

22. Februar 2016

Führer durch die Gletscherlandschaften des Val d'Hérens

Walter Wildi, Pauline Gurny-Masset,
Mario Sartori

© 2016 Section des sciences de la Terre et de
l'environnement
Université de Genève

Rue des Maraîchers 13, CH-1205 Genève

Internetadresse:
<http://www.unige.ch/forel/fr/services/guide/valdherens/>



Führer durch die Gletscherlandschaften des Val d'Hérens

Walter Wildi, Pauline Gurny-Masset, Mario Sartori

Inhaltsverzeichnis

Vorwort: Das Tal der Pyramiden	2
1. Einführung in die Glaziologie	4
1.1 Von der Schneeflocke zum Gletschereis	4
1.2 Eisbilanz eines Alpengletschers	5
1.3 Das Glazialsystem	6
1.4 Schmelzwasser	9
1.5 Gletscher in Bewegung	11
1.6 Gletschererosion	12
1.7 Sedimente	13
2. Eiszeiten	
2.1. Eiszeiten: Folge der grossen Klimawechsel und ihr Beitrag zur Bildung des Alpenreliefs	14
2.2 Das Mittelalterliche Klimaoptimum und die Kleine Eiszeit	16
3. Die Gletscher des Val d'Hérens	18
4. Von der letzten Eiszeit bis heute und von Genf nach Ferpeclè: die «Rückkehr» der Gletscher in die Alpen	20
5. Von Ferpeclè zum Mont Mine-Gletscher: eine Reise zum Ende der Kleinen Eiszeit	28
6. Wanderung: Der Mont Miné-Gletscher vom Ende der Kleinen Eiszeit bis heute	31
Verwendete Literatur und Links	35

Vorwort: Das Tal der Pyramiden

Wir können uns die Alpen ohne ihre weissen Gipfel vor blauem Himmel kaum vorstellen. Und die Gletscher, die in die Täler hinunter gleiten, wie ein kontinuierlicher, träger Fluss, dessen Bewegung man aber von blossen Auge nicht erkennen kann. Diese Bergwelt hat die ersten Touristen und Bergsteiger im 19. Jahrhundert angezogen, und es sind die Gletscher, die damals in die Täler und auf die Alpweiden vorstiessen, welche die Forscher in die Alpen zogen und dazu veranlassten, die Geheimnisse dieser kalten Welt besser zu verstehen.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts beobachtet der Jäger und Strahler J. P. Perraudin im Val de Bagnes den Vorstoss des Giétroz-Gletschers, der Wiesen überfährt und neue Moränen aufschüttet (Abb. 2). Er alarmiert den Kantonsingenieur des Kantons Wallis, Ignace Venetz. Dieser stellt die Bildung eines Gletschersees fest, der 1818 ausbricht und das obere Val de Bagnes überflutet.



Abbildung 1: Die Pyramiden von Euseigne sind das Wahrzeichen des Val d'Hérens und seiner Gletschergeschichte. Die «Demoiselles coiffées», sind das Resultat der Erosion von Grundmoränen welche die Gletscher des Val d'Hérens und des Val d'Hérémence an dieser Stelle während der letzten Eiszeit hinterliessen.

In einem Vortrag vor der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG), an deren Jahresversammlung in Luzern, postuliert Ignace Venetz, dass die Alpengletscher in der Vergangenheit eine weit grössere Ausdehnung hatten. Diese Idee der Ausdehnung der Gletscher bis über den Alpenrand hinaus wird durch Louis Agassiz aufgenommen. In seinem Vortrag vor der SNG im Jahr 1837 (publiziert 1840) beschreibt er die Klimabedingungen die zu einer Ausdehnung der Gletscher über weite Teile der nördliche Hemisphäre führen konnten. Ab etwa 1840-45 ist diese Glazialtheorie weltweit anerkannt.

So entstehen auf der Basis von Feldbeobachtungen, namentlich im Wallis, sowohl die Glazialtheorie als auch die Glaziologie, die Wissenschaft welche die Gletscher untersucht.

Inzwischen hatte die Situation jedoch gedreht: Die Gletscher, die seit dem 16. Jahrhundert, d.h. dem Beginn der «Kleinen Eiszeit», in die Täler vorgedrungen waren, erreichten um 1850 zum zweiten Mal in drei Jahrhunderten einen Maximalstand. Von da an begannen die Gletscherzungen abzuschmelzen. Und selbst wenn sie heute noch nicht ihren Minimalstand vom Mittelalter erreicht haben, so wissen wir, dass uns der laufende Klimawechsel einer wärmeren Zeit entgegen führt. In unserer Gesellschaft beunruhigt jeder Wechsel; und so erklärt sich auch das wachsende Interesse des Publikums für die Gletscher und ihre Entwicklung.

Im Val d'Hérens findet man weder die längsten Gletscher, noch die höchsten Gipfel der Alpen. Aber das Tal bietet Dank seinen Landschaften, Gletschern und Flüssen, seiner Fauna und der Flora ideale Voraussetzungen zur Beobachtung der Funktionsweise und der Veränderungen der Umwelt. Es bietet auch ideale Bedingungen um die Zeichen und Geschichte der jungen Gletscher- und Klimageschichte zu beobachten.

Dieser Führer präsentiert zuerst eine kurze Einführung in die Glaziologie, von der Bildung des Eises bis zur Erosion des Felsuntergrundes, dem Transport und Ablagerung der Sedimente. Weitere Kapitel sind den Eiszeiten, dem warmen Mittelalter und der Kleinen Eiszeit gewidmet.

Am Ende des Führers finden sich Vorschläge für den Besuch von vier Stationen entlang dem Rückzugsweg der Gletscher in die Alpen zwischen Sion und Evolène. Sodann folgt die Beschreibung einer Exkursion entlang dem Rückzugsweg der Gletscher von Ferpècle und Mont Miné vom Ende der Kleinen Eiszeit bis heute.

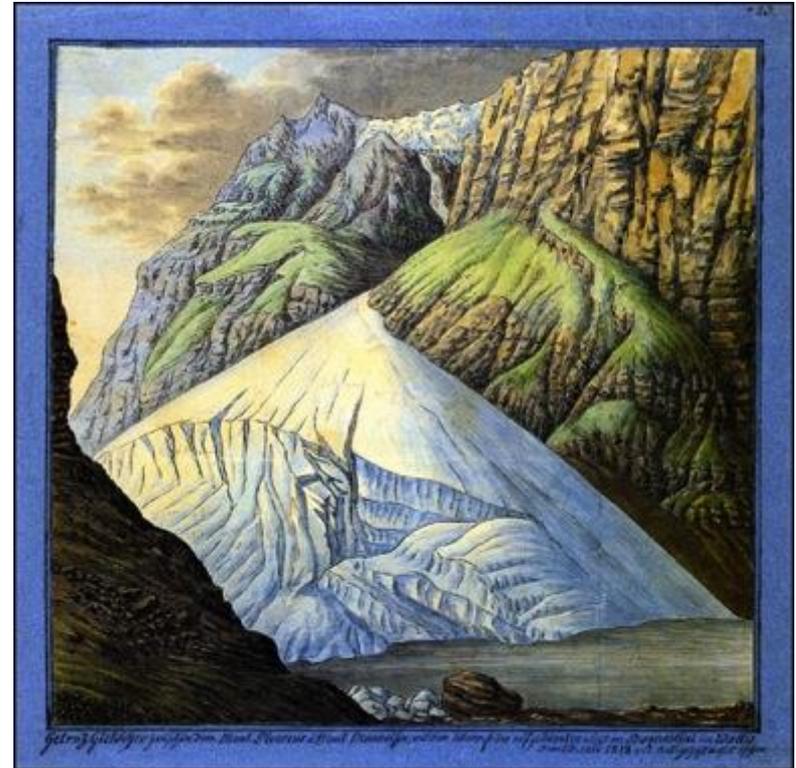


Abbildung 2: Giétroz-Gletscher zwischen dem Mont Pleureur und dem Mont Mauvoisin; im Vordergrund der Gletschersee (Val de Bagnes, VS). Zeichnung durch H. C. Escher, 23. Juli 1818. Federzeichnung und Aquarell, 26 x 26,5 cm, Graphische Sammlung, ETH Zurich (n° 223 = Inv. C XII 13b).

1. Einführung in die Glaziologie

1.1 Von der Schneeflocke zum Gletschereis

Chemie und Physik des Wassers

- **Chemische Formel:** H_2O , Dihydrogen Monoxyd, Hydrogenol, Wasserstoff Hydroxyd, Dihydrogen Oxyd.
- Auf Meeresniveau findet sich das Wasser in folgenden 3 Aggregatzuständen:

gasförmig	> 100°C	< flüssig	> 0 °C	fest
Dampf		Wasser		Eis
- **Dichte:** diese variiert als Funktion der Temperatur und des Aggregatzustandes (auf Meeresniveau):

99 °C:	958.4 kg/m ³	(flüssig, ab 100 °C: Evaporation)
4 °C:	999.973 kg/m ³	(flüssig, grösste Dichte)
0 °C:	999.841 kg/m ³	(flüssig)
0 °C:	917 kg/m ³	(fest: Ausdehnung von 10% beim Gefrieren)
- Latente Schmelzwärme des Eises 333 Kilojoules/kg

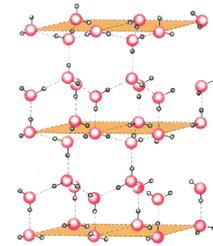
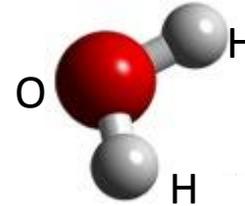
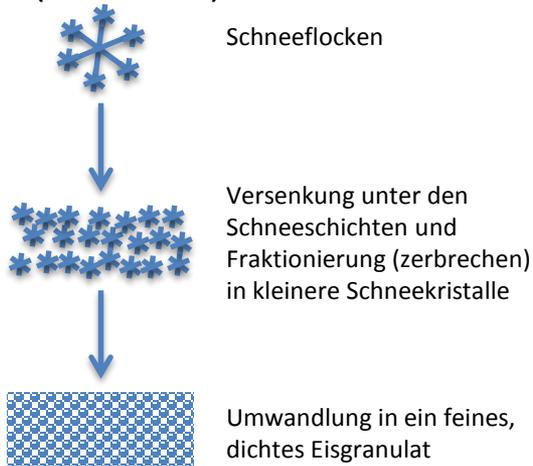


Abbildung 3: Molekular- und Gitterstruktur von Wasser und Eis (<http://www.ressources.cfadf.com/pensee/chimie6.htm>)

Das Gletschereis bildet sich unterhalb 0 °C. Es weist eine Gitterstruktur bestehend aus Wassermolekülen auf: Jedes Sauerstoffatom (Abb. 3, in rot) ist über eine Wasserstoffbrücke (grau) mit vier andern Sauerstoffatomen verbunden. Diese Sauerstoff-Wasserstoffverbindungen sind in Schichten angeordnet (Abb. 3, rechts), innerhalb derer die Distanzen zwischen Atomen kleiner sind als die Distanz zwischen den Schichten. Diese Struktur ist jener von Schichtsilikaten, wie etwa Ton- und Glimmermineralien vergleichbar.

Abbildung 4: Die zwei wichtigsten Prozesse zur Bildung von Gletschereis

Versenkung und Kompaktion (kalte Gletscher)



Fusion - Rekristallisation des Schnees (temperierte Gletscher)

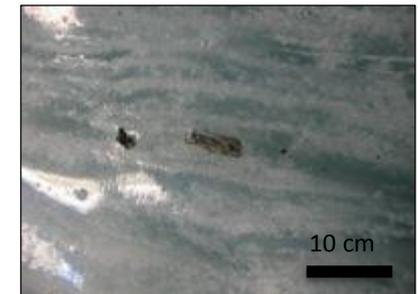
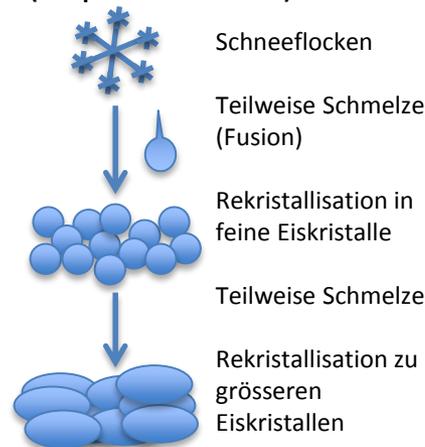
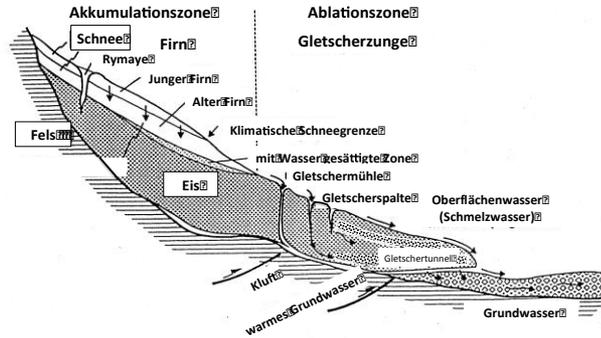


Abbildung 5: Eiskaverne im Mer de Glace Gletscher, Chamonix: Das Eis erscheint durch Bänder mit Luftblasen (weiss) und Gesteinstrümmer (dunkel) geschichtet.

1.2 Eisbilanz eines Alpengletschers



Die Eisbilanz der Gletscher wird für die Dauer eines hydrologischen Jahres (1. Oktober bis 30. September des kommenden Jahres) bestimmt. Bei alpinen Gletschern bezeichnet man die Zone mit einer positiven Massenbilanz als «Akkumulationszone». Darunter liegt, abgegrenzt durch die Gleichgewichtslinie, die «Ablationszone». Die Massenbilanz eines Gletschers entspricht der Differenz zwischen der neu gebildeten Eismasse und dem Massenverlust, v.a. durch Abschmelzen. Bei einer negativen Massenbilanz (siehe Abb. 6 und 7) verkürzt sich die Gletscherzunge meist, der Gletscher «zieht sich zurück». Allerdings wird die Länge der Gletscherzunge auch durch die Gleitbewegungen beeinflusst, sodass eine Zunge trotz kleinerer Masse länger, bzw. trotz grösserer Masse kürzer erscheinen kann.

Abbildung 6: Längsschnitt durch einen alpinen Gletscher: Der frische Schnee sammelt sich während der kalten Jahreszeit (Winter – Frühling) auf dem Gletscher an und schmilzt im Sommer in tieferen Lagen wieder weg. In hohen Lagen bildet sich durch Fusion und Rekristallisation der Firn.

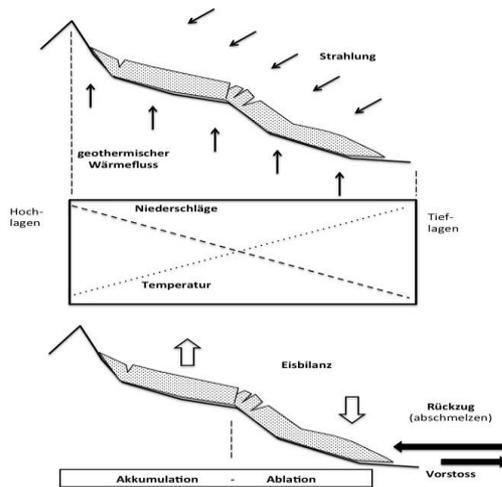


Abbildung 7: Wichtigste für die Eisbilanz und die Bewegungen der Gletscherfront verantwortliche Faktoren: Temperatur, Niederschläge und geothermischer Wärmefluss.

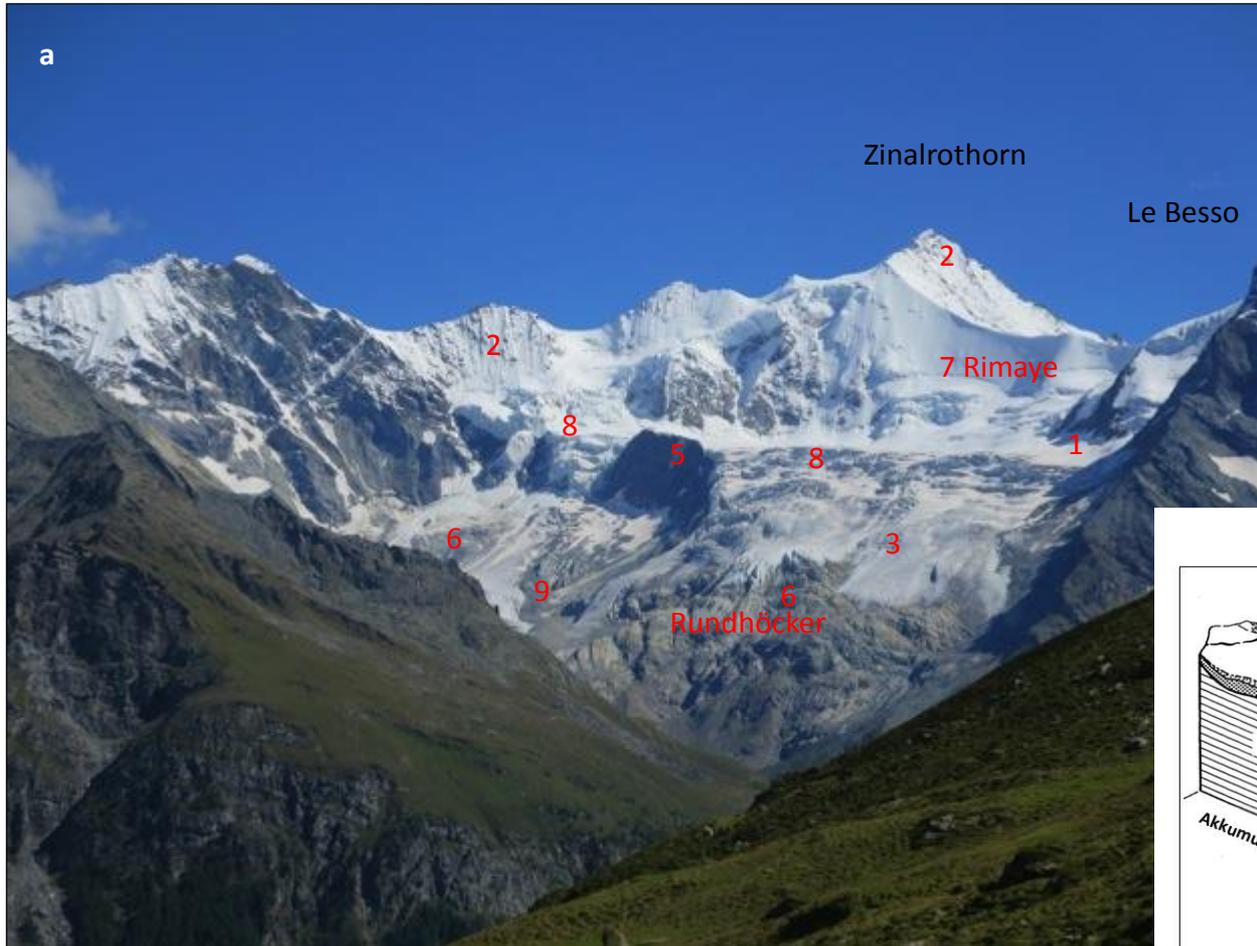


Abbildung 8: Gletschertor des Mont Miné-Gletschers, Oktober 2012, an einem kalten Tag mit wenig Schmelzwasser.

Gletscher werden v.a. durch die Niederschläge und in kleinerem Masse durch Lawinen gespiesen. Sie verlieren Wasser durch Sublimation (direkte Übergang vom festen Eis in die Gasphase) und durch Abschmelzen und Abfluss des Schmelzwassers innerhalb und an der Basis des Gletschers.

1.3. Das Glazialsystem

Abbildung 9a-c: Glazialsystem am Zinal Rothorn (Blick von der Alpstrasse Sorebois – Zinal, Val d'Annivier)



Erklärung der Zahlen 1 bis 10 auf der folgenden Seite.

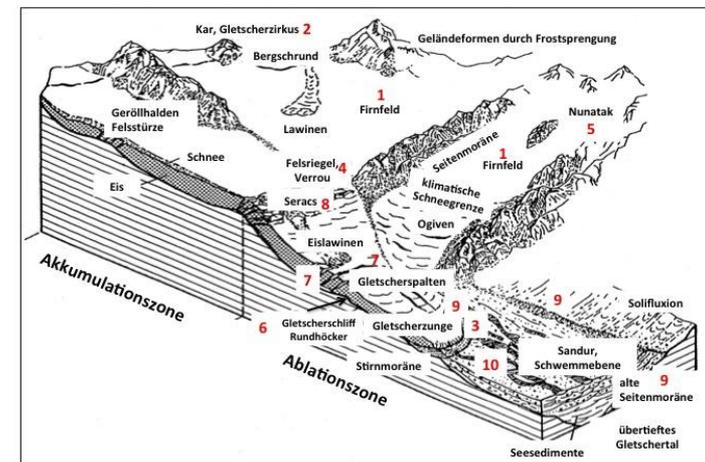
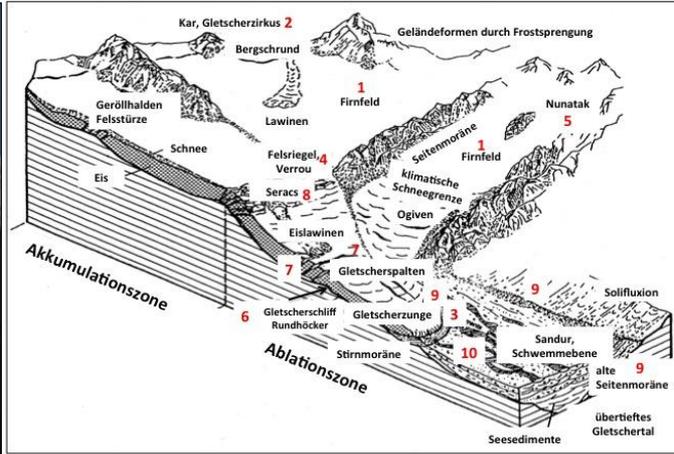


Abbildung 10: Das Glazialsystem: Überblick

a) Firn und Seracs am Ferpècle-Gletscher



c) Gletscherzunge am Ferpècle-Gletscher



d) Gletschertor und Grundmoräne am Glacier du Mont Mine



e) Gletscherspalte und Gletschermühle auf dem Ferpècle-Gletscher

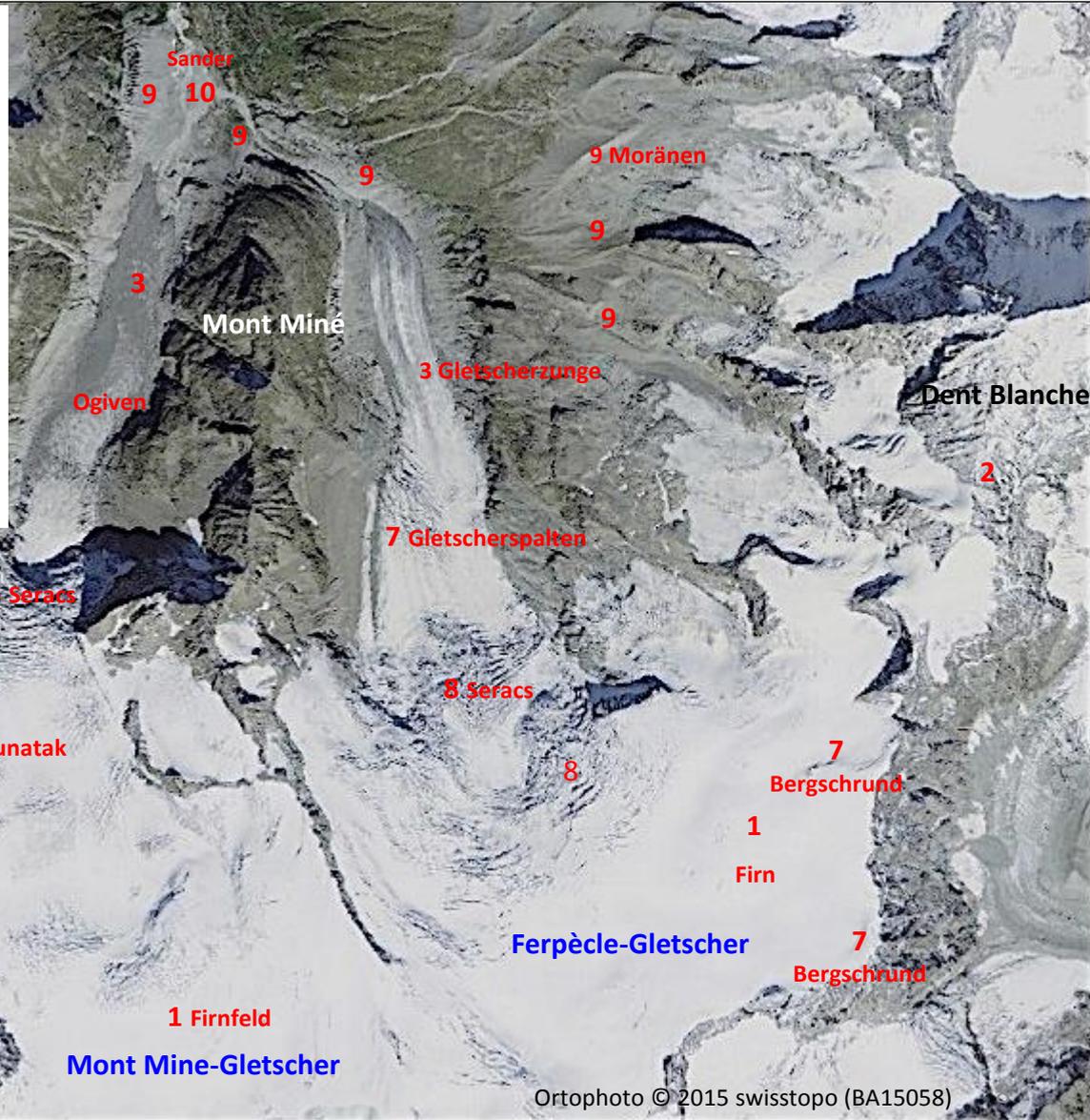
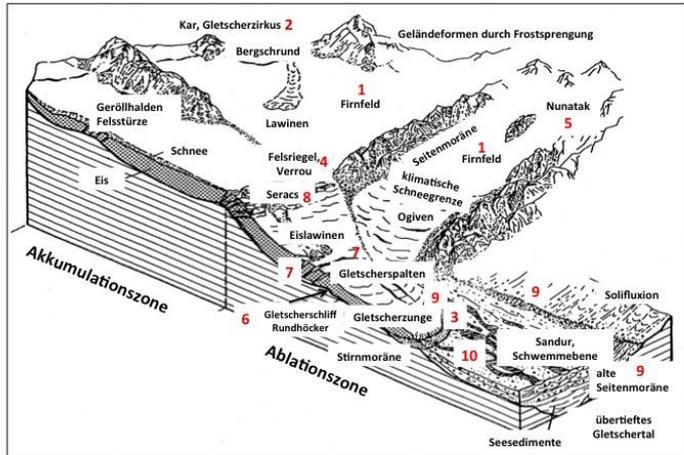


f) Seracs, Abbrüche und Eislawinen am Mont Mine-Gletscher



Der **Firn 1** ist im **Kar** (Gletscherzirkus) eingebettet **2**; er ist meist mindestens bis zur klimatischen Schneegrenze mit Schnee bedeckt. Die **Gletscherzungen 3** werden durch den Firn gespeist und fließen in die Gletschertäler ab. Die **Gletscherriegel («Verroux» 4** sind Felsriegel welche das Tal und den Eisstrom einengen. **Nunataks 5** (Felshörner) ragen dort über die Gletscheroberfläche hinaus, wo die Felsen der Gletscherosion trotzen. Der durch den Gletscher überfahrene Fels ist oft zu **Rundhöckern 6** modelliert. Dies sind durch Abschleifen (Abrasion) und Abrisse geschaffene Erosionsformen. In der Fließrichtung des Gletschers steigt deren Oberfläche allmählich an und reißt am Ende des Rundhöckers steil ab. Die **Gletscherspalten 7** sind Spannungsrisse innerhalb der Eismasse, provoziert durch die Gletscherbewegung. Die höchst gelegene Spalte wird auch **Bergschrund** (Rimaye) genannt. Sie grenzt den Firn vom fest an den Fels gefrorenen Eis ab. Interne Verfaltungen des Gletschereises nennt man **Ogiven**, senkrechte durch Schmelzwasser herausgelöste Wasserschächte sind **Gletschermühlen**. **Seracs 8** sind frei stehende Eistürme; sie entstehen an Geländeabbrüchen. Das durch Frost, Wasser, Lawinen, Abschleifen, Bergsturz, Wind u.a.m. oberhalb und unter dem Gletscher abgetragene, nicht sortierte Gesteinsmaterial sammelt sich an den Gletscherrändern und unter dem Gletscher an und bildet **Stirn- (End-) und Seitenmoränen, sowie Grundmoränen 9**. Der Gletscherstrom transportiert Sand und Kies und lagert das Material auf Schotterfluren (Terrassen: **Sander oder Sandur 10**), sowie auf den **Deltas** der Gletscherseen ab.

Abbildung 11: Gazialsystem der Gletscher von Mont Miné und Ferpècle



1.4 Schmelzwasser

Der Abfluss des Gletscherwassers als Gletscherbach folgt den Jahreszeiten („glaziales“ und „nivo-glaziales“ Regime):

- Im Winter ist die Landschaft gefroren, der Abfluss ist minimal, Gletscherbäche haben Niedrigwasser. Die Gletscher sind durch Schnee bedeckt.
- Die Schneeschmelze beginnt im Frühjahr, meist in bedeutendem Ausmass ab Monat April. Der Abfluss der Gletscherbäche steigt an, bis zu ihrem Maximum im Spätfrühling.
- Im Sommer verschwindet der Schnee in den tieferen Lagen und der Abfluss wird allmählich durch die Eisschmelze dominiert, mit starken tageszeitlichen Schwankungen. Die Gletscherbäche schwellen tagsüber an und gehen nachts wieder zurück. Der Moment im Verlauf des Nachmittags, an dem der höchste Wasserspiegel erreicht wird, hängt v.a. von der Rückhaltung des Wassers im Gletscher selbst ab.
- Im Herbst, wenn die Sonnenstrahlung zurückgeht, nimmt der Abfluss ab und wird im Tageszyklus regelmässiger.

Der Beitrag von Gewittern zum Abfluss ist beschränkt. Die ersten Niederschläge werden im Gletscher zurückgehalten und erscheinen erst allmählich in Abflussmessungen.

Am Gletschertor ist die Wassertemperatur nahe 0°C. Im Wallis werden die Zuflüsse aus den Seitentälern mit ihren Gletschern durch die Rhone gesammelt. Im Januar liegt deren Temperatur um 4 bis 5°C. Im Sommer fliesst der Fluss mit bis 10 oder 11 °C in den Genfersee. Hier erwärmt sich das Oberflächenwasser Ende Juli und im August auf 20 bis 22 °C; In den tiefen Schichten des Sees liegen die Wassertemperaturen das ganze Jahr zwischen etwas mehr als 4 und knapp 6°C.

Die Gletscherflüsse führen das an der Basis des Gletschers abgeschliffene („abasierte“) Material von Sand und Silt. Das trübe Schmelzwasser, auch „Gletschermilch“ genannt, kann man bis in die Stauseen und den Genfersee verfolgen, wo es auf dem Rhonedelta im See abgelagert wird.

Ein Grossteil des Schmelzwassers wird heute Stauseen zugeführt und dient der Stromproduktion. Der im Wasser mitgeführte Sand kann Turbinen und Pumpen durch Kavitation beschädigen und wird deshalb so früh wie möglich abgetrennt und separat beseitigt. Dies geschieht in Sandabscheidern, künstlichen Wasserbecken in welchen sich Kies und grober und mittlerer Sand am Grund absetzt.

Ein Teil der Sedimente, v.a. die feinen Fraktionen, gelangen trotzdem in die Staubecken und lagern sich dort ab. Sie können das Stauvolumen auf die Dauer erheblich reduzieren. Die Ausschwemmung ist aber z.T. technisch kaum realisierbar, oder aus ökologischen Gründen nicht erlaubt.

Unterhalb der Stauhaltungen ist das Abflussregime stark verändert: Die Hochwasserspitzen sind stark reduziert, insbesondere an Sommertagen. Im Winter sind Niedrigwasser seltener, da tagsüber Wasser aus den Stauseen zur Stromproduktion verwendet wird.

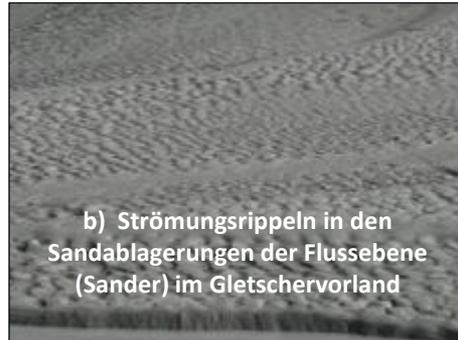
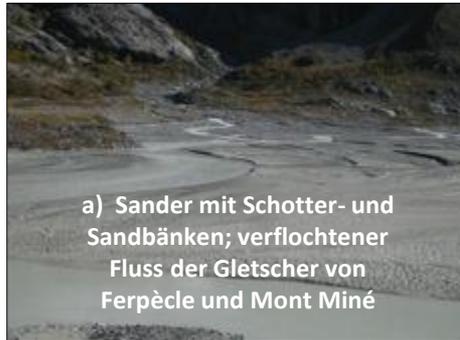


Abbildung 12: Abflussmessung im Gletscherbach mit der Salzverdünnungsmethode.



Abbildung 13: Messung des Abflusses eines Gletscherbachs nach klassischer Methode: Breite des Flusslaufes, Tiefenprofil und Fließgeschwindigkeit.

Abbildung 14: Schmelzwasser



1.5. Gletscher in Bewegung

Gletscher fließen und gleiten; sie verhalten sich gleichzeitig wie zähe Flüssigkeiten (plastisches Verhalten) und wie spröde Körper (elastisches Verhalten). Gletscher bewegen sich langsam auf ihrem geologischen Untergrund entsprechend der Topographie talwärts.

Die Fließbewegung beruht weitgehend auf der inneren Verformung, sowie auf dem Umschmelzen (Fusion/Rekristallisation) der Eiskristalle. Interne Zerschneidung des Eises kann die Bewegung unterstützen. Folgende Parameter bestimmen in erster Linie die interne Gletscherdeformation:

- Die Eistemperatur (Klima- und Saisonabhängig)
- Die Dicke der Eismasse („Mächtigkeit“)
- Das Gefälle der Gletscherbasis

Die Gleitbewegung der Gletscher hängt in erster Linie vom Gefälle der Gleitbahn und deren Rauheit und von der Temperatur, bzw. der Wasserführung an der Gletscherbasis ab.

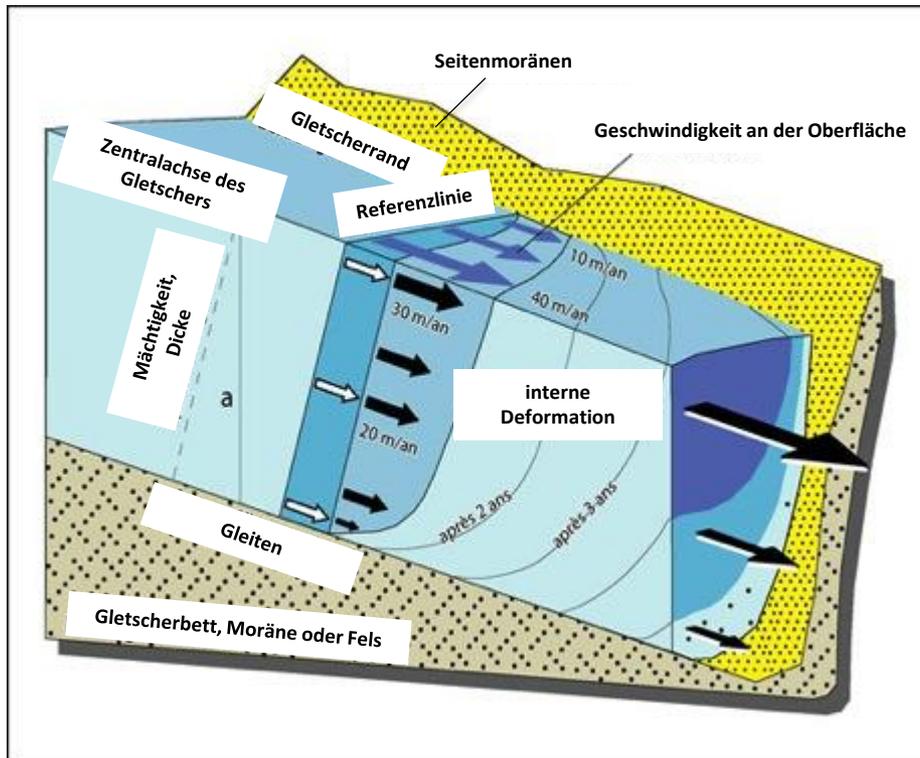
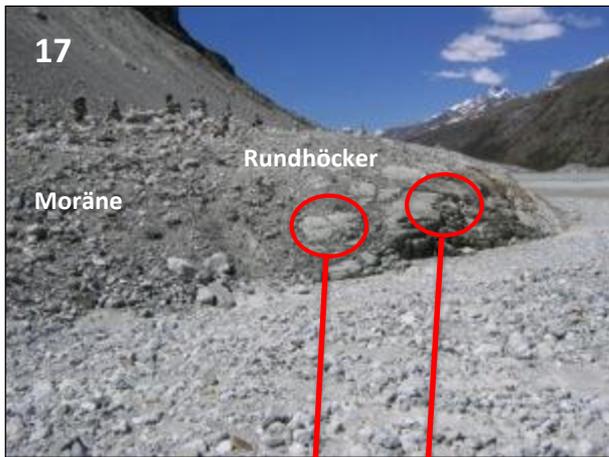


Abbildung 15: Die Abbildung schematisiert die Bewegung des Gletschers: Die weissen Pfeile zeigen die Gleitbewegung an der Gletscherbasis; die schwarzen Pfeile zeigen die Fließbewegung des Eises. Ähnlich wie beim Fließen von Wasser in einem offenen Kanal, findet man die höchsten Geschwindigkeiten im Zentrum und an der Oberfläche des Gletschers. Die Geschwindigkeit nimmt sodann aufgrund der Reibung beim Annähern an den „Kanalrand“ und den „Kanalgrund“ ab. (Unterrichtsblatt der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 2.1.2. Darstellung: C. Scapoza, nach Maisch 1993).



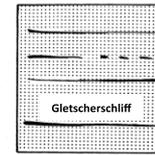
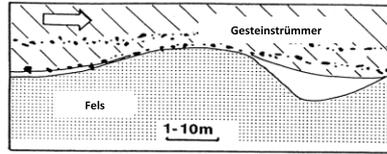
Abbildung 16: Überschiebungen im Frontbereich des Arolla-Gletschers: Wenn der Gletscher an seiner Front am Grund festgefriert, so bilden sich im Gletschereis Überschiebungsflächen, an denen die Gletscherzunge die eigene Front überfahren kann.



1.6 Gletschererosion

20

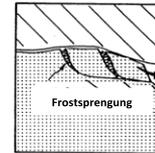
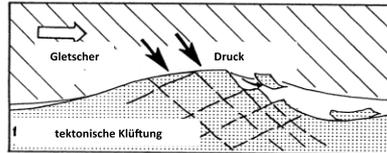
ABRASION, GLETSCHERSCHLIFF (LÄNGSPROFIL)



Längsprofil

Aufsicht

FROSTSPRENGUNG, ABRISS



EROSION DURCH WASSER

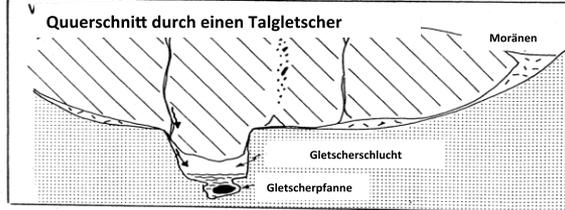
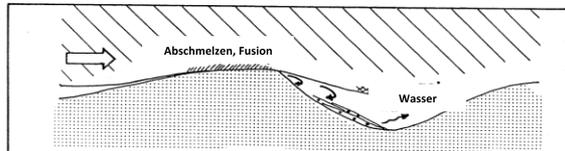


Abbildung 17: Rundhöcker, Mont Mine-Gletscher.

Abbildung 18: Gletscherschliff auf der Gesteinsoberfläche rechts, Abb. 17.

Abbildung 19: Abrisse entlang Gesteinsklüften.

Abbildung 20: Schema der verschiedenen Erosionsmechanismen.

Abbildung 21: Rundhöcker am Ferpèche-Gletscher mit Flechtenkolonien (*Rhizocarpon geographicum*).

Abbildungen 22 und 23: Kavitation (Bildung von Gletschertöpfen und andern Höhlungen) durch Schmelzwasser.

1.7 Sedimente



Abbildung 24: *Gletschermilch* produziert durch die Abrasion des Felsuntergrundes; **Gletschertor** am Mont Mine-Gletscher; die grossen Gerölle und Blöcke entstanden durch Abriss an der Gletscherbasis und wurden im Flussbett gerundet.

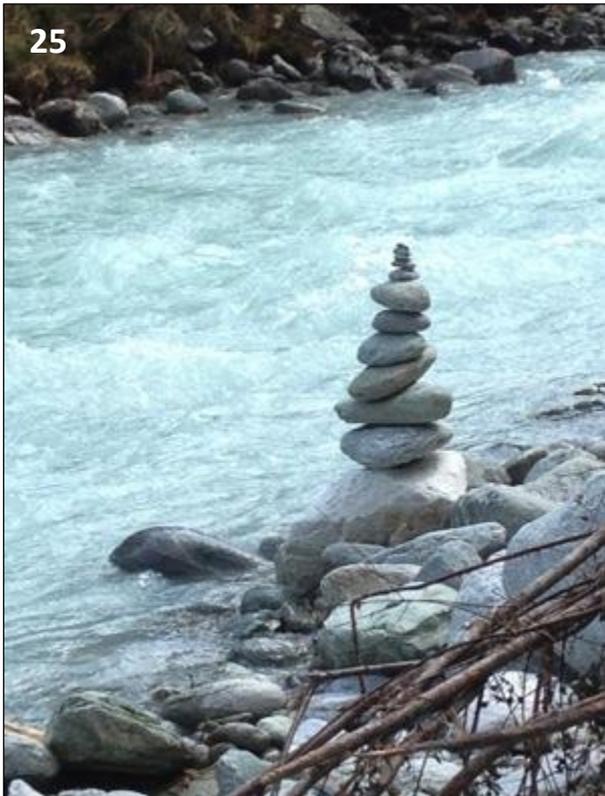


Abbildung 25: *Gletschermilch* im Wildbach Navisence bei Zinal (Foto Lucie Wildi).

Abbildungen 26 und 27: Unter dem Druck des Gletschers **geklüfteter und zerbrochener Fels** (Mont Mine-Gletscher). Das Bild zeigt wie Gesteinsblöcke unter dem Gletscher vom Fels abgerissen werden. Sodann werden die Blöcke im Gletscherfluss weiter transportiert oder in der Grundmoräne gefangen.

Abbildung 28: Moräne (hier die Seitenmoräne auf der linken Seite des Mont-Miné Gletschers) besteht aus erodiertem Silt, Sand, Geröllen und Blöcken. Das Material kann unter dem Gletscher produziert worden sein, oder als Gehängeschutt oder Lawinenschutt auf den Gletscher gelangt sein. Die Moräne in Abbildung 28 wird durch das Wasser erodiert, wodurch zahlreiche Rillen entstehen.



2. Eiszeiten

2.1. Eiszeiten: Folge der grossen Klimawechsel und ihr Beitrag zur Bildung des Alpenreliefs

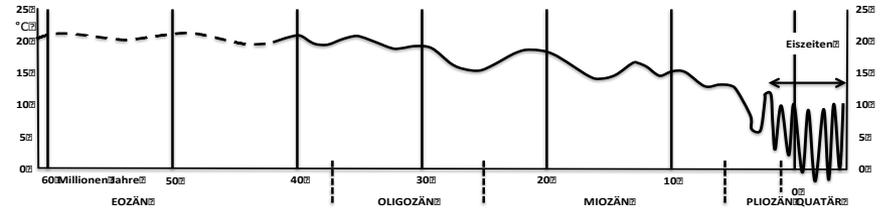
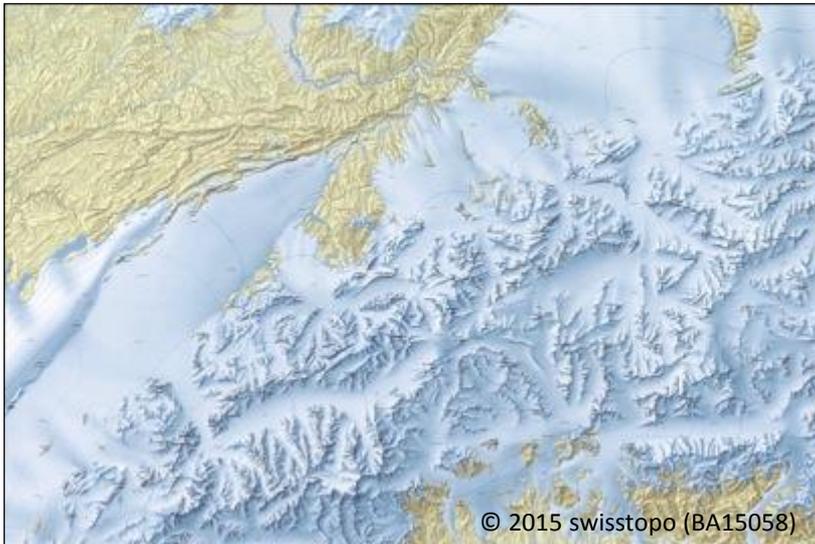
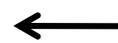
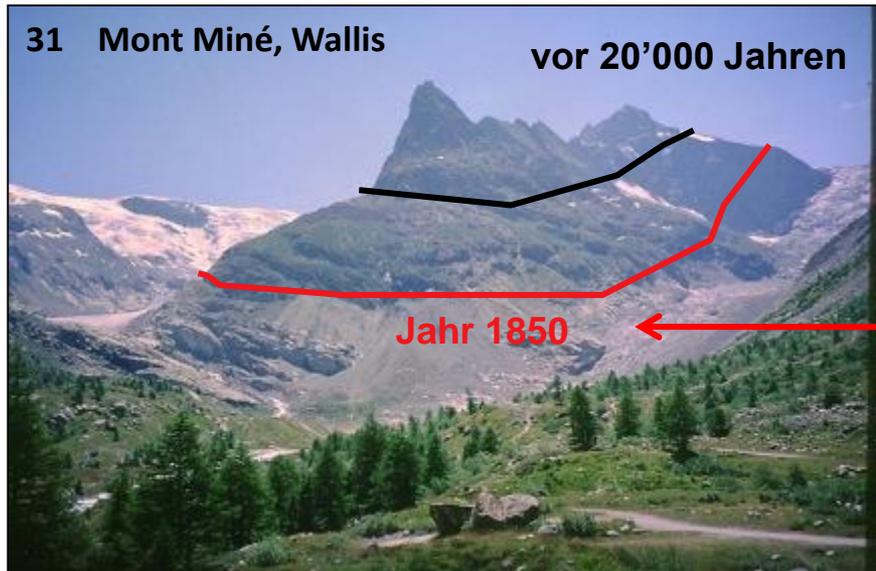


Abbildung 29: Die Karte oben zeigt die maximale Ausdehnung der Alpengletscher während der letzten Eiszeit (Bini et al., 2009). **Abbildung 30 oben:** Entwicklung der mittleren Erdtemperaturen im Verlauf der letzten 60 Mio Jahre; **Mitte:** Luzern bei subtropischem Klima vor 20 Mio Jahren. **Unten:** Luzern während der letzten Eiszeit (Oelbild von Ernst Hodel, nach einem Entwurf des Geologen Albert Heim). Die drei Abbildungen stellen den Landschaftswechsel als Folge der grossen Klimawechsel dar.



Die Bildung der Haupttäler in den Alpen und dem Alpenvorland ist das Werk der Gletscher der grossen Eiszeiten, im Verlauf der letzten 2 Mio Jahre der Erdgeschichte. Im Genferseebecken finden sich die ältesten Spuren der Eiszeiten bei Palézieux. Ihr Alter liegt um 800'000 Jahre. Auf diese Eiszeit folgten weitere Kaltzeiten, unterbrochen durch Warmzeiten, oft mit einem Klima welches den heutigen Verhältnissen glich, oder sogar noch wärmeren Perioden. Die letzte Kaltzeit (Würmeiszeit) mit einer Ausdehnung der Gletscher bis ins Mittelland und dem Jura-Südfuss erreichte ihr zweites Maximum vor etwa 22'500 Jahren.



Letzter Maximalstand der Würmeiszeit



Maximalstand der Kleinen Eiszeit



Abbildungen 31 und 32: Die Geländeformen erlauben es, die Ausdehnung der Gletscher während den vergangenen Kaltzeiten zu bestimmen: Die Obergrenze der Gletscher während des letzten Maximums der vergangenen Würmeiszeit (etwa 22'500 Jahre) entspricht der Obergrenze der geschliffenen Gesteinsoberflächen. Oberhalb dieser Grenze sind die Gesteine durch Frostsprengung zu Ruinen verwittert. Die maximale Ausdehnung während der Kleinen Eiszeit um 1850 entspricht der Zone in welcher die Gesteine noch nicht vollständig mit Flechten, Moosen und anderer Vegetation bedeckt sind und daher heller erscheinen.

2.2 Das Mittelalterliche Klimaoptimum und die Kleine Eiszeit

Blüemlisalpsagen, «Légendes des Manzettes»

Als erster Autor beschrieb F. Röthlisberger (1976) im Detail die Blüemlisalpsagen (oder «Légendes des Manzettes» im Val d'Hérens). Die Blüemlisalp ist ein prächtiges Gebirge östlich Kandersteg (Berner Oberland), welches eine maximale Höhe von 3664 m erreicht. Literatur und mündliche Überlieferung erinnern unter dem Begriff der „Blüemlisalpsagen“ an Zeiten, in welchen das Klima milder war als heute, und die Gletscher eine deutlich geringere Ausdehnung hatten.

Im Val d'Hérens sind die entsprechenden Legenden mit den Passwegen verbunden, welche die Gebirgswügel überqueren. Dabei geht es um Passübergänge nach dem Aostatal und Zermatt, im speziellen um den Col d'Hérens. Während des Mittelalters benutzten die Bewohner des Val d'Hérens die Passwege regelmässig, etwa um in Zermatt den Gottesdienst zu besuchen, aber auch um ihre Toten im Mattertal zu beerdigen.

Der Weg welcher von Evolène über das Dörfchen La Sage und die Alp von Bricola führt, wurde bereits durch die Römer benutzt. Hinweise hierfür liefern Münzfunde entlang der Wegspur und eine Inschrift auf der Alp Manzettes oberhalb Bricola. Hier vermutet man auch eine ehemalige Herberge, welche als Etappenhalt diente.

Dem interessierten Leser sei das Buch mit dem Titel „Evolène, de la légende à la réalité“ von A. Fauchère (2014) empfohlen. Die Journalistin, Ethnobotanistin und „Rebellin der Berge“ (<http://www.a-fauchere.ch>) ergänzt die lokalen Legenden und Geschichten durch Recherchen in Archiven. Ihre „Légende des Manzettes“ beginnt wie folgt (übersetzt): „Es war einmal ein reicher und sehr fröhlicher König, der hiess König Borah. Sein Königreich war am Fusse des Mont-Miné gelegen, im Zentrum eines grandiosen Alpen-Universums . . . ». Die Geschichte erzählt das Drama des Endes des milden Talklimas, des damit verbundenen Gletschervorstosses und dem Untergang des Königreiches. Die Autorin führt die Gletschergeschichte weiter und vergleicht sie mit jener der benachbarten Täler. Ein wichtiger Teil des Textes ist auch dem Studium der Passübergänge und den Verbindungen mit dem Val d'Aosta und Savoyen gewidmet.

Die Interpretation dieser Legenden liegt auf der Hand: Zur Römerzeit und während des Mittelalters waren die Gletscher gegenüber ihren heutigen Positionen weit zurückgezogen und das Klima war mild. In den Alpentälern und Dörfern lebte bei angenehmem Klima eine Bevölkerung, welche sich bis auf Höhen von 2'600 m (und mehr) von reichen Alpen und Landbau ernährte. Dieses «mittelalterliche Klimaoptimum» dauerte bis zum Anfang des 16. Jahrhunderts.

Für gewisse Autoren beginnt die Kleine Eiszeit mit den regnerischen Jahren ab 1313, andere setzen den Beginn in die kühle Periode ab 1540. Um diese Zeit begann ein rasches Gletscherwachstum, und exponierte Alpen wurden durch die Eisströme überfahren.

Mittelalterliches Klimaoptimum und die Kleine Eiszeit

Vom 10. bis zum 16. Jahrhundert profitierte die nördliche Erdhemisphäre von einem besonders milden Klima; die Periode wird „Mittelalterliches Klimaoptimum“ genannt. Zu dieser Zeit wurde im Süden von England Wein angebaut und der Süden Grönlands war stärker bewohnt als heute. Von dieser Periode ist in den Blüemlisalpsagen und Sagen und den „Légendes des Manzettes“ die Rede. Von der darauf folgenden Klimaverschlechterung waren in erster Linie wiederum die besonders empfindlichen Regionen betroffen, wie etwa die Alpentäler, Skandinavien und Grönland, wo Hungersnöte ausbrachen und die Bevölkerung in Scharen auswanderte. In Chamonix, in weniger als 100 km Entfernung vom Val d'Hérens, rekonstruierten Nussbaumer et al. (2007) die Veränderungen des Mer de Glace-Gletschers vom 16. Jahrhundert bis heute. Die Autoren postulieren zuerst einen Gletschervorstoss von mehr als einem Kilometer in einem halben Jahrhundert. Sodann schwankte die Gletscherzunge regelmässig, bis zum letzten Maximum um das Jahr 1852. Ab diesem Jahr zog sich der Gletscher in Stufen zurück: innerhalb von 30 Jahren verkürzte sich die Gletscherzunge um 1'200m (im Mittel um 40 m/Jahr). Sodann folgte eine Periode der Stabilität, mit kleinen Fluktuationen von 1880 bis 1930. Die folgende Rückzugsphase, von 1930 bis 1970,

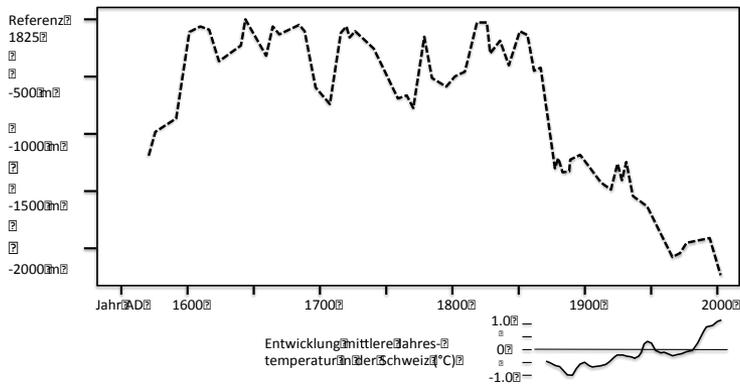


Abbildung 33: Veränderungen des Mer de Glace Gletschers bei Chamonix – Mont Blanc 1550-2001 AD (Nussbaumer et al. 2007). Darunter: Gemessene mittlere Jahrestemperaturen in der Schweiz (gleitendes 20-Jahr-Mittel) 1864 – 2012; Referenzperiode: 1961-1990 (METEOSUISSE).

entsprach einer Verkürzung der Gletscherzunge um 800 m (20 m/Jahr). Es folgte eine weitere Stagnation von 1970 bis 1995. Seither verliert die Gletscherzunge jährlich etwa 35 m Länge (siehe Abb. 33).

Im Val d'Hérens sind die Klimaschwankungen der vergangenen 10'800 Jahre, d.h. seit dem Rückzug der Gletscher am Ende der letzten Eiszeit gut dokumentiert. So ergaben beispielsweise Baumstämme welche im Jahr 2010 unter der schmelzenden Front des Mont-Miné Gletschers auf 2000 m Höhe austraten, ein Alter von 8'200 Jahren. Sie belegen, dass zu dieser Zeit und an dieser Stelle ein gut bestockter Wald bestand. Dieser wurde durch den wachsenden Gletscher überfahren (Nicolussi et al. 2011). Eine ebenso detaillierte Gletschergeschichte wie jene am Mer de Glace ist allerdings am Mont-Miné heute noch nicht möglich.

Tabelle nebenan: Perioden während welcher die alpinen Gletscherzungen kürzer waren als heute; Datierung durch Baumstämme und Torfreste, welche vor den zurückweichenden Gletscherfronten freigelegt wurden (nach Schlüchter & Jorin 2004). Die Tabelle illustriert die durch die wechselnde Ausdehnung der durch Gletscher dokumentierten Klimaschwankungen der letzten 10'800 Jahre.



Abbildung 34: Baumstämme in der Grundmoräne vor dem Mont-Miné Gletscher, auf 2'000 m Höhe; Alter \geq 8200 Jahre (Foto 2010).

Perioden mit kürzeren Gletscherzungen als heute (Datierung durch Baumstämme und Torf)	Kalenderjahre (vor 1950)	Dauer der Periode (Jahre)
10	9900-9550	350
9	9000-8050	950
8	7700-7500	200
7	7350-6500	850
6	6150-6000	150
5	5700-5500	200
4	5200-3400	1' 800
3	Ca. 2700	100
2	2300-1800	500
1	1450-1150	300
	Total	5' 400

3. Die Gletscher des Val d'Hérens

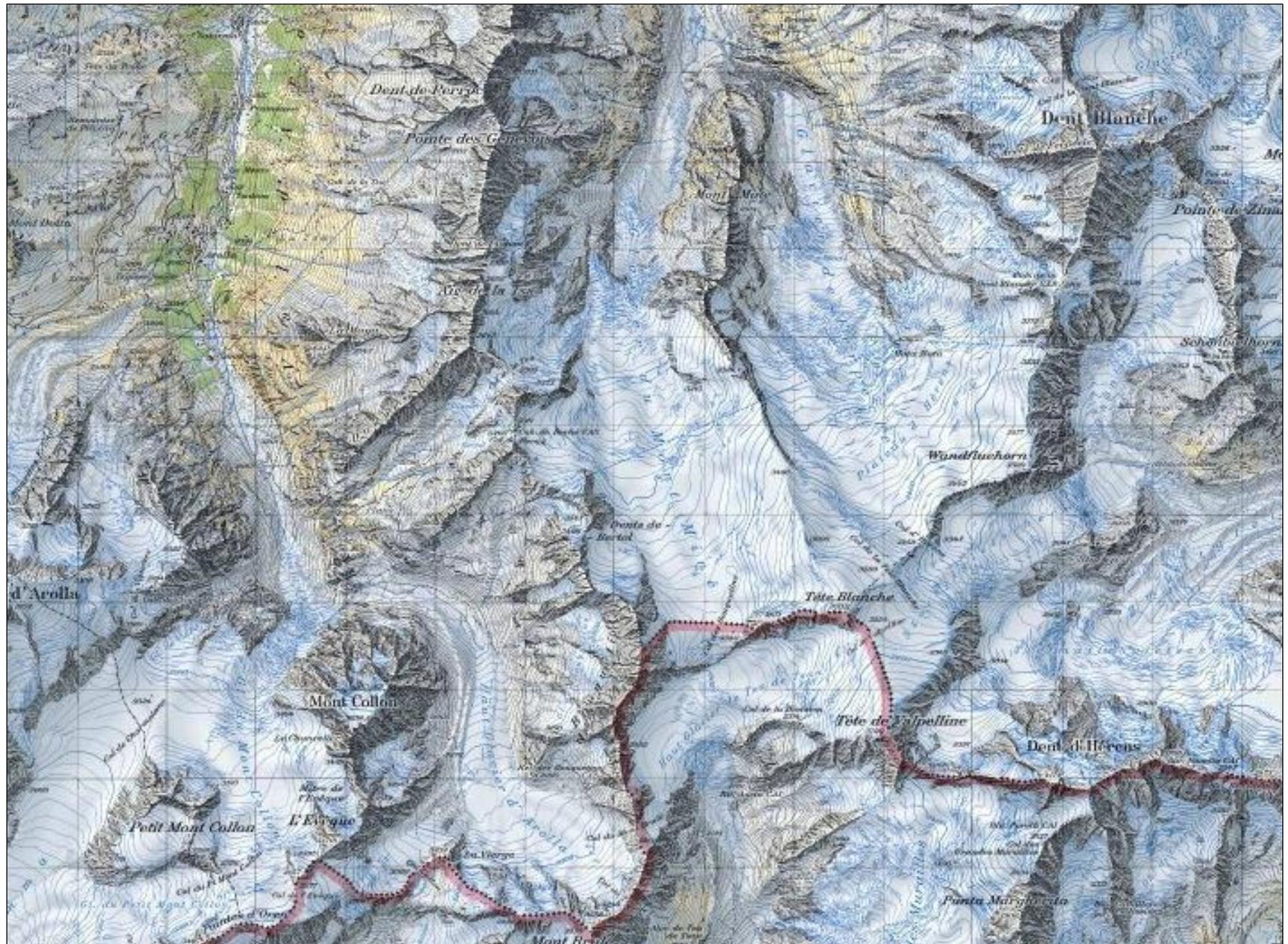
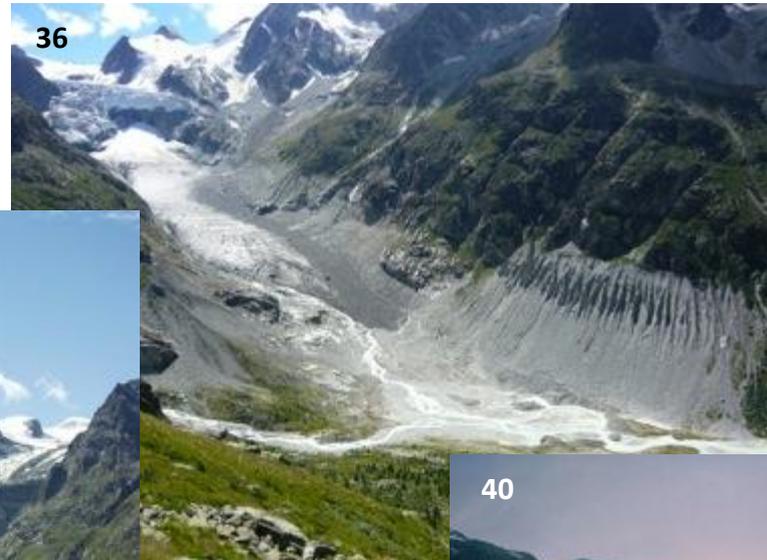


Abbildung 35: Topographie der Gletscher im Val d'Hérens, © 2015 swisstopo (BA15058)

Abbildung 36 – 40: Wichtigste Gletscher des Val d'Hérens, welche durch das Schweizerische Gletschermessnetz überwacht werden (<http://glaciology.ethz.ch/messnetz/?locale=d>)



Mont Miné-Gletscher



Ferpècle-Gletscher



Arolla-Gletscher



Mont Collon-Gletscher

Gletscher	Länge (km)	Oberfläche (km ²)
Mont Collon	4.8	13.2
Mont Miné	8.4	11
Ferpècle	6.6	9.8

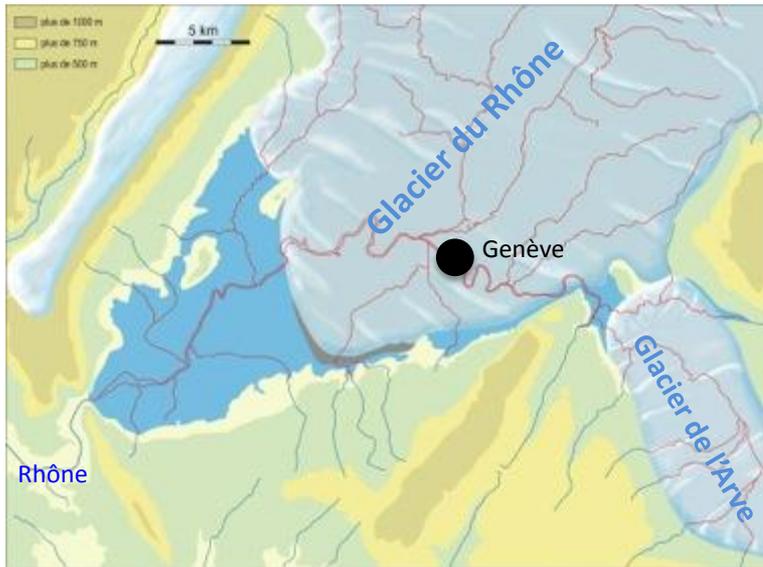
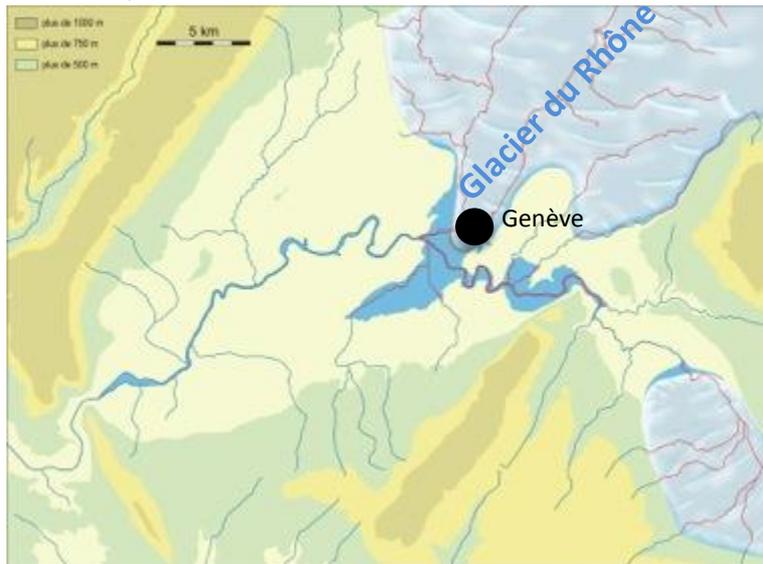


Abbildung 44: Letztes Maximum des Rhonegletschers im Genferseebecken bei Laconnex, 8 km westlich Genf, vor etwa 25'000 Jahren. Das Niveau des Seespiegels liegt bei etwa 450 m Höhe (Wildi et al. 2014).



Während des ersten Eisvorstosses der Würmeiszeit stiess der Rhonegletscher bis zum Gletscher der Durance oberhalb von Lyon vor. Soweit kam es anlässlich des zweiten Maximalstandes ab etwa 25'000 Jahren offensichtlich nicht mehr: Der Rhonegletscher erreichte einzig Laconnex, etwa 8 km westlich Genf (Abb. 44). Die Gletscherfront lag hier in einem Vorläufer des Genfersees, mit einem Seespiegel um 450 m Höhe (heute 372.3 m). (Damals lag allerdings der Meeresspiegel etwa 130 m tiefer als heute. Die fehlende Wassermasse war in den polaren Eiskalotten blockiert).

Vor etwa 22'500 Jahren erreicht die Front des Rhonegletschers die Genfer Bucht („Rade de Genève“, Abb. 45). Vor der Gletscherfront schwammen Eisberge auf dem Genfersee, dessen Spiegel auf 400 m lag. Eisberge entluden Geschiebe und erratische Blöcke in den See (Abb. 46). So erklärt sich die Anwesenheit der auch heute noch aus dem Wasser ragenden Pierres du Niton in der Genfer Bucht (Abb. 47).

Von Genf folgt man der zurückweichenden Gletscherfront via Coppet nach Nyon, wo Endmoränen die Topographie des Seegrundes bestimmen. Der einzige weitere Endmoräne aus der Rückzugszeit des Rhonegletschers aus dem Genferseebecken findet sich bei Chexbres und Puidoux, hoch über dem See. Sodann muss man sich ins Wallis, zum Beispiel ins Val d'Hérens, zum Dörfchen Luette begeben, um einen weiteren Stillstand des Gletschers zu beobachten.



Abbildung 46: Beispiel vom Transport erratischer Blöcke auf einem Eisberg (<http://serc.carleton.edu/NAGTWorkshops/sedimentary/images/dropstones.html>).

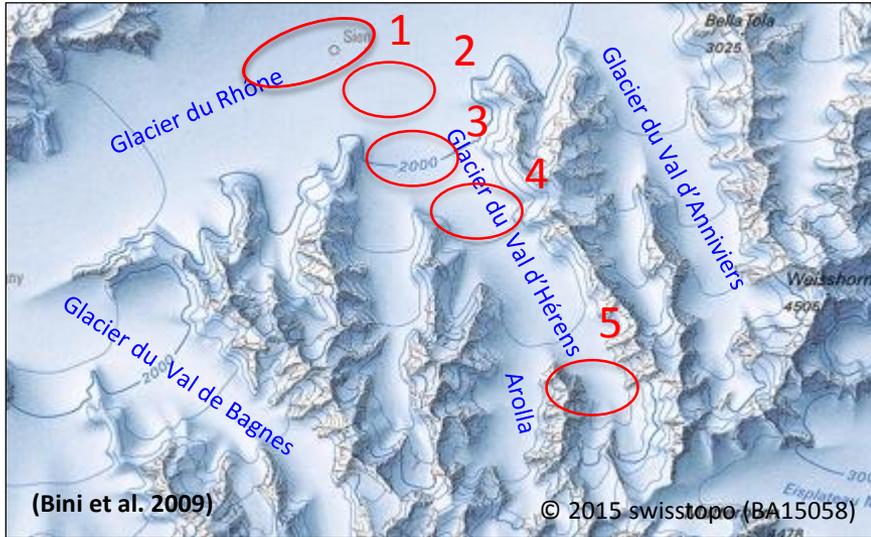


Abbildung 47: Pierres du Niton, Genf: erratische Blöcke, welche von Eisbergen in den Gletschersee fielen (sog. „Dropstones“).

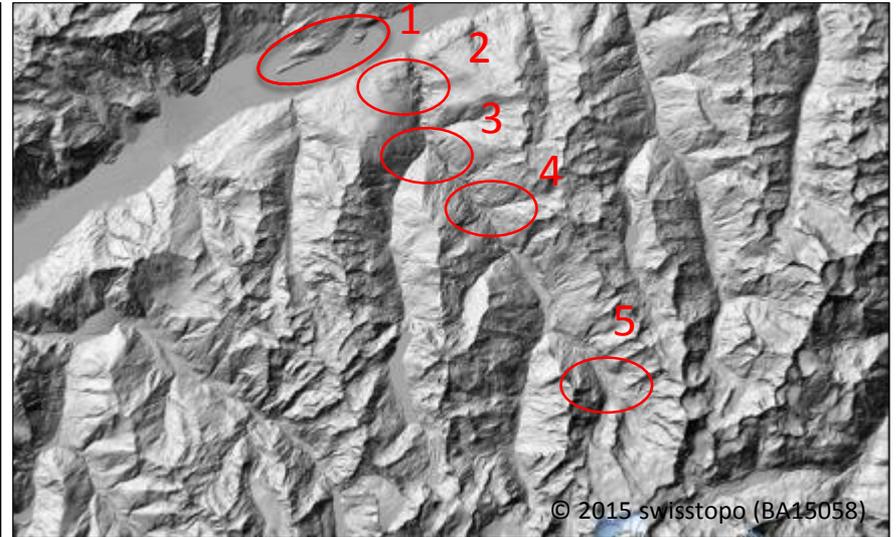
Abbildung 45 (links): 22'500 Jahre, Beginn des Rückzugs des Rhonegletschers aus der Genferbucht; Höhe des Seespiegels: 400 m.

Abbildung 48a - d: Im Führer präsentierte Beobachtungsstationen im Val d'Hérens

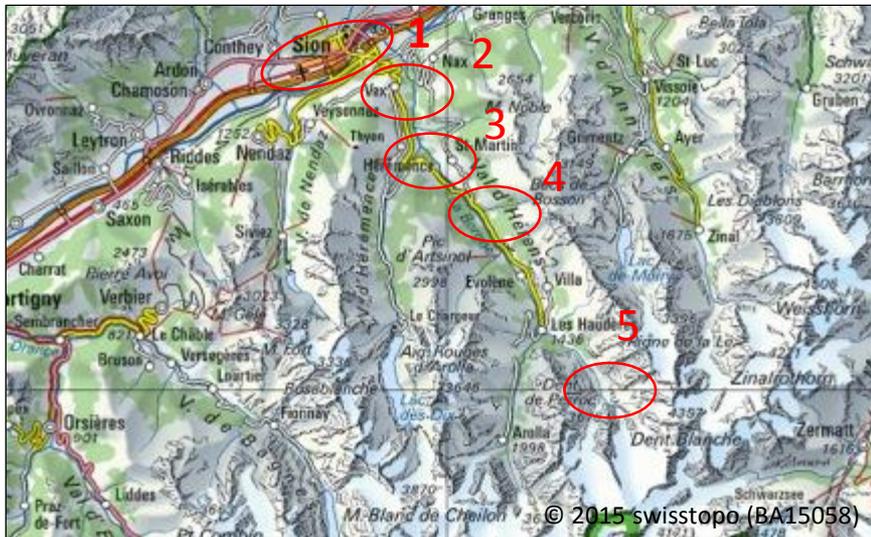
a: Maximale Ausdehnung der Gletscher beim Maximalstand vor ca. 20'000 Jahren



b: Heutiges Relief



c: Topographische Karte mit Ortschaften und Verkehrswegen



d: Orthophoto, (Luftphotos)



1 Die Rundhöcker von Sion

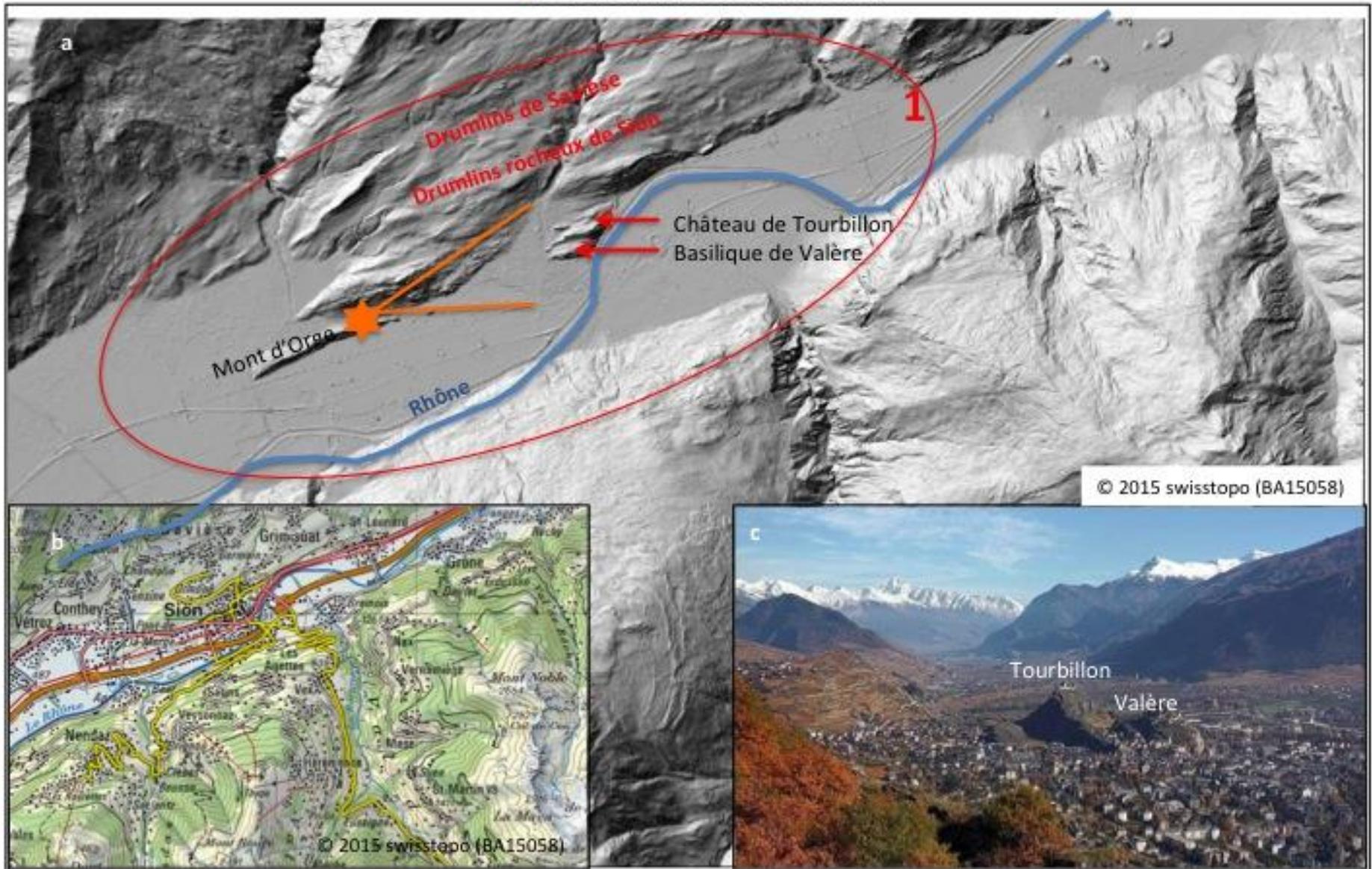


Abbildung 49a - c: Mont d'Orge, Tourbillon und Valère sind «Rundhöcker» oder Felsdrumlin die der Gletschererosion entkamen. Sie überragen die Rhoneebene, welche ein glaziales Tal versteckt. Der Rhonegletscher und das unter dem Eisfluss zirkulierende Wasser übertieften hier den Fels mehr als 100 m. Beim Rückzug des Rhonegletschers lagerten sich Moränen, feine Seeablagerungen und schlussendlich Kies und Sand der Rhone und ihrer seitlichen Zuflüsse ab. Der Nordhang des Rhonetals, von Sion bis Savièse ist von Rundhöckern (Drumlin) bedeckt. Der Abhang im Süden des Haupttals ist steiler als der Nordabhang; der Fels steht vielerorts an, oder ist durch eine Moräne verdeckt. Der Hang ist teilweise instabil.

2 Der Gletschersee von Vex

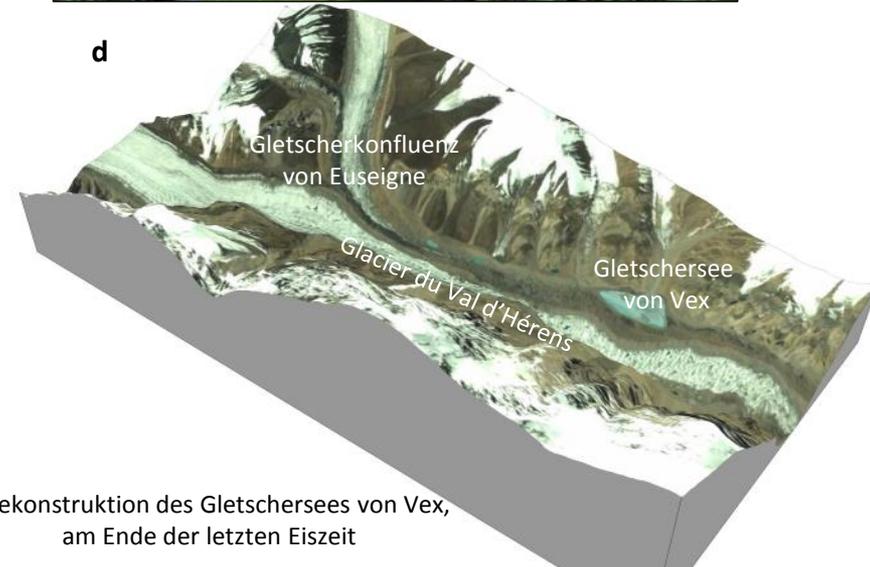
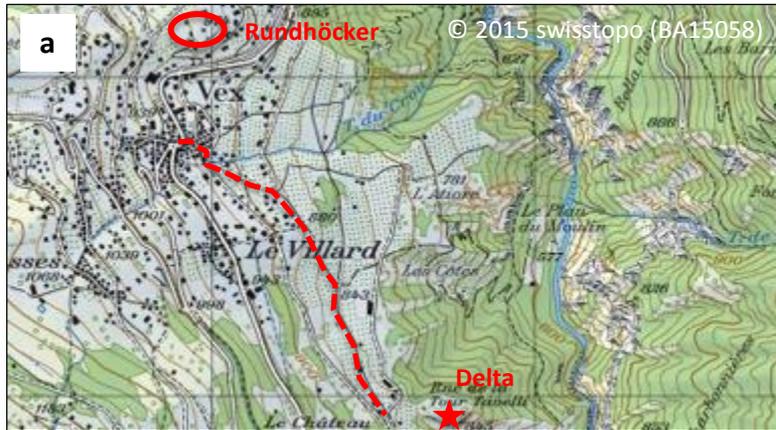


Abbildung 50a - d: Vex liegt auf einem sanften Moränenhang aus der letzten Eiszeit. Ein felsiger Rundhöcker überragt das Dorf im Norden. Das Delta liegt unterhalb der Ortschaft, bei der Ruine der Tour Tavelli, einer kleinen Festung aus dem dreizehnten Jahrhundert. Besuch: Vom Dorfzentrum folgt man dem gut beschilderten Fussweg zur Tour Tavelli; die Marschzeit beträgt 20 Minuten. Das Delta (Abb. b, c) entstand beim Gletscherrückzug (ca. 14'500 vor Christus), als der Gletscher einen kleinen See auf seiner linken Talseite aufstaute. Das Delta wurde durch ein vom linken Talhang zufließendes Flüsschen geschüttet.

3 Die Pyramiden von Euseigne

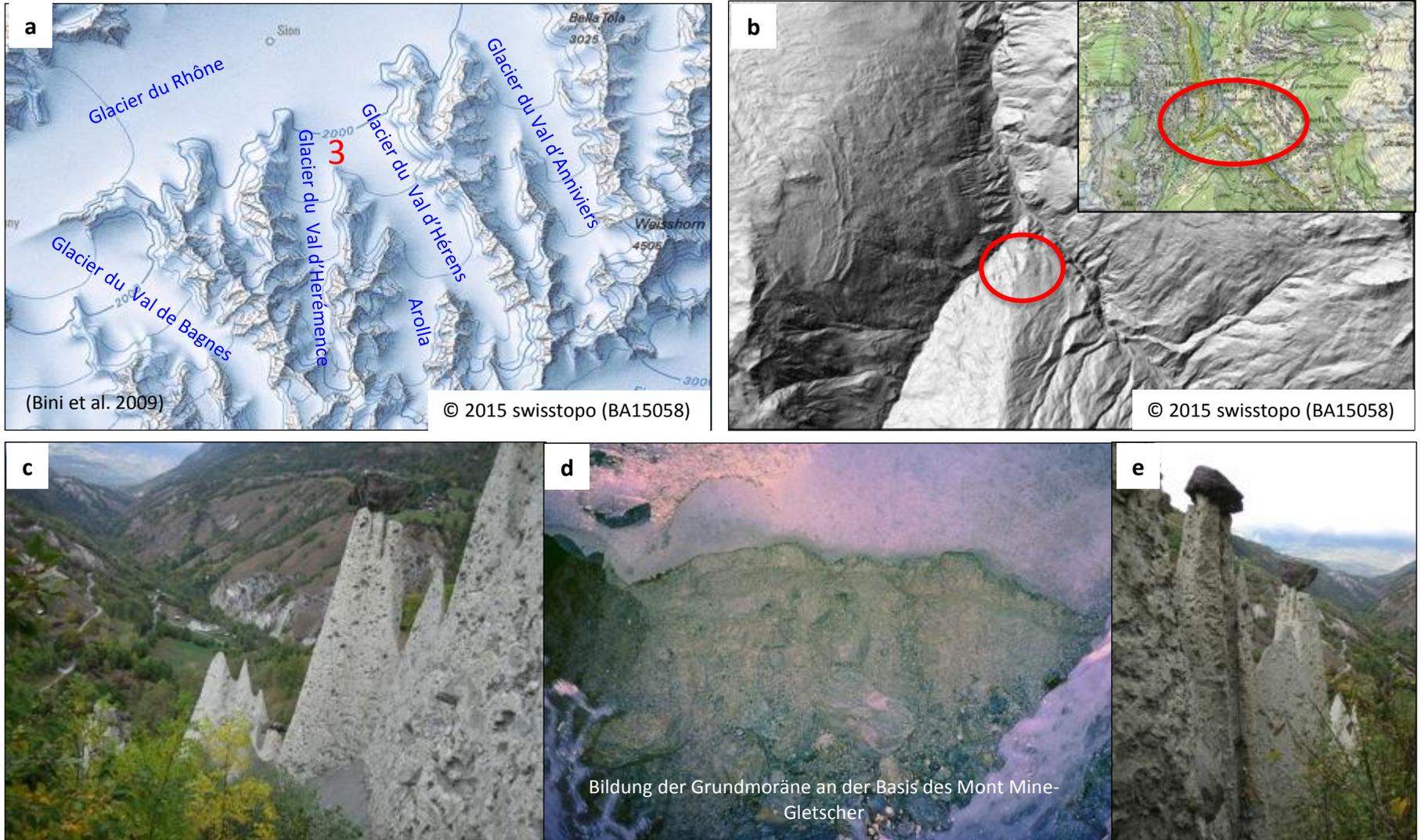
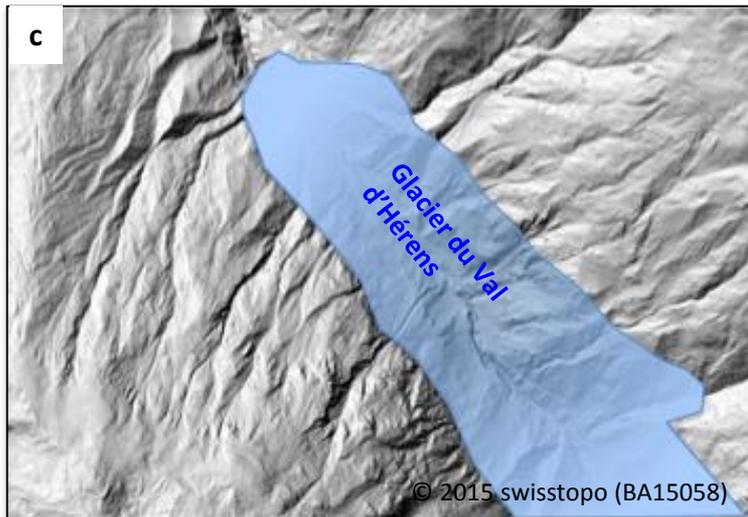


Abbildung 51 a - e: Während der letzten Eiszeit vereinigten sich der Val d'Herémence- und der Val d'Hérens-Gletscher bei Euseigne (a, b, Konfluenz von Euseigne) und bildeten einen gemeinsamen Talgletscher. Eine mächtige Grundmoräne aus Feinmaterial, Sand, Geröll und Blöcken lagerte sich auf der Bergkrete zwischen den beiden Tälern und Gletschern ab. Diese Moräne verdichtete sich unter dem Eisdruck, und das Porenwasser zementierte das Lockergestein. Die Erosion nach dem Gletscherrückzug tat den Rest und formte die Pyramiden aus dem Moränenmaterial, von denen einige einen Hut bestehend aus einem grossen Block tragen.

4 Das Gletscherstadium von La Luette



Der Rückzug der Gletscher am Ende der letzten Eiszeit wurde verschiedentlich durch kurze Kälteeinbrüche unterbrochen. Die Talgletscher schalteten einen Halt ein und stiessen teilweise auch wieder eine kurze Distanz vor. Diese Ereignisse dauerten einige Jahrzehnte oder Jahrhunderte. Sie hinterliessen zum Teil eindruckliche Moränenwälle. Die Kälteereignisse werden mit den sogenannten «Heinrich-Ereignissen», benannt nach ihrem Entdecker, in Verbindung gebracht: In Nordamerika schmolz eine mächtige Eiskalotte ab und füllte die Grossen Seen. Brachen die durch Moränen gebildeten Dämme, so flossen die Wassermassen in katastrophalen Fluten aus und erreichten den Nordatlantik. Dadurch wurde der Golfstrom kurzzeitig abgelenkt und Europa versank in der Kälte. Drei dieser Kälteeinbrüche werden nach dem Gletscherblümchen *Dryas octopetala* als Dryas-Zeiten benannt.

Abbildung 52 a – c: Moränenwälle, Gletscherbach Ablagerungen in Gletschertunnels („Esker“), Deltaablagerungen im Gletschersee aus der Zeit des Gletscherstadiums beim Weiler La Luette. Der Val d'Hérens-Gletscher stiess vor ca. 14'200 – 13'000 vor Christus nochmals vor. Bei La Luette hinterliess er zahlreiche Ablagerungen und Geländeformen. Von der Kantonsstrasse erhält man einen guten Überblick; sodann folgt man dem Strässchen welches die Kiesgrube durchquert bis zum Weiler Tsampé.

4 Das Gletscherstadium von La Luette

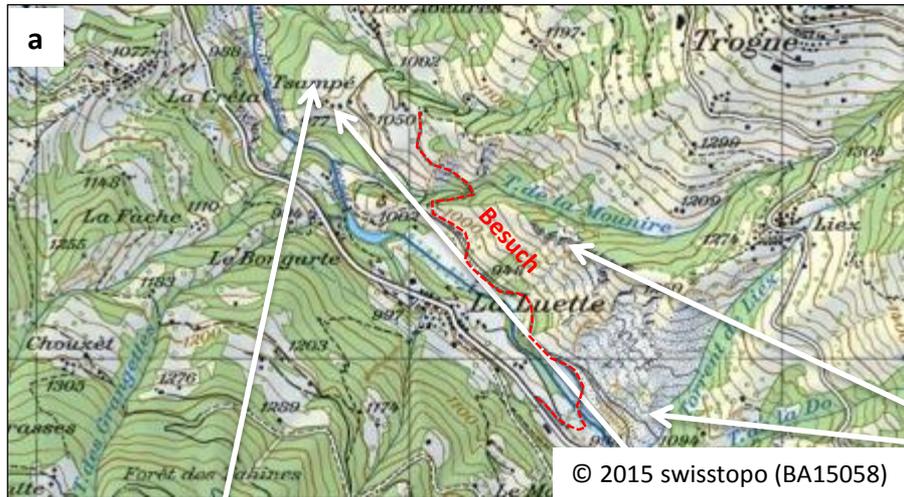


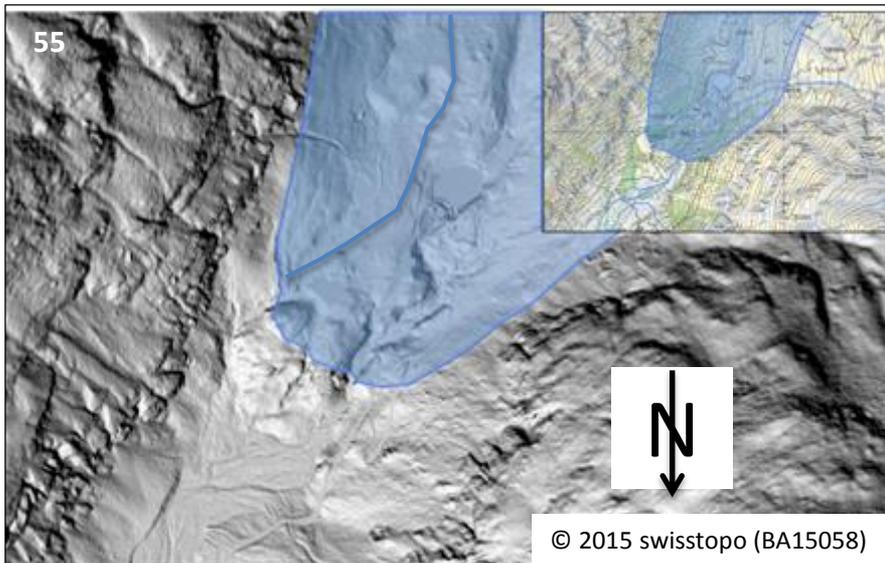
Abbildung 53 a - i: Der Feldbesuch beginnt auf der Kantonsstrasse, ca. 250 m oberhalb des Weilers La Luette (a, b) mit dem Panorama am Gegenhang: Delta des Gletschersees (f) und Moräne mit erratischen Blöcken (e). Man folgt dem Strässchen entlang dem rechten Ufer des Flusses „La Borgne“ : Nach den Deltaablagerungen mit verschiedenen Sedimentstrukturen (f) folgen aktive oder passive junge Hangablagerungen (Geröllhalden). Schlussendlich erreicht man eine Art Pyramide im Talzentrum (Abb. g - i). Hier lagerte der Gletscherstrom in einem Eistunnel abwechselungsweise Silt, Sand und Kies ab, je nach Intensität der Flussströmung (i). Grundmoräne überlagert diese sog. „Esker“-Ablagerungen. Sodann kreuzt man auf dem Strässchen mächtige Moränen mit erratischen Blöcken (d, e) und erreicht auf dem Älpchen Tsampé die ehemalige Flussebene vor dem Gletscher, den Sander oder Sandur (c).

5. Von Ferpecle zum Mont Mine-Gletscher: eine Reise zum Ende der Kleinen Eiszeit 5

Kompilation: P. Masset (2012)



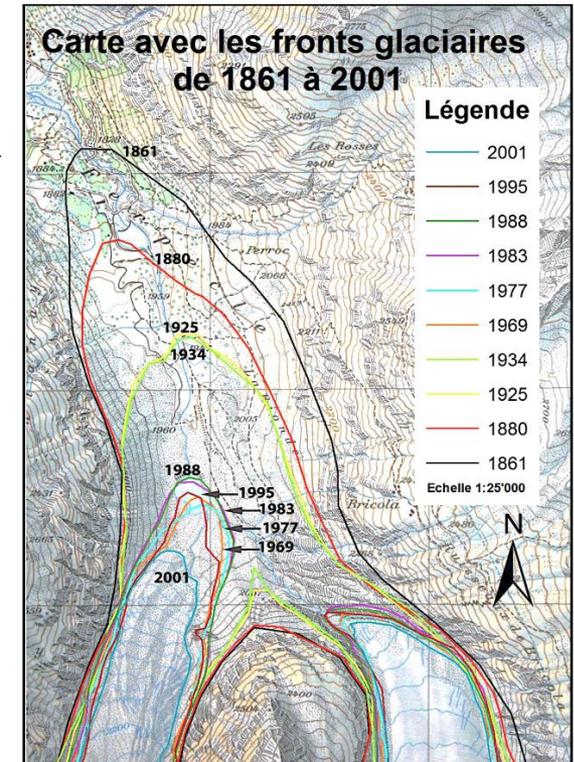
54



55

© 2015 swisstopo (BA15058)

Abbildung 56 (->): Rekonstruktion des Rückzugs von *Glaciers de Ferpècle* und *Mont Mine-Gletscher* seit dem Ende des Kleinen Eiszeitalters. Kompilation: P. Masset (2012) unter Verwendung alter topographischer Karten, Gemälden und Fotos. Nach der Trennung der beiden Gletscher um 1960 wich die Zunge des *Ferpècle-Gletscher* weiter zurück; der *Mont Mine-Gletscher* stagnierte hingegen bis in die 1990er Jahre.



© 2015 swisstopo (BA15058)

Abbildung 54: *Ferpècle-* und *Mont Miné-Gletscher*, letzte maximale Ausdehnung der beiden Talgletscher während der Kleinen Eiszeit. Gravur von Bühlmann (1835, Graphische Sammlung ETHZ). Die Gravur zeigt klar, dass der *Mont Miné-Gletscher* weiter reichte, als der *Ferpècle-Gletscher*.

Abbildung 55: Rekonstruierte Gletscherfront von 1835 gemäss *Abbildung 54*; numerisches Terrain-Modell und topographische Karte.

Abbildung 57: Gravur:
Bühlmann 1835, Graphische
Sammlung ETHZ



Abbildung 58: Mont Mine-
Gletscher im Jahr 1900,
Dumoulin et al. (2010).



Abbildung 59: Ferpèche-
Gletscher und Dent Blanche
im Jahr 1910, Dumoulin et al.
(2010)



Abbildung 60: Ferpèche-Gletscher, Längenveränderungen
1891 – 2013*

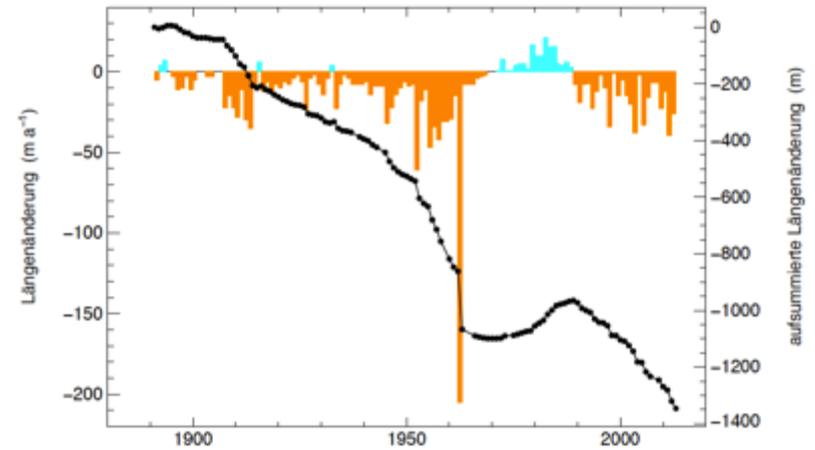
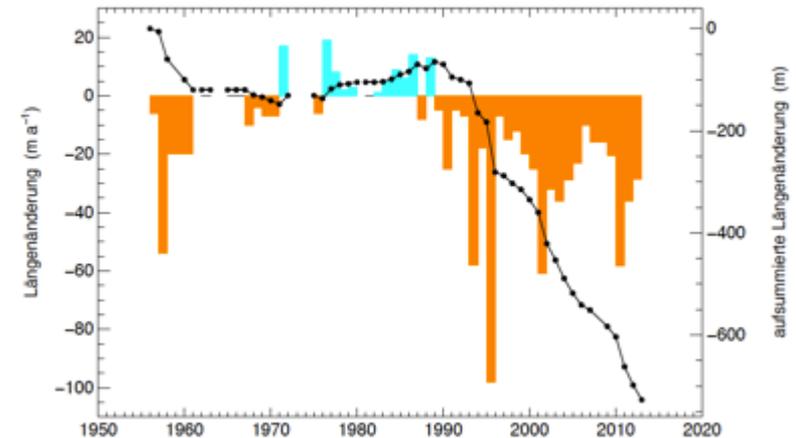


Abbildung 61: Mont Mine-Gletscher, Längenänderungen 1956 –
2013*. Schwarz: Kumulierte Länge der Veränderungen.



* Auf diesen Figuren verwechselt das Schweizerische Gletscher Messnetz (<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>) bis 1956 die Gletscherzungen von Mont Miné und Ferpèche.



Abbildung 62: Mont Mine-Gletscher 1931, © Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung, München



Abbildung 63: Mont Mine-Gletscher 2003, © Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung, München

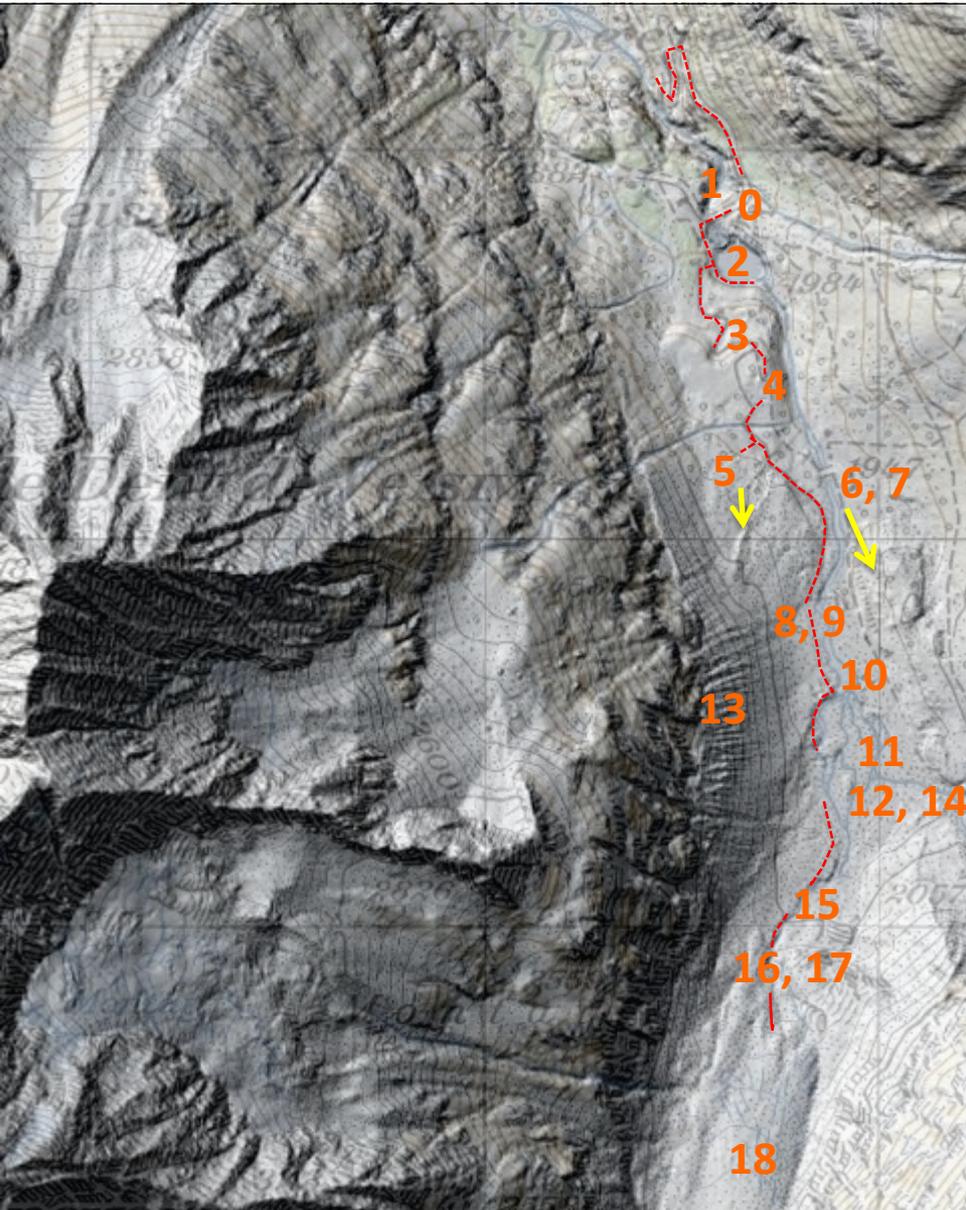


Abbildung 64: Mont Mine-Gletscher 1990, Photo E. Reynard



Figure 65: Mont-Miné Gletscher 2015, Photo J.L. Loizeau

6. Wanderung: Der Mont Miné-Gletscher vom Ende der Kleinen Eiszeit bis heute



Schauplätze und Fotos 0 bis 20 (Seiten 32 bis 34):

- 0 Wildbach mit Murgangablagerungen (Blockströmen).
- 1 Gletscherschlucht der letzten Eiszeit.
- 2 Pumpstausee der Station Ferpècle (Teil der Anlagen der Grande Dixence).
- 3 Piqueniqueplatz an der Vorderfront der Endmoräne des maximalen Stands der Kleinen Eiszeit (um 1850) .
- 4 « Kettle Hole », Toteisloch.
- 5 Rückzugszone des Gletschers ab 1890, Pionier-Vegetation; Pfeil: Moränenwall um 1930.
- 6 Drumlin rocheux, Rundhöcker, mit Moräne bedeckt.
- 7 Gletscherbach auf Gletscherschliff und Alluvionen.
- 8,9 Flussschwelle am Überfluss des Sanders der Ferpècle und Mont Miné Gletscher. Der ehemalige Gletschersee ist mit Sand und Kies gefüllt.
- 10 Moränenwall der Jahre von 1960 bis etwa 1995.
- 11 Sander oder Sandur, im Sommer: Gletschersee, aufgestaut durch den Endmoränenwall.
- 12 Gletscherfluss und Sander.
- 13 Seitenmoräne des Mont Miné Gletschers während der Kleinen Eiszeit.
- 14 Schwemmebene (Sander oder Sandur) im Gletschervorland.
- 15 Baumstämme in der Grundmoräne des Mont Mine-Gletscher, Alter: mehr als 8200 Jahre. Die im Jahr 2010 fotografierten Stämme sind heute weggeschwemmt.
- 16 Moränenblock, Referenzpunkt zur Messung der Position der Gletscherfront.
- 17 Gletschertor, Mont Mine-Gletscher.
- 18 Séracs (Eistürme) am Mont Mine-Gletscher.
- 19 Dent Blanche , Moränen des Kleinen Eiszeitalters.
- 20 Der erste Schnee.

Für diese Wanderung folgt man dem Alpsträsschen ab der Alp Ferpècle (**GPS Punkt, Schweizer Koordinaten:** 608 460/101 140). **0:** Sicht vom Punkt 608 670 /100 880; **1:** Sicht vom Punkt 608 580/100 820; **2:** Sicht vom Punkt 608 595/100 270; **3:** Picnicplatz 608 600/100 580*; **4:** Kaulquappen Teich: 608 700/100 355*; **5:** Moränen 1930: 608 755/100 150; **6:** «Drumlin rocheux», Rundhöcker rechte Talseite (609 09/ 99 830); **7:** Gletscherbach auf Gletscherschliff und Alluvionen 608 900/100 000; **8:** Flussschwelle am Überfluss des Sanders der Ferpècle und Mont Miné Gletscher. 608 850/99 840; **9:** ehemaliger Gletschersee, Sommer 2006, 608 800/99 850; **10:** Endmoräne 1960 bis 1990, 608 950/99 600 – 608 860/ 99600; **11:** Sander (im Sommer: Gletschersee) oberhalb der Endmoräne (10); **12:** Gletscherbach und Sander, Sicht in Talrichtung; **13:** linke Seitenmoräne in der Zone 608 600/99 700; **14:** Gletschersee bei Hochwasser, Zone wir Abb. 12); **15:** Baumstrünke im Jahr 2010, Alter > 8'200 ans (die Strünke sind heute weggeschwemmt) 608 810/99 090; **16:**Referenzpunkt 2008 zur Messung des Gletscherrückzuges; **17:** Gletschertor Mont Miné 2011; **18:** Séracs (Eistürme) des Mont Mine-Gletscher, 2009; **19:** Gipfel der Dent Blanche; **20:** erster Schnee. * Fotos Anh Dao Le Thi

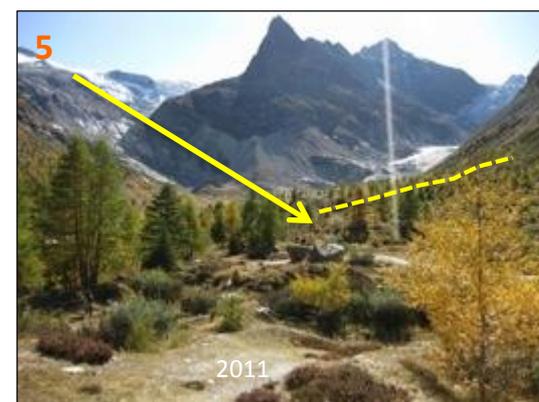
Vorsicht: Der Weg zum Mont Miné Gletscher wirkt leicht und lädt zu einem Besuch in Sandalen ein. Vorsicht: Man befindet sich auf 2000 m Höhe in alpiner Umgebung. Die Risiken für Unfälle sind reell. Hier einige Informationen zum Kapitel Sicherheit:

- **Angepasstes Schuhwerk und Bekleidung sind dringend empfohlen. Gewitter treten oft unerwartet und mit grosser Heftigkeit auf. Die improvisierten Fusswege über die Seitenmoräne am linken Talhang können glitschig sein.**
- **Wir empfehlen, die wichtigen Gletscherbäche über die bestehenden Brücken zu überqueren: Schmelzwasser ist sehr! kalt, Steine und Blöcke sind glitschig, und die Bäche führen oft Eisblöcke als Geschiebe (schmerzhafte Kollisionen!).**
- **Marschhalte sind auf Moräne der linken Talseite (Fotos 11 und 13) und deren unmittelbarer Nähe sind nicht zu empfehlen: Steinschlag tritt bei jedem Wetter auf; bei Regen und starker Sonneneinstrahlung können auch Murgänge nieder gehen.**
- **Vorsicht in der Nähe der Gletscherfront: Gerölle und Blöcke auf der Gletscheroberfläche sind instabil und rutschen, rollen und fallen leicht auf unvorsichtige Besucher.**
- **Nicht unter dem Gletscherportal stehen bleiben: Eisabbruchgefahr.**

Bei Unfall: Verunfallte sicher lagern und betreuen, Hilfe anfordern (das ganze Gebiet ist durch das mobile Netz von SWISSCOM aber nur z.T. durch andere Netze abgedeckt).

Und trotzdem: Viel Freude bei dieser Alpenwanderung!







Verwendete Literatur

- Bini A., Buoncristiani J.-F., Coutterand S., Ellwanger D., Felber M., Florineth D., Graf H.R., Keller O., Kelly M., Schlüchter C. & Schoeneich P. 2009: La Suisse durant le dernier maximum glaciaire. Swisstopo, Wabern.
- Carte géologique de la Suisse 1:500'000. Swisstopo, Wabern.
- Dumoulin, H., Zryd, A. & Crispini, N. 2010: Glaciers: passé-présent du Rhône au Mont Blanc. Slatkine, Genève, 295 p.
- Fauchère, A. 2014: Evolène, de la légende à la réalité. Slatkine, Genève, 141 p.
- « La Suisse et ses Glaciers » 1980; ouvrage collectif, 24-Heures, Lausanne.
- Lih, T. et al. 2002: Das Quartär in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. In: Newsletters in Stratigraphie. 41, Nr. 1-3, Berlin, Stuttgart, S. 385-399.
- Marthaler, M. Sartori, M. & Escher, A. 2008: Atlas géologique de la Suisse 1:25'000, feuille 122, Vissoie. Swisstopo, Wabern.
- Marthaler, M. 2005: Le Cervain est-il Africain? LEP Loisirs et pédagogie, Lausanne, 96 p.
- Masset, P. 2012: Lichenometrie et reconstitution de la dynamique des glaciers de Ferpècle et de Mont Miné, Valais, Suisse occidentale. Mém. master Dept. Géol. Pal. Univ. Genève.
- Nussbaumer, S.U., Zumbühl, H.J. & Steiner, D. 2007: Fluctuations of the Mer de Glace (Mont-Blanc area, France) AD 1500–2050: an interdisciplinary approach using new historical data and neural network simulations, Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 40(2005/2006): 1-183.
- Pugin, A., Bezat, E., Weidmann, M. & Wildi, W. 1993: Le bassin d'Ecoteaux (Vaud, Suisse): Témoin de trois cycles glaciaires quaternaires. Eclogae geol. Helv. 86/2, 343-354.
- Röthlisberger, F. 1976: Gletscher- und Klimaschwankungen im Raum Zermatt, Ferpècle und Arolla. Verlag SAC Bern.
- Zryd, A. 2002: Les glaciers; la nature dans les Alpes. Payot, Lausanne, 325 p.
- Zryd, A. 2008: Les glaciers en mouvement; la population des Alpes face au changements climatique. Presses polytech. Univers. Romandes, Lausanne, 142 p.

Links

Touristen Infos:

<http://www.evolene-region.ch/>

Fotos aus Gletscherarchiven:

www.gletscherarchiv.de

Gletscherüberwachung:

<http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/>

Geologie des Val d'Hérens: <http://www.evolene-geologie.ch/>



Topographische Karten

- Landeskarte der Schweiz 1:25'000, 1307 Vissoie
- Landeskarte der Schweiz 1:25'000, 1327 Evolène

Besten Dank!

Wir danken herzlich für Fotos und andere Illustrationen: Stéphanie Girardclos, Genève (Abb. 14), Gletschergarten Luzern (Abb. 30), Pierre Kunz, Genf (Abb. 37, 38), Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung, München (Abb. 62, 63), Hilaire Dumoulin, Collonges (Abb. 62, 63), Anh Dao Le Thi, Saigon (p. 33,34), E. Reynard, Université de Lausanne (Abb. 64) und Swisstopo für die Karten, Orthofotos Terrain-Modelle. Besten Dank auch an Hansruedi Pfeifer und Hanspeter Funk für die sorgfältige Kontrolle und Korrektur des Manuskripts.