



**Der Bergsturz am Rawilhorn infolge der
Erdbeben bei Sierre von 1946 -
eine punktuelle Bestandesaufnahme der Sukzession
75 Jahre danach**

Maturaarbeit

Aline von Hoff

Betreuungsperson: Oliver Schneider

Gegenleser: Rainer Fend

Kantonsschule Wettingen

Wettingen, 08. November 2021

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, die Sukzession sowie die Grösse und Verteilung von Felsblöcken im Ablagerungsgebiets des Bergsturzes am Rawilhorn vom 30. Mai 1946 in ausgewählten Zonen zu beurteilen. Für die Beantwortung der Fragestellungen ist eine breit abgestützte Literaturrecherche vorgenommen worden. Zusätzlich sind historische und aktuelle Landeskarten und Luftbilder analysiert und miteinander verglichen worden. Ergänzend sind im Juli 2021 bei der Feldarbeit im Ablagerungsgebiet Les Andins die Vegetation und Gesteinsarten bestimmt sowie die Grösse der dominanten Blöcke gemessen worden. Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die Vegetation im Ablagerungsgebiet auch 75 Jahren nach dem Bergsturz noch stark dezimiert ist. Die Resultate dieser Arbeit zeigen auf eindrückliche Art und Weise auf, wie lange der Prozess der Sukzession nach einem Extremereignis wie einem Bergsturz andauert.

Vorwort

Erdbeben haben eine weniger grosse Zerstörungskraft, als allgemein angenommen wird. Es sind viel mehr die Folgeprozesse von Erdbeben, welche grosses Leid über die Menschen bringen (Aufmkolk & Liebsch, 2020).

Diese Aussage widerspiegelt den Sinn und Zweck meiner Maturaarbeit, in welcher ich nicht primär das Erdbeben von 1946 bei Sierre in den Fokus gerückt habe, sondern mich viel mehr mit einem durch das Erdbeben und Nachbeben ausgelösten Bergsturz und den fatalen Folgen, welche dadurch in der Landschaft verursacht worden sind, beschäftigt habe.

In meinem dreiwöchigen Praktikum bei der Impuls AG Wald Landschaft Naturgefahren in Thun im Februar und März 2021 habe ich einen Einblick in die Einschätzung und den Umgang mit Sturzprozessen erhalten. Dabei habe ich gemerkt, dass mich das Thema Naturgefahren im Allgemeinen und Sturzprozesse im Speziellen sehr interessiert und ich mich in einer eigenen Arbeit gerne noch weiter vertiefen wollte.

Dank des Kontakts zum Geologischen Institut der Universität Bern, welcher über eine Praktikumsanfrage zustande gekommen ist, habe ich die Gelegenheit erhalten, meine Maturaarbeit in Zusammenarbeit mit einem Doktoranden zu gestalten. Aus einem gemeinsamen Gespräch mit Herrn Sandro Truttmann ist die Idee hervorgegangen, dass ich mich mit den Sturzprozessen, die infolge der Erdbeben von 1946 bei Sierre aufgetreten sind, beschäftigen könnte. Da ich zuvor noch gar nichts über diese Naturkatastrophe im Wallis gewusst habe, ist mein Interesse sofort geweckt worden. Schrittweise ich habe mich an diese spannende und herausfordernde Arbeit herangewagt.

Während der Umsetzung dieses zeitintensiven und logistisch komplexen Projekts bin ich von vielen verschiedenen Personen und Institutionen unterstützt worden, die massgeblich zum vorliegenden Resultat beigetragen haben. Ein herzliches Dankeschön geht an:

Herrn Sandro Truttmann, Doktorand an der Universität Bern, für die Einführung ins Geoinformationssystem und die wertvollen Hinweise bei der Planung und Umsetzung dieser Arbeit.

Geologisches Institut der Universität Bern für das Vermitteln des Kontakts zu Herrn Sandro Truttmann.

Prof. Dr. Donat Fäh, Schweizerischer Erdbebendienst, für die zur Verfügung gestellten Daten zur Publikation «*The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*».

Herrn Raphael Bonjour, stellvertretender Leiter des Fachbereichs Fotografie bei der Forensik der Kantonspolizei Bern, für die tollen Drohnenaufnahmen vom Ablagerungsgebiet des Bergsturzes.

Herrn Armand Dussex, für das schriftliche Beantworten der Fragen zur Publikation «*Dynamique de la végétation du pierrier de Serin*».

Herrn Oliver Schneider, Fachlehrperson für Geografie und Informatik an der Kantonsschule Wettingen, für die Betreuung der Maturaarbeit und die Unterstützung während dieser intensiven Zeit.

Herrn Rainer Fend, Fachlehrperson für Italienisch und Französisch an der Kantonsschule Wettingen, für das Gegenlesen der Maturaarbeit.

Meine Eltern für das Gegenlesen, die Unterstützung bei der Feldarbeit und die Flexibilität bei der Ferienplanung.

Meinen Bruder für die Unterstützung bei den Messungen im Feld.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Themeneingrenzung und Zielsetzung	1
1.2	Fragestellungen.....	2
1.3	Aktueller Wissensstand	2
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Erdbeben	5
2.2	Sturzprozesse	7
2.2.1	Anriss- und Ablagerungsgebiete von Sturzprozessen	8
2.2.2	Kubaturen bei Sturzprozessen	9
2.3	Biogeomorphologische Sukzession im Gebirge	9
2.4	Dendrochronologie	13
3	Physisch-geografische Charakteristik des Untersuchungsgebiets	15
3.1	Ursachen der Erdbeben im Wallis	15
3.1.1	Erdbeben vom 25. Januar 1946	15
3.1.2	Nachbeben und Bergsturz vom 30. Mai 1946	16
3.2	Geologie im Gebiet des Rawilhorns	16
3.3	Klimatische Verhältnisse in Les Andins und beim Rawilhorn	18
3.4	Vegetation im Untersuchungsgebiet	18
4	Methoden und Material	20
4.1	Methoden	20
4.1.1	Literaturrecherche	20
4.1.2	Schriftliches Experteninterview	20
4.1.3	Vergleich von alten Landeskarten und Luftbildern	21
4.1.4	Analyse von alten Landeskarten und Luftbildern.....	21
4.1.5	Messungen im Feld	21
4.2	Material.....	27
5	Resultate	28
5.1	Sukzessionsentwicklung	28
5.1.1	Messungen im Feld	28
5.1.2	Landeskarten.....	28
5.1.3	Luftbilder.....	34
5.1.4	Vegetationsdiversität	41
5.1.5	Lärchenwachstum.....	42
5.2	Blockgrößen	44
5.3	Gesteinsarten.....	44

6	Diskussion	45
6.1	Sukzessionsentwicklung	45
6.1.1	Vegetationsdiversität	45
6.1.2	Lärchenwachstum	46
6.2	Blockgrößen	46
6.3	Gesteinsarten	47
6.4	Fazit	47
6.5	Ausblick	47
7	Reflexion	50
7.1	Inhalt	50
7.2	Methoden	50
8	Quellen	55
8.1	Literatur	55
8.2	Abbildungen	57
8.3	Tabellen	60
9	Anhang	61

1 Einleitung

1.1 Themeneingrenzung und Zielsetzung

Das Wallis ist schweizweit die Region, in welcher am häufigsten Erdbeben aufgezeichnet werden. Pro Jahr werden vom Schweizerischen Erdbebendienst SED rund 270 Erschütterungen registriert. Bis auf zwei bis drei pro Jahr sind diese Erdbeben im Wallis für die Menschen nicht spürbar. Im Durchschnitt findet im Wallis in 100 Jahren einmal ein Erdbeben statt, das eine Magnitude von ungefähr sechs aufweist. Diese Arbeit befasst sich mit den Auswirkungen der letzten grossen Erdbeben, die sich 1946 bei Sierre (siehe hellviolette Markierung auf Abbildung 1) zugetragen haben (SED, o.J.d). Auf wirtschaftliche und soziale Folgen des Erdbebens wie Schäden an Infrastruktur und landwirtschaftlichen Flächen, Verletzte und Opfer wird nur am Rande eingegangen. Von den ökologischen Folgen der Erdbeben, wie Steinschlägen, Fels- und Bergstürzen, Erdrutschen, Lawinen, Rissen im Boden sowie Auswirkungen auf Quellen, steht der Bergsturz am Rawilhorn, welcher nach dem grössten Nachbeben vom 30. Mai 1946 ausgelöst worden ist, im Mittelpunkt (Fritsche & Fäh, 2009, S.430). Das Rawilhorn (siehe roter Pfeil auf der Abbildung 1), auf Französisch unter dem Namen Six des Eaux Froides bekannt, ist Teil des Wildhornmassivs und befindet sich zwischen den beiden Seen Lac des Audannes und Lac de Tseuzier, die auf der untenstehenden Karte zu sehen sind. Das Ablagerungsgebiet dieses Bergsturzes liegt hauptsächlich südlich des Rawilhorns im Gebiet Les Andins. (siehe gelber Kreis auf der Abbildung 1). Les Andins gehört zur Gemeinde Ayent und liegt im Einzugsgebiet des Flusses Lienne. Die Lienne, die durch das gleichnamige Tal fliesst (siehe orange Pfeile auf der Abbildung 1), mündet zwischen Sion (siehe dunkelviolettle Markierung auf Abbildung 1) und Sierre von Norden her in die Rhone (Swisstopo, 2021a).

Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, in welchem Ausmass sich der Bergsturz am Rawilhorn auf die Landschaft ausgewirkt und wie sich die Vegetation im Ablagerungsgebiet bis heute entwickelt hat.

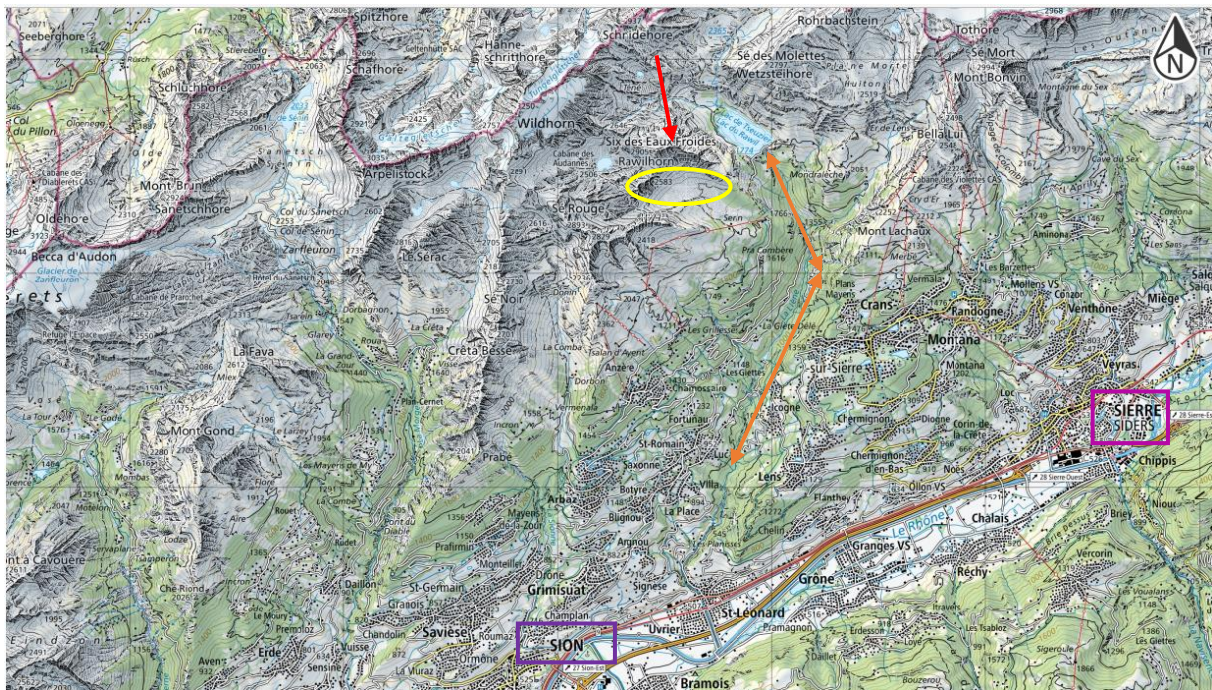


Abbildung 1: Überblickskarte der Region rund um das Rawilhorn im Massstab 1:100'000

1.2 Fragestellungen

Aus der oben formulierten Zielsetzung lassen sich die folgenden beiden Fragestellungen herleiten:

1. Wie weit ist die Sukzession im Ablagerungsgebiet des Bergsturzes, der durch das Erdbeben vom 25. Januar 1946 und das Nachbeben vom 30. Mai 1946 an der Südflanke des Rawilhorns ausgelöst worden ist, fortgeschritten?
2. Wie liegen die markantesten Felsblöcke im Ablagerungsgebiet des Bergsturzes, der durch das Erdbeben vom 25. Januar 1946 und das Nachbeben vom 30. Mai 1946 an der Südflanke des Rawilhorns ausgelöst worden ist, verteilt?

1.3 Aktueller Wissensstand

Das Erdbeben vom 25. Januar 1946 sowie das Nachbeben vom 30. Mai 1946 und deren Folgen für Mensch und Umwelt sind vor allem in historischen Dokumenten wie Zeitungen und wissenschaftlichen Magazinen festgehalten. Der aktuelle Wissensstand in der Forschung bezieht sich deshalb auf die folgenden zwei Arbeiten:

«*The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*» von Stefan Fritsche und Donat Fäh wurde im Jahr 2009 publiziert. Mit Hilfe von historischen Untersuchungen sowie seismologischer und geologischer Recherche vor Ort erforschten die beiden Autoren, ob die Nebenwirkungen (site-effects) des Erdbebens vom 25. Januar 1946 einen Einfluss auf das Ausmass der Schäden im Wallis hatten. Um herauszufinden, in welchem Ausmass und in welcher Kostenhöhe Schäden an welchem Infrastrukturtyp entstanden waren, studierten die beiden Autoren viele verschiedene Zeitungen und Statistiken aus Staatsarchiven (Fritsche & Fäh, 2009, S.425f). Die aus dieser Recherche gesammelten Daten sind in ihrer Arbeit graphisch dargestellt. Des Weiteren versuchten die beiden Autoren die Verteilung der Höhe an Schäden in den verschiedenen Distrikten des Kanton Wallis wissenschaftlich zu ergründen, wobei dies aufgrund von unvollständigen Datenreihen ein schwieriges Unterfangen war (Fritsche & Fäh, 2009, S.427ff). Besondere Aufmerksamkeit wurde den Schäden in den beiden Städten Sion und Sierre gewidmet. In Feld-Experimenten an 190 Standorten wurde jeweils die Grundresonanzfrequenz des Bodens durch die Auswertung der gemessenen Umgebungsvibrationen bestimmt. Die Untersuchung zeigte, dass sich in Teilen dieser beiden Städte der Boden, der bis zu einer 1000 Meter dicken See- und Flusssedimentschicht besteht, bei der Anregung durch seismische Wellen ungünstig verhält. Damit konnten die beiden Forscher aufzeigen, warum die Schäden nicht in allen Quartieren gleich gross ausfielen (Fritsche & Fäh, 2009, S.426ff).

Secondary effects	Number of effects		
	January 25	May 30	Total
Large rockfalls	1	1	2
Rockfalls	20	21	41
Landslides	11	3	14
Cracks in the ground	6	0	6
Terrain changes	6	0	6
Avalanches	4	0	4
Effects on springs	11	0	11
Visual phenomena	4	0	4
Total	63	25	88

Abbildung 2: Anzahl der aufgetretenen Nebenwirkungen nach dem Erdbeben vom 25. Januar 1946 und dem Nachbeben vom 30. Mai 1946

In einem weiteren Abschnitt stehen die durch das Erdbeben und das grosse Nachbeben von 1946 ausgelösten Naturgefahren im Vordergrund. Es gibt unter anderem eine Tabelle, in welcher aufgelistet ist, welche Ereignisse wie oft eingetreten sind. Dabei wird klar unterschieden, welche Ereignisse nach dem Erdbeben vom 25. Januar 1946 und welche nach dem grossen Nachbeben vom 30. Mai 1946 hervorgerufen worden sind (siehe Abbildung 2).

Ausserdem enthält die Arbeit eine schematische Karte, auf welcher die verschiedenen Naturgefahren aus Abbildung 2 eingezeichnet sind (siehe Abbildung 3) (Fritsche & Fäh, 2009, S.430f).

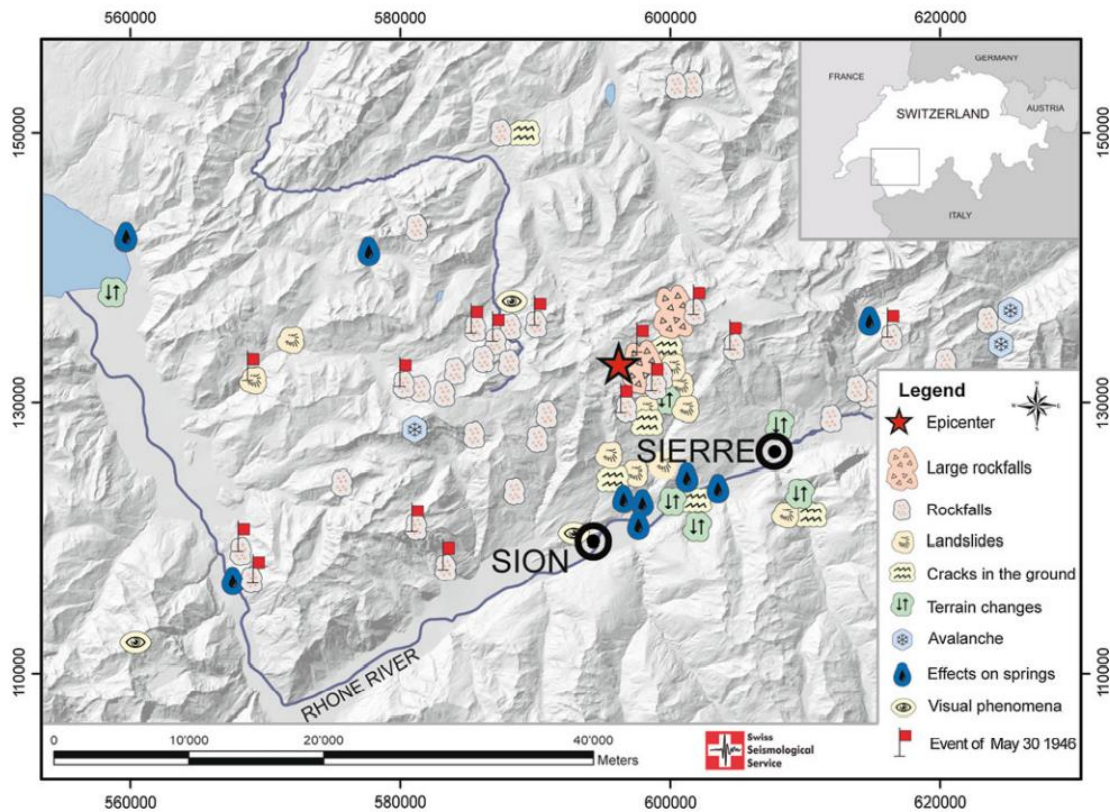


Abbildung 3: Verteilung der aufgetretenen Nebenwirkungen nach dem Erdbeben vom 25. Januar 1946 und dem Nachbeben vom 30. Mai 1946

Die beiden Autoren gelangten zur Erkenntnis, dass das Ausmass der Schäden sowohl von den aufgetretenen «site-effects» als auch von der Lage und Beschaffenheit der Gebäude (Stein- oder Holzbau) abhängt. In Bezug auf die Nebenwirkungen zogen Stefan Fritsche und Donat Fäh den Schluss, dass diese vor allem auf der Nordseite des Haupttals nach dem Ereignis vom 25. Januar 1946 und in unmittelbarer Nähe des Epizentrums aufgetreten waren (Fritsche & Fäh, 2009, S.437f).

Für die vorliegende Arbeit waren besonders die beiden Grafiken aus der Publikation von Stefan Fritsche und Donat Fäh hilfreich. Sie lieferten einen ersten Anhaltspunkt, welche Naturgefahren in welchem Tal nach welchem Ereignis ausgelöst wurden und bildeten damit die Grundlage für das Studium von alten Landeskarten und Luftbildern. Um effizient herausfinden zu können, bei welchen Koordinaten sich nach dem Erdbeben und dem Nachbeben bei Sierre von 1946 Sturzprozesse ereignet hatten, wurde Kontakt mit einem der beiden Verfasser der Arbeit «*The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*» aufgenommen. Freundlicherweise stellte Professor Donat Fäh eine Auflistung mit allen Nebenprozessen der Erdbeben und deren Schweizer Landeskoordinaten für die vorliegende Arbeit zur Verfügung. Damit konnten die Ereignisse auf der Landeskarte gefunden und gekennzeichnet werden.

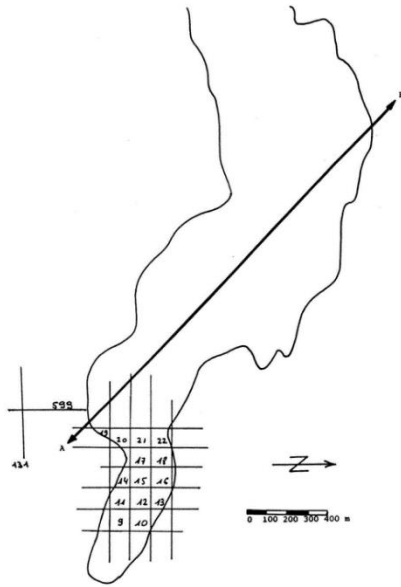


Abbildung 4: Untersuchungsgebiet von Dussex und Yersin

Bezüglich der Entwicklung der Vegetation nach dem Bergsturz an der Südflanke des Rawilhorns, bezieht sich diese Arbeit des Weiteren auf die Publikation «*Dynamique de la végétation du pierrier de Serin*» von Armand Dussex und Anne-Marie Yersin. Dussex und Yersin untersuchten 1983, also 37 Jahre nach dem Ereignis, die Entwicklung des Baum- und Pflanzenbewuchs im untersten Teil des Ablagerungsgebietes östlich der Koordinatenlinie 599'100 (siehe Abbildung 4). Sie fokussierten sich auf diesen Teil, weil der Bewuchs dort am weitesten fortgeschritten war (Dussex & Yersin, 1984, S.102). Weiter beschrieben die beiden Autoren im untersuchten Bereich ein Rinnsal (Koordinaten: 599'150 / 131'550), das zwischen grossen Blöcken entspringt und etwa hundert Meter weiter unten versickert. Die grüne Umgebung in diesem Bereich hob sich von der Umgebung deutlich ab (Dussex & Yersin, 1984, S.101). In ihrer Arbeit erfassten sie für eine Fläche von drei Hektaren (südwestlichster Punkt: 599'400 / 131'400, nordöstlichster Punkt: 599'500 / 131'700) die Verteilung der Baumarten Europäische Lärche (*Lárix decídua*, etwa 50%), Rottanne (*Píceá ábies*, etwa 30%), verschiedene Weiden (*Sálix*, 19%) und andere (1%) (Dussex & Yersin, 1984, S.102). Die Absenz anderer in der Region auftretender Spezies wurde auf verschiedene Ursachen zurückgeführt: Die Weissstanne (*Ábies álba*) benötigt lockeren und feuchten Boden. Die Waldföhre (*Pínus sylvéstris*) bevorzugt etwas tiefere Höhenlagen. Bei der Bergföhre (*Pínus múgo*) befanden sich die nächsten Exemplare für eine Vermehrung zu weit weg vom Gebiet. Die Dominanz der Europäischen Lärche (*Lárix decídua*) beruht auf deren geringen Ansprüchen, sowie der von ihr begehrten ausgiebigen Besonnung, während die Rottanne (*Píceá ábies*) schattigeren Raum bevorzugt. Im Endstadium sei jedoch ein grösserer Anteil Rottannen (*Píceá ábies*) zu erwarten, da zunehmender Bewuchs stärkere Beschattung erzeuge. Allerdings war der Wiederbewuchs des Gebietes nach 37 Jahren noch in einem Frühstadium (Dussex & Yersin, 1984, S.106f). Dussex und Yersin stellten 1983 fest, dass die grössten Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) 3m hoch waren. Den Pflanzenbewuchs untersuchten sie nach der Methode von Braun-Blanquet (Dussex & Yersin, 1984, S.102). Aus den pflanzensoziologischen Aufnahmen ging als wichtigste Pflanze die Alpen-Pestwurz (*Petasítes paradóxus*) hervor. Zahlreiche Zeigerpflanzen wiesen bereits damals auf einen genügend stabilisierten Untergrund hin. Die Existenz von feinkörnigem Material (Durchmesser kleiner als 1cm) und die humusfreie Gesteinsoberfläche gestatteten den Wuchs vieler Pionierpflanzen (Dussex & Yersin, 1984, S.113).

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Erdbeben

Durchschnittlich bebt die Erde mehr als hundert Mal an einem Tag. Diese Erschütterungen hängen in den meisten Fällen mit der Plattentektonik zusammen. Die Plattentektonik beschäftigt sich mit den tektonischen Vorgängen der Lithosphäre, die aus der Erdkruste und dem obersten Bereich des Erdmantels besteht. Erst im vergangenen Jahrhundert konnte die Ursache für das Entstehen von Erdbeben endgültig geklärt werden. Die Erkenntnis, dass die Kontinentalplatten nicht auf der Erdkruste fixiert sind, sondern sich stetig bewegen, hat wesentlich zum Verständnis von Erdbeben beigetragen (Aufmkolk & Liebsch, 2020).

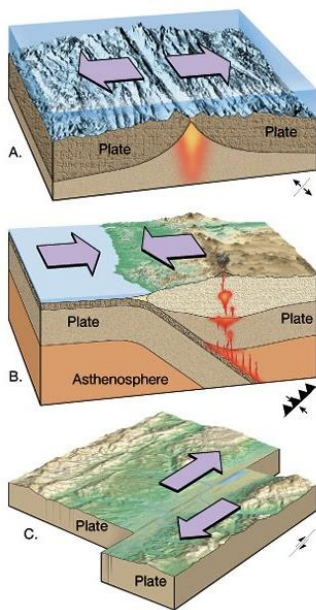


Abbildung 5: Typen von Plattengrenzen

Die Erdkruste besteht aus vielen unterschiedlich grossen Lithosphärenplatten, die von einander wegdriften (divergierende Plattengrenze, siehe Abbildung 5.A.), sich aneinander reiben (konservative Plattengrenze, siehe Abbildung 5.C.) oder sich auf einander zu bewegen (konvergierende Plattengrenze, siehe Abbildung 5.B.). Die Bewegungen der Lithosphärenplatten werden auch unter dem Begriff **Kontinentaldrift** zusammengefasst. Der Antreiber für den Kontinentaldrift sind sogenannte Konvektionsströmungen im Erdmantel, die heisses Magma nach oben in Richtung Erdoberfläche befördern. An den Plattengrenzen kann das Magma die Erdkruste durchbrechen und bis an die Erdoberfläche gelangen. Während sich an den divergierenden Plattengrenzen neue Erdkruste bildet, taucht an den konvergierenden Plattengrenzen eine Platte unter die andere ab. In der Geologie wird dies als **Subduktionszone** bezeichnet. In Subduktionszonen entstehen durch das Verhaken von Verwerfungen (tektonische Bruchstellen im Gestein) der verschiedenen Platten riesige Spannungen. Durch den Kontinentaldrift bewegen sich die Platten immer weiter bis der Druck zu gross wird und sich ruckartig entlädt. Das Gestein bricht auseinander (Aufmkolk & Liebsch, 2020). Die dabei freigesetzte Energie verbreitet sich in Form von seismischen Wellen durch die Erde und verursacht die bei einem Erdbeben wahrgenommenen Erschütterungen (SED, o.J.a).

Am häufigsten treten starke Erdbeben an konvergierenden Plattengrenzen in den Subduktionszonen auf. Doch auch bei der frontalen Kollision von zwei Platten, d.h. bei der Bildung von neuem Gebirge, können Erschütterungen entstehen. Des weiteren können Erdbeben an konservativen Plattengrenzen wahrgenommen werden. An diesen **Transformstörungen** verhaken sich die Platten ineinander und können folglich nicht aneinander vorbeigleiten. Die dabei aufgebauten Spannungen lösen sich, in dem das Gestein bricht, eine Platte «weberspringt» und um mehrere Meter versetzt wird (Aufmkolk & Liebsch, 2020).

Im Zusammenhang mit Erdbeben werden häufig die Begriffe Hypozentrum und Epizentrum verwendet (siehe Abbildung 6). Unter **Hypozentrum** versteht man die Lage des Erdbebenherdes im Erdinnern. Das Hypozentrum ist jener Ort, von welchem sich die seismische Wellen in alle Richtungen ausbreiten. Das **Epizentrum** hingegen ist die senkrechte Projektion des Hypozentrums auf jenen Ort auf der Erdoberfläche, der sich genau über dem Hypozentrum befindet (SED, o.J.a).

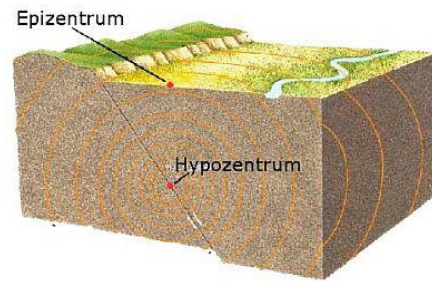


Abbildung 6: Lage von Hypo- und Epizentrum

Um Erdbeben besser einordnen und miteinander vergleichen zu können, ist die Magnitude eingeführt worden. Die **Magnitude** ist ein Mass für die beim Erdbeben freigesetzte Energie und gibt dadurch Auskunft über die Stärke eines Erdbebens. Grundsätzlich gilt: *Je grösser die Magnitude, desto stärker die Erschütterungen während des Erdbebens.* Die Magnitude ist ein **ortsunabhängiger**, logarithmischer Wert. Eine Zunahme um eine Magnitude bedeutet ungefähr eine Verdreissigfachung der freigesetzten Energie. Somit verdoppelt sich die Stärke eines Erdbebens bereits bei einem Anstieg der Magnitude um 0.2. Im Verlauf des letzten Jahrhunderts sind verschiedene Magnitudenskalen entwickelt worden. Die erste Skala hat 1935 nach ihrem Erfinder Charles Richter den Namen **Richterskala** erhalten. Allerdings ist die Richterskala, die auch Lokalbebenmagnitude genannt wird, nur zuverlässig für Messstationen, die eine Distanz von weniger als 600 km zum Erdbebenherd aufweisen. Ausserdem nimmt die Genauigkeit ab, wenn die Magnitude kleiner als zwei oder grösser als sechs ist. Aufgrund dieser Nachteile sind weitere Skalen wie beispielsweise die Momentmagnitude entwickelt worden. Die **Momentmagnitude** kann auch die Energie von starken Erdbeben einordnen und ist zudem für globale Vergleiche geeignet (SED, o.J.a).

EMS-98 Intensität	Geführt	Auswirkungen	Magnitude (Näherungswerte)	Gebäudeschäden (Mauerwerk)
I	Nicht fühlbar	Nicht fühlbar	2	
II-III	Schwach	Von wenigen Personen in Gebäuden wahrgenommen. Ruhende Personen fühlen ein leichtes Schwingen oder Schütteln.	3	
IV	Leicht	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.	4	
V	Moderat	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen, wenige reagieren verärgert. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.	5	
VI	Stark	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Risse im Mauerwerk oder Verputz.	6	
VII	Sehr stark	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen aus Regalen. An solide gebauten Häusern treten häufig mässige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Schäden am Verputz, Herabfallen von Ziegeln). Vor allem Gebäude in schlechterem Zustand erleiden grössere Mauerrisse und Zwischenwände stürzen ein.	7	
VIII	Hefig	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An den meisten Gebäuden mit einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf, beispielsweise stürzen Gibetteile und Dachsimse ein.	8	
IX	Sehr heftig	Allgemeine Panik. Sogar gut gebaute Bauten zeigen sehr schwere Schäden und tragende Bauteile stürzen teils ein. Viel schwächere Bauten stürzen ein.	9	
X+	Extrem	Die meisten Bauwerke, selbst sehr solide gebaute, erleiden schwere Beschädigungen oder stürzen ein.	10	

Abbildung 7: Intensität und Magnitude im Vergleich

Ebenfalls ein Mass für die Stärke eines Erdbebens ist die Intensität. Im Gegensatz zur Magnitude bezieht sich die Intensität aber nicht auf die Energiemenge, die freigesetzt wurde, sondern auf das Ausmass der Zerstörung an Gebäuden oder in der Landschaft durch das Erdbeben. Die **Intensität** ist **ortsabhängig** und kann je nach Distanz zum Epizentrum und der jeweiligen Bodenbeschaffenheit beim gleichen Erdbeben verschiedene Werte annehmen. Typischerweise wird die Intensität basierend auf der **Europäischen Makroseismischen Skala (EMS)** in römischen Ziffern von I bis XII angegeben, wobei I für «nicht spürbares Beben» und X für «totale Zerstörung» steht (SED, o.J.a). Eine Übersicht zur Magnituden- und Intensitätsskala ist auf Abbildung 7 zu sehen.

Ein dritter wichtiger Ausdruck neben Magnitude und Intensität ist der Begriff **Schütterradius**. Mit diesem bezeichnet man das Gebiet, in welchem die Erschütterungen des Erdbebens von Menschen wahrgenommen werden können. Der Schütterradius wird in Kilometern angegeben und steht für den Abstand vom Epizentrum bis zum äussersten Rand des Gebietes, in welchem das Erdbeben verspürt worden ist (Gisler & Fäh, 2008, S.137).

2.2 Sturzprozesse

Ein Bergsturz ist ein Sturzprozess. Unter dem Begriff **Sturzprozess** versteht man eine Massenbewegung, bei welcher Gesteinsmaterial aus dem Gebirge aufgrund der Schwerkraft fällt. Das Gesteinsmaterial, welches Festgestein und Lockergestein enthalten kann, stürzt grösstenteils in der Luft, springt, rollt oder gleitet teilweise in die Tiefe (BAFU, 2015). **Festgesteine** bestehen entweder aus einer einzelnen oder mehreren verschiedenen Mineralarten und bilden die Grundlage der Erdkruste und des Erdmantels. Sie weisen die typischen Eigenschaften eines Festkörpers auf und zeichnen sich durch ihre Erosionsresistenz aus. **Lockergesteine** hingegen enthalten nicht verfestigte und nicht verkittete Gesteinsfragmente, Minerale und organische Masse (Dikau et al., 2019, S.86).

Neben dem Bergsturz gehören auch Steinschlag, Blockschlag und Felssturz zu den Sturzprozessen. Nachfolgend werden die verschiedenen Typen von Sturzprozessen definiert:

Unter **Steinschlag** wird der plötzliche Absturz von einzelnen Steinen als Folge der stetigen Verwitterung verstanden (PLANAT, 2012, S.5). In der Regel haben die fallenden Steine einen Durchmesser, der kleiner als 50 cm ist. Während des Absturzes erreichen die Steine eine Geschwindigkeit von bis zu 30 m/s (BAFU, 2015, S.1f). Die Steine kommen zum Stillstand, wenn die Hangneigung weniger als 30° beträgt oder wenn sie durch Vegetation (Bäume oder Wald) in ihrer Bewegung gestoppt werden (PLANAT, 2012, S.5). Bereits ein Steinschlag mit einem relativ kleinen Stein kann tödlich enden. Je grösser die einzelnen Komponenten bei einem Steinschlag werden, desto grösser ist ihre Zerstörungskraft während des Fallens. Erst wenn das Gesteinsmaterial beim Ausrollen an Geschwindigkeit verliert, nimmt die Intensität ab (PLANAT, o.J.c).

Ein **Blockschlag** ist dem Steinschlag sehr ähnlich, mit dem Unterschied, dass die einzelnen Felskomponenten beim Blockschlag eine grössere Kubatur aufweisen. Oftmals besitzen die Einzelblöcke einen Durchmesser, der über 50 cm liegt. Das Gesamtvolumen des abgestürzten Gesteinsmaterials beträgt aber immer noch weniger als 100 m³ und unterscheidet sich in dieser Hinsicht von einem Felssturz (BAFU, 2015, S.1f). Genauso wie Steinschläge treten Blockschläge spontan und ohne Vorankündigung auf. Es ist daher selten möglich eine Evakuierung von Personen vorzunehmen (PLANAT, o.J.c).

Ein **Felssturz** ist definiert als Abbruch von grossen, zusammenhängenden Felspaketen aus einer Felswand. Die fallenden Kubaturen betragen zwischen 100 und 1 Million m³ (PLANAT, 2012, S.1). Das Gesteinsmaterial kann während eines Felssturzes eine Geschwindigkeit zwischen 10 m/s und 40 m/s erreichen. Bei Berührungen mit dem Untergrund während des Fallens zerbrechen die Felspakete in eine Vielzahl von Fragmenten (BAFU, 2015, S.1f). Felsstürze führen zu Überschüttungen und Zerstörungen

und verändern so die Landschaft grossflächig. Oftmals kündigen sich Felsstürze durch erhöhtes Auftreten von Stein- und Blockschlägen im Vorfeld des Ereignisses an (PLANAT, o.J.c). Ein Felssturz hat im Vergleich zum Bergsturz ein kleineres Sturzvolumen, eine geringere Fallgeschwindigkeit und deutlicher geformte Ablagerungen (BAFU, 2015, S.1f).

Als **Bergsturz** bezeichnet man einen Sturzprozess, bei welchem eine Kubatur von mehr als 1 Million m³ Fest- und Lockergestein bewegt wird. Der Auslöser eines Bergsturzes ist meistens der Kollaps eines Hanges oder eines Felskliffs im Zusammenhang mit einer Entfestigung des Gesteinsmaterials. Ausserdem können vorgängige Starkniederschläge und Erdbeben einen Bergsturz hervorrufen. Ein Bergsturz lässt sich in drei Teilphasen gliedern: Materialablösung, Materialtransport entlang eines steilen Hangs und Materialdeposition im Ablagerungsgebiet. Beim Materialtransport erreicht die fallende Gesteinsmasse häufig eine Geschwindigkeit von mehr als 40 m/s (Dikau et al., 2019, S.219ff). Während des Fallens kann das Gesteinsmaterial, das auch **Sturzstrom** genannt wird, durch die Reibung und die daraus entstehende Wärme zu Gesteinsmehl verarbeitet oder sogar aufgeschmolzen werden (PLANAT, o.J.a). Auch Teile der Felsböschung können bei einem Bergsturz mitgerissen werden. Da Pflanzen Wasser enthalten, kann es zu Schmierprozessen zwischen dem Sturzstrom und dem Untergrund kommen. Die Reibung wird vermindert und die Geschwindigkeit erhöht. Die Bergsturzmasse kann innert kurzer Zeit eine Distanz von mehr als 10 km zurücklegen und wird häufig erst beim Aufbränden am Gegenhang gestoppt (Dikau et al., 2019, S.219ff). Der Bergsturz zählt daher zu den Massenbewegungen mit der höchsten Mobilität. Dieser kann durch Übersättigung, Aufstauen von Bächen und Flüssen oder Flutwellen beim Sturz des Materials in ein Gewässer riesige Schäden in der Landschaft und an der Infrastruktur anrichten und Siedlungsgebiete in Lebensgefahr bringen (PLANAT, o.J.a).

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem die grossen Ereignisse (Fels- und Bergsturz) von Bedeutung. Die Auswirkungen dieser Sturzprozesse auf die Landschaft sind weitaus prägender als jene eines einzelnen Steins oder Blocks und lassen sich auch nach vielen Jahren noch beobachten.

2.2.1 Anriss- und Ablagerungsgebiete von Sturzprozessen

Die **Ausbruchgebiete** von Sturzprozessen sind Felsgebiete und Zonen mit Lockergestein (z.B. Moränen oder Ablagerungen von Sturzmaterial früherer Ereignisse) (PLANAT, o.J.c). Das Gelände weist typischerweise eine **Hangneigung von mehr als 30°** auf. In einem weniger steilen Gelände (Hangneigung < 25°) kommt die stürzende Gesteinsmasse schneller zum Stillstand und erreicht oftmals den Talgrund nicht. Die Auslösung von Sturzprozessen ist neben der Neigung in erster Linie von den geologischen Bedingungen abhängig. Entscheidend dabei sind die **Beschaffenheit des Gesteins** und der **Verlauf von Spalten, Klüften und verschiedenen Gesteinsschichten** (BAFU, 2015, S.1). Geologische Trennflächen im Felsmaterial sind prädestiniert für den Abbruch von Gesteinsmaterial. Eine geologische Trennfläche ist eine Grenzfläche, an welcher sich die chemischen oder physikalischen Eigenschaften des Gesteins sprunghaft ändert (PLANAT, o.J.c). Des Weiteren kann Wasser bei der Auslösung eine tragende Rolle spielen. Wechselt Wasser vom flüssigen in den festen Aggregatzustand, dehnt es sich aus. Risse und Spalten im Gebirge werden verbreitert, was zur Absprengung von Steinen, Blöcken oder ganzen Felsbändern führen kann. Mit Wasser gefüllte Hohlräume im Gestein können je nach Wassersäule ebenfalls Sturzprozesse hervorrufen. Weitere Faktoren wie Wurzeldruck durch wachsende Vegetation, Verwitterung, Windböen, welche auf im Gestein verwurzelte Bäume einwirken, und Erschütterungen (Erdbeben) können Sturzprozesse auslösen. Bei Fels- und Bergstürzen löst sich das Gesteinsmaterial meist als zusammenhängende Masse aus einem Felsband. Bei Stein- und Blockschlägen können die Sturzkomponenten entweder aus einer Felswand (primäre Quelle) oder aus einer am Hang gelegenen Gesteinsablagerung (sekundäre Quelle) in Bewegung versetzt werden (BAFU, 2015, S.1).

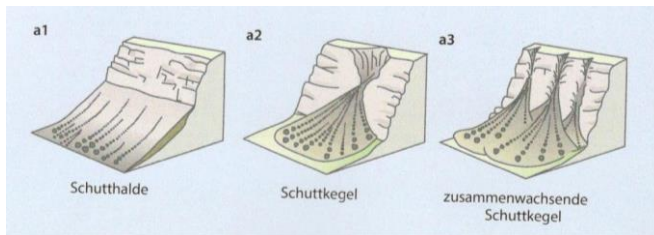


Abbildung 8: Akkumulationsformen in der Sturzhalde

Die Gesteinsablagerungen bei Sturzprozessen enthalten vor allem kantiges Material. Die einzelnen Komponenten werden durch den Sturzprozess gemäss ihrer Kubatur geordnet: Kleinere Steine und Blöcke bleiben weiter oben liegen, grössere weiter unten. Die Gesteinsansammlungen im Ablagerungsgebiet, auch unter dem Begriff **Sturzhalde**

bekannt, können je nach Sturzprozess unterschiedliche geomorphologische Formen haben (BAFU, 2015). Grundsätzlich wird unterschieden zwischen Schutthalde, Schuttkegel und zusammenwachsende Schuttkegel (Dikau et al., 2019, S.66). Diese drei verschiedenen Akkumulationstypen sind auf der Abbildung 8 zu sehen. **Schutthalden** werden durch die ständige Zufuhr von Steinen und Blöcken aus einem breiten Band von darüber liegenden Hängen und Felswänden gebildet. **Schuttkegel** hingegen sammeln das Gesteinsmaterial, welches durch eine Rinne transportiert wurde. Schuttkegel weisen eine breite Basis auf und sind nach aussen gewölbt. Die fallenden Felskomponenten verteilen sich entlang der Schuttkegel auf alle Seiten. Schuttkegel von parallel verlaufenden Rinnen können sich bei ständiger Verbreiterung der Basis zu **zusammengewachsenen Schuttkegeln** entwickeln (PLANAT, o.J.c). Die erwähnten Ablagerungsformen sind vor allem bei Ereignissen mit kleinen Kubaturen typisch. Flache Gesteinsakkumulationen im Gegenzug sind oftmals das Überbleibsel von Sturzprozessen mit einem grossen Volumen an Gesteinsmaterial (BAFU, 2015). Das Ablagerungsmaterial von Bergstürzen bedeckt daher grosse Flächen und hat Auslaufstrecken, die oftmals das zehnfache der Fallhöhe betragen. Die geometrische Form der abgelagerten Gesteinsmasse lässt sich als hügelige Oberfläche mit Rücken und Senken beschreiben. Da das Material während des Bergsturzes durch das Gleiten auf dem Hang und die entstehende Reibung in Trümmerfragmente zerteilt wird, findet man selten grosse Felsblöcke in der Sturzhalde (Dikau et al., 2019, S.219ff).

2.2.2 Kubaturen bei Sturzprozessen

Die Sturzprozesse werden üblicherweise nach der fallenden **Gesamtkubatur** und der **Volumina** der einzelnen Gesteinskomponenten eingeteilt. Die nachfolgende Tabelle liefert zusammenfassend die groben Richtlinien zur Klassifizierung der Sturzprozesse:

Sturzprozess	Kubatur
Steinschlag	Durchmesser < 50 cm
Blockschlag	Durchmesser \geq 50 cm; Volumen kleiner als 100 m ³
Felssturz	100 – 1'000'000 m ³
Bergsturz	>1'000'000 m ³

Tabelle 1: Charakterisierung der Sturzprozesse bezüglich ihrer Kubatur

2.3 Biogeomorphologische Sukzession im Gebirge

Beim Auftreten eines **Ereignisses mit einer hohen Zerstörungskraft** (z.B. Hochwasser, Sturmflut, Murgang und Bergsturz) kommt es zu massiven Eingriffen in die lokalen Ökosysteme. Meist wird dabei die vorhandene Vegetation grösstenteils oder sogar ganz zerstört. Im Anschluss an ein solches Ereignis beginnt daher eine Vegetationssukzession, bei welcher über einen längeren Zeitraum Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Struktur des Ökosystems stattfinden. Diese ablaufenden ökologischen Prozesse sind stark von den vorhergehenden geomorphologischen Prozessen abhängig, weshalb in diesem Zusammenhang auch von **biogeomorphologischer Sukzession** gesprochen wird. Die biogeomorphologische Sukzession läuft je nach Umgebung (z.B. Fluss, Küste oder Moräne) unterschiedlich

schnell ab. Grundsätzlich kann man aber in jedem Fall vier aufeinanderfolgende Phasen erkennen (Dikau et al., 2019, S.407).

In der **geomorphologischen Phase** dominieren sogenannte **abiotische Prozesse**. Unter abiotisch versteht man, dass keine Interaktionen mit Lebewesen stattfinden. Die erste Phase der Sukzession zeichnet sich durch eine hohe geomorphologische Aktivität (z.B. wiederholter Steinschlag) aus, welche das Ökosystem massgebend prägt und die Ansiedlung von Pflanzen verhindert. Daneben werden bei Ereignissen wie einem Bergsturz aber auch Samen, Pflanzenteile oder ganze Pflanzen aus der Felsböschung herausgerissen und transportiert. Im Ablagerungsgebiet können diese später keimen oder erneut Wurzeln ausschlagen. Zusätzlich kann der Wind Pflanzensamen bewegen und im Ablagerungsgebiet absetzen. Die Dauer der geomorphologischen Phase kann je nach Umgebung von einigen Stunden bis Tagen (nach einer Sturmflut oder einem Bergsturz) bis zu mehreren Jahren oder Jahrzehnten (im Gletschervorfeld) betragen (Dikau et al., 2019, S.409f).

Während der **Pionierphase** kontrollieren abiotischen Prozesse die biotischen Prozesse, an welchen Lebewesen beteiligt sind. Unter anderem durch geomorphologische Prozesse gelangen Pflanzensamen ins Ablagerungsgebiet. Ob diese Samen dort tatsächlich keimen und wachsen können, hängt aber von der Häufigkeit und der Stärke der später auftretenden geomorphologischen Ereignissen ab. Diese wirken auf die Vegetationsentwicklung wie ein Filter. Sie bestimmen, welche Arten sich im Ablagerungsgebiet behaupten und ansiedeln können. Die sich durchsetzenden Pflanzen werden auch als **Ökosystemingenieure** bezeichnet (Dikau et al., 2019, S.410). Durch ihr Wachstum und ihre Vermehrung erhöhen sie die Oberflächenrauigkeit. Dies führt zu einer Verringerung der Geschwindigkeit von später fallendem Gesteinsmaterial und fördert dessen Ablagerung. Ökosystemingenieure zeichnen sich durch die Fähigkeit aus, geomorphologische Prozesse und die Verfügbarkeit von Ressourcen wesentlich beeinflussen und verändern zu können. Dadurch können sie neue, passendere Lebensräume für sich und für andere Tier- und Pflanzenarten schaffen, was die Sukzession weiter antreibt. Ökosystemingenieure können durch ihre Einwirkung die Artenzusammensetzung und auch die Funktion eines Ökosystems steuern. Neben Pflanzen können auch Tiere Ökosystemingenieure sein. Murmeltiere beispielsweise graben komplexe Höhlensysteme, welche zur Destabilisierung von Hängen führen, was weitere geomorphologische Prozesse auslösen kann (Dikau et al., 2019, S.402f). Die Pionierphase im Gebirge (z.B. auf Gletschermoränen) dauert mehrere Jahre bis Jahrzehnte, in Flusssystemen und in der Nähe von Küsten hingegen nur einige Monate (Dikau et al., 2019, S.410).

Die **biogeomorphologische Phase** beginnt mit der zunehmenden Aktivität und Einflussnahme der Ökosystemingenieure. Dadurch entstehen Wechselwirkungen zwischen biotischen und abiotischen Prozessen. Die Ökosystemingenieure beeinflussen das Auftreten von geomorphologischen Prozessen während die geomorphologischen Prozesse mögliche Pflanzensiedler ins Ablagerungsgebiet befördern. Die biogeomorphologische Phase im Gebirge ist geprägt von Rückkopplungen zwischen Silberwurz (*Dryas octopétala*) und Solifluktion. Unter **Solifluktion** versteht man langsame, grossflächige Fliessbewegungen von Lockergestein, die zur Abtragung von Erdoberfläche an Hängen führen (Dikau et al., 2019, S.410). Silberwurzmatte erhöhen die Oberflächenrauigkeit und verringern dadurch die Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses. So werden Sedimente kleiner Grösse und organisches Material gebremst und in oder unterhalb der Silberwurzmatte akkumuliert. Durch die Ansammlung von Sedimenten und organischem Material wird die Bodenbildung gefördert (Dikau et al., 2019, S.404f). Es entsteht schrittweise ein nährstoffreicher Boden, auf welchem sich weitere Pflanzen erfolgreich ansiedeln können. Die dritte Phase der biogeomorphologischen Sukzession dauert mehrere Jahre bis Jahrzehnte. Bis zum Ende der biogeomorphologischen Phase können sich geomorphologische Formen, wie beispielsweise bewachsene Sedimentbänke, ausbilden (Dikau et al., 2019, S.410).

In der **ökologischen Phase** stehen nun die biotischen Prozesse im Vordergrund, während die geomorphologische Aktivität (abiotischer Prozess) gering ist. Die in den vorderen Sukzessionsphasen entstandenen geomorphologischen Formen stabilisieren sich. Allmählich entstehen Interaktionen zwischen Pflanzen und Tieren und es entwickelt sich ein immer komplexeres Ökosystem. Das Erreichen der letzten von vier Sukzessionsstufen steht im Zusammenhang mit der Verdrängung von Pionierpflanzen, die nach und nach der spätsukzessionalen Vegetation Platz machen müssen. Es bildet sich dank der Aktivität verschiedenster Lebewesen ein sogenannter autogener Boden aus. Die ökologische Phase kann sich über einen Zeitraum von Jahrzehnten bis Jahrhunderten erstrecken und findet ihr Ende nur durch das Auftreten eines Ereignisses mit hoher Zerstörungskraft. Ein solches Ereignis zerstört das kontinuierlich aufgebaute Ökosystem wieder und die biogeomorphologische Sukzession beginnt wieder von neuem (Dikau et al., 2019, S.410).

Die biogeomorphologische Sukzession ist ein sich fortan wiederholender **Zyklus**, dessen Dauer von verschiedenen Faktoren abhängig ist. Besonders häufig hat die Ausbreitung und Vermehrung von Ökosystemingenieuren einen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Sukzession. Der schematische Ablauf der biogeomorphologischen Sukzession auf Moränen ist auf der Abbildung 9 zu sehen. Interessanterweise tritt die biogeomorphologische Sukzession auch auf sehr kleinen Flächen auf. Dadurch können auf sehr engem Raum verschiedene Phasen der Sukzession beobachtet werden (Dikau et al., 2019, S.411).

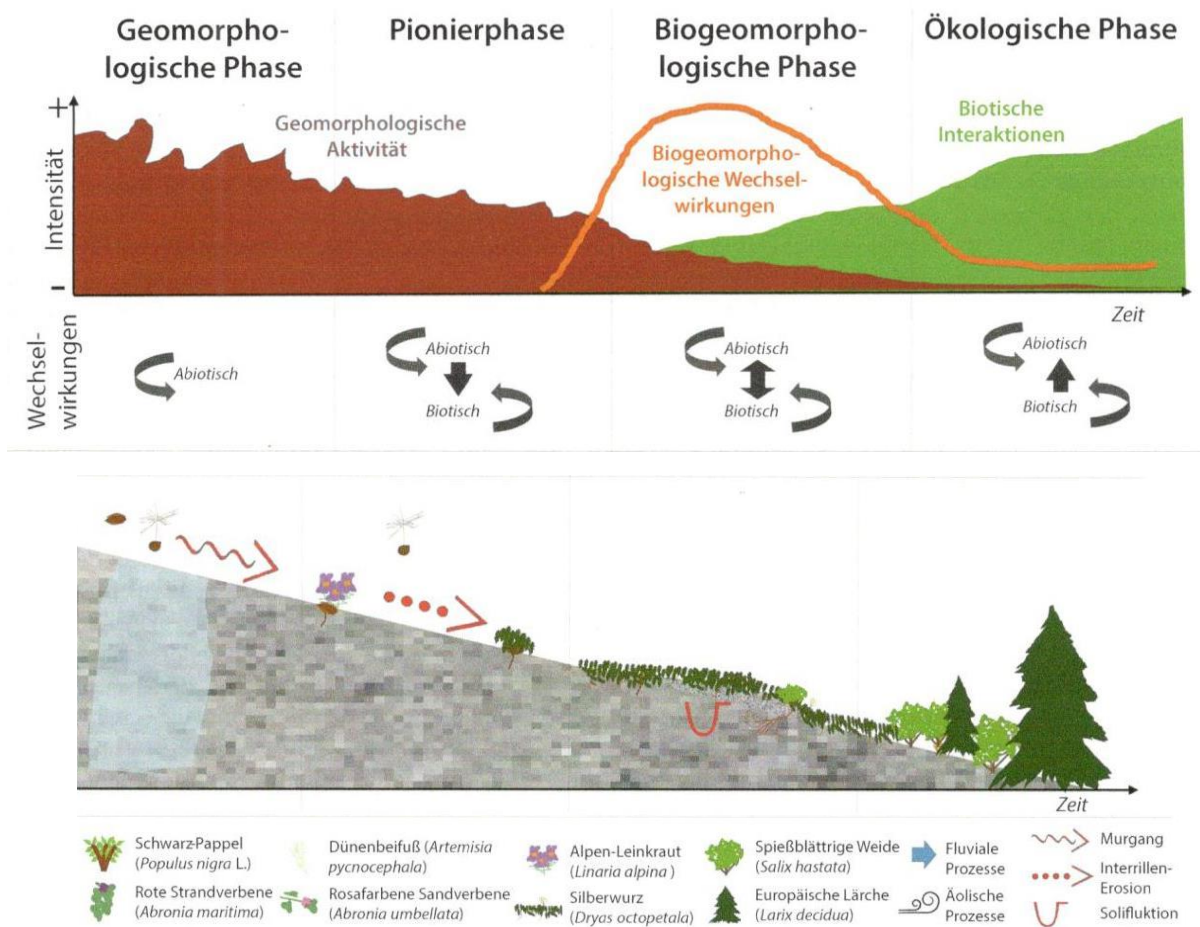


Abbildung 9: Ablauf der biogeomorphologischen Sukzession auf einer Moräne

Für jede Phase der biogeomorphologischen Sukzession gibt es bestimmte **Zeigerpflanzen**, die darauf hinweisen, in welchem Stadium sich die Vegetationsentwicklung gerade befindet. Das Untersuchungsgebiet kann von der Höhenlage und dem Untergrund am ehesten mit der Sukzession auf Moränen verglichen werden, weshalb diese als Wissensgrundlage fungiert. Typisch für die Pionierphase der biogeomorphologischen Sukzession auf Moränen ist das kurzlebige **Alpen-Leinkraut** (*Linária alpína*, siehe Abbildung 10) (Dikau et al., 2019, S.410). Das Alpen-Leinkraut (*Linária alpína*) gehört zu den Wegerichgewächsen und wächst bodennah auf kalkhaltigem Felsschutt und Moränen in den Voralpen und Alpen. Die Pflanze mit auffallend blauvioletter Krone und einem orangeroten bis weisslichen Gaumen erreicht nur selten eine Grösse, die 10 cm übersteigt (Lauber et al., 2018, S.896). Während der biogeomorphologischen Phase wird das Alpen-Leinkraut (*Linária alpína*) von der **Silberwurz** (*Drýas octopétala*, siehe Abbildung 11) als dominierende Pflanzenart abgelöst (Dikau et al., 2019, S.410). Die Silberwurz (*Drýas octopétala*) ist der Pflanzenfamilie der Rosengewächse angehörig und ist auf Felsschutt, Felsen, steinigen Rasen sowie kalkhaltigem Untergrund zu finden. In der Schweiz wächst die Silberwurz (*Drýas octopétala*) in den Alpen, Voralpen und z.T. auch im Jura als liegender Zwergstrauch mit achtblättrigen, weissen Blüten, die sich 5 bis 10 cm vom Boden entfernt befinden (Lauber et al., 2018, S.264). Die Silberwurz (*Drýas octopétala*) bildet eine Matte, die als Siedlungsgrundlage für Pflanzen in späteren Sukzessionsstadien dient. Besonders die **Spiessblättrige Weide** (*Sálix hastáta*, siehe Abbildung 12) wächst gerne inmitten der Silberwurzmatte (Dikau et al., 2019, S.410). Die Spiessblättrige Weide (*Sálix hastáta*) gehört zu den Weidengewächsen und wird 0.5 bis 1.5 m hoch. Man findet sie im Gletschervorfeld und auf feuchten, felsigen Rasen in den Alpen und am Alpenrand. Die Blätter haben oberseits eine mattgrüne Farbe und sind 2 cm bis 8 cm lang. Auffällig sind zudem die Blüten, die wie bei allen Weidengewächsen Kätzchen genannt werden (Lauber et al., 2018, S.440). Später, während der ökologischen Phase, wird die Silberwurz (*Drýas octopétala*) von der Spiessblättrigen Weide (*Sálix hastáta*) und der **Europäischen Lärche** (*Lárix decídua*, siehe Abbildung 13) sogar verdrängt (Dikau et al., 2019, S.410). Die Europäische Lärche (*Lárix decídua*), Bestandteil der Familie der Kieferngewächse, kann bis zu 50 m hoch und 1000 Jahre alt werden. Europäische Lärchen (*Lárix decídua*) findet man gesamtschweizerisch in Wäldern. Sie bevorzugt jedoch den subalpinen Bereich, der circa von 1500 m ü. M. bis 2200 m ü. M. reicht (Lauber et al., 2018, S.24; S.100). Die Nadeln der Europäischen Lärche (*Lárix decídua*) sind in Büscheln von 20 bis 40 Stück angeordnet. Im Frühjahr oft hellgrün, verfärben sich die Nadeln im Herbst goldgelb und fallen vor dem Winter ab. Die Europäische Lärche (*Lárix decídua*) ist somit der einzige Nadelbaum der Schweiz, der nicht ganzjährig grüne Nadeln hat (Lauber et al., 2018, S.100).



Abbildung 10:
Alpen-Leinkraut



Abbildung 11:
Silberwurz



Abbildung 12:
Spiessblättrige Weide



Abbildung 13:
Europäische Lärche

2.4 Dendrochronologie

Das Wort Dendrochronologie setzt sich aus den drei griechischen Wörtern dendro (Baum), chronos (Zeit) und logos (Kunde) zusammen und kann im Deutschen als **Baumjahrring-Forschung** bezeichnet werden (WSL, o.J.). Das Hauptziel der Dendrochronologie ist es, jedem Jahresring ein bestimmtes Kalenderjahr zuzuordnen (Cherubini et al., 2004, S.162). Anhand von Untersuchungen der Jahresringe können anschliessend das Auftreten von extremen Naturereignissen sowie die herrschenden Klimaverhältnisse in der Vergangenheit nachgewiesen und zeitlich datiert werden (WSL, o.J.).



Abbildung 14: Jahrringe einer Europäischen Lärche im Untersuchungsgebiet

Die Dendrochronologie nutzt die Tatsache, dass der Stammzuwachs der Bäume von ihrem Alter und allen wirkenden Standortfaktoren abhängig ist und dadurch von Jahr zu Jahr variiert (WSL, o.J.; Cherubini et al., 2004, S.162). Immer im Frühling mit steigenden Temperaturen bilden Nadelbäume **helle, dünnwandige Frühholzzellen** (WSL, o.J.). Diese sind in der Lage grössere Mengen an Wasser und Nährstoffen zu transportieren (Cherubini et al., 2004, S.163). Die **dunklen, dickwandigen Spätholzzellen**, die eine stabilisierende Funktion haben, entstehen jeweils erst gegen Ende des Jahres. Mit dem Wintereinbruch ist die jährliche Wachstumsphase abgeschlossen und der Stamm um einen Jahrring reicher (Dendrosuisse, o.J.; WSL, o.J.).

Die Breite und die Dichte der neuen Jahrringe, respektive das Verhältnis von Früh- und Spätholz, sind eine Art Spiegelbild der klimatischen Verhältnisse und der meteorologischen Ereignisse in der Umgebung des Baumes. Die maximale Spätholzdichte ist beispielsweise ein präziser Indikator für frühere Temperaturverhältnisse während Licht, Temperatur sowie Niederschläge einen Einfluss auf die Zellgrösse und die Zellwandstärke haben (WSL, o.J.). Die in den Jahrringen enthaltenen stabilen Isotope der Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, die im Isotopenlabor gemessen werden können, zeigen Veränderungen der Boden- und Luftfeuchtigkeit und des atmosphärischen Kohlenstoffdioxids sowie Temperaturschwankungen an (Cherubini et al., 2004, S.165). Zusätzlich können Abweichungen von der normalen Zellstruktur in den Jahrringen Verletzungen, die durch Lawinen, Murgänge, Rutschungen oder Wandbrände entstanden sind, abbilden. Diese können mit Hilfe der Jahrringzählung zeitlich datiert werden (WSL, o.J., Cherubini et al., 2004, S.165).

In der Forschung werden vor allem Holzproben von Bäumen untersucht, deren Wachstum primär von einem Klimafaktor beeinflusst wird. In der subalpinen Zone nahe der Baumgrenze (Untersuchungsgebiet) ist es hauptsächlich die Temperatur, welche das Wachstum begrenzt. In trockenen Regionen (z.B. Wallis) ist es die Niederschlagsmenge, welche eine grosse Rolle spielt (WSL, o.J.).

Für dendrochronologische Untersuchungen wird sowohl Material von lebenden Bäumen als auch von verbautem Holz verwendet. Zudem kann auch über Jahre in Seen, Mooren oder Lehm konserviertes Holz (subfossiles Holz) im Labor analysiert werden (WSL, o.J.). Meist werden mit Zuwachsbohrern gewonnene **Bohrkerne** (siehe Abbildung 15) oder mit Motorsägen herausgeschnittene **Stammscheiben** als Probenmaterial ins Labor mitgenommen. Am besten geeignet sind die Stammscheiben, weil sie den gesamten Stamm im Querschnitt abbilden. Der Nachteil der Stammscheiben ist, dass der Baum für die Probenentnahme zwingenderweise



Abbildung 15: Entnahme einer Probe mit dem Zuwachsbohrer

gefällt werden muss. Bei einer Bohrkernentnahme hingegen entstehen keine grösseren Beschädigungen (Cherubini et al., 2004, S.163).

Im Labor können die Jahrringe dieser Proben mit dem Binokular genau ausgemessen werden. Aus den Daten wird eine **Jahrringkurve** erstellt. Die Jahrringkurve ist ein Diagramm, welches auf der x-Achse das Alter des Baumes in Jahren und auf der y-Achse dessen Wachstum (Jahrringbreite) darstellt. Aus der Jahrringkurve eines Baumes kann ein Muster herausgelesen werden (WSL, o.J.). Dieses Muster versucht man in Proben von Bäumen gleicher Art, die unter denselben Standortvoraussetzungen gewachsen sind, wiederzufinden. Diesen Vorgang wird als **Crossdating** bezeichnet. Die Crossdatierung ist

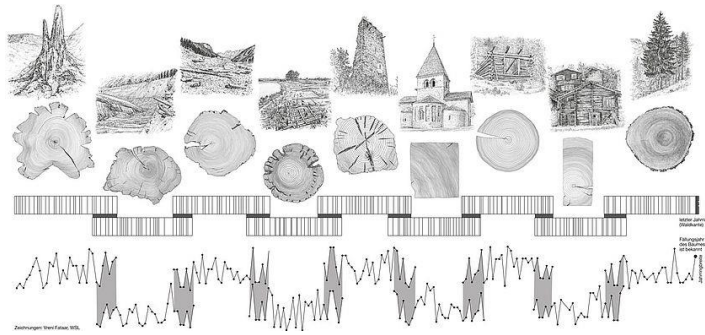


Abbildung 16: Jahrringchronologie

die grundlegende Methode für das wissenschaftliche Arbeiten im Bereich Dendrochronologie (Cherubini et al., 2004, S.165). Setzt man alle abgeglichenen, respektive synchronisierten Muster in den Wachstumskurven zusammen, entsteht eine **Jahrringchronologie** (siehe Abbildung 16). Mit dieser können später historische Baumproben einfach datiert werden (WSL, o.J.).

3 Physisch-geografische Charakteristik des Untersuchungsgebiets

3.1 Ursachen der Erdbeben im Wallis

Die Ursachen für die Erdbeben im Wallis sind vielfältig, hängen jedoch mit der Entstehung der Alpen zusammen. Im Nordwallis sind die Spannungen, die bei der Kollision der europäischen und der afrikanischen Kontinentalplatte (konvergierende Platten) und der Öffnung des Atlantiks entstehen, für die Erdbeben verantwortlich. Im Südwallis werden Erdbeben durch Dehnungen verursacht. Die Dehnungen werden durch Spannungen, die durch die Plattenkollision von Europa und Afrika entstehen und topografisch bedingte Ausgleichsspannungen hervorgerufen (SED, o.J.d). Die Schäden, die bei einem Erdbeben entstehen können, hängen von der Stärke der Erschütterung, der Distanz zum Epizentrum als auch von der Beschaffenheit des lokalen Untergrundes ab. Der Untergrund im Rhonetal besteht aus lockeren Fluss- und Seeablagerungen. Diese können die seismischen Wellen (Erdbebenwellen, die sich vom Hypozentrum aus mit enorm hohen Geschwindigkeiten in alle Richtungen ausbreiten) verstärken und die Intensität der Erschütterungen im Boden verstärken (ETH Zürich, o.J.).

3.1.1 Erdbeben vom 25. Januar 1946

Das Erdbeben vom 25. Januar 1946 bei Sierre zählt zu den zehn stärksten Erdbeben in der Schweiz und weist von allen Erdbeben, die sich im 20. Jahrhundert oder danach in der Schweiz zugetragen haben, die höchste Magnitude auf (SED, o.J.b). Das Erdbeben vom 25. Januar 1946 war kein lokales Ereignis. Moderne Studien beziffern den Schütterradius auf 500 bis 700 Kilometer. Das Erdbeben wurde auch in den Nachbarländern Italien, Frankreich, Deutschland und Österreich von den Menschen gespürt (Gisler & Fäh, 2008, S.137). Der Hauptstoss mit der Magnitude 5.8 und Epizentrum in Sierre ereignete sich am Freitagabend, den 25. Januar 1946 gegen 18:32 Uhr. Die in Schnee eingehüllte Stadt Sierre war bereits von Dunkelheit umgeben, als der Boden für einige Sekunden erschütterte. Herunterstürzende Kamine und Ziegel, kompletter Stromausfall in grossen Teilen des Wallis sowie in Panik



Abbildung 17: Schäden in einem Gebäude in Sierre nach dem Erdbeben vom 25. Januar 1946

geratene, verunsicherte Einwohner führten zu Chaos in den Strassen der Stadt (SED, o.J.b). Viele Menschen verbrachten ihre Nacht aufgrund der Angst vor einem weiteren Erdstoss auf der Strasse (Gisler & Fäh, 2008, S.137). Erst am 26. Januar 1946 wurde den Menschen bewusst, wie zerstörerisch die Naturgewalt Erdbeben auf die Stadt und das gesamte Tal gewirkt hatte. Vier Menschen verloren beim Erdbeben ihr Leben. (SED, o.J.b). Über Verletzte ist nicht viel bekannt. Durch die Erschütterungen wurden mehr als 3'500 Gebäude leicht bis mittelstark beschädigt und viele Strassen wurden durch Lawinen oder herabstürzendes Gesteinsmaterial verschüttet. (Gisler & Fäh, 2008, S.134). Wie gross das Ausmass der Zerstörung in den Gebäuden der Stadt nach dem Erdbeben war, lässt sich anhand von Abbildung 17 nachvollziehen. Würde in der heutigen Zeit ein Erdbeben mit einer derartigen Magnitude das Wallis erschüttern, wären die Schäden aufgrund der dichten Besiedlung und der verletzbaeren Infrastruktur um ein Vielfaches höher (SED, o.J.d).

3.1.2 Nachbeben und Bergsturz vom 30. Mai 1946

Das Erdbeben vom 25. Januar 1946 brachte sehr viele Nachbeben mit sich. Alleine bis zum Ende des Jahres 1946 wurden im Mittelwallis, nahe dem Epizentrum des Hauptbebens, 517 kleinere und grössere Beben registriert. Das stärkste unter ihnen ist auf den 30. Mai 1946 datiert und wies eine Intensität von VII auf. Bei diesem Nachbeben wurde ein gewaltiger

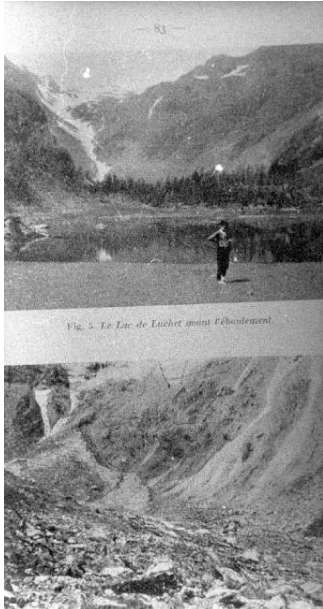


Abbildung 19: Lac de Luchet vor und nach dem Bergsturz

Bergsturz am Rawilhorn ausgelöst, bei welchem ungefähr 4 bis 5 Millionen Kubikmeter Gesteinsmaterial bewegt wurde

(Gisler & Fäh, 2008, S.134). Ein Teil der Gesteinsmasse wurde nach Nordosten in Richtung Chalet Alp Rawil bewegt, ohne dieses effektiv zu erreichen. Der Hauptanteil des gelösten Gesteinsmaterials wurde aber auf der Südostseite des Rawilhorns gelöst und stürzte 500 m tief in die Senke des Lac de Luchet, der am 30. Mai 1946 komplett unter dem Geröllschutt verschwand (siehe Abbildungen 18 und 19). Da das Gelände dort nach Osten abgeneigt ist, rollte das Gestein dem Terrain folgend weiter in Richtung Osten bis zur Alp Serin. Einige Gesteinsbrocken blieben sogar erst auf einer Höhe von 1750 m ü. M., mehr als 2 km vom Abbruchsort entfernt, liegen. Beim Bergsturz wurden zwei Chalets, 30 Tiere einer Viehherde sowie die einzige Wasserquelle verschüttet. Das Ablagerungsgebiet ist zwischen 200 m und 800 m breit. Auch in den Wochen nach dem 30. Mai 1946 fielen immer wieder Gesteinsbrocken vom Rawilhorn nach Nordosten oder nach Süden (Marietan, o.J., S.80).



Abbildung 18: Absturzflanke des Bergsturzes am Rawilhorn

3.2 Geologie im Gebiet des Rawilhorns

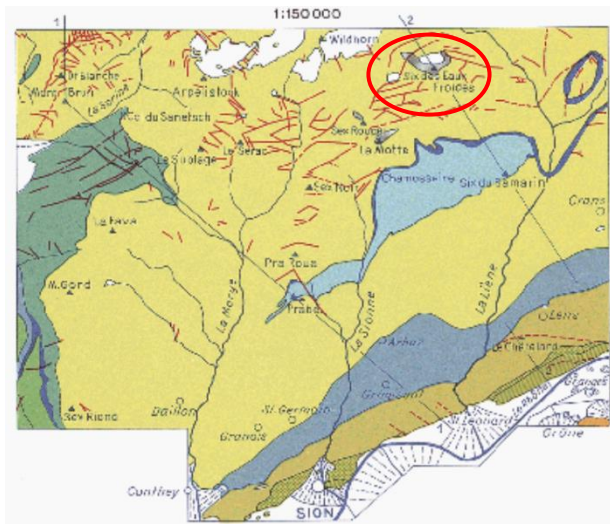


Abbildung 20: Tektonische Skizze des Kartenblatts St-Léonard

Das **Rawilhornmassiv** (siehe roter Kreis auf Abbildung 20) ist mit Ausnahme des Gipfels Teil der **Wildhorndecke** (siehe gelb eingefärbte Fläche auf Abbildung 20). Das Rawilhorn selbst gehört zur **Nappe du Sex Mort** (Tothorn) (siehe gräuliche Markierung auf Abbildung 20) (Dussex & Yersin, 1984, S.100). Die Wildhorndecke gehört zum **Helvetikum**. Das Helvetikum ist eines der vier grossen Deckensysteme der Alpen. Als Deckensystem wird ein Gebiet definiert, dessen Gesteine ursprünglich (vor der Alpenfaltung) die gleiche Herkunft haben (Gnägi & Labhart, 2015, S.70). Das Helvetikum besteht vor allem aus Sedimentgestein (Ablagerungsgestein), das massive Kalkschichten enthält. Diese starren (nicht verformbaren) **Kalkschichten** bilden das harte

Gerüst der vielen Falten. Besonders mächtig sind der **Schraffenkalk** und der **Quintnerkalk**. Typisch für diese Kalke sind die hellen «Adern», die beweisen, dass es bei der Alpenfaltung Brüche im Gestein gegeben hat. Die entstandenen Spalten sind später mit aus Wasser ausgefälltem Calcit aufgefüllt worden. Neben den Kalkschichten gibt es noch plastische (d.h. verformbare) **Mergel** und **Tonschiefer**, die als Füll- und Schmiermaterial fungieren. Entlang dieser Gleitschichten aus Mergel und Tonschiefer sind

Decken zerbrochen und anschliessend übereinander gestapelt worden (Gnägi & Labhart, 2015, S.82f). Die Nappe du Sex Mort gehört zum **Ultrahelvetikum** (Strati, o.J.). Die Gesteine des Ultrahelvetikums sind während der Alpenfaltung über die Decken des Helvetikums geschoben worden. Das Ultrahelvetikum enthält vor allem plastische Gesteine wie **Gips, Mergel** und **Flysch-Tonschiefer** (Staub, 2003, S.2).

Schrattenkalk ist während der Unterkreide vor rund 130 bis 120 Millionen Jahren abgelagert worden und ist eines der häufigsten Kalkgesteine in den Alpen. Der Name leitet sich von der Schrattenfluh im Entlebuch ab (siehe Abbildung 21). Der hell- bis mittelgraue Schrattenkalk ist oft mit anderem Kalkgestein aus den helvetischen Decken verfaultet oder überschoben, kann aber eine Mächtigkeit von über 300 m haben. Er ist anfällig für chemische Verwitterung und Karstbildung und weist häufig Spalten, Löcher und Dolinen auf. Weitere Merkmale des Schrattenkalks sind die weissen Calcitadern und Kluftsysteme (Meyer, 2017, S.182f).



Abbildung 21: Hohgant-Südwand aus Schrattenkalk

Quintnerkalk ist zwischen 140 bis 150 Millionen Jahre alt und kommt in allen helvetischen Decken vom Unterwallis bis zum Glarnerland vor. Quintnerkalk bildet hohe Felswände, kann aber im Innern trotzdem Verformungen aufweisen. Im Gegensatz zum Schrattenkalk ist der Quintnerkalk dunkel- bis schwarzgrau. Dies liegt daran, dass Quintnerkalk unoxidiertes Material enthält, das man anhand von geringen Mengen an freigesetztem Schwefelwasserstoff auch riechen kann. Quintnerkalk ist ebenfalls zerklüftet und enthält Calcitadern (Meyer, 2017, S.172ff).



Abbildung 22: Globigerinenmergel im Untersuchungsgebiet

In den ganzen helvetischen Decken und im Ultrahelvetikum findet man Mergel, genauer **Globigerinenmergel** (siehe Abbildung 22). Der Name stammt von Globigerinen, die zum wichtigsten Mikroplankton gehören. Globigerinenmergel ist fleckig, grün-grau und kann z.T. auch kalkig oder sandig aussehen (Meyer, 2017, S.190).

Gipsgesteine stammen meist aus der Triaszeit und treten vor allem im Jura und in ultrahelvetischen Einheiten auf. Da sie sich an der Oberfläche leicht lösen, schnell verwittern und meist von Wiesen und Boden bedeckt sind, bekommt man Gipsgesteine nur selten zu Gesicht. Am ehesten kann Gips in künstlichen Gruben beobachtet werden. Gipsgesteine sind sehr weich, kompakt und meist weiss (bei Verfärbungen rosa oder gelblich) (Meyer, 2017, S.120f).

Flysch-Tonschiefer kann sowohl zu den Sedimentgesteinen als auch zu den Metamorphiten gezählt werden. Eine Metamorphose dieses Gesteins äussert sich in zunehmender Härte und ausgeprägteren Schieferung. Die Schiefer enthalten oft silbrige Glimmerplättchen, die in den Sedimenten eingelagert worden und intensiv verfaultet sind. Flysch-Tonschiefer kommt vor allem in Flysch-Serien zusammen mit Flysch-Sandstein vor. Die Farbe des Gesteins ist dunkel- bis schwarzgrau. Typisch für Flysch-Tonschiefer ist die Verwitterung und die leichte Erodierbarkeit (Meyer, 2017, S.154f).

3.3 Klimatische Verhältnisse in Les Andins und beim Rawilhorn

Die Vegetation an einem bestimmten Standort wird stark von verschiedenen Klimafaktoren wie Temperatur, Niederschlag und Wind beeinflusst (Heise, 2012). Deshalb ist es wichtig, auch die klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet Les Andins zu betrachten und mit einzubeziehen.

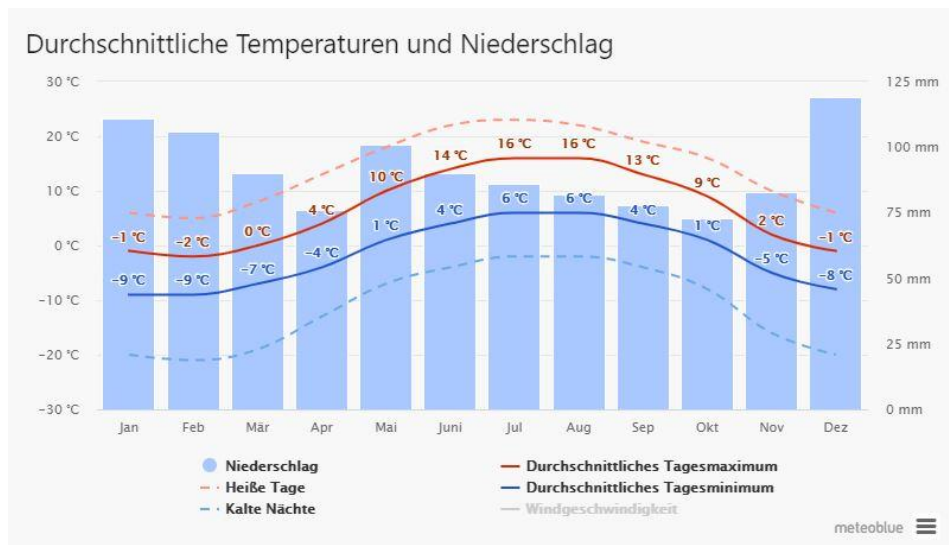


Abbildung 23: Klimadiagramm Les Andins (1984 m ü. M.)

In den Berner Alpen, zu welchen das Rawilhorn zählt, treten aus Sicht der gesamten Alpen die **grössten Niederschlagsmengen** auf. Dabei sind Niederschläge im Sommer und besonders in Gipfelnähe am häufigsten. Inneralpine Täler, wie Les Andins eines ist, sind weniger stark von Niederschlägen betroffen (siehe Abbildung 23). Die Gipfel sind **sehr windexponiert**. In den Tälern hingegen können die Windgeschwindigkeiten je nach Lage auch sehr klein sein. Die Sonneneinstrahlung ist während des gesamten Jahres hoch. In höheren Lagen kann es aber trotzdem **ganzjährig Frost** geben. Während der Wintermonate liegt meist flächendeckend Schnee. In Hochtälern, wie das Untersuchungsgebiet Les Andins eines ist, bilden sich häufig **Kaltluftseen**. Das Auftreten von Kaltluftseen senkt die jährliche Durchschnittstemperatur auf ein Niveau, das deutlich tiefer ist, als in anderen vergleichbaren Höhenlagen (NCCS, 2018).

3.4 Vegetation im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet Les Andins befindet sich auf einer Höhe zwischen 1840 m ü. M. und 2030 m ü. M. und liegt demnach grösstenteils in der **subalpinen Höhenstufe** (Lauber et al., 2018, S.24). Als Höhenstufe bezeichnet man einen bestimmten Höhenbereich, der durch das regelmässige Vorkommen charakteristischer Pflanzenarten gekennzeichnet ist. Die Einteilung in die Höhenstufen basiert auf dem Prinzip, dass Pflanzen immer an ähnlichen Standorten auftreten. Diese Standorte entsprechen den Pflanzen sowohl von der Temperatur als auch der Konkurrenz her. Trotzdem können die verschiedenen Höhenstufen aber häufig nicht genau getrennt werden, sondern wechseln in einem fließenden Übergang. Zudem können sich diese «Grenzen» auch verschieben – beispielsweise durch das Eingreifen des Menschen, der Gebiete abholzt und Viehweiden in den Alpen beherbergt (Baltisberger & Nyffeler, 2018, S.1f). In der Schweiz gibt es folgende fünf Hauptstufen (aufsteigend): **Kolline** Stufe (Hügelstufe), **Montane** Stufe (Bergstufe),

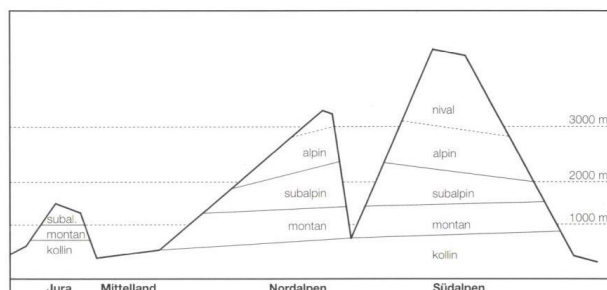


Abbildung 24: Höhenstufen in den verschiedenen Landesteilen

und **Nivale** Stufe (Schneestufe). In der Schweiz gibt es folgende fünf Hauptstufen (aufsteigend): **Kolline** Stufe (Hügelstufe), **Montane** Stufe (Bergstufe),

Subalpine Stufe (Gebirgsstufe), **Alpine** Stufe (Hochgebirgsstufe) und **Nivale** Stufe (Schneestufe). Wie man auf der Abbildung 24 erkennen kann, befinden sich die «Grenzen» zwischen den einzelnen Höhenstufen nicht überall in den Alpen auf derselben Meereshöhe. Die Subalpine Stufe kann aber stets nach oben durch die Baumgrenze von der Alpinen Stufe abgegrenzt werden (Baltisberger & Nyffeler, 2018, S.1). Diese Baumgrenze besteht häufig aus Rottannen (*Picea abies*), Leg-Föhren (*Pinus mugo subsp. mugo*), Aufrechte Berg-Föhren (*Pinus mugo subsp. unicaata*) oder Europäischen Lärchen (*Larix decidua*) und Arven (*Pinus cembra*) (Lauber et al., 2018, S.100ff; Baltisberger & Nyffeler, 2018, S.1). Die Vegetation der Subalpinen Stufe ist geprägt von **Nadelwäldern**, in welchen besonders die Rottanne (*Picea abies*) als dominierende Pflanze auftritt. Ergänzend findet man vor allem in den Zentralalpen auch noch Europäische Lärchen (*Larix decidua*) und Arven (*Pinus cembra*). An trockenen Standorten ist zudem die Aufrechte Berg-Föhre (*Pinus mugo subsp. unicaata*) verbreitet. In Gebieten hingegen, die erdrutsch- und lawinengefährdet sind, findet man eher Leg-Föhren (*Pinus mugo subsp. mugo*). Feuchte Standorte werden von Grün-Erlen (*Alnus viridis*) besiedelt, die in grosser Vielzahl vorkommen (Baltisberger & Nyffeler, 2018, S.1f). Wie sich die Vegetation im Untersuchungsgebiet bis 1983 entwickelt hat und welche Pflanzen bereits wieder wachsen konnten, wird auch in der Arbeit *Dynamique de la végétation du pierrier de Serin* von Armand Dussex und Anne-Marie Yersin thematisiert (siehe 1.3 Aktueller Wissensstand).

4 Methoden und Material

4.1 Methoden

Für die Realisierung der vorliegenden Arbeit war es wichtig, sich zuerst das nötige theoretische Wissen anzueignen, um danach bei der Beurteilung mit Landeskarten und Luftbildern sowie der Feldarbeit vor Ort Schlüsse ziehen zu können.

4.1.1 Literaturrecherche

Mit Hilfe von Büchern aus der Stadtbibliothek Baden und der Mediothek der Kantonsschule Wettingen wurden allgemeine Informationen aus den Bereichen Geologie der Alpen und der Schweiz, Geomorphologie und Erdbeben in der Schweiz zusammengetragen. Zudem erwiesen sich die Internetseiten des Schweizerischen Erdbebendienstes SED, der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT sowie Faktenblätter des Bundesamtes für Umwelt BAFU für das Formulieren von Definitionen und Ergänzungen der Theorie als sehr hilfreich. Um die Ereignisse rund um das Erdbeben und das Nachbeben aus einem anderen, weniger theoretischen Blickwinkel betrachten zu können, stellten alte Zeitungsberichte des Walliser Boten aus dem Jahr 1946 eine grosse Unterstützung dar. So konnte die Lage der Bevölkerung und das Ausmass der Naturkatastrophe besser nachvollzogen werden. Letzte Ergänzungen und weitere Anregungen für die Recherche konnten vor Ort auf der interaktiven Schnitzeljagd über das Erdbeben von 1946 in Sion gesammelt werden. Der Postenlauf, der vom *Centre Pédagogique Prévention Séismes* (CPPS) im Frühjahr 2021 zum 75. Jahrestag der Erbeben von 1946 ins Leben gerufen worden ist, verfolgt in erster Linie das Ziel, das öffentliche Bewusstsein für die Gefahr, die von Erdbeben ausgeht, zu schärfen.

4.1.2 Schriftliches Experteninterview

Um offene Fragen, die bei der Auswertung der Feldarbeit aufgetaucht sind, beantworten zu können, wurde auf Französisch ein strukturiertes, schriftliches Experteninterview mit Herrn Armand Dussex (siehe Abbildung 25), dem Co-Autor der Publikation «*Dynamique de la végétation du pierrier de Serin*» geführt. Armand Dussex hat sich besonders als Interviewpartner geeignet, da er lange Zeit die SAC-Hütte Cabane des Audannes geführt hat und deshalb mit der Region rund um das Rawilhorn vertraut ist. Ausserdem hat er im Jahr 2005 gemeinsam mit Khamsu Sherpa die schweizerisch-nepalesische Organisation Audan Trekkings, die Kulturreisen, Trekkings und Expeditionen in Nepal, Ladakh-Zanskar, Bhutan und Tibet anbietet (Audan Trekking, o.J.) ins Leben gerufen. Im Jahr 2012 ist er zudem an der Gründung des Musée valaisan des Bisses in Botyre beteiligt gewesen. Die Fragen des Experteninterviews wurden vorab festgelegt und beziehen sich inhaltlich spezifisch auf das Untersuchungsgebiet Les Andins. Eingebettet in eine E-Mail, mit einer Begrüssung am Anfang und einem Dankeswort am Ende, wurden Herrn Dussex diese Fragen gesendet und von ihm umgehend schriftlich beantwortet. Die Fragen zielen in erster Linie darauf ab, gewisse Beobachtungen und Resultate der Feldarbeit von einem Experten bestätigen oder widerlegen zu lassen. Deshalb enthält das Experteninterview mehrheitlich geschlossene Fragestellungen. Mit Hilfe des Interviews konnte zudem geklärt werden, ob während der 75 Jahre nach dem Bergsturz neben Dussex' und Yersins Untersuchung noch weitere wissenschaftliche Publikationen zur Entwicklung der Vegetation im Ablagerungsgebiet erschienen sind. Die Aussagen aus dem Experteninterview stellten bei der Diskussion, der inhaltlichen Reflexion und besonders beim kritischen Hinterfragen der Resultate der Arbeit eine zusätzliche Hilfe dar.



Abbildung 25: Armand Dussex

4.1.3 Vergleich von alten Landeskarten und Luftbildern

Um herauszufinden, wo sich die Gesteinsmassen an der Rawilhorn-Südflanke genau gelöst und abgelagert hatten, stellte der Layer Zeitreise – Kartenwerke auf map.geo.admin.ch eine grosse Hilfe dar. Mit diesem Layer konnten die offiziellen Schweizer Landeskarten von 1844 bis 2018 betrachtet und nach dem Download nebeneinander gelegt und miteinander verglichen werden.

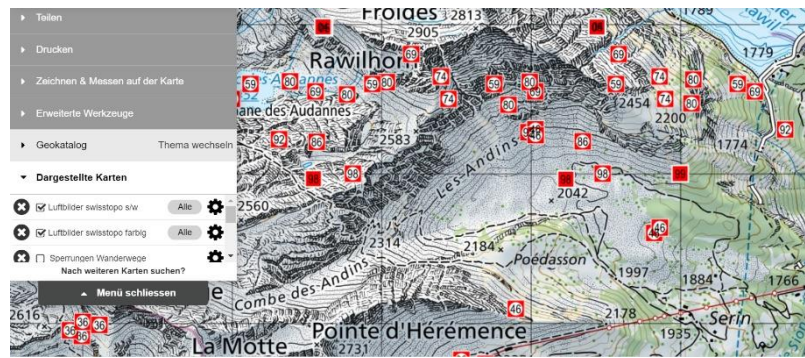


Abbildung 26: Farbige und schwarz- Weiss Luftbilder auf map.geo.admin.ch

Zusätzlich verfügt das Portal map.geo.admin.ch auch über einzelne Luftbilder, die in unregelmässigen Abständen von gewissen Gebieten der Schweiz erstellt worden sind (siehe Abbildung 26). Trotz einer manchmal zu geringen Auflösung und schwachem Kontrast waren diese Aufnahmen wertvoll für den Vergleich mit den Landeskarten. Im Layer SWISSIMAGE Zeitreise konnten ab dem Jahr 1970 als Ergänzung zu den Luftbildern Orthofotos des Untersuchungsgebiets angesehen werden. Bei einem Orthofoto werden die Neigungseinflüsse der Kamera und des Geländes korrigiert. Die Orthofotos von Swisstopo sind eine Zusammensetzung von analogen und digitalen, schwarz-weisen und farbigen Luftbildern (Swisstopo, 2021). Da die Orthofotos eine bessere Auflösung als die Luftbilder haben, wurden ab dem Jahr 1970 vor allem diese für den Vergleich verwendet.

4.1.4 Analyse von alten Landeskarten und Luftbildern

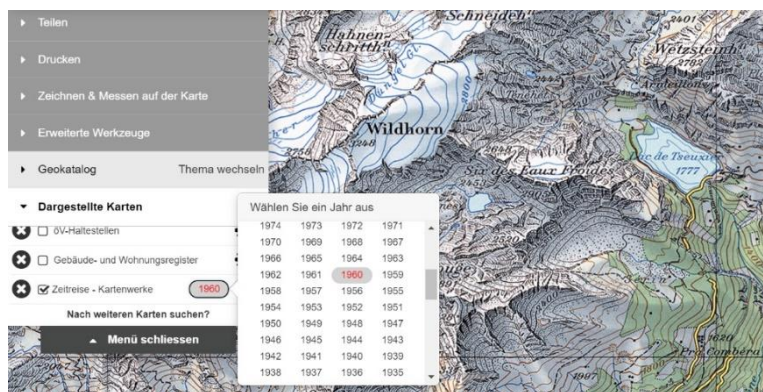


Abbildung 27: Layer Zeitreise – Kartenwerke auf map.geo.admin.ch

Die alten Landeskarten und Luftbilder von map.geo.admin.ch konnten mit den Layern Zeitreise - Kartenwerke (siehe Abbildung 27) und SWISSIMAGE Zeitreise nicht nur miteinander verglichen, sondern auch analysiert werden. Die Analyse lieferte weitere Hinweise in Bezug auf die Entwicklung der Sukzession während der letzten 75 Jahre von 1946 bis heute. Dabei war es wichtig, genau hinzuschauen und eine möglichst grosse Auflösung des Ablagerungsgebiets zu betrachten. Entscheidend war, die kleinen Symbole auf der Karte zu erkennen und den entsprechenden Objekten wie Bäume oder Felsblöcke zuzuordnen. Mit diesem Wissen war es möglich, die Menge an einzeln eingezeichneten Bäumen auf verschiedenen Landeskarten sowie den Verlauf von als Wald respektive als Geröllschutt definiertem Gebiet zu analysieren und Erkenntnisse über das Vorschreiten der biogeomorphologischen Sukzession zu erhalten.

4.1.5 Messungen im Feld

Der grösste Teil der Feldarbeit für die vorliegende Arbeit wurde am 12. Juli und am 21. Juli 2021 in Les Andins (Gemeinde Ayent VS) durchgeführt. Ausgangspunkt bildete die Talstation des Sessellifts Les Rousses (siehe gelber Kreis auf der Abbildung 28). Eine halbe Stunde Marschzeit von Les Rousses entfernt, befindet sich die Alp Serin (siehe roter Stern auf der Abbildung 28). Von dort sind das Ablagerungsgebiet und die Abbruchsflanke (siehe orange Pfeile auf der Abbildung 28) bereits sichtbar und es konnte ein erster Eindruck vom Untersuchungsgebiet gewonnen werden.

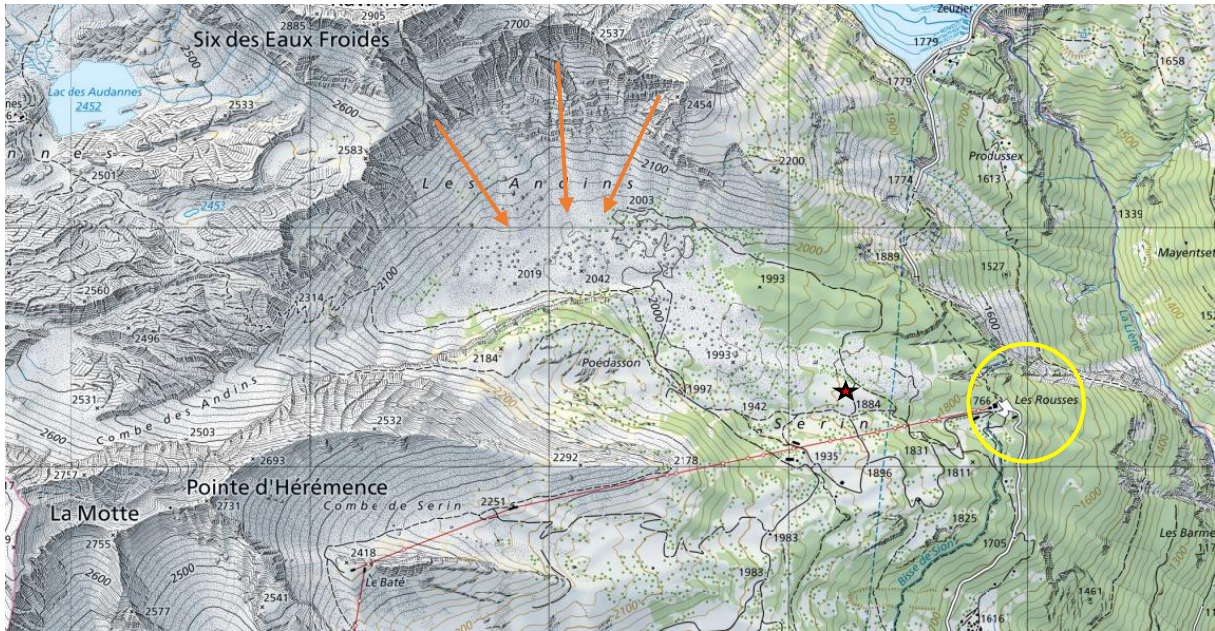


Abbildung 28: Untersuchungsgebiet auf der Schweizer Landeskarte Massstab 1:10'000

Für die Aufnahme der benötigten Daten im Gelände wurde nach einer Vorlage der Impuls AG Wald, Landschaft und Naturgefahren aus dem Praktikum ein eigenes **Aufnahmeprotokoll** mit folgenden Punkten erstellt:

- Datum:
- Ereignis:
- Fallrichtung:
- Zone:
- Eckpunkt Zone:
- Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:
- Hangneigung Schutthalde [°]:
- Akkumulationsform:
- Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:
- Grösste Blöcke [m³]:
- Sukzessionsstadium:
- Vegetation in der Schutthalde:
- Vegetation im überwachsenen Bereich:
- Vegetation in der Umgebung:
- Beobachtete Tiere:
- Weitere Bemerkungen:



Abbildung 29: Ausfüllen des Aufnahmeprotokolls auf dem Klemmbrett

Das Aufnahmeprotokoll wurde während der Feldarbeit schrittweise für verschiedene Zonen des Untersuchungsgebiets ausgefüllt (siehe Abbildung 29). Die Höhe über Meer der verschiedenen Zonen wurde jeweils am Rand der Schutthalde vom Höhenmesser abgelesen. Um die Eckpunkte der Zonen festhalten zu können, wurde die Garmin Instinct Sportuhr verwendet, mit welcher an jedem beliebigen Standort die Weltkoordinaten bestimmt werden können. Mit dem Hangneigungsmesser konnte eruiert werden, wie steil die Zone in der Ost-West-Ausrichtung ist. Die weiteren Punkte im Aufnahmeprotokollen wurden gemäss den in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Methoden ausgefüllt. Nach der Feldarbeit wurden die Aufnahmeprotokolle digitalisiert. Sie bildeten die Grundlage für die

Bestimmung des Sukzessionsstadiums, das Erstellen des Pflanzenverzeichnisses sowie die Berechnungen der Blockgrößen und des Lärchenalters (siehe Anhang).

4.1.5.1 Bestimmung des Sukzessionsstadiums und der Vegetationsdiversität

Um das Sukzessionsstadium in der Schutthalde eruieren zu können, wurde auf die theoretischen Grundlagen zur biogeomorphologischen Sukzession zurückgegriffen. Durch das im Vorfeld erarbeitete Wissen aus der Literaturrecherche konnte während der Feldarbeit besser auf das Auftreten bestimmter Zeigerpflanzen einer Sukzessionsphase geachtet werden. Dabei fugierte das gehäufte Vorkommen von Zeigerpflanzen wie Spiessblättrige Weide (*Salix hastata*), Silberwurz (*Drýas octopétala*) oder Europäische Lärche (*Lárix decídua*) als Hauptindiz für die Einteilung in ein bestimmtes Sukzessionsstadium. Zusätzlich wurde auch noch die Diversität der verschiedenen Pflanzenarten in die Beurteilung einbezogen, da eine Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten einen Hinweis auf ein komplexes und somit weit entwickeltes Ökosystem gibt (siehe 2.3 Biogeomorphologische Sukzession im Gebirge).



Abbildung 30: Fahrweg durch die Schutthalde

Aufgrund der Grösse des Ablagerungsgebiets wurde entschieden, den Fokus bei der Untersuchung der Sukzessionsentwicklung und der Diversität der Vegetation auf einzelne das Ablagerungsgebiet durchquerende «Zonen», die sich auf verschiedenen Höhenlinien befinden, zu legen. Die Zonen A bis G wurden so gewählt, dass sie möglichst einfach von Wander- oder Fahrwegen aus erreichbar waren (siehe Abbildung 30) und zudem das gesamte Ablagerungsgebiet abdeckten. Der Begriff «Zone» bedeutet in diesem Fall nicht einfach eine Linie quer durch das Ablagerungsgebiet, sondern beinhaltet eine Art Band, das betrachtet und in die Beurteilung miteinbezogen wurde. Bei jeder «Zone» wurde ein bestimmter Ausgangspunkt am Südrand des Ablagerungsgebiets festgelegt (siehe Anhang: Aufnahmeprotokolle, Eckpunkt Zone), von welchem aus man, wenn es gefahrtentechnisch möglich war, die gesamte Schutthalde durchqueren konnte.

Für die Beurteilung der Pflanzendiversität wurden alle «Zonen» nochmals in Unterzonen mit den Nummern 1 bis 3 aufgeteilt. Die Nummer 1 steht dabei für Gebiete, die nicht zum effektiven Ablagerungsgebiet gehören, die Nummer 2 steht für die Fläche am Ablagerungsrand, welche in den 75 Jahren, die seit dem Bergsturz vergangen sind, bereits wieder überwachsen ist und die Nummer 3 umfasst jenen Bereich der «Zone», der sich als Schutthalde bezeichnen lässt.

Gewisse «Zonen» konnten aber nicht in drei unterschiedliche Unterzonen eingeteilt werden. In der Zone G befindet sich ein Wäldchen (siehe Abbildung 31), das einerseits aus Bäumen besteht, die vom fallenden Gesteinsmaterial nicht zerstört worden sind und als Schutz für die unterhalb liegende Fläche (G1) dienen. Andererseits gibt es in unmittelbarer Nähe auch Bäume, die in den letzten 75 Jahren neu gewachsen und von handgrossen Steinen umgeben sind (G2). Da in dieser Zone keine klare Abgrenzung zwischen G1 (nicht vom Bergsturz betroffen) und G2 (überwachsenes Gebiet) gemacht werden konnte, wurden G1



Abbildung 31: Wäldchen in der Zone G

und G2 in den Resultaten als G1+G2 zusammengefasst. Einen Bereich G3 (Schutthalde) gibt es nicht, da sich die Zone G am westlichen Rand des Ablagerungsgebiets befindet. In der Zone F hingegen gibt es nur einen Bereich F3. Der Südhang der Zone F ist auch 75 Jahre nach dem Bergsturz noch eine Geröllhalde und kann nicht als überwachsenes Gebiet bezeichnet werden (siehe Abbildung 32). In der Zone E findet man zwar einen Bereich E2 und einen Bereich E3, dafür keinen Bereich E1. Das liegt



Abbildung 32: Südhang der Zone F

daran, dass der Bergsturz im Talkessel bis an den Gegenhang gedonnert ist und auch dort die Vegetation zerstört hat. Ebenfalls nicht unterschieden werden können die Bereiche C1 und C2. Dort konnte nicht genau abgegrenzt werden, wie weit südlich die Felsblöcke damals gerollt waren. Einige der Felsblöcke sind so stark mit Moosen überwachsen, dass davon ausgegangen werden kann, dass diese als Findlinge vom Gletscher zurückgelassen worden sind. Die Einteilung des Untersuchungsgebiets in die oben erklärten Unterzonen ist auf der Abbildung 33 zu sehen:

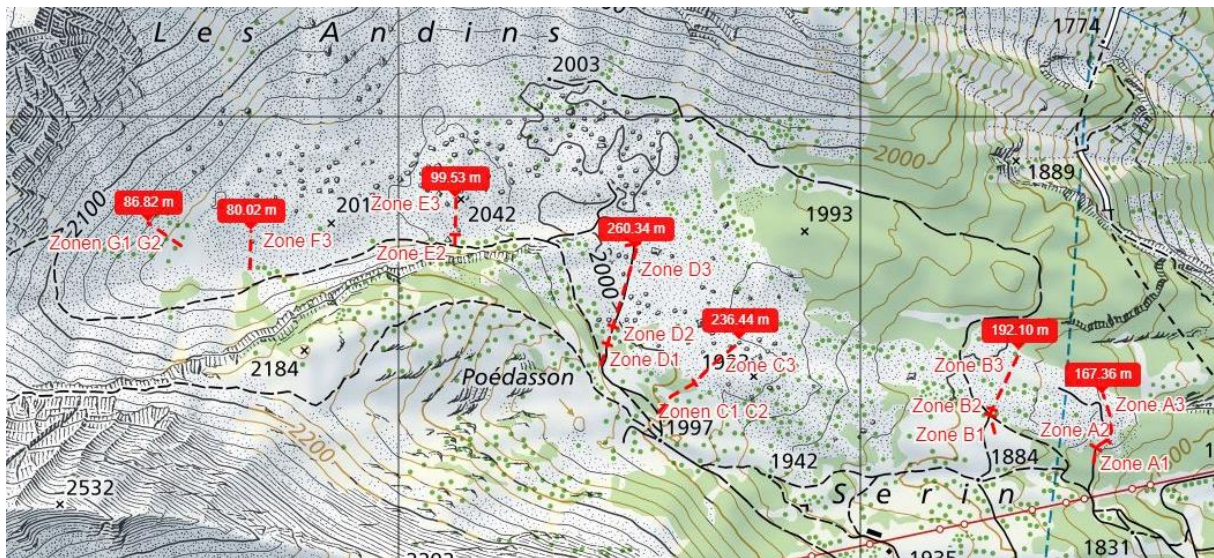


Abbildung 33: Einteilung des Ablagerungsgebiets in die Unterzonen auf der Schweizer Landeskarte Masstab 1:5'000

Für die grobe Bestimmung der Pflanzen während der Feldarbeit wurde die App *PlantNet* verwendet. Zur genauen Bestimmung dienten im Anschluss daran die vielen geknipsten Fotos der Blüten und Blätter der Pflanzen sowie die Bücher «*Flora Helvetica*» (Lauber et al., 2018, 6. Auflage, Haupt Verlag) und «*Flora Vegetativa*» (Eggenberg, S. & Möhl, A., 2020, 4. Auflage, Haupt Verlag). Alle in den «Zonen» des Ablagerungsgebiets beobachteten Pflanzen wurden in einer Tabelle aufgelistet. In dieser Tabelle wurden anschliessend für jede Unterzone Kreuzchen bei denjenigen Pflanzen gesetzt, die genau in diesem Gebiet beobachtet werden konnten (siehe Anhang: Pflanzenverzeichnis). Die Anzahl der verschiedenen Pflanzenarten konnte auf diese Weise eruiert werden. Anschliessend wurde im Programm Excel mit Hilfe der Anzahl Pflanzenarten die Vegetationsdiversität relativ zur Länge der Unterzonen berechnet (siehe 5.1.4 Resultate Vegetationsdiversität).

4.1.5.2 Bestimmung des Lärchenalters

Um beurteilen zu können, wie schnell die biogeomorphologische Sukzession nach dem Bergsturz vom 30. Mai 1946 im Ablagerungsgebiet tatsächlich fortgeschritten ist, wurde das Alter der Zeigerpflanze Europäische Lärche (*Lárix decidua*) ausserhalb des Ablagerungsgebiets, im bereits überwachsenen Bereich sowie in der Schutthalde in den Zonen A bis G untersucht. In den drei Unterzonen 1 bis 3 wurde jeweils die höchste Europäische Lärche (*Lárix decidua*) gesucht und für die Umfangmessungen verwendet (siehe Abbildung 34). Um das Alter der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) möglichst genau abschätzen zu können, wurde der Baumalter-Schätz-O-Meter eingesetzt. Dieses Tool wurde von baumportal.de entwickelt und beruht auf Daten von mehreren tausend Messungen des Dickenwachstums bei verschiedenen Baumarten. Das Wachstum von Bäumen wird von vielen verschiedenen Faktoren (z.B. Zusammensetzung der Nährstoffe im Boden, Verfügbarkeit von Licht und Wasser, Temperatur und Exposition) beeinflusst. Deshalb erreichen nicht alle Bäume im selben Alter die gleiche Dicke. Aus diesem Grund wurden für die Datenkollektion von baumportal.de nur Bäume verwendet, die möglichst ohne grosse Fremdeinwirkung gedeihen konnten. Durch den Vergleich dieser Werte wurden Formeln für die verschiedenen Baumarten erarbeitet, mit welchen das Baumalter ohne grossen materiellen Aufwand abgeschätzt werden kann (baumportal.de, 2021a).



Abbildung 34: Messen des Stammumfangs einer Europäischen Lärche in der Zone A3

Für Europäische Lärchen (*Lárix decidua*) gilt die folgende Formel (baumportal.de, 2021b):

$$t \text{ [Jahre]} = \frac{U_{1\text{m}} \text{ [cm]} + U_{1,5\text{m}} \text{ [cm]}}{2} * k \text{ [Jahr/cm]}$$

$U_{1\text{m}}$:	Umfang der Lärche auf 1 m Höhe
$U_{1,5\text{m}}$:	Umfang der Lärche auf 1.5 m Höhe
k :	Umrechnungsfaktor für Lärchen im Bereich 0.3 bis 0.5

Der Baumalter-Schätz-O-Meter liefert keine exakten Alterszahlen, sondern Schätzungen. Jedoch erhält man mit dieser Formel ab einem Baumdurchmesser von mehr als 20 cm gute Anhaltspunkte, ob der Baum nun eher 80 oder 100 Jahre alt ist (baumportal.de, 2021a). Für genauere Berechnungen des Alters müssten entscheidende Faktoren, wie beispielsweise die vorliegenden klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet, bei der Bestimmung des Umrechnungsfaktors k berücksichtigt werden. Die gemessenen Daten zu den Umfängen der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) auf 1 m und 1.5 m Baumhöhe wurden nach der Feldarbeit in eine Excel-Tabelle übertragen (siehe Anhang: Daten zum Lärchenwachstum). Im Excel konnte anschliessend das Alter mit der Formel von baumportal.de effizient berechnet und in Diagrammen der jeweiligen Zonen dargestellt werden. Für eine zusätzliche Visualisierung der Resultate wurde der Durchschnitt von $U_{1\text{m}}$ und $U_{1,5\text{m}}$ jeder gemessenen Europäischen Lärche (*Lárix decidua*) als Kreis auf der Landeskarte des Ablagerungsgebiets abgebildet. Um die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) auf der Karte darstellen zu können, wurden die berechneten Baumradien mit dem Faktor 80 gestreckt. Aufgrund dieser Streckung scheinen die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) auf der Karte teilweise übereinander zu liegen (siehe 5.1.5 Resultate Lärchenwachstum). In Wirklichkeit weisen alle europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) einen gewissen Abstand zu einander auf.

4.1.5.3 Bestimmung der Blockgrössen

Um das ungefähre Volumen und die Position der grössten Felsblöcke in den Zonen A3 bis F3 sowie in der Zone G1+G2 im Ablagerungsgebiet zu bestimmen, wurde jeweils die mittlere Länge, Höhe und Breite der einzelnen Komponenten mit einem 20 m Massband gemessen (siehe Abbildung 35) und die genauen Koordinaten von der Garmin Instinct Sportuhr abgelesen.

Mit Hilfe der folgenden Formel konnten anschliessend die Volumina der Felsblöcke ausgerechnet werden:

$$V [\text{m}^3] \approx l [\text{m}] \cdot b [\text{m}] \cdot h [\text{m}]$$



Abbildung 35: Ausmessen der Länge von Felsblock 7

Wenn gewisse Daten nicht erfasst werden konnten, weil es zu gefährlich war, wurden die Werte abgeschätzt. Diese lieferten dann zwar keine exakten Daten, doch die Sicherheit aller an der Feldarbeit Beteiligten hatte stets Vorrang. Gemäss Praxiserfahrungen, welche die Autorin bei Feldarbeiten mit Herrn Hans-Heini Utelli (dipl. Geologe ETH und Bergführer), Frau Stefanie Delfini (MSc Erdwissenschaften ETH) und Frau Rachel Baumann (MSc Erdwissenschaften ETH) während des Praktikums bei der Impuls AG Wald Landschaft Naturgefahren gemacht hat, gilt der Grundsatz, dass Messungen nur dann durchgeführt werden sollen, wenn sich das Risiko für die Geologen minimieren lässt – beispielsweise durch eine angemessene Sicherung mit Seilen oder durch eine zeitliche Begrenzung der Aufenthaltsdauer im gefährdeten Gebiet. Ansonsten vertraut man auf die Schätzkraft der Augen und die eigene Körpergrösse als realistischen Massstab. Auch mit Näherungswerten lassen sich Volumina der Felsblöcke ausrechnen, die für Einschätzungen und Vergleiche

genügend aussagekräftig sind. Die Messwerte zu den Blockgrössen wurden nach der Feldarbeit in eine Excel-Tabelle übertragen (siehe Anhang: Daten zu den Felsblöcken). Anschliessend konnten mit Hilfe der obenstehenden Formel die Volumina berechnet werden. Bei der Auswertung der Feldarbeit wurden die gemessenen Felsblöcke mit ihrer exakten Position im Ablagerungsgebiet als Kugeln auf der Landeskarte dargestellt. Damit die Felsblöcke auf der Karte überhaupt sichtbar sind, mussten die Kugeln in alle drei Richtungen (Länge, Breite, Höhe) mit dem Faktor 5 gestreckt werden. Dadurch liegen gewisse Felsblöcke auf der Landeskarte übereinander, obwohl dies in der Realität nicht so ist (siehe 5.2 Resultate Blockgrössen).

4.1.5.4 Bestimmung des Gesteins

Für die Bestimmung des Gesteins im Ablagerungsgebiet wurden während der Feldarbeit Gesteinsproben in den Zonen A bis G gesammelt und mit Hilfe von Klebband beschriftet (siehe Abbildung 36). Für das Zuordnen der Proben zu einer Gesteinsart wurde das Buch «*Gesteine der Schweiz. Der Feldführer*» von Jürg Meyer, das 2017 erschienen ist, verwendet. In diesem Buch werden die Gesteinsarten der Schweiz detailliert vorgestellt und ausserdem in unterschiedliche Gesteinszonen eingeteilt. Mit Hilfe des Wissens über die Geologie im Untersuchungsgebiet (siehe 3.2 Geologie im Gebiet des Rawilhorn) konnte eindeutig festgestellt werden, dass die Gesteinsproben entweder zu den Sedimentgesteinen des Helvetikums (Gesteinszone 4) oder zu den Flyschgesteinen (Gesteinszone 3) gehören müssen. Somit konnte ein Grossteil der Gesteinsarten bereits vor der effektiven Bestimmung der Proben ausgeschlossen werden. Die Gesteinsproben aus der Feldarbeit wurden im Anschluss mit den Bildern und den Beschreibungen verglichen und anschliessend den richtigen Gesteinsarten zugeordnet (siehe 5.3 Resultate Gesteinsarten).



Abbildung 36: Beschriftete Gesteinsproben

4.2 Material

Für das Erfassen der Daten während der Feldarbeit wurden verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel verwendet, die untenstehend aufgeführt und abgebildet sind:

- Massband LUX 20 m (Abbildung 40)
- Massband 2 m
- Neigungswasserwaage ayce (Abbildung 41)
- Höhenmesser (Abbildung 42)
- Feldstecher (Abbildung 38)
- Fotokamera Nikon (Abbildung 43)
- Objektive Nikon 105 mm und 300 mm
- Garmin Instinct Sportuhr (Abbildung 39)
- Smartphone
- Klebband (Breite 25 mm) (Abbildung 37)
- Klemmbrett
- Protokollblätter
- Landeskarten
- Schreibutensilien und Radiergummi



Abbildung 37: Klebband



Abbildung 38: Feldstecher



Abbildung 39: Garmin Instinct Sportuhr



Abbildung 40: Massband LUX 20 m



Abbildung 41: Neigungswasserwaage ayce



Abbildung 42: Höhenmesser



Abbildung 43: Fotokamera Nikon

Des Weiteren wurden während der Feldarbeit bergtaugliches Schuhwerk und wetterfeste Kleidung sowie Sonnenschutzutensilien gebraucht.

5 Resultate

5.1 Sukzessionsentwicklung

Die folgenden Resultate beziehen sich auf erste Fragestellung:

Wie weit ist die Sukzession im Ablagerungsgebiet des Bergsturzes, der durch das Erdbeben vom 25. Januar 1946 und das Nachbeben vom 30. Mai 1946 an der Südflanke des Rawilhorns ausgelöst worden ist, fortgeschritten?

5.1.1 Messungen im Feld

Die Sukzessionsentwicklung wurde bei der Feldarbeit primär in der Schutthalde (Unterzonen A3 bis F3) beobachtet, weil die Unterzonen 1 nicht vom Bergsturz getroffen wurde (Europäische Lärchen (*Lárix decidua*) sind älter als 75 Jahre) und in den Unterzonen 2 bezogen auf den Theorieteil zur biogeomorphologischen Sukzession und die Abbildung 6 die höchste Entwicklungsstufe (ökologische Phase) bereits erreicht ist. Aus den Skizzen der Akkumulationsformen (siehe Anhang: Aufnahmeprotokolle) und den vorhandenen Zeigerpflanzen bestimmter Sukzessionsphasen ergaben sich die Resultate in der nachfolgenden Tabelle:

Zone	Sukzessionsstadium
A3	v.a. ökologische Phase
B3	Pionierphase bis ökologische Phase
C3	Pionierphase bis biogeomorphologische Phase
D3	v.a. geomorphologische und Pionierphase vereinzelt ökologische Phase
E3	Krater: biogeomorphologische bis ökologische Phase Flanke: geomorphologische bis Pionierphase
F3	Flanke: biogeomorphologische Phase weiter nördlich: Pionierphase
G1 + G2	v.a. ökologische Phase

Tabelle 2: Übersicht zu den Sukzessionsphasen in den Unterzonen

Aus den Beobachtungen der Vegetationsentwicklung in den verschiedenen «Zonen» des Ablagerungsgebiets geht hervor, dass sich das Sukzessionsstadium häufig nicht eindeutig einer bestimmten Phase der biogeomorphologischen Sukzession zuordnen lässt. Die Entwicklung der Sukzession ist auf engem Raum sehr verschieden. Dennoch lässt sich aus der obigen Tabelle herauslesen, dass die Sukzession in den Unterzonen A3 sowie G1 + G2 am weitesten fortgeschritten ist. Diese beiden Zonen markieren jeweils den östlichen bzw. den westlichen Rand des Ablagerungsgebiets. In den Zonen in der Mitte (v.a. Zone E3 und Zone D3) gibt es hingegen Gebiete, in welchen die Sukzession auch 75 Jahre nach dem Bergsturz kaum eingesetzt hat.

5.1.2 Landeskarten

Auf den unten abgebildeten Landeskarten sind jeweils die wesentlichen Veränderungen im Vergleich zur nächst älteren Landeskarte, falls es welche gegeben hat, farblich markiert und kurz beschrieben.

Legende zu den Markierungen:

rotes Viereck:	Gebäude	orange:	technische Veränderungen
roter Kreis:	Felsblock	hellblau:	Vegetation
violett:	Wasser		

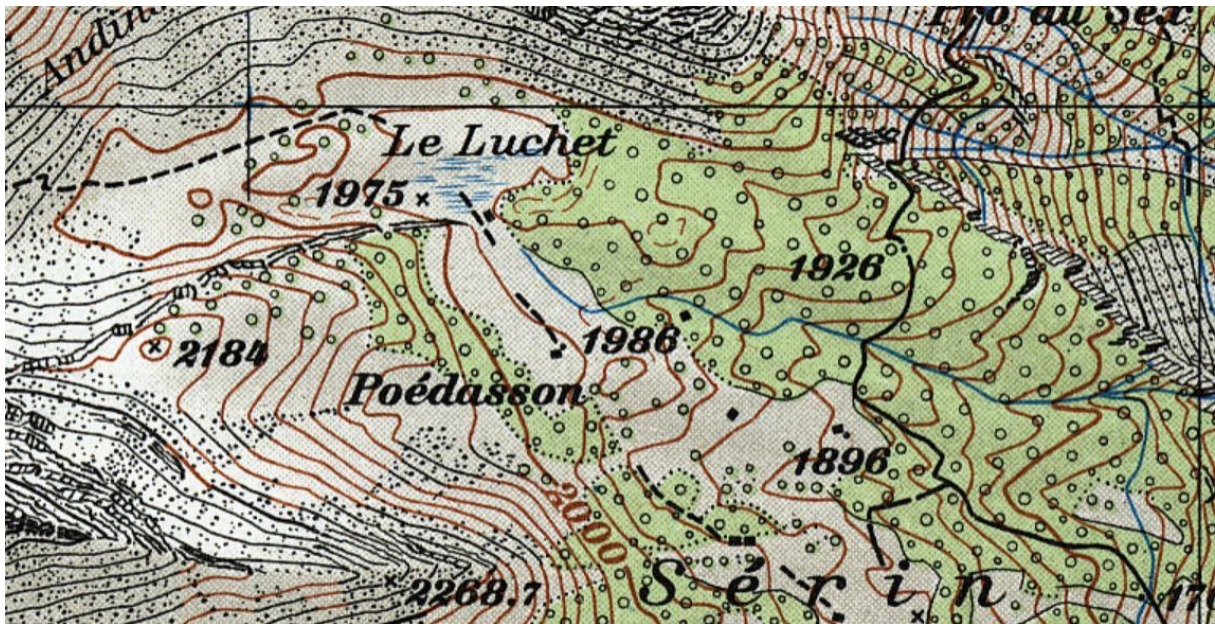


Abbildung 44: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:50'000 Montana, 1946

Die Abbildung 44 zeigt die Ausgangslage im Untersuchungsgebiet vor dem Bergsturz am Rawilhorn vom 30. Mai 1946. Im Gebiet Serin befinden sich mehrere Chalets, der Lac de Luchet (1975m ü M) mit einem abführenden Bach sowie Wald- und Weidegebiet.

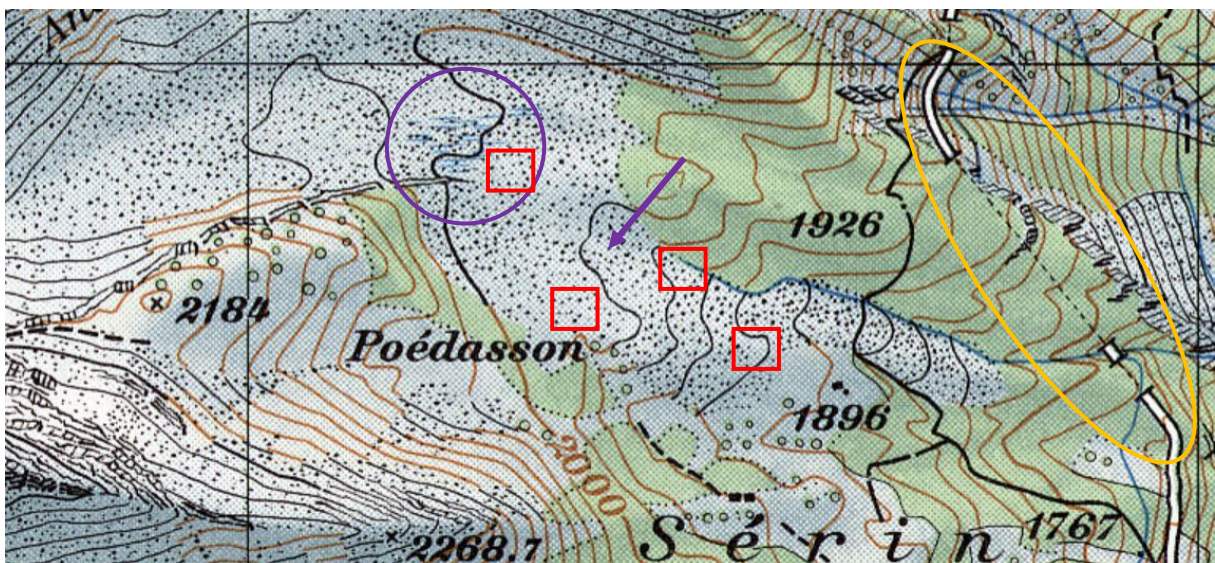


Abbildung 45: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:50'000 Montana, 1956

Die Karte in Abbildung 45 ist die erste verfügbare Karte nach dem Bergsturz von 1946. Der Lac de Luchet (siehe violetter Kreis), einige Gebäude (siehe rote Rechtecke), eine grosse Fläche an Wald- und Weideland sowie ein Bach (siehe violetter Pfeil) wurden vom Bergsturz verschüttet. Wie man anhand der Höhenlinien erkennen kann, liegt nun oberhalb des Lac de Luchet eine ungefähr 25 m hohe Schicht an Gesteinsmaterial. In den Jahren nach dem Bergsturz wurde zudem eine Strasse (siehe orange Markierung) zur Barrage de Tsezuzier gebaut.

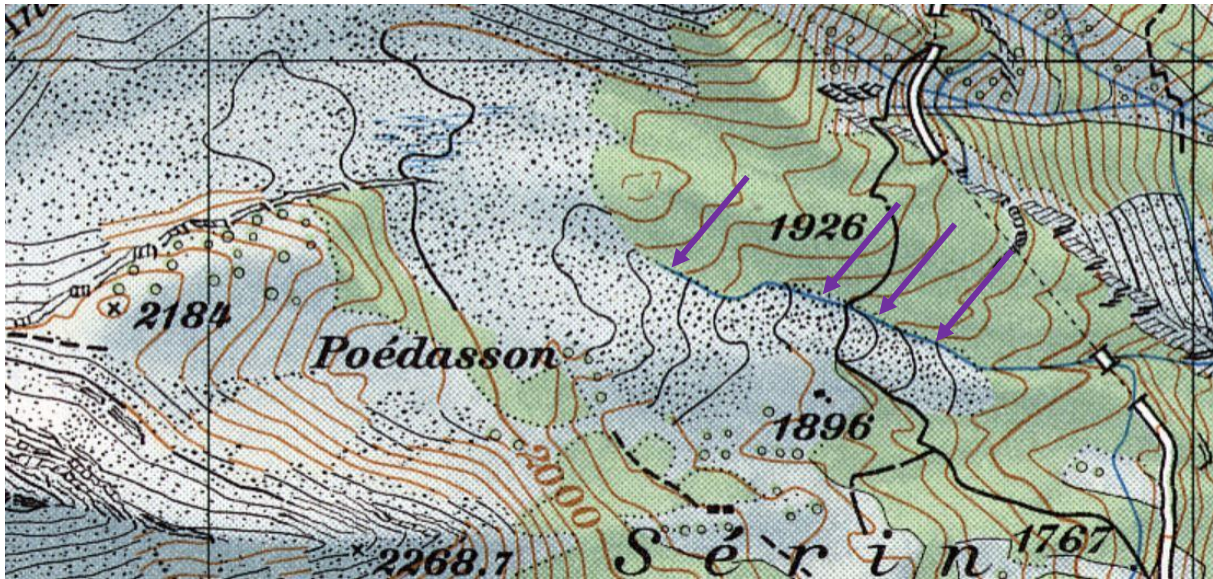


Abbildung 46: Ausschnitt aus der Landeskarte Massstab 1:50'000 Montana, 1959

Auf der zweiten Landeskarte, die nach dem Bergsturz publiziert wurde, sind keine Veränderungen im Vergleich zur Landeskarte von 1956 auszumachen.

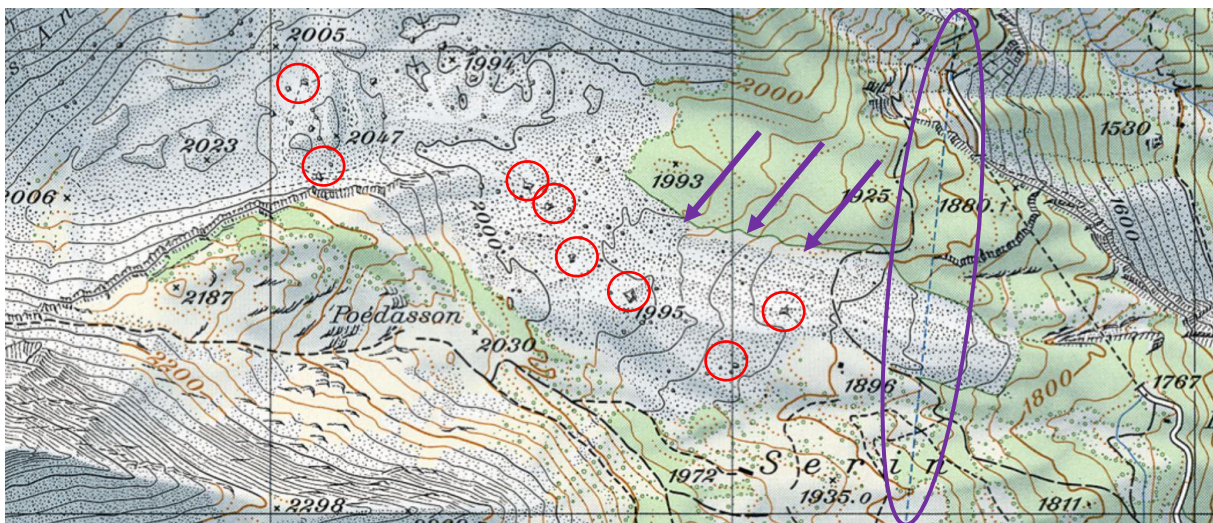


Abbildung 47: Ausschnitt aus der Landeskarte Massstab 1:25'000 St-Léonard, 1965

Im Jahr 1965 ist erstmals eine Landeskarte im Massstab 1:25'000 erschienen. Grössere Felsblöcke (siehe rote Kreise) sowie einzelne Bäume können nun im Ablagerungsgebiet dargestellt werden. Der Bach (siehe violette Pfeile auf der Abbildung 46 und auf der Abbildung 47), welcher auf der vorherigen Karte noch existiert hat, ist verschwunden. Ausserdem wird ein unterirdischer Druckstollen (siehe violette Markierung), welcher vom Lac de Tseuzier kommt, abgebildet.

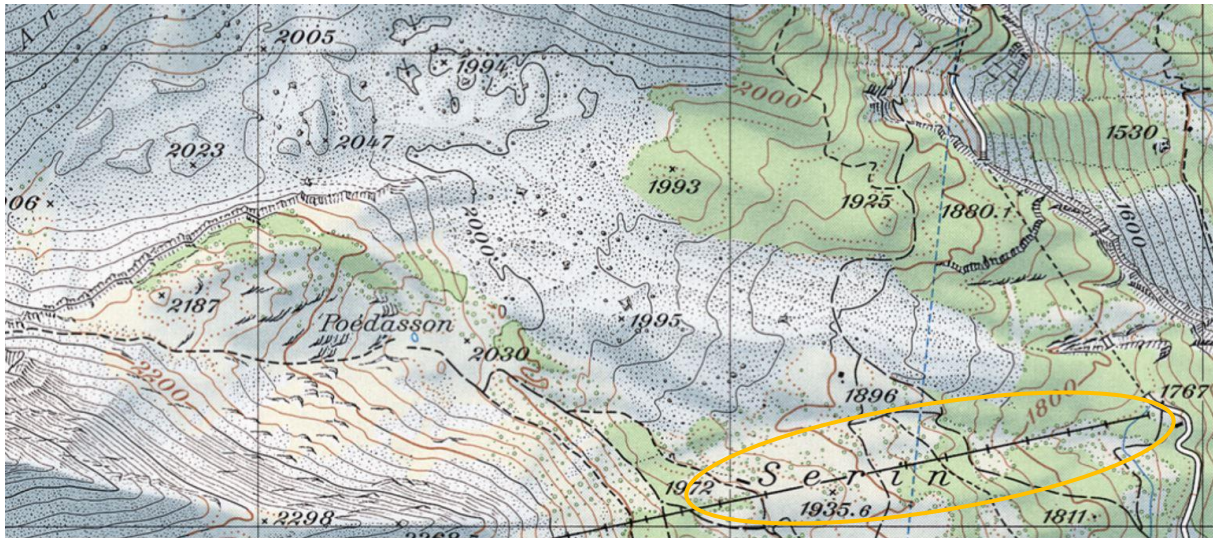


Abbildung 48: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1969

Die wesentliche Veränderung auf Abbildung 48 im Vergleich zur vorderen Landeskarte ist der neu gebaute Sessellift (siehe orange Markierung), welcher von der Talstation Les Rousses in das Skigebiet von Anzère führt. Des Weiteren wurden die Wanderwege rund um die Alp Serin erweitert. Fortschritte in der Sukzession sind auf dieser Landeskarte keine zu erkennen.

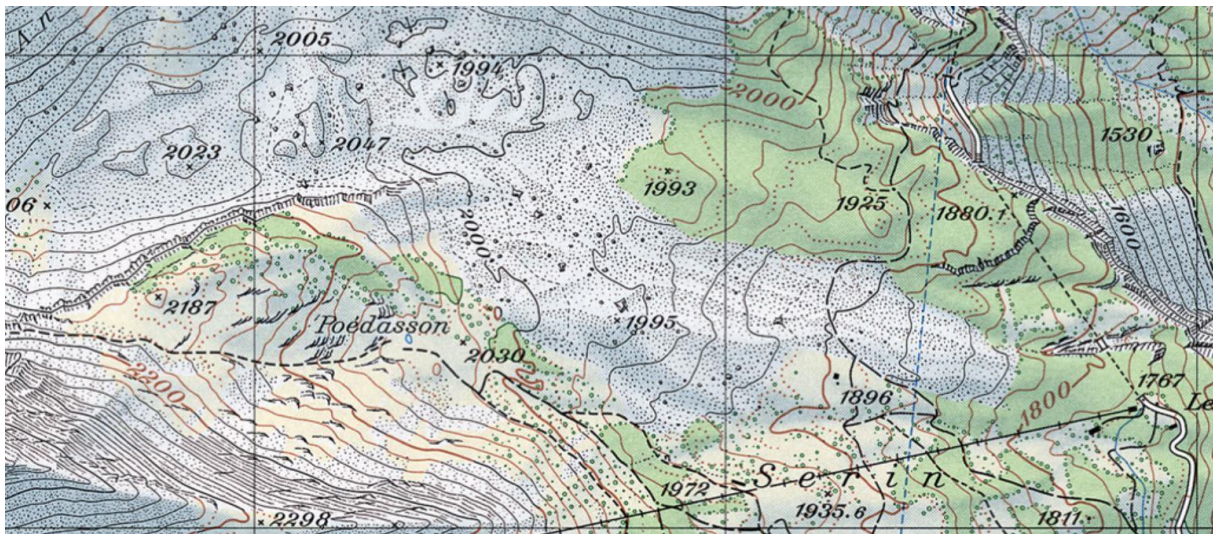


Abbildung 49: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1974

Auf der Abbildung 49 sind keine Veränderungen im Vergleich zur Landeskarte von 1969 auszumachen.

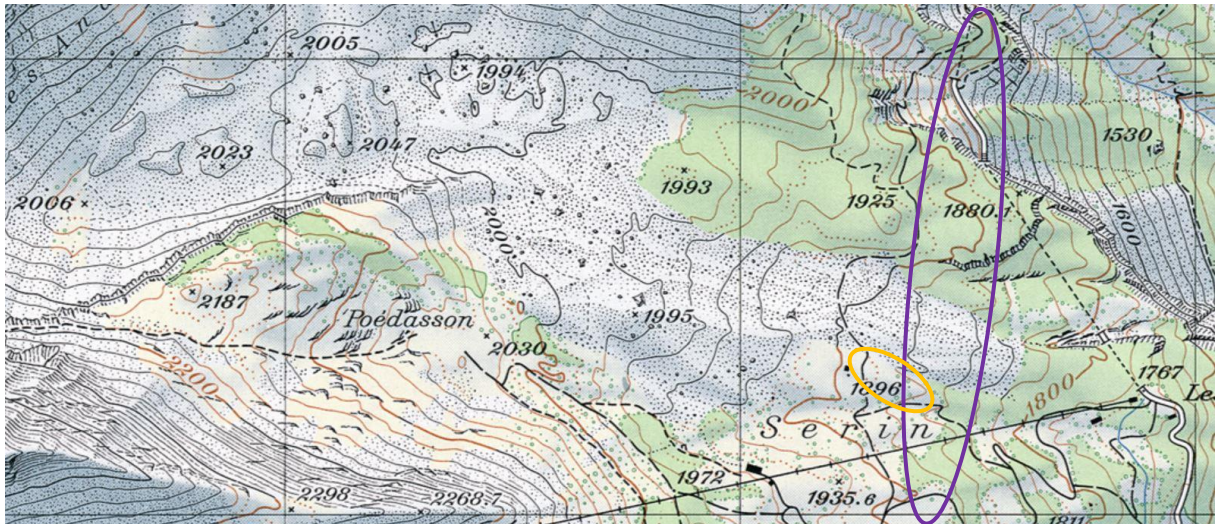


Abbildung 50: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1980

Im Vergleich zur Landeskarte aus dem Jahr 1974, fällt auf, dass der unterirdische Druckstollen (siehe violette Markierung auf der Abbildung 50) verschwunden ist. Dies fällt in den Zeitraum, in welchem der Lac de Tsezuzier aufgrund von Rissen in der Staumauer entleert werden musste und der Stollen nicht für die Stromproduktion genutzt werden konnte (NZZ, 2005). Zudem ist ein Teil des Fahrwegs (siehe orange Markierung) nicht mehr vorhanden. Bezüglich Sukzession kann man weder eine Verschiebung der Waldgrenze noch das Auftreten von Einzelbäumen im Ablagerungsgebiet erkennen.

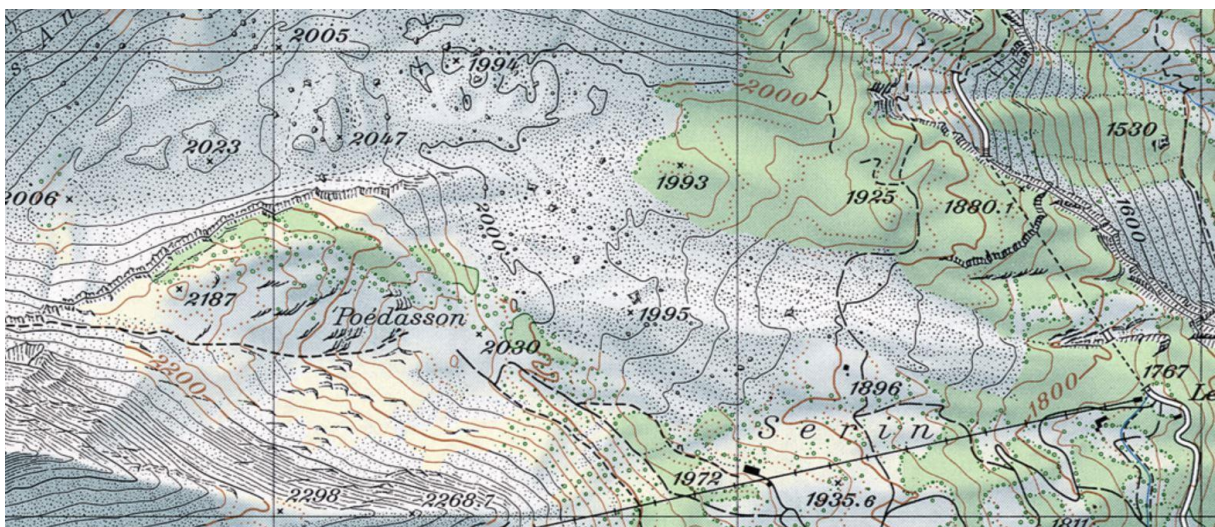


Abbildung 51: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1989

Auf der Abbildung 51 sind keine Veränderungen im Vergleich zur Landeskarte von 1980 auszumachen.

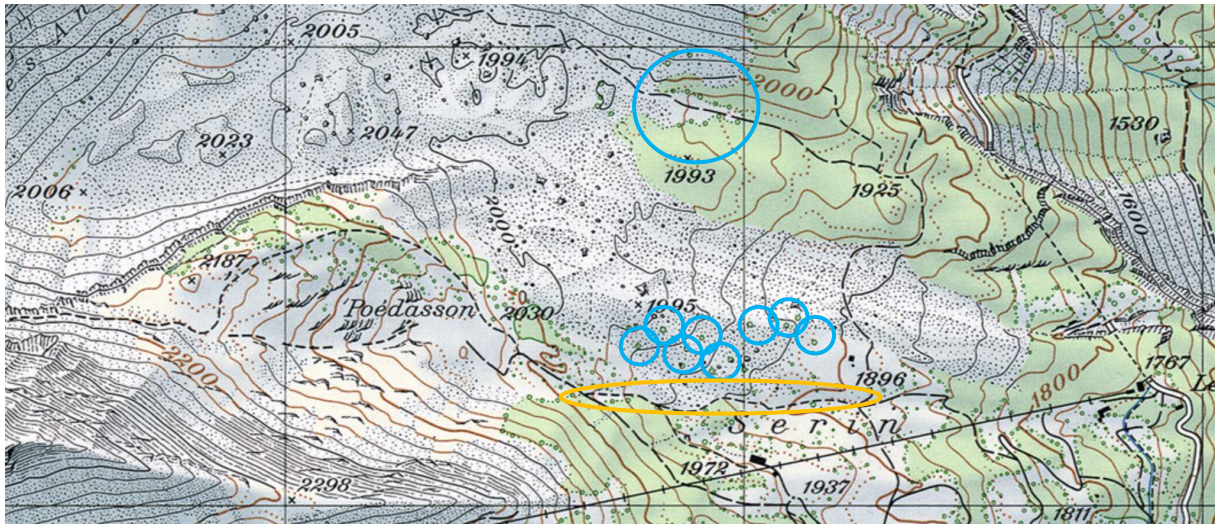


Abbildung 52: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1994

Auf der Abbildung 52 sind erstmals Anzeichen der biogeomorphologischen Sukzession erkennbar. Im Ablagerungsgebiet sind einige Einzelbäume (siehe hellblaue Kreise) neu dargestellt. Zudem wurde das Wanderwegnetz erweitert (siehe orange Markierung). Zusätzlich fällt auf, dass am nördlichen Rand des Ablagerungsgebiets ein Stück Waldfläche verschwunden (siehe hellblaue Markierung) ist. Da diese Fläche gegen Westen ausgerichtet ist, könnte ein Sturm diese Schneise verursacht haben.

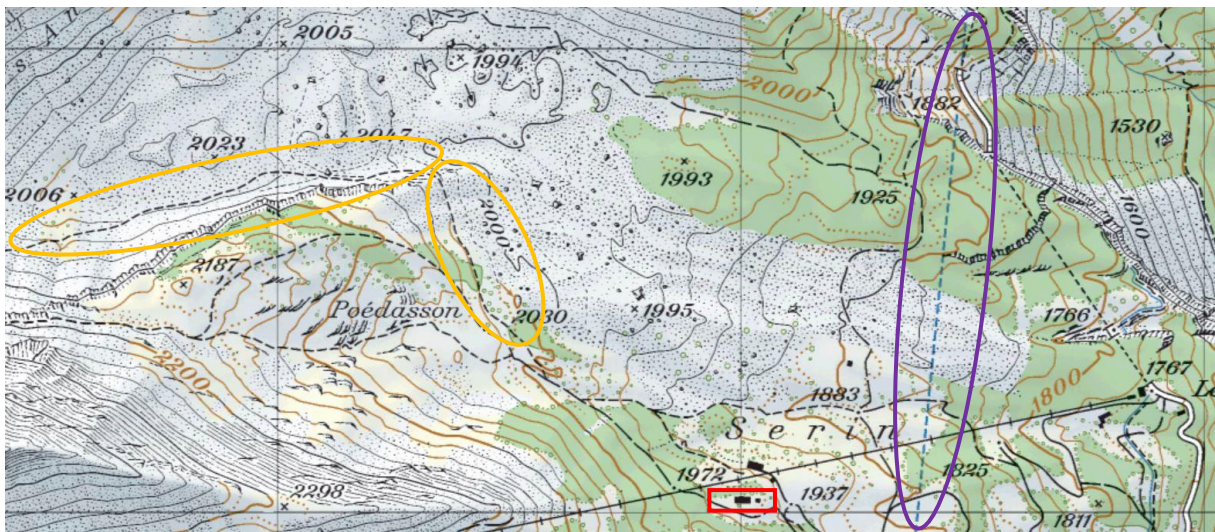


Abbildung 53: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 1998, publiziert 2001

Auf der Abbildung 53 taucht der unterirdische Druckstollen, der vom Lac de Tseuzier her kommt, wieder auf. Ausserdem ist im Gebiet Serin eine neues Gebäude (siehe rotes Rechteck) entstanden. Erstmals führt ein Wanderweg (siehe orange Markierungen) durch das Ablagerungsgebiet des Bergsturzes. Vermutlich wurde dieser gebaut, um den Zustieg zu der im Jahr 1993 gebauten Cabane des Audannes zu erleichtern. Bezüglich Sukzession sind keine weiteren Fortschritte auf der Karte dargestellt.

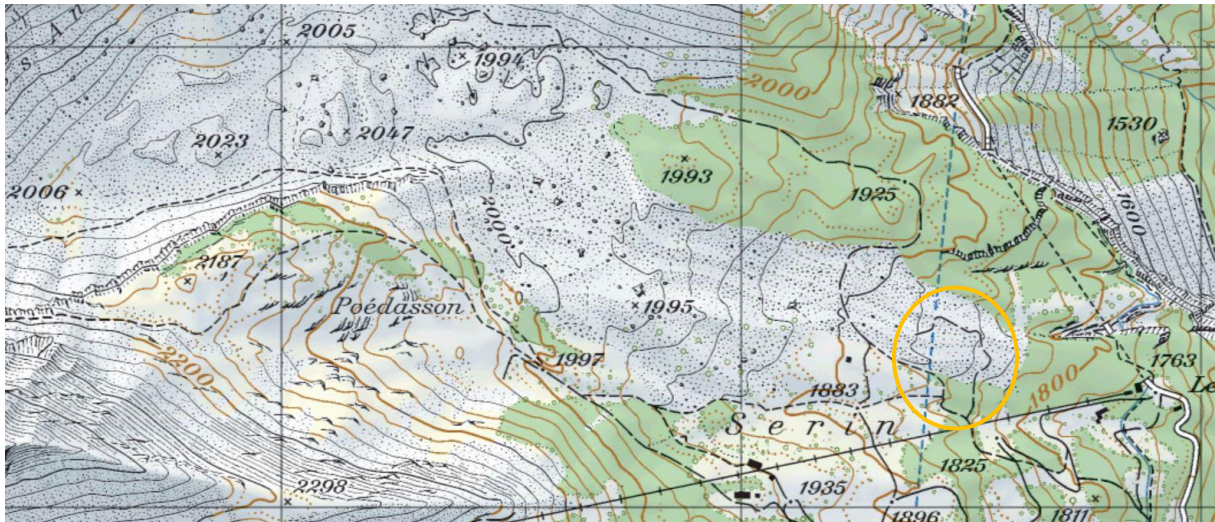


Abbildung 54: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 2004, publiziert 2006

Auch auf der Abbildung 54 sind keine Sukzessionsfortschritte nachgeführt. Dafür ist im östlichen Bereich des Ablagerungsgebiets ein Fahrweg in die Schutthalde entstanden.

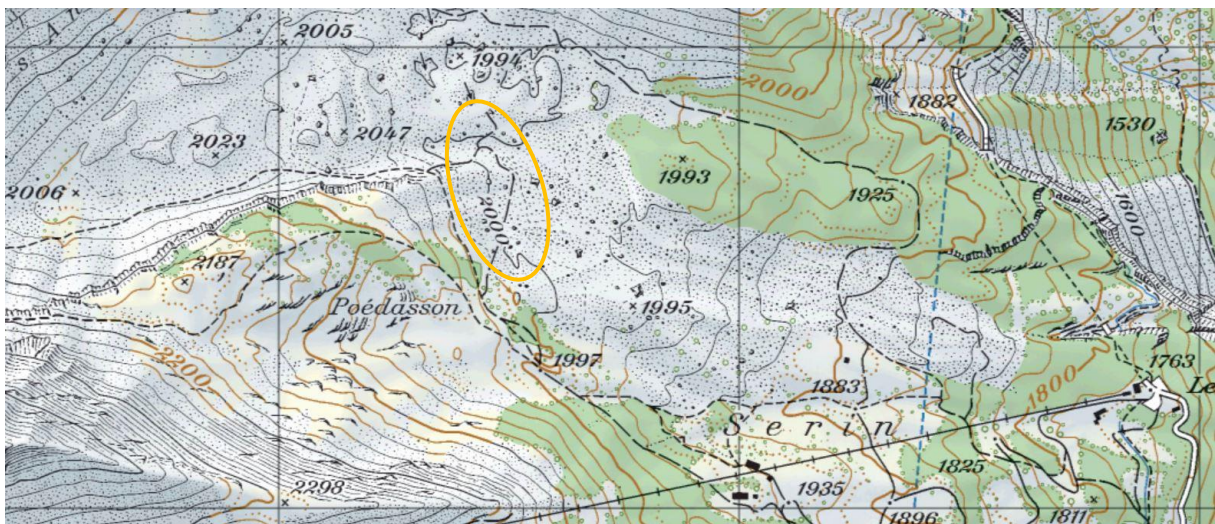


Abbildung 55: Ausschnitt aus der Landeskarte Masstab 1:25'000 St-Léonard, 2010, publiziert 2012

Auf der Abbildung 55 bleibt der Stand bezüglich biogeomorphologische Sukzession unverändert. Einzige auffallende Veränderung ist ein Fahrweg in der Mitte des Ablagerungsgebiets. Dieser wurde vermutlich gebaut, um die Messstation, die bei der Feldarbeit beobachtet werden konnte, einzurichten und zu betreiben.

5.1.3 Luftbilder

Auf den unten abgebildeten Luftbildern sind jeweils die Veränderungen im Vergleich zum nächst älteren Luftbild, falls es welche gegeben hat, farblich markiert und kurz beschrieben.

Legende zu den Markierungen:

- | | |
|-----------|--------------------------|
| hellgrün: | Vegetation |
| orange: | technische Veränderungen |



Abbildung 56: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1946

Dieses Luftbild, welches von den Amerikanern nach dem 2. Weltkrieg aufgenommen worden ist, zeigt das Ablagerungsgebiet im Ereignisjahr 1946. Der Lac de Luchet, der ursprüngliche Bach und die Chalets sind verschüttet.

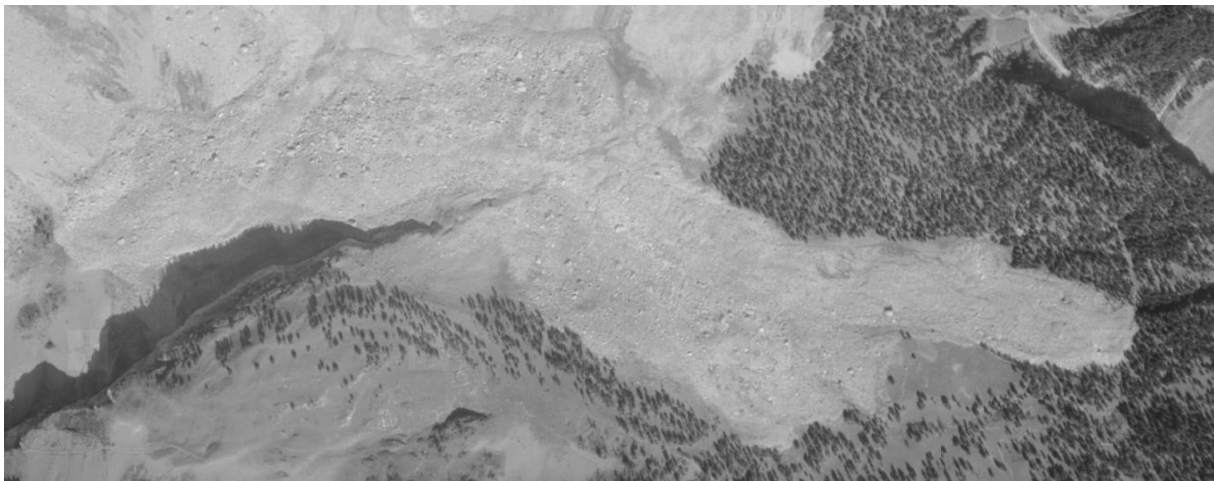


Abbildung 57: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1959

1959, dreizehn Jahre nach dem Bergsturz, ist auf dem Luftbild im Ablagerungsgebiet noch keine Vegetation in Form von Bäumen erkennbar.



Abbildung 58: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1969

Auf dem Luftbild aus dem Jahr 1969, welches 23 Jahre nach dem Bergsturz aufgenommen worden ist, sind erste Spuren der Vegetationsentwicklung im westlichen Bereich des Ablagerungsgebiets sichtbar.



Abbildung 59: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1974

Auf dem Luftbild von 1974 sind die Spuren der Vegetationsentwicklung viel deutlicher erkennbar als noch auf dem Luftbild von 1969.

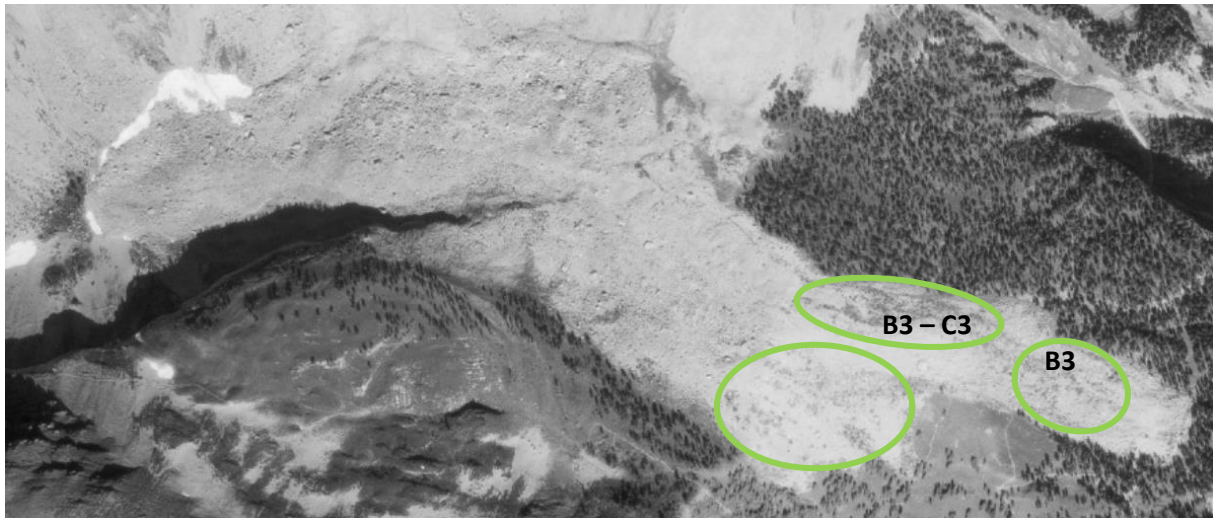


Abbildung 60: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1980

Das Luftbild aus dem Jahr 1980 zeigt, dass sich die Vegetation von den in den vorderen Luftbildern markierten Bereichen aus weiterentwickelt hat. In der Zone B3 sind Bäume nun auch in der Mitte der Schutthalde gewachsen. Zudem hat die Menge an Bäumen in der Zone B3 – C3 deutlich zugenommen im Vergleich zum Luftbild von 1974.

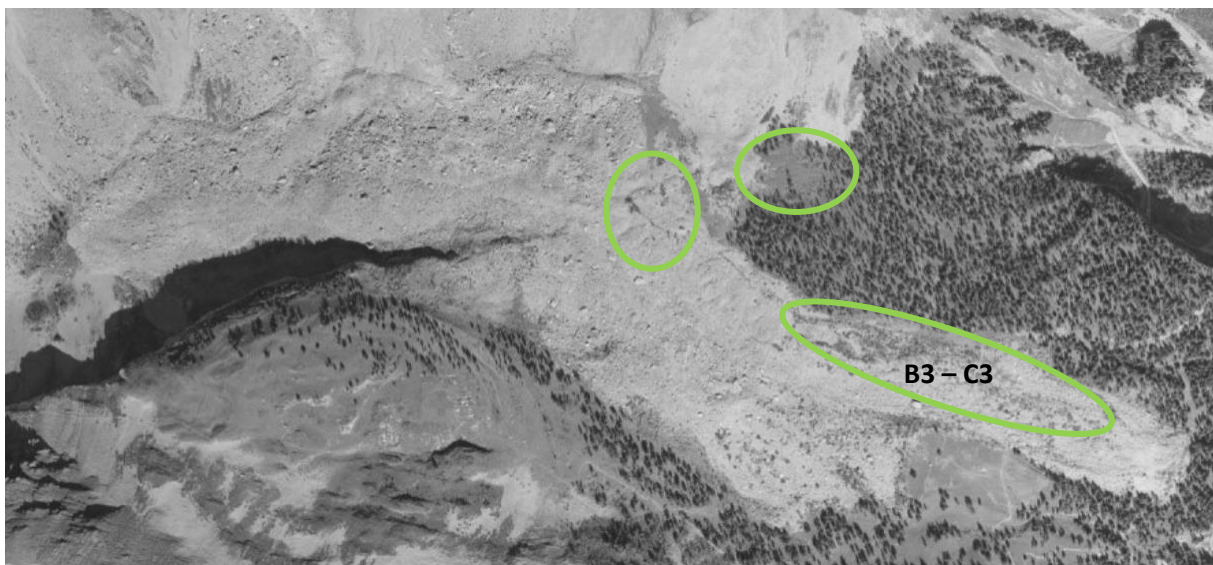


Abbildung 61: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1986

In der Zone B3 – C3 sind die Bäume auf dem Luftbild aus dem Jahr 1986 nach und nach in der Mitte zu einem Wäldchen zusammen gewachsen. Ausserdem kann man auf diesem Bild im nördlichen Bereich des Ablagerungsgebiets eine Schneise im Wald erkennen.

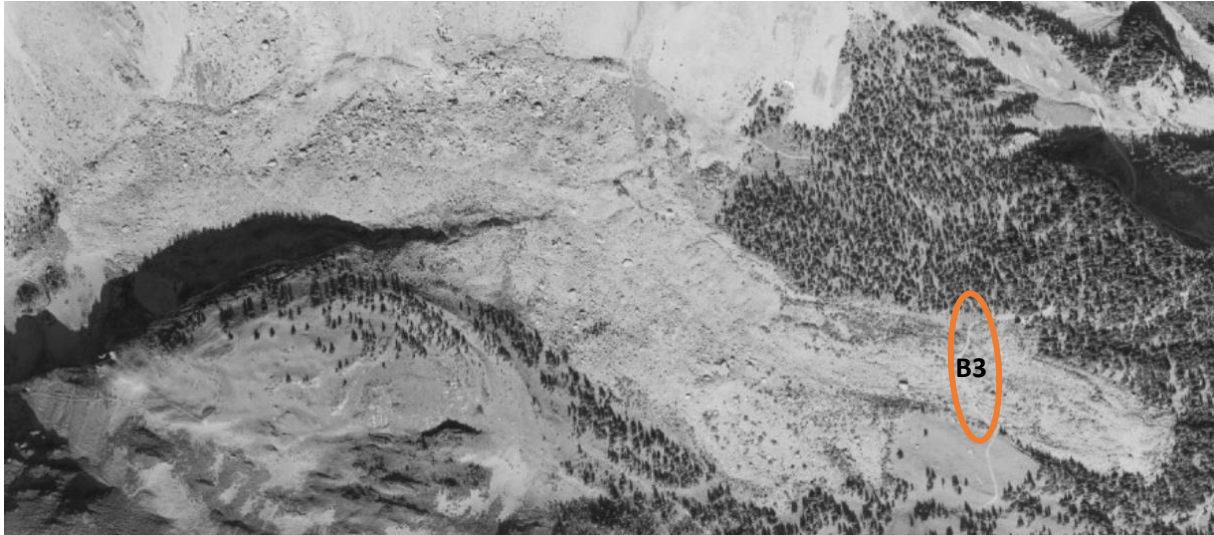


Abbildung 62: schwarz-weiss Luftbild aus dem Jahr 1992

Die wesentliche Veränderung auf diesem Luftbild aus dem Jahr 1992 ist der neue Fahrweg, der oberhalb von Zone B3 die Schutthalde durchquert. Die Vegetation hat sich im Vergleich zum vorderen Luftbild aus dem Jahr 1986 nicht merklich verändert.



Abbildung 63: farbiges Luftbild aus dem Jahr 1999

Auf dem ersten farbigen Luftbild aus dem Jahr 1999, das 53 Jahre nach dem Bergsturz entstanden ist, sieht man sehr deutlich, dass in den Zonen A3 und B3 nun viele Bäume gewachsen sind, in den anderen Zonen aber noch immer das Geröll dominiert.



Abbildung 64: farbiges Luftbild aus dem Jahr 2004

Auf dem Luftbild aus dem Jahr 2004 ist zu erkennen, dass sich die Vegetation in den vorher erwähnten Bereichen nochmals verdichtet hat. In den anderen Zonen sind keine auffälligen Veränderungen bezüglich Vegetation erkennbar.

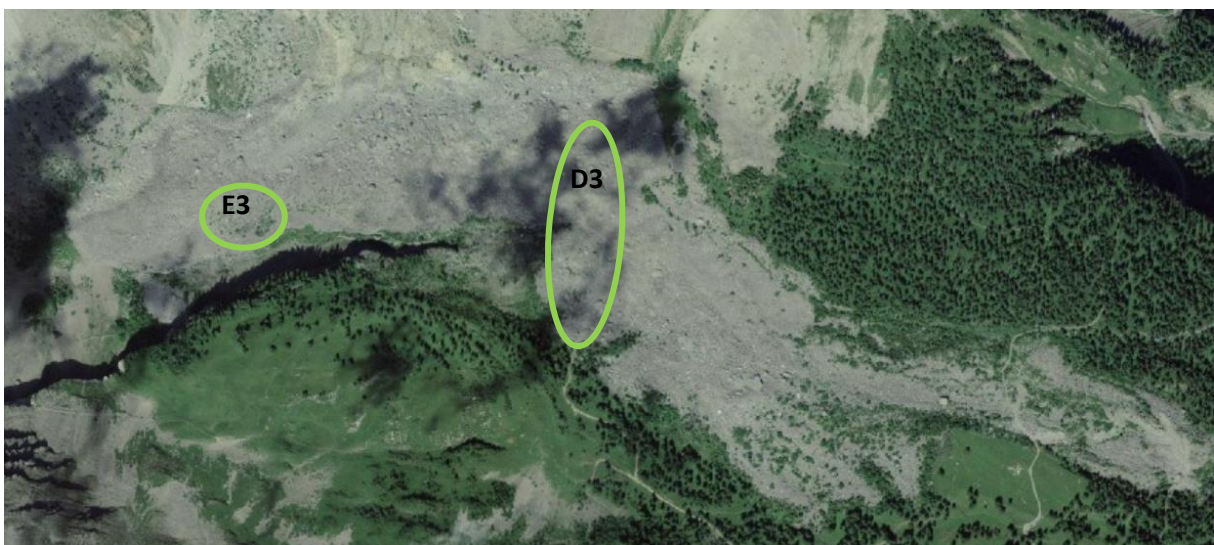


Abbildung 65: farbiges Luftbild aus dem Jahr 2010

Auf dem Luftbild aus dem Jahr 2010 ist neu ein Fahrweg in der Zone D3 erkennbar. Zudem zeigt sich in der Zone E3 nun deutlich, dass sich einzelne Bäume in der Schutthalde entwickeln.

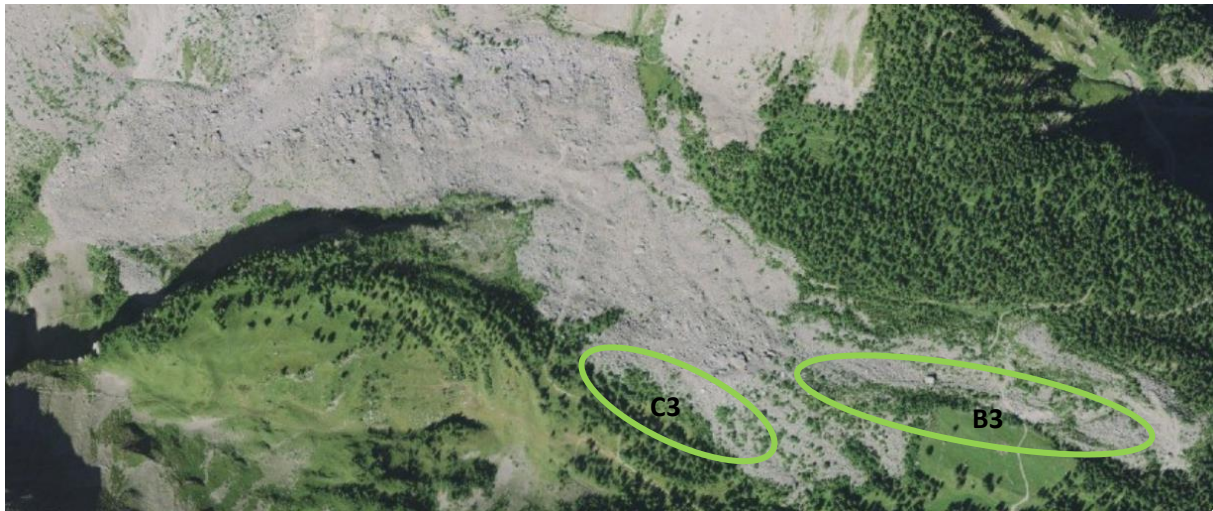


Abbildung 66: farbiges Luftbild aus dem Jahr 2013

Auf dem Luftbild, das aus dem Jahr 2013 stammt, fällt auf, dass sich die Vegetation zunehmend auch von Süden her in der Schutthalde ausbreitet. Sowohl im Bereich der Zone B3 als auch in der Zone C3 hat der Bewuchs am Rand des Ablagerungsgebiets im Vergleich zum vorangehenden Luftbild aus dem Jahr 2010 zugenommen.



Abbildung 67: farbiges Luftbild aus dem Jahr 2020

Auf dem Luftbild aus dem Jahr 2020 sieht man erstmals am Nordrand in der Zone F3 Spuren von Vegetation.

5.1.4 Vegetationsdiversität

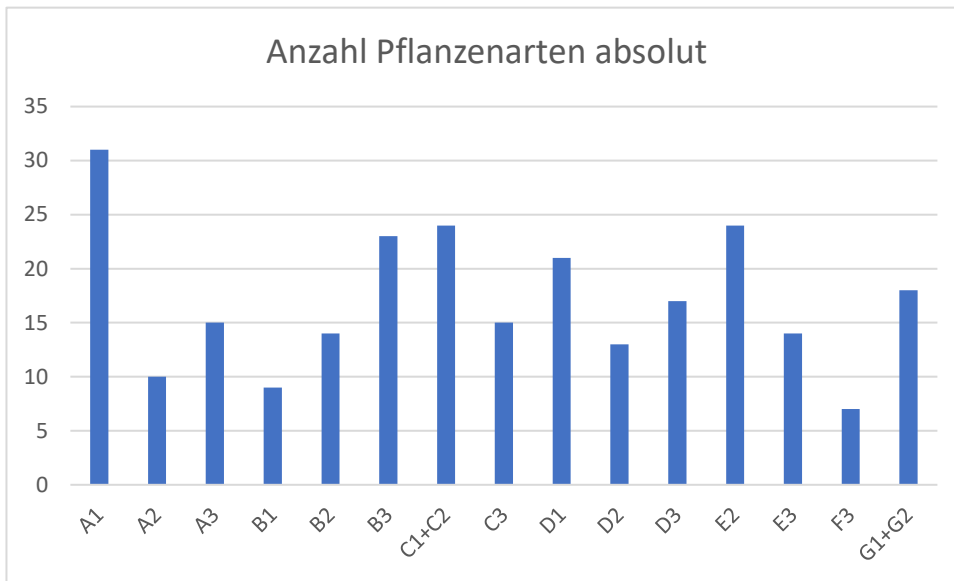


Abbildung 68: Anzahl Pflanzen in den Unterzonen

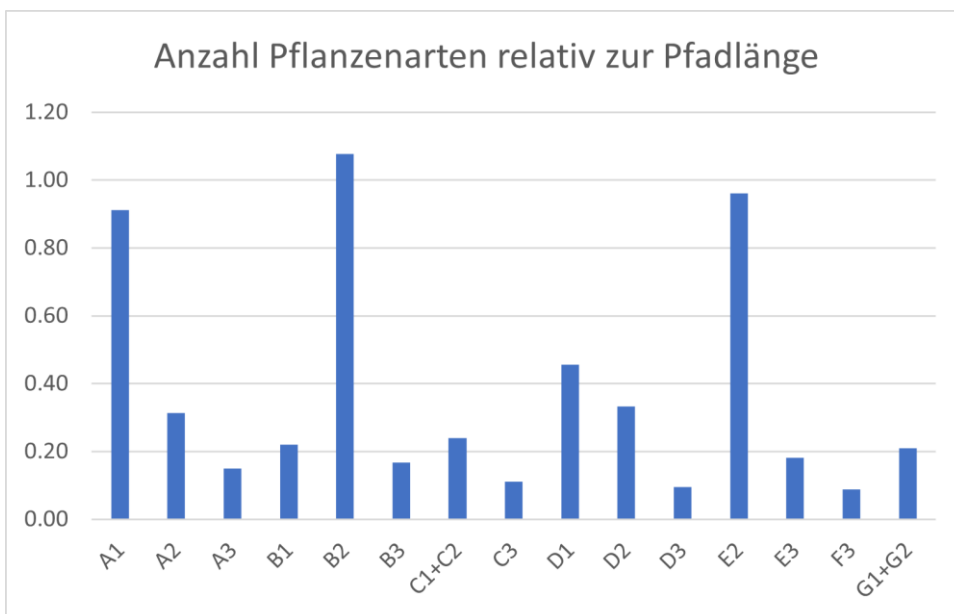


Abbildung 69: Pflanzendiversität in den Unterzonen

Derselbe Trend wie bei den Sukzessionsstadien zeigt sich auch bei der Auswertung des Pflanzenverzeichnisses (siehe Anhang: Pflanzenverzeichnis). In den obenstehenden Abbildungen wird die Pflanzendiversität in den einzelnen Unterzonen dargestellt (absolut und relativ zur Pfadlänge durch das Untersuchungsgebiet). Die grössten Diversitäten findet man in den Unterzonen 1, die nicht vom Bergsturz getroffen worden sind oder in den Unterzonen 2, die bereits als überwachsen definiert werden können. Bei den Unterzonen 3, die in der Schutthalde liegen, nimmt die Artenvielfalt mit zunehmender Höhe, mit Ausnahme von B3, tendenziell ab. Die Unterzonen B2 und E2 stechen in der relativen Darstellung heraus, im Gegensatz zur absoluten Darstellung. Die Längen der Unterzonen sind dort relativ klein.

5.1.5 Lärchenwachstum

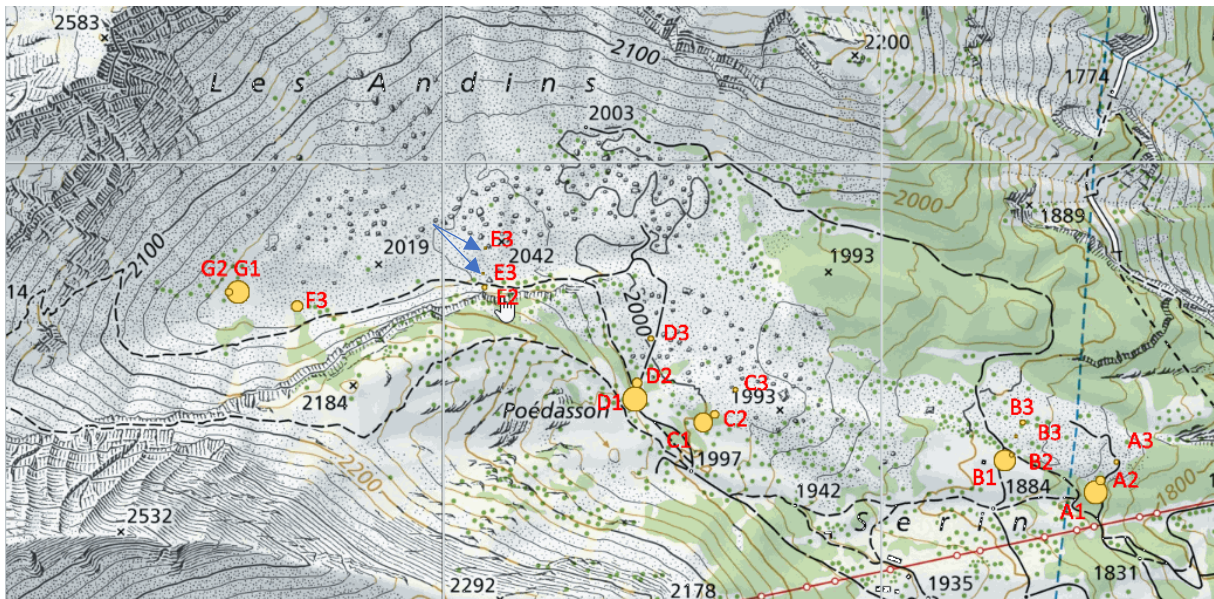


Abbildung 70: Umfang und Verteilung der gemessenen Lärchen im Ablagerungsgebiet

Auf der Grafik in Abbildung 70 sind der Durchschnitt der gemessenen Umfänge bei 1 m und 1.5 m Stammhöhe der höchsten Europäischen Lärchen (*Larix decidua*) sowie deren exakte Position in den Unterzonen des Ablagerungsgebiets zu sehen. Einige Europäische Lärchen (*Larix decidua*), wie z.B. jene in Unterzone E3 (siehe blaue Pfeile auf der Abbildung 70), die einen Durchmesser von nur gerade 5 cm aufweisen, sind auf der Landeskarte fast nicht erkennbar. Aus der obenstehenden Abbildung wird ersichtlich, dass es klare Unterschiede bei den Umfängen der jeweils grössten Lärchen in den Zonen und Unterzonen gibt. Es ist eindeutig zu erkennen, dass sich jeweils in den Unterzonen 1 die dicksten Lärchen befinden. In den Unterzonen 2 und 3 sind die Lärchenumfänge deutlich kleiner als in der Unterzone 1. Die kleinsten Lärchenumfänge sind meistens in der Unterzonen 3 gemessen worden.

Die Berechnungen des Lärchenalters mit der Formel von baumportal.de mit dem Wert $k = 0.5$ (siehe 4.1.5.2 Bestimmung des Lärchenalters) ergeben dieselbe Tendenz wie die Abbildung 70 mit den Umfängen und der Verteilung der Europäischen Lärchen (*Larix decidua*). Jene Europäischen Lärchen (*Larix decidua*), die sich am Rand des Ablagerungsgebiets befinden (siehe Punkte ganz links in den Abbildungen 71 bis 76), sind mit Ausnahme von Zone E älter als 75 Jahre. In der Unterzone 2 und der Unterzone 3 sind die Europäischen Lärchen (*Larix decidua*) höchstens 40 Jahre alt. Für die Zone F existieren keine vergleichbaren Daten, da Europäische Lärchen (*Larix decidua*) dort sehr rar sind. Die einzige Messung ergibt in dieser Zone ein Lärchenalter von 46 Jahren.

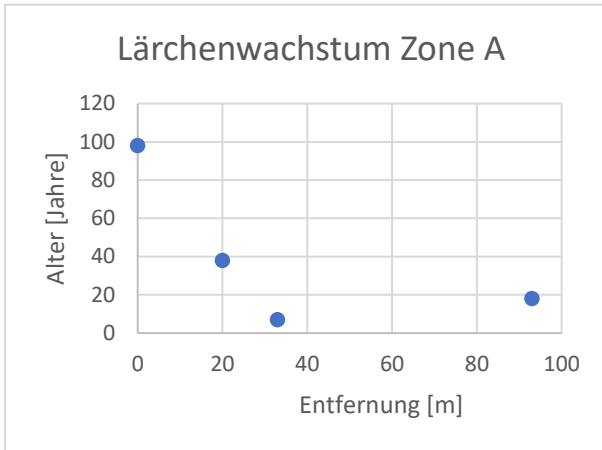


Abbildung 71: Lärchenwachstum in der Zone A

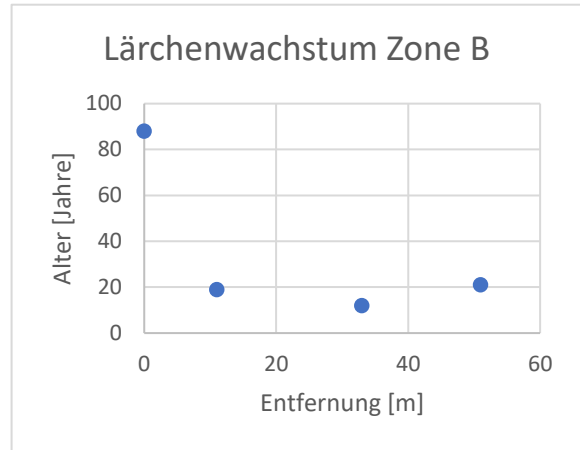


Abbildung 72: Lärchenwachstum in der Zone B

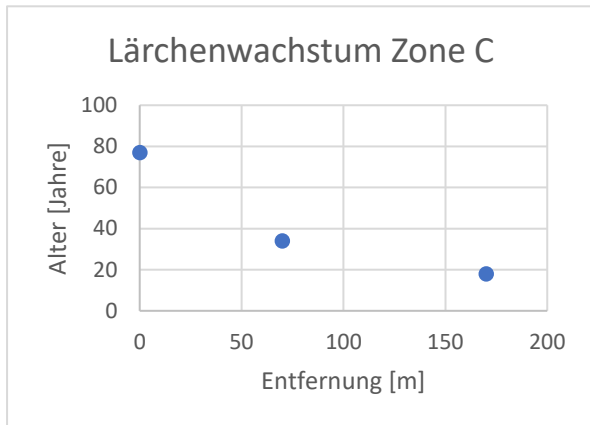


Abbildung 73: Lärchenwachstum in der Zone C

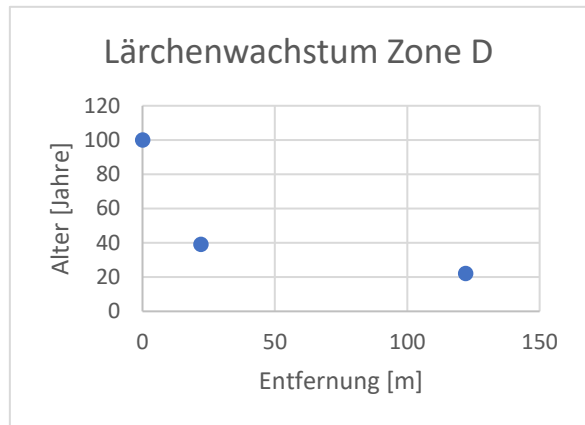


Abbildung 74: Lärchenwachstum in der Zone D

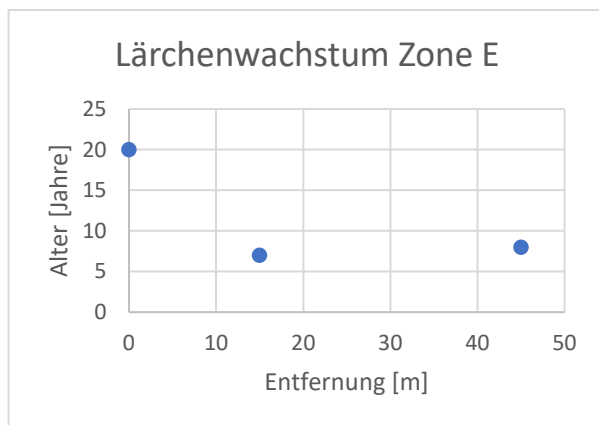


Abbildung 75: Lärchenwachstum in der Zone E

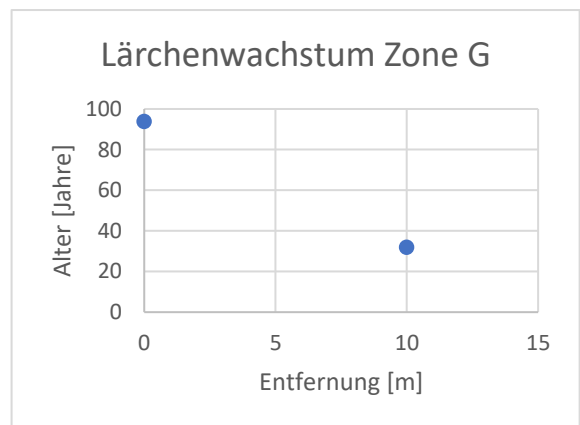


Abbildung 76: Lärchenwachstum in der Zone G

5.2 Blockgrössen

Die folgenden Resultate beziehen sich auf die zweite Fragestellung:

Wie liegen die markantesten Felsblöcke im Ablagerungsgebiet des Bergsturzes, der durch das Erdbeben vom 25. Januar 1946 und das Nachbeben vom 30. Mai 1946 an der Südflanke des Rawilhorns ausgelöst worden ist, verteilt?

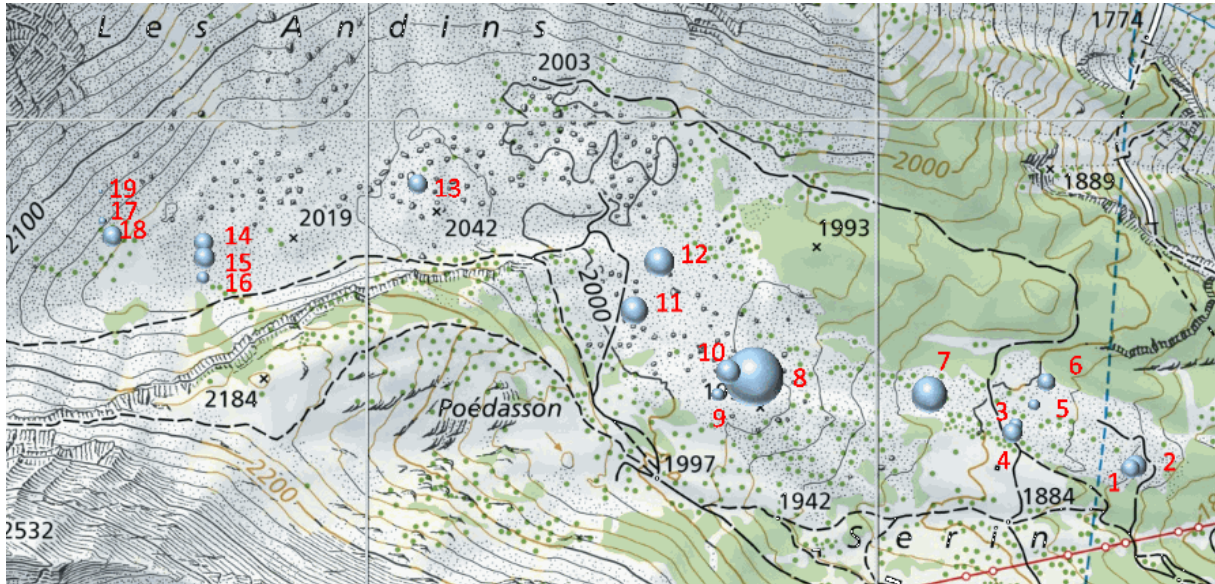


Abbildung 77: Grösse und Verteilung der gemessenen Einzelkomponente im Ablagerungsgebiet

Auf der obenstehenden Grafik sind die bei der Feldarbeit ausgemessenen Felsblöcke und ihre exakte Position im Ablagerungsgebiet zu sehen. Die dargestellten Kugeln entsprechen den ausgemessenen Felsblöcken (siehe 4.1.5.3 Bestimmung der Blockgrössen). Die Auswertung der gesammelten Daten zeigt, dass sich die grössten Felsblöcke hauptsächlich in der Mitte des Ablagerungsgebiets befinden, während die Felsblöcke mit eher kleinen Kubaturen am Ost- und Westrand der Schutthalde liegen. Die Volumina der gemessenen und geschätzten Blöcke in den verschiedenen Zonen reichen von 2 m³ (Block Nr.19) bis 6250 m³ (Block Nr.8) (siehe Tabelle Blockgrössen im Anhang).

5.3 Gesteinsarten

Bei der Bestimmung der Gesteinsarten sind hauptsächlich **kalkhaltige Gesteine mit Calcit-Adern** aufgetreten. In den Proben sind Quintnerkalk (siehe Abbildung 78) und Schratenkalk (siehe Abbildung 79) vorhanden. Auch Globigerinenmergel (siehe Abbildung 80) ist in den Gesteinsproben vertreten.



Abbildung 78: Quintnerkalk aus Zone D3



Abbildung 79: Schratenkalk aus Zone D3



Abbildung 80: Globigerinenmergel aus Zone A3

6 Diskussion

6.1 Sukzessionsentwicklung

Bei der Auswertung des Sukzessionsstadiums zeigt sich, dass die Wiederansiedlung der Vegetation im Ablagerungsgebiet eines Bergsturzes nicht nur von einem einzelnen Faktor wie beispielsweise der Höhe oder der Position im Ablagerungsgebiet abhängt. Man findet sogar innerhalb der verschiedenen Unterzonen 3 stets Bereiche, die gerade unterschiedliche Phasen der biogeomorphologischen Sukzession durchlaufen. Das sieht man auf eindrückliche Art und Weise bei der Unterzone E3, die von der Akkumulationsform her mit einem Vulkan verglichen werden kann (siehe Anhang: Skizze Akkumulationsform im Aufnahmeprotokoll zur Zone E). In der ziemlich steilen Südflanke der Schutthalde, die von groben Felsblöcken geprägt ist, hat sich kaum Vegetation etabliert. Dies könnte damit zusammenhängen, dass es immer wieder kleine geomorphologische Aktivitäten wie Stein- und Blockschläge gegeben hat, die den Prozess der Sukzession wieder zurückgeworfen haben (siehe Anhang: Transkription schriftliches Interview mit Armand Dussex). Im «Krater» hingegen findet man viele verschiedene Pflanzen und sogar kleine Europäische Lärchen (*Lárix decídua*). Möglicherweise konnte sich die Sukzession dort besser entwickeln, weil die Pflanzen in der Senke besser vor Wind geschützt sind und so mikroklimatisch andere Bedingungen vorfinden als an der Flanke. Auch in anderen Unterzonen lässt sich dieses Phänomen beobachten. Häufig wachsen Pflanzen hinter grossen Felsblöcken, welche sie von Westen her vor Wind und Wetter schützen.

Auf den Landeskarten sind vor allem die menschlichen Eingriffe in die Landschaft (Strasse, Sessellift, Wanderwege, Fahrwege) stets nachgeführt. Eine erste Entwicklung im Bereich der biogeomorphologischen Sukzession ist erst auf der Landeskarte von 1994 (knapp 50 Jahre nach dem Bergsturz) sichtbar. Dies obwohl Dussex und Yersin bei ihrer Untersuchung 1983 im unteren Teil der Schutthalde (Zone A3 und B3) bereits Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) mit einer Grösse von 3m gefunden haben. Dass diese Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) auf der Landeskarte nicht dargestellt werden, kann zweierlei Gründe haben: Entweder wurde die Entwicklung der Vegetation in diesem Gebiet nicht verfolgt und deshalb nicht auf den Karten nachgeführt oder aber die Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) waren noch zu klein, um auf einer Karte mit Massstab 1:25'000 abgebildet werden zu können. Fragwürdig ist auch, dass sich sowohl am südlichen wie auch am nördlichen Rand der Schutthalde der Verlauf des Waldes in den 75 Jahren nach dem Bergsturz auf den Karten nicht verändert. Dies obwohl bei der Feldarbeit beinahe in jeder Zone ein überwachsener Bereich gesichtet werden konnte.

Die Vegetationsentwicklung ist auf den Luftbildern deutlicher erkennbar als auf den Landeskarten. Dies weil auf Luftbildern im Gegensatz zu Landeskarten stets alles dargestellt und nicht aussortiert wird zwischen wichtig und unwichtig. Die Resultate der Luftbildanalyse zeigen, dass im östlichen Bereich des Ablagerungsgebiets die Sukzession viel schneller vorangeschritten ist, als im mittleren und westlichen Bereich. Allerdings muss beachtet werden, dass es schwierig ist, in den Zonen E3, F3 und G1+G2 die Sukzession zu beurteilen, da dort bei den meisten Luftbildern ein Schatten von Wolken oder von Geländeerhebungen auf der Südseite über dem Ablagerungsrand liegt und es deshalb wenig Kontraste gibt. Ausserdem ist es bei den ersten schwarz-weissen Luftbildern nach dem Bergsturz unmöglich, im Ablagerungsgebiet zwischen Schatten von Felsblöcken und allfällig gewachsenen Bäumen zu unterscheiden. Die Chance, dass in dieser kurzen Zeit nach dem Bergsturz bereits Bäume mit einer genügend grossen Höhe gewachsen sind, um auf einem Luftbild sichtbar zu sein, ist aber eher klein.

6.1.1 Vegetationsdiversität

Bei den Resultaten zu der Vegetationsdiversität erstaunt vor allem der tiefe Wert bei der Unterzone B1. Die geringe Artenvielfalt ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Unterzone B1 landwirtschaftlich genutzt wird. Der stickstoffreiche Boden in der Unterzone B1 ist nur für wenige Pflanzen als

Nährstoffgrundlage geeignet. Beispielsweise sind Gelber Enzian und Berg-Sauerampfer in dieser Unterzone sehr häufig anzutreffen, während andere typische Pflanzen, die in allen anderen Unterzonen 1 gefunden wurden, in B1 nicht vertreten sind. In der Abbildung 73 fällt ausserdem auf, dass Zone B3 eine hohe Artenvielfalt aufweist. Im Vergleich zu anderen Unterzonen 3, hat sich bei B3 in der Mitte der Schutthalde ein Wäldchen gebildet, welches sich bezüglich der biogeomorphologischen Sukzession in der ökologischen Phase befindet. In diesem Wäldchen tritt eine viel höhere Artenvielfalt auf, als in den anderen zu B3 gehörenden Bereichen. Die Anzahl insgesamt beobachteter Pflanzen umfasst sowohl die Pflanzen aus dem Wäldchen wie auch jene aus den Bereichen, die hauptsächlich von Geröll geprägt sind. Dies erklärt die hohe Artenvielfalt bei B3. Ein möglicher Grund für die weitentwickelte Vegetation im Wäldchen der Unterzone B3 könnte die von Dussex und Yersin erwähnte Quelle sein, die ganz in der Nähe entspringen sollte (siehe 1.3 Aktueller Wissensstand), die aber bei der Feldarbeit nicht gesehen wurde. Ebenfalls erstaunlich ist, dass bei mehreren Zonen die Werte der Unterzonen 2 tiefer sind als bei Unterzone 3. Dies könnte damit zusammenhängen, dass der Baumreichtum in Unterzone 2 zur Folge hat, dass viel weniger Sonnenlicht bis zum Boden durchsickert und dass viele kleine Pflanzen dadurch nicht mehr wachsen können.

6.1.2 Lärchenwachstum

In den Abbildungen zum Lärchenwachstum bestätigt sich die Annahme, dass die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) aus der Unterzone 1, die unmittelbar an das Ablagerungsgebiets angrenzen, höchstwahrscheinlich alle den Bergsturz überlebt haben. Dies zeigt auch die Berechnung des Alters, denn die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) aus der Unterzone 1 sind stets älter als 75 Jahre. Hingegen jene Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*), die in der Schutthalde oder im bereits überwachsenen Bereich stehen und sind vermutlich grösstenteils erst nach dem Bergsturz entstanden. Erstaunlicherweise sind die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) in der Unterzone 3 teilweise älter als jene in Unterzone 2 (Zone A, B, E). Dies könnte mit der unterschiedlichen Exponiertheit der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) zusammenhängen, die bei den Messungen nicht berücksichtigt wurden. Beispielsweise hinter Felsblöcken, welche alle Pflanzen vor Wind und Wetter schützen, können Europäische Lärchen (*Lárix decidua*) eher überleben und wachsen als auf einer Flanke, die sehr ausgesetzt ist. Die Grafiken zu den Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) veranschaulichen ausserdem den Prozess der biogeomorphologischen Sukzession. Die unterschiedlichen Baumumfänge wie auch das Alter zeigen, dass es viele Jahre dauert, bis in einem Ablagerungsgebiet eines Bergsturzes wieder Europäische Lärchen (*Lárix decidua*) wachsen können. Da die älteste Europäische Lärche (*Lárix decidua*) in der Schutthalde auf 46 Jahre geschätzt wird, muss davon ausgegangen werden, dass es nach dem Bergsturz vom 30. Mai 1946 ungefähr 30-35 Jahre gedauert hat, bis die ökologische Phase der biogeomorphologischen Sukzession eingesetzt hat. Die Abbildungen deuten darauf hin, dass die Sukzession am Rand der Schutthalde (Unterzone 2) schneller abläuft als in der Mitte der Schutthalde (Unterzone 3). Es bestätigt sich zudem die Annahme, dass die Sukzession in der Mitte des Ablagerungsgebiets (Zone E3 und Zone F3) am wenigsten weit fortgeschritten ist, denn dort sind die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) am dünnsten angesiedelt.

6.2 Blockgrössen

Die Resultate bei der Verteilung der Blockgrössen erstaunen, da bei Bergstürzen die grossen Felsblöcke normalerweise am weitesten transportiert werden. Bei diesem Bergsturz ist es aber so, dass die grössten Blöcke in der Mitte der Schutthalde abgelagert worden sind. Dies könnte damit zusammenhängen, dass es zwischen Zone D3 und Zone C3 ein relativ grosses Plateau gibt, welches eine geringe Hangneigung aufweist. Möglicherweise haben die grossen Felsblöcke bereits dort so viel Geschwindigkeit verloren, dass sie danach nicht mehr weiter gerollt sind. Eine andere mögliche Erklärung für diese Resultate könnte das Zerbrechen des Gesteins während des Bergsturzes sein.

6.3 Gesteinsarten

Die bestimmten Gesteinsarten gehören abgesehen vom Mergel, der in der Nappe du Sex Mort vertreten ist, zur Wildhorndecke. Dies deutet darauf hin, dass das Gesteinsmaterial des Bergsturzes vom 30. Mai 1946 nicht vom Gipfel des Rawilhorns gelöst worden ist, sondern aus dem restlichen Rawilhornmassiv, das von Kalkschichten und plastischem Material geprägt ist, stammt (siehe 3.2 Geologie im Gebiet des Rawilhorns).

6.4 Fazit

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass die biogeomorphologische Sukzession jeweils an den Rändern des Ablagerungsgebiets weiter fortgeschritten ist als in der Mitte. Nach dem Bergsturz vom 30. Mai 1946 ist die Vegetation Schritt für Schritt von aussen in die Schutthalde zurückgekehrt, wobei der grösste Teil des Ablagerungsgebietes auch 75 Jahre nach dem Bergsturz noch in der geomorphologischen Phase steckt und eine Wiederansiedlung der Vegetation noch nicht eingesetzt hat. Die biogeomorphologische Sukzession selbst ist nicht nur von der Höhe über Meer abhängig, sondern wird vor allem von den klimatischen (siehe 3.3 Klimatische Verhältnisse in Les Andins und beim Rawilhorn) und mikroklimatischen Voraussetzungen beeinflusst. Die Vegetationsentwicklung kann deshalb auf engstem Raum sehr verschieden sein. Im Vergleich zu den Beobachtungen von Dussex und Yersin aus dem Jahr 1983 ist die biogeomorphologische Sukzession deutlich fortgeschritten. Während die beiden Autoren die maximale Höhe der Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) auf 3 m datiert haben, sind die grössten Europäischen Lärchen (*Lárix decídua*) im unteren Teil der Schutthalde im Sommer 2021 bis zu einer Höhe von 12 m herangewachsen. Da das Gestein in der Schutthalde grösstenteils kalkhaltig ist, haben sich vor allem Pflanzen wie das Alpen-Leinkraut (*Linária alpína*) und Silberwurz (*Dryas octopétala*), welche den Standort «kalkhaltiger Schutt» bevorzugen (siehe 2.3 Biogeomorphologische Sukzession im Gebirge), im Ablagerungsgebiet angesiedelt. Die grössten Felsblöcke befinden sich in der Mitte des Ablagerungsgebiets, in welchem sich die biogeomorphologische Sukzession noch in einem Anfangsstadium befindet. Die eher kleinen Kubaturen sind am Ost- und Westrand des Ablagerungsgebiets platziert. Dort ist die Vegetationsentwicklung bereits weit fortgeschritten. Diesen Zusammenhang bestätigen die Resultate, die Armand Dussex und Anne-Marie Yersin am Ende ihrer Arbeit «*Dynamique de la végétation du pierrier de Serin*» 1984 festgehalten haben: *Die Sukzessionsentwicklung ist in Gebieten, die keine grossen Felsblöcke enthalten, weiter fortgeschritten.* Zwischen eher kleinerem Gesteinsmaterial versickert das Wasser weniger schnell und die Humusbildung erfolgt zügiger, was den Pflanzen bessere Standortvoraussetzungen bietet (Dussex & Yersin, 1984, S.102).

6.5 Ausblick

Das Ablagerungsgebiet des Bergsturzes am Rawilhorn vom 30. Mai 1946 bietet unglaublich vielfältige Möglichkeiten für wissenschaftliches Arbeiten und Forschen sowohl in der Vergangenheit, der Gegenwart wie auch in der nahen und fernen Zukunft.

Um ein grösseres Gesamtbild der Sukzessionsentwicklung im Ablagerungsgebiet zu erhalten, könnten **weitere «Zonen» definiert und untersucht werden.** Gerade zwischen der Zone B und der Zone C gibt es eine Höhenabstufung von ungefähr 100 m, in welcher die Vegetation für diese Arbeit nicht betrachtet wurde. Allerdings ist dieses Gebiet sehr steil und deshalb schwer zugänglich. Schon nur für das einmalige Durchqueren einer «Zone» in diesem anspruchsvollen Gelände müsste viel mehr Zeit einberechnet werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Vertiefung wäre das **Zählen von bestimmten Pflanzenarten auf einer engen, abgesteckten Fläche**, um herauszufinden, welche Pflanzen in welchem Bereich der Zone dominant sind. Dadurch könnte man die verschiedenen Stadien der biogeomorphologischen Sukzession nicht nur für eine einzelne Zone bestimmen, sondern innerhalb der Zone verschiedene Bereiche

definieren, in welchen der Prozess unterschiedlich weit fortgeschritten ist. Diese Idee erfordert aber minutiöse Planung im Vorfeld und einen längeren Arbeitseinsatz im Untersuchungsgebiet. Vermutlich wäre dies am einfachsten in einer Forschungsgruppe mit professioneller Ausrüstung durchzuführen.

Ebenfalls eine interessante Ergänzung für diese Arbeit wäre eine genaue **Untersuchung zur Humusbildung** in den einzelnen «Zonen». Beim Bergsturz am Rawilhorn wurde die gesamte Senke in der sich unter anderem auch der Lac de Luchet befand, mit Unmengen an Gesteinsmaterial aufgefüllt. Der Boden mitsamt allen Pflanzen wurde überschüttet und zerstört. Entsprechend musste sich für das Wachstum von Pflanzen im Ablagerungsgebiet zuerst einmal wieder neuer Humus bilden. Da stellt sich die Frage, wie lange dieser Prozess dauert und in welchen «Zonen» dieser weiter fortgeschritten ist als in anderen und weshalb dies so ist.

Während der Feldarbeit im Ablagerungsgebiet wurden immer wieder Steinschläge gehört und auch beobachtet. Dies ist ein Zeichen für geomorphologische Aktivität und **potentielle Instabilitäten** im Gesteinsaufbau. Möglicherweise könnte sich in Zukunft sogar ein weiterer Fels- oder Bergsturz am Rawilhorn ereignen. Deshalb wäre es spannend, die gesamte Südflanke mit einer Drohne zu fotografieren und alle diese Bilder im Anschluss in einem 3D-Modell zusammenzusetzen. Anhand von diesem könnte man die Gesteinsstrukturen aus der Ferne beurteilen, ohne sich selbst in Gefahr begeben zu müssen. Am Ende dieser Analyse könnte unter Umständen abgeschätzt werden, wie gross die Wahrscheinlichkeit für ein weiteres Ereignis dieses Ausmasses in Zukunft ist.

Erweiterungsbedarf gäbe es auch bei der Bestimmung des Lärchenalters. Anstatt das Lärchenalter mit Hilfe von Umfangsmessungen zu berechnen, könnte man **andere, dendrochronologische Methoden** (wie z.B. eine Probenentnahme mit dem Zuwachsbohrer) einsetzen. So hätte man die Möglichkeit, die Jahrringe zu zählen, was zu genaueren Resultaten führen würde. Zusätzlich könnte man bei den Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*), die älter als 75 Jahre sind, eine Analyse der Jahresringe durchführen und darauf achten, ob sich der Bergsturz in irgendeiner Art und Weise auf das Wachstum der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) ausgewirkt hat, respektive ob er in den Jahrringen nachgewiesen werden kann.

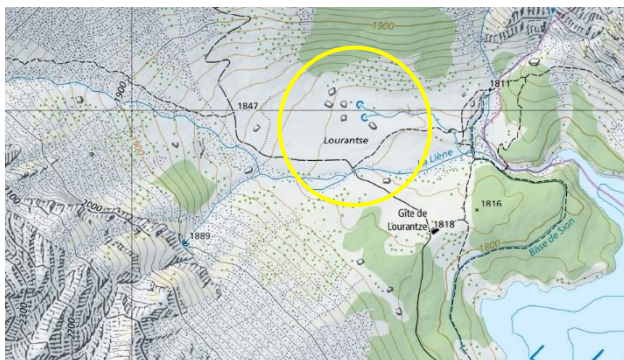


Abbildung 81: Ablagerungsgebiet nordöstlich des Rawilhorns

In dieser Arbeit steht das Ablagerungsgebiet auf der Südseite des Rawilhorns im Vordergrund. Wie aber aus den Datengrundlagen zur Arbeit *The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage* von Stefan Fritsche und Donat Fäh, die von Prof. Fäh für diese Maturaarbeit zur Verfügung gestellt worden sind, hervorgeht, ist beim Bergsturz vom 30. Mai 1946 nicht nur Material in Richtung Süden in die Senke des Lac de Luchet gestürzt, sondern auch nach Nordosten. Das Gesteinsmaterial ist etwas oberhalb des

Lac de Tseuzier (siehe gelber Kreis auf Abbildung 81) zum Stillstand gekommen. Im **Ablagerungsgebiet nordöstlich des Rawilhorns** könnte man dieselben Messungen durchführen wie in demjenigen auf der Südseite. Die Resultate bezüglich der Entwicklung der Sukzession in den beiden Untersuchungsgebieten könnten anschliessend miteinander verglichen werden. Sofern dabei grosse Unterschiede auftreten würden, könnte man sich fragen, wieso der Prozess der Sukzession im einen Untersuchungsgebiet schneller abläuft als im anderen und welche Faktoren die Geschwindigkeit der Wiederbesiedlung beeinflussen.

Die ganze Thematik des Bergsturzes am Rawilhorn könnte auch aus einer ganz anderen Perspektive – der **sozioökonomischen Perspektive** – betrachtet werden. Beim Bergsturz wurden landwirtschaftliche Flächen nahe der Alp Serin überschüttet und zerstört. Zudem wurde eine Suone durch den Bergsturz von der Wasserzufuhr abgeschnitten und trocken gelegt (siehe Abbildung 82). Suonen sind historische Bewässerungskanäle, die von den Menschen errichtet wurden, um Wasser von den Gebirgsbächen zu den trockenen Weiden und Äcker zu leiten (Gerber, 2014). Es wäre spannend herauszufinden, wie sich der Bergsturz in wirtschaftlicher Hinsicht für diese Bergbauern auf der Alp Serin ausgewirkt hatte. Es ist fraglich, ob die Weiden überhaupt weiter genutzt werden konnten, nachdem sowohl die Suone als auch der Lac de Luchet als Wasserversorgung weggefallen waren. Für diese Recherche würde sich ein Interview mit betroffenen Menschen am besten eignen. Vermutlich ist es aber ziemlich schwierig, Zeitzeugen zu finden, die sich noch aktiv an den Bergsturz von 1946 erinnern können.

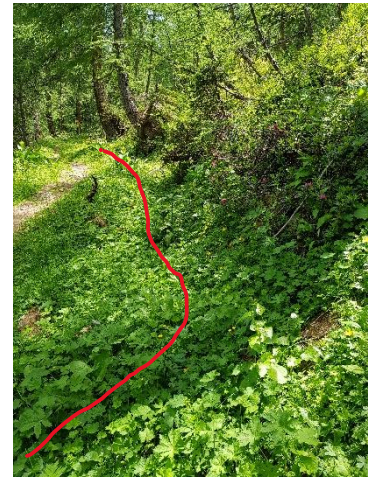


Abbildung 82: Trocken gelegte Suone neben dem Wanderweg

Eine weitere Idee wäre ein **Themenweg** mit verschiedenen Informationstafeln inklusive App und QR Code entlang des Wanderweges parallel zum südlichen Rand des Ablagerungsgebiets einzurichten. Dieser Themenweg sollte zum Ziel haben, das Bewusstsein der Öffentlichkeit für die Naturgefahren Erdbeben sowie Bergsturz zu schärfen und aufzuzeigen, welche langfristigen Konsequenzen derartige Ereignisse für Mensch, Fauna, Flora und Landschaft haben können. Gerade für Kinder wäre ein Themenweg mit einer geeigneten Begleitfigur (z. Bsp. Zwerg) eine tolle Möglichkeit, das Ablagerungsgebiet eines Bergsturzes spielerisch zu entdecken. Nicht zuletzt könnte ein solcher Themenweg auch der Ankurbelung des Tourismus in diesem entlegenen Gebiet dienen.

7 Reflexion

7.1 Inhalt

Da diese Arbeit zu Beginn auf die gesamten ökologischen Folgen der Erbeben bei Sierre von 1946 im Tal der Lienne ausgerichtet gewesen ist, sind die früh erarbeiteten theoretischen Grundlagen eher zu umfassend ausgefallen und haben den Fokus zu wenig spezifisch auf das Untersuchungsgebiet Les Andins gelegt. Um eine gezieltere Literaturrecherche vornehmen zu können, wäre es zwingend notwendig gewesen, die **Fragestellungen** von Anfang an auf den Bergsturz am Rawilhorn vom 30. Mai 1946 zu **beschränken**. Das Problem des ursprünglich zu gross gewählten Umfangs wäre vermeidbar gewesen, wenn vor der Formulierung der Fragestellungen ein intensiveres Studium von Landeskarten und Luftbildern stattgefunden hätte. So hätte bereits frühzeitig erkannt werden können, dass alleine das Ablagerungsgebiet des Bergsturzes am Rawilhorn eine Fläche von mehr als 2 km² umfasst und mehr als genug Spielraum für eine Untersuchung der Sukzession bietet.

Bei der Interpretation der Resultate muss beachtet werden, dass die Daten stets **Stichproben aus einer grossen Menge** darstellen. Im riesigen Untersuchungsgebiet thematisiert die vorliegende Arbeit bloss sieben ausgewählte «Zonen». Die Stichproben sollen zwar das Untersuchungsgebiet möglichst angemessen repräsentieren. Bei der Auswertung von Stichproben können aber immer **extreme Resultate** auftreten, die dann in bestimmten Fällen zu falschen Schlussfolgerungen führen können. Bei den Resultaten müsste stärker einbezogen werden, dass es sich bei den Messungen um Stichproben handelt. Bei der Bestimmung der Blockgrössen und des Lärchenalters sind beispielsweise nur die grössten Blöcke und höchsten Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) gemessen worden. Dadurch kann mit den Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) auf den Beginn der ökologischen Phase geschlossen werden. Allerdings sind diese Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) meistens Ausnahmefälle. Bestimmte Faktoren in ihrer unmittelbarer Umgebung haben ihr Wachstum in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten stark begünstigt. Um wirklich zuverlässige Daten zu erhalten, müssten viel mehr Messungen in einer Unterzone durchgeführt werden. Anschliessend könnten auch Aussagen über die Verteilung der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) im Untersuchungsgebiet gemacht werden. Auch bei den Blöcken würden mehr Messungen zu genaueren, aussagekräftigeren Resultaten führen. Interessant wäre ein Histogramm, welches die Felsblöcke gemäss ihren Volumina in verschiedene Kategorien einteilt. Daraus könnte abgeleitet werden, welche Blockgrössen in welcher Unterzone am häufigsten auftreten. Eventuell liesse sich daraus sogar einen Zusammenhang in Bezug auf die Vegetationsentwicklung erkennen.

7.2 Methoden

Für die **Literaturrecherche** hätte bei der Planung **mehr Zeit einberechnet** werden müssen. Geeignete Bücher, Artikel und Papers zu den spezifischen Themen dieser Arbeit zu finden und anschliessend zu organisieren, hat sich als aufwändiger herausgestellt, als vermutet. Auch das Lesen und Zusammenfassen von Texten hat sich als Herausforderung erwiesen, da die wichtigsten Quellen, die in dieser Arbeit zitiert werden, entweder in französischer oder englischer Sprache geschrieben sind oder ein sehr grosses Grundlagenwissen im Bereich Geologie voraussetzen. Das Verständnis von wissenschaftlichen Texten in einer Fremdsprache erfordert wesentlich mehr Durchhaltevermögen und Ausdauer und muss dementsprechend bei einer nächsten Arbeit im Vorhinein im Zeitplan berücksichtigt werden.

Das Interview mit Herr Armand Dussex hätte vermutlich mehr Erkenntnisse und spannendere Informationen geliefert, wenn es noch mehr **offene Fragestellungen** enthalten hätte und **mündlich durchgeführt** worden wäre. Bei einem persönlichen Gespräch hätte besser auf die Antworten des Interviewpartners reagiert und nachgefragt werden können. Da das Interview aber nicht von Anfang eingepplant war, sondern sich erst bei der Auswertung auf Grund von aufgetauchten Fragen ergeben hatte, wurde die schriftliche Form gewählt. Die Vor- und Nachbereitung sowie die Durchführung eines

Interviews auf Französisch in der noch übrig gebliebenen Zeit hätte zu allzu grossem Stress geführt. Wäre aber bereits während der Literaturrecherche die Idee für ein Interview aufgetaucht, hätte das Interview live vor Ort geführt werden können.

Beim **Vergleich von Landeskarten und Luftbildern** wäre es von Vorteil gewesen, wenn von Anfang an klar gewesen wäre, dass die alten Landeskarten, die nur im Massstab 1:50'000 existieren, sowie die ersten Luftbilder eine **zu geringe Auflösung bzw. Detailierungsgrad haben**, um die Sukzessionsentwicklung beurteilen zu können. Die erste Landeskarte im Massstab 1:25'000 ist 1965 erschienen, jene im Massstab 1:10'000 existiert erst seit 2016. Die Luftbilder sind lange Zeit nur schwarz-weiss vorhanden. Erst ab dem Jahr 1999 gibt es farbige Aufnahmen mit mehr Kontrast. Die Landeskarten und Luftbilder könnten jedoch bei der Vorbereitung auf die Feldarbeit sehr hilfreich sein. Um effektiv Aussagen über den Fortschritt der biogeomorphologischen Sukzession machen zu können, sind aber zu wenig Details erkennbar. Da die biogeomorphologische Sukzession in den ersten drei Phasen vor allem vom Wachstum kleiner Pflanzen wie Alpen-Leinkraut (*Linária alpína*) und Silberwurz (*Drýas octopétala*), die auf Landeskarten nicht dargestellt werden, abhängt, ist es unmöglich, diese auf der Karte zu erkennen. Zudem sind im Gebiet Les Andins kaum Veränderungen der Vegetation auf den Landeskarten nachgeführt worden, was es erschwert hat, Erkenntnisse zur biogeomorphologischen Sukzession auf diesem Weg zu gewinnen. Aus diesen Gründen hätte der Fokus von Beginn an mehr auf der Feldarbeit liegen sollen. Denn nur mit zahlreichen Beobachtungen im Untersuchungsgebiet vor Ort kann die Sukzession tatsächlich eingeschätzt werden.

Auch bei den Messungen im Feld sind immer wieder Probleme aufgetaucht:

Das Ablagerungsgebiet liegt **sehr abgelegen**. Die Talstation Les Rousses ist mit den unregelmässig fahrenden öffentlichen Verkehrsmitteln nur schwer zu erreichen. Die Strecke ist von Sion her auch mit dem Auto befahrbar. Die Strasse ist jedoch sehr eng, abschüssig, durch Steinschlag gefährdet und stellt deshalb für Neulenker eine echte Herausforderung dar. Da alleine die Fahrt bis zur Talstation schon lange gedauert hatte, war bei der Feldarbeit umso mehr **Effizienz** gefragt. Es sollten möglichst viele Messungen an einem Tag durchgeführt werden können, damit die Hin- und Rückreise zum Untersuchungsgebiet nicht x-Mal gefahren werden musste. Die Abgeschiedenheit des Untersuchungsgebiets führte dazu, dass die Feldarbeitstage sehr lang und streng wurden.

Ebenfalls problematisch war während der Feldarbeit das **Wetter**. Das Ablagerungsgebiet befindet sich in einem Talkessel, der von Norden, Süden und Westen durch Felswände begrenzt und gegen Osten zum Tal der Lienne geöffnet ist. Von Westen her aufziehende Gewitter- und Regenwolken bemerkte man beim konzentrierten Arbeiten in der Schutthalde gar nicht oder zu spät. Obwohl stets vor der Feldarbeit der Wetterbericht konsultiert wurde, können Gewitter in den Bergen nie zu 100% ausgeschlossen werden. Am ersten Feldarbeitstag zogen dunkle Wolken aus dem Nichts über dem Ablagerungsgebiet auf und brachten einen kurzen Platzregen mit sich. Ein Gewitter blieb glücklicherweise aus, doch die Feldarbeit musste nach dem Regen unterbrochen werden, da alle Felsblöcke nass und rutschig waren.

Obwohl das Untersuchungsgebiet Les Andins vor der Feldarbeit auf Karten und Luftbildern studiert wurde, überraschte die **Grösse der Schutthalde** am ersten Tag doch sehr. Was auf der Karte noch übersichtlich und gut begehbar aussah, stellte sich in Wirklichkeit als unüberblickbar und z.T. schwer durchquerbar dar. Die Fläche des Ablagerungsgebiets wurde vor Beginn der Feldarbeit massiv unterschätzt. Dadurch wurde die gesamte Planung für das Vorgehen bei der Feldarbeit bereits von Anfang an auf den Kopf gestellt. Es war in der zur Verfügung stehenden Zeit unmöglich, die mehr als 2 km² grosse Fläche genau zu untersuchen. Deshalb wurde vor Ort spontan entschieden, das

Ablagerungsgebiet in verschiedene «Zonen» aufzuteilen und nur in diesen «Zonen» Beobachtungen und Messungen durchzuführen.

Die Grösse des Ablagerungsgebiets stellte nicht nur für die Messungen sondern auch für die **Kommunikation** eine Herausforderung dar. Im Geröllfeld verlor man sich leicht aus den Augen, denn ein Mensch wirkt in Mitten all dieser riesigen Felsblöcke sehr klein. Ausserdem wurde Dialog durch den Wind, der von Westen über das Ablagerungsgebiet wehte, ständig unterbrochen. Bereits einige wenige Meter Distanz und ein grosser Felsblock reichten, damit man nichts mehr voneinander sah oder hörte. Deshalb war es wichtig, wann immer möglich den Blickkontakt zu einander suchen oder aus der Ferne Handzeichen zu geben.

Eine grosse Schwierigkeit bei der Feldarbeit stellte die **Fortbewegung im Geröllfeld** dar. In zwei Unterzonen (A3 und D3) konnten die Untersuchungen in unmittelbarer Nähe zum Wanderweg durchgeführt werden, in den anderen jedoch musste man sich selber einen Weg durch die Steinwüste bahnen. Die Steinblöcke waren oftmals durch tiefe Spalten voneinander getrennt, wackelten oder brachen sogar auseinander. Um in diesem abgelegenen Gebiet keine Verletzung zu riskieren, war beim Kraxeln in der Schutthalde Vorsicht geboten. Da für die Fortbewegung meistens auch die Hände zum Klettern und Abstützen gebraucht wurden, war es schwierig die Messgeräte, das Klemmbrett mit den Aufnahmeprotokollen und die Kamera im Geröllfeld zu transportieren. Am zweiten Feldarbeitstag fiel deshalb das 2 m Massband beim Durchqueren der Zone E herunter und verschwand für immer im Geröllschutt.



Abbildung 83: Endlose Gesteinswüste in der Zone C3

Eine ebenfalls nicht zu unterschätzende Schwierigkeit sind **aufretenden Steinschlägen im Ablagerungsgebiet**. Bereits während der Feldarbeit in den Zonen A und B waren aus der Ferne immer wieder ein Grollen und der Aufprall von Gesteinen zu hören. In den Zonen C bis E konnte das entlang der Südflanke des Rawilhorns fallende Gesteinsmaterial beobachtet werden. Um die Sicherheit aller an der Feldarbeit beteiligten Personen nicht unnötig zu gefährden, wurden die Zonen C bis F, die sich direkt unterhalb der Südflanke befinden, nicht ganz sondern nur bis ungefähr in die Mitte des Ablagerungsgebiets zu durchquert. Der gesamte nördliche Ablagerungsrand fliesst in diesen «Zonen» somit nicht in die Resultate ein.

Die Methode **Bestimmung der Vegetationsdiversität und des Sukzessionsstadiums** beruht hauptsächlich auf Beobachtung und nicht auf genauem Zählen von gewissen Pflanzenarten. Obwohl durch das mehrmalige Durchqueren der verschiedenen «Zonen» und die Verknüpfung mit dem Wissen aus dem Theorieteil ein umfassender Eindruck gewonnen wurde, können bei der Methode Beobachtung gewisse Pflanzen übersehen worden sein. Das zeigt sich beispielsweise beim Alpen-Leinkraut (*Linaria alpina*), das während der Feldarbeit kein einziges Mal gesehen wurde, gemäss Armand Dussex aber vertreten sein müsste (siehe Anhang: Transkription schriftliches Interview mit Armand Dussex). Eine Beobachtung ist keine Messung und deshalb können Lücken in den Daten auftreten. Die Resultate müssen demnach als **Annäherung** und nicht als genaues Abbild interpretiert werden. Bei der Ermittlung der Vegetationsdiversität wäre es bei einem nächsten Mal sinnvoll, in jeder «Zone» die gleiche Breite zu betrachten. So könnten die Resultate viel besser verglichen und in Bezug zu einander gesetzt werden.

Auch bei der **Bestimmung der Pflanzen** können Fehler passieren. Die App *PlantNet* war zwar hilfreich für eine erste grobe Einordnung der Pflanzen, jedoch wies sie teilweise Ungenauigkeiten auf. Für ein

genaues Bestimmen wurde deshalb auf die *Flora Helvetica* zurückgegriffen. Doch auch mit Hilfe der *Flora Helvetica* dauerte der ganze Prozess viele Stunden. Aus Umweltschutzgründen wurden die Pflanzen nicht ausgegraben und gepresst, sondern nur fotografiert. Die Pflanzen anhand der Fotos zu identifizieren, mutierte zu einer grossen Herausforderung, besonders weil es von gewissen Pflanzen 20 Unterarten gibt, die sich nur in Details voneinander unterscheiden. Weil sich im Juli nach diesem langen, schneereichen Winter in den Alpen diverse Pflanzen noch in der Keimphase befanden und noch gar keine Blüten ausgebildet hatten, wurde die Bestimmung zusätzlich erschwert. Abhilfe schuf dabei die *Flora Vegetativa*, die als Bestimmungshilfe für Pflanzen im blütenlosen Zustand diente. So konnten die Fotos der Blattstrukturen doch noch den entsprechenden Pflanzen zugeordnet werden. Es wäre bei einem nächsten Mal jedoch sinnvoll, die Pflanzen gerade direkt während der Feldarbeit genau zu bestimmen.

Auch das **Messen der Lärchenumfänge** stellte sich während der Feldarbeit als nicht ganz einfach heraus. Die Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) in den überwachsenen Gebieten befanden sich häufig auf Kreten, auf die man zuerst hinaufklettern musste, um überhaupt mit den Messungen beginnen zu können. Ausserdem wiesen diese Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) jeweils ziemlich viele Seitenäste auf, die es schwierig gestalteten, den Umfang genau zu bestimmen. Oftmals mussten die Äste mühsam weggedrückt werden, um den Umfang des Stamms messen zu können. Trotzdem können bei Messungen aufgrund der Seitenäste Ungenauigkeiten entstehen, die danach auch bei der Berechnung des Lärchenalters zu Abweichungen führen können.

Bei der **Bestimmung des Lärchenalters** wäre es sinnvoller beim nächsten Mal für den Wert von k nicht einfach 0.3 oder 0.5 zu verwenden. Diese Werte sind zwar das Resultat von unzähligen Messungen, trotzdem ist unklar, welche Faktoren bei diesen Messungen berücksichtigt wurden. Besser wäre es, den **Wert k** direkt im Ablagerungsgebiet **selber zu bestimmen**. Der Wert k hat die Einheit Jahr/cm und gibt das Dickenwachstum an. Dieses Dickenwachstum ist nicht nur abhängig von der jeweiligen Baumart, sondern auch von den klimatischen Voraussetzungen (siehe 3.3 Klimatische Verhältnisse in Les Andins und beim Rawilhorn), der Bodenbeschaffenheit und der Höhe. Um diese in der Berechnung des Alters angemessen zu berücksichtigen, könnten an Baumstrünken von geholzten Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) die Jahrringe gezählt und der Umfang gemessen werden. Der Wert k könnte mit der folgenden Formel ausgerechnet werden:

$$\frac{t \text{ [Jahre]}}{U \text{ [cm]}} = k \text{ [Jahr/cm]}$$

Am besten würde man den Wert k bei mehreren Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) bestimmen, anschliessend den Mittelwert berechnen und diesen dann für die Bestimmung des Lärchenalters verwenden. Zudem sollte bei den gemessenen Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) die **Exponiertheit** berücksichtigt werden. Idealerweise sollten alle in den Resultaten vertretenen Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) ähnliche Standortvoraussetzungen aufweisen.

Zusätzlich zur Gesteinsbestimmung anhand des Buchs *Gesteine der Schweiz* von Jürg Meyer müssten **mikroskopische und chemische Untersuchungen** durchgeführt werden, um die Gesteinsproben eindeutig identifizieren zu können. Mit Hilfe der Beschreibungen und Bilder im Buch konnten die Gesteine nicht immer zuverlässig bestimmt werden, denn es gab Gesteinsarten (z.B. Schrattenkalk und Quintnerkalk), die sich sehr ähnlich sehen und schwer zu unterscheiden waren. Für zuverlässigere Resultate hätte bei der Feldarbeit auf Salzsäure (HCl) zum Nachweis von Kalk im Gestein und eine Lupe für die

detaillierte Betrachtung von Gesteinsoberflächen zurückgegriffen werden können. Um aber wirklich Gewissheit zu haben, wäre eine Untersuchung der chemischen Zusammensetzung der Gesteinsproben im Labor nötig gewesen.

Bei der gesamten Feldarbeit und insbesondere bei der Bestimmung der Blockgrößen wäre eine **professionellere Ausrüstung** von Vorteil gewesen. Für viele Messungen (z.B. Länge und Breite der Blöcke, Abstand der Europäischen Lärchen (*Lárix decidua*) zueinander) war das 20 m Massband zu kurz und musste zweimal angesetzt werden. Ein Massband mit 50 m Länge hätte gewisse Messungen vereinfacht. Zudem wäre in gewissen Zonen des Ablagerungsgebiets eine Bauarbeiterhose hilfreich gewesen. In der Bauarbeiterhose hätten die Messgeräte, Karten und Gesteinsproben einfach verstaut werden können und nicht in den Händen transportiert werden müssen. So hätte das Risiko, Messgeräte wie ein Massband im Geröll zu verlieren, minimiert werden können. Im Gegenzug wären die Hände frei fürs Klettern im steinigen Gelände gewesen, was sich wiederum positiv auf die eigene Sicherheit auswirken hätte. Beim nächsten Mal sollte unbedingt im Voraus besser abgeklärt werden, wo und wie gross die Gefahr von Steinschlag im Untersuchungsgebiet ist.

Während der gesamten Feldarbeit war es schwierig, den **Überblick über die gesammelten Daten und Fotos** zu behalten. Während den zwei Feldarbeitstage entstanden mehrere hundert Fotos, die jeweils im Nachhinein den Zonen zugeordnet werden mussten. Obwohl während der Feldarbeit auf jedem Aufnahmeprotokoll die DSC-Nummern notiert wurden, gab es schlussendlich Unklarheiten beim Sortieren der Bilder. Da bereits während der Feldarbeit unscharfe und nicht gelungene Fotos gelöscht wurden, verschoben sich diese DSC-Nummern, sodass sie nicht mehr mit denjenigen Zahlen auf den Aufnahmeprotokollen übereingestimmten. Zum Glück konnte mit Hilfe des Trackings der Garmin Instinct Sportuhr nachverfolgt werden, welche Zone zu welcher Uhrzeit besucht wurden. Da auch die Bilder die Aufnahmezeit in den Informationen gespeichert hatten, konnte schlussendlich doch noch rekonstruiert werden, welches Bild aus welcher Zone stammte.

Auch das **Auswerten der erfassten Daten und das Darstellen in Diagrammen** nahm sehr viel Zeit in Anspruch. Hauptschwierigkeit war, die vielen Daten so darzustellen, dass sie einerseits aussagekräftig und andererseits nicht zu kompliziert zum Verstehen sind. Das Programm Excel bietet viel Raum, für den Umgang mit Daten. Aus allen Optionen die passende Darstellungsweise auszuwählen, erwies sich jedoch als herausfordernd.

8 Quellen

8.1 Literatur

- Audan Trekking (o.J.). *Fondateurs*. Abgerufen am 06.10.2021 von <https://audantrek.ch/fondateurs/#>.
- Aufmkolk, T. & Liebsch, H. (2020). *Erdbeben*. Abgerufen am 15.06.2021 von www.planet-wissen.de/natur/naturgewalten/erdbeben/index.html#Kontinente.
- Baltisberger, M. & Nyffeler, R. (2018). *Höhenstufen*. Abgerufen am 28.09.2021 von www.balti.ethz.ch/pdf/Hoehenstufen.pdf.
- Baumportal.de (2021a). *Baumalterbestimmung mit dem Baumalter-Schätz-O-Meter von baumportal.de*. Abgerufen am 22.08.2021 von www.baumportal.de/baumalter-schaetz-o-meter.
- Baumportal.de (2021b). *Baum Alter bestimmen*. Abgerufen am 22.08.2021 von www.baumportal.de/baum-alter-bestimmen.
- BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2015). *Sturzprozesse. Faktenblätter Gefahrenprozesse*.
- Cherubini, P. et al. (2004). *Jahrringe als Archive für interdisziplinäre Umweltforschung*. Schweizer Zeitschrift für Forstwesen. 155. S. 162-168.
- Dikau, R. et al. (2019). *Geomorphologie*. Berlin: Springer Spektrum. 1. Auflage.
- Dendrosuisse (o.J.). *Dendrochronologie*. Abgerufen am 29.09.2021 von www.dendrosuisse.ch/dendrochronologie.
- Dussex, A. & Yersin, A-M. (1984). *Dynamique de la végétation du pierrier de Serin (Ayent, Valais)*. Bulletin de La Murithienne. 102. S. 99-115.
- Fritsche, S. & Fäh, D. (2009). *The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*. Swiss Journal of Geosciences. 102. S. 423-439.
- Eggenberg, S. & Möhl, A. (2020). *Flora Vegetativa. Ein Bestimmungsbuch für Pflanzen der Schweiz im blütenlosen Zustand*. Bern: Haupt Verlag. 4. Auflage.
- ETH Zürich (o.J.). *Erdbeben in der Schweiz*. Abgerufen am 31.10.2021 von www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/3661.pdf.
- Gerber, J. (2014). *Begriffe. Das Wort «Suone»*. Abgerufen am 28.09.2021 von <https://suone.ch/suonen/begriffe/suone>.
- Gisler, M. & Fäh, D. (2008). *Nachbeben. Eine Geschichte der Erdbeben in der Schweiz*. Bern: Haupt Verlag. 1. Auflage.
- Gnägi, C. & Labhart, T. (2015). *Geologie der Schweiz*. Thun: ott verlag. 9. Auflage.
- Heise, S. (2012). *Infoblatt Vegetationszonen der Erde*. Abgerufen am 02.11.2021 von www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Realschule&artikel_id=108217&inhalt=klett71prod_1.c.155218.de.
- Lauber, K. et al. (2018). *Flora Helvetica. Illustrierte Flora der Schweiz*. Bern: Haupt Verlag. 6. Auflage.
- Marietan, I. (o.J.). *Le tremblement de terre du 25 janvier 1946*. Bulletin de la Murithienne. 63. S. 70-87.
- Meyer, J. (2017). *Gesteine der Schweiz. Der Feldführer*. Bern: Haupt Verlag. 1. Auflage.

NCCS (National Centre for Climate Services) (2018). *Klima heute Alpen*. Abgerufen am 31.10.2021 von www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klima-heute-alpen.html.

NZZ (2005). *So sicher wie eine Schweizer Talsperre*. NZZ. 23.02.2005. Abgerufen am 08.10.2021 von www.nzz.ch/articleCM39Q-1.97192?reduced=true.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) (o.J.a). *Entstehung eines Bergsturzes*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/bergsturz/entstehung-bs.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) (o.J.b). *Entstehung eines Erdbebens*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.planat.ch/de/wissen/erdbeben/entstehung-eb/.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) (o.J.c). *Entstehung von Steinschlag und Felssturz*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/steinschlag-/felssturz/entstehung-s/f.

PLANAT (Nationale Plattform Naturgefahren) (2012). *Fachbegriffe im Naturgefahrenbereich*.

SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.a). *Häufig gestellte Fragen (FAQ)*. Abgerufen am 15.06.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/things-to-know/faq/.

SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.b). *Sierre 1946*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/earthquake-country-switzerland/historical-earthquakes/sierre-1946/.

SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.c). *Ursachen Erdbeben im Allgemeinen*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/things-to-know/causes-of-earthquakes/general/.

SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.d). *Erdbeben im Wallis*. Abgerufen am 17.10.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/earthquake-country-switzerland/regional-earthquakes/valais/.

Staub, R. (2003). *Geologie der Alpen*. Abgerufen am 29.09.2021 von https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fwww.ika.ethz.ch%2Fteaching%2Fda_staub%2Fdata%2Fdocs%2Falpengeo.doc&wdOrigin=BROWSELINK.

Strati (Lithostratigraphisches Lexikon der Schweiz) (o.J.). *Nappe du Sex Mort*. Abgerufen am 29.09.2021 von www.strati.ch/de/tectonic/sex-mort.

Swisstopo (2021e). *SWISSIMAGE 10 cm*. Abgerufen am 29.10.2021 von www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/images/ortho/swissimage10.html.

Walliser Bote (1946). *Das Erdbeben vom 25. Januar 1946*. Walliser Bote. 29.01.1946. S. 3.

WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (o.J.). *Jahrring-Forschung ist mehr als Baumringe zählen*. Abgerufen am 28.09.2021 von www.wsl.ch/de/wald/jahrringe-und-baumwachstum/mehr-als-baumringe-zaehlen.html.

8.2 Abbildungen

Titelbild: Eigene Darstellung.

Abbildung 1: Swisstopo (2021a). Abgerufen am 27.09.2021 von <https://mf-chsdi3.prod.bgdi.ch/shorten/9353f54755>.

Abbildung 2: Fritsche, S. & Fäh, D. (2009). *The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*. Swiss Journal of Geosciences. 102. S. 423-439.

Abbildung 3: Fritsche, S. & Fäh, D. (2009). *The 1946 magnitude 6.1 earthquake in the Valais: site-effects as contributor to the damage*. Swiss Journal of Geosciences. 102. S. 423-439.

Abbildung 4: Dussex, A. & Yersin, A-M. (1984). *Dynamique de la végétation du pierrier de Serin (Ayent, Valais)*. Bulletin de La Murithienne. 102. S. 99-115.

Abbildung 5: Earth Systems and Resources (o.J.). Abgerufen am 29.06.2021 von <https://sites.google.com/site/gcompetente/earthsystemsandresources>.

Abbildung 6: SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.a). Abgerufen am 29.06.2021 von www.seismo.ethz.ch/static/quiz/de/fragen_antworten/epizentrum.htm.

Abbildung 7: SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.b). *Häufig gestellte Fragen*. Abgerufen am 29.06.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/things-to-know/faq/#cc_00165.xml.

Abbildung 8: Dikau, R. et al. (2019). *Geomorphologie*. Berlin: Springer Spektrum. 1. Auflage.

Abbildung 9: Dikau, R. et al. (2019). *Geomorphologie*. Berlin: Springer Spektrum. 1. Auflage.

Abbildung 10: Schwab, M. (2019). Abgerufen am 29.06.2021 von www.flickr.com/photos/michaelandanita/50321612667/.

Abbildung 11: Eigene Darstellung.

Abbildung 12: Schweizerflora (o.J.). Abgerufen am 29.06.2021 von www.schweizerflora.ch/pflanzen/neue_Nummern/htmseiten/0761n.htm.

Abbildung 13: Eigene Darstellung.

Abbildung 14: Eigene Darstellung.

Abbildung 15: WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (o.J.). *Jahrring-Forschung ist mehr als Baumringe zählen*. Abgerufen am 29.09.2021 von www.wsl.ch/de/wald/jahrringe-und-baumwachstum/mehr-als-baumringe-zaehlen.html.

Abbildung 16: WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (o.J.). *Jahrring-Forschung ist mehr als Baumringe zählen*. Abgerufen am 29.09.2021 von www.wsl.ch/de/wald/jahrringe-und-baumwachstum/mehr-als-baumringe-zaehlen.html.

Abbildung 17: SED (Schweizerischer Erdbebendienst) (o.J.b). *Sierre 1946*. Abgerufen am 06.07.2021 von www.seismo.ethz.ch/de/knowledge/earthquake-country-switzerland/historical-earthquakes/sierre-1946/.

Abbildung 18: Wehrli, L. (1946). *Rawil Erdbeben vom 30.05.46, Absturz-Flanken am Rawilhorn*. Abgerufen am 06.07.2021 von <https://eth.swisscovery.sls.ch/discovery/fulldisplay?docid=alma99117392803005503&context=L>

&vid=41SLSP_ETH:ETH&lang=de&search_scope=DiscoveryNetwork&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=discovery_network&query=any,contains,leo%20wehrli%20erdbeben&offset=0.

Abbildung 19: Wehrli, L. (1947). *Lac de Luchet vor und nach dem Bergsturz vom 30.5.1946*. Abgerufen am 13.10.2021 von <https://ba.e-pics.ethz.ch/catalog/ETHBIB.Bildarchiv/r/76425/viewmode=infoview/qsr=lac%20de%20luchet>.

Abbildung 20: Swisstopo (o.J.). *Legende Geologischer Atlas*. Abgerufen am 29.09.2021 von https://data.geo.admin.ch/ch.swisstopo.geologie-geologischer_atlas/legenden/35.png.

Abbildung 21: meteoblue (o.J.). *Klima 46.34°N 7.42°O*. Abgerufen am 31.10.2021 von www.meteoblue.com/de/wetter/historyclimate/climatemodelled/46.335N7.422E.

Abbildung 22: Hess, H. et al. (1972). *Flora der Schweiz*. Basel: Birkhäuser.

Abbildung 23: Meyer, J. (2017). *Gesteine der Schweiz. Der Feldführer*. Bern: Haupt Verlag. 1. Auflage.

Abbildung 24: Eigene Darstellung.

Abbildung 25: Audan Trekking (o.J.). *Fondateurs*. Abgerufen am 06.10.2021 von <https://audantrek.ch/fondateurs/#>.

Abbildung 26: Swisstopo (2021e). Abgerufen am 29.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/93f8ad0ea7>.

Abbildung 27: Swisstopo (1959). Abgerufen am 29.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/93f88932ca>.

Abbildung 28: Swisstopo (2021b). *Untersuchungsgebiet auf der Schweizer Landeskarte Massstab 1:10'000*. Abgerufen am 06.07.2021 von <https://s.geo.admin.ch/91a8577dfc>.

Abbildung 29: Eigene Darstellung.

Abbildung 30: Bonjour, R. (2021). Ayent.

Abbildung 31: Eigene Darstellung.

Abbildung 32: Eigene Darstellung.

Abbildung 33: Swisstopo (2021c). Abgerufen am 31.10.21 von <https://s.geo.admin.ch/93fdcf9c64>.

Abbildung 34: Eigene Darstellung.

Abbildung 35: Eigene Darstellung.

Abbildung 36: Eigene Darstellung.

Abbildung 37: Eigene Darstellung.

Abbildung 38: Eigene Darstellung.

Abbildung 39: Eigene Darstellung.

Abbildung 40: Eigene Darstellung.

Abbildung 41: Eigene Darstellung.

Abbildung 42: Eigene Darstellung.

Abbildung 43: Eigene Darstellung.

Abbildung 44: Swisstopo (1946). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/938519a8fa>.

Abbildung 45: Swisstopo (1956). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d21c74>.

Abbildung 46: Swisstopo (1959). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d65e95>.

Abbildung 47: Swisstopo (1965). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d71c3a>.

Abbildung 48: Swisstopo (1969). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d7eba2>.

Abbildung 49: Swisstopo (1974). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d854aa>.

Abbildung 50: Swisstopo (1980). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384d94849>.

Abbildung 51: Swisstopo (1989). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384da251a>.

Abbildung 52: Swisstopo (1994). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384dad20>.

Abbildung 53: Swisstopo (2001). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9384db8672>.

Abbildung 54: Swisstopo (2006). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9385188b80>.

Abbildung 55: Swisstopo (2012). Abgerufen am 07.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/938518f577>.

Abbildung 56: Swisstopo (1946). Abgerufen am 08.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/938cb82c97>.

Abbildung 57: Swisstopo (1959). Abgerufen am 08.10.2021 von https://api.geo.admin.ch/luftbilder/viewer.html?lang=de&width=8867&layer=ch.swisstopo.lubis-luftbilder_schwarzweiss&bildnummer=19591330012775&title=ch.swisstopo.lubis-luftbilder-dritte-kantone.ebkey&rotation=0&datenherr=swisstopo&height=9348&x=5142.99&y=2761.95&zoom=4.000053644169384&contrast=false.

Abbildung 58: Swisstopo (1969). Abgerufen am 08.10.2021 von https://api.geo.admin.ch/luftbilder/viewer.html?lang=de&width=16892&layer=ch.swisstopo.lubis-luftbilder_schwarzweiss&bildnummer=19691320028689&title=ch.swisstopo.lubis-luftbilder-dritte-kantone.ebkey&rotation=0&datenherr=swisstopo&height=17804&x=8446.00&y=8902.00&zoom=1.

Abbildung 59: Swisstopo (1974). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9391f0eef7>.

Abbildung 60: Swisstopo (1980). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9391f6bb2f>.

Abbildung 61: Swisstopo (1986). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9391fcd00e>.

Abbildung 62: Swisstopo (1992). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9392015f87>.

Abbildung 63: Swisstopo (1999). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/93920c9abc>.

Abbildung 64: Swisstopo (2004). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9392106514>.

Abbildung 65: Swisstopo (2010). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9392140188>.

Abbildung 66: Swisstopo (2013). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/9392172518>.

Abbildung 67: Swisstopo (2020). Abgerufen am 09.10.2021 von <https://s.geo.admin.ch/939218f56e>.

Abbildung 68: Eigene Darstellung.

Abbildung 69: Eigene Darstellung.

Abbildung 70: Swisstopo (2021c). Abgerufen am 25.09.21 von <https://s.geo.admin.ch/9347f92903>.

Abbildung 71: Eigene Darstellung.

Abbildung 72: Eigene Darstellung.

Abbildung 73: Eigene Darstellung.

Abbildung 74: Eigene Darstellung.

Abbildung 75: Eigene Darstellung.

Abbildung 76: Eigene Darstellung.

Abbildung 77: Swisstopo (2021c). Abgerufen am 25.09.21 von <https://s.geo.admin.ch/9347f92903>.

Abbildung 78: Eigene Darstellung.

Abbildung 79: Eigene Darstellung.

Abbildung 80: Eigene Darstellung.

Abbildung 81: Swisstopo (2021d). Abgerufen am 08.07.2021 von <https://s.geo.admin.ch/91b2c2730c>.

Abbildung 82: Eigene Darstellung.

Abbildung 83: Eigene Darstellung.

8.3 Tabellen

Tabelle 1: BAFU (Bundesamt für Umwelt) (2015). *Sturzprozesse. Faktenblätter Gefahrenprozesse.*

Tabelle 2: Eigene Darstellung.

Tabelle 3: Eigene Darstellung.

Tabelle 4: Eigene Darstellung.

Tabelle 5: Eigene Darstellung.

Tabelle 6: Eigene Darstellung.

Tabelle 7: Eigene Darstellung.

Tabelle 8: Eigene Darstellung.

Tabelle 9: Eigene Darstellung.

Tabelle 10: Eigene Darstellung.


Tabelle 11: Eigene Darstellung.

Tabelle 12: Eigene Darstellung.

Tabelle 13: Eigene Darstellung.

9 Anhang

Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	A
Eckpunkt Zone:	46°19.9893' N 7°25.9616' O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	1840
Hangneigung Schutthalde [°]:	30 (potentielle Abrutschgefahr)
Akkumulationsform:	aufgetürmter Hügel mit steilen seitlichen Flanken
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m ³]:	6 m * 7 m * 7 m = 294 m ³ 7 m * 7 m * 4 m = 196 m ³
Sukzessionsstadium:	ökologische Phase
Vegetation in der Schutthalde: (Zone A3)	Gewöhnlicher Hornklee, Schnee-Rot-Klee, Niedliche Glockenblume, Spiessblättrige Weide, Langspornige Handwurz, Alpen-Löwenzahn, Moor-Birke, Halbkugelige Rapunzel, Europäische Lärche, Rottanne, Alpen-Wundklee, Alpen-Sonnenröschen, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Wald-Weidenröschen, Alpen-Pestwurz, Farn, Hainlattich
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone A2)	Moor-Birke, Europäische Lärche, Rottanne, Rotes Waldvögelein, verschiedene Gräser, Spiessblättrige Weide, Wald-Storchschnabel, Hainlattich, Wald-Weidenröschen, Bewimperte Alpenrose
Vegetation in der Umgebung: (Zone A1)	Nadelwald mit Rottannen, Europäischen Lärchen sowie einzelnen, noch kleinen Laubbäumen (wenig Licht), Wiese mit vielfältiger Vegetation: Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Wald-Storchschnabel, Gewöhnlicher Wiesen-Kerbel, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, Gemeiner Frauenmantel, vereinzelt Bewimperte Alpenrosen, Fries' Scharfer Hahnenfuss, Gewöhnlicher Hornklee, Verwachsener Frauenmantel (Silbermantel), Moose, Europäische Trollblume, Hainlattich, Gewöhnliche Klat-schnelke, Alpen-Pestwurz, Heidelbeere, Gelber Enzian, Farn, Wald-Habichtskraut, Alpen-Vergissmeinnicht, Wald-Witwenblume, Wald-Weidenröschen, Kriechender Günsel, verschiedene Gräser, Berg-Sauerampfer, Schnee-Rot-Klee, Gewöhnlicher Löwenzahn, Spitz-We-gerich
Beobachtete Tiere:	Fuchs, Ameisen, Eidechse, Hummeln, Spinnen, leere Schneckenhäuser

Weitere Bemerkungen:	<p>Zone A3: Vegetation am Rand der Schutthalde weiter entwickelt, grosse Felskomponente wurden eher am Rand abgelagert, ca. 50m vom östlichen Ende des Ablagerungsgebiets entfernt, am Ende des Ablagerungsgebiets befindet sich ein Schutzwald mit hohen Nadelbäumen (Bremswirkung), es führt ein planierter Wanderweg durch die Schutthalde, auf dem Wanderweg gibt es vor allem Zwerglärchen (Anfangsstadium bis ca. 6m Höhe), näher beim Ende des Ablagerungsgebiets sind die Europäischen Lärchen deutlich höher</p> <p>Zone A1: Bewirtschaftete Alpweide mit Kühen befindet sich weiter südwestlich, gewisse Pflanzen wurden von dort importiert</p> <p>Zone A2: enthält Gesteinsblöcke, die entweder vom Bergsturz oder vom Gletscher stammen (Findlinge)</p>
----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 3: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone A


Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	B
Eckpunkt Zone:	46°20.034' N 7°25.7769' O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	1880
Hangneigung Schutthalde [°]:	9 (leichte Neigung, eher flach)
Akkumulationsform:	breite Ebene mit Auftürmungen in der Mitte
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m ³]:	$5 \text{ m} * 4.5 \text{ m} * 3 \text{ m} = 67.5 \text{ m}^3$ $6.5 \text{ m} * 5 \text{ m} * 6 \text{ m} = 195 \text{ m}^3$ $5 \text{ m} * 2 \text{ m} * 4 \text{ m} = 40 \text{ m}^3$ $6 \text{ m} * 3 \text{ m} * 9 \text{ m} = 162 \text{ m}^3$
Sukzessionsstadium:	von Pionierphase bis ökologische Phase
Vegetation in der Schutthalde: (Zone B3)	Europäische Lärche, Moos, Gewöhnlicher Hornklee, vereinzelt kleine Föhren und Moor-Birken, Rottanne, Gewöhnliche Berg-Distel, Alpen-Pestwurz, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Alpen-Sonnenröschen, Gewöhnlicher Wundklee, Berg-Baldrian, Grünstieliger Streifenfarn, Gänseblümchen, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, Hainlattich, Himbeere, Langblättriges Waldvögelein, Moor-Birke, Niedliche Glockenblume, Silberwurz, Spiessblättrige Weide, Wald-Weidenröschen
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone B2)	Moos, Wald-Weidenröschen, Wald-Storchschnabel, Europäische Lärche (dominant), Rottanne, Gewöhnlicher Löwenzahn, Alpen-Pestwurz, Himbeere, Vogelbeerbaum, Spiessblättrige Weide, Kriechender Günsel, Berg-Sauerampfer, Berg-Baldrian, Fries' Scharfer Hahnenfuss
Vegetation in der Umgebung: (Zone B1)	Bewirtschaftete Alpweide mit Kühen: Gelber Enzian (dominant), Wald-Storchschnabel, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, verschiedene Gräser, Berg-Sauerampfer, Halbkugelige Rapunzel, Gemeiner Frauenmantel, Schnee-Rot-Klee, Gewöhnlicher Löwenzahn
Beobachtete Tiere:	Eichhörnchen, Kleiner Fuchs, verlassene Schneckenhäuschen

Weitere Bemerkungen:	<p>Zone B3: Vegetationsentwicklung in Schutthalde auf engstem Raum sehr verschieden, häufig auf Auftürmungen Sukzession weiter fortgeschritten (Humusbildung bereits erfolgt), in der Mitte der Schutthalde ist ein Wäldchen mit vielfältiger Vegetation entstanden, am Rand der Schutthalde befindet sich eine Steinwüste mit einzelnen sehr grossen Blöcken, dahinter ist die Vegetation schneller zurück gekehrt (windgeschützte Lage), Akkumulation von vielen eng beieinander liegenden Felsblöcken verlangsamt Sukzession (hat nur Moose und vereinzelt Pionierpflanzen in Ritzen), Felsblöcke sind sehr zersplittert und brechen auseinander (Erosion und Verwitterung)</p> <p>Zone B2: dicht bewachsen und ziemlich dunkel, es kommt wenig Licht bis an den Boden</p> <p>Zone B1: Alpweide ist gedüngt und riecht nach Gülle, Vegetation entspricht derjenigen einer Fettwiese (geringe Artenvielfalt), einzelne kleine Felsblöcke liegen in der Weidefläche (Gletscherablagerung)</p>
----------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 4: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone B


Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	C
Eckpunkt Zone:	46°20'12.42" N 7°25'12.77" O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	1980
Hangneigung Schutthalde [°]:	< 5 (schlecht messbar)
Akkumulationsform:	Ebene mit einzelnen Auftürmungen (bis 15m)
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m ³]:	6 m * 4 m * 2.5 m = 60 m ³ 4 m * 12 m * 9 m = 432 m ³
Sukzessionsstadium:	von Pionierphase bis biogeomorphologische Phase
Vegetation in der Schutthalde: (Zone C3)	Moor-Birke (ca. 5m), einzelne Föhren, Europäische Lärchen (Zwerglärchen), Moos, Flechten, verschiedene Farne, Rottanne, Alpen-Pestwurz (dominant), Berg-Baldrian, Dunkler Mauerpfeffer, Felsen-Kugelschötchen, Silberwurz, Spiessblättrige Weide, Himbeere, Wald-Weidenröschen
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone C2) + Vegetation in der Umgebung: (Zone C1)	Gemeiner Frauenmantel, vereinzelt Bewimperte Alpenrose, Fries' Scharfer Hahnenfuss, verschiedene Gräser, Europäische Lärche, Rottanne, Halbkugelige Rapunzel, Kriechender Günsel, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Moos, Alpen-Löwenzahn, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, Gelber Enzian, Europäische Trollblume (zahlreich), Weisse Alpen-Anemone, Gewöhnlicher Hornklee, Spiessblättrige Weide, Alpen-Pestwurz, Kahler Alpen-dost, Wald-Weidenröschen, Gewöhnlicher Wundklee, Wald-Storchschnabel, Alpen-Vergissmeinnicht, Blattreiches Läusekraut (zahlreich)
Beobachtete Tiere:	Kleiner Fuchs, einzelne Ameisen und Insekten (v.a. am Rand)
Weitere Bemerkungen:	aus der Ferne Steinschlag von der Südflanke des Rawilhorns hörbar, spärlichere Vegetation mit geringerer Höhe, zugewachsener Bereich nicht eindeutig von Umgebung, die nicht überschüttet wurde, unterscheidbar, unklar ob es z.T. noch moränenartige Ablagerungen vom Gletscher hat, fließende Übergänge zwischen den Zonen Zone C1+2: einige Felsblöcke ausserhalb der Schutthalde, keinen Schaden an Vegetation sichtbar, Felsblöcke z.T. ganz mit Moos überwachsen (von Gletscher?)

	<p>z.T. nur stellenweise (von Bergsturz?), hohe Nadelbäume, dazwischen Wiese mit kniehohem Bewuchs</p> <p>Zone C3: Pflanzen wachsen flach, nahe am Boden, häufig auf Gesteinsmehl oder in windgeschützten Gesteinsritzen, wachsen ostwärts gerichtet hinter moränenartigen Auftürmungen (vor Wind und Wetter besser geschützt)</p> <p>Wind zieht kräftig über Ebene und verbreitet Samen (v.a. von Alpen-Pestwurz), auf Nordseite der Schutthalde befindet sich ein länglicher Vegetationsgürtel mit Europäischen Lärchen, grössere Felsblöcke wurden eher am Rand der Schutthalde aufgetürmt, Vegetation kehrt vom Rand des Ablagerungsgebiets langsam in das Geröllfeld zurück</p> <p>Begehung der Schutthalde anspruchsvoll und anstrengend, erfordert Gleichgewicht und Trittsicherheit</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 5: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone C

Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	D
Eckpunkt Zone:	46°20'5.803" N 7°25'6.602" O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	2000
Hangneigung Schutthalde [°]:	< 5 (schlecht messbar)
Akkumulationsform:	riesige Ebene mit einzelnen mittigen Auftürmungen
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m ³]:	11 m * 11 m * 5 m = 605 m ³ 15 m * 5 m * 10 m = 750 m ³
Sukzessionsstadium:	grösstenteils Pionierphase und geomorphologische Phase, vereinzelt ökologische Phase (Rand)
Vegetation in der Schutthalde: (Zone D3)	Alpen-Pestwurz (dominant), Spiessblättrige Weide (verschiedene Stadien), Wald-Weidenröschen, Europäische Lärche, Moos, verschiedene Farne, einzelne Moor-Birken und Föhren (1-2m hoch), kleine Rottannen, Berg-Baldrian, Alpen-Sonnenröschen (1x), einzelner Vogelbeerbaum, einzelner Bergahorn, Gräser, Felsen-Kugelschötchen, Silberwurz
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone D2)	Rotes Waldvögelein, Berg-Baldrian, Silberwurz, Alpen-Pestwurz, Wald-Storchschnabel, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Spiessblättrige Weide, Europäische Lärche (dominant), Weisse Alpen-Anemone, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, hohe Gräser, Hainlattich, Verwachsener Frauenmantel (Silbermantel)
Vegetation in der Umgebung: (Zone D1)	Rand von Alpweidegebiet: sehr viele Europäische Lärchen (dominant), einzelne Rottannen, Wald-Storchschnabel, vereinzelt Kalk-Glocken-Enzian, viele Europäische Trollblumen, Bewimperte Alpenrose, Gelber Enzian, Kriechender Günsel, Gewöhnliche Wiesen-Margerite, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Blattreiches Läusekraut, Gräser, Gemeiner Frauenmantel, Fries' Scharfer Hahnenfuss, einzelne Weisse Alpen-Anemonen, Hainlattich, Hundswurz, Alpen-Wundklee, Gewöhnlicher Hornklee, Schnee-Rot-Klee, Quirlblättriges Läusekraut
Beobachtete Tiere:	Murmeltier (Pfiffe), Biene, Spinnen, div. Vögel (Gewölle auf Weg gefunden)

Weitere Bemerkungen:	Zone D3: überwiegend Geröllwüste, planierter Weg führt durch Schutthalde, Messstation in Schutthalde platziert (Verwendung unklar), abseits vom Weg Gelände schwierig zum Betreten Zone D2: sehr grün, bereits hohe Bäume Zone D1: viel Licht, Vegetation geprägt durch bewirtschaftetes Alpweidegebiet
----------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 6: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone D

Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

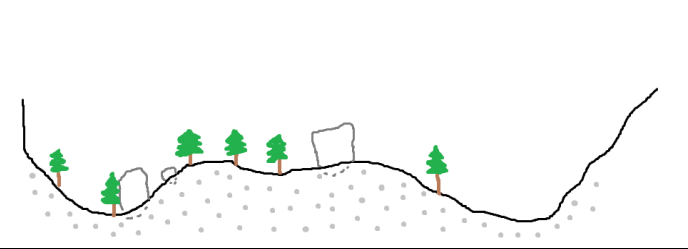
Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	E
Eckpunkt Zone:	46°20'12.732" N 7°24'51.264" O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	2030
Hangneigung Schutthalde [°]:	bis 33 (potentielle Abrutschgefährdung)
Akkumulationsform:	Kegel mit Krater in der Mitte (wie Vulkan)
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m³]:	8 m * 3 m * 9 m = 216 m³
Sukzessionsstadium:	Krater: biogeomorphologische bis ökologische Phase Flanke: geomorphologische Phase bis Pionierphase
Vegetation in der Schutthalde: (Zone E3)	Europäische Lärche, Moos, Alpen-Pestwurz, Flechten, verschiedene Farne, Rottannen (flach), Spiessblättrige Weide, Alpen-Sonnenröschen, Berg-Baldrian, Gräser, Hainlattich, Silberwurz, Wald-Weidenröschen, Bach-Steinbrech
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone E2)	Verwachsener Frauenmantel, Gewöhnlicher Hornklee, Alpen-Wundklee, Spiessblättrige Weide, Europäische Lärche, verschiedene Gräser, Silberwurz, Wald-Weidenröschen, Fuchs' Gefleckte Fingerwurz, Moos, Berg-Baldrian, Wald-Storchschnabel, Steppen-Wolfsmilch, Alpenhelm, Alpen-Süssklee, Kahler Alpendost, Gewöhnlicher Berg-Hahnenfuss, Alpen-Kratzdistel, Gänseblümchen, Alpen-Pestwurz, Rottanne, Grossköpfige Gämswurz, Rotes Waldvögelein, Weisse Alpen-Anemone
Beobachtete Tiere:	Murmeltier (Pfiffe), Spinne
Weitere Bemerkungen:	an der Südflanke des Rawilhorns haben sich zusammengewachsene Schuttkegel gebildet es gibt keinen Bereich, der nicht vom Bergsturz getroffen wurde, fallendes Gesteinsmaterial ist vermutlich auf Gegenhang (Moräne) aufgeprallt oder Vegetation am Gegenhang wurde durch Staubwolke/Luftdruck zerstört Zone E2: viele verschiedene Pflanzen, wachsen bodennah, sehr dichte Vegetation Zone E3: Pflanzen wachsen sehr bodennah, Bäume haben niedrigere Höhe (<3m), Aufstieg in Krater schwierig, viel loses, rutschendes Gesteinsmaterial, im Krater ist es beinahe windstill, Massband verloren beim Abstieg

Tabelle 7: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone E

Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung

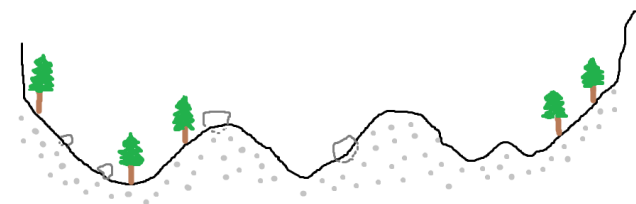
Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	F
Eckpunkt Zone:	46°20'11.4" N 7°24'30.9" O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	2005
Hangneigung Schutthalde [°]	23
Akkumulationsform:	Ebene mit deutlichen Auftürmungen
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m ³]:	10 m * 4 m * 5 m = 200 m ³ 13 m * 5 m * 4 m = 260 m ³ 6 m * 3 m * 3 m = 54 m ³
Sukzessionsstadium:	Flanke: biogeomorphologische Phase, weiter nördlich: Pionierphase
Vegetation in der Schutthalde: (Zone F3)	Alpen-Hahnenfuss, Berg-Baldrian, Europäische Lärche, Rottanne, Kurzblättriger Enzian, Spiessblättrige Weide, Verwachsener Frauenmantel (Silbermantel)
Beobachtete Tiere:	keine
Weitere Bemerkungen:	noch kein ganz überwachener Bereich ersichtlich, von Süden vermutlich ein zweiter Felssturz (nach 1946), der Sukzession unterbrochen hat, dieser Schuttkegel wird von Osten bzw. Westen langsam wieder mit Vegetation besiedelt, auf Flanke der grossen Schutthalde liegt Totholz von Europäischen Lärchen herum (möglicherweise bei einer Lawine vom Südhang zerstört?)

Tabelle 8: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone F

Aufnahmeprotokoll Sukzessionsentwicklung


Datum:	12.07.2021 / 21.07.2021
Ereignis:	Bergsturz Rawilhorn am 30.05.1946
Fallrichtung:	südwärts
Zone:	G
Eckpunkt Zone:	46°20'12.8" N 7°24'24.00" O
Höhe am Fuss der Schutthalde [m ü. M.]:	2010
Hangneigung Schutthalde [°]:	20
Akkumulationsform:	Wäldchen mit einzelnen Felsblöcken
Skizze Querschnitt der Akkumulationsform:	
Grösste Blöcke [m³]:	$3\text{ m} * 2.5\text{ m} * 1.5\text{ m} = 11.25\text{ m}^3$ $7\text{ m} * 3\text{ m} * 4\text{ m} = 84\text{ m}^3$ $2\text{ m} * 1\text{ m} * 1\text{ m} = 2\text{ m}^3$
Sukzessionsstadium:	verschiedene Stadien auf engstem Raum, im Wäldchen grösstenteils ökologische Phase
Vegetation im überwachsenen Bereich: (Zone G2) + Vegetation in Umgebung: (Zone G1)	Alpenhelm, Alpen-Kratzdistel, Bewimperte Alpenrose, Europäische Lärche, Rottanne, Gämswurz-Greiskraut, Gänseblümchen, Hainlattich, Kalk-Glocken-Enzian, Pyramiden-Günsel, Schaft-Kugelblume, Silberwurz, Spiessblättrige Weide, Weisse Alpen-Anemone, Gelbes Berg-Veilchen, Gewöhnlicher Berg-Hahnenfuss, Steppen-Wolfsmilch, Berg-Wegerich
Beobachtete Tiere:	Heuschrecke
Weitere Bemerkungen:	Zone G befindet sich am Ablagerungsrand des Bergsturzes, wurde vermutlich von einem kleineren Felssturz getroffen, der sich weiter westlich an der Rawilhornsüdflanke ereignet hat, ca. 7 Europäische Lärchen haben überlebt, es mischt sich der überwachsene Bereich mit dem nicht zerstörten Bereich (keine klaren Grenzen), Felsblöcke und überlebende Lärchen schützen darunterliegende Fläche vor Wind, Wetter, Erosion und Zuschüttung durch Steinschlag, dadurch erfolgt die Humusbildung schneller

Tabelle 9: Aufnahmeprotokoll der Sukzessionsentwicklung in der Zone G

Daten zu den Felsblöcken

Nr.	X Value	Y Value	V [m ³]	Zone	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Position
1	599510	131320	294	A3	7	7	6	Südrand
2	599500	131315	196	A3	7	7	4	Südrand
3	599275	131400	67.5	B3	5	4.5	3	Südrand
4	599267.5	131385	195	B3	6.5	5	6	Südrand
5	599310	131440	40	B3	5	2	4	Mitte
6	599335	131485	162	B3	6	9	3	Nordrand
7	599105	131460	1320	B3-C3	7.5	16	11	Südrand
8	598760	131495	6250	B3-C3	25	25	10	Mitte
9	598690	131460	60	C3	6	4	2.5	Südrand
10	598710	131505	432	C3	9	12	4	Südrand
11	598525	131625	605	D3	11	11	5	Südrand
12	598575	131720	750	D3	15	5	10	Mitte
13	598100	131872.5	216	E3	8	3	9	Mitte
14	597679	131758	200	F3	10	4	5	Mitte
15	597680	131728	260	F3	13	5	4	Mitte
16	597678	131689	54	F3	6	3	3	Südrand
17	597480	131800	11.25	G1+G2	3	2.5	1.5	Nordrand
18	597500	131770	224	G1+G2	7	8	4	Nordrand
19	597477	131858	2	G1+G2	2	1	1	Nordrand

Tabelle 10: Messdaten und Volumenberechnung der grössten Felsblöcke in den Unterzonen 3

Daten zum Lärchenwachstum

Zone	Distanz [m]	Höhe [m]	U _{1m} [cm]	U _{1.5m} [cm]	Mittelwert [cm]	min. Alter [y]	max. Alter [y]
A1	0	25	200	190	195	59	98
A2	20	12	79	73	76	23	38
A2	33	3	17	11	14	4	7
A3	93	4	38	32	35	11	18
B1	0	16	180	173	176.5	53	88
B2	11	7	39	35	37	11	19
B3	33	4.5	47	0.4	23.7	7	12
B3	51	12	85	0.79	42.895	13	21
C1	0	21	160	148	154	46	77
C2	70	9	72	63	67.5	20	34
C3	170	5	40	33	36.5	11	18
D1	0	21	204	194	199	60	100
D2	22	9	81	76	78.5	24	39
D3	122	5.5	48	38	43	13	22
E2	0	6	44	35	39.5	12	20
E3	15	2.5	17	12	14.5	4	7
E3	45	2	20	12	16	5	8
F3	5	13	104	79	91.5	27	46
G1	0	23	192	185	188.5	57	94
G2	10	10	66	60	63	19	32

Tabelle 11: Messungen und Berechnungen zum Lärchenalter

Zone	X Value	Y Value	Durchmesser [cm]
A1	599490	131260	62
A2	599500	131286	24
A3	599536	131328	11
B1	599281	131331	56
B2	599297	131344	12
B3	599307	131385	8
B3	599323	131417	14
C1	598594	131417	49
C2	598620	131434	21
C3	598667	131490	12
D1	598438	131469	63
D2	598443	131505	25
D3	598474	131604	14
E2	598094	131719	13
E3	598091	131750	5
E3	598096	131807	5
F3	597667	131677	29
G1	597531	131708	60
G2	597510	131708	20

Tabelle 12: Koordinaten der untersuchten Lärchen

Pflanzenverzeichnis

Pflanzen	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1+C2	C3	D1	D2	D3	E2	E3	F3	G1+G2
Alpenhelm												x			x
Alpen Hahnenfuss														x	
Alpen-Kratzdistel												x			x
Alpen-Löwenzahn			x				x								
Alpen-Pestwurz	x		x		x	x	x	x		x	x	x	x		
Alpen-Sonnenröschen			x			x					x		x		
Alpen-Süssklee												x			
Alpenvergissmeinnicht	x						x								
Alpen-Wundklee			x						x			x			
Bach-Steinbrech													x		
Berg-Baldrian					x	x		x		x	x	x	x	x	
Berg-Sauerampfer	x			x	x										
Berg-Wegerich															x
Bewimperte Alpenrose	x	x					x		x						x
Blattreiches Läusekraut							x		x						
Dunkler Mauerpfeffer								x							
Europäische Trollblume	x						x		x						
Farn	x					x		x			x		x		
Felsen-Kugelschötchen								x			x				
Flechten								x					x		
Fries' Scharfer Hahnenfuss	x				x		x		x						
Fuchs' Gefleckte Fingerwurz	x		x			x	x		x	x		x			
Gämswurz-Greiskraut															x
Gänseblümchen						x						x			x
Gelber Enzian	x			x			x		x						
Gelbes Bergveilchen															x
Gemeiner Frauenmantel	x			x			x		x						
Gewöhnlicher Berg-Hahnenfuss												x			x
Gewöhnliche Berg-Distel						x									
Gewöhnlicher Hornklee	x		x			x	x		x			x			
Gewöhnliche Klatschnelke	x														
Gewöhnlicher Löwenzahn	x			x	x										
Gewöhnlicher Wiesen-Kerbel	x														
Gewöhnliche Wiesen-Margerite	x			x		x	x		x	x					
Gewöhnlicher Wundklee						x	x								
Gräser	x	x		x			x		x	x	x	x	x		
Grossköpfige Gämswurz												x			
Hainlattich	x	x				x			x	x			x		x
Halbkugelige Rapunzel			x	x			x								
Heidelbeere	x														
Himbeere					x	x		x							
Hundswurz									x						
Kahler Alpendost							x					x			

Kahles Sonnenröschen																
Kalk-Glocken-Enzian									x							x
Kriechender Günsel	x				x		x		x							
Kurzblättriger Enzian															x	
Langblättriges Waldvögelein						x										
Langspornige Handwurz			x													
Moos	x				x	x	x	x			x	x	x			
Niedliche Glockenblume			x			x										
Pyramiden-Günsel																x
Quirlblättriges Läusekraut									x							
Rotes Waldvögelein		x											x			
Schaft-Kugelblume										x						x
Schnee-Rot-Klee	x		x	x					x							
Silberwurz						x		x		x	x	x	x			x
Spitzwegerich	x															
Steppen-Wolfsmilch													x			x
Verwachsener Frauenmantel	x									x			x		x	
Wald-Habichtskraut	x															
Wald-Storchschnabel	x	x		x	x		x		x	x		x				
Wald-Weidenröschen	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x			
Wald-Witwenblume	x															
Weisse Alpen-Anemone							x		x	x		x				x
Zwerg-Wacholder																
Bäume																
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1+C2	C3	D1	D2	D3	E2	E3	F3	G1+G2	
Europäische Lärche	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bergahorn												x				
Föhre						x		x			x					
Moor-Birke	x	x	x			x		x			x					x
Rottanne	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Spießblättrige Weide		x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x		
Vogelbeerbaum	x				x							x				
Zusammenfassung																
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1+C2	C3	D1	D2	D3	E2	E3	F3	G1+G2	
Anzahl Arten	31	10	15	9	14	23	24	15	21	13	17	24	14	7	18	
Länge der Zone [m]	34	32	100	41	13	138	100	135	46	39	180	25	77	80	86	

Tabelle 13: Verzeichnis und Auswertung der Bestandesaufnahme der Pflanzen und Bäume im Untersuchungsgebiet

Leitfaden: Strukturiertes, schriftliches Experteninterview

Mail 1

- Begrüssung, Vorstellung eigene Person und Inhalt der Maturaarbeit sowie Bezugnahme zur gelesenen Publikation «Dynamique de la végétation du pierrier de Serin» von Armand Dussex und Anne-Marie Yersin aus dem Jahr 1984
- Geschlossene Fragen zu den Themen:
 - Weiterführung der Forschungsarbeit im Untersuchungsgebiet nach der Publikation?
 - Weitere Publikationen nach der Untersuchung von 1984?
 - Vorhandensein der Zeigerpflanze Alpen-Leinkraut im Untersuchungsgebiet?
 - Weitere Steinschläge/Felsstürze/Bergstürze im Untersuchungsgebiet?
- Offene Frage zum Thema
 - Aufgabe der gesichteten Messstation im Untersuchungsgebiet?
- Verdankung im Voraus für Antworten

Mail 2

- Verdankung der erhaltenen Antworten

Transkription: Schriftliches Interview mit Armand Dussex

1. **Est-ce que vous avez continué d'observer le développement des successions dans les Andins après avoir publié votre travail en 1984? Est-ce que vous avez fait des autres publications autour du thème des successions dans les Andins?**

Je n'ai plus fait des relevés systématiques sur le pierrier. Il y a quelques années, j'ai donné des renseignements à une personne qui faisait une étude, mais je n'ai plus eu de nouvelles.

2. **Pendant les vacances d'été j'ai visité le pierrier et j'ai cherché des plantes qui sont indicateurs pour certains stades de la succession. Mais je n'ai pas trouvé la linaire. Est-ce que vous avez observé quelque linaires pendant votre recherche?**

Si c'est *Linaria alpina* que vous cherchez, elle est certainement présente dans la partie supérieure du pierriers.

3. **En été, j'ai vu une station de mesure dans le pierrier. Est-ce que vous savez pour quelle raison cette station est là-bas? Est-ce que c'est une poste pour observer des mouvements de roche?**

Je ne vois pas de quelle station de mesure il s'agit, mais je sais qu'il y a eu des travaux de recherches d'eaux souterraines.

4. **Est-ce que vous savez s'il y en a eu des autres chutes de pierres ou des petits éboulements pendant les dernières 75 années?**

Il y a fréquemment de petits éboulements, mais rien d'importants à ma connaissance. Un travail a été fait par un étudiant en géologie fin des années 90, mais on a pas décelé des risques importants d'un nouvel éboulement.