

Stans, 13. Oktober 2025

Die Veränderung des Vorabgletschers im Zeitraum von 1950 bis heute

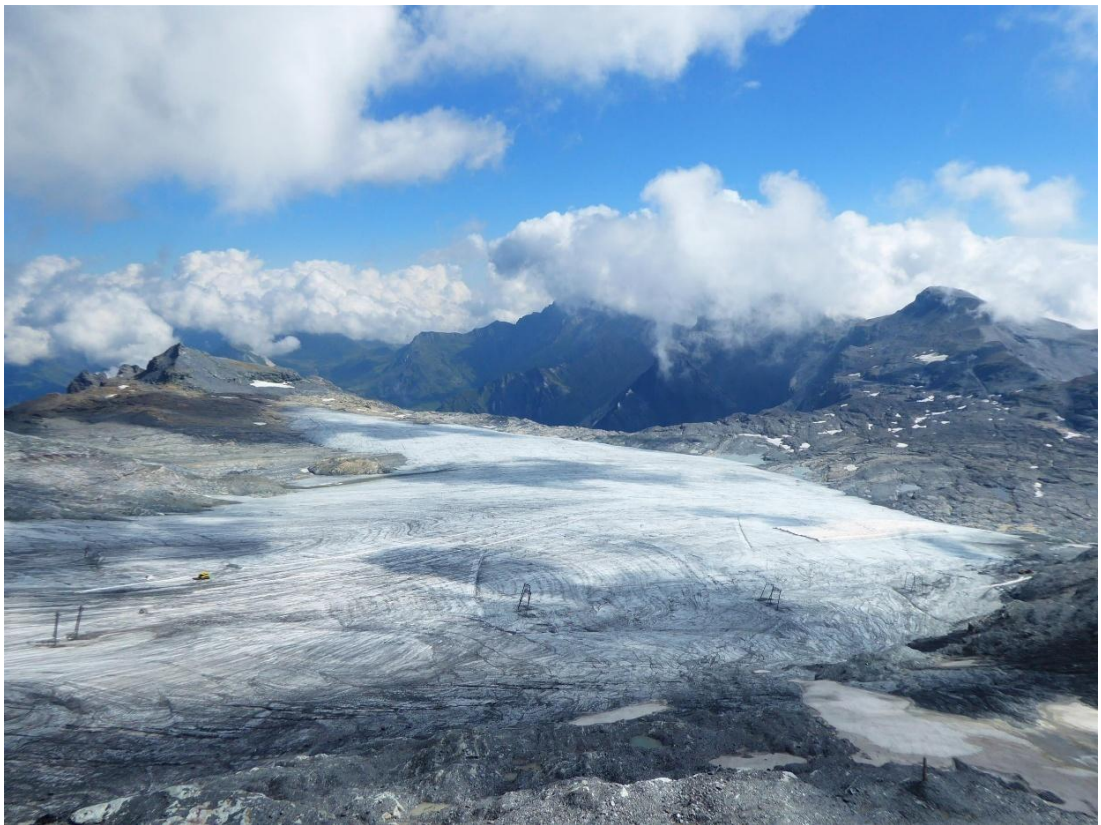


Abbildung 1, Der Vorabgletscher

Verfasser: XXXXXXXXXXXX

Mentorin: XXXXXXXXXXXX

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

1. Vorwort.....	5
2. Abstract.....	6
3. Einleitung.....	7
3.1 Gletschermessungen	8
3.2 Gletscherschmelze.....	8
3.3 Massnahmen gegen die Gletscherschmelze.....	10
3.4 Tourismus am Gletscher.....	11
3.5 Leitfragen	11
4. Daten und Methoden.....	12
5. Resultate.....	15
5.1 Visualisierung des Rückgangs des Vorabgletschers.....	15
5.2 Effektivität der Massnahmen.....	26
5.3 Touristische Alternativen	28
6. Diskussion.....	31
6.1 Gletscherschwund	31
6.2 Abdecken mit Vinylfolien	31
6.3 Die Zukunft des Tourismus am Vorabgletscher	32
7. Reflexion & Schlusswort.....	33
8. Literaturverzeichnis.....	34
9. Abbildungsverzeichnis.....	36
10. Anhang.....	38
11. Glossar.....	44
12. Deklarationen	46

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

1. Vorwort

Der Fachbereich der Geografie – mit dem Bezug zur Landschaft, ihrer Entstehung und Veränderungen - interessiert mich brennend. Gletscher prägen das Landschaftsbild enorm. Dank unseres Ferienhauses in Flims, welches sich nicht weit vom Vorabgletscher befindet, realisierte ich, wie sich Gletscher in einem vergleichsweise kurzen Zeitabschnitt extrem verändern können. Der Vorabgletscher ist ein gutes Beispiel für die Analyse des Gletscherschwunds, da einerseits seine Existenz in der nahen Zukunft bedroht ist und somit von Glaziologen, Bergbahnangestellten und weiteren Interessierten genaustens vermessen, beobachtet und dokumentiert wird. Andererseits eignet sich der Vorabgletscher auch, da er dank den Bergbahnbetrieben der Weissen Arena leicht zugänglich ist und durch den ständigen Skibetrieb auf dem Gletscher viel Wissen und Erfahrung (z.B. zur Vliesabdeckung) aufgebaut wurde.

Die genannten Gründe haben mich dazu bewogen, eine Maturaarbeit zu den Veränderungen des Vorabgletschers zu schreiben.

Dank an Personen, die mir bei meiner Arbeit geholfen haben:

- Mentorin (Gaby Wermelinger)
- Glaziologe Matthias Huss
- Chef Pistendienst & Rettung Weisse Arena (Corsin Clopath)
- Weisse Arena Gruppe
- Verwandtschaft

Hinweis zur Sprache:

Ich benutze in meiner Arbeit hauptsächlich das generische Maskulinum, beziehe mich dabei aber auf beide Geschlechter.

Hinweis zum Glossar:

Im Glossar zu findende Begriffe sind als *kursiv* geschrieben zu erkennen.

2. Abstract

Diese Arbeit möchte einerseits eine Visualisierung des Gletscherrückgangs der Alpen sein, mit dem Beispiel des Vorabgletschers. Es wird gezeigt, in welchem extremen Ausmass sich das Eis unserer Bergregionen zurückzieht. Mithilfe von Archivbildern und historischen Fotografien soll diese Visualisierung möglich gemacht werden. Der Vorabgletscher ist, wie viele andere Schweizer Gletscher auch, in Gefahr, in naher Zukunft vollständig zu verschwinden. Der Verlust vieler verschiedenen Gletscher wird aktiv versucht zu verhindern oder zumindest zu verlangsamen. Nebst der Eindämmung des Klimawandels und der Erwärmung unserer Erde, welche die Hauptverantwortlichen für diesen Rückgang der Gletscher verantwortlich sind, werden weitere, lokalere Massnahmen angewendet. Eine dieser Massnahmen, die ebenfalls am Vorabgletscher praktiziert wird, wird in dieser Arbeit genauestens unter die Lupe genommen, um ihre Effektivität zu prüfen. Dabei wird der Rückgang des Vorabgletschers mit Einwirkung der Massnahme mit einem anderen Gletscher in der umliegenden Region ohne Massnahme verglichen.

Der Vorabgletscher ist heute vor allem bei Skifahrern bekannt, da dieser seit bald 50 Jahren ein Teil des Skibetriebs der Bergbahnen Flims-Laax-Falera ist. Somit besitzt der Gletscher auch einen touristischen Aspekt. Jedoch ist auch der Tourismus in dieser Region durch den Gletscherschwund bedroht. In dieser Arbeit werden deshalb die Aspekte des Tourismus am Vorabgletscher der Vergangenheit und Möglichkeiten für die Zukunft untersucht. Dabei zählt auch dazu, wie das ehemalige Gebiet des Gletschers zukünftig genutzt werden könnte.

3. Einleitung

Gletscher existieren schon seit einer Ewigkeit auf unserem Planeten, weitaus länger als es unsere Spezies und viele der heutigen Organismen und Lebewesen tun. Es gab Perioden, in denen sie sich stark oder gar vollständig zurückzogen, sowie auch Eiszeiten, in denen sie äusserst dominant auf die Natur und das Landschaftsbild wirkten. Der Vorabgletscher, wie wir ihn heute kennen, ist, zusammen mit grundsätzlich allen anderen alpinen Gletschern, ein vergleichbar kleines glaziologisches Relikt des *Spätholozäns* und der *kleinen Eiszeit*, die vor ca. 200 Jahren ihr Ende nahm (Steinemann, 2021).

Da im Vordergrund eine Dokumentation über die Veränderungen des Gletschers steht, beschränkt sich diese Arbeit zeitlich auf die letzten 75 Jahre, von 1950-2025. Die Veränderungen der Gletscher vor der Industrialisierung waren im Vergleich zu nachher minim, was für eine Analyse und einen Vergleich vom Gletscherschwund eines Gletschers wenig relevant wäre.

Längenänderung Vorabgletscher: ca. 1950

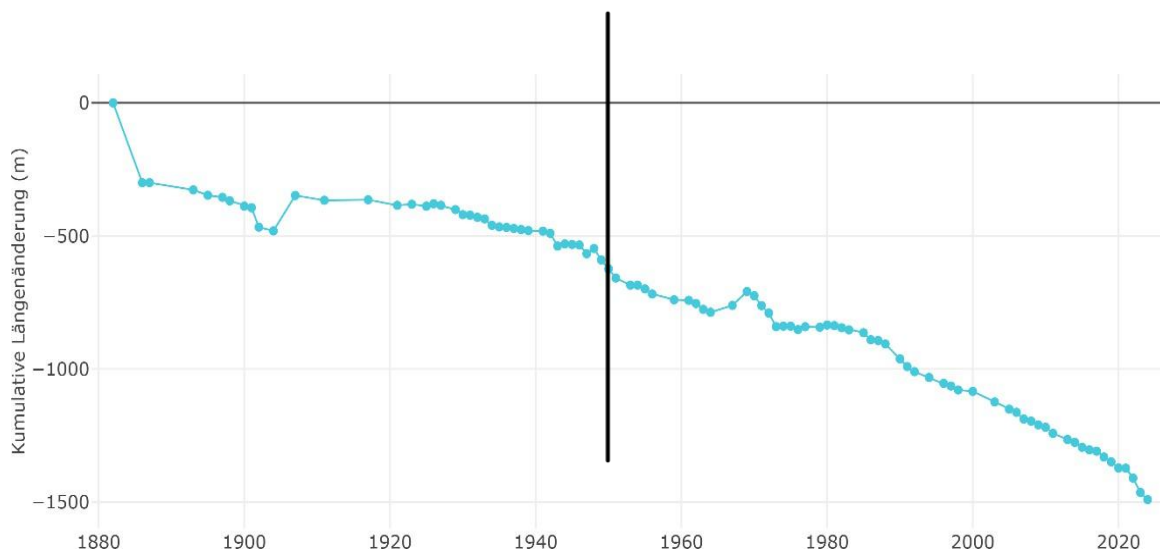


Abbildung 2, Kumulative Längenänderung des Vorabgletschers seit Messbeginn

Bei weit zurückliegenden Messdaten liegt die Fehlerquelle höher, da nicht genau eruiert werden kann, wie genau die damaligen Messinstrumente waren.

Fotovergleiche des Vorabgletschers – wie sie in vorliegender Arbeit vorgenommen werden – sind auch ab etwa 1950 möglich, da die Farbfotografie ab 1945 im Fotojournalismus eingesetzt wird (Wikipedia, 2025b).

Die Maturaarbeit beschränkt sich punktuell auf den Vorabgletscher, da dieser räumlich überschaubar und relativ gut dokumentiert ist.

3.1 Gletschermessungen

Um ermitteln zu können, ob und wie sich ein Gletscher verändert hat, werden meist mehrmals jährlich Vermessungen an Gletschern durchgeführt. Diese können auf verschiedene Arten erfolgen (GLAMOS, o. J.).

Die klassische Vermessung benutzt Messpfähle mit GPS, um Schmelzraten und Bewegungen zu bestimmen.

Satelliten- oder Radarvermessungen erstellen hochauflösende Bilder bzw. genaue 3D-Modelle des Gletschers und sind eine andere Vermessungsmethode, die auch von GLAMOS angewendet wird. Um die Massenbilanz eines Gletschers zu berechnen, werden *Akkumulations-* und *Ablationsmessungen* durchgeführt. Die Kombination dieser Methoden machen eine Vermessung sehr effektiv und genau.



Abbildung 3, Klassische Gletschermessung mit GPS-Messpfählen

3.2 Gletscherschmelze

Die Veränderung des Klimas hat grossen Einfluss auf den Fortbestand von Gletschern.

Gletscher prägen das Landschaftsbild und verändern dieses durch Erosions- und Akkumulationsprozesse.

Was passiert aber, wenn die Existenz eines solchen Gletschers plötzlich durch die Gletscherschmelze bedroht ist?

Die Gletscherschmelze wird von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die konstante Erwärmung der Erde mit immer öfter vorkommenden Schneemangel als Folge und der Klimawandel im Allgemeinen spielen dabei den entscheidendsten Faktor (Wikipedia, 2025d).

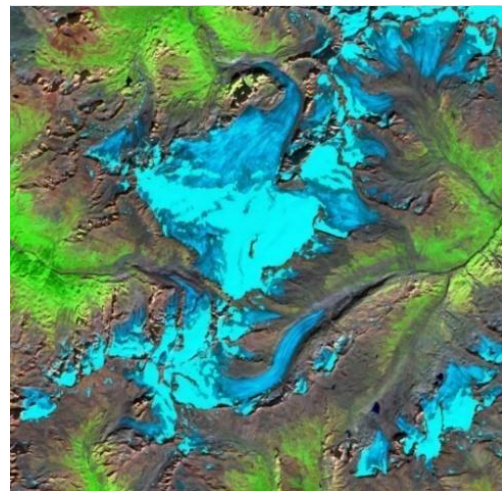


Abbildung 4, Satellitenvermessung eines Gletschers auf einer Karte dargestellt

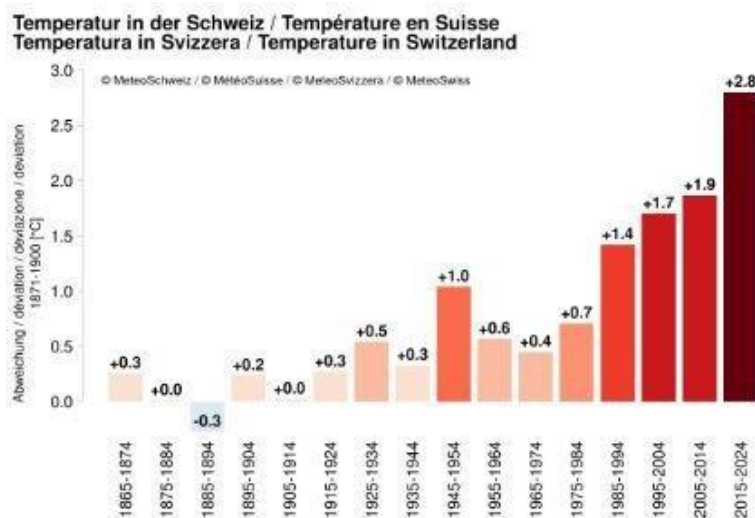


Abbildung 5, generelle Temperaturzunahme der Schweiz

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

In den folgenden Abschnitten wird exemplarisch gezeigt, wie der Mensch einen Einfluss auf den Klimawandel und die Atmosphäre, bspw. der Luftverschmutzung hat.

Ein Beispiel dafür ist die Beeinträchtigung des sogenannten Albedo-Effekt. Der Albedo-Effekt eines Gletschers beschreibt die Fähigkeit, durch seine Oberfläche Lichtstrahlen zu reflektieren. Helle Oberflächen, wie in diesem Fall Gletschereis, reflektiert deutlich mehr Lichtstrahlen als eine dunkle Oberfläche. Der Albedo-Effekt kann allerdings durch menschengemachten Staub oder Russ stark beeinträchtigt werden, wenn sich dieser auf der Gletscheroberfläche absetzt. Die Oberfläche wird dunkler, was eine stärkere Absorption der Lichtstrahlen mit sich bringt. Diese bringt deutlich mehr Wärme zum Gletscher und fördert so die Gletscherschmelze. (Bildungsserver, o. J.); (Wikipedia, 2025a)

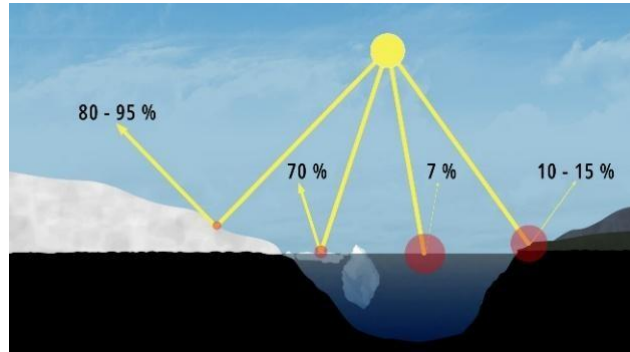


Abbildung 6, Stärke des Albedo-Effekts auf verschiedenen Oberflächen



Abbildung 8, Vergleich russ- & staubbedeckter vs. staubfreier Gletscher (KI-generiert)

Die allgemeine Lage eines Gletschers kann ebenfalls eine grosse Auswirkung auf die Gletscherschmelze haben. Höhe, Exposition sowie auch der Untergrund können beachtliche Auswirkungen haben. Ein tief liegender Gletscher mit Exposition nach Süden schmilzt deutlich schneller als ein nach Norden ausgerichteter Gletscher in höheren Lagen (was die Nordhalbkugel betrifft). Durch eine Südexposition wird ein Gletscher deutlich länger und stärker bestrahlt. Dabei spielt auch der Einstrahlungswinkel der Sonne eine Rolle (Machacek, o. J.); (lebensministerium.at, 2009)

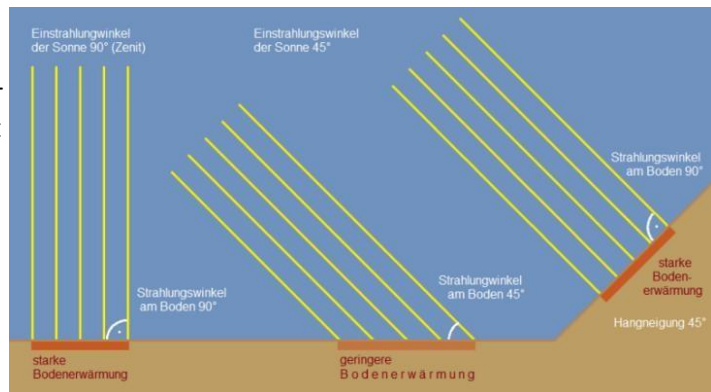


Abbildung 7, Stärke Einstrahlungswinkel

Bei einem rechtwinkligen Einstrahlungswinkel (90°) erfährt die Oberfläche die stärkste Erwärmung. Je spitzer der Einstrahlungswinkel, desto schwächer die Erwärmung der Oberfläche. (Wikipedia, 2025e)

Der Untergrund kann die Gletscherschmelze ebenfalls beeinflussen. Beispielsweise geothermische Wärme kann den Prozess der Gletscherschmelze durch die erhöhte Temperatur des Erdinneren vorantreiben. Je nach Untergrund kann Reibungswärme bei Bewegung des Gletschers

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

zwischen Eis und Fels entstehen. Wenn der Gletscher durch diese Wärme schmilzt, läuft das Tauwasser untergründig durch den Boden ab, falls es sich dabei um einen porösen Untergrund handelt. Ist dies nicht der Fall, wird das Wasser gestaut welches als Wärmespeicher funktioniert und so weiter an der Gletscherschmelze beiträgt, da flüssiges Wasser unter Normalbedingungen wärmer ist als Gletschereis (Wikipedia, 2025c).

Studien zeigen, dass die Gletscher der Alpen seit dem 19. Jahrhundert stark zurückgegangen sind, mit einer deutlichen Beschleunigung in den letzten Jahrzehnten. Ausserdem wird ohne Gegenmassnahmen der Verlust fast aller alpinen Gletscher durch den Klimawandel sehr wahrscheinlich sein (Huss, 2012); (Zekollari et al., 2019)

3.3 Massnahmen gegen die Gletscherschmelze

Die Gletscherschmelze ist eine Veränderung mit vielen negativen Folgen und Auswirkungen. Deshalb werden viele Ressourcen verwendet, um die Gletscherschmelze zu verlangsamen. Es soll untersucht werden, was in der Vergangenheit vor Ort getroffene Massnahmen bewirkt haben. Es gibt verschiedene Möglichkeiten und Wege, um das Verschwinden der Gletscher wenigstens zu verzögern.

Der offensichtlichste Punkt ist das Bremsen der Klimaerwärmung. Da dies aber ganz allgemein ein internationales Ziel ist, gibt es auch Massnahmen auf lokaler Ebene:

- Das Abdecken von Gletschern mit reflektiven Vinyl-Folien ist eine beliebte Methode und wird an vielen Gletschern praktiziert, den Vorabgletscher seit 2006 miteingeschlossen (Cor sin Clopath, Leiter Pisten- & Rettungsdienst Weisse Arena).

Das Abdecken mit Folien führt zu einer stärkeren Abstrahlung

und weniger Lichtstrahlenaufnahme. Diese Praxis ist allerdings extrem teuer und kann nur auf kleinen Flächen ausgeführt werden. Bei sehr kleinen Gletschern kann diese Massnahme aber durchaus Sinn machen (Lässig, 2021).

- Die künstliche Beschneigung ist eine weitere Möglichkeit, um Gletscher vor ihrem Existenzschwund zu retten. Diese Methode ist jedoch nur in Skigebieten relevant. Das Ziel der Beschneigung ist, die Eisdecke mit einer Schneeschicht, die über den Sommer standhält, zu bedecken und somit zu isolieren (mspelto, 2009). Der Bergbahnbetrieb der Weissen Arena Gruppe führt allerdings keine klassische Beschneigung mit Schneekanonen durch. Es wird jedoch teilweise als Alternative zur Beschneigung eine möglichst dicke Schneeschicht durch das Verschieben von Schnee nahe des Gletschergebiets hergestellt, um den



Abbildung 9, mit Vinyl-Folien abgedeckter Gurschengletscher (Andermatt)

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Gletscher möglichst lange zu isolieren. Beide Methoden bringen einen hohen Energieverbrauch mit sich, die klassische Beschneidung benötigt zusätzlich sehr viel Wasser.

- Zum Teil wird auch eine Kombination mehrerer Massnahmen durchgeführt. Ein Beispiel dafür ist das Vorgehen am Hintertuxer Gletscher in Tirol, Österreich. Dort werden ebenfalls grosse Mengen an Schnee verschoben und zusätzlich mit Vlies abgedeckt (Wasser und Eis, 2009). Nebst dem werden Schneedepots, die ebenfalls mit Vliesbahnen abgedeckt werden, im Frühling angelegt und im Herbst verteilt, um den Gletscher früher, also vor dem ersten richtigen Schneefall, durch die Schneeschicht zu schützen (Hintertuxer Gletscher, o. J.).



Abbildung 10, mit Vlies abgedeckter Hintertuxer Gletscher (Tirol)

3.4 Tourismus am Gletscher

Abgesehen davon, dass Gletscher ein wichtiger Bestandteil unserer Umwelt und unserem Planeten sind, beispielsweise in Form von Frischwasserspeichern, besitzen sie auch einen grossen touristischen Anziehungseffekt. Der Tourismus einer Region mit Gletschern baut sich oft durch den Gletscher selbst auf. Dies war vor allem noch früher am Vorabgletscher ebenso der Fall. Wird sich der Tourismus in seiner Art und Weise im Gebiet vom Vorabgletscher allerdings ändern, wenn dieser nicht mehr existieren wird? Gibt es touristische Alternativen?

3.5 Leitfragen

In den vorherigen Unterkapiteln bereits erwähnt, werden die drei Leitfragen dieser Arbeit nochmals klar veranschaulicht:

Leitfrage 1: Wie zeigt sich der gemessene Gletscherrückgang des Vorabgletschers auf Vergleichsbildern im Zeitraum von 1950 bis heute?

Leitfrage 2: Wie wirkten sich getroffene Massnahmen gegen die Gletscherschmelze am Vorabgletscher aus?

Leitfrage 3: Was sind touristische Alternativen, wenn der Gletscher nicht mehr existiert?

4. Daten und Methoden

Um darstellen zu können, in welchem Ausmass sich der Vorabgletscher seit 1950 bis heute verändert hat, werden Luftaufnahmen des Gletschers verwendet. Die Luftbilder des Gletschers werden mit Fokus auf Umrisslinien und Form der Eismasse verglichen. Dabei werden, falls zu den entsprechenden Jahreszahlen vorhanden, weitere Archivbilder, hauptsächlich Fotografien, verwendet, um die Veränderung des Gletschers noch besser darzustellen.

Beispiel:

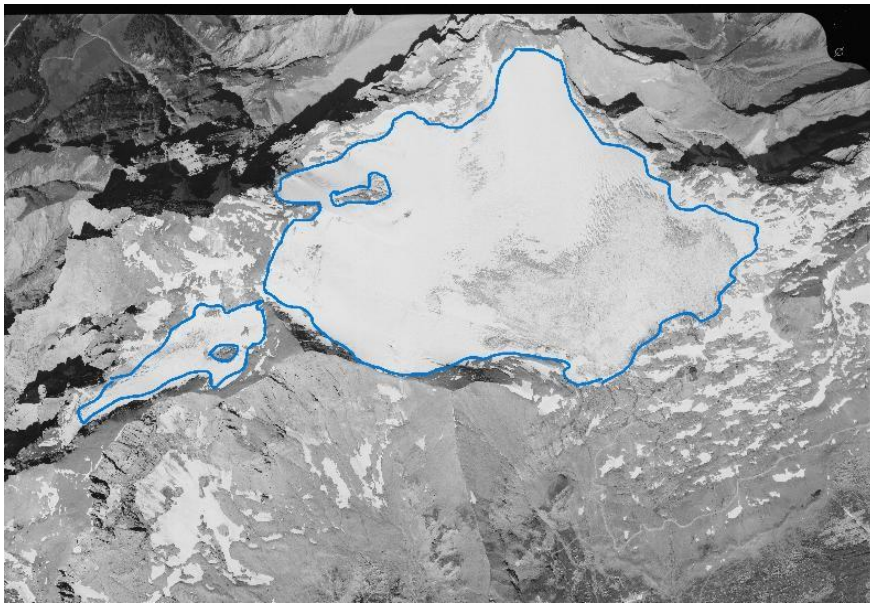


Abbildung 11, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1985 (mit Umrisslinien)



Abbildung 12, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.9.2003 (mit Umrisslinien)

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Dies kann mit den folgenden *Gletscherinventaren* abgeglichen werden:

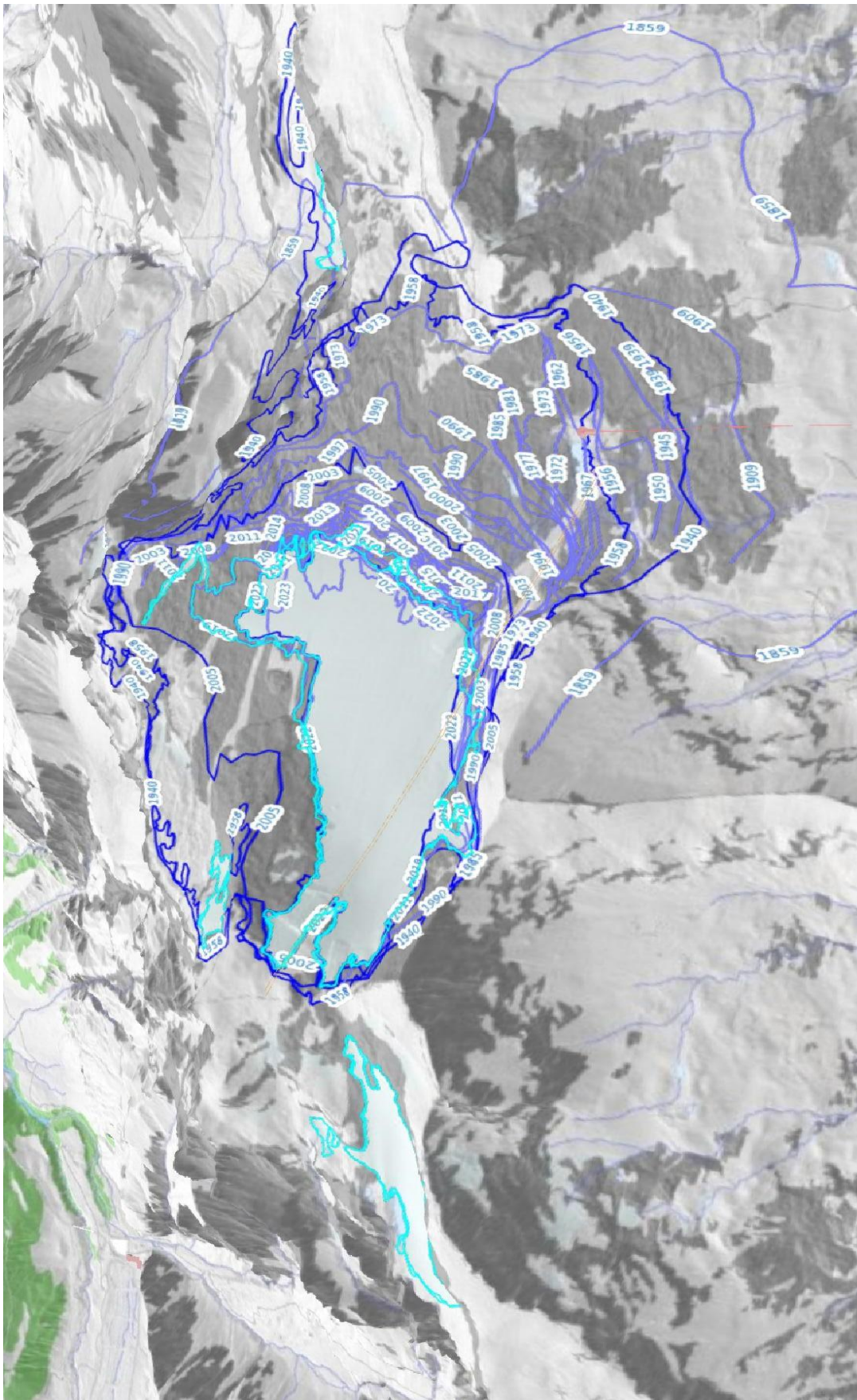


Abbildung 13, Gletscherinventar des Vorabgletschers des Geoportal des Bundes

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Die Effektivität der lokalen Massnahme am Vorabgletscher ist eine komplizierte, mathematische Aufgabe. Dazu werden die Messdaten zur Längenänderung des Vorabgletschers und Pizolgletschers von GLAMOS und dem Bündner Geoportal verwendet. Die Daten des Pizolgletschers werden zum Vergleich verwendet, da hier keinerlei Massnahmen gegen die Schmelze unternommen wurden, dieser ebenso eine sehr kleine Fläche aufweist und in derselben Region liegt. Es gibt aber auch Unterschiede der beiden, die zu beachten sind: Der Pizolgletscher (2630 bis 2780m) liegt etwas tiefer als der Vorabgletscher (2700 bis 3018m) und wurde aufgrund seines grossen Massenverlustes noch bis 2021 durch *GLAMOS* vermessen und wurde bereits 2019 als inexistent erklärt. Bezüglich Exposition ist der Vorabgletscher (Exposition Ost) etwas mehr gefährdet als es der Pizolgletscher war (Exposition Nord).

Die Messdaten des Vorabgletschers und des Pizolgletschers wurden von den beiden künstlichen Intelligenzen ChatGPT sowie auch Google Gemini verglichen. Spezifisch wurde in dieser Arbeit nur die kumulative Längenänderung analysiert

ChatGPT und Google Gemini analysierten die jährlichen Längenänderungen der beiden Gletscher mit Beachtung der Ursprungslänge (Messbeginn), dem Zeitraum der Ausführung der lokalen Massnahme am Vorabgletscher und demselben Zeitraum am Pizolgletscher ohne Massnahme. Es wurden zwei verschiedene KI-Modelle benutzt, um Fehlerquellen zu minimieren.

Um den Rechenweg nachzuverfolgen:

Da die jährlichen Längenänderungen der Gletscher von GLAMOS nur als Differenz zur Länge des Gletschers zu Messbeginn (Vorabgletscher 1882, Pizolgletscher 1893) angegeben werden, muss die Ursprungslänge von der Längenmessung aus einem der gesamtschweizerischen Gletscherinventare von 1931, 1973 oder 2010 zurückgerechnet werden. Für diese Arbeit wird das Inventar von 1973 verwendet. Als nächster Schritt wird die gesamte Längenänderung der beiden Gletscher während der Jahre 2006-2024 berechnet und diese durch die Ursprungslänge geteilt. Um ein prozentuales Ergebnis zu erhalten, muss das Resultat zum Schluss mit 100 multipliziert werden.

Die (jährliche) Massenbilanz des Vorabgletschers wurde aufgrund unzureichender Daten vernachlässigt. Die alleinige Längenänderung zeigt aber bereits ein klares Resultat.

Der touristische Aspekt des Vorabgletschers und dessen Zukunft lässt sich nur mittels qualitativer Befragung ermitteln. Deshalb wird ein Interview mit Corsin Clopath, Chef Pistendienst & Rettung der Weissen Arena Gruppe, zu diesem Thema durchgeführt. Er versucht anhand der Vergangenheit eine Prognose für den zukünftigen Tourismus zu erstellen.

5. Resultate

5.1 Visualisierung des Rückgangs des Vorabgletschers

Die Analyse der Luftbilder des Vorabgletschers bestätigt das, was allgemein über die Gletscher in der Alpenregion gesagt wird: Die Gletscher schrumpfen. Und dies rasend schnell. Der Vorabgletscher ist dabei keine Ausnahme. Die folgenden zwei Abbildungen veranschaulichen diese Aussage. Die *Längenänderung* zeigt eine klare Abnahme seit Mitte der 1940er-Jahre, die *Massenänderung* eine stetige, starke Abnahme während des kurzen Zeitabschnitts der Aufzeichnung zwischen den Jahren 2011-2016.

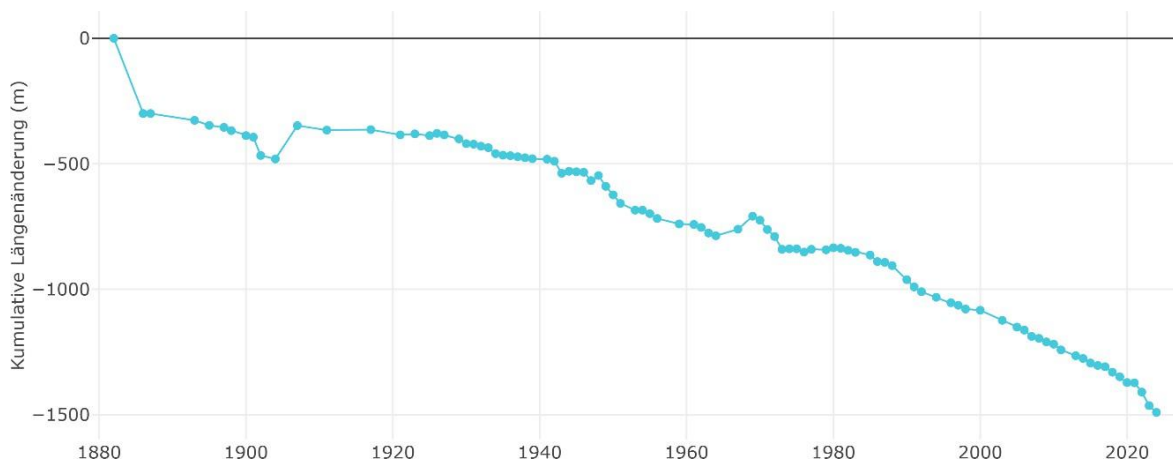


Abbildung 14, Kumulative Längenänderung Vorabgletscher GLAMOS

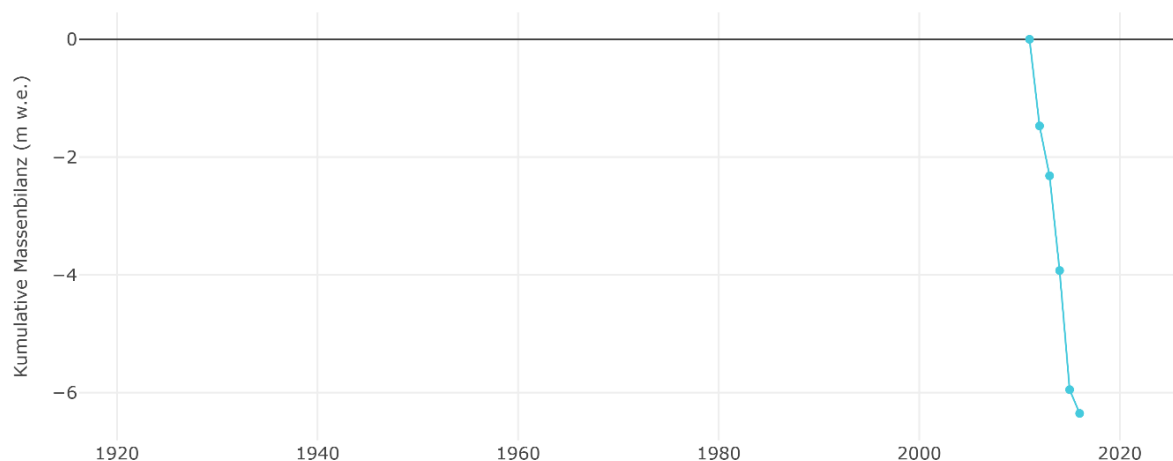


Abbildung 15, Kumulative Massenänderung Vorabgletscher GLAMOS

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Im Vergleich dieser Grafiken mit den Luftaufnahmen lässt sich feststellen, dass diese miteinander korrelieren. Die Tatsache, dass der Gletscher schrumpft, lässt sich leicht durch Betrachten der Luftbilder überprüfen. Im Folgenden wird das älteste Luftbild von 1946 einem der jüngsten von 2003 gegenübergestellt. Der ungefähre Umriss wurde zur besseren Visualisierung blau eingezeichnet.

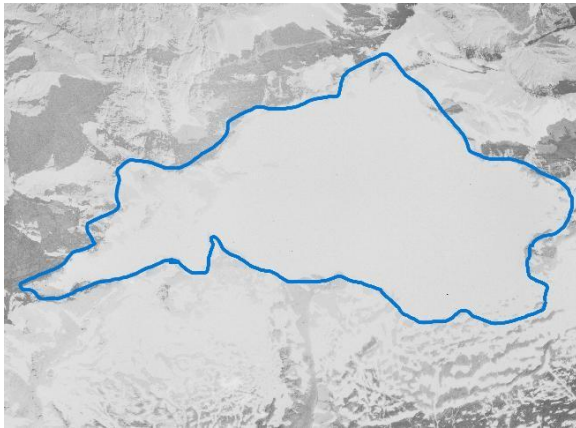


Abbildung 16, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 24.7.1946



Abbildung 17, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.9.2003

Um die Massenänderung zu visualisieren, reicht eine zweidimensionale Ansicht des Gletschers nicht. Mit Hilfe von Aufnahmen von Skifahrern kann das Absenken der Eis-, bzw. Schneeoberfläche aufgezeigt werden. Ein Beispiel von 1988, verglichen mit den Aufnahmen einer Reportage von 2021:



Abbildung 18, Skitag am Vorabgletscher, 1988

Auch unter Beachtung der teilweise ca. 4-6m hohen Schneedecke in der oberen Abbildung ist bspw. am rot eingekreisten Felsen klar zu erkennen, dass der Vorabgletscher auch äusserst stark an Masse bzw. Dicke abgenommen hat oder gar nicht mehr vorhanden ist.



Abbildung 19, Reportage SRF, 2021

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Denselben Schluss kann man auch aus Bildern der Nähe der Talstation des Vorab-Skilifts ziehen:

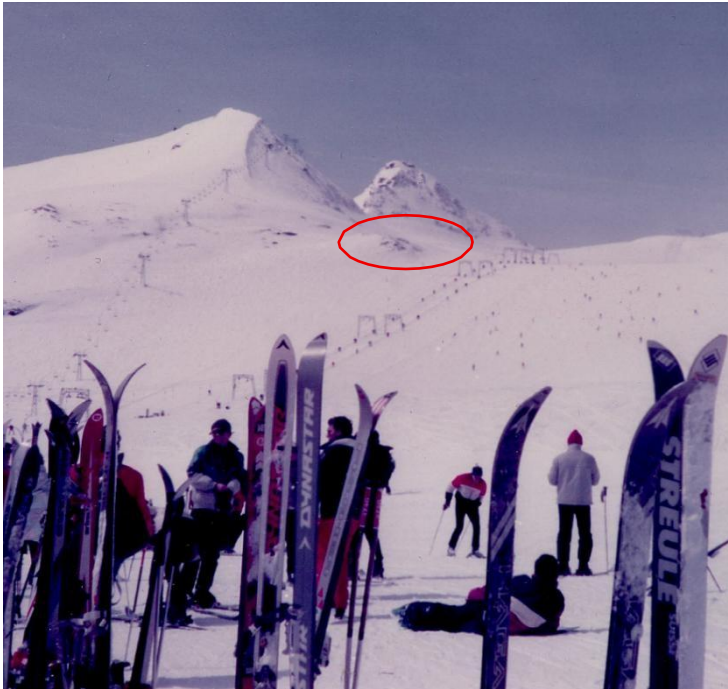


Abbildung 20, Blick auf den Vorabgletscher der Talstation des Vorabskilifts, 1983



Abbildung 21, Skifahren auf dem Vorab, 1980



Abbildung 22, Webcam Talstation Vorabskilift, 1.9.2024

Der Felsen, der 1980/1983 nur ein kleiner, aus dem Eis und Schnee herausragender Felsvorsprung war, prägt heute die Landschaft sehr deutlich. Dem Skifahrer, der den Vorabskilift benützt, fällt der Felsen ebenfalls deutlich auf, da der Skilift unmittelbar an der Felswand vorbeiführt.

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Eine weitere Möglichkeit, den Rückzug des Vorabgletschers darzustellen, ist die Verschiebung der Perspektive des Betrachters. Das folgende Beispiel zeigt, wie beispielsweise die Sicht auf den Gletscher von umliegenden Gipfeln wie dem Piz Grisch/Laaxer Stöckli aussieht:



Abbildung 23, Sicht auf den Vorabgletscher vom Piz Grisch, 1960



Abbildung 24, Vorab vom Piz Grisch, 2015

Beide Bilder wurden an beinahe derselben Stelle mit identischem Sichtwinkel aufgenommen. Der Rückgang des Vorabgletschers ist sehr deutlich zu erkennen. Der Vorab Pign (grün eingekreist) eignet sich ideal als Indikator und Anhaltspunkt.

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Die Bilder vom Piz Grisch lassen sich ideal mit den Luftbildaufnahmen abgleichen, auch wenn teilweise einige Jahre dazwischen liegen. Man kann deutlich erkennen, wie sich der Vorabgletscher mit der Zeit immer mehr von Osten nach Westen zurückgezogen hat. Dieser Vergleich lässt sich ausserdem auch mit dem Kartenviewer des Bundes mithilfe der Zeitreise-Funktion belegen. Alle Aufnahmen/Karten zeigen einheitlich die deutliche Veränderung innerhalb der 55 Jahre.

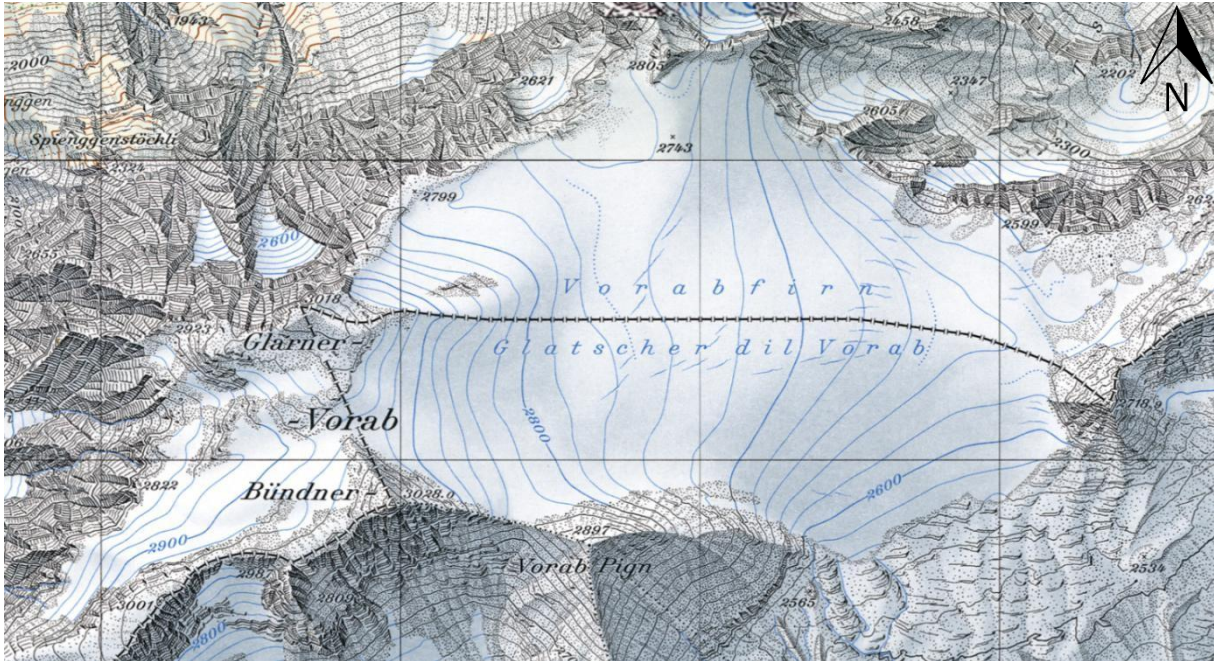


Abbildung 26, Screenshot map.geo.admin, Zeitreise-Funktion, 1960, Masstab 1:10'000

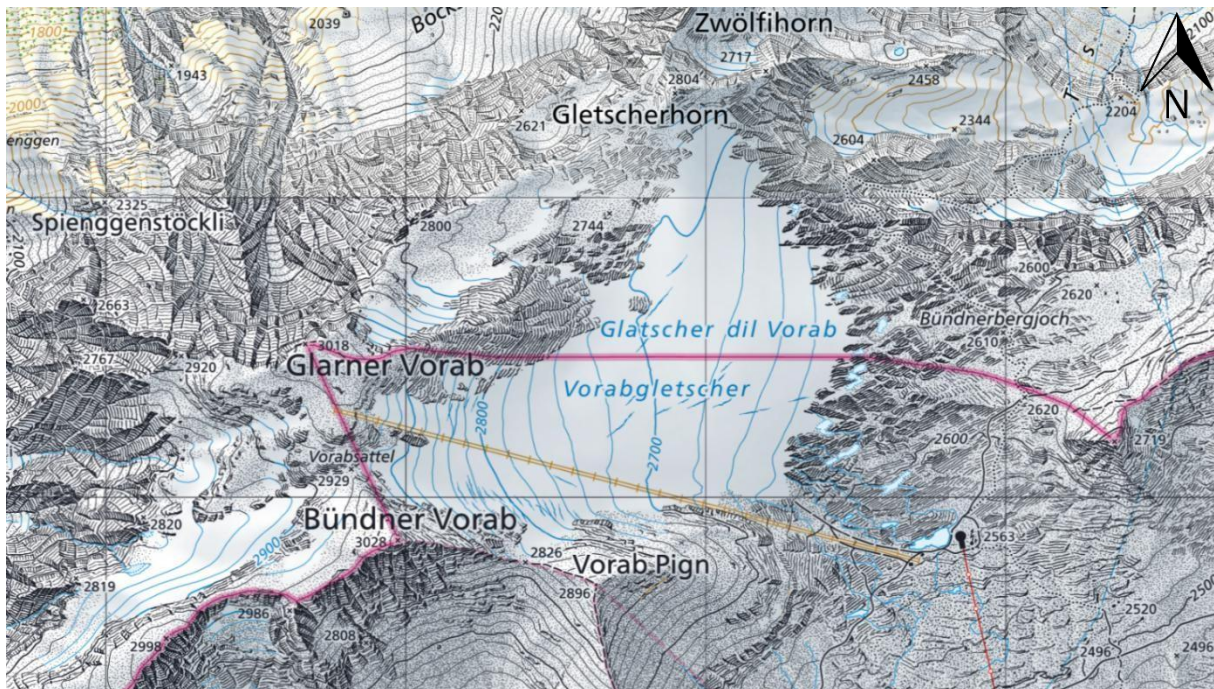


Abbildung 25, Screenshot map.geo.admin, Zeitreise-Funktion, 2015, Masstab 1:10'000

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

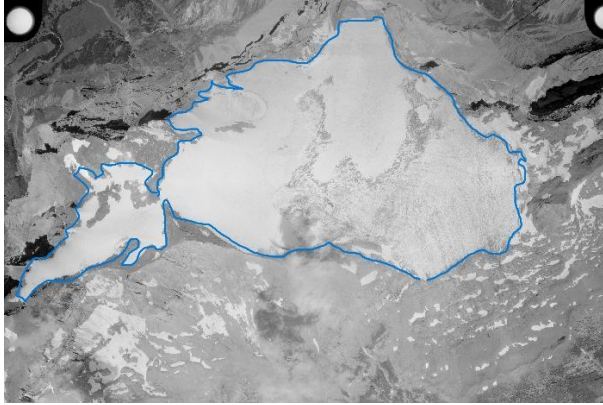


Abbildung 27, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 14.8.1958



Abbildung 28, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.10.2005

Der Rückgang des Vorabgletschers wird nun nochmals mit Luftbildaufnahmen des Gletschers aus der LUBIS-Luftbilder-Sammlung visualisiert. Die zeitlichen Unterschiede zwischen den Bildern beträgt zwischen 5-10 Jahre. Die blau markierten Umrisslinien sollen die teils schwer erkennbaren Umrisse verdeutlichen.

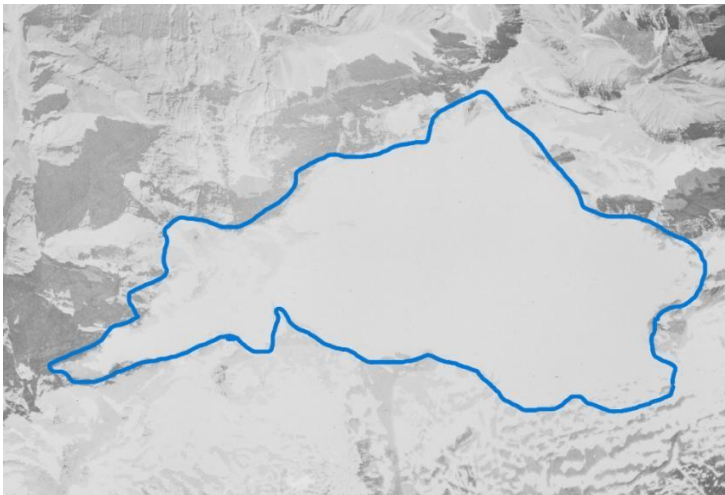


Abbildung 29, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 24.7.1946

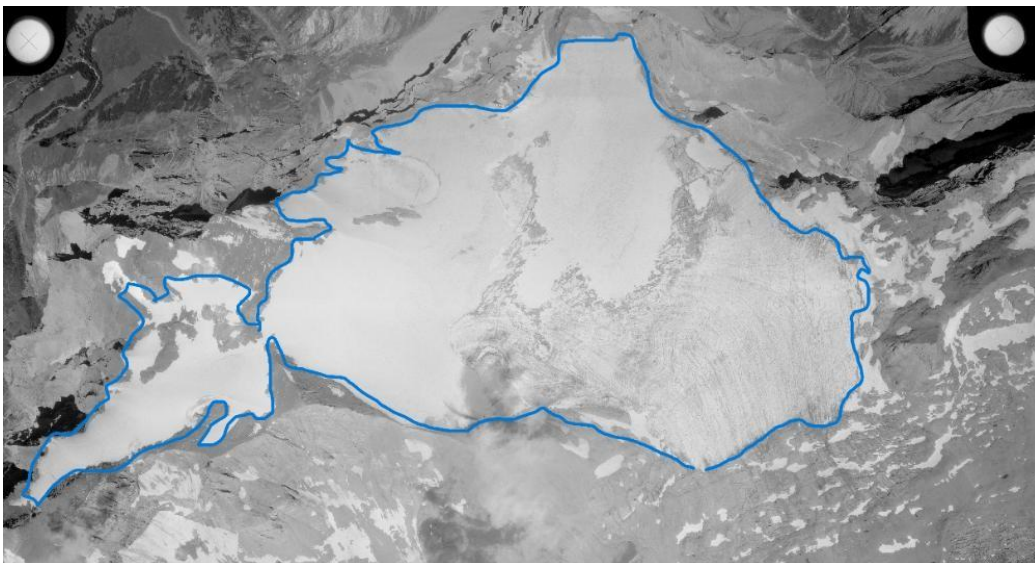


Abbildung 30, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 14.8.1958

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

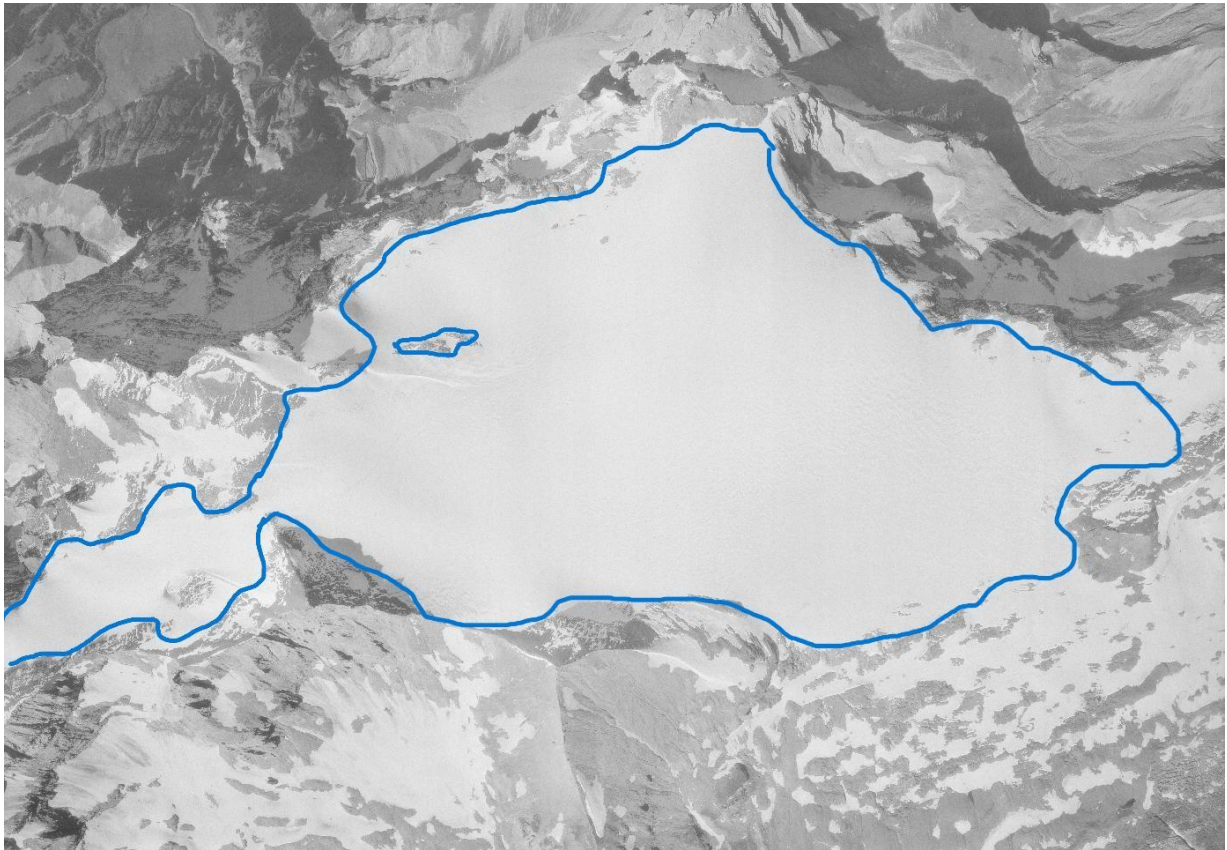


Abbildung 31, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 23.9.1966

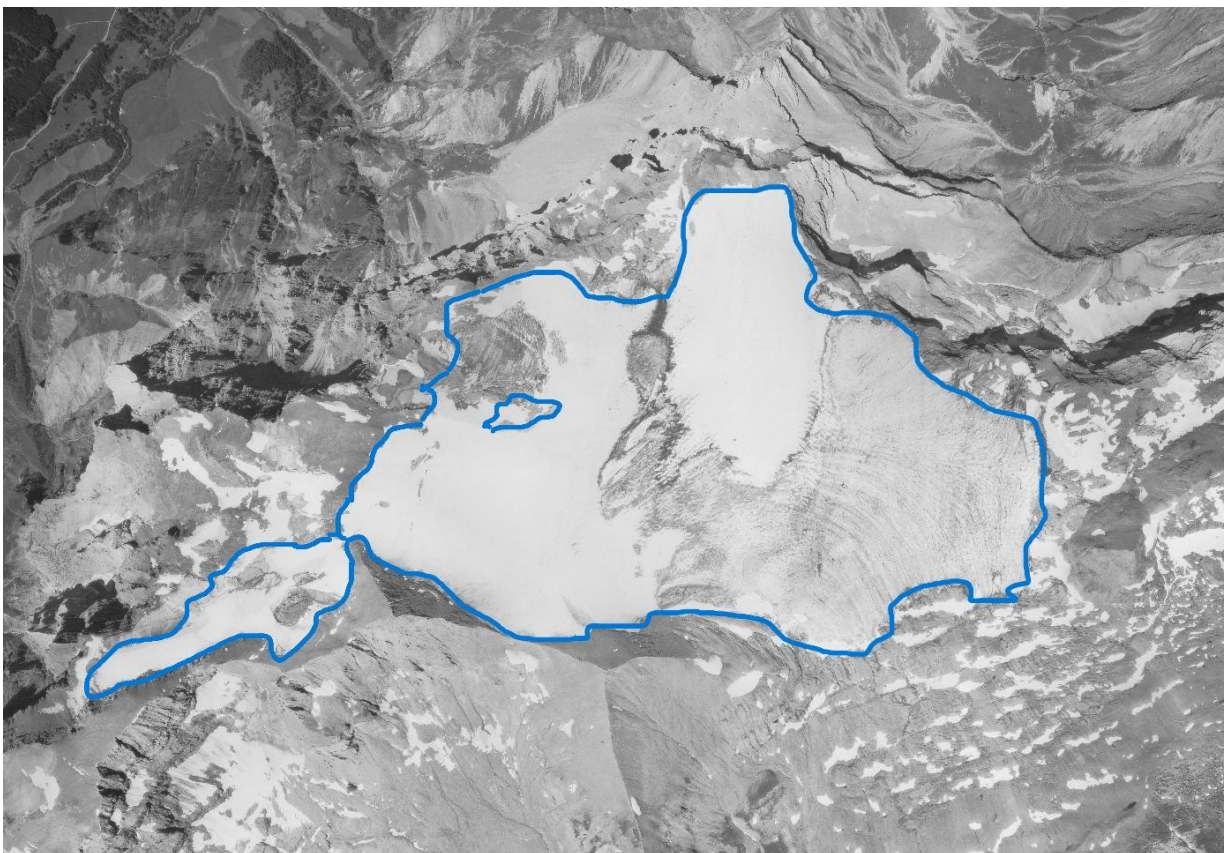


Abbildung 32, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 10.8.1973

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

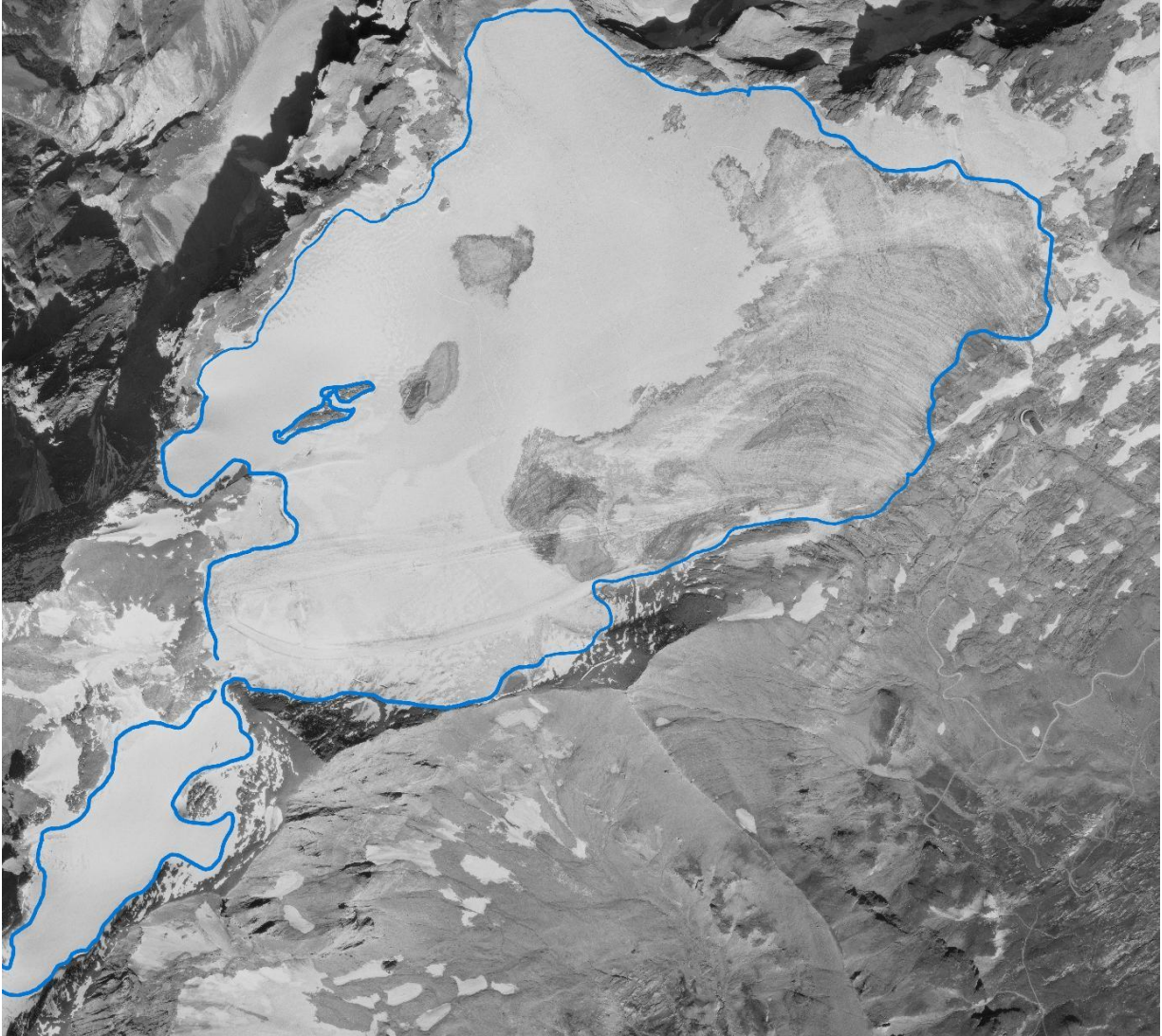


Abbildung 33, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1979

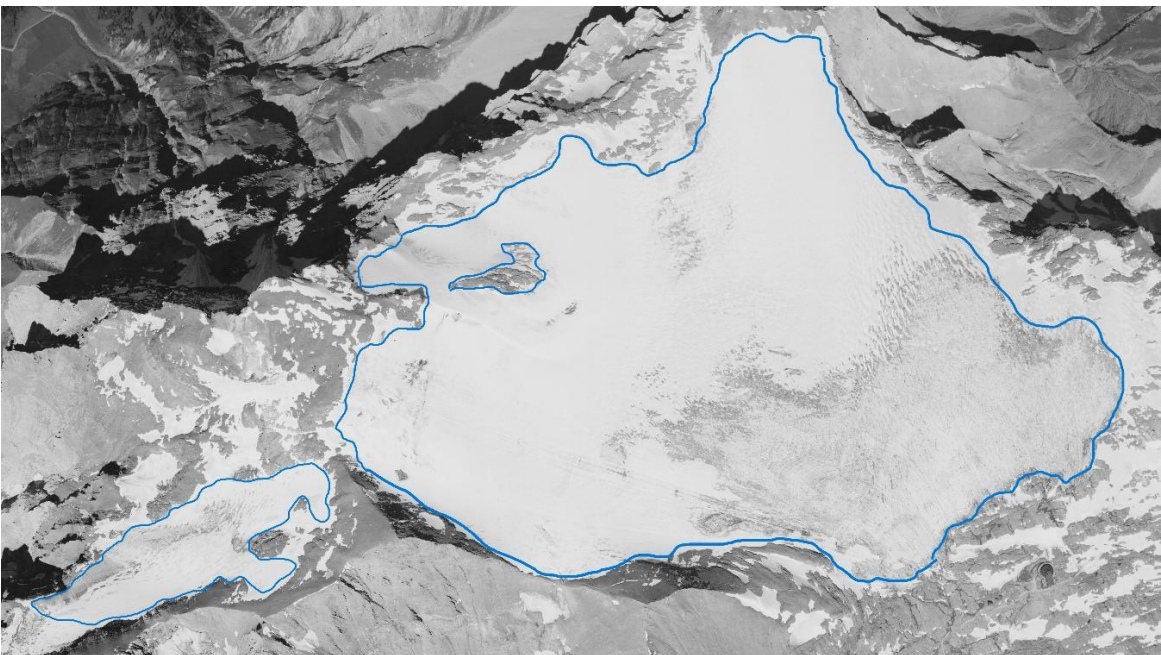


Abbildung 34, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1985

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

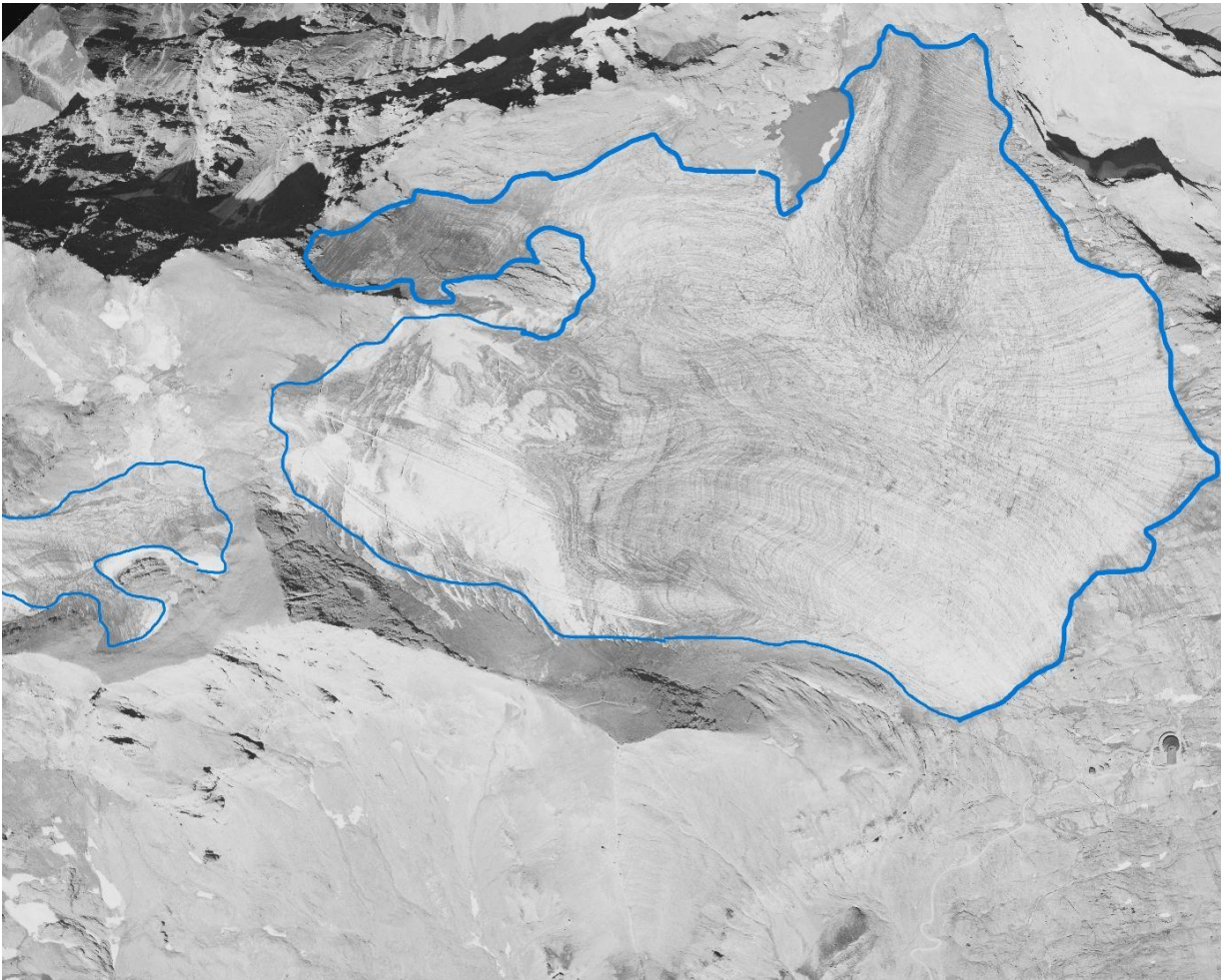


Abbildung 35, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 23.8.1990

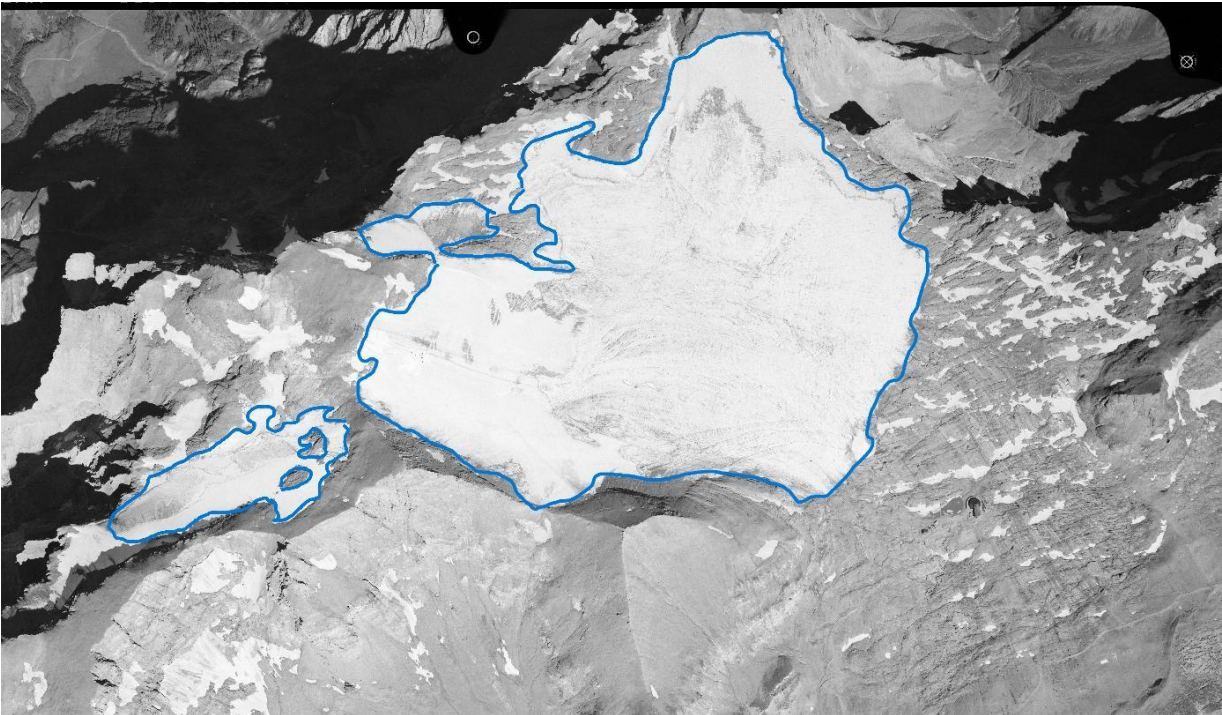


Abbildung 36, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 16.9.1997

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute



Abbildung 37, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.10.2005

Alle originalen Luftbilder stammen aus dem *LUBIS*-Viewer.

Da die LUBIS-Luftbilder nur bis 2005 aufgenommen wurden, werden, um einen Überblick über die letzten 20 Jahre zu schaffen, für die Jahre 2009 Aufnahmen von Google Earth und 2013, 2019 & 2024 Luftaufnahmen von map.geo.admin verwendet:

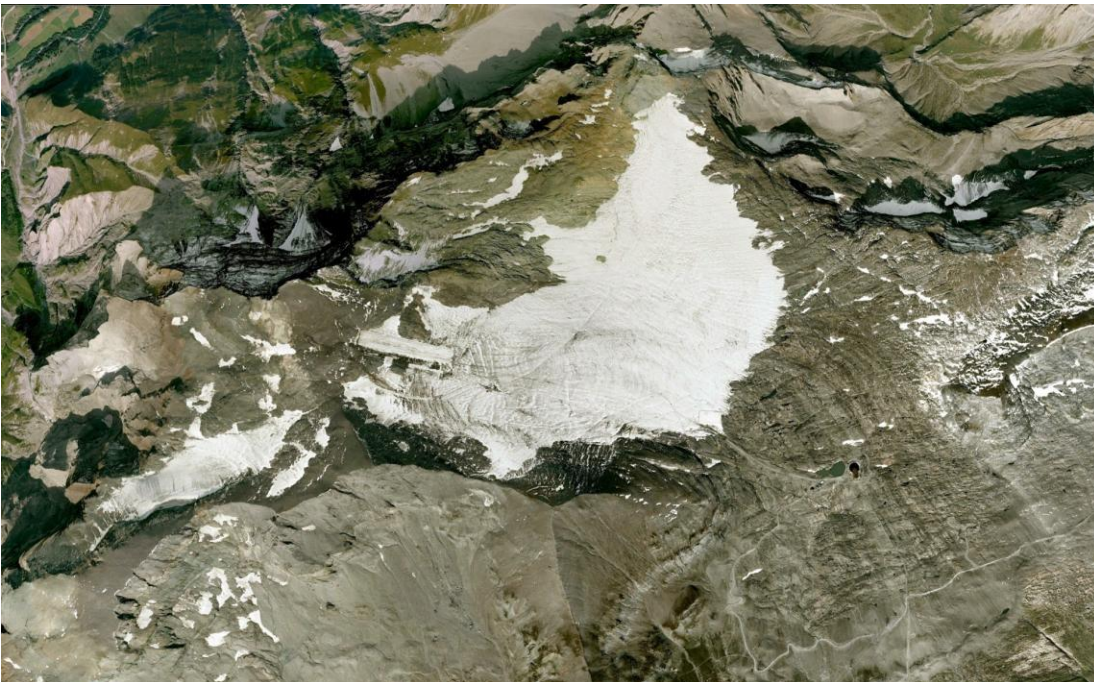


Abbildung 38, Satellitenaufnahme Vorabgletscher, Google Earth, Okt. 2009

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute



Abbildung 39, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2013



Abbildung 40, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2019

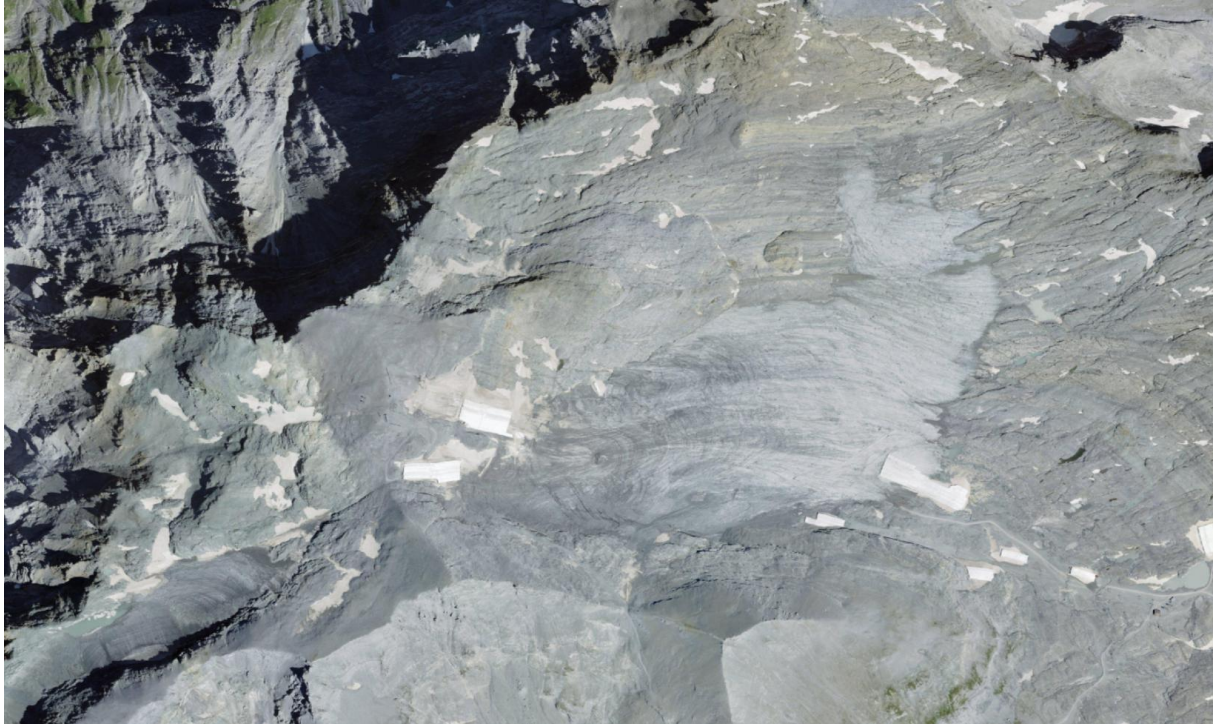


Abbildung 41, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2024

5.2 Effektivität der Massnahmen

Die beiden KI-Modelle ChatGPT und Google Gemini wurden mit exakt denselben Daten aus den Gletscherinventaren von GLAMOS gespeist. Die beiden künstlichen Intelligenzen waren sich einig: Das Abdecken des Gletschers mit Vinylfolien ist eine effektive Methode, um den Gletscher-rückgang zu bremsen. Die prozentualen Endergebnisse stimmen nicht ganz überein, was sehr wahrscheinlich auf verschiedene Rundungsverfahren bzw. Beachtung der Nachkommastellen zurückzuführen ist.

Ab 2006 wird das Abdecken des Vorabgletschers praktiziert. Im Durchschnitt wurden jährlich ca. 20'000m² des Gletschers abgedeckt, zu Spitzenzeiten sogar bis zu 35'000m².

(Corsin Clopath, Leiter Pisten- & Rettungsdienst Weisse Arena)

Während dieser Zeitspanne, von 2006-2024, verlor der Vorabgletscher gesamt zwar deutlich mehr an Länge als beispielsweise der Pizolgletscher (siehe Daten und Methoden, [S.12](#)), aber prozentual gesehen zur Ursprungslänge (hier: Messbeginn) verlor der Pizolgletscher **ohne jegliche Abdeckung rund 67% mehr** an Länge als der Vorabgletscher.

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

ChatGPT hat diese Auswertung noch wie folgt visualisiert:

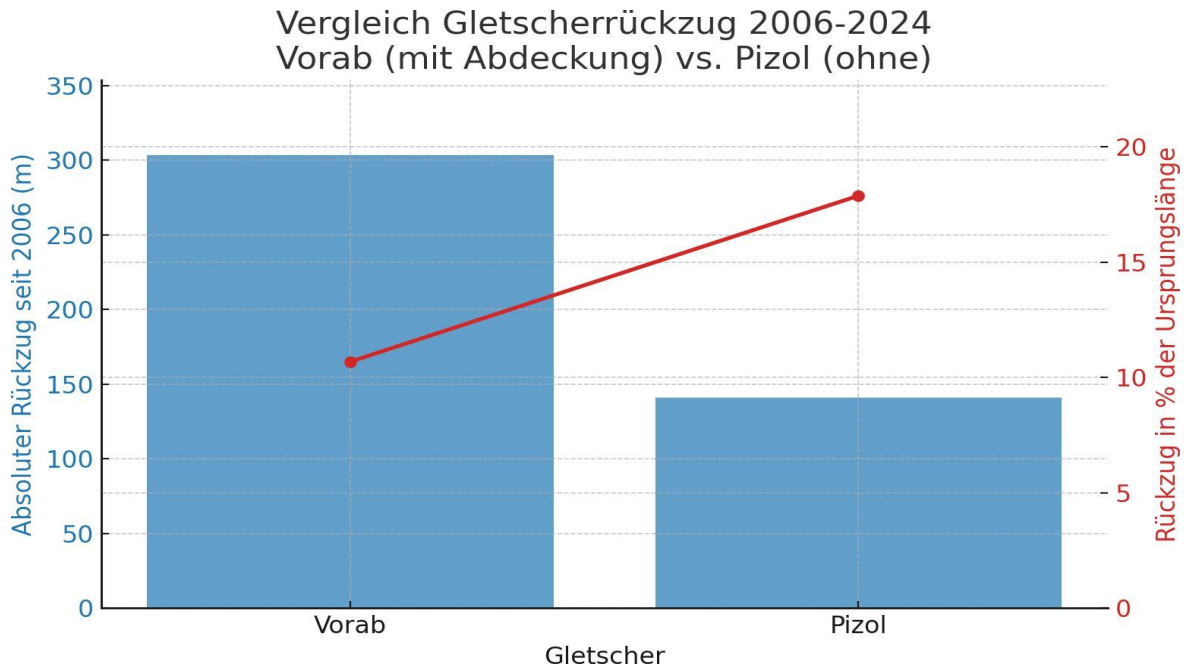


Abbildung 42, Vergleich Gletscherrückzug (2006-2024) Vorab vs. Pizol (erstellt von ChatGPT)

Exakte prozentuale Werte des Längenänderung beider Gletscher zwischen 2006-2024:

	Vorabgletscher (mit Abdeckung)	Pizolgletscher
ChatGPT	10.68%	17.88%
Google Gemini	10.71%	17.92%

Die Unterschiede der Endwerte sind minimal und somit vernachlässigbar.

1. Ursprungslänge berechnen:

Aus dem Gletscherinventar von 1973 kann das Folgende herausgelesen werden:

Im Jahr 1973 erstreckte sich der Vorabgletscher über genau 2km, der Pizolgletscher über 0.6km. Die Rückrechnung aus der Tabelle von GLAMOS ergibt:

$2000\text{m} + 839\text{m} = 2839\text{m} \rightarrow$ Ursprungslänge Vorabgletscher (zu Messbeginn 1882)

$600\text{m} + 187\text{m} = 787\text{m} \rightarrow$ Ursprungslänge Pizolgletscher (zu Messbeginn 1893)

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

2. Gesamte Längenänderung zwischen 2006-2024 berechnen:

Vorabgletscher

- 2006: -1187.6 m
- 2024: -1491.0 m
→ Rückzug 2006–2024:
= 1491.0 - 1187.6 = **303.4 m**

Pizolgletscher

- 2006: -349.7 m
- 2024: -490.4 m
→ Rückzug 2006–2024:
= 490.4 - 349.7 = **140.7 m**

3. Prozentualer Rückzug bezogen auf Ursprungslänge

Vorab (Ursprung 2839 m):

$$303.4 \text{ m} / 2839 \text{ m} \times 100 = \mathbf{10.68 \%}$$

Pizol (Ursprung 787 m):

$$140.7 \text{ m} / 787 \text{ m} \times 100 = \mathbf{17.88 \%}$$

Daten Vorab- & Pizolgletscher GLAMOS:

GLAMOS 1881-2023, The Swiss Glaciers 1880-2022/23, Glaciological Reports No 1-142, Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), published since 1964 by VAW / ETH Zurich, doi:10.18752/glrep_series.

Gesamtschweizerisches Gletscherinventar 1973:

Müller, F., Caflisch, T. & Müller, G. 1976, Firn und Eis der Schweizer Alpen (Gletscherinventar). Publ. Nr. 57/57a. Geographisches Institut, ETH Zürich, 2 Vols. & Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. & Benz, C. 2000, Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. (Schlussbericht NFP 31). 2. Auflage. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 373 pp. & Paul, F. 2004, The new Swiss glacier inventory 2000 – application of remote sensing and GIS. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, Schriftenreihe Physische Geographie, 52, 210 pp.

5.3 Touristische Alternativen

Das halbstündige Interview mit Corsin Clopath, dem Leiter des Pisten- & Rettungsdiensts der Weissen Arena, führte zu einem klareren Verständnis der Wichtigkeit, des Ausmasses und die Art und Weise des Tourismus am Vorabgletscher.

Ein kurzer Blick in die Vergangenheit des Tourismus am Vorabgletscher, um zukünftige Entscheidungen und Massnahmen besser zu verstehen:

Touristen am Vorabgletscher existieren schon seit längerem, es handelte sich dabei allerdings ausschliesslich um lokale Berggänger oder Skitourengeher, die den Gletscher als

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Herausforderung gesehen hatten. Mehr hatte der Vorab auch nicht zu bieten, was somit keine wesentliche Rolle für den Tourismus am Vorabgletscher spielte. Dass sollte sich aber abrupt ändern, als im Jahr 1978 der Vorabgletscher an das Skigebiet der damals benannten Crap Sogn Gion AG angeschlossen wurde, in Form der Vorab-Gondelbahn als Zubringer und dem Skilift auf dem Gletscher. Der Vorabgletscher wurde dadurch plötzlich bekannt und wurde essenziell für das Skigebiet, «da Gletscherregionen im Grundsatz als sehr schneesicher gelten». Zudem liess sich das Angebot des Sommerskifahrens sehr gut vermarkten und pushte so den Tourismus am Gletscher weiter. Die ersten Jahre nach der Eröffnung sollten den Höhepunkt der touristischen Wichtigkeit des Vorabgletschers bestimmen. Dies wurde offensichtlich, als Mitte der 1990er-Jahre der Sommerskibetrieb mangels ausreichend Schnee und Eisfläche eingestellt wurde. Die Gedanken an die Zukunft des Gletschers waren dabei ebenfalls entscheidend, denn der Sommerskibetrieb fördert den Rückgang des Gletschers zusätzlich, sei es durch die Emissionen der Pistenfahrzeuge oder der Beeinträchtigung des *Albedo-Effekts* durch Russpartikel (Kang et al., 2020). Seitdem verlor der Vorabgletscher immer mehr an Bedeutung im Tourismusbereich, da andere Themen wie beispielsweise «Freestyle», wofür Laax äusserst bekannt ist, für die Betreiber des Skigebiets im Vordergrund stehen. Bis zur Wintersaison 2022/23 hatte der Vorabgletscher insofern noch eine teils entscheidende wirtschaftliche Wichtigkeit für das Skigebiet, da bis zu diesem Zeitpunkt der Gletscher den Beginn des Skibetriebs bereits Ende Oktober ermöglichte. Ab da beginnt aufgrund zu hohen Aufwands sowie Kosten die Saison einige Wochen später.

Die Bedeutung des touristischen Aspekts des Vorabgletschers bis heute könnte wie folgt dargestellt werden (erstellt von ChatGPT):

Die X-Achse zeigt den Jahresverlauf ab ca. 1965-2025. Die Y-Achse besitzt keine bestimmten Werte, es soll nur aufgezeigt werden, zu welchen Zeitabschnitten die touristische Bedeutung des Vorabgletschers am höchsten war.

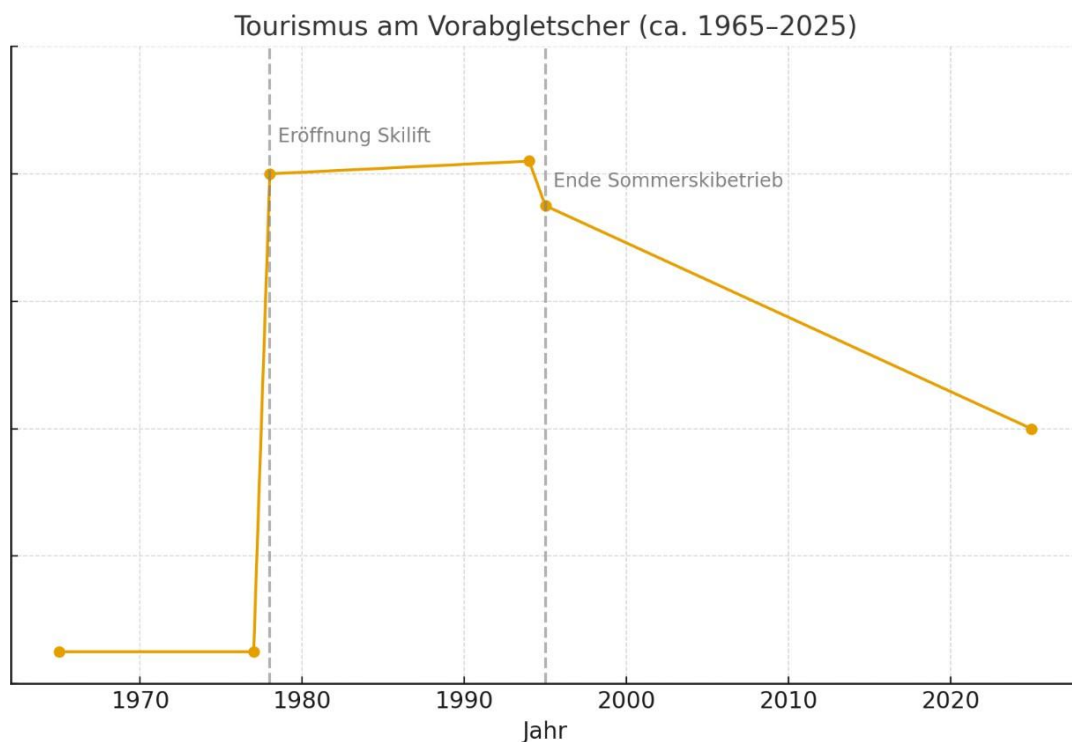


Abbildung 43, touristische Bedeutung des Vorabgletschers (erstellt von ChatGPT)

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Was klar gesagt werden kann, dass der Vorabgletscher auch heute noch eine gewisse Wichtigkeit, vor allem für internationale Touristen, mit sich bringt, da Gletschergebiete selten sind und auch immer seltener werden. Der Vorabgletscher und seine Region wird ebenfalls für den Winterskibetrieb genutzt und soll, laut Clopath, auch nach dem vollständigen Abschmelzen weiterhin für den Skibetrieb im Winter genutzt werden. Mit dem Unterschied, dass der Untergrund nur noch aus Schnee statt Gletschereis besteht. Nach dem Verschwinden des Vorabgletschers könnte die ehemals mit Eis bedeckte Fläche als Gebiet für äusserst anspruchsvolle Wanderungen im Sommer genutzt werden. Clopath erwähnt ebenfalls, dass vermutet werden kann, dass durch die permanente Erwärmung des Klimas und der häufiger werdenden Hitzewellen die Touristen in höhere Gebiete flüchten werden, um Abkühlung zu suchen.

Abschliessend kann man sagen, dass der Vorabgletscher durchaus eine Rolle für den Tourismus in der Region spielt, aber seine Glanzzeit längst vorüber ist und immer weniger relevant sein wird.

(Interview mit Corsin Clopath, Leiter Pisten- & Rettungsdienst Weisse Arena, 02.07.2025)

6. Diskussion

6.1 Gletscherschwund

Der Gletscherschwund des Vorabgletschers ist auf den Luftbildern sehr deutlich zu erkennen. Man sieht, wie sich der Gletscher rasch vor allem nach Westen zurückzieht. Auch die Massenänderung bzw. Verringerung der Dicke des Gletschers ist auf den historischen Bildern klar sichtbar.

Somit hat sich die Hypothese zum Gletscherrückgang bestätigt. Die Messungen stimmen mit der Realität überein. Es ist jedoch deutlich anschaulicher, echte Bildaufnahmen miteinander zu vergleichen, als nur Messtabellen abzulesen und zu interpretieren.

Die Methode des Vergleichens mit Fokus auf Umrisslinien und Form des Gletschers in verschiedenen Jahren erwies sich als sehr erfolgreich und visuell ansprechbar. Die blau eingezeichneten Umrisslinien sind teilweise nicht vollständig akkurat zum tatsächlichen Umriss des Gletschers aufgrund schlechter Bildqualität und Ungenauigkeiten, aber die Unterschiede sind dennoch gut sichtbar.

Die Längenänderung des Vorabgletschers ist während der gesamten Zeitspanne zwischen 1950-2025 negativ (Rückgang) mit einer Ausnahme. Bei genauer Betrachtung und Vergleichen der beiden Luftbilder von 1958 & 1966 ist zu erkennen, dass der Gletscher kaum an Fläche/Länge verloren hat oder an gewissen Stellen zugenommen hat. Dies lässt sich mit der Abb. 13, Kumulative Längenänderung abgleichen. Die kurz steigende Kurve verweist auf einen Zuwachs des Gletschers. Bei der Recherche zu Gründen für diesen eher unüblichen Zuwachs wurde deutlich, dass der Gletscher aufgrund mehrerer kühleren aufeinanderfolgenden Jahre (1964-66) mit viel Niederschlag (meist Schnee auf dem Vorabgletscher) leicht gewachsen ist bzw. sich kurzzeitig stabilisiert hatte (MeteoSchweiz, o. J.). Gletscher könnten also auch wieder wachsen, wenn die nötigen klimatischen Voraussetzungen erfüllt wären: deutlich kühler, mehr Niederschlag für eine dickere Isolationsschicht aus Schnee und eine Verminderung der Russpartikel in der Atmosphäre, die für die Einschränkung des Albedo-Effekts verantwortlich sind.

Da diese Kriterien allerdings kaum noch rechtzeitig erfüllbar sind, werden wir uns schon in naher Zukunft vom Vorabgletscher verabschieden müssen, zusammen mit vielen anderen Gletschern in der Schweiz (WSL News, 2025).

6.2 Abdecken mit Vinylfolien

Die ausführliche Rechnung der Daten und das endgültige prozentuale Ergebnis haben gezeigt, dass die Massnahme des Abdeckens mit Vinyl durchaus effektiv ist. Der Rückgang des Gletschers wurde zwar nicht verhindert, aber im Vergleich zum Pizolgletscher deutlich gebremst. Angesichts der zu Beginn ungefähren Kenntnisse zu den Kosten und des Aufwands dieser Massnahme war die Erwartung ebenfalls, dass diese Massnahme einen gewissen lohnenden Effekt bringen muss, sonst würde sie nicht angewendet werden.

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Durch die Anwendung von KI für die Auswertung sowie Berechnung der Daten konnte viel Zeit und Aufwand eingespart werden. Da es sich dabei ausschliesslich um mathematische Berechnungen handelt, sollten keine Fehler durch die KI entstanden sein. Dennoch wurde das Resultat mit einer zweiten KI abgeglichen, um im sicheren Bereich zu sein. Eine potenzielle Fehlerquelle könnte durch die knappe Anzahl an vergleichbaren Gletschern entstanden sein. Der Pizolgletscher allein kann einen Vergleich herstellen, allerdings kann beispielsweise seine deutlich kleinere Fläche zu einem fehlerhaften, nicht vergleichbaren Resultat führen, da kleinere Gletscher schneller schmelzen als grössere (Davies, 2020).

Ein Vergleich mit einem weiteren Gletscher mit ähnlicher Exposition, Höhe und Grösse aus der umliegenden Region wäre eventuell vorteilhaft gewesen, um weitere mögliche Fehlerquellen zu vermeiden.

Mit diesen Erkenntnissen lässt sich sagen, dass die Methode weiterhin angewendet wird, solange Kosten und Aufwand mit dem Resultat im Gleichgewicht stehen, um den Vorabgletscher noch möglichst lange vor seinem vollständigen Verschwinden zu bewahren.

6.3 Die Zukunft des Tourismus am Vorabgletscher

Clopath hat klar ausgedrückt, dass die Erhaltung des Skibetriebs für die Bergbahnen weiterhin im Fokus steht. Da aber der Skibetrieb bekanntlich ebenfalls deutlich unter dem Klimawandel leidet, könnte auch dieser irgendwann, auch deutlich nach dem kompletten Abschmelzen des Vorabgletschers, aufgrund mangelnden Schnees beendet werden. Dies hängt stark davon ab, wie sich die Klimakrise weiterentwickelt (Morin, 2023). Alternativ zum Skibetrieb gibt es laut Clopath bereits einige Projekte oder Gedanken, wie die Region des Vorabgletschers zukünftig genutzt werden könnte. Ein bereits bewilligtes Projekt, das auf der ehemaligen Fläche des Vorabgletschers gebaut werden würde, handelt von einem Solarpark (Repower, 2024). Dieser soll östlich von der aktuellen Gletscherzunge gebaut werden. Wenn man dies mit den Archivbildern vergleicht, kann man erkennen, dass dort der Gletscher vor einigen Jahrzehnten mal war. Die *Weisse Arena Gruppe* wäre eine klare Abnehmerin dieser lokal produzierten, umweltfreundlicheren Solarenergie. Die geplante Leistung von ca. 12 GWh Strom/Jahr würde den gesamten Energieverbrauch der Bergbahnen mitsamt Beschneigung übertreffen, was für die Pläne der Weissen Arena Gruppe, klimaneutral zu werden, äusserts hilfreich wäre (Repower, 2024). Nebst dem Solarpark existiert seit längerem ein deutlich schwereres durchsetzbares Projekt für einige Windräder. Diese sind an der Grenze zum Kanton Glarus geplant, ebenfalls nahe der heutigen Gletscherzunge (BKW Energie AG, 2013). Aber aufgrund von Widerstand seitens der Umweltverbände und dem Kanton Glarus, welcher Windkraft in diesem alpinen Gebiet verbietet (SRF, 2014). Von diesen Windrädern wurde bis heute kein einziges gebaut.

Es lässt sich also sagen, dass auch im Falle der Beendigung des Skibetriebs am Vorabgletscher die ehemalige Gletscherfläche nicht als verlorene oder unbrauchbare Fläche bezeichnet werden kann. Erneuerbare Energien sind ein Stichwort aus der heutigen Zeit und werden daher weiterhin verfolgt.

7. Reflexion & Schlusswort

Durch das Erarbeiten und Schreiben meiner Maturaarbeit konnte ich viele wichtige Erfahrungen machen, die mich auf zukünftige Arbeiten und Schreiben vorbereiten. Es wurde mir sehr viel klarer, was es heisst, wissenschaftlich zu arbeiten und zu schreiben. Besonders in den Anfängen des Schreibens viel es mir recht schwer, mich wissenschaftlich auszudrücken, sei es durch die Verwendung von zu vielen Füllwörtern oder sonstigen unnötig langen oder komplizierten Sätzen.

Zu Beginn hatte ich dank dem Leitfaden eine ziemlich klare Struktur, wie ich bspw. das Vorprojekt oder das Konzept zu gliedern hatte. Nach der Abgabe des Konzepts war ich aber erst einmal überfordert, da es nun wirklich darum ging, an der Arbeit zu arbeiten. Es war zu viel auf einmal und ich wusste nicht, an welcher Stelle ich anfangen sollte. Somit hatte ich die ganze Arbeit für mehrere Wochen vor mich hingeschoben, ohne etwas zu erarbeiten.

Als es darum ging, passende Aufnahmen, Fotos und Bilder für meine Arbeit zu suchen, verlief der Prozess ziemlich stockend. Ich fand lange nichts, was wirklich für die Analyse und den Vergleich mit anderen Bildern geeignet war. Durch das Durchklicken vieler aufeinanderfolgenden Links gelang ich schlussendlich zu den LUBIS-Luftbildern, die die Arbeit wieder angekurbelt hatten. Photographien und Archivbilder (nebst den Luftbildern) konnte ich bereits sehr früh auch durch die Hilfe von Verwandten sammeln und später in meine Arbeit integrieren.

Die Erarbeitung der Resultate für die Gletscherabdeckung sowie auch die Informationsbeschaffung in Form des Interviews brachten keine grossen Herausforderungen.

Was ich anders machen würde:

Mein Zeitplan, den ich im Frühling erstellt hatte, war durchaus realistisch und so geplant, dass ich am Ende unter keinem Zeitstress leide. Allerdings hatte ich bereits anfangs Sommer Probleme mit dem Zeitplan mitzuhalten, da mir die Motivation für das Erarbeiten fehlte und ich dachte, ich hätte noch mehr als genug Zeit. Dies stellte sich jedoch als falsch heraus, da der Stress gegen Ende und dem näher rückenden Abgabetermin immer grösser wurde. Mit diesen Kenntnissen hätte ich mich zu Beginn der Sommerferien eher angestrengt, um nicht unter Zeitstress im Endspurt leiden zu müssen.

Beim Schreiben der Arbeit hätte ich an gewissen Stellen ein wenig tiefer gehen können, da der Text teilweise eher oberflächlich ist und die Länge im Vergleich zu anderen Arbeiten deutlich kürzer ist.

Dennoch konnte ich durch das Erarbeiten dieser Maturaarbeit viel Neues über den Vorabgletscher und dessen Region, Geschichte und potenzielle Zukunft lernen.

8. Literaturverzeichnis

- Bildungsserver. (o. J.). *Albedo (einfach) – Klimawandel*. Abgerufen 7. Oktober 2025, von [https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_\(einfach\)](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Albedo_(einfach))
- BKW Energie AG. (2013, Juni 20). *Projekt Windpark Vorab / Machbarkeitsabklärungen abgeschlossen*. presseportal.ch. <https://www.presseportal.ch/de/pm/100001009/100739988>
- Davies, B. (2020, Juni 22). Glacier response time. *AntarcticGlaciers.Org*. <https://www.antarcticglaciers.org/glacier-processes/mass-balance/glacier-response-time/>
- GLAMOS. (o. J.). *Imprint and Contact | Glacier Monitoring in Switzerland GLAMOS*. Imprint and Contact | Glacier Monitoring in Switzerland GLAMOS. Abgerufen 7. Oktober 2025, von <https://www.glamos.ch/en/imprint>
- Huss, M. (2012). Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: The European Alps 1900–2100. *The Cryosphere*, 6(4), 713–727. <https://doi.org/10.5194/tc-6-713-2012>
- Kang, S., Zhang, Y., Qian, Y., & Wang, H. (2020). A review of black carbon in snow and ice and its impact on the cryosphere. *Earth-Science Reviews*, 210, 103346. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103346>
- Lässig, R. (2021, März 31). *Abdecken von Gletscher-Eis wirksam, aber teuer*. <https://www.wsl.ch/de/news/abdecken-von-gletscher-eis-wirksam-aber-teuer/>
- lebensministerium.at. (2009). *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich Nr. 86*.
- Machacek. (o. J.). *Zur Klimatologie der Gletscherregion der Sonnblickgruppe*.
- MeteoSchweiz. (o. J.). *Witterungsberichte Schweiz 1960-1969*.
- Morin, S. (2023, August 30). *How Climate Change Will Hit Snow Levels Across Europe's Ski Resorts – Mountain Research Initiative MRI*. <https://mountainresearchinitiative.org/news/how-climate-change-will-hit-snow-levels-across-europe-s-ski-resorts/>
- mspelto. (2009, Oktober 10). Snowmaking for Alpine glaciers; where there are enough skiers there is a way. *From a Glaciers Perspective*. <https://glacierchange.blog/2009/10/10/snowmaking-for-alpine-glaciers-where-there-are-enough-skiers-there-is-a-way/>
- Repower. (2024, Juli 1). *Rechtskräftige Baubewilligung für alpine Solaranlage auf dem Vorab*. Home. <https://www.repower.com/ch/medienmitteilungen/solar-vorab-bewilligung>
- SRF. (2014, Mai 27). *Graubünden—Rauher Wind für Bündner Windkraft*. Schweizer Radio und Fernsehen (SRF). <https://www.srf.ch/news/graubuenden-rauher-wind-fuer-buendner-windkraft>
- Steinmann, O. (2021). *Glacial Erosion Rates Determined at Vorab Glacier: Implications for the Evolution of Limestone Plateaus*. https://www.mdpi.com/2076-3263/11/9/356?utm_source=chatgpt.com
- wasserundeis. (2009, Juni 1). Hintertuxer Gletscher: Snowfarming. *Wasser und Eis*. <https://wasserundeis.com/2009/06/01/snowfarming-am-hintertuxer-gletscher/>

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Wikipedia. (2025a). Albedo. In *Wikipedia*. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Albedo&oldid=257691294>

Wikipedia. (2025b). Farbfotografie. In *Wikipedia*. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Farbfotografie&oldid=260120466>

Wikipedia. (2025c). Gletscherdynamik. In *Wikipedia*. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gletscherdynamik&oldid=256989950>

Wikipedia. (2025d). Gletscherschwund seit 1850. In *Wikipedia*. https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gletscherschwund_seit_1850&oldid=260349566

Wikipedia. (2025e). Sonnenstrahlung. In *Wikipedia*. <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Sonnenstrahlung&oldid=255587762>

WSL News. (2025, März 21). «*Die Schweizer Gletscher könnten bis 2100 ganz verschwinden*». <https://www.wsl.ch/de/news/die-schweizer-gletscher-koennten-bis-2100-ganz-verschwinden/>

Zekollari, H., Huss, M., & Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *The Cryosphere*, 13(4), 1125–1146. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1125-2019>

Müller, F., Caflisch, T. & Müller, G. 1976, Firn und Eis der Schweizer Alpen (Gletscherinventar). Publ. Nr. 57/57a. Geographisches Institut, ETH Zürich, 2 Vols. & Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J. & Benz, C. 2000, Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. (Schlussbericht NFP 31). 2. Auflage. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 373 pp. & Paul, F. 2004, The new Swiss glacier inventory 2000 – application of remote sensing and GIS. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, Schriftenreihe Physische Geographie, 52, 210 pp. (Gesamtschweizerisches Gletscherinventar 1973, GLAMOS)

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Der Vorabgletscher https://f.hikr.org/files/2442516l.jpg	1
Abbildung 2, Kumulative Längenänderung des Vorabgletschers seit Messbeginn (GLAMOS)	7
Abbildung 3, Klassische Gletschermessung mit GPS-Messpfählen https://www.datocms-assets.com/40721/1655717691-gletscher_schnee12.jpg?auto=format&w=2000	8
Abbildung 4, Satellitenvermessung eines Gletschers auf einer Karte dargestellt https://wasserundeis.com/wp-content/uploads/2020/10/oetztal-gletscher-2020-09-05-sentinel2.jpg	8
Abbildung 5, generelle Temperaturzunahme der Schweiz https://www.meteoswiss.admin.ch/images/440/website/climate/climate-change/Klimawandel-2025/Klimawandel-fig_06_temp_change_decadal_bars_DEFI.jpg/Klimawandel-fig_06_temp_change_decadal_bars_DEFI.jpg	8
Abbildung 6, Stärke des Albedo-Effekts auf verschiedenen Oberflächen https://usercontent.one/wp/www.ikff.dk/wp-content/uploads/2022/08/320_albedo-scaled.jpg	9
Abbildung 8, Stärke Einstrahlungswinkel https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/38/Strahlungswinkel_und_Sonnenexposition_%28Geographie%29.png/640px-Strahlungswinkel_und_Sonnenexposition_%28Geographie%29.png	9
Abbildung 7, Vergleich russ- & staubbedeckter vs. staubfreier Gletscher (KI-generiert)	9
Abbildung 9, mit Vinyl-Folien abgedeckter Gurschengletscher (Andermatt) https://gletscherq2g.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/02/bahn_um_bahn_s12.jpg	10
Abbildung 10, mit Vlies abgedeckter Hintertuxer Gletscher (Tirol) https://oekastatic.orf.at/mims/2019/35/00/crops/w=1280,q=90/271565_bigpicture_82000_1.jpg?s=7ab003432115919ee7d7def89cb3081d51ae07a0	11
Abbildung 11, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1985 (mit Umrisslinien)	12
Abbildung 12, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.9.2003 (mit Umrisslinien)	12
Abbildung 13, Gletscherinventar des Vorabgletschers des Geoportal des Bundes https://s.geo.admin.ch/0c90umjcuuqp	13
Abbildung 14, Kumulative Längenänderung Vorabgletscher GLAMOS	15
Abbildung 15, Kumulative Massenänderung Vorabgletscher GLAMOS	15
Abbildung 16, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 24.7.1946	16
Abbildung 17, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.9.2003	16
Abbildung 18, Skitag am Vorabgletscher, 1988 https://www.alpinforum.com/forum/index.php	16
Abbildung 19, Reportage SRF, 2021 https://www.youtube.com/watch?v=r-93s2YWOKc&t=1216s	16
Abbildung 20, Blick auf den Vorabgletscher der Talstation des Vorabskilifts, 1983 https://www.alpinforum.com/forum/index.php	17
Abbildung 21, Skifahren auf dem Vorab, 1980 https://www.alpinforum.com/forum/index.php	17
Abbildung 22, Webcam Talstation Vorabskilift, 1.9.2024 https://laax.roundshot.com/vorab-gletscher/#	17
Abbildung 23, Sicht auf den Vorabgletscher vom Piz Grisch, 1960 https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Vorab#	18
Abbildung 24, Vorab vom Piz Grisch, 2015 https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Vorab#	18
Abbildung 25, Screenshot map.geo.admin, Zeitreise-Funktion, 2015, Massstab 1:10'000	19
Abbildung 26, Screenshot map.geo.admin, Zeitreise-Funktion, 1960, Massstab 1:10'000	19
Abbildung 27, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 14.8.1958	20
Abbildung 28, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.10.2005	20
Abbildung 29, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 24.7.1946	20
Abbildung 30, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 14.8.1958	20
Abbildung 31, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 23.9.1966	21

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

Abbildung 32, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 10.8.1973	21
Abbildung 33, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1979	22
Abbildung 34, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 12.9.1985	22
Abbildung 35, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 23.8.1990	23
Abbildung 36, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 16.9.1997	23
Abbildung 37, Luftbildaufnahme Vorabgletscher 15.10.2005	24
Abbildung 38, Satellitenaufnahme Vorabgletscher, Google Earth, Okt. 2009	24
Abbildung 39, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2013	25
Abbildung 40, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2019	25
Abbildung 41, Luftaufnahme Vorabgletscher, map.geo.admin, Herbst 2024	26
Abbildung 42, Vergleich Gletscherrückzug (2006-2024) Vorab vs. Pizol (erstellt von ChatGPT)	27
Abbildung 43, touristische Bedeutung des Vorabgletschers (erstellt von ChatGPT)	29

Abbildungen mit Verweis «GLAMOS» sind wie folgt zitiert und können unter folgendem Link verfolgt werden:

GLAMOS 1881-2023, The Swiss Glaciers 1880-2022/23, Glaciological Reports No 1-142, Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), published since 1964 by VAW / ETH Zurich, doi:10.18752/glrep_series.

<https://www.glamos.ch/factsheet#/A14p-01>

Alle Luftbildaufnahmen stammen aus dem LUBIS-Viewer des Bundesamts für Landestopografie swisstopo. https://map.geo.admin.ch/#/map?lang=de¢er=2660000,1190000&z=1&topic=swisstopo&layers=ch.swisstopo.lubis-luftbilder_schwarz-weiss@year=all;ch.swisstopo.lubis-luftbilder_farbe@year=all&bgLayer=ch.swisstopo.pixel-karte-farbe&catalogNodes=swisstopo

10. Anhang

Rohdaten der kumulativen Längenänderung des Vorab- & Pizolgletschers aus GLAMOS (ab 1950):

Kumulative Längenänderung Vorabgletscher

Messbeginn & -ende, Abnahmewert in m

1950-09-01,1951-09-01,-658
1951-09-01,1953-09-01,-685
1953-09-01,1954-09-01,-685
1954-09-01,1955-09-01,-699
1955-09-01,1956-09-01,-718
1956-09-01,1959-09-01,-740
1959-09-01,1961-09-01,-742
1961-09-01,1962-09-01,-754
1962-09-01,1963-09-01,-776
1963-09-01,1964-09-01,-787
1964-09-01,1967-09-01,-761
1967-09-01,1969-09-01,-709
1969-09-01,1970-09-01,-725
1970-09-01,1971-09-01,-762
1971-09-01,1972-09-01,-790
1972-09-01,1973-09-01,-841
1973-09-01,1974-09-01,-839
1974-09-01,1975-09-01,-839
1975-09-01,1976-09-01,-852
1976-09-01,1977-09-01,-841
1977-09-01,1979-09-01,-843
1979-09-01,1980-09-01,-835
1980-09-01,1981-09-01,-837
1981-09-01,1982-09-01,-845
1982-09-01,1983-09-01,-853
1983-09-01,1985-09-01,-864
1985-09-01,1986-09-01,-890
1986-09-01,1987-09-01,-893
1987-09-01,1988-09-01,-906
1988-09-01,1990-09-01,-962
1990-09-01,1991-09-01,-991
1991-09-01,1992-09-01,-1010
1992-09-01,1994-09-01,-1032
1994-09-01,1996-09-01,-1054
1996-09-01,1997-09-01,-1064
1997-09-01,1998-08-31,-1079

Kumulative Längenänderung Pizolgletscher

Messbeginn & -ende, Abnahmewert in m

1950-09-01,1951-09-01,-232
1951-09-01,1953-09-01,-214
1953-09-01,1956-09-01,-198
1956-09-01,1957-09-01,-198
1957-09-01,1958-09-01,-236
1958-09-01,1959-09-01,-273
1959-09-01,1960-09-01,-289
1960-09-01,1962-09-01,-253
1962-09-01,1963-09-01,-282
1963-09-01,1964-09-01,-302
1964-09-01,1966-09-01,-141
1966-09-01,1967-09-01,-167
1967-09-01,1968-09-01,-168
1968-09-01,1969-09-01,-175
1969-09-01,1970-09-01,-175
1970-09-01,1971-09-01,-236
1971-09-01,1972-09-01,-233
1972-09-01,1973-09-01,-248
1973-09-01,1975-09-01,-187
1975-09-01,1976-09-01,-231
1976-09-01,1977-09-01,-222
1977-09-01,1978-09-01,-141
1978-09-01,1979-09-01,-163
1979-09-01,1980-09-01,-147
1980-09-01,1981-09-01,-165
1981-09-01,1982-09-01,-175
1982-09-01,1983-09-01,-212
1983-09-01,1985-09-01,-168
1985-09-01,1986-09-01,-242
1986-09-01,1987-09-01,-228
1987-09-01,1988-09-01,-245
1988-09-01,1990-09-01,-266
1990-09-01,1991-09-01,-288
1991-09-01,1992-09-01,-283
1992-09-01,1994-09-01,-297
1994-09-01,1996-09-01,-265

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

1998-08-31,2000-09-11,-1083.8
2000-09-11,2003-08-14,-1123.7
2003-08-14,2005-09-15,-1151.1
2005-09-15,2006-09-07,-1163.2

2006-09-07,2007-10-16,-1187.6
2007-10-16,2008-10-01,-1196.4
2008-10-01,2009-09-22,-1210.2
2009-09-22,2010-09-17,-1218.8
2010-09-17,2011-09-29,-1241.8
2011-09-29,2013-09-20,-1265.3
2013-09-20,2014-09-30,-1275.6
2014-09-30,2015-10-09,-1293.9
2015-10-09,2016-09-14,-1303.8
2016-09-14,2017-10-15,-1308.8
2017-10-15,2018-08-15,-1331
2018-08-15,2019-09-15,-1348.6
2019-09-15,2020-08-28,-1371.6
2020-08-28,2021-08-25,-1373.3
2021-08-25,2022-08-26,-1410.4
2022-08-26,2023-09-12,-1463.7
2023-09-12,2024-08-14,-1491

1996-09-01,1997-09-01,-282
1997-09-01,1998-09-01,-292
1998-09-01,1999-10-01,-262
1999-10-01,2000-09-20,-262.3
2000-09-20,2002-09-14,-303.4
2002-09-14,2003-09-04,-333
2003-09-04,2004-09-07,-323.3
2004-09-07,2005-09-07,-334.1
2005-09-07,2006-09-13,-343.2

2006-09-13,2007-09-03,-349.7
2007-09-03,2008-09-26,-350
2008-09-26,2009-09-24,-352.3
2009-09-24,2010-09-22,-355.2
2010-09-22,2011-09-26,-384.3
2011-09-26,2012-09-17,-389.9
2012-09-17,2013-10-09,-390.4
2013-10-09,2014-10-07,-389.1
2014-10-07,2015-10-09,-398.9
2015-10-09,2016-09-16,-398.6
2016-09-16,2018-09-21,-446.5
2018-09-21,2019-09-19,-460
2019-09-19,2020-09-17,-466.5
2020-09-17,2021-10-11,-470.1
2021-10-11,2022-10-06,-478.2
2022-10-06,2023-10-09,-483.4
2023-10-09,2024-10-23,

Gelb markiert: Werte aus 1973 für Rückrechnung
der Ursprungswerte/-länge (hier: Messbeginn)

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

11. Glossar

A

Ablation – Verlust von Gletschermasse

Akkumulation – Gewinn an Gletschermasse

G

GLAMOS – Schweizer Gletscherüberwachungsprogramm, engl. Akronym für Glacier and Mountain Surface Observational System

Gletscherinventar - detaillierte Bestandsaufnahme von Gletschern in einem bestimmten Gebiet, die deren Umrisse, Flächen, Längen, Höhenbereiche, Exposition zu bestimmten Zeitpunkten erfasst

K

Kleine Eiszeit (LIA für Little Ice Age) - bezeichnet eine mehrhundertjährige Periode klimatischer Abkühlung während des **Spätholozäns**, die ungefähr zwischen dem 14. und dem 19. Jahrhundert n. Chr. andauerte.

Sie war durch tiefere Durchschnittstemperaturen, häufigere Gletschervorstöße, veränderte Niederschlagsmuster und zunehmende Klimaschwankungen gekennzeichnet

L

Längenänderung – Beschreibt Vor- und Rückbewegung einer Gletscherzunge entlang des Gletschervorfelds oder dem Trogtal

LUBIS - Luftbild-Informationssystem von swisstopo

M

Massenänderung – Beschreibt die Differenz zwischen Eisansammlung und Schmelze & Abtrag eines Gletschers

map.geo.admin – Website des Geoportal/Kartenviewers des Bundes/der Schweizerischen Eidgenossenschaft

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute

S

Spätholozän - jüngste Untereinheit des Holozäns, also der gegenwärtigen Warmzeit der Erdgeschichte, die nach dem Ende der Würm-Kaltzeit (vor ca. 12'000 Jahren) begann.

Es umfasst ungefähr die letzten 4 000 Jahre der Erdgeschichte und ist geprägt von zunehmenden Klimaschwankungen, frühen menschlichen Zivilisationen und den jüngsten Kaltphasen, darunter die **Kleine Eiszeit**.

W

Weisse Arena Gruppe – Unternehmen in der Tourismus- und Freizeitbranche mit Sitz in Laax. Entstehung durch Fusion der Bergbahnbetriebe Crap Sogn Gion AG & Bergbahnen Flims

Z

Zeitreise-Funktion – Im Kartenviewer des Bundes (meist als map.geo.admin gekennzeichnet) lassen sich historische, teils handgezeichnete Karten der gesamten Schweiz bis zu den 1860er-Jahren entdecken

12. Deklarationen

KI-Deklaration

Verwendete KI-Applikationen

- ChatGPT
- Google Gemini

Folgende Unterkapitel wurden mittels KI-Applikationen sprachlich überarbeitet.

- 11. Glossar

Beispiel einer KI-Überarbeitung

- **Spätholozän** - jüngste Untereinheit des Holozäns, also der gegenwärtigen Warmzeit der Erdgeschichte, die nach dem Ende der Würm-Kaltzeit (vor ca. 12'000 Jahren) begann.
(Definitionen bestimmter Begriffe)

Verwendete Anweisungen (prompts)

- «Definiere *Begriff* » (z.B. Spätholozän)

Eigenständigkeitsdeklaration

«Ich erkläre hiermit:

dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angegebenen Hilfsmittel verfasst habe.»

Datum

Unterschrift

Die Veränderung des Vorabgletschers von 1950 bis heute