



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

INSTITUTE
of CARTOGRAPHY

Sommersemester 2007
Geomatik und Planung BSc

Bericht zur Bachelorarbeit in Kartografie

Gletscherschwundvisualisierung im Sustenpassgebiet

Autor

Pascal Wirz
Habsburgstr.1
8037 Zürich

wirzp@student.ethz.ch
Geomatik und Planung BSc
Sommersemester 2007

Leitung

Prof. Dr. L. Hurni
Institut für Kartografie
ETH Zürich

Betreuung

Dr. Andreas Wipf
Dr. Christian Häberling

Gletscherschwundvisualisierung im Sustenpassgebiet

Bachelorarbeit von Pascal Wirz unter der Leitung von Prof. Dr. Lorenz Hurni, Institut für Kartografie an der ETH Zürich

Betreuung: Dr. Andreas Wipf, Institut für Kartografie an der ETH Zürich
Dr. Christian Häberling, Institut für Kartografie an der ETH Zürich

Abgabetermin: 22.Juni 2007

Pascal Wirz
Habsburgstr. 1
8037 Zürich

wirzp@student.ethz.ch
Geomatik und Planung BSc
Sommersemester 2007

Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei denjenigen Personen bedanken, welche mich während der ganzen Arbeit mit wertvollen Auskünften, konstruktiver Kritik und dem Einbringen von guten Ideen unterstützt haben. Besonders hervorzuheben sind folgende zwei Personen:

- Dr. Andreas Wipf, Mitarbeiter am Institut für Kartografie an der ETH Zürich, hat mich während der ganzen Zeit mit hilfreichen Informationen versorgt und die ganze Arbeit an der Gletscherschwundkarte verfolgt. Bei Problemen, Unklarheiten und Fragen konnte ich mich jederzeit an ihn wenden. Er unterstützte mich während der ganzen Dauer der Bachelorarbeit, war geduldig und hat immer wieder Verbesserungsvorschläge und konstruktive Kritik eingebracht, welche für die Vollendung von entscheidender Wichtigkeit waren. Dr. Andreas Wipf betreute mich kompetent, dennoch liess er mir die Freiheit, eigene Ideen und Gestaltungsmöglichkeiten einzubringen.
- Dr. Christian Häberling, Mitarbeiter am Institut für Kartografie an der ETH Zürich, hat die ganze Organisation überwacht und war ständig bereit, allfällige Fragen zu beantworten und Lösungen anzubieten. Er war auch mitverantwortlich für das Gelingen dieser Arbeit.

Zürich, Juni 2007, Pascal Wirz

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Gletscherschwundvisualisierung im Sustenpassgebiet. Das Untersuchungsgebiet umfasst den Steingletscher, den Steinlimigletscher und einen kleinen Firnfleck beim Giglistock. Die erstellte Karte besteht aus vier verschiedenen Gletscherständen. Der Gletscherhochstand um 1850 und der Stand von 1973 werden aus dem Gletscherinventar (CH-INVGLAZ) entnommen. Die Stände von 1933 und 1973 konnten aus dem Kartenmaterial und den Orthofotos interpretiert und digitalisiert werden.

Der klimageschichtliche Hintergrund und der Massenhaushalt eines Gletschers sind die Hauptthemen im ersten Kapitel. Auch die Entwicklung der Schweizer Alpengletscher und im Speziellen der Stein- und Steinlimigletscher wurde aufgezeigt. Seit dem Gletscherhochstand von 1850 schmolzen alle Schweizer Alpengletscher zurück, wie auch der Stein- und Steinlimigletscher. In den folgenden 150 Jahren hatten jedoch die Gletscher im Sustenpassgebiet auch markante Vorstossereignisse.

Erst nach einem intensiven Studium von Fachliteratur konnte eine optimale Gletscherschwundkarte mit Hilfe der Software Adobe Illustrator CS2 erstellt werden. Anhand von vier gegensätzlichen Beispielen wurden die Möglichkeiten der Visualisierungen durchleuchtet und positive Aspekte für die Kartenerstellung gewonnen. Aus diesem Literaturstudium ergaben sich zum Beispiel die Einteilung der Basiskarte in Höhenstufen und die Ergänzung der Gletscher mit zentralen Fliesslinien. Diese Linien geben die Fliessrichtung der Gletscher wieder.

Die Kartenerstellung wird unterteilt in die Basiskarte und in den thematischen Inhalt. Die Basiskarte besteht aus einem Relief, aus den Vector25-Daten und aus Höhenstufen in Brauntönen. Die Gletscherstände wurden einerseits aus dem schweizerischen Gletscherinventar übernommen, andererseits mit geeignetem Kartenmaterial interpretiert.

Aus der erstellten Karte wird ersichtlich, dass die Fläche der Gletscher im Sustenpassgebiet, seit dem Hochstand um 1850 bis 1999, 3.2 km^2 einbüsste. Dies entspricht einer prozentualen Abnahme von 27% der Gesamtfläche um 1850.

Inhalt

Vorwort	I
Zusammenfassung	III
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund	1
1.2 Ziele	1
2 Glaziologischer Bezugsrahmen	3
2.1 Klimageschichtlicher Hintergrund	3
2.2 Massenhaushalt	3
2.2.1 Akkumulation	4
2.2.2 Ablation	4
2.2.3 Massenbilanz	4
3 Gletscher der Schweiz	5
3.1 Gletscherhochstand von 1850	5
3.2 Gletscherentwicklung bis heute	5
4 Gletscherschwankungen im Sustenpassgebiet	7
4.1 Überblick	7
4.2 Gletscherentwicklung im Sustenpassgebiet	7
4.2.1 Steingletscher	7
4.2.2 Steinlimigletscher	9
5 Gletscherschwundvisualisierung in der Fachliteratur	11
5.1 Übersicht	11
5.2 Fallbeispiele zur Gletscherschwundvisualisierung	11
5.2.1 Grosser Aletsch- und Oberaletschgletscher	11
5.2.2 Stein- und Steinlimigletscher	13
5.2.3 Vorfeld des Stein- und des Steinlimigletschers	14
5.2.4 Aletschregion	15
5.3 Erkenntnisse für die Gletschervisualisierung des Sustenpassgebietes	16
6 Datengrundlagen zur Erstellung der Gletscherschwundkarte	17
6.1 Vector25	17
6.2 Relief	17
6.3 Schweizerisches Gletscherinventar	18
6.4 Schweizerisches Gletschermessnetz	18
6.5 Kartenmaterial	18
6.5.1 Dufour- und Siegfriedkarte	18

6.5.2	Landeskarten	19
6.5.3	Pixelkarte	20
6.6	Swissimage	20
7	Kartenerstellung	21
7.1	Entwicklungsumgebung	21
7.2	Layout	21
7.3	Perimeter	21
7.4	Darstellung der Basiskarte	22
7.4.1	Wahl der Basiskarte	22
7.4.2	Strassen-und Gewässernetz sowie Gebäude	22
7.4.3	Höhenstufen und Relief	23
7.4.4	Beschriftung	24
7.4.5	Zusätzliche Angaben	24
7.5	Darstellung des thematischen Inhaltes	25
7.5.1	Gletscherstände von 1850 und 1973	25
7.5.2	Gletscherstand von 1933	26
7.5.3	Gletscherstand 1999	27
7.5.4	Gletscherschwankungen zwischen 1973 bis 1999	27
7.5.5	Fliesslinien des Gletschers	28
7.5.6	Darstellung des Flächenschwundes anhand von Diagrammen	29
7.5.7	Zusätzliche Angaben	30
7.6	Kartenrandinformationen	31
7.6.1	Titel	31
7.6.2	Legende	31
7.6.3	Bemerkungen und Ergänzungen zur Thematik	31
7.6.4	Quellen und Impressum	31
7.6.5	Projektionssystem und Massstab	32
8	Diskussion	33
8.1	Gletschergeschichtliche Ergebnisse	33
8.2	Beurteilung der Karte	33
8.3	Schwierigkeiten	34
8.4	Ausblick	34
9	Schlusswort	35
10	Quellen	36
11	Anhang	37

Abbildungen

Abb. 1: Vergletscherung 1850 und 1973 der Alpen-Grossregionen	5
Abb. 2: Längenänderungen zwischen 1893 und 2006	8
Abb. 3: Luftbild des Gletschervorfeldes	8
Abb. 4: Längenveränderungen zwischen 1961 und 2006	9
Abb. 5: Gletschervorfeld des Aletschgletschers	12
Abb. 6: Stein- und Steinlimigletscher	13
Abb. 7: Vorfeld des Steinlimigletschers	14
Abb. 8: Gletscherschwunddarstellung basierend auf einem DHM	15
Abb. 9: Ausschnitt aus der Dufourkarte im Sustenpassgebiet (1850)	19
Abb. 10: Ausschnitt aus dem Siegfriedkartenblatt 394 (1933)	19
Abb. 11: Anordnung der Kartenelemente	21
Abb. 12: Pixelkarte 1:100'000 als Basiskarte	22
Abb. 13: Relief aus dem DHM25 und Vector25-Daten als Basiskarte	22
Abb. 14: Mögliche Höhen- und Tiefenstufen	24
Abb. 15: Höhenstufen im Sustenpassgebiet	24
Abb. 16: Gletschergeometrien aus CH-INVGLAZ	26
Abb. 17: Generalisierte Gletschergeometrie	26
Abb. 18: Gletscherinterpretation mit Hilfe der Landeskarte 1933	26
Abb. 19: Vergleiche mit der Siegfriedkarte 1933	26
Abb. 20: Fliesslinien bei der Gletscherzunge	29
Abb. 21: Legende zu den Fliesslinien	29
Abb. 22: Flächenberechnung der einzelnen Gletscherstände in <i>AutoCAD</i>	29
Abb. 23: Darstellung des Flächenschwundes in Säulendiagrammen	30
Abb. 24: Angaben zum Projektionssystem und zum Massstab	32

Tabellen

Tab. 1: Ebenenstruktur Vector25	17
Tab. 2: Übersicht über die verschiedenen Landeskarten	20
Tab. 3: Strassen- und Gewässernetz sowie Gebäude	23
Tab. 4: Übersicht über die verwendeten Beschriftungen	24
Tab. 5: Farbtabelle der Gletscherstände	28
Tab. 6: Flächen der einzelnen Stände	30

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Gletscher sind bedeutende Süsswasserspeicher in den Alpen und sind in vielen Regionen wichtige Wasserversorger für Flüsse. Auch als Landschaftsformer spielen Gletscher eine entscheidende Rolle. Vor allem während der Eiszeit, als grosse Teile des Festlandes vergletschert waren, wurde die Landschaftsform durch die Gletscher geprägt. Seit dem Gletscherhochstand von 1850 haben die Gletscher rund einen Drittel ihrer Gesamtfläche eingebüsst. Seit damals sind in der Schweiz rund 100 Gletscher verschwunden.

Gletscher reagieren sehr sensibel auf Umwelteinflüsse und Klimaveränderungen. Der derzeitige drastische Rückgang der Gletscher wird als Indikator der heutigen, fortschreitenden globalen Erwärmung angesehen.

Auch der Stein- und Steinlimigletscher im Sustenpassgebiet sind von den vorherrschenden Umweltveränderungen betroffen. Die Gletscher reagieren verzögernd auf die sich verändernden Umweltbedingungen und befinden sich daher in einem dynamischen Prozess. Die Visualisierung von Gletscherschwankungen ist eine Möglichkeit, diese Problematik einem breiten Publikum bewusst zu machen. Dadurch steigt die Nachfrage nach leicht verständlichen und übersichtlichen Karten.

In erster Linie werden mit Gletscherschwunddarstellungen Wissenschaftler, Forscher und Experten im Bereich Glaziologie und Umwelt angesprochen. Jedoch haben auch andere Gruppen Interesse an glaziologischen Karten. Der Bogen reicht von Schulklassen, die sich mit dieser Thematik befassen, über die Wirtschaftsfachleute (Bsp. im Bereich Tourismus) bis hin zu Politikern. Letzteres ist naheliegend, da die Klimaänderung immer mehr im Fokus der weltweiten Politik ist, und Gletscherrückgänge als ein Indiz für globale Klimaerwärmung herhalten sollen.

1.2 Ziele

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Darstellung des Gletscherschwundes im Sustenpassgebiet. Mit Hilfe einer Karte wird die Entwicklung des Stein- und des Steinlimigletschers seit dem Hochstand von 1850 bis heute aufgezeigt. Geeignete Gletscherstände aus verschiedenen Zeitepochen sollen den Rückzug der Gletscher widerspiegeln. Die Karte muss übersichtlich und klar verständlich sein, damit der Betrachter einen optimalen Informationsbedarf aus der Karte gewinnen kann.

Im ersten Teil des Arbeitsberichtes wird ein grober Einblick in die Gletscherentwicklung der Schweiz und im Speziellen im Sustenpassgebiet vermittelt. Auch ein klimageschichtlicher Hintergrund sowie eine kurze Übersicht über den Gletscherhaushalt sollen die Thematik klarer darlegen.

Bevor mit der Arbeit an der Gletscherschwundkarte des Sustenpassgebietes begonnen werden kann, ist es unumgänglich, das Umfeld an bereits erstellten Gletscherdarstellungen zu beleuchten. Mit einigen speziellen und gegensätzlichen Beispielen sollen ein kleiner Teil des breiten Spektrum und die Möglichkeiten von Darstellungen aufgezeigt werden. Das Ziel dieses Literaturstudiums ist es, positive Erkenntnisse zu gewinnen und die kartografischen Aspekte in die Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet einzubringen.

2 Glaziologischer Bezugsrahmen

2.1 Klimageschichtlicher Hintergrund

Die letzten 2.4 Mio. Jahren werden als Zeitalter der Eiszeit bezeichnet (M. Maisch et. al, 1999). Diese Periode ist verbunden mit deutlichen Schwankungen zwischen Kaltzeiten (Glaziale) mit ausgedehnten Gletschervorstössen und Warmzeiten (Interglaziale) mit einem enormen Gletscherschwund. In den Alpen und Voralpen kam es zu sechs grossen Vereisungsphasen. Diese Phasen sind nach süddeutschen Flussnamen benannt: Die sogenannten Biber-, Donau-, Günz-, Mindel-, Riss- und die Würmvereisung. Die Würmvereisung ist die letzte, grosse alpine Kaltzeit, die vor etwa 110'000 bis 10'000 vor heute herrschte. Diese letzte Kaltzeit hat enorme glazialmorphologische Spuren hinterlassen.

Am Ende der Würmzeit, die geprägt war durch eine nachhaltige Klimaerwärmung, begannen sich die Gletscher schrittweise zurückzubilden. Dennoch war dieser spätglaziale Klimawandel unterbrochen durch weitere Kaltphasen, in denen sich das Gletschersystem wieder regenerieren konnte. Zeugen dieser spätglazialen Vorstösse sind unter anderem Moränenwälle und Eisrandterrassen.

Vor rund 10'000 Jahren schmolzen die Alpengletscher auf etwa die Grössenordnung des neuzeitlichen Hochstandes von 1850 zurück.

Seit dem Hochstand von 1850 sind sämtliche Gletscher deutlich zurückgegangen. Jedoch gab es in den letzten 150 Jahren auch kleinere Schwankungen mit kälteren Phasen, welche die Gletscher wieder vorstossen liessen (1890, um 1920 und in der Zeit zwischen 1965 und 1985).

2.2 Massenhaushalt

Vor etwa 20 000 Jahren überdeckten die Gletscher eine Fläche, die dreimal grösser war als die heutige (F. Press et. al, 2003). Heute ist rund zehn Prozent der Festlandesfläche der Erde von Gletschereis bedeckt. Durch die globale Erwärmung schmilzt das Eis schneller als es sich nachbilden kann. Es ist zu erwarten, dass in den nächsten, folgenden Jahren die Gletscher auch weiter abschmelzen. Die nachfolgenden Kapiteln vermitteln einen kurzen Abriss über glaziologische Begriffe und den Massenhaushalt eines Gletschers.

2.2.1 Akkumulation

Die Akkumulation bezeichnet den Aufbau eines Gletschers¹. Die Ernährung eines Gletschers erfolgt vorwiegend durch Schnee, der im Sommer nicht abschmilzt und mit der Zeit umgewandelt wird. Durch ständig neuen Schneefall ändert sich der Zustand, und der Schnee geht in Firn über. Weitere Überdeckungen führen im Verlauf von einigen Jahren bis Jahrzenten zu Gletschereis. Bei dieser Zustandsänderung nimmt die Dichte zu und der Anteil an eingeschlossener Luft ab. Hat das Gletschereis eine gewisse Mächtigkeit erreicht, beginnt es sich aufgrund der Schwerkraft und der eigenen Masse hangabwärts zu bewegen. Die Bildung des Gletschers ist abgeschlossen.

2.2.2 Ablation

Durch die Abwärtsbewegung gelangt der Gletscher in eine tiefere Höhenlage. Dort sind die Temperaturen entsprechend höher. Liegen die Temperaturen über dem Gefrierpunkt, beginnt der Gletscher zu schmelzen. Diese jährliche Volumenabnahme des Gletschers wird als Ablation bezeichnet.

2.2.3 Massenbilanz

Die Differenz zwischen Akkumulation und Ablation bestimmt schlussendlich die Massenbilanz eines Gletschers. Wenn die Akkumulation über Jahren grösser ist als die Ablation, stösst der Gletscher vor. Überwiegt aber die Ablation, schmilzt der Gletscher. In diesem Zusammenhang werden auch die Begriffe „Nähr-„ und „Zehrgebiete“ angewendet. Das Nährgebiet ist mit dem Akkumulationsgebiet gleichzusetzen und das Zehrgebiet mit dem Ablationsgebiet. In Talgletschern fällt das Zehrgebiet oft mit einer Gletscherzunge zusammen, aus der Schmelzwasser austritt.

Wissenschaftler und Geologen haben in jüngster Zeit die Massenhaushalte der Gletscher genau beobachtet. Gletscherrückzüge sind mögliche Hinweise für das veränderte Klima. Auch die Schweizer Alpengletscher sind von diesem Phänomen betroffen.

¹ Redaktion Schweizer Lexikon und der Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften, 1993

3 Gletscher der Schweiz

3.1 Gletscherhochstand von 1850

Der Gletscherhochstand von 1850 bildet das Ende der Kleinen Eiszeit, welche im 14. Jahrhundert begann. Die Kleine Eiszeit hatte drei grosse Vorstossereignisse (1350, 1600 und 1850). Um 1820 befanden sich die Alpengletscher im letzten, welches um 1850 ihren Höchststand erreichte. Dieser Zeitraum ist gekennzeichnet durch enorme Moränenablagerungen.

3.2 Gletscherentwicklung bis heute

Seit 1850 haben stetig steigende Temperaturen alle Alpengletscher zurückschmelzen lassen. Unterbrochen wurde dieser Rückgang 1920 durch einen kleinen Vorstoss, der jedoch nicht an grösseren Gletscher sichtbar war. In den Sechziger-Jahren zeigten mehrere Alpengletscher einen erneuten Vorstoss. 1973 stiess mehr als die Hälfte der Alpengletscher vor. Seit 1990 ist wieder ein allgemeiner Rückgang der Gletscher zu beobachten, der sich bis heute fortsetzt.

Der grösste Alpengletscher ist der Grosse Aletschgletscher im Kanton Wallis. 1870 war der Aletschgletscher noch 27 km lang, heute misst er nur noch 24 km (<http://glaciology.ethz.ch>, 15.5.2007). Dies entspricht einem Längenschwund von rund 11%.

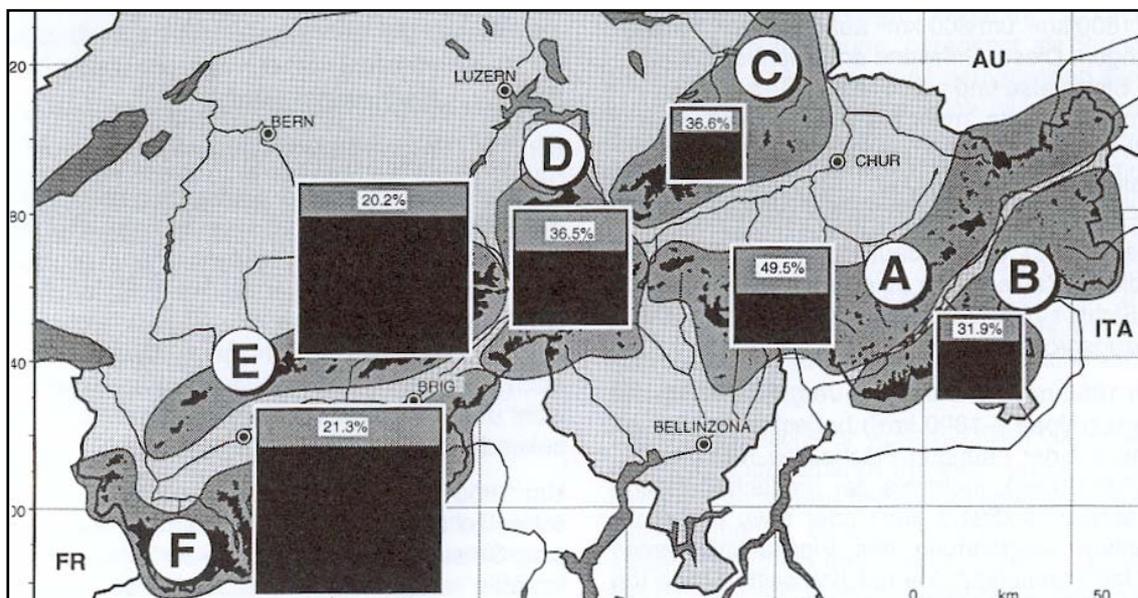


Abb. 1: Vergletscherung 1850 und 1973 der Alpen-Grossregionen (M. Maisch et. al, 1999)

Diese Karte zeigt die Vergletscherung des Hochstandes von 1850 und 1973. Die Rechteckdiagramme veranschaulichen den regionalen Flächenschwund und sind proportional zur entsprechenden Fläche der Grossregion. Die schwarze Fläche repräsentiert den Flächenzustand von 1973, die graue Fläche den

Schwund seit 1850. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass in den Bündner Alpen (in Abb. 1, Gebiet gekennzeichnet mit A) die Gletscher prozentual am meisten Fläche im Vergleich zu den anderen Grossregionen einbüsste.

4 Gletscherschwankungen im Sustenpassgebiet

4.1 Überblick

Das Sustenpassgebiet liegt in den nördlichen Zentralalpen zwischen Innertkirchen, Kanton Bern, und Wassen, Kanton Uri (L. King, 1987). Das Untersuchungsgebiet beschränkt sich auf den Steingletscher, den Steinlimigletscher und auf den kleinen Firnfleck beim Giglistock. Der Stein- und der Steinlimigletscher umfassen heute zusammen eine Fläche von ungefähr 9 km². Das Einzugsgebiet des Stein- und Steinlimigletschers reicht vom Sustenhorn über das Gwächtenhorn bis hin zum Giglistock.

4.2 Gletscherentwicklung im Sustenpassgebiet

4.2.1 Steingletscher

Der Steingletscher ist ein mittelgrosser Alpengletscher und wird dem Typus Talgletscher zugeordnet. Talgletscher sind flächenmässig die grössten Gletscher der Alpen. Der obere Teil des Gletschers liegt im Akkumulationsgebiet, und der untere Teil, das Ablationsgebiet, befindet sich im Talgrund. Der Talgletscher hat dort oft eine Zungenform (M. Maisch et. al, 1999).

Der Steingletscher reagiert auf Klimaschwankungen, die sich im Laufe von Jahrzenten ergeben. Seit dem Ende der Kleinen Eiszeit um 1850 ging der Gletscher stark zurück. Der Hochstand um 1850 ist noch heute aufgrund der damals entstandenen End- und Ufermoräne klar ersichtlich. Von 1850 bis heute hatte der Steingletscher einzelne Vorstösse aufgrund leichten klimatischen Abkühlungen.

Bis 1912 schmolz der Gletscher stark zurück. Von 1912 bis 1924 stiess der Steingletscher wieder vor. Der Maximalstand dieses Vorstosses war um 1924 und hinterliess eine End- und Seitenmoräne, welche 1930 einen kleinen Gletschersee, den Steinsee, entstehen liessen. Bis ins Jahre 1968 ging der Gletscher wieder stark zurück, und der Steinsee verschob und vergrösserte sich stark. Von 1970 bis 1990 drang der Gletscher wieder stark vor, indem die Gletscherzunge bis zu 250 m anwuchs. Seither befindet sich der Steingletscher in einem kontinuierlichen Rückgang (vgl. Abb. 2 und 3).

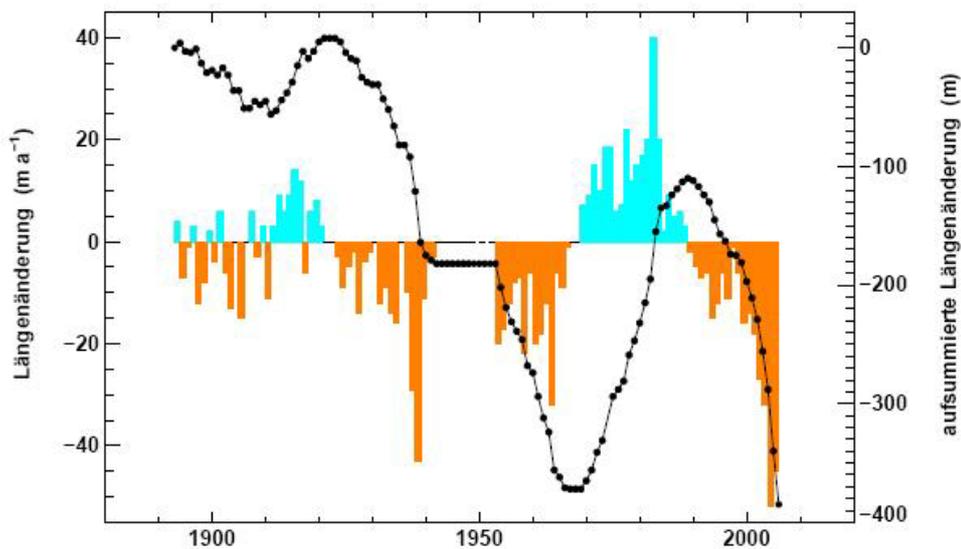


Abb. 2: Längenänderungen zwischen 1893 und 2006 (<http://glaciology.ethz.ch>, 15.5.2007)

Die hellblauen Balken kennzeichnen die jährlichen Werte der Vorstösse des Steingletschers und die orangen Balken den Rückzug. Die schwarze Kurve zeigt die kumulierte Längenänderung seit 1893. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass der Steingletscher in den letzten Jahren enorm abgenommen und einen neuen Minimalstand erreicht hat.



Abb. 3: Luftbild des Gletschervorfeldes (www.swisseduc.ch, 15.5.2007)

Im Luftbild (Abb.3) sind die unterschiedlichen Gletscherstände der letzten Jahrzehnte sichtbar. Gut zu erkennen sind die Ufermoränen und die Vegetationsunterschiede, welche ein Indiz auf die verschiedenen Gletscherausdehnungen sind. Auch ist ersichtlich, dass sich die vorstossende Gletscherzunge ab 1970 aufwölbte.

4.2.2 Steinlimigletscher

Der Steinlimigletscher ist in seinem oberen Teil beim Gwächtenhorn mit dem Steingletscher verbunden. Der Steinlimigletscher ist 2.8 km lang und bedeckt eine Fläche von 2.5 km². Er ist ein sogenannter Gebirgsgletscher. Diese weisen eine beliebige Form auf, sind zwar dem Talgletscher oft ähnlich, aber wesentlich kleiner. Eine klare Gliederung in Nähr- und Zehrgebiet ist meistens erkennbar (M. Maisch et. al, 1999).

Der Steinlimigletscher fliesst vom Tierberg parallel zum Steingletscher nordwärts. Östlich des Steinlimigletschers befindet das Tierbergli und im Westen der Giglistock (2'900 m ü. M.). Die Zunge des Steinlimigletschers liegt auf 2'120 m ü. M. Der Abfluss mündet erst unterhalb des Steinsees in das Steinwasser. Abbildung 4 zeigt, dass der Steinlimigletscher von 1960 bis heute kontinuierlich zurückgeht. Unterbrochen wird dieser Rückgang nur von einem Vorstoss zwischen 1973 und 1984.

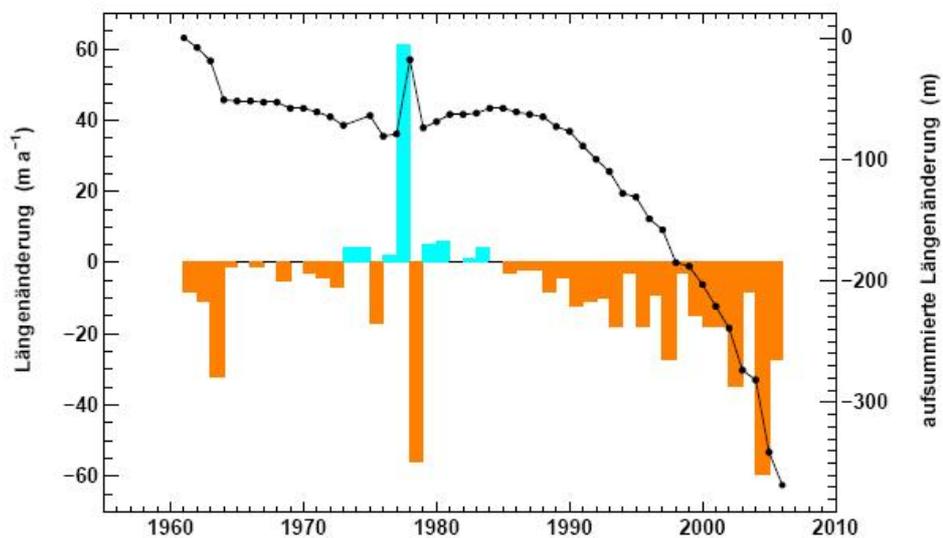


Abb. 4: Längenveränderungen zwischen 1961 und 2006 (<http://glaciology.ethz.ch>, 15.5.2007)

Ins Untersuchungsgebiet gehört auch der Firnfleck beim Giglistock. Firnflecke haben eine geringe horizontale und vertikale Ausdehnung. Sie existieren heute nur noch unter besonders günstigen topografischen Bedingungen, zum Beispiel Schatten- und Hangfusslagen (M. Maisch et. al, 1999).

5 Gletscherschwundvisualisierung in der Fachliteratur

5.1 Übersicht

Die Prozesse im Hochgebirge stehen in einem dynamischen Gleichgewicht. Da jedoch Karten oft statische Momentaufnahmen sind, müssen sie sich dem dynamischen Aspekt anpassen und sich mit komplexen und zeitlich verändernden Vorgängen auseinandersetzen.

In der Fachliteratur gibt es bereits zahlreiche Darstellungen des Gletscherschwundes in den Schweizer Alpen. Die Darstellungen reichen von einfachen, zweidimensionalen Geometrieänderungen bis zu komplexen dreidimensionalen Ansichten mit Hilfe von Geländemodellen. Am häufigsten anzutreffen sind zweidimensionale Abbildungen. Die Geometrieänderungen der Gletscher sind vielfältig darstellbar. Zum Beispiel kann mit Bildüberlagerungen, Isolinien, Farbcodierungen und Symbolen gearbeitet werden.

Perspektivische Darstellungen sind um einiges komplexer als zweidimensionale. Um diesen Darstellungsgrad zu erreichen, wird meistens mit einem digitalen Höhenmodell (DHM) gearbeitet.

In diesem Kapitel soll ein Überblick über verschiedene Darstellungsmöglichkeiten aufgezeigt, Vor- und Nachteile diskutiert und Erkenntnisse für die eigene Karte gewonnen werden. Mit einer kleinen Auswahl aus verschiedenen, gegensätzlichen Beispielen wird das Spektrum der bereits erstellten Darstellungen des Gletscherschwundes beleuchtet.

Die diskutierten Darstellungstypen werden nachfolgend auf ihren thematischen Inhalt und auf die kartografische Umsetzung untersucht.

5.2 Fallbeispiele zur Gletscherschwundvisualisierung

5.2.1 Grosser Aletsch- und Oberaletschgletscher

Die Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt des Grossen Aletsch- und Oberaletschgletschers. Visualisiert ist der Gletscherschwund in den Jahren von 1846 bis 1988.

Die Basiskarte ist mit wenigen topografischen Kartenobjekten minimal gehalten. Es sind lediglich das Gewässernetz und die Höhenlinien dargestellt. Die verschiedenen Schwundflächen sind deutlich erkennbar und in Blaustufen gestaltet. Zusätzlich ist die Karte mit Symbolen versehen, die auf gletschergegeschichtliche Zeugnisse hinweisen.

Orientierungselemente sind der Nordpfeil, ein grafischer Massstab und ein Koordinatenkreuz. Auf ein Gitternetz wird verzichtet. Die Äquidistanz der Höhenlinien beträgt 200 Meter.

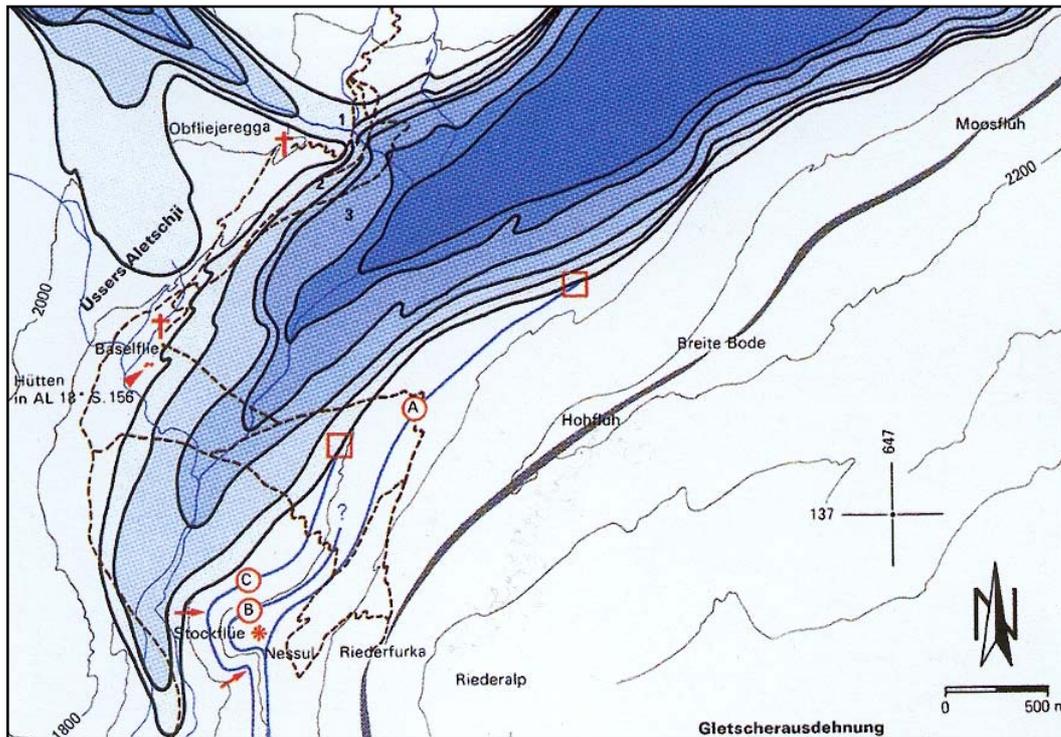


Abb. 5: Gletschervorfeld des Aletschgletschers (H. Holzhauser, 1988)

Durch die stark vereinfachte Basiskarte kommt der thematische Inhalt gut zur Geltung. Die Gletschergeometrie ist stark generalisiert und erscheint fast skizzenhaft. Trotzdem repräsentiert die Karte den Gletscherschwund deutlich. Die gestufte Farbwahl in Blautönen lässt den Gletscherrückgang dynamisch erscheinen. Anhand der Gebietsbeschriftung kann sich der Betrachter in der Karte zurechtfinden. Die Symbolisierung ist einfach und klar verständlich gewählt.

Diese Karte des Vorfelds des Aletschgletschers zeigt auch, dass der Generalisierungsgrad der Gletschermurisse stark abhängig ist vom Masstab und vom Ausmass der Gletscherbewegungen. Erfährt ein Gletscher markante Veränderungen, wie in dieser Abbildung der Aletschgletscher, kann ein kleiner Masstab gewählt werden. Ansonsten müssten auf Kompromisse zwischen dem Darstellungsmaßstab und dem Generalisierungsgrad eingegangen werden. Ist der Generalisierungsgrad hoch gehalten, lassen sich mehrere Gletscherstände in einer Karte darstellen.

5.2.2 Stein- und Steinlimigletscher

In einer Darstellung von J. Battaglia zum Gletscherschwund ist der thematische Inhalt vordergründig. Auf eine Basiskarte wird deshalb verzichtet. Es sind lediglich Koordinatenkreuze und diverse Bergspitzenbeschriftungen vorhanden. In dieser Karte ist der Längen-, Flächen- und Volumenschwund aufgezeigt. Der Gletscherschwund ist durch zwei Stände von 1850 und 1973 visualisiert. Der Längenschwund wird durch die zentralen Fliesslinien verdeutlicht, welche den Gletscheranfang und die Zungenenden von 1973 und 1850 verbinden. Der Volumenverlust wird mittels Höhenkurvenverschnitten dargestellt. Die Kartenrandangaben beschränken sich auf einen Nordpfeil, einen grafischen Massstab und eine Übersichtskarte der Schweiz.

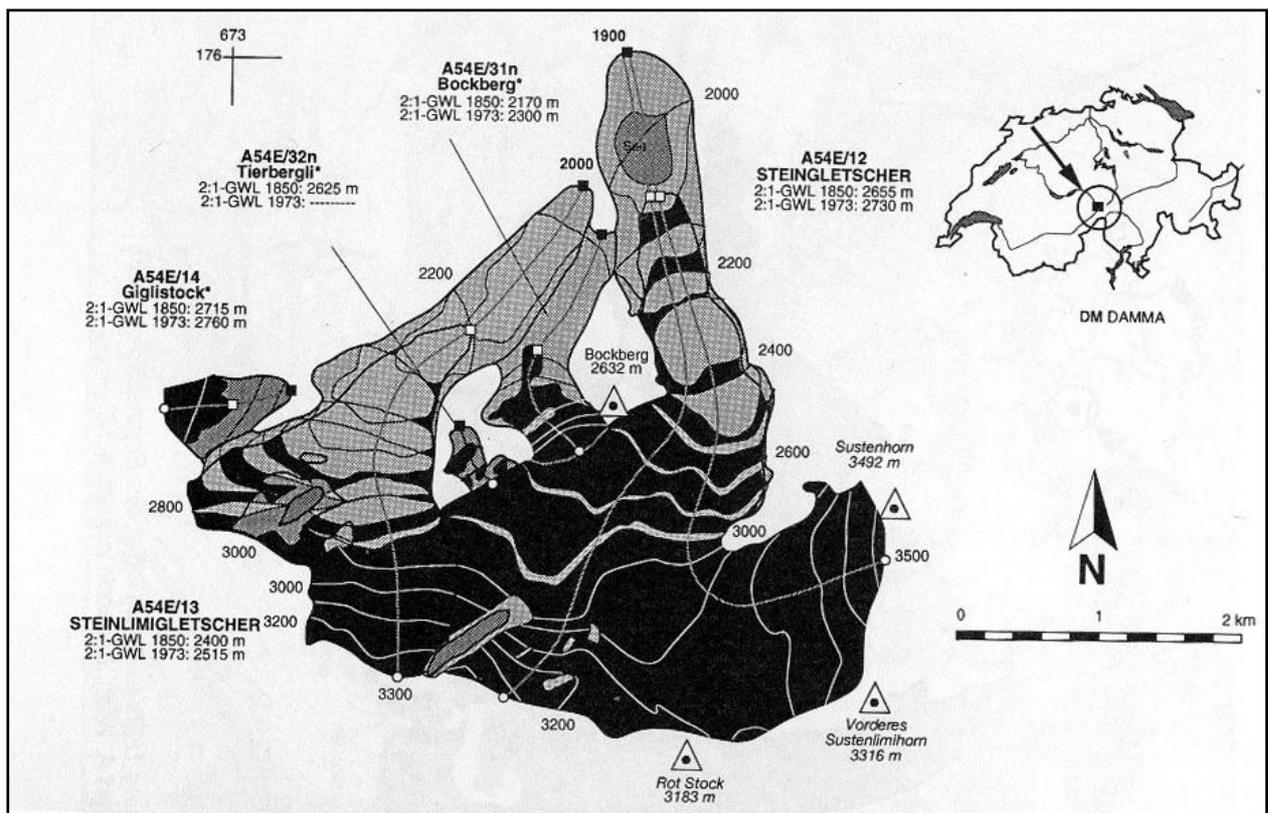


Abb. 6: Stein- und Steinlimigletscher (J. Battaglia, 1994)

Die zentralen Fliesslinien, versehen mit Punktsignaturen, heben nebst dem Längenschwund und der Fliessrichtung des Gletschers auch noch die Gletscherzungenenende zusätzlich hervor. Jedoch ist hier noch anzumerken, dass die Fliesslinie beim Bockberg unvorteilhaft gewählt wurde. Die Gletscherstände von 1850 und 1973 sind schwarz und grau eingefärbt. Da auch noch der Volumenschwund aufgezeigt ist, wird nicht auf den ersten Blick ersichtlich, wie sich nun der Stein- und der Steinlimigletscher von 1850 bis 1973 entwickelte. Durch die Einbettung einer Übersichtskarte der Schweiz lässt sich das Gebiet geografisch schnell einordnen.

5.2.3 Vorfeld des Stein- und des Steinlimigletschers

Die Karte von L. King (1987) zeigt das Vorfeld des Stein- und des Steinlimigletschers und ist südorientiert. Gezeigt wird der Stand um das Jahr 1970. Zusätzlich sind Moränenwälle aus verschiedenen Zeitepochen mit schwarzen Linien schematisch angedeutet. In der Basiskarte ist das Gewässer- und das Strassennetz aufgeführt. Die Karte wird mit Höhenstufen verschiedener Einfärbungen hinterlegt. Die Äquidistanz der Höhenstufen beträgt 200 m. Die wichtigsten Gebiete sind beschriftet. Der Stein- und Steinlimigletscher sind ausserdem mit Gletscherspalten versehen.

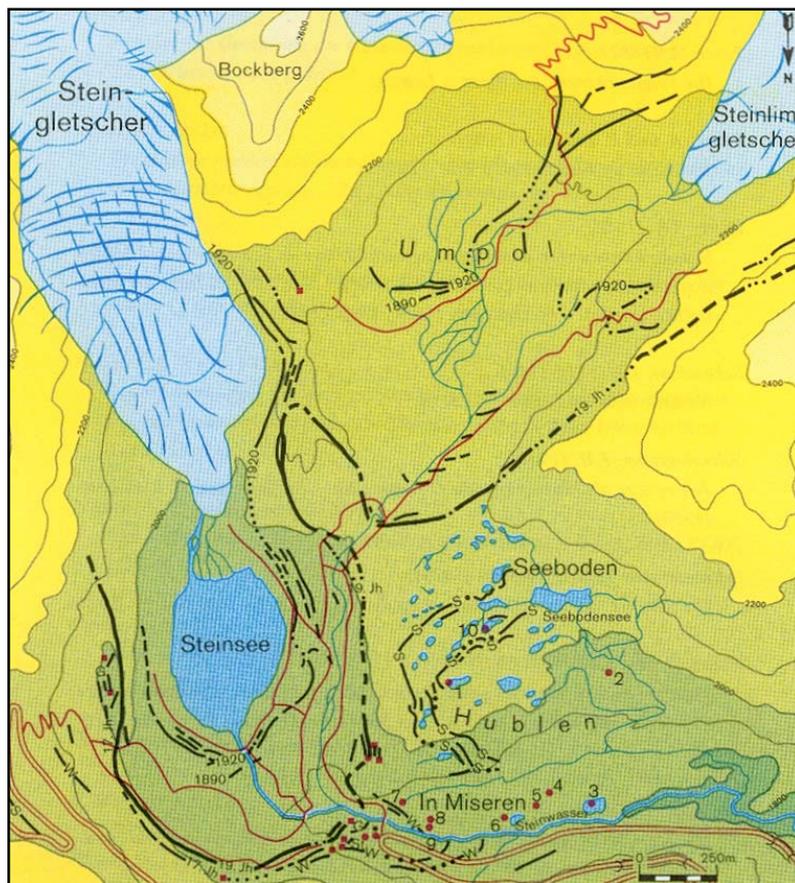


Abb. 7: Vorfeld des Steinlimigletschers (L. King, 1987)

Die Darstellung der Gletscherspalten verleiht der Karte einen plastischeren Charakter. Die Einfärbung der Höhenstufen vermittelt dem Betrachter schnell einen groben Überblick über die Höhenverhältnisse im Gebiet. Die Höhenstufen sind hier in einem Gelbton eingefärbt und wirken eher realitätsfremd. Würden die Höhenstufen schlichter eingefärbt, würde sich der thematische Inhalt besser hervorheben. Im Kapitel 7.4.3 wird diese Problematik der Einfärbung nochmals erwähnt und erörtert.

5.2.4 Aletschregion

Abbildung 8 stammt von F. Paul und bildet die ganze Aletschregion ab. Die roten Linien repräsentieren die Geometrie des Gletschers um das Jahr 1850, die blauen Linien zeigen den Stand 1973.

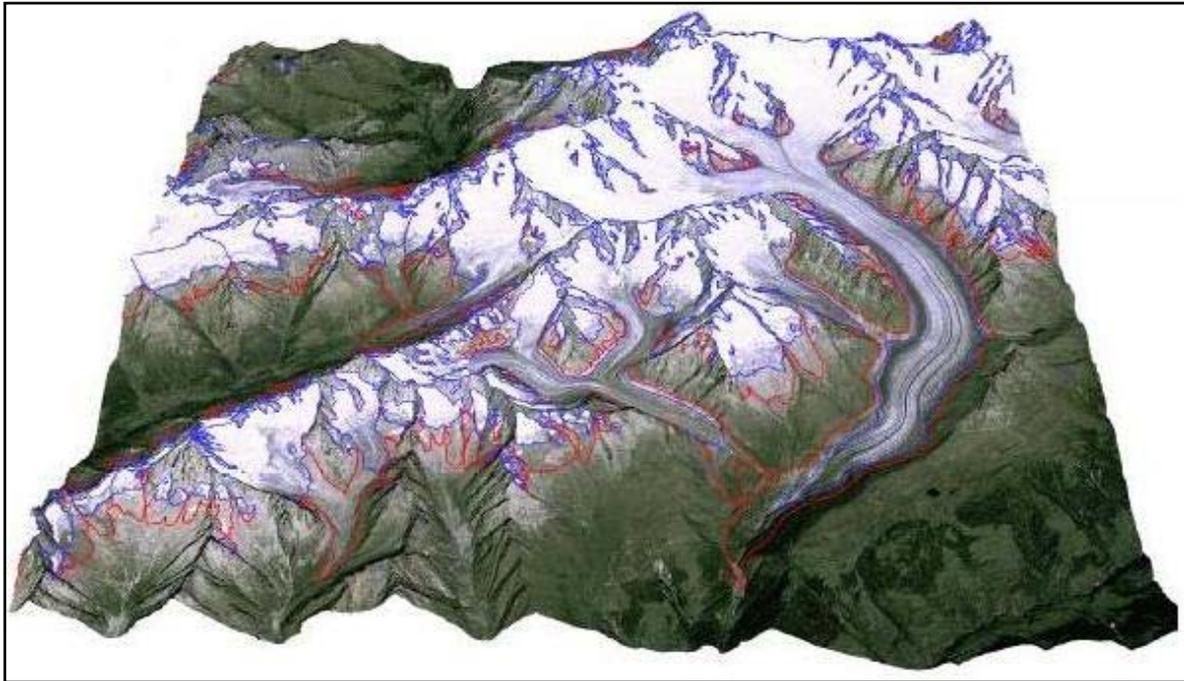


Abb. 8: Gletscherschwunddarstellung basierend auf einem DHM (F. Paul, 2003)

In dieser Darstellung wird das DHM25 der swisstopo verwendet. Dieses Höhenmodell bezieht sich auf die Landeskarte 1:25'000 und gibt die Form der Erdoberfläche ohne Bewuchs und Bebauung an. Dem digitalen Höhenmodell ist ein Satellitenbild überlagert. Dadurch wird eine realitätsnahe Ansicht erzeugt. Die Gletschergeometrien stammen aus dem schweizerischen Gletscherinventar und sind nur als Umriss dargestellt (CH-INVGLAZ, Kapitel 6.1.2). Wenn diese Flächen mit einer Einfärbung versehen wären, würde mehr Gelände verdeckt und der dreidimensionale, naturnahe Effekt reduziert werden. Da jedoch die Gletschergeometrien nur als Umriss visualisiert sind, kann keine Aussage über den Volumenschwund des Gletschers gemacht werden.

Ein Nachteil bei solchen perspektivischen Abbildungen ist auch, dass bei gewissen Ansichten Kloten und Bergspitzen die dahinterliegenden Täler verdecken können.

5.3 Erkenntnisse für die Gletschervisualisierung des Sustenpassgebietes

In den vorgängig erwähnten Gletschervisualisierungen lassen sich für die Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet einige positive Aspekte übertragen, welche nachfolgend aufgelistet sind:

- Die Einfärbung der Gletscherschwundflächen in einem einheitlichen Farbton wirkt dynamisch.
- Ist die Basiskarte minim ausgeprägt, sticht der thematische Inhalt besser hervor.
- Übersichtskarte der Schweiz dient als geografische Orientierungshilfe.
- Zentrale Fliesslinien zeigen die Fliessrichtung des Gletschers auf. Mit zusätzlichen Markierungen der Zungenenden werden sie besser ersichtlich.
- Die Gletscherstruktur, resp. Gletscherspalten verleihen der Karte einen plastischen Charakter.
- Einteilung des Gebietes in Höhenstufen vermittelt eine schnelle Übersicht über die Höhenverhältnisse im Betrachtungsperimeter.

6 Datengrundlagen zur Erstellung der Gletscherschwundkarte

Als Datengrundlagen dient vorwiegend aktuelles und historisches Kartenmaterial. Nebst den Karten werden auch Luftbilder und bereits digitalisierte Gletscherdaten verwendet. Die Grundlagedaten werden einerseits für die Basiskarte gebraucht andererseits für die Interpretation des thematischen Inhaltes.

6.1 Vector25

Als Basiskarte eignen sich Vector25-Daten der swisstopo (Bundesamt für Landestopografie) mit entsprechendem Ausschnitt (www.swisstopo.ch, 31.5.2007). Vector25 sind Vektordaten, welche die Schweiz im Massstab von 1:25'000 flächendeckend in einem Landschaftsmodell repräsentieren (www.swisstopo.ch, 31.5.2007). Sie bestehen aus verschiedenen thematischen Ebenen. Die verschiedenen Ebenen sind georeferenziert, und die Objekte in den Layern enthalten Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Topologie). Vektor25-Daten besitzen die folgende Ebenenstruktur:

Thematische Ebene	Anzahl Objekte
Strassennetz	1'330'000
Eisenbahnnetz	20'000
Übriger Verkehr	3'000
Gewässernetz	274'000
Primärflächen	2'006'000

Thematische Ebene	Anzahl Objekte
Gebäude	2'195'000
Hecken und Bäume	2'000'000
Anlagen	4'000
Einzelobjekte	204'000

Tab. 1: Ebenenstruktur Vector25 (www.swisstopo.ch, 31.5.2007)

Die Vector25-Daten werden im Zyklus von sechs Jahren im Rahmen der Landeskartennachführung auf den aktuellsten Stand gebracht. Die Genauigkeit der Daten liegt zwischen drei und acht Metern. Die Daten können von der swisstopo in den Formaten *ArcInfo e00*, *ArcView Shapefiles*, *INTERLIS 1* und *AutoCAD DXF* geliefert werden.

Für die Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet eignen sich die Ebenen Gewässernetz, Strassennetz und Gebäude.

6.2 Relief

Das Relief ist ein zweidimensionale Abbildung DHM25 der swisstopo. Das DHM25 ist ein digitales Höhenmodell und basiert auf der Landeskarte 1:25'000. Dieses Höhenmodell ist in Graustufen gehalten und gibt die Landschaft ohne Bewuchs und Bebauung wieder.

6.3 Schweizerisches Gletscherinventar

Im Rahmen des NFP 31-Teilprojektes wurden in der Schweiz sämtliche Gletscher mit ihren Vorfeldern rekonstruiert, analysiert und inventarisiert (M. Maisch et. al., 1999). Aufgenommen wurden der Gletscherhochstand um das Jahr 1850 und die Vergletscherung um 1973. Zusätzlich sind verschiedene Gletscherschwundsszenarien bis ins 21. Jahrhundert aufgezeigt. Die Studie umfasst alle Schweizer Alpengletscher und macht eine Aussage über den Gletscherschwund des letzten Jahrhunderts. Das Untersuchungsgebiet ist in sechs Alpen-Grossregionen, 33 Gletscherregionen und 149 Gletscherunterregionen aufgegliedert.

Die Gletscherstände sind in einer Datenbank mit dem Namen CH-INVGLAZ enthalten, mit dem Ziel, die Daten mit geeigneten Gletscherkarten zu veröffentlichen und zugänglich zu machen.

6.4 Schweizerisches Gletschermessnetz

Im schweizerischen Gletschermessnetz sind Längenänderungsdaten von 120 Gletschern vorhanden (<http://glaciology.ethz.ch>, 15.5.2007). Für die meisten Gletscher sind Messdaten seit 1880 vorhanden. Die Veränderungen der Gletscher im Schweizer Alpenraum werden jährlich nachgeführt. Betrieben wird das Netz von der glaziologischen Kommission der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (GK/SCNAT) und Abteilung Glaziologie an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW/ETHZ).

6.5 Kartenmaterial

In den folgenden Abschnitten werden aktuelle und historische Kartenwerke aufgeführt, welche für die Interpretationen und Analyse der Gletscherstände verwendet werden. Dazu gehören die Dufour-, die Siegfried und die Landeskarten (www.swisstopo.ch, 31.5.2007).

6.5.1 Dufour- und Siegfriedkarte

Die Dufourkarte ist das erste amtliche Kartenwerk der Schweiz. Sie basiert auf eidgenössischen und kantonalen Aufnahmen. Herausgegeben wurde das Kartenwerk in den Jahren 1845 bis 1865 vom eidgenössischen Topografischen Bureau unter der Leitung von Guillaume-Henri Dufour.

Die Aufnahmen erfolgten im Flachland im Massstab 1:25'000 und im Gebirge im Massstab 1:50'000. Die Kartenblätter wurden jedoch im Massstab 1:100'000 veröffentlicht. Die Karten im Massstab der Originalaufnahmen erschienen ab 1870 unter der Bezeichnung Siegfriedkarten. Die Dufourkarte wurde bis 1939 nachgeführt, die Siegfriedkarte bis 1949.

Im Unterschied zu den heutigen Landeskarten basieren die Dufour- und Siegfriedkarten nicht auf einer schiefachsigen Zylinderprojektion, sondern auf einer flächentreuen Kegelprojektion von Bonne. Durch diese unterschiedliche Projektionsart ist es schwierig, die Dufour- und Siegfriedkarten auf die heutigen Karten zu überlagern, da die Landschaft anders wiedergegeben wird.

Die Dufourkarte ist noch nicht farbig gestaltet. Die Gletscherdarstellungen sind mittels einfachen Konturen versehen. In der Siegfriedkarte sind Gletscher bläulich eingefärbt, und es sind Höhenlinien, Gletscherspalten, Moränenablagerungen vorhanden.

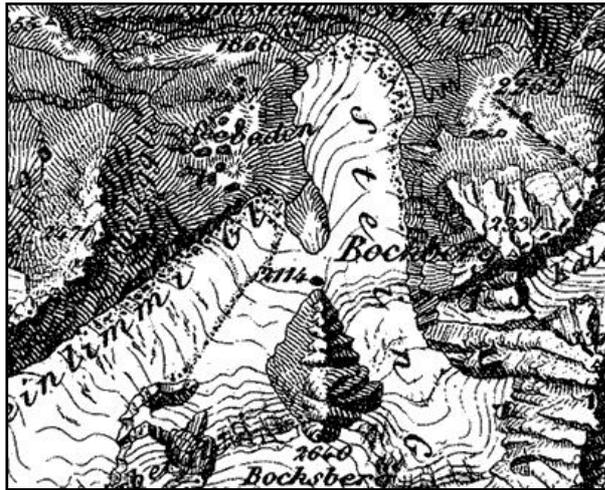


Abb. 9: Ausschnitt aus der Dufourkarte im Sustenpassgebiet (1850)

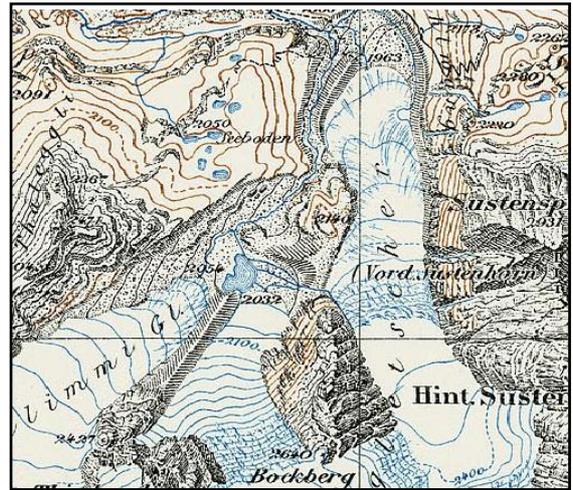


Abb. 10: Ausschnitt aus dem Siegfriedkartenblatt 394 (1933)

6.5.2 Landeskarten

Um die Jahrhundertwende wurden erste Kartenproben für ein neues Kartenwerk der Schweiz vorgenommen. Seit 1939 sind die Landeskarten als offizielle Karten der Schweiz deklariert. Diese Karten beruhen auf einer schiefachsigen, winkeltreuen Zylinderprojektion. Zunächst erschien die Landeskarte im Massstab von 1:50'000. In den folgenden Jahren wurden auch Karten im Massstab von 1:25'000, 1:100'000, 1:200'000, 1:300'000, 1:500'000 und 1:1'000'000 hergestellt. Nachgeführt werden die Karten alle sechs Jahre. In Tabelle 2 sind die einzelnen Landeskarten mit entsprechendem Massstab und der Anzahl Blätter aufgeführt.

Name	Masstab	Anzahl Blätter
Landeskarte	1:25'000	247
Landeskarte	1:50'000	78
Landeskarte	1:100'000	23
Landeskarte	1:200'000	4
Generalkarte	1:300'000	1
Landeskarte	1:500'000	1
Landeskarte	1:1'000'000	1

Tab. 2: Übersicht über die verschiedenen Landeskarten (www.swisstopo.ch, 31.5.2007)

6.5.3 Pixelkarte

Pixelkarten sind Umsetzungen des Kartenbildes in eine digitale Form ohne Bezug zu den verschiedenen Kartenelementen. Die Pixelkarten liegen in den selbigen Masstäben wie die Landeskarten vor. Diese Karten eignen sich als Hintergrundinformationen für verschiedene Anwendungen wie zum Beispiel Bildschirm- und Webkarten.

6.6 Swissimage

Swissimage ist eine Zusammensetzung von digitalen Orthofotos (www.swisstopo.ch, 31.5.2007). Die Bilder sind in einem einheitlichen Masstab und in einer einheitlichen Radiometrie erhältlich. Die Luftbilder werden seit 2005 vorwiegend mit einer digitalen Kamera vom Typ *ADS40* aufgenommen. Der Footprint dieser Luftbilder liegen zwischen 0.25 m und 0.5 m je nach Region. Die Lagegenauigkeit beträgt 1.0 m. Sie kann jedoch, abhängig von der Topografie, bis 10 m variieren. Die Daten können im *TIFF-Format* mit *TFW (World File)*-Georeferenz geliefert werden.

7 Kartenerstellung

7.1 Entwicklungsumgebung

Die Karte wird mittels der Software *Adobe Illustrator CS2* erstellt. *Adobe Illustrator* ist ein vektorbasiertes Grafik- und Zeichenprogramm. Für Bildbearbeitungen kann zusätzlich die Software *Adobe Photoshop CS2* verwendet werden. Im Institut für Kartografie stehen Rechner zur Verfügung, welche mit *Microsoft Windows XP* ausgerüstet und mit den oben erwähnten Softwareprodukten ausgestattet sind.

7.2 Layout

Das Layout wurde bereits in der Konzeptphase grob festgelegt. Die Karte wird auf ein DIN A3 Format gestaltet. Die Gletscherschwundkarte wird auf der linken Seite platziert. Auf der rechten Seite werden Legende, Ergänzungen zur Thematik, Quellenangaben und Impressum aufgeführt. Es wird darauf geachtet, dass die einzelnen Blöcke an imaginären Hilfslinien ausgerichtet sind.

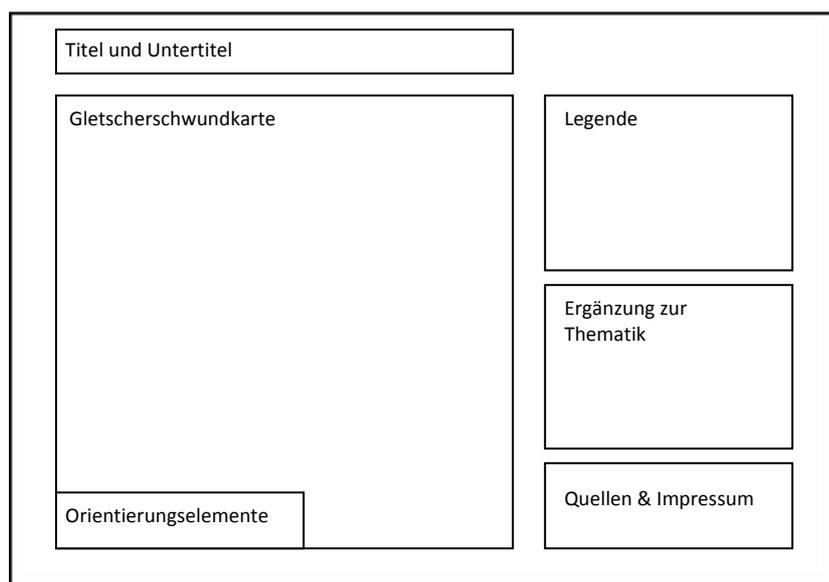


Abb. 11: Anordnung der Kartenelemente

7.3 Perimeter

Damit der Gletscherschwund im Sustenpassgebiet auf einem A3-Blatt abgebildet werden kann, wird ein Massstab von 1:25'000 gewählt. Die linke, untere Ecke hat die Koordinaten 672/170.5 und die rechte, obere Ecke die Koordinate 678/176.5. Die zu erstellende Karte ist nordorientiert und ergibt somit einen Ausschnitt von 24 cm x 24 cm.

Anschliessend werden alle benötigten Daten in das *Adobe Illustrator*-File importiert und in den vorgegebenen Perimeter eingepasst. Die zur Gletscherstandinterpretation benötigten Karten (Dufour-, Siegfried-

und Landeskarten) werden vorgängig im Photoshop auf den richtigen Perimeter zurechtgeschnitten. Nun kann mit der Erstellung der Basiskarte und des thematischen Inhaltes begonnen werden.

7.4 Darstellung der Basiskarte

7.4.1 Wahl der Basiskarte

Für Basiskarten gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten. Während der Arbeit kristallisierten sich zwei verschiedene Darstellungen heraus. Entweder dienen eine Pixelkarte (Massstab 1:100'000 skaliert auf 1:25'000, Abb. 12) oder ein Relief, welches mit Vector25-Daten (Abb. 13) ergänzt wird, als Basiskarte. Die Basiskarte mit der Pixelkarte wirkt überladen. Die Beschriftung ist viel zu gross, dadurch wird der thematische Inhalt etwas in den Hintergrund gestellt.

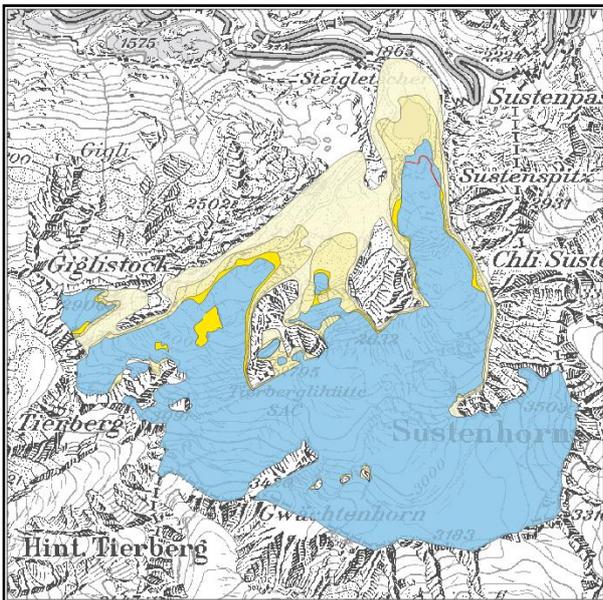


Abb. 12: Pixelkarte 1:100'000 als Basiskarte

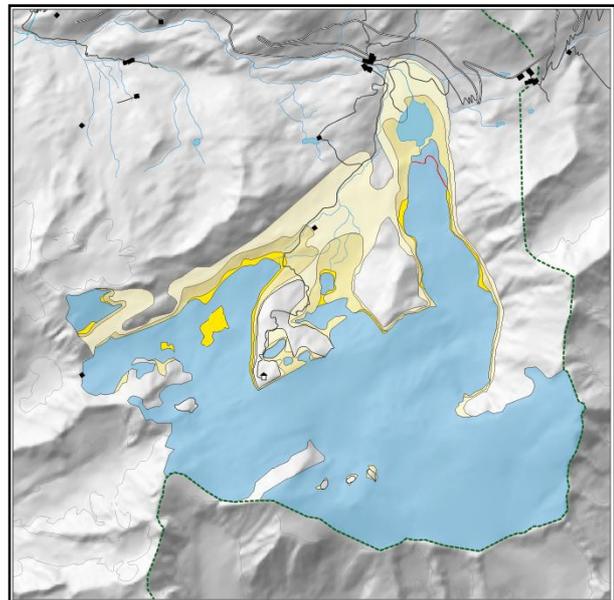


Abb. 13: Relief aus dem DTM25 und Vector25-Daten als Basiskarte

Aus diesen Gründen fällt die Wahl auf die Basiskarte mit dem Relief und den Vector25-Daten. Dargestellt wird das Gewässer-, das Strassennetz und die Gebäude. Die Höhe wird anhand Höhenstufen mit einer Äquidistanz von 200 m in verschiedenen Farbtönen wiedergegeben.

7.4.2 Strassen- und Gewässernetz sowie Gebäude

Die Ebene Strassennetz aus den Vector25-Daten wird klassifiziert in Passstrasse und Wege. Die Passstrasse wird mit einer Doppellinie geführt, Wege mit einer einfachen. Die Konturen des Strassennetzes wird schwarz gehalten.

Das Gewässernetz muss zuerst generalisiert werden. Unwichtige Gewässer wie kleine Seen und einzelne Bachverzweigungen können weggelassen werden. Auch die Punktdichte wird minimiert. Das Steinwasser wird mit einer dickeren Linie als die übrigen Bachläufe (0.8 Pt. statt 0.5 Pt.) gestaltet. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die verwendeten Vector25-Daten und ihren grafischen Attribute.

Thematische Ebene		Symbolisierung	Kontur	Füllung
Strassennetz	Passstrasse		0.8 Pt.	schwarz
	Wege		0.5 Pt.	schwarz
Gewässernetz	Seen		0.5 Pt. R:0,G:160,B:198	R:133,G:190,B: 197
	Bäche		0.5 Pt.	R:0,G:160,B:198
Gebäude	Allgemein			schwarz
	Tierberglöhütte SAC			schwarz

Tab. 3: Strassen- und Gewässernetz sowie Gebäude

7.4.3 Höhenstufen und Relief

Da die Höhenlinien für das Sustenpassgebiet nicht in digitaler, vektorisierter Form vorliegen, wird das Gebiet in Höhenstufen mit einer Äquidistanz von 200 m eingeteilt. Die Höhenstufen werden manuell aus der aktuellsten Landeskarte herausdigitalisiert. Eduard Imhof hat in seinem Schweizer Mittelschulatlant bereits solche Höhenstufen verwendet (E. Imhof, 1965). Er schlägt vor, die Höhenstufenskalen treppenartig zu gliedern. In Abbildungen 14 sind solche mögliche Farbskalen für Höhen- und Tiefenstufen aufgeführt. Jedoch sind diese Farbstufen nicht äquidistant gewählt und reichen von tiefgelegenen Regionen bis ins Gebirge. Der Kartenausschnitt vom Sustenpassgebiet reicht von 1800 m bis 3400 m ü. M. Somit ist diese Farbgebung von Imhof für die Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet eher ungeeignet, und es muss deshalb eine eigene Farbskala ausgearbeitet werden. Die Höhenstufen werden aus diesen Gründen mit einem Farbverlauf in Brauntönen (Abb. 15).

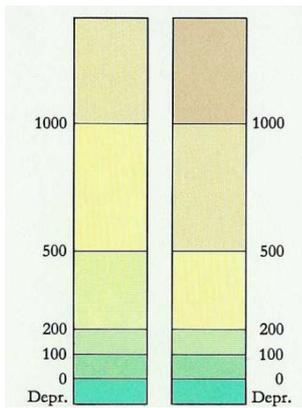


Abb. 14: Mögliche Höhen- und Tiefenstufen (E. Imhof, 1965)



Abb. 15: Höhenstufen im Sustenpassgebiet

Das Relief wird anschliessend zu 30% transparent geschaltet und über die Höhenstufen gelegt. Das Relief erscheint mit den verschiedenen Höhenstufen eingefärbt. Damit jedoch das Relief auch bei den Gletscherflächen durchschimmert, wird eine Maske für die Gletscherstände erstellt und unter die Gletscherfläche gelegt.

7.4.4 Beschriftung

Beschriftet werden die Bergspitzen, der Sustenpass, die Kantonsnamen, die Gletscher, die Höhenlinien, die Seen und Bäche. Der Sustenpass und die Bergspitzen werden zusätzlich noch mit der Höhe über Meer angegeben. Die Schriftart ist Tahoma, differenziert wird in Grösse, Farbe und Ausrichtung.

Objekt	Schriftart	Grösse	Farbgebung	Ausrichtung
Bergspitzen	Tahoma	8 Pt.	schwarz	Punktbeschriftung
Pass	Tahoma	8 Pt.	schwarz	Punktbeschriftung
Gletscher	Tahoma	19 Pt./12 Pt.	hellblau	Flächenbeschriftung
Seen	Tahoma	8 Pt.	hellblau	Punktbeschriftung
Bäche	Tahoma	8 Pt.	hellblau	Linienbeschriftung
Höhenkurven	Tahoma	6 Pt.	hellblau	Linienbeschriftung
Kantonsnamen	Tahoma	11 Pt.	grün	Flächenbeschriftung

Tab. 4: Übersicht über die verwendeten Beschriftungen

7.4.5 Zusätzliche Angaben

Über die Basiskarte wird ein Kilometerraster gelegt. Die Gitternetzlinien werden dezent und dünn gewählt. Auch die Kantonsgrenze wird eingezeichnet. Die Grenze wird gestrichelt und dunkelgrün gekennzeichnet. Zusätzlich wird der Kanton Uri mit einer Maske abgedimmt. Somit kommt der thematische Inhalt besser zur Geltung und die umliegenden Gletscher, welche nicht ins Arbeitsgebiet gehören, können in den Hintergrund gerückt werden.

7.5 Darstellung des thematischen Inhaltes

Der thematische Inhalt besteht aus vier Gletscherständen, welche den Gletscherschwund seit dem Gletscherhochstand 1850 repräsentieren. Der Gletscherhochstand von 1850 und der Stand von 1973 sind im schweizerischen Gletscherinventar enthalten. In der Landeskarte von 1933 sind zudem neue Gletschernachführungen vorgenommen worden. Deshalb fiel die Wahl auf den Stand von 1933. Der Stand von 1999 wird mit Hilfe der Pixelkarte 1999 analysiert, interpretiert und digitalisiert.

Der Gletscherschwund wird in der Karte zusätzlich durch die Fließlinien verdeutlicht, die den Längenschwund repräsentieren. Nebst diesen Darstellungen wird der Flächenschwund absolut und relativ am rechten Kartenrand in Blockdiagrammen aufgezeigt.

7.5.1 Gletscherstände von 1850 und 1973

Die Gletscherstände 1850 und 1973 stammen aus dem schweizerischen Gletscherinventar (CH-INVGLAZ). Die Geometrien werden nach dem Importieren vereinfacht und mit den entsprechenden Karten abgeglichen. Für Interpretationen des Standes von 1850 ist beispielsweise die Dufourkarte geeignet. Es sind auch aus aktuellen Landeskarten oder Orthofotos die Moränenablagerungen von 1850 ersichtlich. Auf den Luftaufnahmen ist dies durch unterschiedliche Vegetationsbewuchs erkennbar.

Um die einzelnen Gletscherstände in einer Karte darzustellen, werden die Gletschergeometrien generalisiert (Abb.17). Für dieses Vorgehen stehen in *Adobe Illustrator* zwei verschiedene Funktionen zur Verfügung. Zuerst wird die Funktion *Point Elimination* angewendet. Dieses Plug-In reduziert die Anzahl Knoten eines ausgewählten Polygons. Anschliessend verwandelt das Feature *Line to Bezier* die Linien der Gletschergeometrien in sogenannte Bezierkurven. Diese Funktion wurde vorwiegend bei den Gletscherzungen angewendet.



Abb. 16: Gletschergeometrien aus CH-INVGLAZ

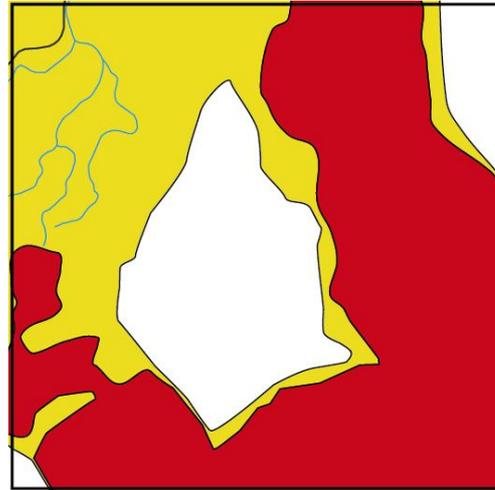


Abb. 17: Generalisierte Gletschergeometrie

Damit sich die einzelnen Gletscherstände gut von einander trennen lassen, werden auch die Gletscherstände von 1933 und 1999 mittels den Plug-Ins *Point Elimination* und *Line to Bezier* vereinfacht.

7.5.2 Gletscherstand von 1933

Dieser Gletscherstand wird anhand der alten Landeskarte des Sustenpassgebietes von 1933 digitalisiert. Die Siegfriedkarte wird nur visuell zum Vergleich beigezogen (Abb. 19). Aufgrund der unterschiedlichen Projektionsarten ergäbe eine Hinterlegung der Siegfriedkarte zu grosse Verzerrungen und würde zu falschen Ergebnissen führen. Als Referenz dient somit die Landeskarte von 1933.

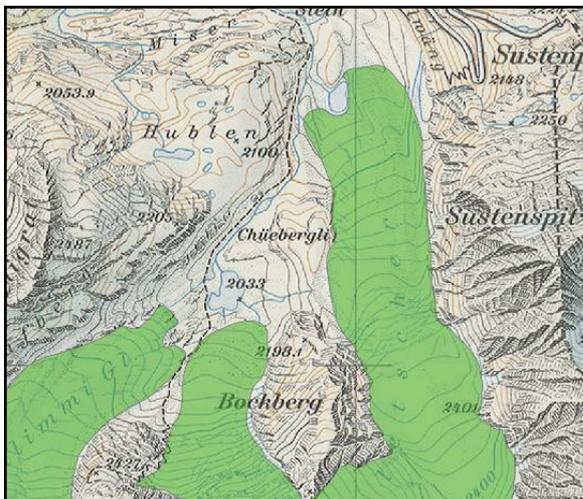


Abb. 18: Gletscherinterpretation mit Hilfe der Landeskarte 1933

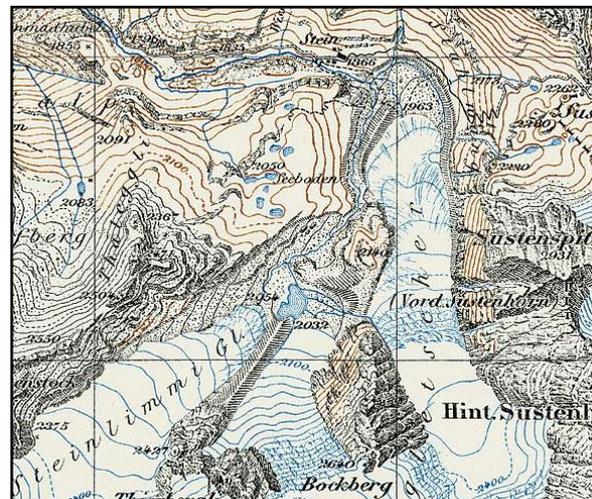


Abb. 19: Vergleiche mit der Siegfriedkarte 1933

Die Interpretation des Standes von 1933 geschieht vor allem mit Hilfe der Höhenkurven. Aus Abbildung 18 wird erkennbar, dass die Gletscherumrisse die Übergänge von blauen zu schwarzen Höhenkurven sind. Probleme bestehen, wenn der Gletscher mit Obermoräne bedeckt ist und die Gletscherkonturen

nicht eindeutig interpretierbar sind. Generell kann aber davon ausgegangen werden, dass die Gletscherfläche um 1933 nie grösser als diejenige um 1850 war.

7.5.3 Gletscherstand 1999

Der gegenwärtige Gletscherstand (Stand 1999) wird hauptsächlich aus der aktuellen Pixelkarte interpretiert. Als zusätzliche Kontrolle dienen die Primärflächen aus dem Vector25-Datensatz und den Orthofotos (swissimage).

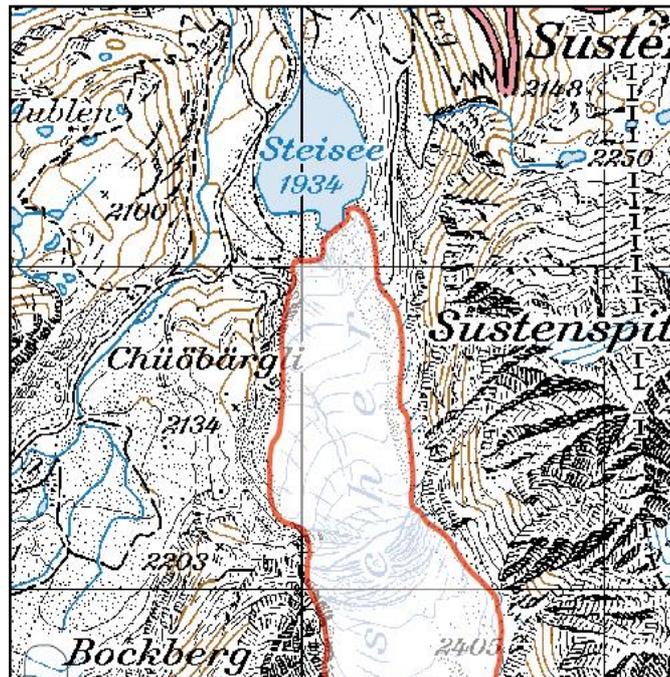


Abb. 19: Gletschergeometrien von 1999 über der Pixelkarte

Da die Gletscher im Sustenpassgebiet nach 1973 wieder stark vorsties, und die Gletscherzunge des Steingletschers im Jahre 1999 um etwa 110 m weiter vorne lag, muss diese Fläche speziell behandelt werden (<http://glaciology.ethz.ch>, 15.5.2007).

7.5.4 Gletscherschwankungen zwischen 1973 bis 1999

Von 1973 bis 1990 stiess die Zunge des Steingletscher nochmals gegen 180 m vor. Seit 1990 schmilzt die Zunge wieder zurück. Jedoch ist im Jahre 1999 die Zunge weiter vorne als 1973. In den nachfolgenden Abbildungen sind zwei mögliche Darstellungsvarianten aufgeführt.

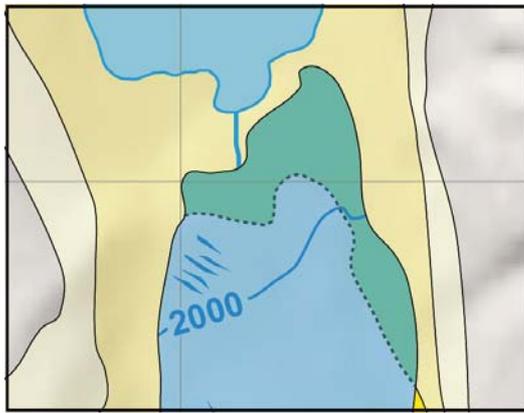


Abb. 20: Darstellung mit Einfärbung der Zunge

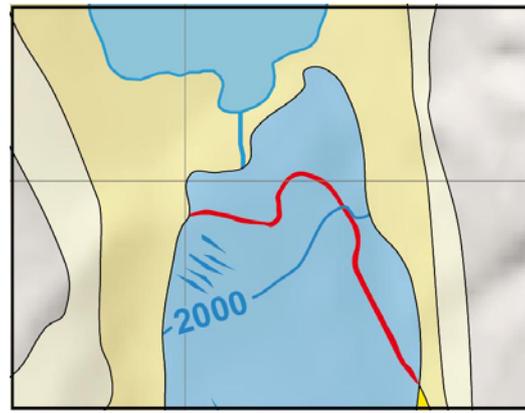


Abb. 21: Darstellung ohne Einfärbung der Zunge

In der linken Abbildung wird die Fläche eingefärbt, in der rechten wird lediglich der Gletscherumriss von 1973 hervorgehoben. Da vor allem der Stand 1999 von Bedeutung ist, fällt die Wahl auf die rechte Variante. Die speziell eingefärbte Outline der Zunge des Steingletschers von 1973 wird in der Legende vermerkt.

Es war nicht einfach, eine geeignete Farbgebung für die einzelnen Schwundflächen zu bestimmen. Die Stände müssen sich gut voneinander abtrennen lassen, sollen aber in einem günstigen Farbverlauf gehalten werden. Da das Relief in der Basiskarte auch durch die Gletscherflächen schimmern soll, müssen die Flächen transparent gewählt werden. Die optimale Farbgebung der Stände wurde schliesslich in einem iterativen Prozess durch Ausprobieren bestimmt. In Tabelle 5 sind die RGB-Anteile und die Transparenz der einzelnen Flächen aufgelistet:

Gletscherstände/ Schwundfläche	R	G	B	Deckkraft [%]
1850	254	249	207	100
1933	250	234	125	60
1973	255	231	0	100
1999	92	183	227	30

Tab. 5: Farbtabelle der Gletscherstände

7.5.5 Fliesslinien des Gletschers

Die zentralen Fliesslinien werden wie im Beispiel von J. Battaglia (vgl. Kapitel 5.2.2) über die Gletscher gelegt. Die Fliesslinien schneiden die Höhenlinien senkrecht und zeigen die Fliessrichtung des Gletschers auf. Durch spezielle Markierungen der Zungenenden deuten die Fliesslinien den Längenschwund des Gletschers an.

Die Länge des Steingletschers von 1850 betrug 5.3 km, 1999 nur noch 4.25 km. Diejenige des Steinligletschers mass um 1850 4.15 km und 1999 2.7 km (gemäss schweizerischem Gletscherinventar und

schweizerischem Messnetz, <http://glaciology.ethz.ch>, 15.6.2007). Der Beginn der Fließlinie wird mit einem Quadrat symbolisiert, die Zungenenden mit einem Kreis in unterschiedlicher Farbfüllung.

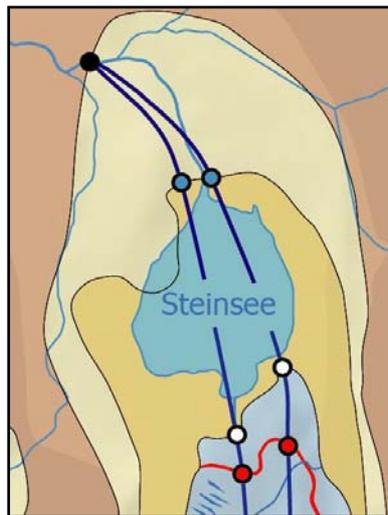


Abb. 20: Fließlinien bei der Gletscherzunge

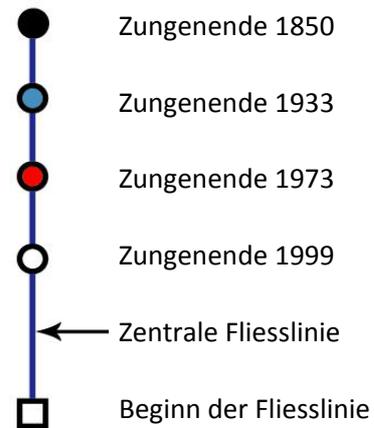


Abb. 21: Legende zu den Fließlinien

7.5.6 Darstellung des Flächenschwundes anhand von Diagrammen

Um den Flächenschwund ergänzend zu verdeutlichen, wird am Kartenrand ein Säulendiagramm platziert, welches den Flächenschwund absolut und relativ verdeutlicht. Da in Adobe Illustrator keine geeignete Funktion zur Verfügung steht, wurden die einzelnen Gletscherstände als *dxf*-File exportiert und ins *AutoCAD* eingelesen.



Abb. 22: Flächenberechnung der einzelnen Gletscherstände in *AutoCAD*

Für die Anwendung des CAD-Programmes müssen jedoch die Bezierkurven im Illustrator-File in ein reines Polygon umgewandelt werden, damit die Flächen erkannt werden. Diese Umwandlung kann mit

dem Tool *Bezier to Line* erfolgen. Im AutoCAD genügt ein Doppelklick auf die Polylinie, um den Flächeninhalt aufzurufen.

Gletscherstand	CH-INVGLAZ	Fläche	relativ
1850	11.894 km ²	12.0 km ²	100 %
1933	-	10.0 km ²	84 %
1973	8.803 km ²	8.8 km ²	73 %
1999	-	8.8 km ²	73 %

Tab. 6: Flächen der einzelnen Stände

In Tabelle 7 sind die einzelnen Gletscherflächen der verschiedenen Stände aufgezeigt. Aus diesen Flächenangaben werden anschliessend die Diagramme erstellt (Abb. 23). Diese Säulendiagramme zeigen unter anderem den absoluten und den relativen Flächenschwund des Stein- und des Steinlimigletschers und des Firnflecks beim Giglistock. Die Säulen sind in einer Zeitachse angeordnet.

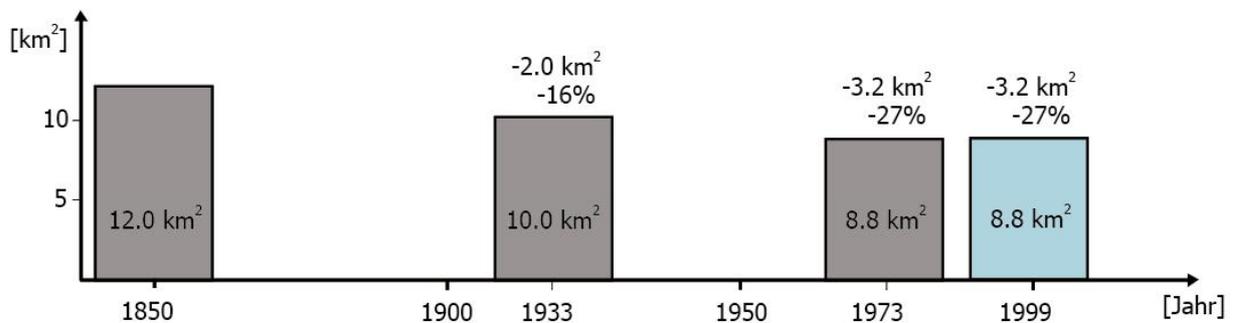


Abb. 23: Darstellung des Flächenschwundes in Säulendiagrammen

7.5.7 Zusätzliche Angaben

Links oben wird eine Übersichtskarte der Schweiz platziert. In dieser Übersichtskarte sind die wichtigsten Gewässer, drei grosse Städte als Orientierung und ein Quadrat, welches das Sustenpassgebiet repräsentiert, eingezeichnet. Nebst dem Stein- und dem Steinlimigletscher sind auch noch die umliegenden Gletscher in der Karte aufgeführt. Diese werden jedoch dezent eingefärbt.

Der Gletscherstand von 1999 wird zusätzlich mit Gletscherspalten und Obermoränen versehen. Durch diese Ergänzungen wirken die Gletscher plastischer und naturnaher.

7.6 Kartenrandinformationen

Die Kartenrandinformationen dienen zur Erläuterung der erstellten Karte. Zu den Kartenrandelementen gehören Titel, Legende, Bemerkungen und Ergänzung zur Thematik, Massstab und Projektionssystem, Quellen und Impressum. Als Schriftarttyp wurde allgemein Tahoma gewählt.

7.6.1 Titel

Der Titel besteht aus einem Haupt- und einem Untertitel. Der Haupttitel muss auf den ersten Blick gut erkennbar sein und erhält eine Grösse von 30 Pt. Der Untertitel dagegen wird mit 16 Pt. dargestellt. Die Titel werden in der linken, oberen Ecke platziert.

7.6.2 Legende

Die Legende wird rechts von der Karte platziert. Vermerkt werden die verschiedenen Gletscherausdehnungen, die glaziologischen Parameter und Angaben zur Basiskarte.

7.6.3 Bemerkungen und Ergänzungen zur Thematik

Die Gletscherschwankungen im Sustenpassgebiet werden zusammenfassend kurz in einem Fliesstext erläutert. Die Flächenschwunddiagramme (vgl. Kap. 7.5.6) werden ebenfalls am rechten Blattrand angebracht.

7.6.4 Quellen und Impressum

Die Quellenangaben werden unterteilt in Basiskarte und thematischen Inhalt. Quellen wie auch Impressum sind klein gehalten und in der rechten, unteren Ecke platziert.

Im Impressum sind Angaben zur Bachelorarbeit, zum Institut, zur Betreuung und zum Erstellungsdatum aufgelistet. Wie die Quellenangaben ist das Impressum mit einer Punktgrösse von 7 gehalten.

7.6.5 Projektionssystem und Massstab

Die Angaben werden am linken Blattrand, direkt in der Karte, eingebaut. Aufgeführt werden Projektionsart, grafischer Massstab und Abbildungsmassstab.

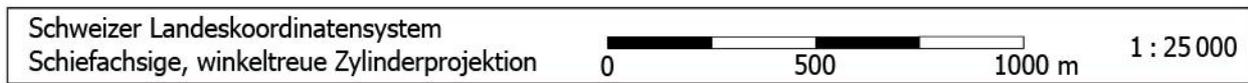


Abb. 24: Angaben zum Projektionssystem und zum Massstab

Die Erstellung der Karte ist mit der Anbringung der Kartenrandinformation zu Ende. Die fertiggestellte Gletscherschwundkarte des Sustenpassgebietes befindet sich im Anhang.

8 Diskussion

8.1 Gletschergeschichtliche Ergebnisse

Die Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet repräsentiert die Entwicklung des Steingletschers vom letzten Gletscherhochstand von 1850 bis heute. Nebst dem Flächenschwund ist auch der Längenschwund der Gletscher anhand der Fliesslinien sichtbar. Zusätzlich kann aus den Kartenrandangaben ergänzende Informationen zum Gletscherschwund in diesem Gebiet gewonnen werden.

Die Diagramme des Flächenschwundes zeigen, dass von 1850 bis 1933 die grösste Fläche des Stein- und Steinlimigletschers verloren ging (16%). Auf der Karte ist dies gut ersichtlich, da die Gletscherzunge des Steingletschers von 1850 bis kurz vor das Hotel Steingletscher reichte. Auch die Fliesslinien verdeutlichen das starke Zurückschmelzen des Gletschers zwischen 1850 bis 1933. Die Gletscherfläche nahm bis 1973 um 27% ab, dies entspricht einer absoluten Abnahme von 3.2 km^2 (bezogen auf 1850). Ausserdem wird erkennbar, dass die Grösse der Fläche von 1973 bis 1999 etwa unverändert blieb.

8.2 Beurteilung der Karte

Die Basiskarte ist minimal ausgeprägt und wirkt deshalb nicht überladen. Es sind Elemente, wie zum Beispiel eine Übersichtskarte der Schweiz aufgeführt, welche die Orientierung in der Karte vereinfachen. Die Beschriftungen in der Karte dienen demselben Zweck. Das Relief mit den braunen Höhenstufen verleiht der Basiskarte einen naturnahen und plastischen Eindruck.

Der thematische Inhalt ist mit den vier unterschiedlichen Gletscherständen klar strukturiert. Durch die Einfärbung der Gletscherstände wirkt der Gletscherrückgang dynamisch. Verschiedene Zonen mit Gletscherspalten verdeutlichen die Gletscherbewegungen. Die Gletschergeometrien wurden generalisiert und können somit von den einzelnen Ständen abgegrenzt werden. Die Kartenrandangaben ergänzen und verdeutlichen die Thematik sinnvoll.

Grundsätzlich verlief die Kartenerstellung ohne nennenswerte Probleme. Die Daten standen rasch zur Verfügung, und es zeigte sich schnell, dass sie günstig und ausreichend für diese Arbeit sind. Kleinere Schwierigkeiten, wie zum Beispiel Farbgebung, Darstellung der Geometrien oder Verwendung von geeigneten Signaturen konnten in einem iterativen Prozess gelöst werden. Einzig zu erwähnen ist, dass Probleme beim Drucken auftraten. Da die Farbabstimmung beim Ausdruck jeweils anders war als am Computer, musste das Zusammenspiel zwischen Transparenz und Farbgebung ständig angepasst werden.

8.3 Schwierigkeiten

Für den heutigen Stand wurde hauptsächlich die aktuellste mir zur Verfügung stehende Landeskarte, welche aus dem Jahr 1999 stammt, verwendet. Abbildung 2 zeigt jedoch, dass es seit 1999 bereits wieder starke Veränderungen eintraten, die nun nicht berücksichtigt werden konnten.

Die Gletscherschwundkarte repräsentiert den Längen- und den Flächenschwund, macht aber keine Aussage über den Volumenschwund und über die Mächtigkeit des Gletschers. Für eine solche Darstellung müssten umfangreichere Daten beschafft werden. Auch eine dreidimensionale Darstellung mittels einem digitalen Höhenmodell müsste in Betracht gezogen werden. Eine derartige Visualisierung wäre jedoch sehr komplex und würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Im Konzept wurde eine mögliche Darstellung des Volumenschwundes anhand verschiedener Querprofile in Betracht gezogen. Die Querprofile hätten aus den Höhenkurven abgeleitet werden können. Aus zeitlichen Gründen wurde diese Idee jedoch verworfen. Dafür wurde die Karte durch die Darstellung der Fließlinien ergänzt, was sich während dem Literaturstudium ergab.

8.4 Ausblick

Gletscherkarten werden in Zukunft vermehrt in den Mittelpunkt rücken, wenn sich der anhaltende Klimawandel fortsetzt. Der Gletscherschwund wird immer mehr zum Thema und die Nachfrage an Karten und Darstellungen solcher Naturprozesse könnte ansteigen. Die Entwicklung jedoch wird sich eher weg von Papierkarten zu digitalen Produkten entwickeln. Die Verwendung digitaler Höhenmodellen lässt komplexe, perspektivische und dreidimensionale Darstellungen zu und wird wahrscheinlich vermehrt angewendet. Es kann jedoch mit Spannung erwartet werden, in welche Richtung sich solche Visualisierungen entwickeln.

9 Schlusswort

Die Arbeit war für mich sehr abwechslungsreich und interessant. Ich erhielt die Möglichkeit, einen vertieften Einblick in kartografische Arbeitsprozesse zu gewinnen und konnte ein kartografisches Projekt durchführen. Der Bogen spannte sich von den ersten Ideen und dem Erstellen eines Konzeptes, über die Datenbeschaffung und Datenaufbereitung bis hin zur Erstellung und Vollendung der Gletscherschwundkarte im Sustenpassgebiet. Nebenbei erhielt ich die Gelegenheit, mich mit der Software *Adobe Illustrator CS2* auseinanderzusetzen und das Wissen über diese Software zu vertiefen.

In dieser Bachelorarbeit konnte ich meine eigenen Ideen einbringen und war bei der Erstellung der Karte ziemlich frei. Bei Problemen wurde ich tatkräftig von den beiden Betreuern mit wertvollen Hinweisen unterstützt und konnte schliesslich eine interessante Arbeit zu Ende bringen.

10 Quellen

Literatur

King, L. (1987): Gletscherschwankungen und Moränen. Giessen: Selbstverlag Giessener Geographische Schriften, 127 S.

Maisch, M., Wipf, A., Denneler, B., Battaglia, J., Benz, C. (1999): Die Gletscher der Schweizer Alpen. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 373 S.

Press, F., Siever R. (2003): Allgemeine Geologie. München: Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 723 S.

Paul, F. (2003): The New Swiss Glacier Inventory 2000. Zürich, 194 S.

Holzhauser, H., Zumbühl, J. (1988): Die Alpen. Bern: Schweizer Alpen-Club, 322 S.

Imhof, E. (1965): Kartographische Geländedarstellung. Berlin: Walter de Gruyter & Co, 425 S.

Battaglia, J. (1994): Die Gletscherveränderungen im „Grossraum Gotthard“. Zürich, 167 S.

Redaktion Schweizer Lexikon und der Gletscherkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften. (1993): Gletscher Schnee und Eis. Luzern: Schweizer Lexikon Mengis & Ziehr, 102 S.

Internet

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich, Gletscherberichte (1881-2002) "Die Gletscher der Schweizer Alpen", Jahrbücher der Glaziologischen Kommission der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), <http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers>, 15.5.2007

Alean, J., Hambrey M.: Glaciers Online, www.swisseduc.ch/glaciers/alps/steigletscher/steigletscher-fluctuation-de.html?id=0, 15.5.2007

Bundesamt für Landestopografie swisstopo, www.swisstopo.ch, 31.5.2007

11 Anhang

A. Karte: Gletscherschwundvisualisierung im Sustenpassgebiet