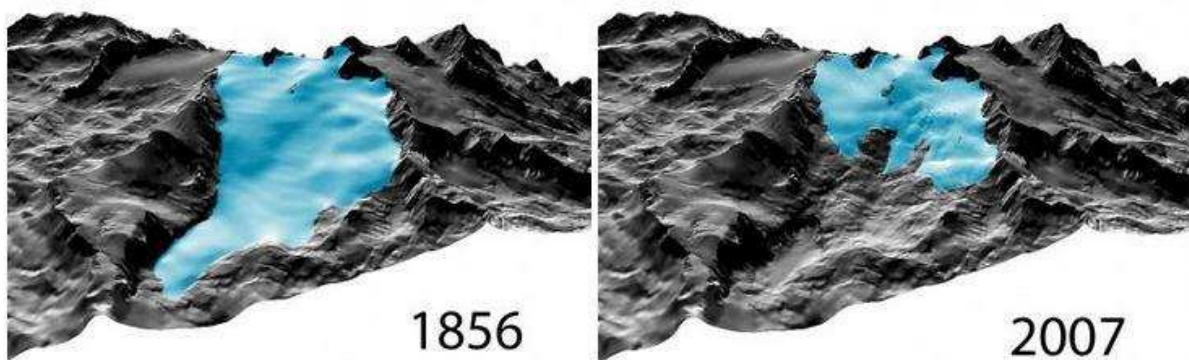


Abbildung 19: Änderung des Hallstätter Gletschers der letzten zwei Jahrhunderte (Quelle: Dachsteingletscher.info)

Der Österreichische Alpenverein misst die Gletscherlängen von ausgewählten Gletschern kontinuierlich seit dem Jahr 1920 und veröffentlicht seitdem jährlich einen Bericht über die Veränderungen dieser Gletscher, welche als Gletscherberichte bezeichnet werden. Die Längenveränderungen des Hallstätter Gletschers wurden aus den Berichten, ab der Publikation von 1973, zusammengefasst und in ein Diagramm übertragen. Vor dem Jahr 1973 erscheint der Hallstätter Gletscher nicht explizit in den Gletscherberichten. (Österreichischer Alpenverein, o.J., o.S.) Anhand dieser Grafik ist ein kontinuierlicher Längenverlust des

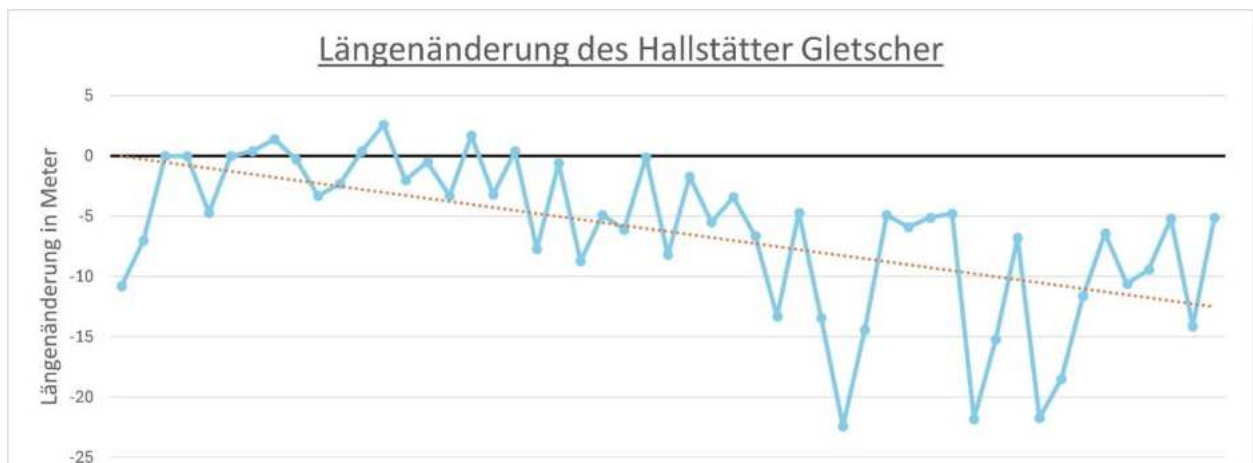


Abbildung 20: Veränderung der Länge des Hallstätter Gletschers von 1973 bis 2023, (Quelle: Eigene Darstellung; Excel; Österreichischer Alpenverein)

Gletschers festzustellen, die Werte der Längenänderung lagen beinahe durchgehend unter 0 Meter. Als Verdeutlichung wurde eine Trendlinie eingezeichnet. Die sich ändernden Klimawerte sind vermutlich auch hier der Grund dieses Schrumpfens.

3.2. Wettersteingebirge

Der größte Teil des Wettersteingebirges befindet sich auf deutschem Staatsgebiet, wie auch der untersuchte Gletscher „Nördlicher Schneeferner“, der der größte bayerische Gletscher ist. Das Gebirge liegt auf der Grenze zu Tirol. Es konnten hier die Gletscher Höllentalferner und Plattachferner gefunden werden, jedoch schmolz der Plattachferner im 19. Jahrhundert weit zurück, sodass sich zwei Teile bildeten die als eigenständige Gletscher betrachtet werden, der Nördliche Schneeferner und der Südliche Schneeferner. Allerdings wird der Südliche Schneeferner seit dem Jahr 2022 nicht mehr als aktiver Gletscher bezeichnet, da seine Dicke auf 2 Meter abgeschmolzen war. (Hagg, o.J., o.S.)

Der Nördliche Schneeferner liegt nördlich des Schneefernerkopfes (2874 m) auf ungefähr 2600 Meter. (KOMPASS-Karten, o.J.)

Die, zuletzt aufgezeichneten, Höchstwerte der Vergletscherung des Wettersteingebirges lagen im Jahr 1820 vor. Ein starker Rückzug des Nördlichen Schneeferners in den Jahren von 1920 bis 1950 führte zu einer Ablösung des östlichen Teils des Gletschers, der bis heute fast vollständig abgeschmolzen ist. In den darauffolgenden Jahren können auch hier Längenverluste beobachtet werden, jedoch sind diese etwas geringer im Vergleich zu den anderen untersuchten Gletschern. Dies ist mit seinem speziellen Verhalten zu erklären, anstatt zurückzuschmelzen, wölbt der Gletscher sich auf oder sinkt ein. (Hagg, o.J., o.S.)

Allerdings muss auch erwähnt werden, dass es zu großen Höhendifferenzen des Gletschers seit dem Jahr 1980 kommt. (Hagg, o.J., o.S.)

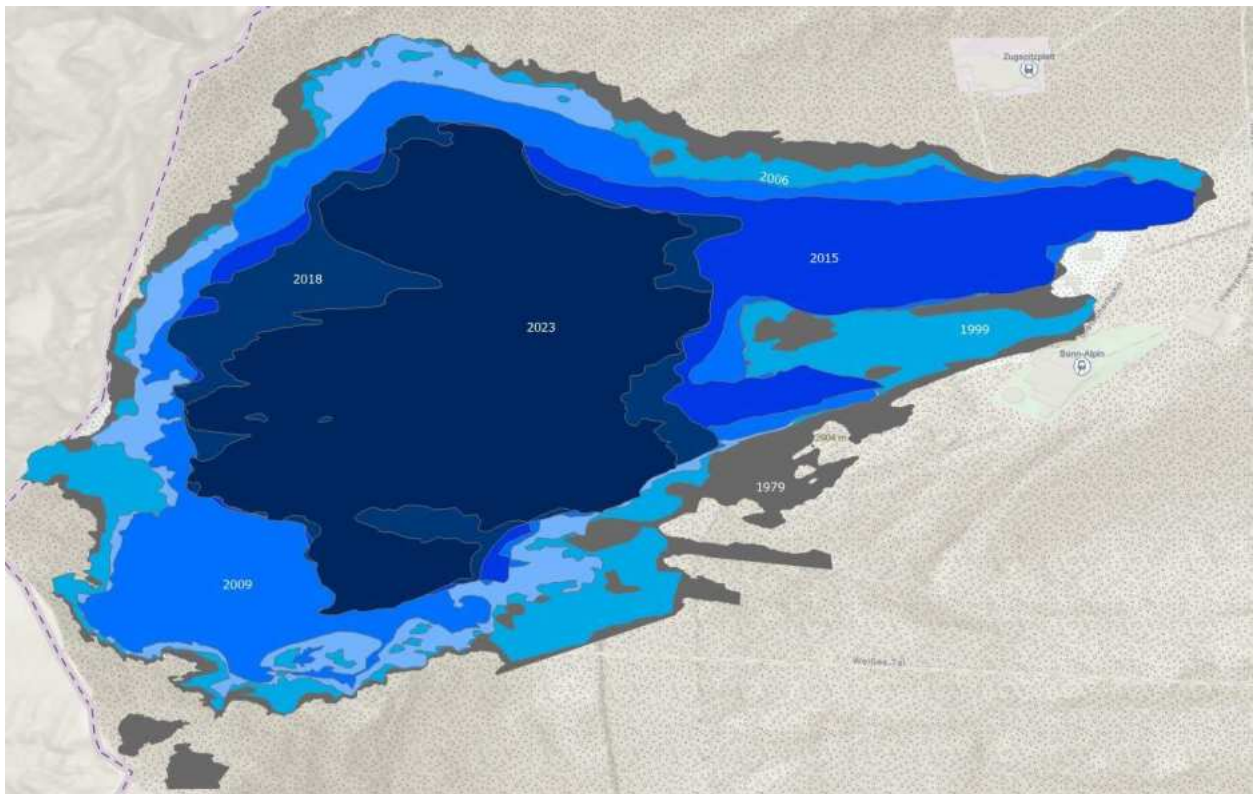


Abbildung 21: Flächenänderung des Nördlichen Schneeferners von 1979 bis 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

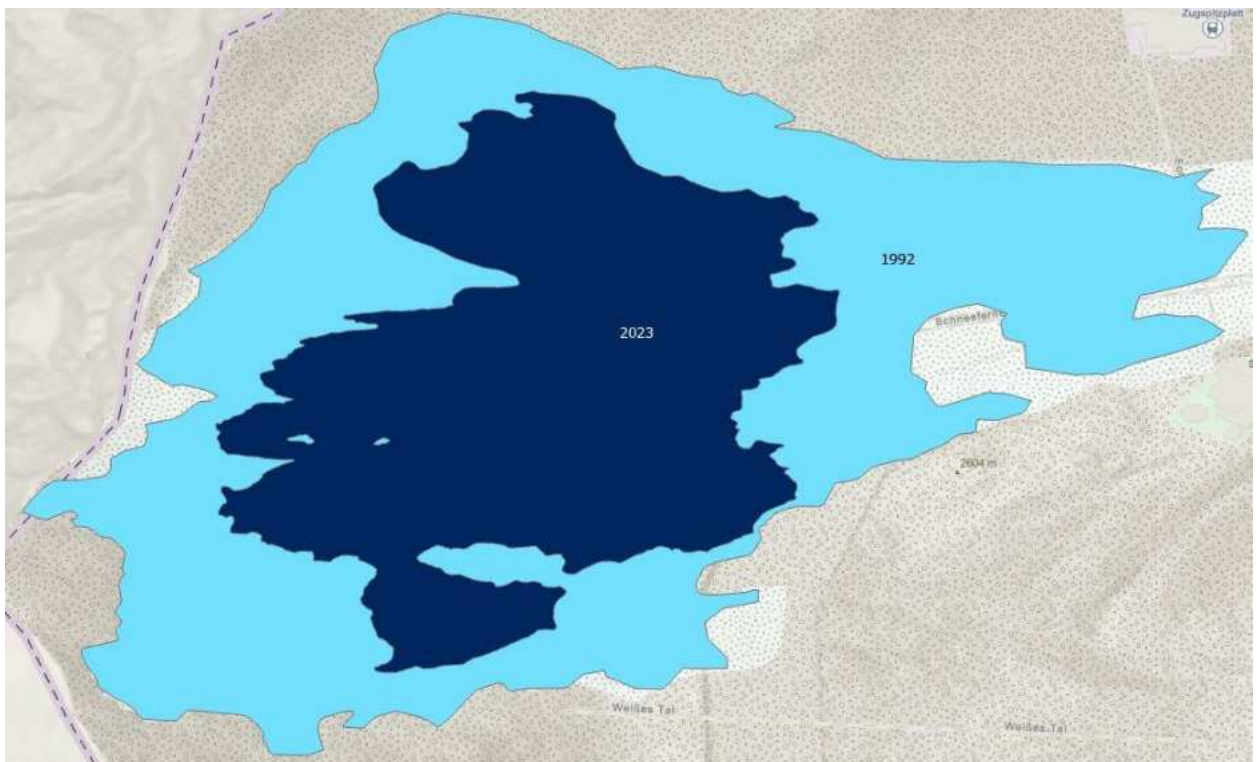


Abbildung 22: Flächenänderung des Nördlichen Schneeferners, Vergleich der Jahr 1992 und 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

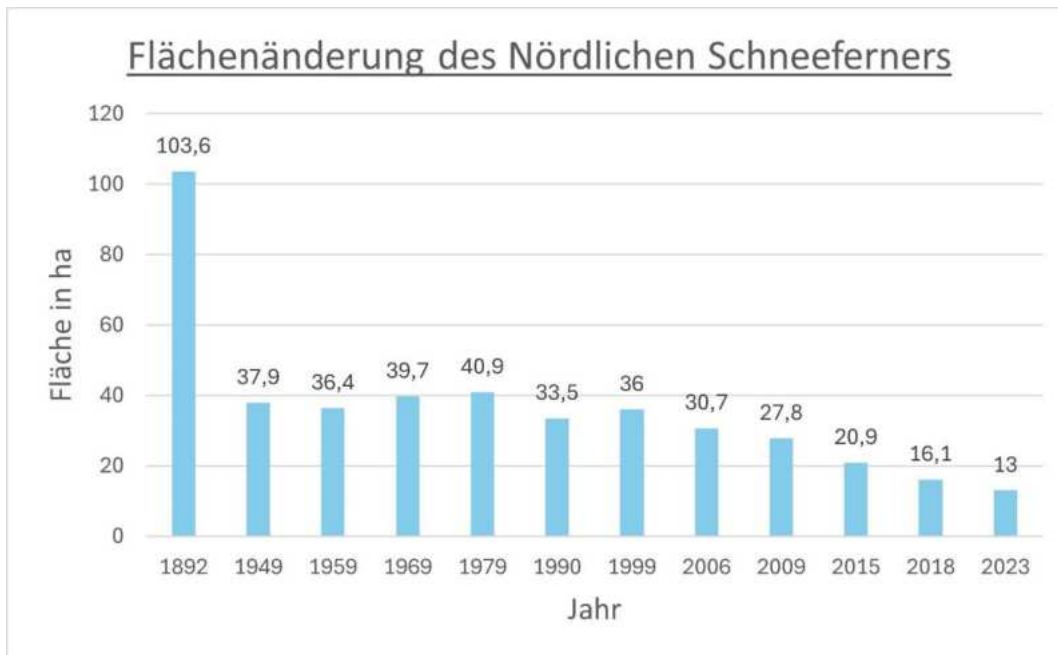


Abbildung 23: Flächenänderung des Nördlichen Schneeferners von 1892 bis 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

3.3. Berchtesgadener Alpen

Eine weitere Gebirgsgruppe der Nördlichen Kalkalpen bilden die Berchtesgadener Alpen. Sie befinden sich im südlichen Teil Bayerns, wobei die Stadt Berchtesgaden namensgebend in der Gebirgsmittle liegt. Im Süden grenzt die Straße zwischen Bischofshofen bis Saalfelden am Steinernen Meer und im Westen das Saalachtal das Gebiet ab. Das Salzachtal bildet die östliche Grenze, und die Niederung zwischen Salzburg und Bad Reichenhall, die nördliche. (Google maps, o.J.) Die Chiemgauer Alpen, das Tennengebirge und, beispielsweise, die Osterhorngruppe sind angrenzende Gebirge. Der Gipfel „Hochkönig“ ist mit einer Höhe von 2941 Metern die höchste Erhebung. Die Berchtesgadener Alpen erhalten hohe Niederschlagswerte aufgrund dessen Lage in den nördlichen Ostalpen und zeichnen sich durch ein ozeanisches bis kontinentales Klima aus. Der Nationalpark Berchtesgaden ist ebenfalls hier zu finden, wobei eine Vielzahl an seltenen Tier- und Pflanzenarten angesiedelt sind. Kalke und Dolomite bilden auch hier die Basis der geologischen Zusammensetzungen. (Kühnhauser, 2015, S. 23f & 26)

Einige Gletscher können hier noch gefunden werden, wie die Übergossene Alm am Hochkönig, der Blau-eisgletscher oder kurz Blau-eis und der Watzmann-gletscher. (Kühnhauser, 2015, S. 206 & 509 & 578) Blau-eis und der Watzmann-gletscher werden im Folgenden näher untersucht.

Watzmanngletscher

Der Watzmanngletscher befindet sich in, einer der Berchtesgadener Alpen untergliederten Gebirgsgruppe, dem Watzmann. Der Gletscher kann in dem Kar der Mittelspitze (2713 m) gefunden werden. (KOMPASS-Karten, o.J.) In den letzten Jahren sind große Teile seiner ehemaligen Eisfläche abgeschmolzen. Die Abbildung 26 verdeutlicht dieses Abschmelzen seit dem Jahr 1897. Die hier verwendeten Daten stammen von der Website „Bayerische Gletscher“, welches ein Forschungsprojekt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) war und nach Projektende von Wilfried Hagg weiter betrieben wird. (Hagg, o.J., o.S.)

Die Daten wurden in eine Excel Datei übertragen und daraus ein Diagramm erstellt.

Der Gletscher besitzt eine Nordostexposition. Die Fläche des Gletschers hatte zu der letzten größten Ausdehnung einen Wert von ungefähr 30 ha, heute ist die Eisfläche annähernd noch 5 ha groß. Durch ein Wachsen des Gletschers in den 70er Jahren rückte er in das Forschungsinteresse der Glaziologie. Die mittlere jährliche Höhendifferenz des Gletschers lag in den Jahren 1960-1980 bei schätzungsweise einem Plus von 30%. Vor und nach diesem Ereignis können Rückzüge des Gletschers festgestellt werden. (Hagg, o.J., o.S.)

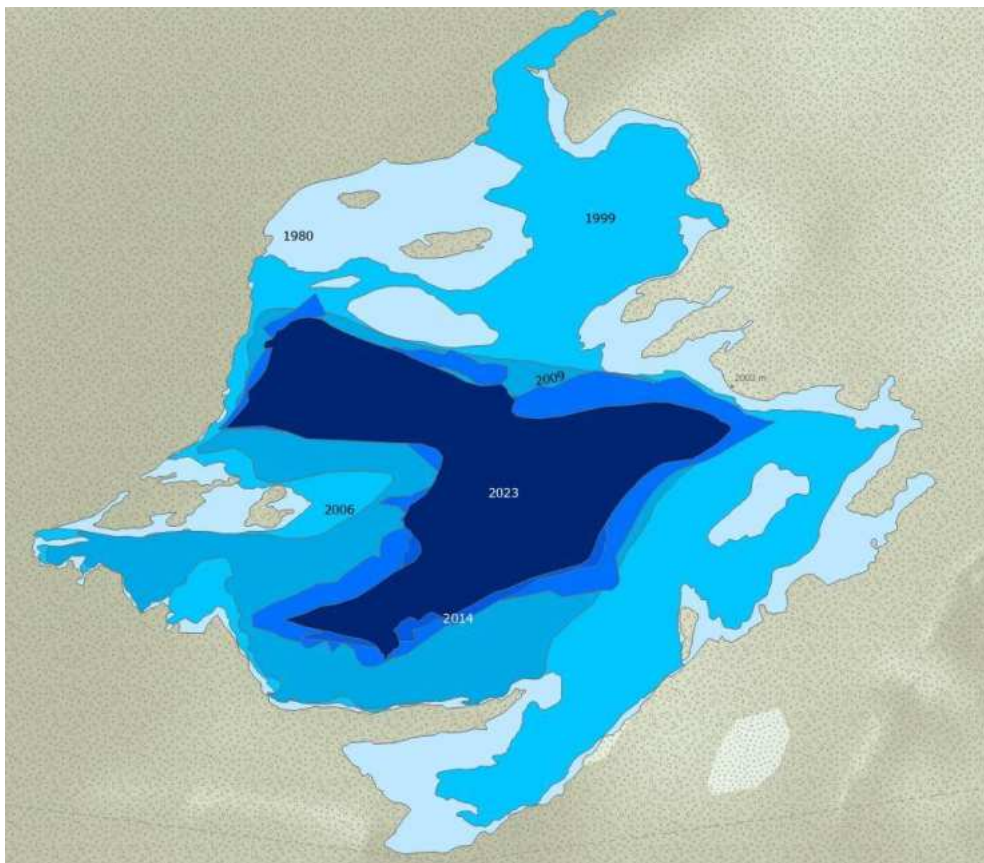


Abbildung 24: Flächenänderung des Watzmanngletschers von 1980 bis 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)



Abbildung 25: Flächenänderung des Watzmanngletschers, Vergleich von 1999 und 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

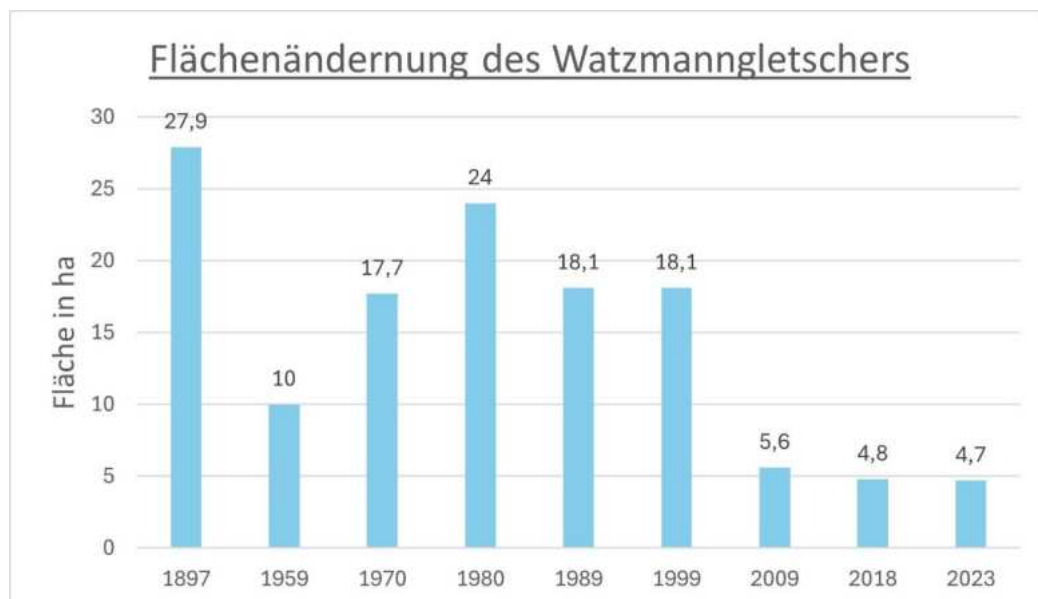


Abbildung 26: Flächenänderung des Watzmanngletschers von 1897 bis 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

Blaueis

Ein weiterer Gletscher der Berchtesgadener Alpen, ist der Blaueisgletscher, der auch Blaueis genannt wird. Er befindet sich westlich des Watzmanngletschers in dem Kar des Gipfels Hochkalter der auf 2607 m liegt und an die Blaueisspitze (2481 m) grenzt. (KOMPASS-Karten, o.J.) Die andauernde Existenz des Blaueises ist ebenso wie bei dem Eiskarlferner und dem Hochglückkarferner, durch dessen nördliche Exposition und schützenden Karwänden zu erklären. Das Blaueis bildet den Gletscher der Alpen, der am weitesten im Norden liegt und mit einer ungefähren Höhe von 2200 Meter der tiefste der bayerischen Gletscher ist. Bis zum 21. Jahrhundert waren einige Perioden des Wachsens des Gletschers zu beobachten. Die Abbildung 29 verbildlicht die Änderung der Eisausdehnung seit dem Jahr 1889. Die größte Fläche bedeckte er im Jahr 1924 mit 20,2 ha. Die Datengrundlage dieser Grafik bilden ebenfalls die Daten der Internetseite „Bayerische Gletscher“. Der Gletscher besaß im Jahr 2007 ein Volumen von 0,4 Mio. m³. In den Jahren von 1970 bis 1980 ist eine positive Änderung der Höhendifferenzen des Eises festzustellen, im Gegensatz zu den Werten der Messreihe in den Jahrzehnten vor und nach dieser Zeit. (Hagg, o.J., o.S.)

Die Abbildungen 27 und 28 zeigen die Gletscherflächen zu den Zeitpunkten in den jeweiligen Messjahren. Die Daten stammen von derselben Website („Bayerische Gletscher“) und wurden in ein ESRI-Projekt eingefügt.

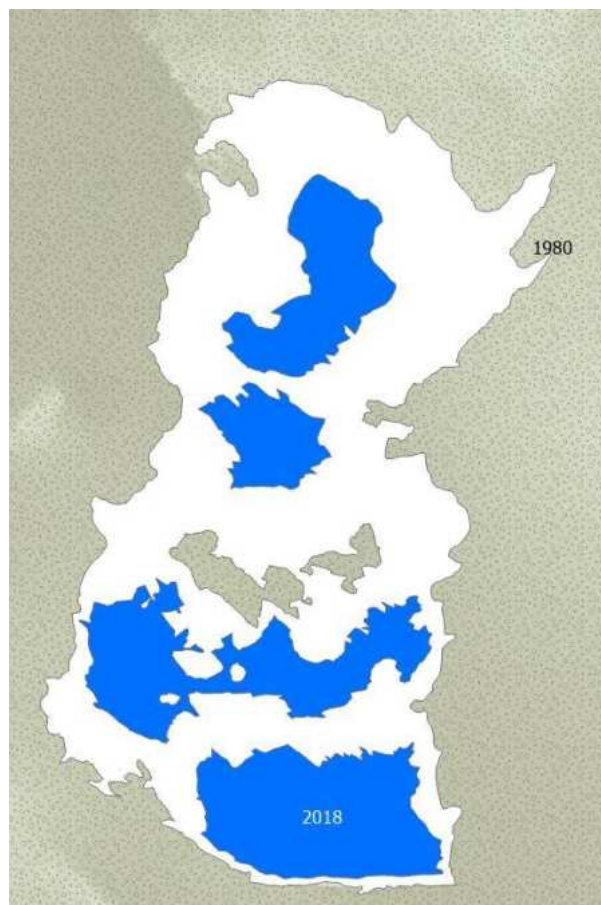


Abbildung 27: Flächenänderung des Blaueisgletschers, Vergleich von 1980 und 2018 (Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

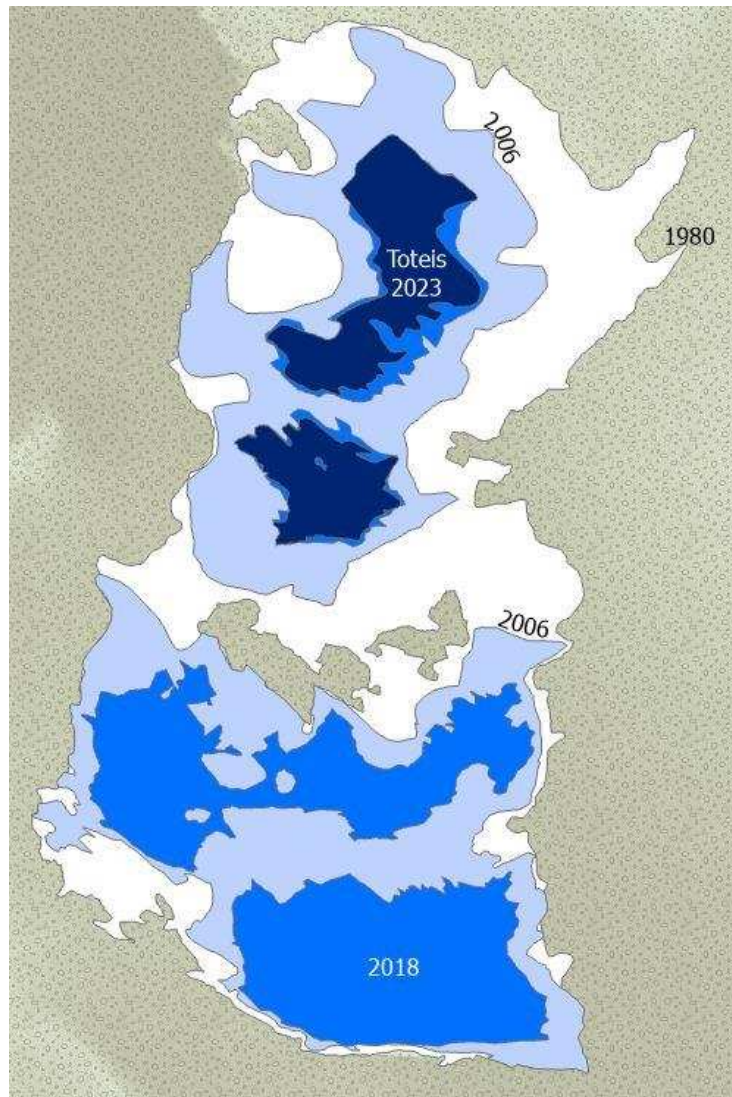


Abbildung 28: Flächenänderung des Blaueisgletschers von 1980 bis 2023
(Quelle: Eigene Darstellung; ESRI, 2024; Hagg)

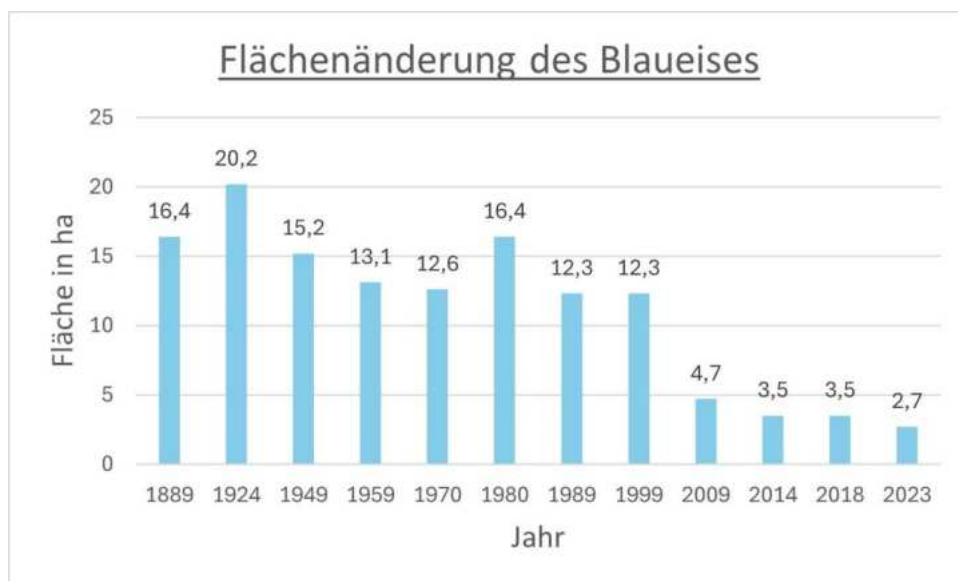


Abbildung 29: Flächenänderung des Blaueisgletschers von 1889 bis 2023 (Quelle: Eigene Darstellung; Excel, 2024; Hagg)

4. Gletschersituation des Eiskarlferners und des Hochglückkarferners

Entwicklung vor 1993

Die beiden kleinen Gletscher, Eiskarlferner und Hochglückkarferner, sind auf einer Meereshöhe von etwa 2180m bis 2340m zu finden. Der Eiskarlferner befindet sich in dem östlichen der beiden Eiskarl, die unterhalb der Eiskarlspitze liegen. Der Hochglückkarferner liegt weiter im Osten, in dem oberen Bereich des Hochglückkars. Die Namen dieser Gletscher werden von den Forschungen von Michael Kuhn (1993) übernommen und die folgenden Aussagen, bezüglich der Gletscherentwicklung der beiden Gebiete bis zum Jahr 1993, basieren ebenfalls auf den Forschungsergebnissen von Michael Kuhn. Die beiden Gletscher liegen nicht im öffentlichen Forschungsinteresse der Glaziologie, weshalb nicht viel Literatur zu ihnen gefunden wurde, das liegt vermutlich daran, dass sie aufgrund ihrer geringen Größe nicht immer als Gletscher wahrgenommen werden. Doch laut Kuhn (1993) handelt es sich um zwei aktive Gletscher, wobei die beiden Kare, Hochglückkar und östliches Eiskarl, von den Gletschern abgetragen und verändert werden. (Kuhn, 1993, S. 85-92)

Der Eiskarlferner hat im Jahr 1993 ungefähr eine Fläche von 4 Hektar eingenommen. Er reichte bis in eine Höhe von etwa 2340m und hatte sein unteres Ende bei schätzungsweise 2190m. Der Hochglückkarferner, welcher im westlichen oberen Bereich des Hochglückkars liegt, hatte sein oberes Ende bei 2310m und sein unteres bei 2180m. Der Gletscher dehnte sich auf eine ungefähr Fläche von 2 ha bis 3 ha aus. Charakteristisch für diese beiden vergletscherten Flächen ist, dass ihre Hintergründe an den hohen Wänden des jeweiligen Kars liegen und sie so eine erhöhte Akkumulation durch Lawinen erfahren als auch in einer vor Sonneneinstrahlung geschützten Lage sind. In dem etwa dreimal so großen Einzugsgebiet im Vergleich zu den Gletscherflächen, herrscht eine steile Topographie wodurch es häufig zu Lawinenabgängen kommt. Ihre Massenbilanzen werden stärker von einer erhöhten Akkumulation als von einer niedrigeren Ablation beeinflusst. Dasselbe Phänomen kann auch bei dem Gletscher in der Mieminger Kette beobachtet werden. Von den umliegenden Karen und Felsmulden kann durch Windverwehungen Schnee auf die Gletscher transportiert werden, wodurch die Akkumulation ebenfalls erhöht wird. Da der Hochglückkarferner und der Eiskarlferner unterhalb der klimatischen Schneegrenze liegen, sind die Kare und deren abschirmenden Wände von großer Bedeutung. (Kuhn, 1993, S. 85-92)

Michael Kuhn nimmt aufgrund von theoretischen Überlegungen an, dass beide Karwendelgletscher etwa eine Dicke von 20 m besitzen. Anhand von verschiedenen Fotografien hat Kuhn (1993) die beiden Gletscher beschrieben. Es wurden auf Grund der sehr steilen Neigung und Unzugänglichkeit des Geländes keine eigenständigen Messungen von Eisausdehnung oder Eisdicke laut eigenen Aussagen von Michael Kuhn vorgenommen. Das Auftreten von hellerem Eis im oberen Bereich der Gletscher und dunklerem im unteren, deutet darauf hin, dass sich die Gletscher bewegen. Es wird vermutet, dass es sich um eine starre

Rotation handelt, wobei Grundmoränenmaterial von dem Eis aufgenommen wird und im niedrigeren Bereich des Gletschers wieder an der Oberfläche abgelagert wird, wodurch die dunkleren Eisbereiche gebildet werden. Die Bewegungslinien des Materials im Eis werden Scherlinien genannt und sind als dunkle Linien im Eis erkennbar. Auf einem Foto von 1992 kann laut Kuhn erkannt werden, dass sich sieben Firnschichten in dem Eiskarlferner befinden. Der Eiskarlferner weist weitere Merkmale auf, die auf einen Gletscher hindeuten, wie Querspaltan oder Randklüfte. Ebenso kann aufgrund von Randklüften, die beide Gletscher besitzen, angenommen werden, dass sich die Gletscher um einige Meter pro Jahr auf dem Karboden bewegen. Eine markante Querspalte des Eiskarlfernens und die Topographie der anschließenden Karwand, lässt vermuten, dass sich hier ein Felshügel befindet, über welches das Eis fließt, und so einen Sprung erfährt. Im Gegensatz dazu erscheint der Hochglückkarferner laut Kuhn (1993) auf den Bildern größtenteils keine Spalten zu besitzen. Am Ende des Gletschers des Hochglückkars, befindet sich ein Moränenwall, worunter in einem Abstand von 100 m ein weiterer Wall liegt. Sie erreichen beide eine ungefähre Höhe von ein paar Metern. Die Fläche des Hochglückkarfernens änderte sich in den vergangenen Jahren und war im Jahr 1973 beispielsweise größer als ungefähr 20 Jahre zuvor im Jahr 1954. Die beiden Gletscher erfahren außerdem häufig Felsstürze, wodurch es zu einer erhöhten Materialablagerung durch Gletscherbewegungen am Gletscherrand kommen kann, wo dadurch Seitenmoränen gebildet werden können. (Kuhn, 1993, S. 85-92)

Die Gletscher des Karwendelgebirges verhalten sich in Bezug auf ihre Massenbilanz und den weiträumigen Niederschlagswerten der Alpen anders als die Gletscher, die sich am Alpenhauptkamm befinden. Die kleinen Kargletscher sind in einem geringeren Ausmaß von den steigenden Lufttemperaturen betroffen und sind „daher weniger empfindliche Klimazeugen als Plateau- oder Talgletscher“ (Kuhn, 1993, S. 92). Unterschiedlich ist ebenso deren Ausdehnung, da Kargletscher ihre Dicke, jedoch nicht ihre Fläche, aufgrund der topographischen Grenzen, in einem großen Ausmaß verändern können. Dies ist bei den großen, alpinen Gletschern wie der Pasterze anders. Lawinenernährte Kargletscher besitzen häufig eine topographische Grenze aufgrund eines hohen Moränenwalls am Gletscherende, der das Gletscherwachstum in der Länge hemmt. (Kuhn, 1993, S. 85-92)

Entwicklung ab 1993

Ein Feststellen der Entwicklung des Eiskarlfernens und des Hochglückkarfernens nach dem Jahr 1993 erfolgte nicht problemlos. Es wurden anhand von Orthophotos und Luftbilder die ungefähren Änderungen der Gletscherenden gemessen. Die Orthophotos wurden von der Website „Land Tirol“ als WMS-Server in ein ArcGIS Pro Projekt eingefügt, worüber ein Layer gelegt wurde, der die Höhenlinien in einem Abstand von 20 Meter zeigt. Dies erleichterte das Ablesen der Eisflächenenden. Dieser Layer konnte in einer WMS-Verbindung gefunden werden, der verschiedene Geländedaten von Tirol beinhaltet wie die Exposition,

Neigung oder DGM und DOM. Es wurden Tabellen gefertigt und die ungefähr gemessenen Meereshöhen eingetragen. In dem Programm ArcGIS Pro wurde mit dem Befehl „measure area“ etliche Punkte an den Gletscherseiten gesetzt, um so die ungefähre Gletscherausdehnung zu ermitteln. Jedoch ist diese Methode sehr ungenau und kann nur, als grober Schätzwert betrachtet werden, da sehr viele Punkte benötigt werden müssten, um die Größe zu bestimmen. Ein weiteres Problem ist, dass die Orthophotos nicht am Ende des jeweiligen Haushaltsjahres des Gletschers aufgenommen wurden, sondern in den Monaten August und Juli. Ideal wäre eine Aufnahme Ende September oder Anfang Oktober. Aufgrund dieser Schwierigkeit ist es möglich, dass der eigentliche Gletscher unter Schneeflecken liegt und der Gletscher so wesentlich größer erscheint, was zu Messfehlern führt. Weiters kann bei dem Orthophoto von dem 24.09.2013 das untere Ende des Eiskarlferners, aufgrund der Beleuchtung, nicht erkannt werden und somit kann keine ungefähre Fläche berechnet werden. Die geschätzten gemessenen Daten zu dem Eiskarlferner sind in der Tabelle 1 sichtbar. Eine grob geschätzte Breite des Eiskarlferners von 175 Metern wird angenommen, wobei diese sich auch nicht zu verändern scheint auf den Orthophotos. Die Aufnahme vom 12.09.2022 ist ebenfalls schwer zu deuten, da der Gletscher dreckig erscheint und die Enden so schwer zu bestimmen sind.

Anhand eine Digitalen Geländemodells (DGM) des Untersuchungsbereichs kann, der von Michael Kuhn erwähnt Moränenwall erkannt werden. Dieser Laserscan wurde im Jahr 2020 von dem Amt der Tiroler Landesregierung veröffentlicht.

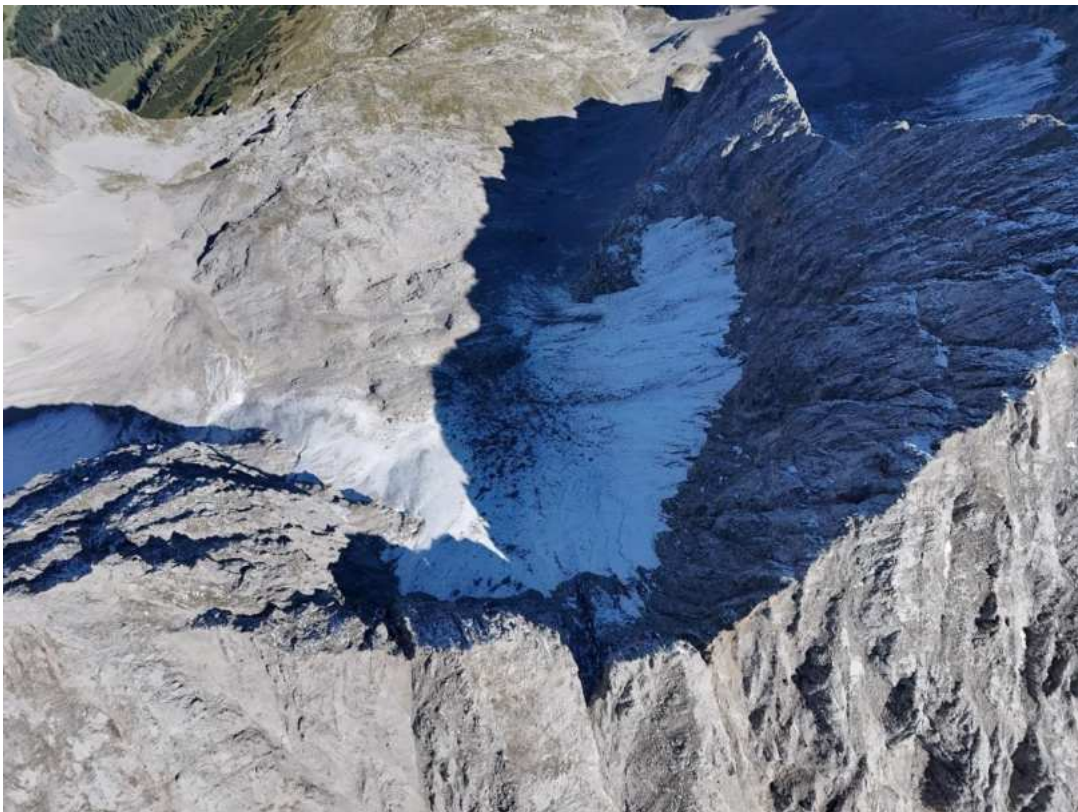


Abbildung 30: Fotografie des Eiskarlferners von Christoph Spötl vom 25.09.2023 (Quelle: Spötl, 2023)

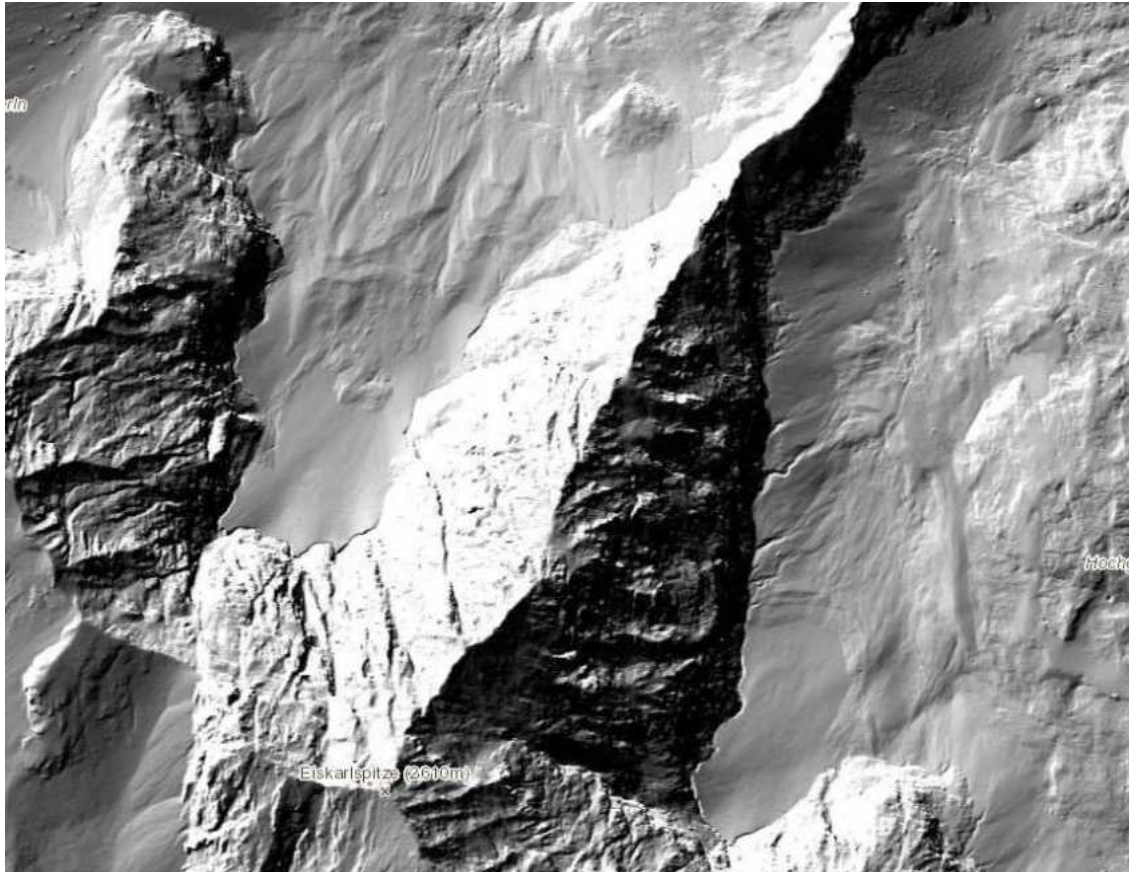


Abbildung 31: Digitales Geländemodell vom 04.09.2020 (Quelle: Land Tirol)

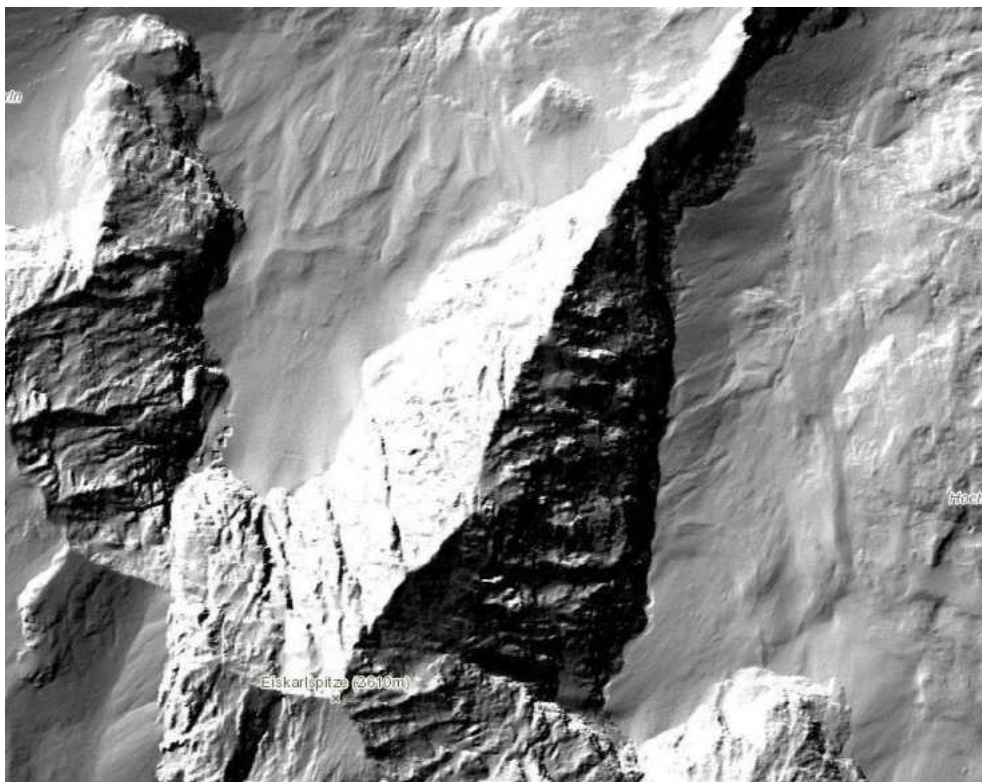


Abbildung 32: Digitales Geländemodell vom 12.10.2007 (Quelle: Land Tirol)

Orthophotos:

Abbildung 33: Orthophoto von 24.09.2013 (Quelle: Land Tirol)

(Tabelle 1: Ungefähr gemessene Gletscherflächen und -längen aus den Orthophotos mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Eiskarlferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende	Fläche
12.09.2022	2315 m	2240 m	1,5 ha
27.08.2019	2320 m	2180 m	2,8 ha
23.08.2016	2340 m	2180 m	2,5 ha
24.09.2013	2335 m	k.A.	k.A.
30.08.2009	2335 m	2180 m	2,9 ha
28.07.2005	2340 m	2180 m	3 ha
14.08.2001	2340 m	2180 m	3,2 ha

Dieselbe Vorgehensweise wurde für den Hochglückkarferner durchgeführt und in Tabelle 2 festgehalten. Auch hier besteht die Problematik der Messungenauigkeit und der ungünstigen Aufnahmezeitpunkte. Dem Gletscher wird eine ungefähre Breite von 90 Meter zugeschrieben. Auf den Fotografien von dem 14.08.2001, 28.07.2005 und dem 24.09.2013 befindet sich unterhalb des vermuteten Gletscherendes eine durchgehende Schneedecke bis zu dem Moränenwall auf 2110 Meter, wodurch keine eindeutige Grenze

festgelegt werden kann und die Gletschergrenze ebenfalls mit 2110 Meter angenommen wurde. Das Bild von 2009 weist unterhalb des Gletschers einen größeren Schneefleck auf und das Gletscherende besser gedeutet werden konnte. Die Aufnahmen von 2016 und 2019 sind einfacher zu deuten, da sich erst in einer gewissen Entfernung unterhalb des niedrigeren Gletscherendes, Schnee befindet. Der Gletscher erscheint auf dem neusten Orthophoto von dem 12.09.2022 sehr dreckig zu sein und ist somit sehr schwer abschätzbar. Hier besteht eine gewisse Unsicherheit, ob der Gletscher noch existiert.

(Tabelle 2: Ungefähr gemessene Gletscherflächen und -längen aus den Orthophotos mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Hochglückkarferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende	Fläche
12.09.2022	2300 m	2175 m	1,2 ha
27.08.2019	2300 m	2170 m	1,5 ha
23.08.2016	2300 m	2170 m	1,4 ha
24.09.2013	2300 m	2160 m	1,8 ha
30.08.2009	2300 m	2160 m	1,5 ha
28.07.2005	2300 m	2110 m	3 ha
14.08.2001	2300 m	2110 m	3,3 ha

An beiden untersuchten Gletschern kann ein Schrumpfen der Eisfläche festgestellt werden.

Luftbilder:

Zusätzlich zu den Orthophotos wurden Luftbilder analysiert. Diese Bilder stammen aus dem „Laser-&Luftbildatlas Tirol“ von dem Amt der Tiroler Landesregierung. Die Bilder werden als JPEGs von „Land Tirol“ zur Verfügung gestellt. Hier wurden Aufnahmen bis zu dem Jahr 1983 rückreichend betrachtet, um einen langfristigen Trend der Gletscherveränderung festzustellen. Allerdings kam es hier zu ähnlichen Messproblemen. Einige der Fotos hatten eine ungünstige Belichtung und konnten so nicht eindeutig erforscht werden. Die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte erschwerten die Arbeit zusätzlich. Eine Vermessung der Luftbilder erfolgte mit dem Höhenlinien Layer desselben ESRI-Projektes, wie auch bei der Vermessung der Orthophotos. Die Eisausdehnung des Eiskarlferners im Jahr 1983 reichte vermutlich bis zum unteren Moränenwall. Aus dem Jahr 1990 sind zwei Fotos veröffentlicht worden, eines aus dem Monat Juli und eines einen Monat später im August. Im Juli reichte der Schnee bis 2110 Meter hinunter, die Gletscherfläche

war aber vermutlich kleiner. Der Gletscher auf der Aufnahme aus dem August ist nicht ausreichend erkennbar. Das obere Gletscherende im Jahr 1996 reichte höher hinauf als in den vorigen Jahren.

Von dem 24.10.1996 wurden außerdem zwei Bilder analysiert, die den Eiskarlferner zeigen, auf einem ist jedoch die untere Grenze nicht zu erkennen. Ein Messfehler trat bei der Abbildung von 2001 erneut auf, da hier etliche Schneeflecken bis 2200 Meter reichen und das Eisende nicht eindeutig gedeutet werden kann. Schnee reichte auch ein Jahr darauf bis zu der unteren Moräne.



Abbildung 34: Luftbild vom 12.07.1990 (Quelle: Land Tirol)

(Tabelle 3: Ungefähr gemessene Gletscherlängen aus den Luftbildern mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Eiskarlferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende
30.09.2002	2340 m	2180 m
14.08.2001	2360 m	2200 m
24.10.1996	2380 m	2180 m
24.08.1990	k.A.	k.A.
12.07.1990	2340 m	2180 m
24.09.1983	2340 m	2180 m

Die Analyse der vergangenen Gletscherenden des Hochglückkarferners war komplizierter als die des Eiskarlferners. Die beobachteten Luftbilder sind bei dem Eiskarlferner und dem Hochglückkarferner dieselben, jedoch waren einige Luftbildbereiche von nicht ausreichender Qualität, sodass das Schätzen der Gletscherausdehnung nicht unproblematisch war. Im Jahr 1983 befand sich zum Aufnahmezeitpunkt unterhalb des Gletschers Schnee, der bis zum unteren Wall reichte und als Gletscherfläche angenommen wurde. Die Luftbilder aus dem Jahr 1990 wiesen im Juli Schneeausdehnungen bis zu der Moräne auf 2110 m auf. Das obere Ende des Hochglückkarferners ist auch hier im August nicht zu erkennen. Der Gletscher auf den beiden Bildern aus dem Jahr 1996 erscheint unterschiedlich, aufgrund einer Geländeverzerrung wegen des geänderten Aufnahmepunktes. Schneereste reichten auch am 14.08.2001 bis zum Wall auf 2110 m, sodass das Eisende nicht klar festzulegen ist. Auf dem Bild vom 30.09.2002 ist der Gletscher nicht erkennbar.

(Tabelle 4: Ungefähr gemessene Gletscherlängen aus den Luftbildern mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Hochglückkarferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende
30.09.2002	k.A.	k.A.
14.08.2001	2340 m	2110 m
24.10.1996	2380 m	2220 m
24.08.1990	k.A.	2110 m
12.07.1990	2320 m	2160 m
24.09.1983	2300 m	2120 m

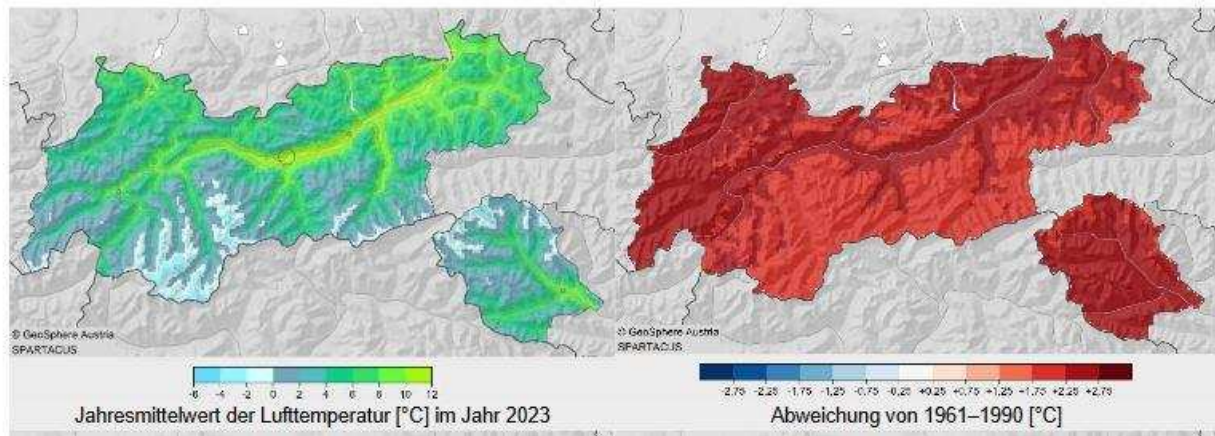


Abbildung 35: Änderung der Lufttemperatur in Tirol (Quelle: Orlik et al., 2024)

Ein klarer Trend der Gletscherveränderung kann auf Grundlage dieser Forschungen zwar nicht eindeutig ausgemacht werden, jedoch konnten im Jahr 2022 verkleinerte Gletscherflächen bei beiden Gletschern festgestellt werden. Anhand der ermittelten Daten aus den Vermessungen der Luftbilder und der Orthophotos kann ein Ansteigen der unteren Gletscherenden erkannt werden. Da die Lufttemperatur in den Alpen in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen ist (Abb. 35), kann gesagt werden, dass die Gletscher mit hoher Wahrscheinlichkeit kleiner geworden sind. Aufgrund von fehlenden Messreihen der Gletscher können dieses Aussagen jedoch nicht vollständig verifiziert werden.

5. Gletschersituation des Mieminger Schneeferners

Entwicklung vor 1993

Die Ausdehnung des Mieminger Schneeferners ändert sich seit dem Jahr 1952 um 2 Hektar und schwankt somit zwischen 3 Hektar und 5 Hektar. Diese und folgende Annahmen über den vergangenen Zustand des Mieminger Schneeferners bis zum Jahr 1993 beruhen auf der Publikation von Michael Kuhn aus demselben Jahr. Die Grundlage dieser Forschung bildete die Alpenvereinskarte und das Einzeichnen der ungefähren Gletscherenden, welche in den verschiedenen Jahren anhand von Luftbildern und privaten Fotografien geschätzt wurden. Aufgrund seiner herausfordernden Erreichbarkeit, was eine Erforschung erschwerte, und seiner geringen Größe, könnte der Gletscher als solches nicht wahrgenommen werden, doch er besitzt „mit Randkluften, Querspalten, Scherflächen und Moränen die wesentlichen Attribute eines aktiven Gletschers“. (Kuhn, 1993, S. 157)

Das untere Gletscherende wird abgegrenzt durch einen Moränenwall, der in einer Höhe von 2320 Metern liegt. Dieser Wall steigt an seinen beiden Enden bis in eine ungefähre Höhe von 2400 Metern hinauf. Die Karwand, die den Hintergrund des Kars erzeugt, befindet sich etwa 200 Meter entfernt von dem Moränenwall. Dieser Wall wurde bis zum Jahr 1987 noch von dem Gletscher erreicht und zu dieser Zeit dehnte sich das Eis auf eine Fläche von ungefähr 5 Hektar aus, danach erstreckte sich die Gletscherzunge nicht mehr so weit nach unten. Laut Kuhn (1993) reichte die Eisfläche während der letzten Hochstände der zentralalpinen Talgletscher ebenfalls nicht über diesen Wall hinaus und bildet so eine permanente Begrenzung für das Gletscherbecken. Wenn Lawinen auf den Gletscher fallen und das Karbecken bis zum oberen Rand des Moränenwalls auffüllen, kommt es bei anschließenden Lawinen, die auf den Gletscher fallen dazu, dass sie über den Moränenwall hinausschießen. Dieser Wall bildet somit auch eine mechanische Grenze. Das obere Ende des Gletschers wird in einer Höhe von 2500 Metern von steilen Felswänden von Sonneneinstrahlung abgeschirmt und erfährt so ein verringertes Schmelzen. Die Existenz von Gletschern ist im Regelfall nur in höheren Lagen möglich, der Mieminger Schneeferner konnte jedoch das Ansteigen der klimatischen Schneegrenze seit dem letzten Hochglazial, welches aufgrund von wärmeren klimatischen Verhältnissen passierte, überdauern, da ihn sein circa 20 ha großes Einzugsgebiet mit Lawinen ernährt. Dieses Gebiet ist etwa vier- bis fünfmal größer als die Gletscherfläche. Die starke Neigung und südliche Exposition des Geländes erschweren den Fortbestand einer Gletscherfläche und würden vermuten lassen, dass hier kein Eis längere Zeit vorhanden sein kann. (Kuhn, 1993, S. 153-171)



Abbildung 36: Lawine die auf den Mieminger Schneeferner fällt (Quelle: Eigene Abbildung, 2024)

Michael Kuhn hat in seiner Forschung den zeitlichen Verlauf der Eisflächenänderung anhand von Bildern festgehalten und beschrieben, die in einem Abstand von mehreren Jahren aufgenommen wurden. Im Jahr 1952 war das Gletscherbecken bis zu dem markanten Moränenwall am unteren Ende des Gletschers mit Schnee gefüllt und die Gletscherfläche betrug ungefähr eine Oberfläche von 5 ha. Die Seiten der Gletscherfläche wiesen Randklüfte auf. Der liegengebliebene Schnee bildete im Jahr 1969 Firn, in welchem Spalten und Randklüfte beobachtet werden konnten. Im Jahr 1971 wies der Firn eine Ausdehnung von etwa 3 ½ ha auf. Von 1987 bis 1992 konnte dokumentiert werden, dass der Gletscher wesentlich von Lawinen und Felsstürzen beeinflusst wird, und in seinem westlichen Gebiet an Masse verlor. Aufgrund von theoretisch berechneten Gletschern kann für den östlichen Teil des Mieminger Schneeferners eine Eisdicke von 20 Metern vermutet werden. Der obere Bereich des Gletschers, welcher ein niedrigeres Gesteinsbecken als Untergrund hat, besitzt wahrscheinlich eine höhere Dicke. Bei so geringen Eisdicken können Teile davon in einer Zeitspanne von nur zehn Jahren abschmelzen. Laut Kuhn (1993) ist auf alten Bildaufnahmen zu erkennen, dass das Eis an der hinteren Karwand ebenfalls wegschmilzt und in den darauffolgenden Jahren mit geeigneter Witterung wieder gebildet werden kann. Die Eisdicke schwankt somit auch hier. (Kuhn, 1993, S. 153-171)

Ein Talgletscher mit langer Gletscherzunge beispielsweise, erfährt in seinem oberen Bereich Akkumulation durch Lawinen oder Schneefall und in dem unteren Bereich, dem der Gletscherzunge, finden Prozesse der Ablation statt, wie das Schmelzen oder Erodieren des Gletschereises. Diese Prozesse finden bei einem kleinen Kargletscher, wie dem Mieminger Schneeferner, ebenfalls statt und werden zusammenbetrachtet als der jährliche Massenhaushalt eines Gletschers bezeichnet. Der Mieminger Schneeferner erfährt durch seine Position im Gelände einen erhöhten Niederschlag, da das Mieminger Gebirge das erste hohe Gebirge ist, das in der nordwestlichen Höhenströmung liegt, aus welcher viele Wetterfronten kommen. Es kommt zu einer Staubewölkung. Den negativen Beitrag zur jährlichen Massenbilanz stellt die Ablation dar, wobei Schmelzvorgänge häufig einen entscheidenden Anteil ausmachen. Hierbei ist die Einstrahlung der Sonne

von Bedeutung. Je heller die Gletscheroberfläche ist, desto geringer ist das Abschmelzen, somit kann gesagt werden, dass eine höhere Albedo des Gletschers sich positiv auf die Massenbilanz auswirkt. Die Akkumulation hängt mit der Albedo zusammen, „denn je größer die ist, desto heller bleibt die Oberfläche während des Sommers“ (Kuhn, 1993, S. 166), wobei dieser Zusammenhang positive Rückkopplung genannt wird. Bei der Ablation von tiefliegenden Gletschern ist ebenso das Vorhandensein von fühlbarer Wärme entscheidend, die hauptsächlich Ausdruck findet in der Lufttemperatur. Aufgrund eines Vergleichs den Kuhn mit dem Hintereisferner aufgestellt hat, wird angenommen, dass die Ablation in den Sommermonaten bei dem Mieminger Schneeferner bei etwa 4,5 bis 6 m Wasseräquivalent liegt. Es wird angenommen, dass die Akkumulation einen größeren Schwankungsbereich hat als die Ablation. Zu erwähnen ist, dass die Massenbilanz eines Gletschers, der sich in einem Kar befindet, schwerer zu berechnen ist als die eines Talgletschers, da Akkumulation nicht gleichmäßig auf der gesamten Gletscherfläche geschieht, sondern hauptsächlich in der Karmitte mit der höchsten Tiefe und an der Karwand, da hier Lawinen liegen bleiben. (Kuhn, 1993, S. 153-171)

Die Massenbilanz des Mieminger Schneeferners hängt wesentlich stärker von der Akkumulation in den Wintermonaten ab als von der Ablation im Sommer. Das Gegenteil kann an den Gletschern des Alpenhauptkamms beobachtet werden, hier ist die Ablation entscheidender als die Akkumulation. Ebenfalls anders als bei einem typischen Talgletscher finden Prozesse der Bewegung des Eises statt, aufgrund anderer topographischer Eigenschaften eines Kargletschers. Der Mieminger Schneeferner bewegt sich vermutlich auf seinem Untergrund ein paar Meter pro Jahr. Innere Bewegung des Gletschers wird in dem obenliegenden Bereich sichtbar. Der große Moränenwall am unteren Gletscherende ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls ein Produkt von innerer Eisbewegung. (Kuhn, 1993, S. 153-171)

Allgemein kann auch hier, gleich wie bei den Karwendelgletschern erwähnt werden, dass die Entwicklungslinie des Mieminger Schneeferners, sowie jene des Eiskarlferners und des Hochglückkarferners, nicht gleich mit denen der großen zentralalpinen Gletscher verläuft, da diese Gletscher anders auf langfristige Klimaänderungen reagieren. (Kuhn, 1993, S. 153-171)

Das Analysieren der Ausdehnung und Masse des Mieminger Schneeferners anhand von Bildern ist insofern problematisch, als dass dieser Gletscher aufgrund der großen Moräne am tiefliegenden Ende und seiner internen Rotation hauptsächlich nur seine Dicke verändert, nicht aber seine Fläche, jedoch kann das Feststellen einer Dickenänderung auf den Aufnahmen nicht durchgeführt werden. (Kuhn, 1993, S. 153-171)

Entwicklung ab 1993

Eine eigenständige Erforschung der Gletscherveränderung wurde für den Mieminger Schneeferner durchgeführt. Es wurde nach dem gleichen Prinzip wie bei der Vermessung des Eiskarlferners und des

Hochglückkarferners vorgegangen. Die Luftbilder und Orthophotos stammen ebenfalls von dem Amt der Tiroler Landesregierung. Die gleichen Messfehler und Schwierigkeiten traten auch hier auf.



Abbildung 37: Digitales Geländemodell vom 10.05.2007 (Quelle: Land Tirol)



Abbildung 38: Digitales Geländemodell vom 21.08.2020 (Quelle: Land Tirol)

Orthophotos:

Die Orthophotos wurden ebenfalls in ein ESRI-Projekt mit dem gleichen Höhenlinien Layer eingefügt und die ungefähren Gletscherlängen in eine Tabelle eingetragen. Der Mieminger Schneeferner besaß in den Orthophotos eine ungefähre Breite von 170 Meter. Das Bild von dem 24.08.2000 konnte nicht zur Datenerhebung gebraucht werden, da das Bild eine schlechte Beleuchtung besitzt. Allerdings kann aus der Analyse der Luftbilder abgeleitet werden, dass der Gletscher mit hoher Wahrscheinlichkeit an diesem Tag bis zum Moränenwall mit Schnee aufgefüllt war, da ein Luftbild existiert, das das Gletscherkar vier Tage zuvor zeigt und hier aufgefüllt war. Auf den Fotos ist zu erkennen, dass der östliche Teil des Gletschers ab dem Jahr 2017 nicht mehr mit dem westlichen verbunden ist. Etliche der Orthophotos, 2005, 2010, 2014 und 2020, sind schwer einzuordnen, da zum Messzeitpunkt viel Schnee lag, welcher bis zu dem hohen unteren Moränenwall reichte und so das Festlegen eines unteren Gletscherendes erschwerte.



Abbildung 39: Orthophoto vom 19.07.2014 (Quelle: Land Tirol)

(Tabelle 5: Ungefähr gemessene Gletscherflächen und -längen aus den Orthophotos mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Mieminger Schneeferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende	Fläche
05.09.2023	2455 m	2375 m	0,8 ha
08.07.2020	2455 m	2331 m	2,7 ha
07.08.2017	2460 m	2370 m	1,4 ha
19.07.2014	2455 m	2350 m	2,1 ha
01.08.2010	2455 m	2330 m	2,7 ha
06.09.2005	2460 m	2330 m	2,9 ha
24.08.2000	k.A.	k.A.	k.A.

Luftbilder:

Auch bei der Analyse der Luftbilder, die den Mieminger Schneeferner zeigen, wurde das gleiche Forschungsverfahren zur Vermessung angewandt. Allerdings wurden weniger Luftbilder gefunden als für die beiden Karwendelgletscher. Das Bild aus dem Jahr 1992 besitzt leider eine nicht ausreichende Qualität, um den Gletscher zu vermessen. Am 20.08.2000 war das Karbecken bis zu dem Wall am unteren Gletscherende mit Schnee aufgefüllt. Aus Tabelle 6 ist abzulesen, dass sich der Gletscher in der Zeitspanne von 1991 bis 2000 nicht verändert hat.

(Tabelle 6: Ungefähr gemessene Gletscherlängen aus den Luftbildern mit Hilfe von Höhenlinien in ArcGIS Pro, k.A.= konnte nicht erkannt werden, Quelle: Land Tirol)

Mieminger Schneeferner

Datum	Oberes Ende	Unteres Ende
20.08.2000	2460	2330
20.07.1995	2460	2330
29.07.1992	k.A.	k.A.
07.08.1991	2460	2330

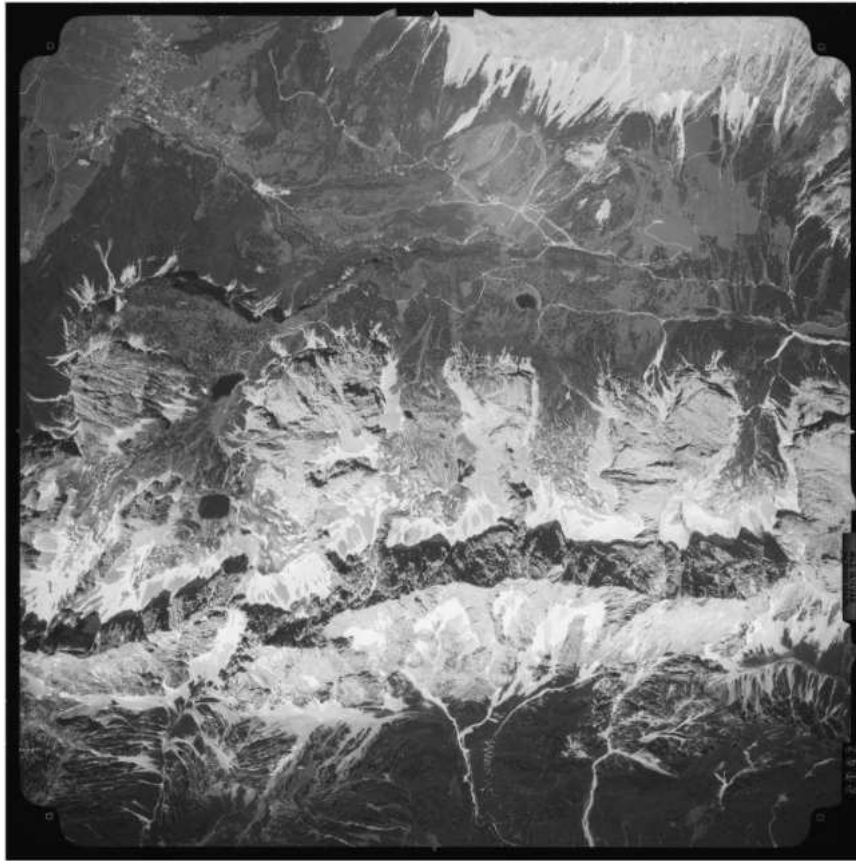


Abbildung 40: Luftbild vom 20.07.1995 (Quelle: Land Tirol)

Zusätzlich zu diesen selbst erhobenen Daten, wurde eine Veröffentlichung der Schule Meinhardinum, die in Stams liegt berücksichtigt. Das Schulprojekt beschäftigt sich mit der Veränderung des Mieminger Schneeferner und es wird in dem Zeitraum von Oktober 2019 bis heute durchgeführt, die letzten Veröffentlichungen stammen allerdings aus dem Jahr 2022. Im Zuge dieses Projektes wurden im Jahr 2019 Felsmarkierungen angebracht, da der Gletscher hier, vergleichsweise, tief lag. Mit Hilfe dieser Markierungen wurde in den darauffolgenden drei Jahren die Gletscherveränderung gemessen. In den Jahren 2021 und 2022 wurden einige Markierungen erneuert oder neu angebracht, weil das Eis stark abgeschmolzen ist.

Es wurden mit Hilfe eines Fernrohrs Fotos des Gletschers an bestimmten Tagen in einem Abstand von jeweils einem Jahr gemacht, so konnte durch das Projekt festgestellt werden, dass die Schneedicke im Winter 2019/2020 mächtiger war als im Winter 2020/2021. Die Ablationsperiode dauerte im Jahr 2021 länger an, sodass große Teile des Gletschers schmolzen. Im Vorjahr war der Zeitraum, in dem der Gletscher schmolz, kürzer. (Foto Unterschied) Die Bilder des Jahres 2022 dieses Projektes zeigen extreme Werte des Gletschers auf. Aufgrund von erhöhten durchschnittlichen Lufttemperaturen schmolz der Mieminger Schneeferner zurück. Eine positive Veränderung der Temperaturen um 1,5 °C bis 3,5°C war entscheidend. In der Akkumulationsperiode kam es im Vergleich zum langjährigen Mittel zu niedrigeren Niederschlagswerten, und in der Ablationsperiode zu erhöhten. Außerdem kam es durch den Eintrag von Saharastaub und dessen Verdichtung auf dem Gletscher zu einer erhöhten Schmelze. (Meinhardinum, o.J, o.S.)

Aus der selbstständig durchgeführten Erhebung geht hervor, dass der Gletscher sich in den letzten 10 Jahren seit 2014 verkleinert hat. Das aktuelle Orthophoto von 2023 zeigt ein starkes Rückziehen des Mieminger Schneeferners auf. Auch die Forschungsergebnisse der Schule meinhardinum dokumentieren ein Rückschmelzen des Gletschers, wobei es im Jahr 2022 zu großen Massenverlusten kam. Dies lässt sich fortzuschreiben auf den Gletscherstand des Orthophotos von 2023. Es kann vermutet werden, dass der Mieminger Schneeferner stark geschmolzen ist und sich diese Entwicklungslinie aufgrund von steigenden Lufttemperaturen und verändertem Niederschlagsverhalten fortsetzen wird.

6. Zukünftige Gletscherentwicklung in den Alpen

Die zukünftige Entwicklung der österreichischen Gletscher ist bestimmt durch verschiedene Einflüsse wie Wind, Niederschlag, atmosphärische Strahlung und Temperatur der Luft. Ebenfalls von Bedeutung ist die jetzige Eisdicke eines Gletschers. Die genannten meteorologischen Treiber sind sehr stark durch den Menschen und dessen erhöhten Treibhausgasausstoß beeinflusst. Laut der Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (GeoSphere Austria, o.J., o.S.) werden viele der Gletscher Österreichs, die niedriger liegen als die Gletscher der höheren Alpenregionen, im Jahr 2100 nicht mehr vorhanden sein. Die Flächen der Gletscher werden langfristig gesehen schrumpfen, da Gletscher zeitversetzt auf Klimaänderungen reagieren und die aktuellen Temperaturen die heutigen Eisausdehnungen theoretisch gesehen nicht ermöglichen könnten. Verschiedene Klimaszenarien und Prognosen über eine zukünftige mögliche Temperaturentwicklung wurden in den IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Berichten veröffentlicht. Diesen Berichten nach zeigt der Großteil der Klimaszenarien ein Rückschmelzen der Gletscher auf. Die in diesem Bericht kleinen und tiefliegenden Gletscher werden vermutlich in den nächsten Jahrzehnten abschmelzen. (GeoSphere, o.J., o.S.)

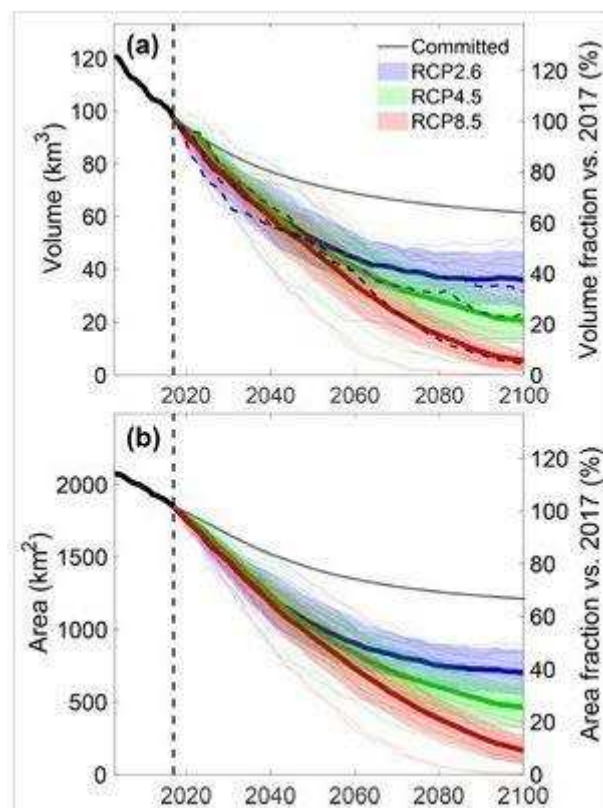


Abbildung 41: Szenarien über die Volumenänderung der Gletscher der Alpen bis zum Jahr 2100 (Quelle: GeoSphere)

Durch sich zurückziehenden Gletscherflächen und schmelzende Permafrostschicht kommt es zu einer erhöhten Steinschlag- und Felssturz- Gefahr, da die Eisflächen ihren früheren Untergrund nicht mehr bedecken und „halten“. Auch das Risiko für ein Eintreten von Murgängen und Hangrutschungen erhöht sich dadurch. (ÖAW, 2023, o.S.) Das Amt der Tiroler Landesregierung hat im Jahr 2006 das „Raumordnungsprogramm über den Schutz der Gletscher“ beschlossen. Das Programm enthält Diskussionen und Beschlüsse über den Naturschutz und den touristischen Nutzen der Tiroler Gletscher. (Land Tirol, 2006, o.S.)

In Abbildung 43 können die verschiedenen Klimaszenarien und die Änderung der Oberflächentemperatur abgelesen werden. Ein Temperaturanstieg von bis zu 4,8°C bis zu dem Jahr 2100 ist möglich, wobei ein Anstieg der Temperatur in jedem Fall angenommen wird und dieser auch nicht geringer gehalten werden könnte, aufgrund der Zeitverzögerung der klimatischen Bedingungen. In Österreich ist mit einem Ansteigen der Temperatur zwischen +2,3°C und +4,0°C zu rechnen. Die Tage an denen Frost festgestellt werden kann, werden auf 42 bis 70 sinken. (Umweltbundesamt, 2024, o.S.)

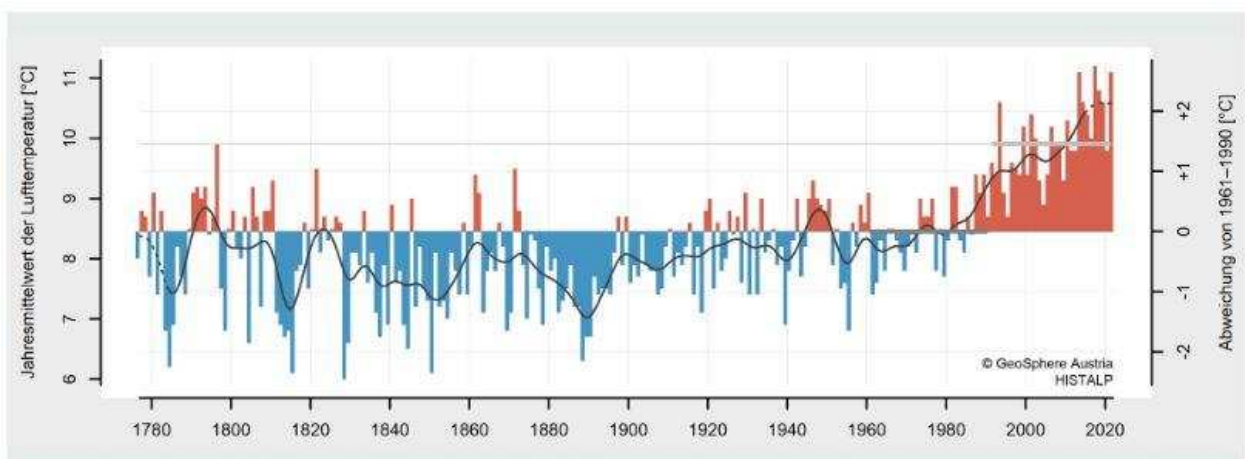


Abbildung 42: Änderung der Lufttemperatur seit 1780 in Österreich (Quelle: Orlik et al., 2024)

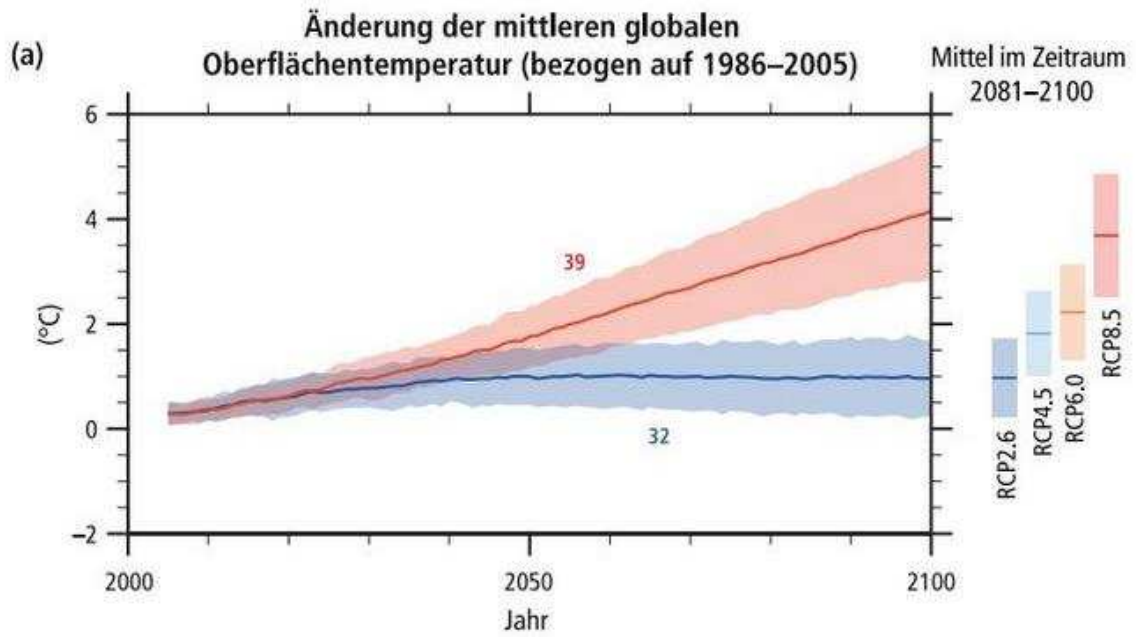


Abbildung 43: Szenarien zur Lufttemperaturänderung bis zum Jahr 2100 (Quelle: Umweltbundesamt, 2024)

Quellen

1. Amt der Tiroler Landesregierung (o.J.): Laserscandaten. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris/laserscandaten/> [Zugriff am 09.06.2024]
2. Naturpark Ötztal (o.J.): Lebensraum Gletschervorfeld. <https://www.naturpark-oetztal.at/wissen/natur-im-fokus/lebensraum-gletschervorfeld> [Zugriff am 09.06.2024]
3. Hagg, W. (2020): Gletscherkunde und Glazialgeomorphologie. Springer, München.
4. Kuhn, M. (1993): Zwei Gletscher im Karwendelgebirge. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 29, Heft 1, S. 85-92. Innsbruck.
5. Kuhn, M. (1993): Der Mieminger Schneeferner, ein Beispiel eines Lawinenernährten Kargletschers. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 29, Heft 2, S. 153-171. Innsbruck.
6. Bayerisches Landesamt für Umwelt (2006): Karwendelgebirge. <https://www.lfu.bayern.de/natur/biotopkartierung/alpenbiotopkartierung/landkreisbeschreibungen/doc/karwendelgebirge.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
7. Westreicher, F. (2019): Der Bergsturz am Stöttlbach : wie am Mieminger Plateau aus einer postglazialen Moräne ein holozäner Bergsturz wurde. Innsbruck. <https://diglib.uibk.ac.at/ulbti-rolhs/content/titleinfo/3573974> [Zugriff am 09.06.2024]
8. Meinhardinum Gynmasium und Aufbaurealgynmasium des Stiftes Stams (o.J.): Gletscherprojekt: Mieminger Schneeferner. Stams. <https://meinhardinum.at/gletscher/> [Zugriff am 09.06.2024]
9. Glawion, R., Glaser, R., Saurer, H., Gaede, M. & Weiler, M. (2013): Das Geographische Seminar. Physische Geographie. 2. Auflage, S. 178-225. Westermann, Braunschweig.
10. Leser, H. (2009): Das Geographische Seminar. Geomorphologie. S. 196-206, 249-272. Westermann, Braunschweig.
11. Eitel, B. & Faust, D. (2013): Das Geographische Seminar. Bodengeographie. S. 102-130, 259-264. Westermann, Braunschweig.

12. alpenvereinaktiv, Leeb, C. (2024): Eiskarlspitze. <https://www.alpenvereinaktiv.com/de/tour/eis-karlspitze/272639238/#caml=a14,1wukgg,7u4lq6,0,0> [Zugriff am 09.06.2024]
13. Deutscher Alpenverein (2021): Rother Alpenvereinsführer online. https://www.alpenverein.de/artikel/rother-alpenvereinsfuehrer-online_2d21edbe-bc23-4e69-b77e-c10911593ed4#wetterstein-und-mieminger-kette [Zugriff am 09.06.2024]
14. Härter, G., Beulke, S., Pfanzelt, H. & Aeberli, S. (1984): Alpenvereinsführer. Wetterstein und Mieminger Kette. 3. Auflage. Bergverlag Rudolf Rother GMBH, München. https://bibliothek.alpenverein.de/webOPAC/01_Alpenvereins-Publikationen/07_AV-Fuehrer/Wetterstein_und_Miemin-ger_Kette/WettersteinMiemingerKette_Haerter_Beulke_Pfanzelt_3_Auflage_1984.pdf [Zugriff am 09.06.2024]
15. GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (o.J.): Klettertour auf Korallenriff. Die Nördlichen Kalkalpen. <https://www.geologie.ac.at/rocky-austria/landschaften/noerdliche-kalkalpen> [Zugriff am 09.06.2024]
16. Meier Kruker, V. & Rauh, J. (2005): Arbeitsmethoden der Humangeographie. S. 64/65. Darmstadt.
17. Naturpark Karwendel (o.J.): Gebietsgrenzen und Steckbrief. <https://www.karwendel.org/naturpark-karwendel/gebietsgrenzen/#1654111236244-628e54ff-c706> [Zugriff am 09.06.2024]
18. Kuhn, M. (1995): The mass balance of very small glaciers. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glaziologie. Band 31, S. 171-179. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
19. Klier, W. (2011): Karwendel alpin. Alpenvereinsführer alpin für Wanderer und Bergsteiger. 16. Auflage. Bergverlag Rother, München.
20. Amt der Tiroler Landesregierung (Land Tirol) (o.J.): Geodaten & tiris. <https://www.tirol.gv.at/sicherheit/geoinformation/geodaten-tiris> [Zugriff am 09.06.2024]
21. Geologische Bundesanstalt (Hrsg.) (2013): Geologie von Österreich – Postkarte. – Geol. B.-A., Wien.

22. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (o.J.): BEV – Darstellungsdienst. <https://www.bev.gv.at/Services/Geoinformationsdienste/BEV-Geodatendienste/BEV-Darstellungsdienst.html> [Zugriff am 09.06.2024]
23. Seibert, D. (2008): Lechtaler Alpen. Alpenvereinsführer alpin. Bergverlag Rother GMBH, München. https://bibliothek.alpenverein.de/webOPAC/01_Alpenvereins-Publikationen/07_AV-Fuehrer/Lechtaler_Alpen/LechtalerAlpen_SeibertDieter_2_Auflage_2008.pdf [Zugriff am 09.06.2024]
24. Nationalpark Hohe Tauern (2019): Die Gletscher der Hohen Tauern. Matri in Osttirol. <https://hohe-tauern.at/de/bildung.html#um> [Zugriff am 09.06.2024]
25. GeoSphere Austria – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (o.J.): Quartär. Känozoikum. <https://www.geologie.ac.at/rocky-austria/entwicklungsgeschichte/quartar> [Zugriff am 09.06.2024]
26. Blue Sky Wetteranalysen Traunmüller u. Reingruber OG, Dachsteingletscher.info (o.J.): Dachsteingletscher. <https://dachsteingletscher.info/das-projekt/dachsteingletscher/> [Zugriff am 09.06.2024]
27. Pfanzelt, H. & Aeberli, S. (1971): Alpenvereinsführer. Wetterstein und Mieminger Kette. Bergverlag Rudolf Rother, München. (https://bibliothek.alpenverein.de/webOPAC/01_Alpenvereins-Publikationen/07_AV-Fuehrer/Wetterstein_und_Mieminger_Kette/WettersteiMiemingerKette_PfanzeltHelmut_1_Auflage_1971.pdf) [Zugriff am 09.06.2024]
28. Orlik A., Rohrböck A., Müller P., Tilg A.-M. (2024): Klimarückblick Tirol 2023, Wien. Klimastatusbericht Österreich 2023, Klimarückblick Tirol, Hrsg. CCCA 2024. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/Klimarueckblick-Tirol-2023.pdf> [Zugriff am 09.06.2024]
29. Lieb, G. K. & Kellerer-Pirklbauer, A. (2024): Gletscherbericht 2022/2023. Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2023. Innsbruck.
30. Google (2024): Google maps. <https://www.google.com/maps/@47.6683207,12.8992072,10.63z/data=!5m1!1e4?entry=ttu> [Zugriff am 11.06.2024]

31. Kühnhauser, B. (2015): Alpenvereinsführer. Berchtesgadener Alpen mit Hochkönig. 21. Auflage. Bergverlag Rother GMBH, München. https://bibliothek.alpenverein.de/webOPAC/01_Alpenvereins-Publikationen/07_AV-Fuehrer/Berchtesgadener_Alpen/BerchtesgadenerAlpen_KuehnhauserBernhard_21_Auflage_2015.pdf
32. KOMPASS-Karten (o.J.): Digitale Karte. Wanderkarte. <https://www.kompass.de/wanderkarte/> [Zugriff am 11.06.2024]
33. Hagg, W. / Fakultät für Geoinformation (o.J.): Bayerische Gletscher <http://bayerische-gletscher.de/wmg.htm> [Zugriff am 11.06.2024]
34. Österreichischer Alpenverein (o.J.): Gletschermessdienst. <https://www.alpenverein.at/portal/museum-archiv/gletschermessdienst/index.php> [Zugriff am 11.06.2024]
35. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2024): The Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/> [Zugriff am 11.06.2024]
36. GeoSphere – Bundesanstalt für Geologie, Geophysik, Klimatologie und Meteorologie (o.J.): Zukunft. (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimafolgen/gebirgsgletscher/zukunft>) [Zugriff am 11.06.2024]
37. Amt der Tiroler Landesregierung (2006): Raumordnungsprogramm über den Schutz der Gletscher. <https://www.tirol.gv.at/landesentwicklung/raumordnung/ueberoertliche-raumordnung-1/tourismus/gletscherschutzprogramm/> [Zugriff am 11.06.2024]
38. Österreichische Akademie der Wissenschaften (ÖAW) (2023): Gletscherschwund: Auswirkungen reichen bis ins Tal. <https://www.oeaw.ac.at/news/gletscherschwund-auswirkungen-reichen-bis-ins-tal> [Zugriff am 11.06.2024]
39. Umweltbundesamt (2024): Klimaszenarien. <https://www.klimawandelanpassung.at/kwa-allgemein/kwa-klimaszenarien> [Zugriff am 11.06.2024]
40. ESRI (o.J.): Was ist GIS?. <https://www.esri.de/de-de/was-ist-gis/uebersicht> [Zugriff am 11.06.2024]

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich mit der Archivierung der vorliegenden Bachelorarbeit einverstanden.

11.06.2024

Datum



Unterschrift

Transkript - Gespräch mit Michael Kuhn am 14.05.2024

Das Gespräch wurde aufgezeichnet, das Transkript enthält nur die wesentlichsten Gesprächsteile, auch private Gesprächsteile wurden in dem hier aufgezeigten Transkript nicht berücksichtigt. Das Einverständnis von Michael Kuhn zu einer technischen Gesprächsaufnahme wurde vorab eingeholt. Das Transkript enthält den gesprochenen Sprachstil.

00:00:00 Kuhn

Also wenn Sie jetzt von Innsbruck aus auf die Nordkette schauen, dann sehen Sie einmal als allererstes hier zum Fenster hinaus, dass über der Seegrube das große Kar voll mit Schnee ist. Das ist vor allem deswegen, weil es von hohen Felsen umgeben ist und sehr viel Lawinen hineinfallen.

00:00:26 Steiner

Das mit den Lawinen, das ist ganz interessant. Ich bin von Stams aus gewandert bis zur Mieminger Kette und da hab ich gesehen wie eine Lawine direkt in den Mieminger Schneeferner fällt.

00:00:41 Kuhn

Ja, das ist halt also ein typisches Beispiel. Der Mieminger Schneeferner ist auf der Südseite, aber er ist so eingeschlossen, dass er ab 11:00 Uhr vormittags wieder im Schatten ist. Und er kriegt Nordstau und viele Lawinen.

00:01:06 Kuhn

Und er hat gerade so ein Becken, das wahrscheinlich in der Eiszeit geformt worden ist. Oder noch früher. Wo er sich selber aufstauen kann. An dem Mieminger Schneeferner sieht man sehr gut, dass es einen sogenannten Protalus Rampart gibt. Talus ist das englische Wort für Geröllhalde und Protalus ist am Ende oder vor der Halde und wenn das mit Lawinen angefüllt ist, dann kommen monatelang noch der Stein-schlag, der die Steine über den Lawinenschnee bis hinunter ins etwas Flachere rollen lässt. Und da sammeln sie sich dann ein.

00:02:03 Steiner

Gut.

00:02:04 Kuhn

Und das gibt dann im Lauf der Jahrhunderte einen richtigen Wall da unten, wo der normale Lawinenschnee aufhört. Das ist also auch wieder vom Gelände abhängig. Und das sieht man auch an den kleinen Zugspitzgletschern, die nicht oder in den Karen, die nach Ehrwald hinuntergehen.

00:02:28 Kuhn

Und das nennt man also Protalus Rampart. Ein Wall. Und das ist also eine Selbstverstärkung.

00:02:59 Kuhn

Und man sieht am Mieminger Schneesferner auch diesen Wall und so kleine Moränen darin. Das sind also mehrere Ringe, die da unten sind, das müssen Sie auf Fotos nachschauen. Und die zweite Kategorie, die es gibt, das ist der Hallstätter Gletscher, der auf einem flachen Hochplateau liegt. Der ist gerade hoch genug, dass der Schnee dort bleibt und ist auch am Alpennordrand und mit viel Niederschlag.

00:03:37 Kuhn

Und das ist auch, war auch mit dem Zugspitzferner auf der Zugspitze so, nur ist der jetzt gerade am Verschwinden. Also der hat es gehabt.

00:04:06 Steiner

Gut, Dankeschön.

00:05:04 Steiner

Ja, was ich Sie noch fragen wollte, wie Sie denn früher die Gletscher vermessen haben.

00:05:11 Kuhn

Ja, ich hab die Gletscher nicht vermessen, nur fotografiert, angeschaut und fotografiert. Ich habe also selber keine Messung an den Nordalpengletschern durchgeführt.

00:05:22 Steiner

Sie haben an Karten festgelegt, wo jetzt der Gletscher aufhört?

00:05:27 Kuhn

Auf den Bildern habe ich das festgelegt. Bei den Karten muss man sehr vorsichtig sein, wann die Aufnahmen gemacht worden sind.

00:07:02 Kuhn

Es ist bei den Kargletschern die Fläche wichtiger als die Länge. Viele haben gar keine richtige Länge, sondern die sind aufgestaut.

00:11:45 Kuhn

Und mit so einer Karte (aus privatem Gesprächsteil) können Sie dann auch zeigen, dass es also am nördlichen Rand tiefer liegende Gletscher gibt als auf der Inntalseite.

00:11:57 Kuhn

Da müssen Sie eine Niederschlagskarte auch nehmen, wo sie sehen, dass am Alpennordrand der Niederschlag deutlich höher ist als im Inntal.

00:14:38 Steiner

Haben Sie sonst noch irgendwelche Anmerkungen?

00:14:48 Kuhn

Sie können sich ja mal Gedanken machen, was ist der Unterschied zwischen einem Kargletscher und einem großen Hanggletscher oder einem Talgletscher, also zum Beispiel der Hintereisferner und der Gurglerferner die gehen wirklich bis ins Tal hinunter und der Mieminger Ferner ist ein absoluter Kargletscher.

Vielen Dank!