

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES AND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NATÜRLICHE RESSOURCEN

Einwirkung von klimawandelbedingten Naturgefahren auf das Wanderwegnetz im Rigigebiet/SZ

Eine regionale Untersuchung im Rahmen des Klimaanpassungsprojekts «Sicher Wandern 2040»



Bachelorarbeit

Rebecca Corrodi

Bachelorstudiengang Umweltingenieurwesen

Abgabe: 14. Januar 2021

1. Fachkorrektor:

Peter Marty, ZHAW Life Sciences and Facility Management, Grüental, 8820 Wädenswil
marp@zhaw.ch

2. Fachkorrektor:

Marcel Truttmann, Schwyzer Wanderwege, Geschäftsstelle, 6440 Brunnen
marcel.truttmann@bpp-ing.ch

Impressum

Titelbild:

Blick auf Rigi Kulm (R. Corrodi, 2020)

Schlagworte:

Anpassungsstrategie, Hangmuren, Klimaanpassung, Klimawandel, Lawinen, Murgänge, Naturgefahren, Rigi, Rutschungen, Sturzprozesse, Wandern, Wanderwegeninfrastruktur, Wanderwegwesen

Zitiervorschlag:

Corrodi, R. (2021). Einwirkung von klimawandelbedingten Naturgefahren auf das Wanderwegnetz im Rigi-gebiet/SZ. Eine regionale Untersuchung im Rahmen des Klimaanpassungsprojekts «Sicher Wandern 2040». *Bachelorarbeit*. ZHAW, Wädenswil.

Adresse des Instituts:

ZHAW LSFM, Institut UNR, Grüental, 8820 Wädenswil

Zusammenfassung

Aufgrund des Klimawandels werden sich die Naturgefahren in der Schweiz verändern. Dies hat auch Auswirkungen auf die beliebteste Sportart der Schweizerinnen und Schweizer: Das Wandern.

Um die Einwirkungen, die Naturgefahren bis 2040 auf die Wanderwegeninfrastruktur haben werden, abschätzen zu können, ist das Projekt «Sicher Wandern 2040» im Rahmen des Pilotprogramms des Bundesamtes für Umwelt «Anpassung an den Klimawandel» lanciert worden. Für die Wanderwegverantwortlichen sollen Instrumente geschaffen werden, um sich auch in Zukunft bei der Planung, beim Bau und beim Unterhalt der Wanderwege vorausschauend an den Klimaszenarien orientieren zu können.

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Veränderungen der Naturgefahren und deren Einfluss auf das Wanderwegnetz im Gebiet Rigi im Kanton Schwyz. In diesem Gebiet werden bis 2040 insbesondere die Naturgefahren, welche mit Wasser in Verbindung stehen, also Rutschungen, Hangmuren und Murgänge zunehmen, da es zu mehr Starkregenereignissen kommen wird. Lawinen werden aufgrund der abnehmenden Neuschneetage abnehmen. Ebenso werden Sturzprozesse abnehmen, dies aufgrund geringerer Frostwechseltage und geringerer Materialverfügbarkeit. Dennoch besteht an diversen Orten weiterhin die Gefahr für Wandernde, wie auch für die Wanderwegeninfrastruktur, von einem Sturzprozess getroffen zu werden.

Die Wanderwegverantwortlichen werden sich in Zukunft auch mit einer veränderten Nutzung aufgrund der längeren Wandersaison und vermehrten Sommer- und Hitzetagen konfrontiert sehen. Um Wanderer auf die Risiken von Naturgefahren aufmerksam zu machen, müssen frühzeitig entsprechende Kampagnen lanciert werden.

Da der Wald für alle Naturgefahren den grössten Schutz bietet, wäre auch eine Kooperation mit dem Kanton, als Verantwortungsträger für Schutz von Mensch und Infrastruktur, und den Waldbesitzern, wie der Unterallmeind-Korporation Arth, sinnvoll, um auch 2040 einen funktionsfähigen Schutzwald zu haben. Dieser leidet unter dem Wildverbiss und den immer trockeneren Sommern und kann sich so nicht genügend verjüngen, was zu einer Abnahme seiner Schutzfunktion führt. Kann der Wald seine Schutzfunktion in Zukunft nicht genügend wahrnehmen, sind technische Lösungen wie Verbauungen nötig, um vor Naturgefahren zu schützen.

Um die verschiedenen Massnahmen, die es für ein sicheres Wandern im Jahr 2040 braucht, wirkungsvoll zu vereinen, ist insbesondere eine gute Kommunikation zwischen allen Akteuren von grosser Bedeutung. An einem Expertenworkshop vom 2. September 2020 mit regionalen AkteurInnen des Wanderwegwesens auf der Rigi hat sich gezeigt, dass das gemeinsame Erarbeiten von Bedürfnissen und Zielen an das Projekt «Sicher Wandern 2040» zentral ist, um die gemeinsamen Ziele zu erreichen und auch für 2040 ein attraktives Wanderwegnetz gestalten zu können.

Abstract

Due to climate change, natural hazards in Switzerland will change. This will also have an impact on the most popular sport of the Swiss: hiking.

In order to estimate the impact that natural hazards will have on hiking trail infrastructure by 2040, the project "Sicher Wandern 2040" has been launched as part of the federal office for environment's pilot program adaptation to climate change. The aim is to create tools for those responsible for hiking trails in order to be able to anticipate climate scenarios in the planning, construction, and maintenance of hiking trails in the future.

This work focuses on the changes in natural hazards and their influence on the hiking trail network in the Rigi area in the canton of Schwyz. In this area, especially natural hazards related to water, such as landslides, hillslope debris flows and debris flows will increase by 2040, due to more frequent heavy rain events. Avalanches will decrease due to the decreasing number of days with snowfall. Likewise, rockfalls and rockslides will decrease due to lower frost change days and material availability. Nevertheless, in various places there is still a risk for hikers, as well as for the hiking trail infrastructure, to be hit by a rockfall or rockslide.

In the future, responsible persons for hiking trails will also be confronted with a change in use due to the longer hiking season and increased summer and heat days. In order to make hikers aware of the risks of natural hazards, appropriate campaigns must be launched at an early stage.

Since the forest offers the greatest protection against natural hazards, it would also make sense to cooperate with the canton, which is responsible for the protection of people and infrastructure, and the forest owners, such as the Unterallmeind-Korporation Arth, in order to have a functioning protection forest in 2040. The forest suffers from game browsing and increasingly dry summers and cannot rejuvenate sufficiently, which leads to a decrease in its protective function. If the forest cannot perform its protective function sufficiently in the future, technical solutions such as barriers are necessary to protect against natural hazards.

In order to effectively combine the various measures needed for safe hiking in 2040, good communication between all stakeholders is of particular importance. At an expert workshop held on September 2nd, 2020 with regional stakeholders of the hiking trail sector on the Rigi it was shown, that the joint development of needs and goals for the project "Sicher Wandern 2040" are of great importance to achieving the common goals and designing an attractive network of hiking trails also in 2040.

Dank

Mein Dank gilt Stefan Gwerder und Hans Ruedi Appert vom Verein Schwyzer Wanderwege, für die Rekognoszierung des Weges zwischen Rigi Scheidegg und Ochsenchneu und der Felswand «Elend» am 17. September 2020. Sie konnten mir einige Stellen zeigen, welche steinschlag- oder murganggefährdet sind und mir diverse Fragen zum Wanderwegwesen beantworten. Zudem stand mir Stefan Gwerder per E-Mail für weitere Fragen zum Wanderwegwesen und zu den Naturgefahren im Gebiet Rigi zur Verfügung und stellte mir das Wanderwegnetz des Kantons Schwyz als Shapefile, zur Auswertung in ArcGIS Pro, zur Verfügung.

Desweiteren bedanke ich mich herzlich bei Marcel Truttmann, dass er sich bereit erklärt hat, sich als Zweitkorrektur zur Verfügung zu stellen. Er hat mir auch das Naturgefahrenkataster des Kantons Schwyz, für Auswertungen in ArcGIS Pro, zur Verfügung gestellt.

Auch Peter Marty, dem Betreuer und Korrektor dieser Arbeit, gilt mein Dank, für die Unterstützung über die letzten Monate hinweg.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract.....	2
Dank	3
Inhaltsverzeichnis.....	4
Liste der Abkürzungen	6
1. Einleitung	7
1.1 Ausgangslage	7
1.2 Zielsetzungen.....	8
2. Methodische Vorgehensweise	9
2.1 Regionaler Expertenworkshop	9
2.2 Rekognoszierung des Perimeters und Befragung von Wanderwegverantwortlichen	9
2.3 Auswertungen in ArcGIS Pro	12
2.4 Literaturrecherche.....	13
3. Situationsbeschreibung	14
3.1 Projekt «Sicher Wandern 2040».....	14
3.2 Standort Rigi	14
3.2.1 Geomorphologie	16
3.2.2 Hydrologie und Oberflächenabfluss.....	17
3.2.3 Hangneigung	19
3.2.4 Wald und Höhenstufen	19
3.3 Wanderwegnetz und Wanderwegwesen Schweiz und Region Rigi/SZ.....	21
3.3.1 Organisation Wanderwegwesen Schweiz und Kanton Schwyz.....	22
3.3.2 Touristische Nutzung des Rigigebiets.....	24
3.4 Klima der Alpen	25
3.5 Naturgefahren	33
3.6 Gefahrenkarte und Gefahrenhinweiskarte	35

4.	Auswirkungen des Klimawandels auf die Wanderweginfrastruktur im Jahr 2040	37
4.1	Auswirkungen der Naturgefahren auf die Wanderweginfrastruktur der Rigi.....	37
4.1.1	Sturzprozesse	41
4.1.2	Murgänge und Wildbachprozesse.....	45
4.1.3	Hangmuren und Rutschungen.....	50
4.1.4	Lawinen	52
4.2	Veränderung der Nutzung	53
4.3	Schutzfunktion des Waldes ist gefährdet.....	54
5.	Diskussion	56
5.1	Empfehlungen für Wanderwegverantwortliche	58
6.	Literaturverzeichnis	60
	Personenverzeichnis	65
	Abbildungsverzeichnis	66
	Tabellenverzeichnis.....	67
	Anhangverzeichnis	68

Liste der Abkürzungen

ASTRA	Bundesamt für Strassen
FWG	SR 704 Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KFWG	SRSZ 443.210 Kantonales Fuss- und Wanderweggesetz (Schwyz)
NCCS	National Centre for Climate Services
PLANAT	Nationale Plattform Naturgefahren
RCP	Representative concentration pathway / Repräsentativer Konzentrationspfad
SWW	Schweizer Wanderwege
SZWW	Verein Schwyzer Wanderwege
UAK	Unterallmeind-Korporation Arth
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Wandern ist die beliebteste Sportart der Schweizerinnen und Schweizer. Auf dem 65'000 Kilometer langen Wanderwegnetz der Schweiz werden jährlich rund 160 Millionen Stunden gewandert. Gemessen an diesen Zahlen sind Unfälle mit schweren oder gar tödlichen Verletzungen selten (Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege, 2017, S. 7). Dennoch setzen sich Wandernde in den Bergen Naturgefahren wie Steinschlag, Rutschungen oder Lawinen aus. Diese Naturgefahren waren schon immer Teil der natürlichen Massenbewegung. Aufgrund des Klimawandels und den damit verbundenen Veränderungen von Durchschnittstemperaturen, Niederschlagsmengen, Niederschlagsintensität etc. ist zu erwarten, dass sich auch die Naturgefahren in Art und Intensität in Zukunft verändern werden (Bundesamt für Umwelt, MeteoSchweiz & NCCS, 2020, S. 29). Dies wird sich nicht nur auf die Wandernden selbst, sondern auch auf die Wanderwegeninfrastruktur auswirken. Um auf diese neuen Herausforderungen vorbereitet zu sein, und um frühzeitig Massnahmen ergreifen zu können, ist das Projekt «Sicher Wandern 2040» im Rahmen des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) lanciert worden. Dieses Pilotprogramm ist Teil der Anpassungsstrategie an den Klimawandel des Bundes und umfasst insgesamt 50 Projekte aus sechs Themengebieten (Bundesamt für Umwelt, o. J.-a). Das Projekt «Sicher Wandern 2040» gehört zur Kategorie «Sensibilisierung, Information und Koordination» und hat die Projektnummer F.11 (NCCS, o. J.-a). Das Projekt soll den Wanderwegverantwortlichen eine Grundlage geben, um sich auf die kommenden Einwirkungen, welche die klimabedingten Veränderungen der Naturgefahren mit sich bringen werden, vorzubereiten. Das WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF hat dazu, im Auftrag des Vereins Schwyzer Wanderwege, eine Literatursynthese erstellt und die relevanten Naturgefahren identifiziert (Bast, Ortner & Bründl, 2020).

Die vorliegende Arbeit fokussiert sich auf die im Kanton Schwyz liegende Region der Rigi mit ihrem rund 238 Kilometer langen Wanderwegnetz. Der Perimeter wurde daher nur auf den im Kanton Schwyz liegenden Teil der Rigi festgelegt, da die Verantwortlichkeiten über die Wanderwegeninfrastruktur kantonal geregelt sind.

1.2 Zielsetzungen

Folgende Zielsetzungen gelten als Wegleitung dieser Arbeit:

- Literatursynthese der WSL auf lokale Ebene an der Rigi/SZ anpassen.
- Veränderung der Naturgefahren bis 2040 im Gebiet Rigi/SZ aufgrund des Klimawandels aufzeigen.
- Veränderung der Wanderwegnutzung bis 2040 an der Rigi aufgrund des Klimawandels aufzeigen.

Anhand dieser Zielsetzungen soll die zentrale Forschungsfrage,

Welche Einwirkungen auf das Wanderwegnetz im Gebiet Rigi/SZ sind aufgrund der klimawandelbedingten Veränderungen der Naturgefahren bis 2040 zu erwarten?

beantwortet werden können.

Letztlich wird ein Ausblick gemacht, mit Empfehlungen für die Wanderwegverantwortlichen, um präventive Massnahmen ergreifen zu können.

2. Methodische Vorgehensweise

Für diese Arbeit wurden verschiedene Methoden angewendet, um die Zielsetzungen und die Forschungsfrage beantworten zu können. In diesem Kapitel werden die einzelnen Methoden beschrieben.

2.1 Regionaler Expertenworkshop

Am 2. September 2020 fand auf Rigi Kulm ein regionaler Expertenworkshop zum Projekt «Sicher Wandern 2040» statt. Geleitet wurde der Workshop von Peter Marty von der Forschungsgruppe Regionalentwicklung der ZHAW Wädenswil. Zudem waren Vertreter des Wanderwegwesens – Verein Schwyzer Wanderwege, Verein Luzerner Wanderwege und Bernard Hinderling vom Dachverband Schweizer Wanderwege – anwesend. Desweiteren waren Vertreter der RigiPlus AG, Unterallmeind-Korporation Arth und des Bundesamtes für Umwelt eingeladen.

Der Expertenworkshop diente dem Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Projektbeteiligten. Die Bedürfnisse aller Beteiligten an das Projekt sollten geklärt und eine gemeinsame Basis zur Erreichung der Projektziele geschaffen werden. Die Liste der Teilnehmenden sowie die Einladung können dem Anhang (Anhang 2 und Anhang 3) entnommen werden.

Der Expertenworkshop diente der vorliegenden Arbeit als Grundstein, um erste Erkenntnisse betreffend Bedürfnisse an das Projekt zu erhalten. Zudem konnten Kontakte mit Projektbeteiligten hergestellt werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit war dies hilfreich, um Unterlagen anzufragen oder Fragen an direkt beteiligte Personen zu richten.

2.2 Rekognoszierung des Perimeters und Befragung von Wanderwegverantwortlichen

Rekognoszierung vom 5. September 2020

Am 5. September 2020 wurde eine Rekognoszierung von der Verfasserin dieser Arbeit von Rigi Kulm über Chänzeli, Rigi Kaltbad, Felsenweg nach Hinterbergen unternommen. Es sollten vor allem einige der touristischen Hotspots besichtigt werden, um herauszufinden, ob diese an von Naturereignissen gefährdeten Standorten liegen. Dies soll im weiteren Verlauf der Arbeit dazu dienen, abzuschätzen, in welchem Umfang Massnahmen an diesen Standorten ergriffen werden sollen.

Rigi Kulm ist als höchste Erhebung des Rigigebiets insbesondere bei ausländischen Touristen ein beliebtes Ausflugsziel und kann bequem mit der Rigi Bahn ab Arth-Goldau erreicht werden (Abb.2-1, Grüner Pfeil). Das Chänzeli ist ein weiterer sehr beliebter Aussichtspunkt, welcher auch von der RigiPlus AG/RigiBahnen AG auf deren Homepage beworben wird (Abb.2-1, Punkt 3). Ab Chänzeli

führt ein sehr gut ausgebauter Wanderweg über das Dorf Rigi Kaltbad bis nach First (Abb.2-1, zwischen Punkt 3 und 5). Dieser sogenannte «Chänzeli-Weg» ist rollstuhl- und kinderwagengängig. Ab First verläuft der Felsenweg (Abb.2-1, zwischen Punkt 5 und 6), welcher auf der Homepage der RigiPlus AG/RigiBahnen AG als eine der fünf Top-Wanderungen gelistet ist. Der Weg ist etwas ausgesetzt, aber gut gesichert und aufgrund der spektakulären Aussicht ein sehr beliebtes Wanderziel.

Der letzte Teil der Besichtigungstour bis Hinterbergen verlief im Kanton Luzern, weshalb dieser Teil nicht mehr für die vorliegende Arbeit berücksichtigt wird.

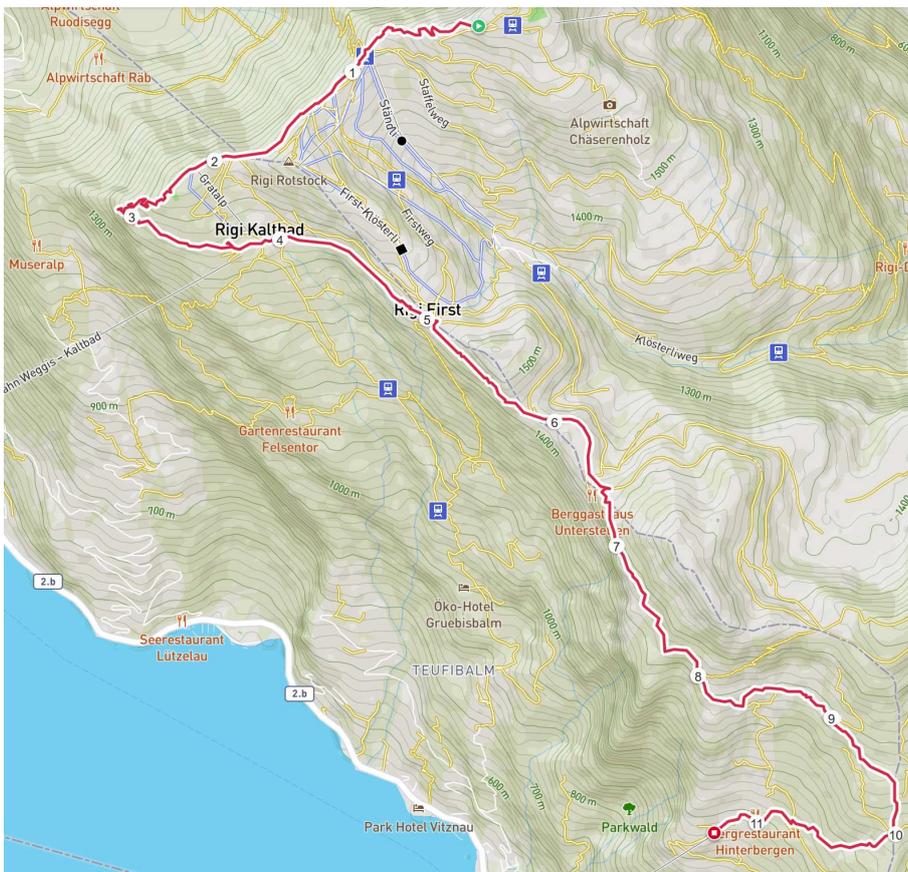


Abb. 2-1: Besichtigungstour vom 5. September 2020 von Rigi Kulm über «Chänzeli», Rigi Kaltbad und Felsenweg nach Hinterbergen. Aufzeichnung mit PolarFlow App (Polar Electro, o. J.)

Rekognoszierung vom 17. September 2020

Am 17. September 2020 fand eine weitere Rekognoszierung, diesmal in Begleitung von Stefan Gwerder, Leiter der Geschäftsstelle des Vereins Schwyzer Wanderwege und Hans Ruedi Appert, Ortsleiter der Gemeinde Arth statt. Die Begehung startete auf Rigi Scheidegg und führte über Hinder Dossen und Rotenflue-Allmig zum Ochsenchneu (Abb.2-2). Ziel dieser Begehung war die Besichtigung der Felswand «Elend» (Abb.2-2, Punkt 1), zu welcher ein geologischer Bericht vorliegt, da sich dort immer wieder Stein- und Blockschläge ereignen. Der geologische Bericht wird in Kapitel

4.1.1 näher beleuchtet. Desweiteren wurde der weniger gut ausgebaute und weniger stark frequentierte Bergwanderweg zwischen Rotenflue-Allmig (Abb.2-2, Punkt 3) und Ochsenchneu (Abb.2-2, Roter Punkt) begutachtet. Stefan Gwerder und Hans Ruedi Appert konnten zudem einige Fragen zum Unterhalt der Wanderweginfrastruktur und zum Betrieb des Wanderwegwesens beantworten.

Auch nach der Rekognoszierung stand Stefan Gwerder zur Beantwortung diverser Fragen per E-Mail zur Verfügung.

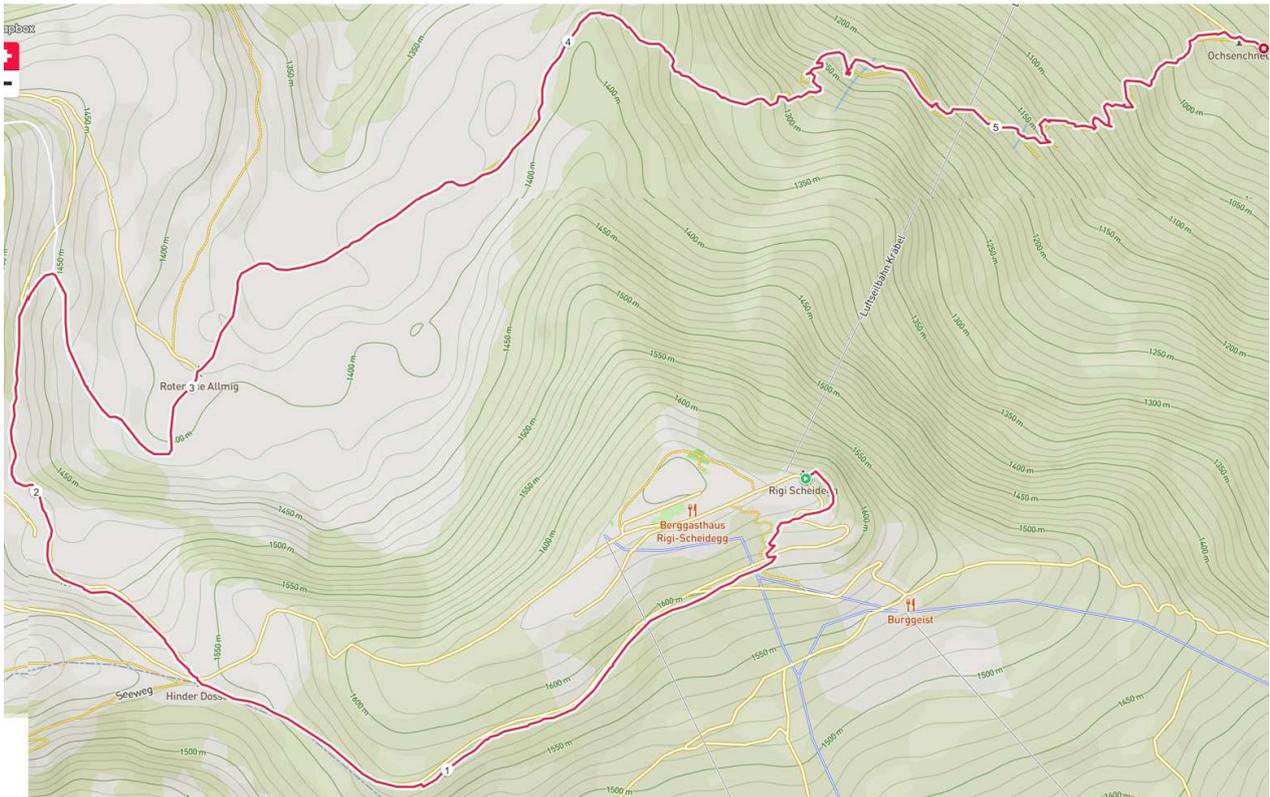


Abb. 2-2: Besichtigungstour vom 17. September 2020 von Rigi Scheidegg zur Felswand «Elend» und nach Ochsenchneu. Aufzeichnung mit PolarFlow App (Polar Electro, o. J.)

2.3 Auswertungen in ArcGIS Pro

Wanderwegnetz

Stefan Gwerder stellte das Wanderwegnetz des Kantons Schwyz als Shapefile zur Verfügung. Ziel der Auswertung war, die Gesamtlänge des Wanderwegnetzes im Gebiet der Rigi herauszufinden, sowie die Längen der drei Wanderwegkategorien gemäss Tabelle 3-1 in Kapitel 3.3. Desweiteren sollte die Dichte der Wanderwege anhand einer Dichtekarte erstellt werden, um Gebiete mit einer hohen Wanderwegdichte zu eruieren.

Da der Perimeter für das im Kanton Schwyz liegende Gebiet der Rigi nicht exakt aus dem bestehenden Shapefile abgeleitet werden konnte, wurde der Perimeter manuell erstellt und in einem neuen Shapefile gespeichert. Die Wanderwege wurden mittels dem ArcGIS Pro Werkzeug «Intersect» mit dem neu erstellten Perimeter zusammengeführt. Mit dem Befehl «Summary» konnte dann die Gesamtlänge des Wanderwegnetzes im manuell erstellten Perimeter abgelesen werden. Desweiteren wurden die drei Wanderwegkategorien «Wanderwege», «Bergwanderwege» und «Alpinwanderwege» mit «Select by Attributes» einzeln selektiert und in ein neues Shapefile umgewandelt und in die entsprechenden Farben gelb, rot und blau eingefärbt. Auch hier kann die Gesamtlänge der jeweiligen Wanderwegkategorie mit «Summary» abgelesen werden. Die Dichte der Wanderwege wurde mit dem Werkzeug «Kernel Density» eruiert. Mit «Kernel Density» (dt. Kerndichte) wird die Dichte der Ereignisse in einem Bereich um dieses Ereignisse herum berechnet (Law & Collins, 2019, S. 342). Die Flächeneinheit für die Berechnung der Dichte ist km^2 .

Naturgefahrenkataster

Das Ereigniskataster des Kantons Schwyz wurde von Marcel Truttman, Vizepräsident des Vereins Schwyzer Wanderwege, zur Verfügung gestellt. Ziel dieser Auswertung war, herauszufinden, welche Naturereignisse sich im Gebiet Rigi bisher hauptsächlich ereignet haben und ob sich die unterschiedlichen Naturereignisse jeweils in bestimmten Gebieten ereignen. Mit einer Dichtekarte sollte zudem festgestellt werden, welche Gebiete besonders häufig von Naturereignissen betroffen sind.

Das Naturereigniskataster beinhaltet ein Punkt Shapefile mit 2'186 Naturereignissen im Kanton Schwyz. Diese Daten wurden in ArcGIS Pro eingelesen. Auch hier wurde zuerst das Punktshapefile des Naturereigniskatasters mit dem Analyse-Werkzeug «Intersect» auf den bereits manuell erstellten Perimeter zugeschnitten. In der Attributtabelle sind diverse Informationen wie Art, Datum, Erfasser des Ereignisses und weitere Kommentare, mit genaueren Informationen, erfasst. Diese Ereignisse sind in die vier Kategorien Lawinen, Rutschungen, Sturz und Wasser eingeteilt. Durch das Erstellen eines Barcharts konnte die Anzahl Ereignisse pro Kategorie eruiert und visualisiert werden. Auch hier wurde die Dichte der Ereignisse mit dem Tool «Kernel Density» ausgewertet.

2.4 Literaturrecherche

Ein wesentlicher Teil dieser Arbeit basiert auf der Methodik der Literaturrecherche. Als Orientierung galt insbesondere die Literatursynthese der WSL «Sicher Wandern 2040 – Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf das Wanderwegwesen». Desweiteren lieferten die Klimaszenarien, welche das Bundesamt für Umwelt erstellt, sowie die Informationen aus dem Webatlas CH2018 wertvolle klimatologische Informationen. Diese dienten dazu, herauszufinden wie sich das Klima aufgrund von Modellrechnungen bis 2040 verändern werden. Kartenmaterial zu Hangneigung, Geologie und Oberflächenabfluss wurden aus map.geo.admin.ch gedruckt. Die Informationsplattform PLANAT wurde für allgemeine Informationen zu Naturgefahren konsultiert. Die Szenarien für die Veränderung der Naturgefahren sind im Bericht Klimasensitivität Naturgefahren der geo7 ausführlich erläutert. Für Informationen zum Wanderwegwesen stehen diverse Vollzugshilfen und Leitfäden der Schweizer Wanderwege und des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) zur Verfügung. Wertvolle Informationen zu geologischen Prozessen an der Felswand «Elend» unterhalb Rigi Scheidegg lieferte der geologische Bericht «Geologische Beurteilung und Vorstudie» der GeoRisk AG. Dieser wurde von Pius Betschart von der Unterallmeind-Korporation Arth zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen zur Geologie wurden Büchern, welche über NEBIS bestellt wurden, entnommen. Auch Unterlagen aus den Modulen, Geologie, Bodenkunde und Naturgefahren und Schutzwald dienten als Informationsquelle.

3. Situationsbeschreibung

3.1 Projekt «Sicher Wandern 2040»

Das Pilotprogramm «Anpassung an den Klimawandel» des Bundesamtes für Umwelt gehört zur Anpassungsstrategie des Bundes an den Klimawandel. Das Pilotprogramm unterstützt innovative Projekte in den Kantonen, Städten, Gemeinden und Regionen, um Klimarisiken vor Ort zu minimieren. Seit 2018 läuft die zweite Phase des Pilotprogrammes, zu dem 50 verschiedene Projekte gehören. Eines davon ist das Projekt «Sicher Wandern 2040», dessen Projektträger der Verein Schwyzer Wanderwege SZWW und der Dachverband Schweizer Wanderwege SWW sind. Begleitet wird das Projekt durch die Forschungsgruppe Regionalentwicklung der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW. (Bundesamt für Umwelt, 2019a)

Die Ziele des Projektes «Sicher Wandern 2040» sind (NCCS, o. J.-a):

- Den Akteuren in den Pilotkantonen stehen Fachgrundlagen sowie Vorgehensweisen für Anpassungsmassnahmen in anwendbarer Form zur Verfügung.
- Die Akteure verschiedener Ebenen werden befähigt, ihre Planung und Prozesse vorausschauend zu evaluieren und an den Klimawandel anzupassen.
- Die Verbreitung der Ergebnisse an Akteure ausserhalb der Pilotgebiete wird geplant.

In drei Fallstudien sollen Massnahmenkonzepte erstellt werden, welche auch für andere Regionen der Schweiz anwendbar sind (NCCS, o. J.-a). Zu den Pilotregionen gehören der Kanton Graubünden (Kantonebene), St. Niklaus im Kanton Wallis und das Gebiet Rigi in den Kantonen Schwyz und Luzern (Bast et al., 2020, S. 4). Für diese Arbeit wurde entschieden, sich nur auf den im Kanton Schwyz liegenden Teil der Rigi zu fokussieren, da das Wanderwegwesen kantonal geregelt ist.

3.2 Standort Rigi

Die Rigi liegt in den Kantonen Schwyz und Luzern in der Zentralschweiz (Abb.3-1), eingebettet zwischen dem Vierwaldstättersee, Zugersee und Lauerzersee (Abb.3-2). Sie liegt auf den sechs Schwyzer Gemeinden Küsnacht, Arth, Lauerz, Schwyz, Ingenbohl und Gersau sowie auf den drei Luzerner Gemeinden Vitznau, Weggis und Greppen. Die Gebietsfläche beträgt rund 160 km². Der höchste Punkt liegt bei Rigi Kulm auf 1797 m.ü.M. („Pro Rigi – Vereinigung Pro Rigi“, o. J.) Weitere wichtige Punkte stellen die Rigi Scheidegg (1658 m.ü.M.) und Rigi Hochflue (1698 m.ü.M.) dar (Abb.3-3).



Abb. 3-3: Gesamtgebiet der Rigi mit dem Wanderwegnetz. Markiert sind die drei wichtigen Erhebungen Rigi Kulm (1797 m.ü.M.), Rigi Scheidegg (1658 m.ü.M.) und Rigi Hochflue (1698 m.ü.M.). 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)

3.2.1 Geomorphologie

Aus geologischer Sicht liegt die Rigi an der Grenze von Mittelland und Alpen. Rigi Kulm, Rotstock, Dossen und Rigi Scheidegg liegen im geologischen Mittelland und Vitznauer Stock und Hochflue sind Teil des Alpennordrandes. Von Nordwest nach Südost ist die Rigi aus drei geologisch-tektonischen Einheiten aufgebaut: subalpine Molasse, Flysch und Axen-Decke des Helvetikums (Abb.3-4). Die Molasse hat sich bei der Hebung der Alpen im flachen Meer oder auf dem Festland als Verwitterungsschutt abgelagert. Bei der Rigi handelt es sich um untere Süsswassermolasse, welche sich auf dem Festland abgelagert und sich zu Nagelfluh verfestigt hat. Sedimentgesteine, die während der Alpenfaltung aus dem Verwitterungsschutt in tiefen Meeresbecken abgelagert wurden, werden als Flysch bezeichnet. Flysche bestehen aus Sandsteinen, Tonen und Mergeln. Sie sind feinkörnig und leicht verformbar. Daher sind sie auch leicht erodierbar und neigen insbesondere an Hanglagen zu Sackungen und Rutschungen. Die Axen-Decke besteht, wie alle Decken des Helvetikums, hauptsächlich aus Kalk und Mergel. Bei der Alpenfaltung wurde die subalpine Molasse vom Flysch und dieser wiederum von der helvetischen Randkette überlagert, wobei der Flysch zwischen Molasse und helvetischer Randkette aufgrund seiner Feinkörnigkeit und Verformbarkeit

wie ein Schmiermittel wirkte. (Gnägi & Labhart, 2017, S. 45, 77; Hantke & Kuriger, 2003, S. 10–16; „Pro Rigi – Geologie“, o. J.)



Abb. 3-4: Geologische Einheiten des Kantons Schwyz. Der gelbe Bereich ist die subalpine Molasse, welche sich zu Nagelfluh verfestigt hat. Der orange Bereich zeigt das zu Sackungen und Rutschungen neigende Flyschgebiet. Der grüne Teil im Gebiet Gersau und Hochflue gehört zur Axendecke des Helvetikums. (Hantke & Kuriger, 2003, S. 11)

3.2.2 Hydrologie und Oberflächenabfluss

Die Abbildung 3-5 zeigt die hydrogeologische Situation an der Rigi. Der orange Bereich zeigt das Nagelfluhgebiet. Dieses Festgestein hat eine mittelgrosse bis geringe Durchlässigkeit. Die blau eingefärbten Gebiete sind Lockergesteine aus Gehängeschutt und Bergsturzschutt. Diese Lockergesteine weisen eine hohe Durchlässigkeit auf. (Jäckli & Kempf, 1972)

Oberflächenabfluss ist Regenwasser oder Schneeschmelzwasser, das nicht mehr in den Boden infiltriert werden kann und daher an der Oberfläche abfliesst. In der Regel fliesst das Wasser zu einem Gewässer oder einer Mulde hin ab, wo es sich ansammeln kann. Der Oberflächenabfluss ist Auslöser für Erosionen. (Bundesamt für Umwelt, Schweizerischer Versicherungsverband & Vereinigung Kantonalen Gebäudeversicherungen, 2018)

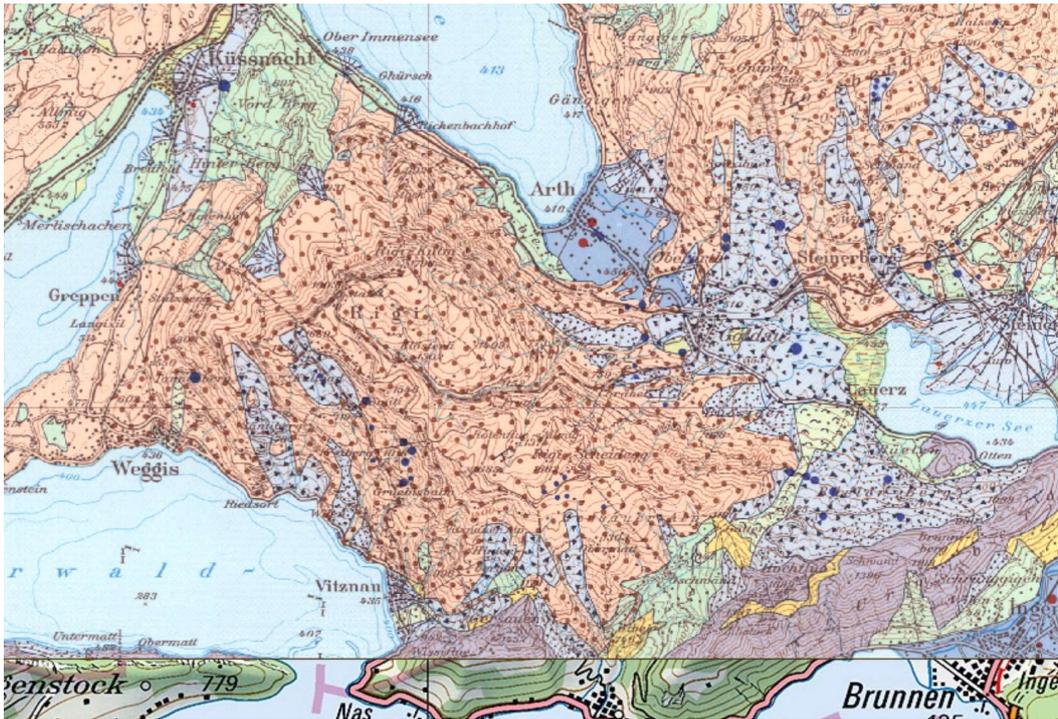


Abb. 3-5: Hydrogeologie der Rigi (Blatt Bözberg-Beromünster) 1:100'000. Der orange Bereich zeigt das Nagelfluhgebiet, welches eine mittlere bis geringe Durchlässigkeit hat. Der blaue Teil besteht aus Lockergesteinen, welche eine hohe Durchlässigkeit aufweisen. („Swiss Geoportal“, o. J.)

Die Abbildung 3-6 zeigt die Gefährdung durch den Oberflächenabfluss. Es ist zu erkennen, dass die Fliesstiefen insbesondere da hoch sind, wo durchlässiges Lockergestein vorhanden ist. Es ist aber auch zu beachten, dass der Oberflächenabfluss je nach vorangegangenen Niederschlagsereignissen und damit einhergehender Sättigung des Bodens variieren kann.

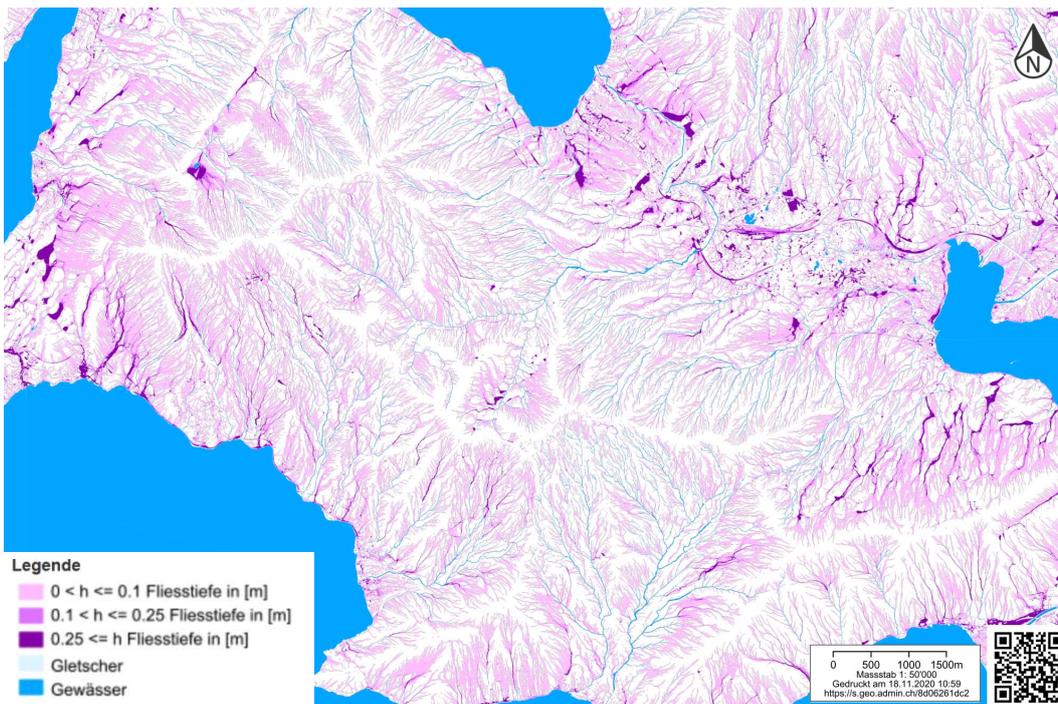


Abb. 3-6: Gefährdung durch den Oberflächenabfluss im Gebiet Rigi 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)

3.2.3 Hangneigung

Die Abbildung 3-7 zeigt die Hangneigungen an der Rigi, welche grösser als 30° sind. Das Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF empfiehlt, die Hangneigungen in 4 Klassen einzuteilen (Legende Abb.3-7). Starke Hangneigungen von über 40° sind vor allem an der Rigi Nordlehne und an den Südhängen links und rechts der Gemeinde Gersau sowie beim Buosigerbann zu finden. („Swiss Geoportal“, o. J.)

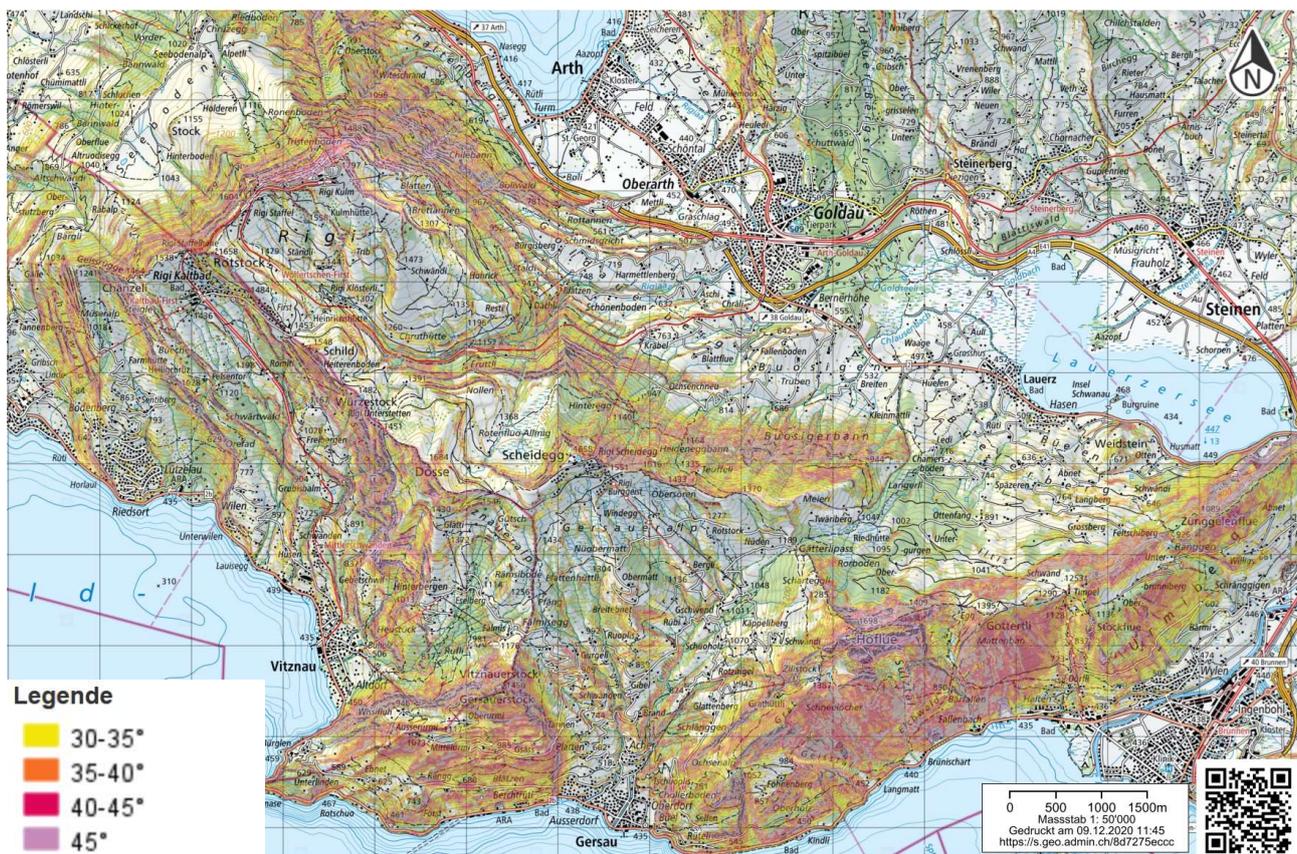


Abb. 3-7: Hangneigungen in Grad im Gebiet Rigi 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)

3.2.4 Wald und Höhenstufen

Das Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) hat zum Zweck, dafür zu sorgen, dass der Wald seine Schutz-, Nutz- und Wohlfahrtsfunktion erfüllen kann. Gemäss Artikel 19 sind die Kantone dafür zuständig, den Schutz von Menschen und erheblichen Sachschäden vor Lawinen-, Rutsch-, Erosions- und Steinschlagereignissen zu sichern. Artikel 37 des WaG regelt die Finanzierung des Schutzwaldes. Um die Funktion des Schutzwaldes erfüllen zu können gewährt der Bund den Kantonen globale Abgeltungen für die Pflege des Schutzwaldes und die Sicherstellung der Infrastruktur für die Pflege des Schutzwaldes. („Bundesgesetz über den Wald“, 1993)

Die Landfläche der Schweiz, wie auch diejenige des Kantons Schwyz, sind zu ca. 31% mit Wald bedeckt (BFS, 2018; Bundesamt für Umwelt, 2019b). Im Kanton Schwyz zählen 61% der gesamten Waldfläche zum Schutzwald (Bundesamt für Umwelt, 2019b, S. 31). Die Rigi ist zu 40% mit Wald bedeckt. Dies entspricht einer Fläche von 3700 ha. 85% des Waldes sind in Korporations- und 15% in Privatbesitz. Rund 700 ha der Rigi Nordlehne von Oberarth bis zur Baumgrenze der Rigi auf etwa 1700 m.ü.M. sind in Besitz der Unterallmeind-Korporation Arth. Der Wald an der Rigi Nordlehne spielt eine wichtige Rolle, da er nebst den Wanderwegen auch Starkstromleitungen, Siedlungen, die Kantonsstrasse sowie die Bahn- und Autobahnstrecke der Nord-Süd-Achse schützt. („Pro Rigi – Wald“, o. J.; UAK - Unterallmeind-Korporation Arth, o. J.) Gemäss persönlicher Mitteilung von Pius Betschart sind weitere Waldbesitzer an der Rigi die Oberallmeind-Korporation Schwyz, die Korporation Berg- und Seeboden, die SBB sowie viele Private.

Höhenstufen der Rigi

Kolline Stufe: Die kolline Stufe ist von Eichen-Buchen-Wald geprägt. Die dominierende Baumart ist allerdings die Buche (*Fagus sylvatica*). Da diese Stufe optimal für die Landwirtschaft geeignet ist, musste der Wald an vielen Orten Mähwiesen, Obstkulturen oder Gemüse- und Gartenbau weichen. Ursprünglich war das Gebiet mehrheitlich von Laubmischwäldern mit Eichen (*Quercus sp.*), Ahorn (*Acer sp.*), Linden (*Tilia sp.*) und Buchen (*Fagus sylvatica*) bedeckt.

Montane Stufe: In der montanen Stufe findet die Weisstanne (*Abies alba*) ihr Optimum. Die Weisstanne bildet Pfahlwurzeln aus, wofür sie tiefgründigen Boden braucht. Sie ist daher bei Sturm nicht stark entwurzelungsgefährdet. Weitere Bäume dieser Stufe sind Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*), Esche (*Fraxinus excelsior*), Ulme (*Ulmus glabra*) und Eibe (*Taxus baccata*). Die montane Stufe wird auch als Weisstanne-Buchen-Stufe bezeichnet, da das oberste Buchenvorkommen die Grenze zur subalpinen Stufe anzeigt.

Subalpine Stufe: Die subalpine Stufe oder auch Rottannen-Stufe genannt, endet an der Waldgrenze. Hier herrscht hauptsächlich die Rottanne (*Picea abies*), auch Fichte genannt, vor. An trockenen Standorten kommt anstelle der Fichte teilweise auch die Waldföhre (*Pinus sylvestris*) vor, wie zum Beispiel an der Hochflue. Die Fichte braucht, im Gegensatz zur Weisstanne, keine tiefgründigen Böden, da sie ein Flachwurzler ist und daher nur eine dünne Humusschicht braucht. Dies führt jedoch dazu, dass sie bei Sturm anfälliger auf Entwurzelung ist.

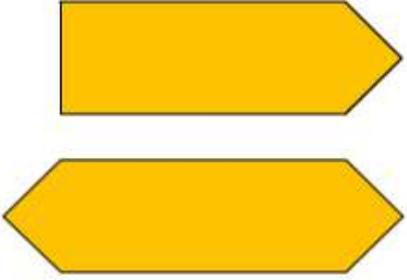
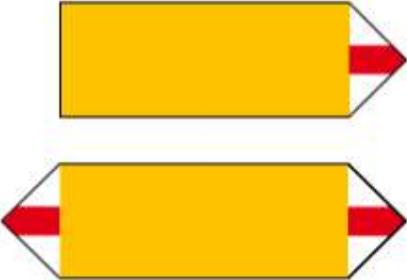
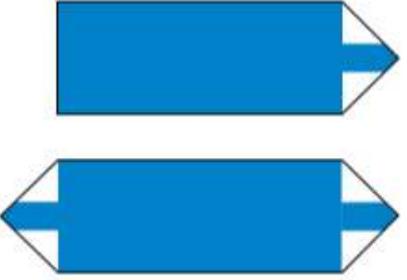
Alpine Stufe: Zu dieser baumlosen Stufe, die an der Waldgrenze beginnt, gehören nur Rigi Kulm sowie die Spitze der Hochflue.

(„Pro Rigi – Wald“, o. J.)

3.3 Wanderwegnetz und Wanderwegwesen Schweiz und Region Rigi/SZ

Das schweizerische Wanderwegnetz umfasst mehr als 65'000 km Wanderwege (Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege, 2017). Die Wanderwege werden, je nach Schwierigkeitsgrad, in eine der drei Kategorien nach Schweizer Norm SN 640 829a – Wanderweg, Bergwanderweg oder Alpinwanderweg – eingeteilt und entsprechend signalisiert (Tab.3-1).

Tab. 3-1: Beschreibung der Wanderwegkategorien nach SN 640 829a gemäss Handbuch Signalisation Wanderwege (gekürzt) (Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege, 2013, S. 9)

<p>Wanderwege</p>	<p>Allgemein zugängliche und in der Regel für zu Fuss Gehende bestimmte Wege, die keine besonderen Anforderungen an die Benützer stellen. Wegweiser: Gelb</p>	
<p>Bergwanderwege</p>	<p>Erschliessen teils unwegsames Gelände. Sie sind überwiegend steil und schmal angelegt und teilweise exponiert. Trittsicherheit, Schwindelfreiheit und gute körperliche Verfassung sind Voraussetzung. Wegweiser: Gelb mit weiss-rot-weisser Spitze. Bestätigungen & Markierungen: weiss-rot-weiss</p>	
<p>Alpinwanderwege</p>	<p>Anspruchsvolle Bergwanderwege, die teilweise durch wegloses Gelände, über Gletscher, Geröllhalden, durch Steinschlagrunsen oder Fels mit Kletterstellen führen. Benützer müssen trittsicher, schwindelfrei und in sehr guter körperlicher Verfassung sein und den Umgang mit Seil und Pickel beherrschen. Wegweiser: blau mit weiss-blau-weisser Spitze. Bestätigungen & Markierungen: weiss-blau-weiss</p>	

Von den 65'000 km Wanderwegen entfallen rund 1700 km auf den Kanton Schwyz („Schwyzer Wanderwege | Verein“, o. J.) und davon wiederum 238 km auf den im Kanton Schwyz liegenden Perimeter der Region Rigi (Abb.3-8) (Eigene Auswertung in ArcGIS Pro). Die RigiPlus AG/RIGI BAHNEN AG werben auf ihrer Homepage mit 120 Wanderkilometer („Wandern auf der Rigi“, o. J.).

Das Wanderwegnetz im Gebiet Rigi umfasst hauptsächlich Wander- (171,5 km) und Bergwanderwege (61,9 km). In den Bereichen Hochflue und Stockflue im Südosten des Rigigebiets verlaufen aber auch Alpinwanderwege mit einer Gesamtlänge von 4.3 Kilometer (Abb.3-8) (*Eigene Auswertung in ArcGIS Pro*).



Abb. 3-8: Wanderwegnetz der Region Rigi/SZ. Auswertung aus ArcGIS Pro. Gelb = Wanderwege, rot = Bergwanderwege, blau=Alpinwanderwege

3.3.1 Organisation Wanderwegwesen Schweiz und Kanton Schwyz

Die Organisation des Wanderwegwesens ist im Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege (FWG) festgelegt. Dieses hat die Planung, die Anlage und die Erhaltung der zusammenhängenden Fuss- und Wanderwege zum Zweck. Gemäss Artikel 4 FWG sind die Kantone dafür zuständig, dass bestehende und vorgesehene Fuss- und Wanderwege in Plänen festgehalten werden. („Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege (FWG)“, 1987)

Der Dachverband Schweizer Wanderwege ist die Fachorganisation der Kantone und des Fürstentum Liechtensteins. Zu den vielfältigen Zielen und Aufgaben gehören, die Bekanntheit der Schweizer Wanderwege zu erhöhen, das Wandern zu fördern und ein attraktives flächendeckendes Wanderwegnetz mit weniger als 10% Hartbelag zu unterhalten. Zudem vertritt der Dachverband die kantonalen Fachstellen und die Interessen der Wanderer auf politischer Ebene. Durch

Öffentlichkeitsarbeit mit Kampagnen macht er auf das Wandern aber auch auf die Gefahren beim Wandern aufmerksam. („Schweizer Wanderwege | Ziele“, o. J.)

Im Kanton Schwyz ist das Kantonale Fuss- und Wanderweggesetz (KFWG) massgebend für die gesamte Organisation des Wanderwegwesens. Dem KFWG unterstehen Wege, welche im kantonalen Wanderwegplan und in den Fuss- und Wanderwegplänen der Gemeinden festgehalten sind. Das öffentliche Fuss- und Wanderwegnetz des Kantons Schwyz und dessen Gemeinden wird in Hauptwanderwege, Verbindungswanderwege und übrige öffentliche Wege eingeteilt. Die Zuständigkeit für Verfahren und Finanzierung der Planung, Bau, rechtliche Sicherung, Unterhalt und Markierung obliegt für Hauptwanderwege dem Kanton und für Verbindungswanderwege und kommunale Wege den Gemeinden. („Kantonales Fuss- und Wanderweggesetz (KFWG)“, 2004) Der Kanton Schwyz kennt zudem den sogenannten Wegrodel. Dies ist ein Verzeichnis aller öffentlicher Wege, deren Unterhalt Privaten obliegt. („Gesetz über die öffentlichen Wege mit privater Unterhaltspflicht“, 1958)

Für den Unterhalt und die Signalisation der Wanderwege beauftragt der Kanton und die Gemeinden Arth, Ingenbohl, Schwyz Lauerz und Steinen den Verein Schwyzer Wanderwege mit seinen 40 Ortsleitern. Die Entschädigung für die Übernahme dieser Arbeiten wird durch eine Leistungsvereinbarung geregelt. („Schwyzer Wanderwege | Verein“, o. J.) Aus der Leistungsvereinbarung werden gemäss persönlicher Mitteilung von Stefan Gwerder Routenkontrollen und kleinere Unterhaltsarbeiten an Wegstrukturen wie Ausmähen, Reinigung der Wasserhaltung oder Reinigung nach Sturmschäden finanziert. Auch die Instandhaltung der Signalisation wird durch die Leistungsvereinbarung gedeckt, die Wanderwegschilder selbst gehören hier aber nicht dazu. Es ist festzuhalten, dass die Ortsleiter freiwillige Mitarbeiter sind und nur eine kleine Entschädigung für ihre Arbeiten erhalten. Hans Ruedi Appert, Ortsleiter der Gemeinde Arth, kontrolliert rund 110 km Wanderwege. Kontrollen und Unterhaltsarbeiten durch die Wanderwegverantwortlichen werden gemäss mündlicher Mitteilung von Hans Ruedi Appert von April bis November durchgeführt.

Nebst den SWW und SZWW ist auch die RigiPlus AG, als Entwicklungs- und Vermarktungsorganisation der Rigi ein wichtiger Akteur. Sie sind dafür zuständig, dass Wandernde über das Angebot an der Rigi informiert sind. In Schadensfällen an der Wanderweginfrastruktur ist es wichtig, dass sie den Nutzern frühzeitig die nötigen Informationen übermitteln, um Wandernde vor Gefahren schützen zu können. Die RigiPlus AG und die kantonalen Fachorganisationen von Schwyz und Luzern arbeiten schon seit mehreren Jahren eng zusammen. Gemäss Aussagen am Expertenworkshop vom 2. September 2020 funktioniert der Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Akteuren reibungslos. So wird beispielsweise bei einer Sperrung eines Wanderweges sofort die RigiPlus AG informiert, welche wiederum alle Bergbahnen, Hotels und Restaurants informiert, damit diese die Informationen an die Gäste weiterleiten können.

3.3.2 Touristische Nutzung des Rigigebiets

Im Jahr 2019 sind 1.87 Millionen Besucher mit einer der Bahnen der Rigi Bahnen AG auf die Rigi gefahren (Rigi Bahnen AG, 2020, S. 36). Gemäss Aussagen am regionalen Expertenworkshop ist die Verteilung der Besucher auf der Rigi allerdings sehr unterschiedlich. So halten sich die Gäste aus dem asiatischen Raum hauptsächlich auf und um Rigi Kulm auf und nutzen die Wanderwege eher weniger.

Gemäss Auskunft des Fachbereichs Langsamverkehr des Kantons Schwyz gibt es für die einzelnen Wanderwege kein Monitoring der Anzahl Wandernden. Aus der geologischen Beurteilung und Vorstudie der GeoRisk AG geht hervor, dass auf dem sehr gut ausgebauten Weg zwischen Rigi Scheidegg und Rigi First jährlich ca. 80'000 Wandernde unterwegs sind (GeoRisk AG, 2019). Weniger gut ausgebaute, mit höherem Schwierigkeitsgrad bewertete Wanderwege, dürften eine deutlich geringere Frequentierung aufweisen.

Für das Jahr 2020 ist damit zu rechnen, dass aufgrund der Covid-19 Pandemie weniger ausländische Gäste die Angebote der Rigi Bahnen AG genutzt haben. Andererseits ist den Wanderwegverantwortlichen, gemäss Aussagen am Expertenworkshop vom 2. September 2020, ein höheres Aufkommen von Schweizer Gästen auf dem gesamten Wanderwegnetz aufgefallen.

Die Rigi bietet auch für Wintertouristen ein vielfältiges Angebot: 20 Kilometer präparierte Skipisten, 35 Kilometer präparierte Winterwanderwege, Schneeschuhtrails sowie zwei Langlaufloipen („Aktivitäten auf der Rigi“, o. J.).

3.4 Klima der Alpen

Im November 2018 wurden die Klimaszenarien CH2018 vorgestellt. Diese haben zum Zweck, anhand von Klimasimulationen und Annahmen zukünftige Emissionsszenarien darzustellen. Für die Schweiz werden insbesondere mehr Hitzetage, trockenere Sommer, heftigere Niederschläge und schneeärmere Winter erwartet. Die Klimaszenarien werden jeweils über drei Jahrzehnte beschrieben. Ist vom Jahr 2035 bzw. von «naher Zukunft» die Rede, sind die Mittelwerte der Jahre 2020 - 2049 gemeint. Um die Klimaszenarien im Jahr 2040 abzubilden, werden daher diese Mittelwerte der Klimaverhältnisse genutzt. Als Referenzwerte gelten die Mittelwerte aus den Jahren 1981 - 2010. Allerdings hat sich das Klima seit diesem Zeitraum bereits wieder verändert und es ist zu beachten, dass der Anstieg der Temperaturen seit den 1980er-Jahren noch schneller voranschreitet. (NCCS, o. J.-b)

Da sich der Klimawandel aufgrund der topografischen Unterschiede der Schweiz unterschiedlich auf verschiedene Gebiete auswirkt, werden die Klimaszenarien für die fünf Grossregionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite erstellt. (NCCS, o. J.-c)

Der südwestliche Teil der Rigi liegt noch auf dem Gebiet der Voralpen, der nördliche, östliche und südwestliche Teil auf dem Gebiet der Alpen. Da das auf den Voralpen liegende Gebiet hauptsächlich zum Kanton Luzern gehört und nur ein kleiner Teil bei Küsnacht und Ober Nas bei Gersau zum Kanton Schwyz, wird im Weiteren mit den Klimaszenarien für die Alpen (Abb.3-9) gearbeitet.

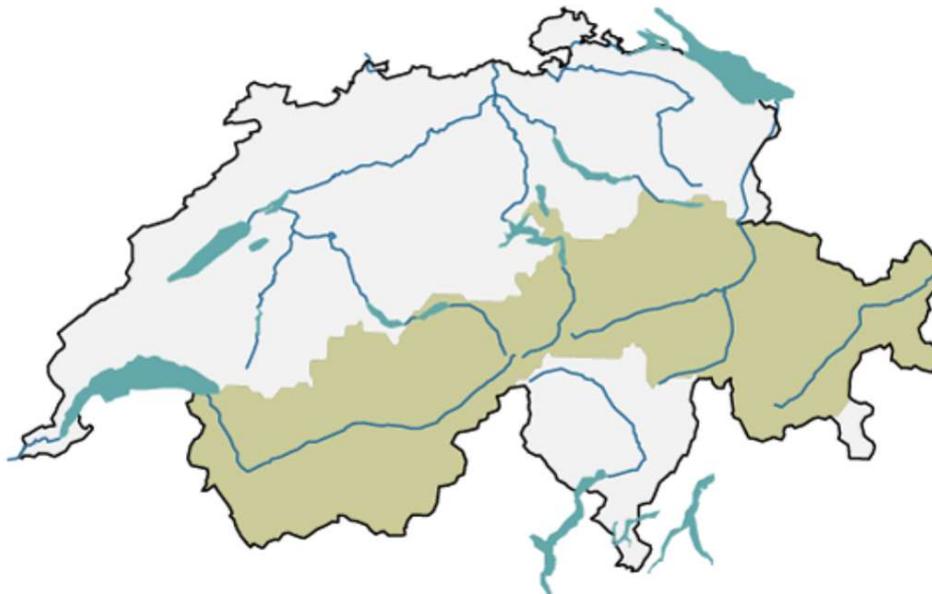


Abb. 3-9: Biogeografische Grossregion Alpen (beige). Zu der Grossregion Alpen gehören das Wallis, die Zentral- und Ostalpen sowie weite Teile des Kantons Graubünden. (NCCS, 2018)

Es ist allerdings zu beachten, dass sich die Grossregion Alpen vom Wallis, über die Zentral- und Ostalpen bis ins Engadin erstreckt, so dass je nach betrachteter Klimagrösse regionale Unterschiede auftreten können (MeteoSchweiz, 2014, S. 24). Da die Klimaszenarien Differenzen zur Normperiode anzeigen und keine absoluten Zahlen, können diese Modelle dennoch für die Rigi übernommen werden. Da der höchste Punkt der Rigi mit 1797 m.ü.M. im Vergleich zum ganzen Alpenraum eher niedrig ist, werden die Veränderungen der Sommer-, Hitze-, Frost- und Neuschneetage sowie der Tropennächte nach Höhenlage angeschaut (Abb.3-12 – Abb.3-16).

Gemäss mündlicher Mitteilung von Sabine Kleppek, Projektleiterin im Bereich Strategie zur Anpassung an den Klimawandel beim BAFU, am Expertenworkshop vom 2. September 2020, wird im Bereich Anpassung an den Klimawandel jeweils vom «worst case» Szenario ausgegangen. Der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) hat in ihrem fünften Sachstandbericht vier Bewertungsmodelle erstellt, die als Grundlage für Klimaprognosen und Klimaprojektionen verwendet werden, die sogenannten RCPs (Representative concentration pathways).

Das «worst case» Szenario ist das RCP 8.5, bei dem der Strahlungsantrieb bis 2100 mehr als 8.5 W/m² erreichen wird. Es wird davon ausgegangen, dass dieses Szenario eintritt, wenn keine Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden und somit die Emissionen und die Erderwärmung weiter steigen.

Das «best case» Szenario ist das RCP 2.6. Bei diesem wird angenommen, dass der Strahlungsantrieb vor 2100 bei 2.6 W/m² seinen Höhepunkt erreicht und dann abnimmt. Um dies zu erreichen, ist allerdings ein umfassender Klimaschutz, mit einer Senkung der Emissionen auf nahezu Null, nötig. Um das 2°-Ziel des Klimaabkommens von Paris von 2015 erreichen zu können, müsste laut IPCC das RCP 2.6 erreicht werden. („IPCC DDC Glossary“, o. J.; NCCS, o. J.-b)

Dennoch ist, gemäss Sabine Kleppek, das Modell RCP 2.6 zum Vergleich wichtig. Dies, um aufzuzeigen, in welchem Bereich die Klimaänderungen bei unterschiedlichen Klimaschutzszenarien liegen können. In den nachstehenden Grafiken (Abb. 3-10 – 3-16) werden daher immer beide Szenarien gezeigt.

Gemäss persönlicher Mitteilung vom 20. April 2020 von Andreas Fischer von MeteoSchweiz, gibt es für die Rigi keine nahe gelegene Klimastation. Für die Gipfellagen der Rigi empfiehlt er, die Daten der Klimastation Pilatus und für die tiefergelegenen Stufen die Daten der Klimastation Engelberg zu verwenden. Die Klimastation Pilatus liegt auf 2106 m.ü.M. (MeteoSchweiz, 2020a). Sie kann also mit den Klimamodellen der Alpen der Höhenstufe 1500-2500 m.ü.M. verglichen werden. Die Klimastation Engelberg liegt auf 1036 m.ü.M. (MeteoSchweiz, 2020b). Hier kann ein Vergleich mit der Höhenstufe 800-1500 m.ü.M. der Alpen gezogen werden. Für die Stufe unterhalb 800 m.ü.M. wird jeweils der Vergleich mit den Werten der Normperiode 1981-2010 für den gesamten Alpenraum gemacht.

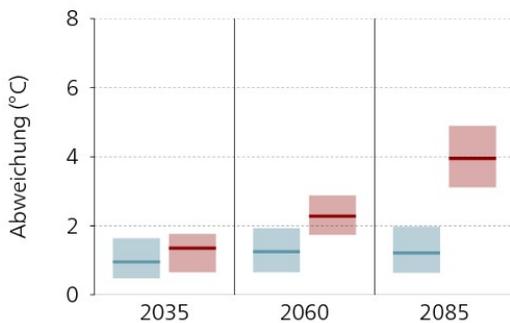
Die Klimamodelle gehen in den Alpen von einem Anstieg der Temperaturen von 0.5 - 3°C bis 2035 aus. Es ist zu erwarten, dass die Temperaturabweichung im Sommer höher sein wird als im Winter. Die Streuung im Winter liegt für RCP 2.6 und RCP 8.5 in einem ähnlichen Bereich zwischen 0.5 - 1.8°C. Im Sommer ist die Streuung in den beiden Szenarien bereits deutlicher zu erkennen. Bei RCP 2.6 wird ein Temperaturanstieg von 0.8 - 2.4°C, bei RCP 8.5 ein Anstieg von 1.6 - 3°C erwartet (Abb.3-10). (NCCS, o. J.-c)

Temperatur

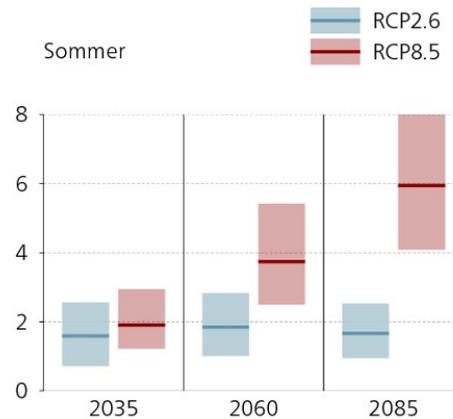
Abweichung von der Normperiode 1981-2010

Alpen

Winter



Sommer



© Klimaszenarien CH2018

Abb. 3-10: Erwartete Abweichungen der mittleren Temperaturen in den Alpen im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-c)

Die durchschnittliche Jahrestemperatur der Normperiode 1981-2010 betrug in den höheren Lagen der Rigi 1.8° Celsius (MeteoSchweiz, 2020a). In den tieferen Regionen lag die Jahresdurchschnittstemperatur derselben Normperiode bei 6.3° Celsius (MeteoSchweiz, 2020b). Im Extremfall könnte sich die Jahresdurchschnittstemperatur in den hohen Lagen der Rigi bis 2035 bei RCP 2.6 und RCP 8.5 im Winter verdoppeln. In den tieferen Lagen wird der Anstieg der Temperaturen im selben Bereich sein, der prozentuale Anstieg ist jedoch kleiner. Im Sommer dürfte die Veränderung der Jahrestemperatur stärker von den getroffenen Klimaschutzmassnahmen abhängen. Aber in beiden Szenarien ist mit einem deutlichen Anstieg zwischen 0.8 - 3°C zu rechnen.

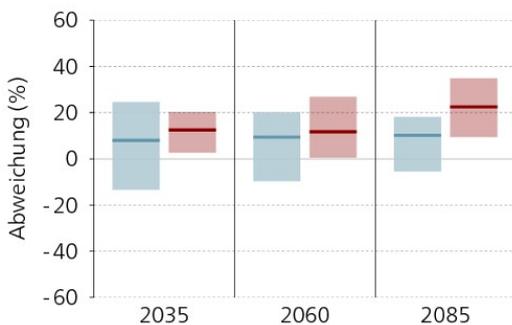
Für den Niederschlag zeigen die Klimamodelle, dass es beim Szenario RCP 8.5 im Winter bis 2035 vermutlich ca. 2–20% mehr Niederschläge geben wird. Das Szenario RCP 2.6 hat eine wesentlich grössere Streuung von -14–22%. Im Sommer liegt die durchschnittliche Niederschlagsänderung in beiden Szenarien bei ca. -4% mit einer Streuung im Bereich von -18%–10% (Abb.3-11). Die meisten Modellrechnungen gehen tendenziell eher von einer Abnahme der Sommerniederschläge und einer Zunahme der Winterniederschläge aus. Zudem ist davon auszugehen, dass Starkregenereignisse über das ganze Jahr hinweg häufiger und in grösserer Intensität auftreten werden. Es ist aber festzuhalten, dass Unsicherheiten bei Niederschlagsänderungen grösser sind als bei Temperaturänderungen. (NCCS, o. J.-c)

Niederschlag

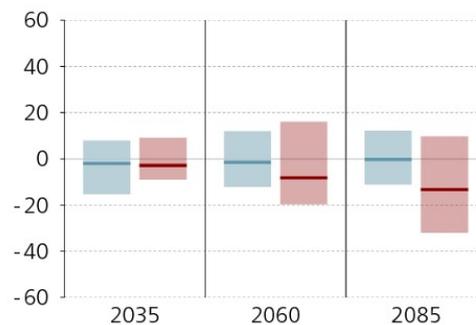
Abweichung von der Normperiode 1981-2010

Alpen

Winter



Sommer



© Klimaszenarien CH2018

Abb. 3-11: Erwartete Abweichungen des Niederschlags in den Alpen im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-c)

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge der Normperiode 1981-2010 betrug in den hohen Lagen der Rigi 1752 mm/Jahr, wovon in den Monaten April (167 mm), Juni (168 mm), Juli (160 mm) und August (162 mm) die höchsten Niederschläge zu verzeichnen waren. In den Monaten September (115 mm) und Oktober (95 mm) gab es deutlich am wenigsten Niederschläge. (MeteoSchweiz, 2020a)

Die Niederschlagsmenge der Normperiode in den niedrigeren Lagen lag bei 1559 mm/Jahr. In den Monaten Juni (178 mm), Juli (196 mm) und August (190 mm) gab es die höchsten Niederschläge. Die niedrigsten Niederschlagssummen pro Monat sind hier in den Wintermonaten Januar und Februar mit je 89 mm zu verzeichnen. (MeteoSchweiz, 2020b)

Auch an der Rigi werden die Sommerniederschläge ab- und die Winterniederschläge zunehmen, was zu einer Angleichung der monatlichen Niederschlagssummen führt. Die Vegetation braucht den Niederschlag aber insbesondere im Sommer und weniger im Winter.

In den tieferen Lagen der Rigi (800-1500 m.ü.M.) gab es während der Normperiode 14.2 Sommertage pro Jahr. Sommertage sind Tage an denen das Thermometer 25°C erreicht oder überschreitet. Diese wurden zwischen den Monaten Mai und September verzeichnet. In den hohen Lagen (über 1500 m.ü.M.) sind für die Normperiode keine Sommertage registriert worden. Die Sommertage werden in den Alpen und somit auch im Gebiet der Rigi zunehmen. Insbesondere in der Höhenstufe unter 800 m.ü.M. werden beim Szenario RCP 8.5 etwa 20 zusätzliche Sommertage pro Jahr erwartet. Dies entspricht einer Erhöhung auf jährlich über 60 Sommertage. Aber auch mit dem «best case»-Szenario RCP 2.6 werden die Sommertage durchschnittlich um 16 Tage pro Jahr zunehmen. Zwischen 800-1500 m.ü.M. wird es durchschnittlich 12 bzw. 16 zusätzliche Sommertage geben. In den obersten Lagen der Rigi, über 1500 m.ü.M., ist in beiden

Szenarien mit einer geringen Zunahme von 2-3 Tagen pro Jahr zu rechnen, wobei die Streuung in RCP 8.5 bis 8 Tage reicht. (Abb.3-12) (NCCS, o. J.-d)

Sommertage

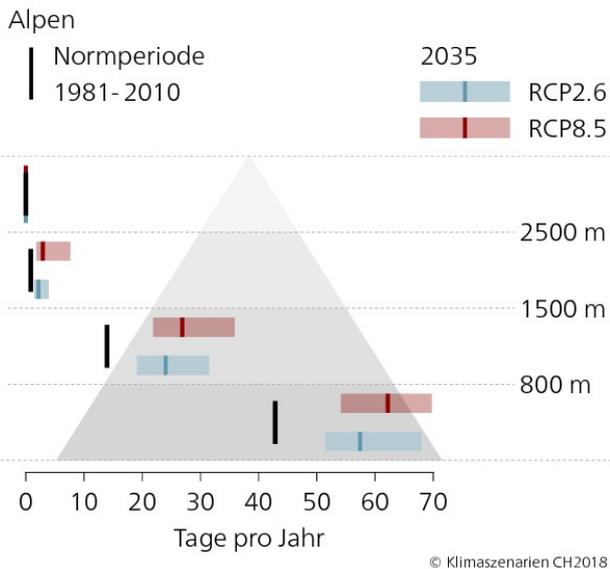


Abb. 3-12: Erwartete Anzahl Sommertage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)

Hitzetage sind Tage, an denen die Temperatur 30°C oder mehr erreicht. In den hohen Lagen der Rigi kamen während der Normperiode keine Hitzetage vor (MeteoSchweiz, 2020a). Zwischen 800-1500 m.ü.M. wurden jährlich 0.6 Hitzetage, in den Monaten Juni, Juli oder August gemessen (MeteoSchweiz, 2020b). Unter 800 m.ü.M. wurden durchschnittlich 6 Hitzetage gemessen. Eine Zunahme der Hitzetage ist insbesondere für die tiefen Lagen unter 800 m.ü.M. zu erwarten. Für die Periode 2020-2049 werden mit dem Klimamodell RCP 2.6 durchschnittlich 12, mit RCP 8.5 14 Hitzetage erwartet. Allerdings ist die Streuung sehr gross. Bei RCP 8.5 wird es auch Jahre geben, in denen bis 30 Hitzetage auftreten können. Auch zwischen 800-1500 m.ü.M. ist mit einem deutlichen Anstieg der Hitzetage zu rechnen, wobei mit RCP 2.6 nicht mehr als durchschnittlich 5 Hitzetag pro Jahr erwartet werden. Über 1500 m.ü.M. dürfte es nur mit RCP 8.5 zu vereinzelt Hitzetagen kommen. (Abb.3-13) (NCCS, o. J.-d)

Hitzetage

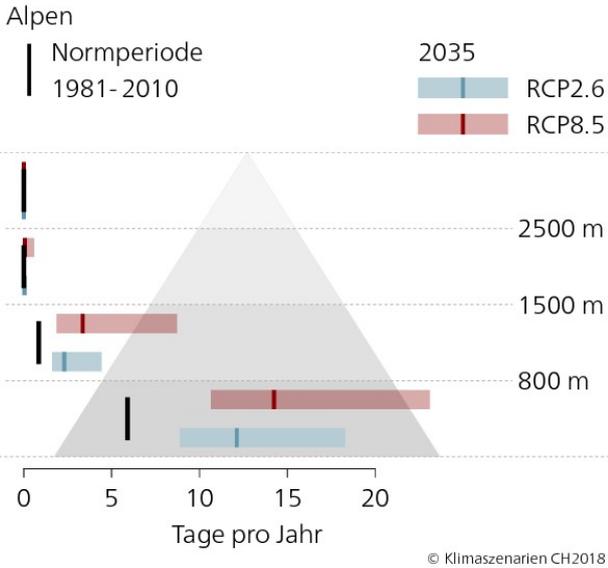


Abb. 3-13: Erwartete Anzahl Hitzetage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)

Tropennächte sind Nächte, in denen die Temperatur nie unter 20°C fällt. Diese werden im Vergleich zu den Sommer- und Hitzetagen weniger stark zunehmen. Es wird erwartet, dass bis 2035 auch in Lagen unter 800 m.ü.M. bei beiden Szenarien durchschnittlich weniger als 2 Tropennächte pro Jahr auftreten werden (Abb.3-14). (NCCS, o. J.-d) Dies zeigt, dass im Gebiet der Alpen, im Gegensatz zu städtischen Gebieten, eine nächtliche Abkühlung voraussichtlich trotz vermehrter Sommer- und Hitzetage stattfinden wird.

Tropennächte

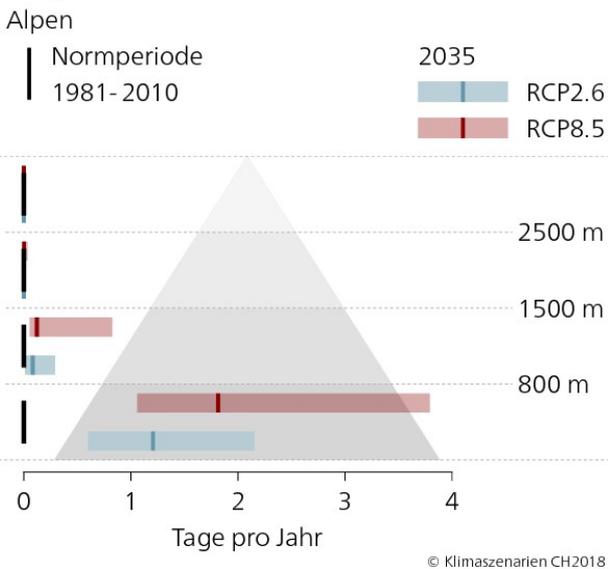


Abb. 3-14: Erwartete Anzahl Tropennächte in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)

Seit 1961 haben die Frosttage in der Schweiz bereits um 60% abgenommen (Bundesamt für Umwelt et al., 2020, S. 29). Auch in Zukunft werden die Frosttage in allen Höhenlagen abnehmen. Zwischen 1500 - 2500 m.ü.M. werden sie von durchschnittlich rund 220 Tagen der Normperiode auf ca. 180 Tage sinken. Gemäss Klimastation Pilatus gab es in der Normperiode durchschnittlich 193.6 Frosttage (MeteoSchweiz, 2020a). Da die höchste Erhebung der Rigi allerdings nur auf 1797 m.ü.M. liegt, dürfte die Anzahl Frosttage auf unter 180 Tage kommen. Zwischen 800 - 1500 m.ü.M. ist mit einer Abnahme um ca. 20 Tage zu rechnen. Bei durchschnittlich 134.5 gemessenen Frosttagen der Normperiode, werden bis 2035 durchschnittlich also noch etwa 114.5 Frosttage erwartet (MeteoSchweiz, 2020b). Unterhalb von 800 m.ü.M. wird es durchschnittlich noch rund 75 Frosttage, im Gegensatz zu den ca. 90 Frosttagen der Normperiode, geben. In allen Höhenstufen liegen die durchschnittlich erwarteten Frosttage bei beiden Szenarien nahe beieinander. (Abb.3-15) (NCCS, o. J.-d)

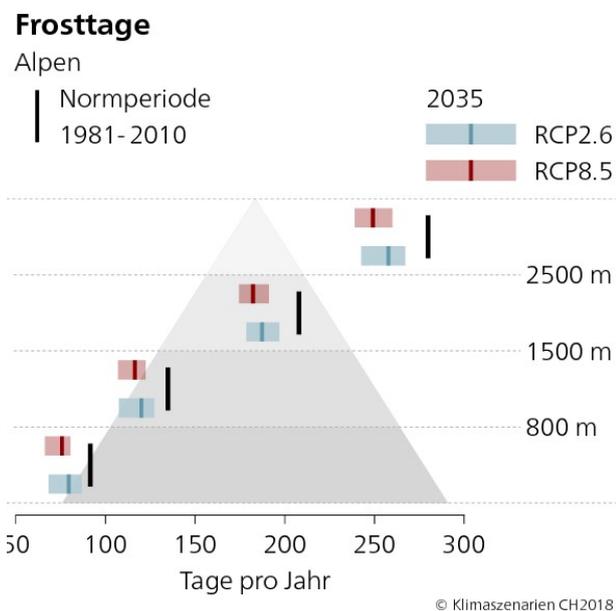


Abb. 3-15: Erwartete Anzahl Frosttage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)

Ebenfalls zu erwähnen ist, dass die Nullgradgrenze seit 1961 bereits um 300 - 400 Meter gestiegen ist. Bei weiterem Anstieg der Temperaturen wird auch diese Grenze noch weiter steigen. Aus den bisherigen Erfahrungswerten ist abzuleiten, dass die Nullgradgrenze pro 1 C° Erwärmung um 150 - 200 Meter steigt. (Bundesamt für Umwelt et al., 2020, S. 29,40)

Neuschneetage sind Tage mit mindestens 1 cm Neuschnee (MeteoSchweiz, 2020b). Für die Klimastationen Engelberg und Pilatus gibt es keine Angaben zu den Neuschneetagen. Daher wird der Vergleich mit den Werten des gesamten Alpenraums (Abb.3-16) gemacht.

Neuschneetage werden vor allem in den hohen Lagen abnehmen. So wird erwartet, dass zwischen 1500-2500 m.ü.M., sowohl bei RCP 2.6 als auch bei RCP 8.5, die Neuschneetage von etwas mehr als 70 Tagen auf unter 60 Tage pro Jahr sinken werden. Zwischen 800 - 1500 m.ü.M. wird eine Abnahme von heute 45 Neuschneetagen auf weniger als 30 Tage erwartet. Unter 800 m.ü.M. bleiben die Neuschneetage mit knapp 20 relativ konstant, mit einer leicht abnehmenden Tendenz. (Abb.3-16) (NCCS, o. J.-d)

Neuschneetage

Alpen

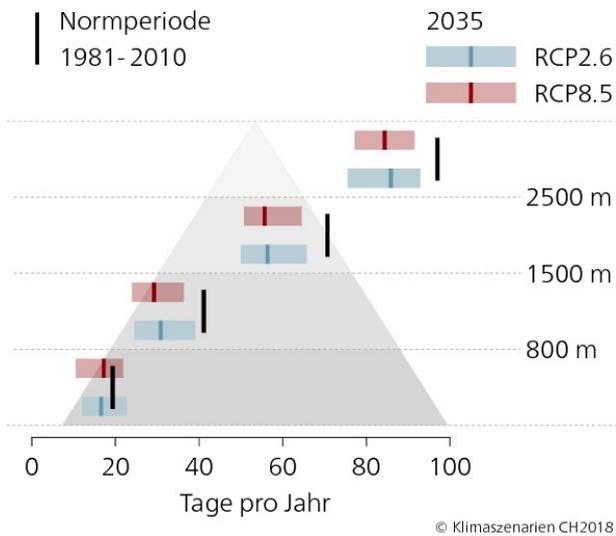


Abb. 3-16: Erwartete Anzahl Neuschneetage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)

3.5 Naturgefahren

Die Wanderwegeninfrastruktur kann durch zahlreiche Naturereignisse beeinträchtigt werden. Es kann zu meteorologischen Gefahren wie Schneefall, Gewitter, Hagel, Sturmwinde etc. aber auch zu unvorhersehbaren Ereignissen wie Steinschlag an einer als nicht gefährlich eingestuften Stelle kommen. (Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege, 2017, S. 17)

Für die Gefahrenprävention und die Wanderwegeninfrastruktur relevanten Naturgefahren sind die gravitativen Naturprozesse. Diese können spontan und in starker Intensität auftreten. Somit haben sie ein hohes Potenzial, um die Wanderwegeninfrastruktur zu beschädigen und auch Wandernde können sich nicht wirksam dagegen schützen. Beim ersten nationalen Expertenworkshop zum Projekt «Sicher Wandern 2040», welcher im April 2019 an der ZHAW in Wädenswil stattgefunden hat, wurden folgende relevanten Prozesse eruiert: (Bast et al., 2020, S. 19)

Sturzprozesse:

Steinschlag / Steinhagel, Blockschlag:

Absturz von Einzelkomponenten mit einem Volumen $<100\text{m}^3$ und einer Geschwindigkeit $<30\text{m/s}$ (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-a)

Felssturz:

Absturz von grösseren Gesteinspaketen mit einem Volumen zwischen $100 - 100'000\text{m}^3$ und einer Geschwindigkeit von $10-40\text{m/s}$. Bei einem Felssturz wird die Gesteinsmasse beim Aufprall in einzelne Blöcke und Steine zerschlagen. Die Interaktion zwischen diesen Einzelkomponenten hat keinen massgeblichen Einfluss auf die Dynamik des Sturzes. (Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 1997, S. 41)

Stein- bzw. Blockschlag und Felssturz gehen häufig auf die natürliche Verwitterung des Gesteins zurück. Oft bricht dieses an geologischen Trennflächen, Spalten und Klüften ab. Auch die Frostwechselverwitterung führt häufig zu Sturzprozessen, da durch das Gefrieren und Tauen der Böden Steine und Blöcke gelockert werden. Stein- und Blockschläge ereignen sich häufig im Frühjahr, wenn die Böden tauen. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-a)

Bergsturz:

Als Bergsturz werden Abstürze mit einer Masse von mehr als einer Million m^3 bezeichnet. Die Geschwindigkeit, die ein Bergsturz erreicht, ist über 40m/s und es besteht eine starke Interaktion zwischen den einzelnen Komponenten. Bergstürze können meist bereits einige Tage oder Wochen

vorhergesehen werden, aufgrund von einzelnen Stein- oder Blockschlägen. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-b)

Einer der wohl bekanntesten Bergstürze der Schweiz ist der Goldauer Bergsturz, welcher sich am 2. September 1806 am Südhang des Rossbergs, unweit der Rigi, ereignete. Die 30-40 Millionen Kubikmeter Gestein zerstörten die Dörfer Goldau, Röthen und Buosingen und es wurden mehrere hundert Menschen getötet. („Goldauer Bergsturz von 1806“, o. J.)

Murgänge in Gräben und Wildbachprozesse

Murgänge und Wildbachprozesse werden in der Regel durch ein Starkniederschlagsereignis oder durch eine langandauernde Niederschlagsphase ausgelöst. Auch Hagelschlag oder eine intensive Schneeschmelze können zu Murgängen und Wildbachprozessen führen. Ein Murgang ist an ein Gerinne gebunden und tritt insbesondere da auf, wo ein erosionsanfälliger Untergrund, wie beispielsweise Flysch, vorhanden ist. Wasser und Feststoffe vermischen sich zu einem breiartigen Gemenge, wobei der Geschiebetrieb über den gesamten Fliessquerschnitt verteilt ist. Murgänge bestehen zu 30-60% aus Feststoffen und 40-70% aus Wasser. Sie ereignen sich in Wildbachgerinnen oder anderen Gerinnen mit einem Gefälle von mindestens 25% bzw. 14° und können Geschwindigkeiten von bis zu 60 km/h erreichen. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-a; Rickli, 2019)

Hangmuren und Rutschungen

Im Gegensatz zu Murgängen sind Hangmuren und Rutschungen nicht an ein Gerinne gebunden. Eine Rutschung ist eine hangabwärts gerichtete Bewegung von Lockermaterial entlang einer Gleitfläche. Eine Hangmure ist eine spontane Rutschung von Lockergestein an Steilhängen, wobei das Rutschmaterial verflüssigt wurde. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-c; Rickli, 2019)

Lawinen

Lawinen sind Ereignisse, bei denen sich in einem Anrissgebiet Schnee oder Eis löst. Diese bewegen sich als gleitende Masse oder wirbelndes Schnee-Luftgemisch hangabwärts. An einem Ablagerungsort kommt die Lawine zum Stillstand. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-d)

3.6 Gefahrenkarte und Gefahrenhinweiskarte

Jeder Kanton erstellt eine Gefahrenkarte, welche auf dessen Geoportal einsehbar ist. Gefahrenkarten zeigen auf, für welche Siedlungen und Verkehrswege eine Gefährdung durch Naturereignisse besteht. Dabei wird die Gefahr von verschiedenen Naturereignissen beurteilt und zusammengefasst. Die Bereiche werden in die vier Gefahrenstufen sehr gering, gering, mittel und hoch eingeteilt, je nach Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität der Gefährdung (Abb.3-17). (Bundesamt für Umwelt, o. J.-b)

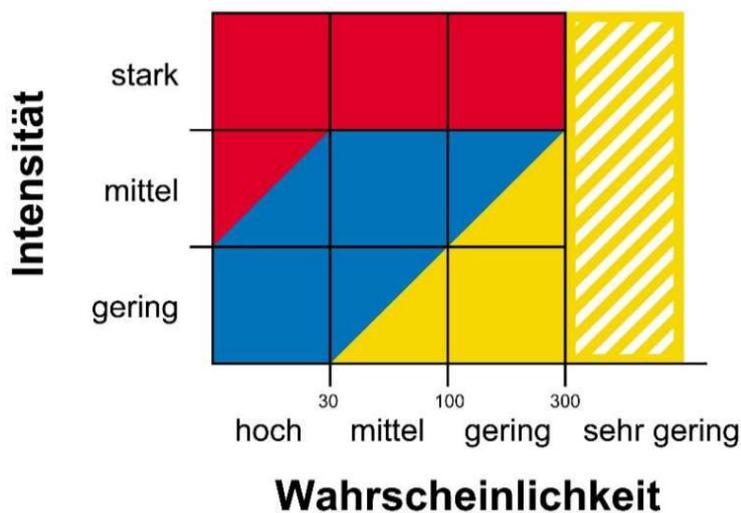


Abb. 3-17: Gefahrenstufen als Ergebnis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit (in Jahren) (Bundesamt für Umwelt, 2015)

Die Gefahrenkarte des Kantons Schwyz beinhaltet folgende Naturgefahren (Kanton Schwyz, o. J.):

- Hochwasser und Murgang
- Sturzprozesse (Steinschlag, Blockschlag und Felssturz)
- Rutschungen
- Hangmuren
- Lawine / Gleitschnee
- Doline und Bodenabsenkung

Gefahrenhinweiskarten zeigen Gebiete ausserhalb des Siedlungsraumes, welche ebenfalls potenziell gefährdet sind. Allerdings wird die Intensität und die Eintretenswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt und die Karte wird nur in einem geringen Detaillierungsgrad dargestellt. Der Gefahrenhinweisbereich wird in braun markiert. (Bundesamt für Umwelt, o. J.-b; Kanton Schwyz, o. J.)

Aus Abbildung 3-18 geht hervor, dass fast das ganze Rigigebiet im Kanton Schwyz zum Gefahrenhinweisbereich gehört, da im gesamten braun markierten Bereich eine potenzielle Gefahr von Naturprozessen ausgeht. Nur wenige Stellen, insbesondere der höheren Lagen wie Rigi Kulm und Rigi Scheidegg, sind nicht im Gefahrenhinweisbereich.

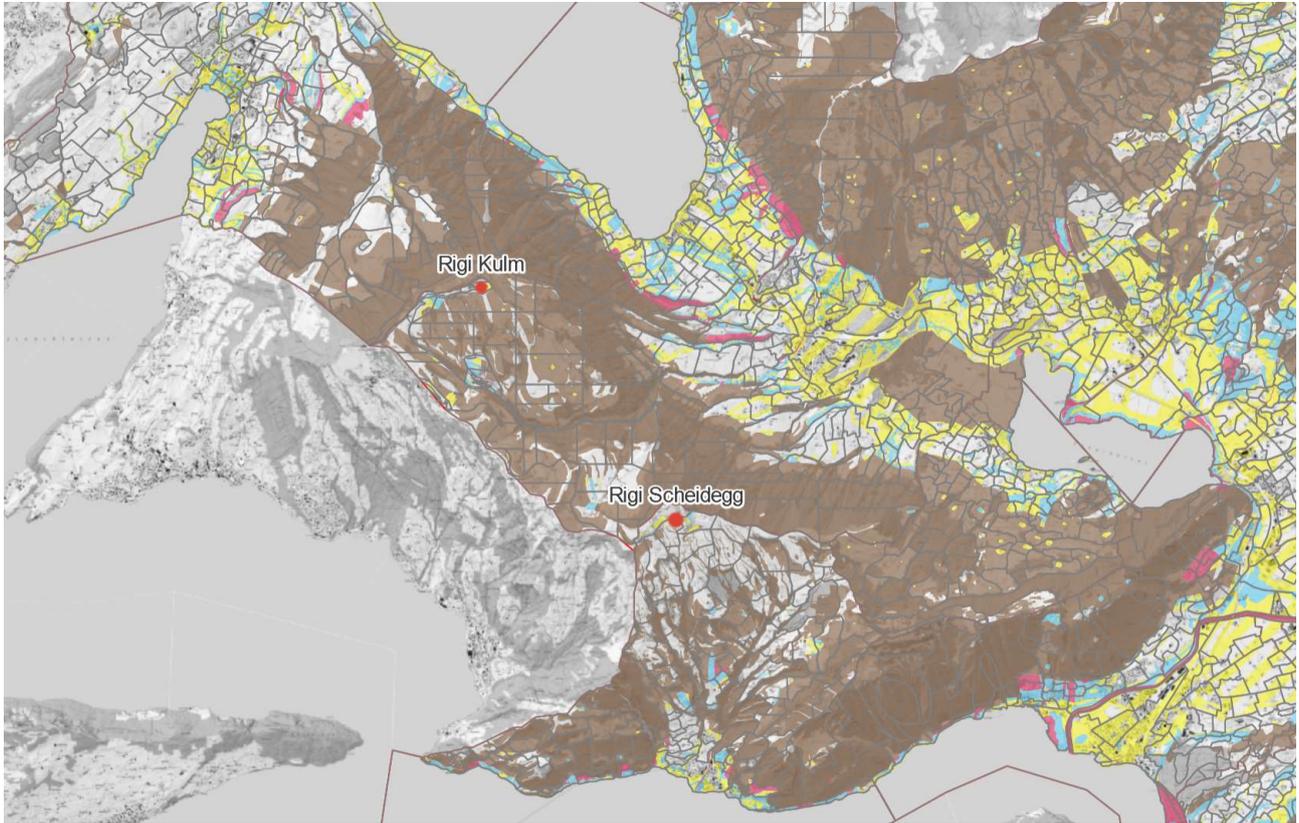


Abb. 3-18: Gefahrenkarte und Gefahrenhinweiskarte des Kantons Schwyz für das Gebiet Rigi/SZ. Rot=hohe Gefahr, blau=mittlere Gefahr, gelb=geringe Gefahr, braun= potenziell gefährdetes Gebiet ausserhalb des Siedlungsbereiches. (Kanton Schwyz, o. J.)

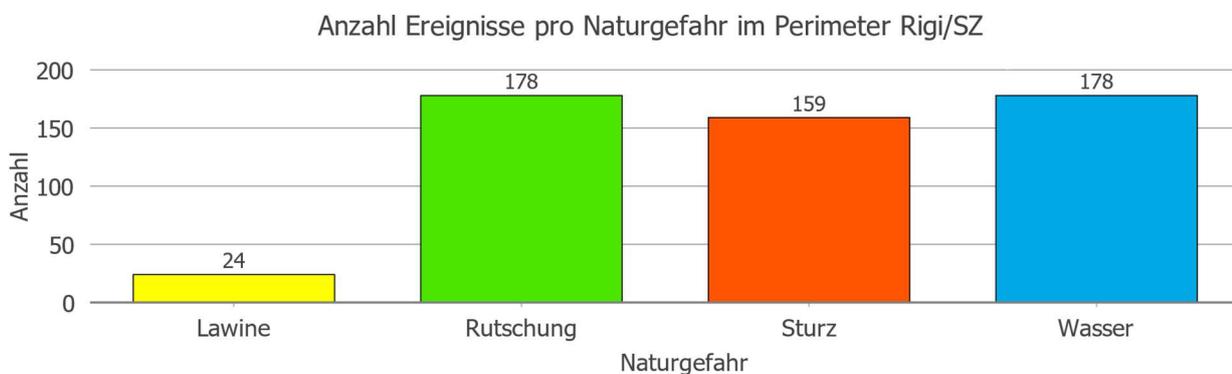
4. Auswirkungen des Klimawandels auf die Wanderweginfrastruktur im Jahr 2040

In diesem Kapitel werden die Resultate aus den Auswertungen des Naturgefahrenkatasters und des Wanderwegnetzes vorgestellt. Zudem werden die zu erwartenden Veränderungen der Naturgefahren, gemäss der Literatursynthese der WSL und den Klimaveränderungen gemäss Kapitel 3.4 aufgezeigt und wie sich diese auf das Wanderwegnetz im Gebiet der Rigi bis 2040 auswirken werden. Desweiteren wird erläutert, wie sich der Wald aufgrund der Klimaerwärmung verändert und wie sich dies auf dessen Schutzfunktion auswirkt.

4.1 Auswirkungen der Naturgefahren auf die Wanderweginfrastruktur der Rigi

Von den 2'186 Ereignissen des Naturgefahrenkatasters liegen 539 im Perimeter Rigi/SZ. Davon sind 24 auf Lawinen, 159 auf Sturz und je 178 auf Rutschungen und Wasser zurückzuführen (Tab.4-1). Bei den Ereignissen mit Wasser werden insbesondere Murgänge, aber auch sonstige Überschwemmungen in den Kommentaren genannt.

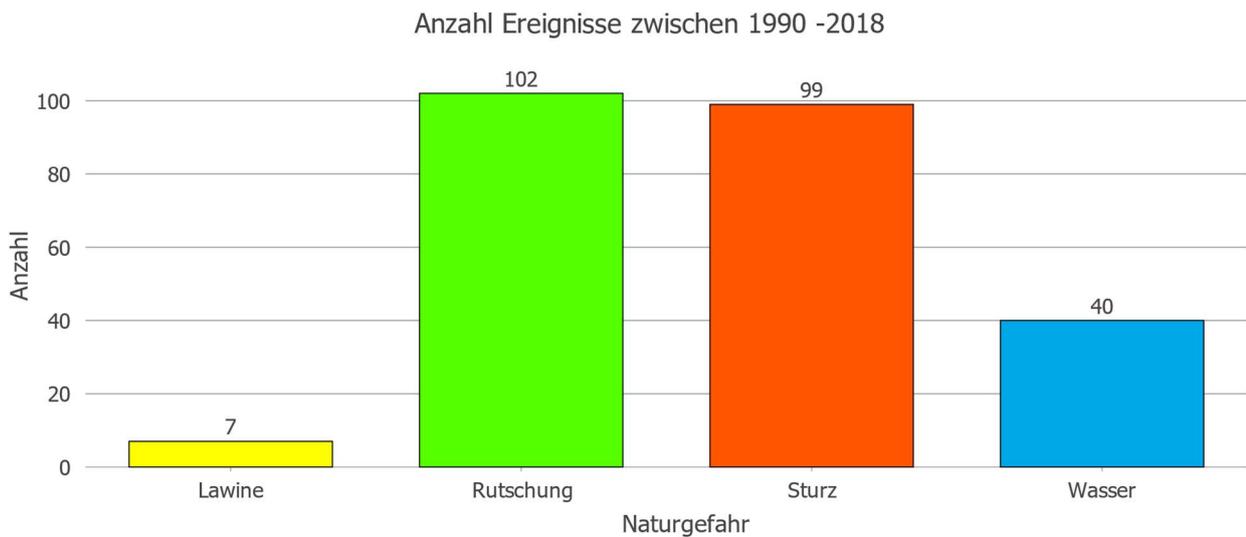
Tab. 4-1: Anzahl Ereignisse pro Naturgefahr gemäss Naturgefahrenkataster. Eigene Auswertung in ArcGIS Pro.



Es ist zu beachten, dass ein Wetterereignis an mehreren Orten unterschiedliche Naturgefahren auslösen kann. Es handelt sich also nicht um 539 Wetterereignisse, sondern um 539 Meldungen. So führte beispielsweise ein schweres Unwetter am 1. Juli 1987 zu insgesamt 34 Einträgen. Der älteste Eintrag stammt aus dem Jahr 1515. Einträge bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts wurden gemäss Kommentaren im Ereigniskataster einer Chronik der Gemeinde Gersau entnommen. Es kann angenommen werden, dass die Einträge seither nicht vollständig sind, da nicht aus allen Gemeinden die Ereignisse erfasst wurden. Zudem ist davon auszugehen, dass nur Grossereignisse in der Chronik festgehalten wurden.

Um ein genaueres Bild der aktuellen Ereignisse zu erhalten, wurden daher zusätzlich diejenigen von 1990 - 2018 angeschaut (Tab.4-2). Die Anzahl Ereignisse beläuft sich noch auf insgesamt 248. In dieser Zeitspanne wurden 102 Rutschungen und 99 Stürze registriert. Ereignisse durch Wasser sind 40-mal und Lawinen 7-mal aufgeführt.

Tab. 4-2: Anzahl Ereignisse pro Naturgefahr von 1990 – 2018 gemäss Naturereigniskataster. Eigene Auswertung in ArcGIS Pro



In der Karte in Abbildung 4-1 ist die räumliche Verteilung der Ereignisse ersichtlich. Die Stürze (orange Punkte) sind hauptsächlich am Zugerseeufer und am Vierwaldstättersee bei Gersau und Brunnen verzeichnet worden. Rutschungen (grüne Punkte) sind im ganzen Perimeter verteilt, wobei sich ebenfalls am Zugerseeufer und oberhalb von Gersau bei Gersauer- und Vitznauerstock eine Häufung von Ereignissen feststellen lässt. Dies ist auch zu erkennen, wenn die Dichte der Ereignisse (Abb.4-2) angeschaut wird.

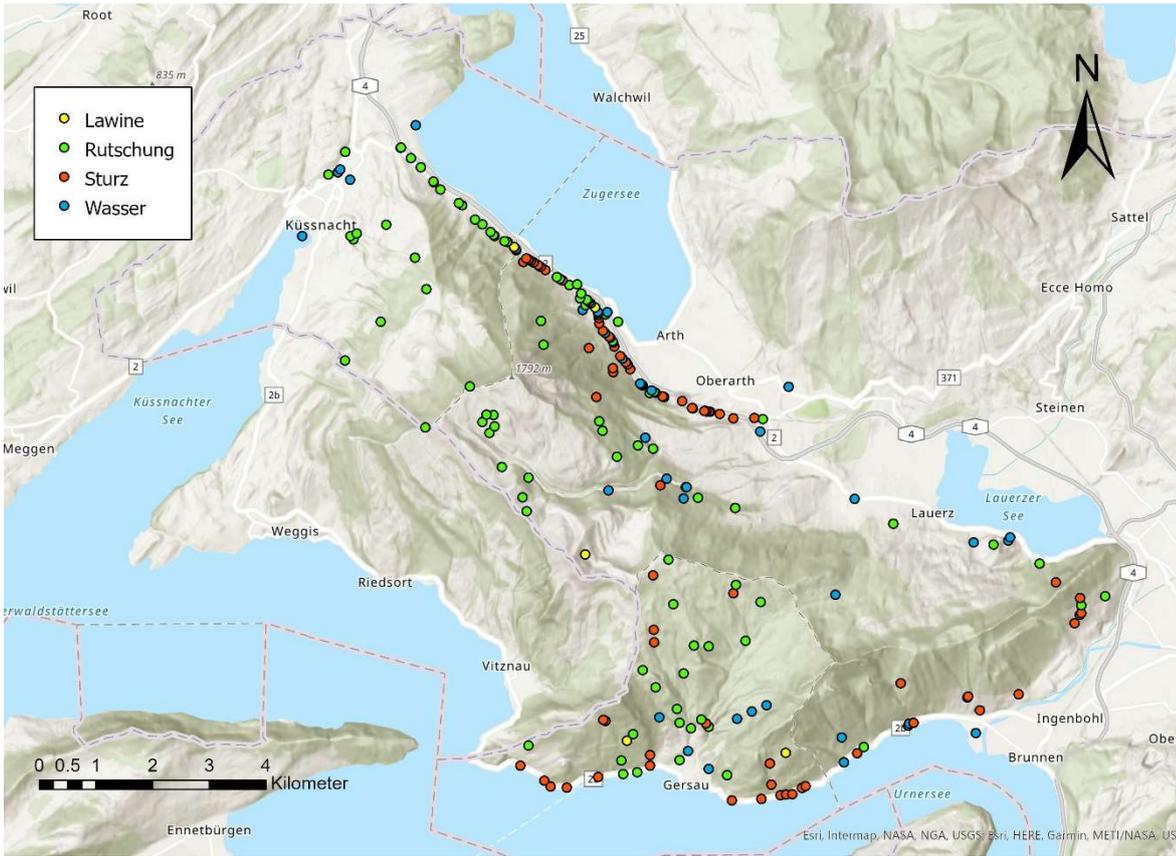


Abb. 4-1: Räumliche Verteilung der Ereignisse nach Naturgefahr von 1990-2018

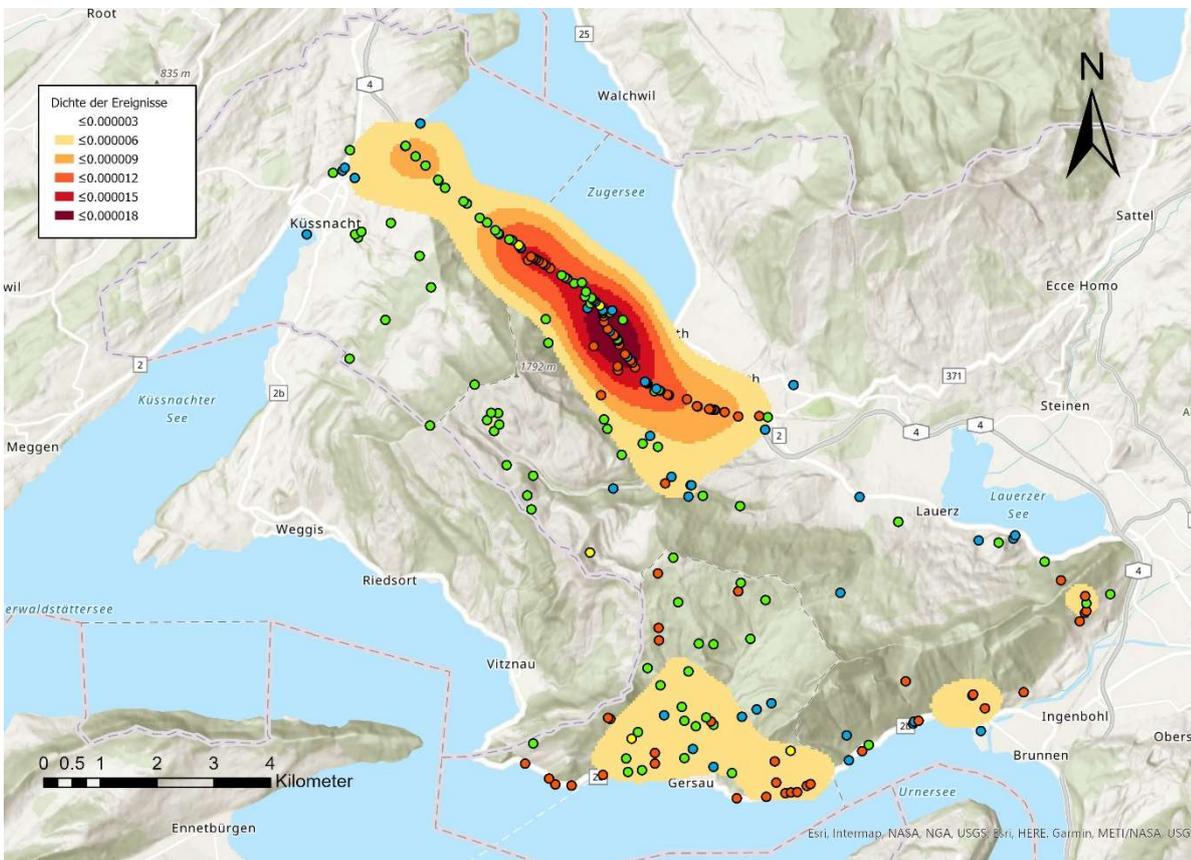


Abb. 4-2: Dichte der Naturereignisse 1990-2018. Auswertung mit «Kernel Density» in ArcGIS Pro. Flächeneinheit in km²

Es ist zu erkennen, dass insbesondere da viele Ereignisse registriert wurden, wo auch ein hohes Schadenpotenzial vorhanden ist. Es handelt sich also nicht unbedingt um die effektiven Ereignisse, sondern um die gemeldeten Ereignisse. Da wo ein hohes Schadenpotenzial vorhanden ist und die Naturgefahren einen Einfluss auf die Infrastruktur haben, werden die Ereignisse entsprechend auch gemeldet. Im Bereich des südwestlichen Zugerseeufers liegt dies sicherlich daran, dass hier die Autobahn A4 sowie die SBB-Linie entlangführen. Meldungen werden also nicht nur von Wanderwegverantwortlichen sondern auch vom ASTRA und von den SBB registriert. Dies führt zu einer hohen Anzahl und entsprechend zu einer hohen Dichte von Ereignissen an diesen Stellen.

Wird die Dichte der Ereignisse noch mit der Dichte des Wanderwegnetzes verglichen (Abb.4-3) ist zu erkennen, dass insbesondere im Gebiet bei Gersau, Gersauer- und Vitznauerstock sowie oberhalb von Brunnen im Gebiet der Stockflue eine Übereinstimmung mit der Ereignisdichte aus Abbildung 4-2 besteht. Daraus könnte sich ableiten, dass in diesem Gebiet ein erhöhter Aufwand an Unterhaltsarbeiten nötig ist. Gemäss persönlicher Mitteilung von Stefan Gwerder ist dies aber nicht der Fall. Allerdings hat die Gemeinde Gersau keine Leistungsvereinbarung mit den SZWW, weshalb sie den Unterhalt selbst regelt, sofern es nicht einen Hauptwanderweg betrifft. Stefan Gwerder geht aber davon aus, dass der Unterhalt und die Kosten verhältnismässig nicht grösser sind als in anderen Gebieten.

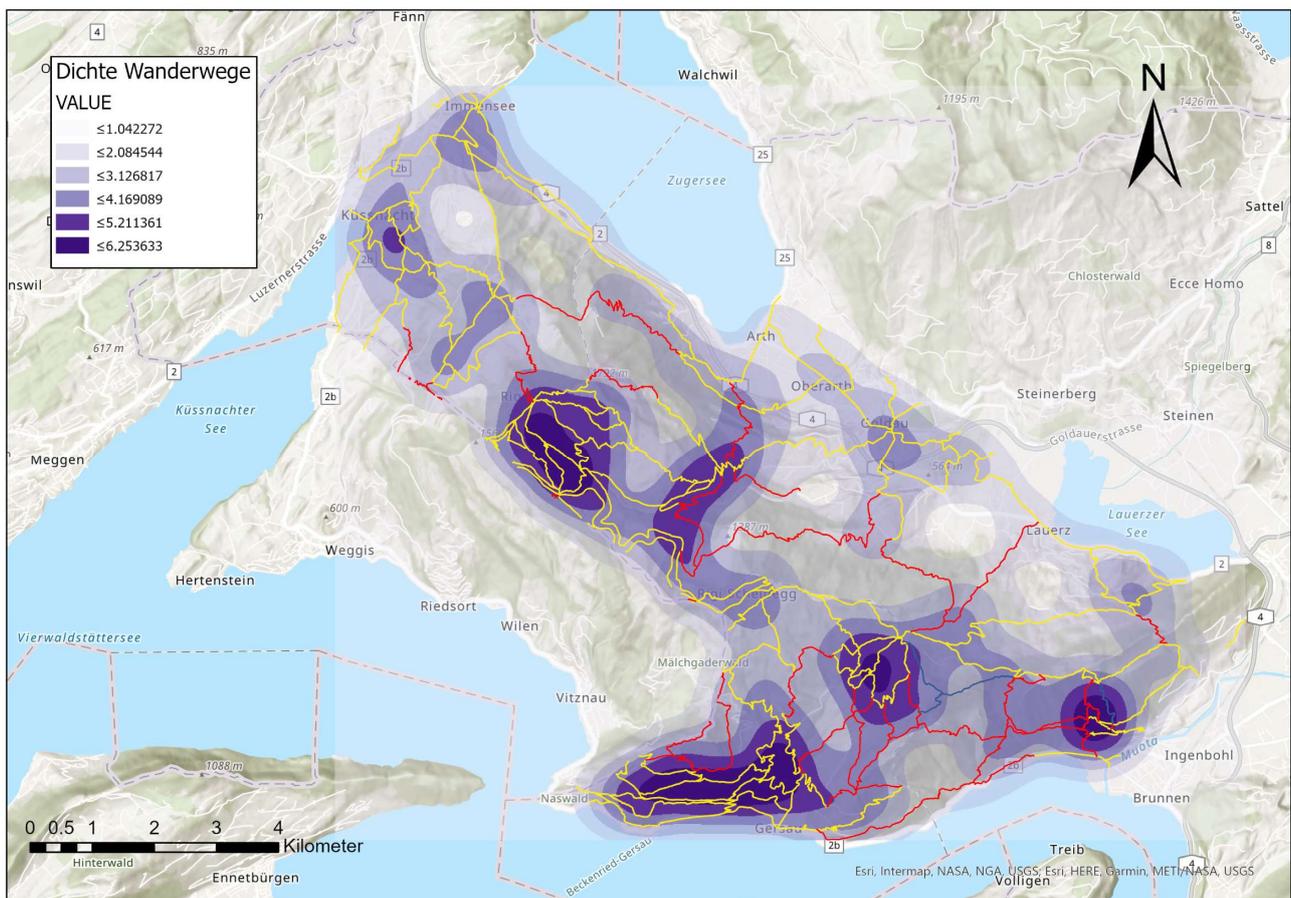


Abb. 4-3: Dichte der Wanderwege. Auswertung mit «Kernel Density» in ArcGIS Pro. Flächeneinheit in km²

4.1.1 Sturzprozesse

Stein- und Blockschläge treten insbesondere im Spätwinter und Frühjahr auf, wenn die Böden auftauen. Diese Frostwechselperwitterung dürfte in allen Lagen der Rigi bis 2040 aufgrund der abnehmenden Frosttage abnehmen. Die Materialverfügbarkeit wird sich in diesen Lagen nicht verändern. Eine Zunahme der Materialverfügbarkeit ist insbesondere in Permafrostgebieten zu erwarten, wo durch das Auftauen der Böden mehr Gestein freigelegt wird. Dies ist an der Rigi aber nicht der Fall, da es hier keinen Permafrost gibt. Abbildung 4-4 zeigt, dass die erwarteten Steinschlagprozesse in Frequenz und mobilisiertem Volumen (Magnitude) im Gebiet der Rigi abnehmend sind. Die Felssturzprozesse zeigen für das Gebiet Rigi keine Veränderung in Frequenz und Magnitude aufgrund des Klimawandels. (Bast et al., 2020, S. 23; Mani & Caduff, 2015, S. 2)

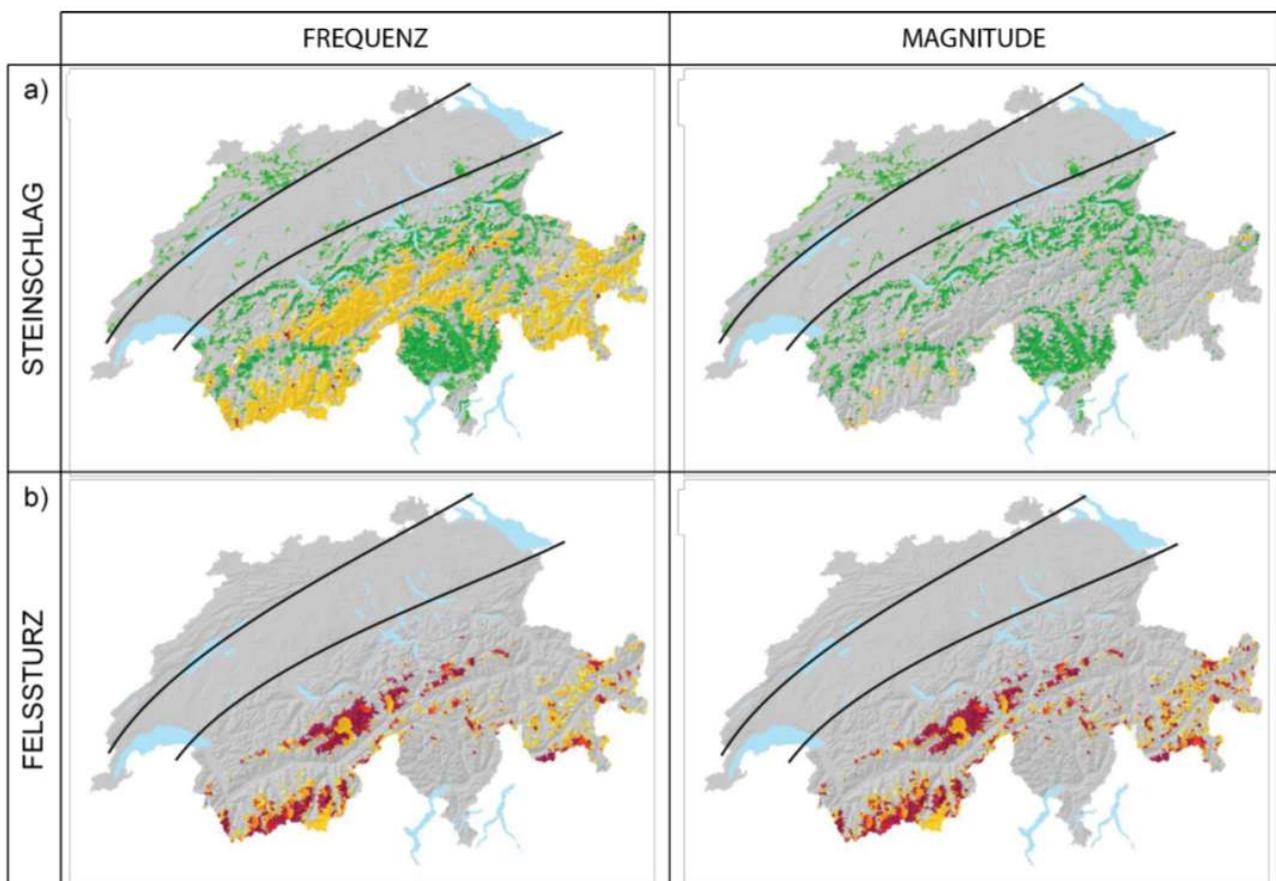


Abb. 4-4: Veränderung der Frequenz und Magnitude für Steinschlag und Felssturz (Bast et al., 2020)

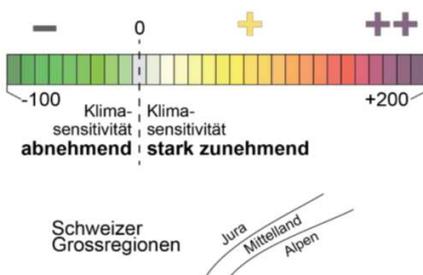


Abb. 4-5: Legende zu Abb. 4-4. Die Legenden für die Sensitivitätsanalysen sind einheitlich von -100 (abnehmend) - +200 (stark zunehmend) skaliert

Dennoch darf die Gefahr durch Sturzprozesse nicht unterschätzt werden. Durch vermehrtes Auftreten von Starkniederschlägen können dennoch Steine und Blöcke gelöst werden. Stürme können dazu führen, dass Bäume umgeworfen und dadurch Steine ausgehebelt werden können. Windwurf wird auch durch den übermässigen Eintrag von anthropogenem Stickstoff aus der Atmosphäre in die Böden begünstigt. Dank der oberflächennahen Verfügbarkeit von Nährstoffen wird das Wurzelwachstum der Bäume gestört. Dadurch werden sie anfälliger auf Windwurf und Krankheiten. (Schweizer Bundesrat (Hrsg.), 2018, S. 47)

Um Risiken von Stein- und Blockschlägen frühzeitig zu erkennen, sind regelmässige Kontrollen und Beobachtungen von grosser Bedeutung. Kurz nach Rigi Kulm, auf dem Weg, welcher nordöstlich nach Kulmalp führt, befindet sich ein Nagelfluhblock, welcher direkt an und über dem Wanderweg liegt. Er weist bereits einen grossen Spalt auf und es besteht die Gefahr, dass er abbricht (Abb.4-6). Da er etwas ausgestellt ist, wird er von vielen Wandernden als Aussichtspunkt für Fotos genutzt, was das Risiko eines Abbruchs verstärkt. Gemäss mündlicher Mitteilung von Stefan Gwerder und Hans Ruedi Appert bei der Rekognoszierung am 17. September 2020 wurde daher überlegt, diesen wegzusprengen, eine Dringlichkeit wurde jedoch nicht festgestellt. Hier sind regelmässige Kontrollen wichtig, um die Veränderung der Spalte zu beobachten und zu einem späteren Zeitpunkt allenfalls eine Sprengung vorzunehmen.



Abb. 4-6: Nagelfluhblock mit Spalt kurz nach Rigi Kulm auf dem nordöstlichen Weg Richtung Kulmalp. (Foto: R. Corrodi)

Trotz Kontrollen sind Sturzprozesse aber nicht immer zu verhindern, wie sich am 11. August 2019 gezeigt hat. Zwischen Gersau und Brunnen hat sich am Fallenbach ein Steinschlag ereignet und auf einer Länge von etwa 20 Metern den Wanderweg, welcher als 200 Meter langer Metallsteg an der Felswand entlang verläuft, beschädigt (Abb.4-7 und 4-8) (Luzerner Zeitung, o. J.). Gemäss persönlicher Mitteilung von Maurus Köchli, Leiter der kantonalen Fachstelle Langsamverkehr beim Amt für Wald- und Naturgefahren, werden oberhalb des Metallstegs Lawinen- und Steinschlagschutzbauten erstellt. Diese werden voraussichtlich Ende Sommer 2021 errichtet. Der Metallsteg wird erst nach Fertigstellung dieser Schutzbauten wieder Instand gestellt, weshalb er bis auf Weiteres gesperrt bleibt.



Abb. 4-7: Wanderweg beim Fallenbach zwischen Gersau und Brunnen vor dem Steinschlagereignis (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-8: Wanderweg nach der Zerstörung durch den Steinschlag am 11. August 2019 (Luzerner Zeitung, o. J.)

An solchen bekannten Gefahrenstellen sind unter Umständen geologische Berichte nötig, um die Risiken abschätzen zu können und entsprechend Massnahmen zu treffen. Ein solcher Bericht wurde für die 55 Meter lange und rund 23 Meter hohe Felswand «Elend» bei Hinder Dossen erstellt. Unter der Felswand führt ein sehr gut ausgebauter und ganzjährig stark frequentierter Wanderweg durch. Der Bericht wurde von der Gesellschaft Unterhaltsregelung Wegnetz Rigi in Auftrag gegeben und von der GeoRisk AG ausgeführt. (GeoRisk AG, 2019, S. 2,3)

Im oberen Teil besteht die Felswand aus Nagelfluh, im unteren Bereich aus einer ein Meter dicken Sand-Mergel-Schicht. Diese Schicht ist aufgrund ihrer Feinkörnigkeit leicht verwitterungsanfällig. Die Felswand ist am östlichen Teil mit einer Blocksteinmauer verbaut. Allerdings ist diese an diversen Stellen marod und löst sich allmählich von der Felswand ab (Abb.4-9). An der Oberkante der Felswand destabilisieren die Wurzeln von Bäumen die Felswand zusätzlich (Abb.4-10). (GeoRisk AG, 2019, S. 3)



Abb. 4-9: Marode Blocksteinmauer an der Felswand «Elend» (Foto: R. Corrodi)

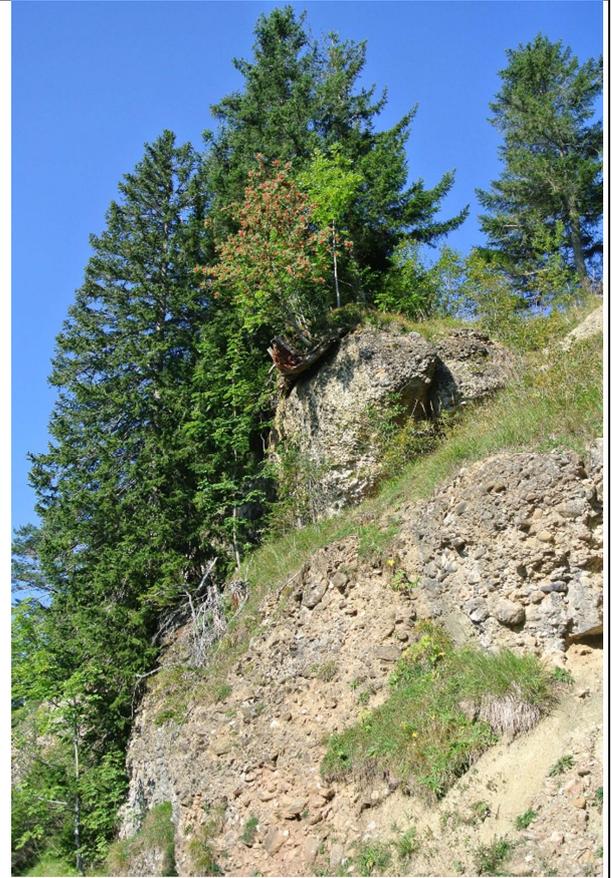


Abb. 4-10: Bäume an der Oberkante der Felswand, deren Wurzeln den Untergrund destabilisieren (Foto: R. Corrodi)

Gemäss den Wegbetreibern lösen sich mehrmals pro Jahr Blöcke aus der Felswand, mit Durchmessern von bis zu 20-50 cm. Die geologische Beurteilung der GeoRisk AG kommt zum Schluss, dass ein Handlungsbedarf besteht, da eine hohe Eintretenswahrscheinlichkeit sowie grosse erwartete Intensitäten der Ereignisse bestehen. Dadurch wird das kollektive Todesfallrisiko überschritten. (GeoRisk AG, 2019, S. 7)

In einem Variantenstudium sind verschiedene Massnahmen eruiert worden. Im Variantenstudium 0+ sind organisatorische Massnahmen wie Kontrollgänge, Ereignisdokumentationen und Steinschlagwarntafeln aufgeführt. Diese Massnahmen sind teilweise schon umgesetzt (Abb.4-11) und können von den Wanderwegverantwortlichen übernommen werden. Auch Wegsperrungen sind bei akuten Gefahren möglich. Diese werden auf der Homepage der Schweizer Wanderwege sowie der jeweiligen kantonalen Fachorganisation publiziert (Abb.4-12). Allerdings erreichen diese Massnahmen nicht die Schutzziele und Wirksamkeit. (GeoRisk AG, 2019, S. 11)

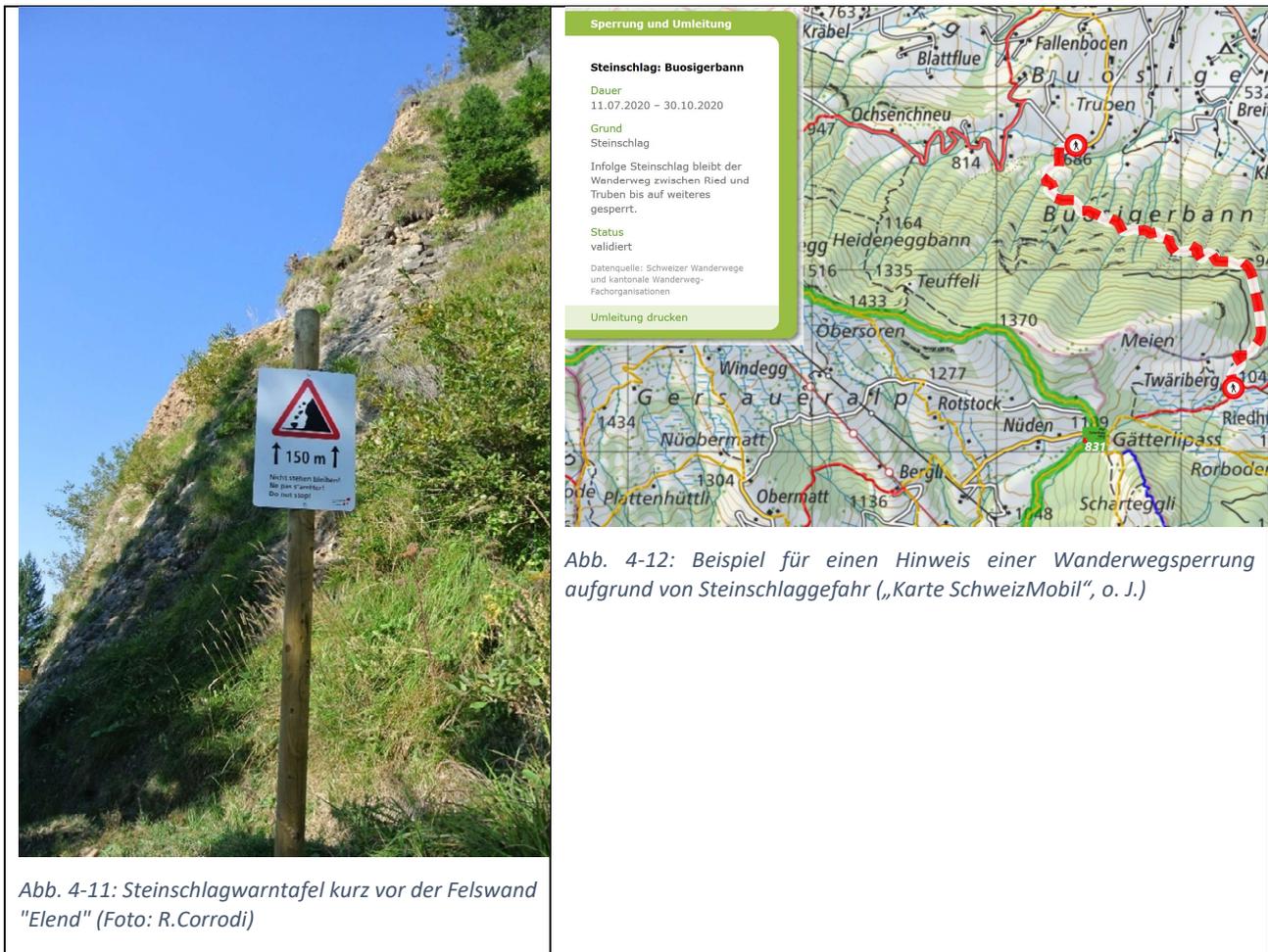


Abb. 4-11: Steinschlagwarntafel kurz vor der Felswand "Elend" (Foto: R. Corrodi)

Abb. 4-12: Beispiel für einen Hinweis einer Wanderwegsperrung aufgrund von Steinschlaggefahr („Karte SchweizMobil“, o. J.)

Um auch die Schutzziele zu erreichen, wären grössere Massnahmen wie das Fällen von Bäumen, eine Wanderwegverlegung, das Anbringen einer Netzabdeckung oder das Errichten eines Stahlverbau an der Felswand nötig (GeoRisk AG, 2019, S. 11). Diese Arbeiten sind mit hohen Kosten und Eingriffen in die Landschaft verbunden, weshalb gemäss persönlicher Mitteilung von Stefan Gwerder auch die Grundeigentümer und die Geldgeber über die Massnahmen mitentscheiden. Der Verein SZWW kann aber mit seinem Fachwissen beratend zur Seite stehen.

4.1.2 Murgänge und Wildbachprozesse

Es ist zu erwarten, dass Murgänge und Wildbachprozesse bis im Jahr 2040 häufiger auftreten werden, da die Starkregenereignisse aufgrund der Klimaveränderung zunehmen werden. Zudem dürfte es eine Verschiebung der Ereignisse von den Sommer in die Wintermonate geben. Das geowissenschaftliche Büro geo7 AG hat im Auftrag des BAFU eine Klimasensitivitätsanalyse Klimawandel Naturgefahren durchgeführt. Laut diesem dürften, nebst den hochgelegenen Alpengebieten, besonders Flysch- und Molassegebiete, wie sie an der Rigi zu finden sind, eine Zunahme an Murgängen erfahren. Für die Sensitivitätsanalyse wurde einerseits die Geschiebelieferung und andererseits die auslösenden Ereignisse bewertet und in Szenarien für

kleine, grosse und sehr grosse Ereignisse zusammengestellt. Kleine Ereignisse werden in den Flysch- und Molassegebieten voraussichtlich stark zunehmen. Auch grosse Ereignisse dürften zunehmen, allerdings weniger stark als die kleinen Ereignisse. Da durch die erhöhte Frequenz an kleinen und grossen Ereignissen bereits viel Geschiebe abgetragen wird, ist die Zunahme von sehr grossen Ereignissen weniger stark ausgeprägt (Abb.4-13). (Mani & Caduff, 2015, S. 44)

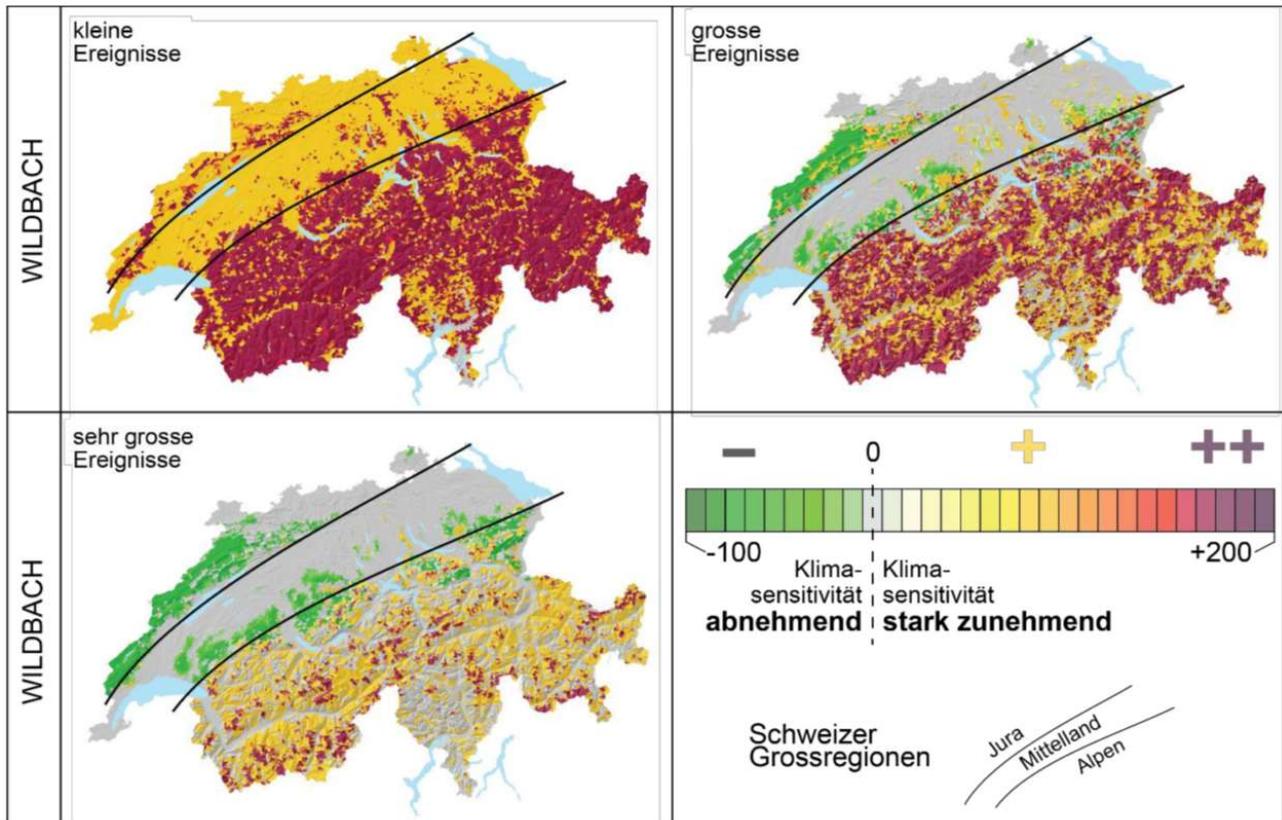


Abb. 4-13: Veränderung der Frequenz von Murgängen und Wildbachprozessen aufgeteilt in kleine, grosse und sehr grosse Ereignisse (Bast et al., 2020, S. 25)

Im Gebiet der Rigi gibt es an diversen Stellen Potenzial für Murgänge. So beispielsweise zwischen Rotenflue-Allmig und Ochsenchneu (Abb.2-2, zwischen Punkt 4 und Endpunkt). Die Abbildungen 4-14 und 4-15 zeigen Bachbette mit hohem Murgangpotenzial. Hier ist viel Geschiebematerial vorhanden, welches sich bei einem Starkregenereignis einfach lösen kann und mittransportiert wird. Abbildung 4-15 befindet sich direkt über einem Wanderweg, welcher leicht verschüttet und ausgewaschen werden kann. Bei einem Murgang können auch Personen, die sich auf dem Wanderweg aufhalten, gefährdet werden. Auch Abbildung 4-16 zeigt ein Bachbett mit viel Geschiebematerial. Hier hat das Wasser auch schon Baumwurzeln unterspült, was dazu führen kann, dass die Bäume instabiler werden und bei einem nächsten Ereignis entwurzelt werden. Abbildung 4-17 zeigt einen Teil des Wanderweges. Dieser kann aufgrund der Topografie selbst leicht zu einem Bachbett werden und hat somit hohes Murgangpotenzial. In Abbildung 4-18 ist einer von

vielen Querabschlägen zu sehen, welche Hans Ruedi Appert von den Schwyzer Wanderwegen, bei seinen Kontrollen, aushebt. Diese sollen dazu dienen, das Wasser über den Wanderweg in den Wald zu leiten, damit das Wasser nicht auf dem Wanderweg selbst abfließt und diesen auswäscht. Diese Massnahmen sind bei grossen Ereignissen allerdings nicht ausreichend um Murgänge zu vermindern.



Abb. 4-14: Bachbett mit viel Geschiebmaterial (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-15: Bachbett mit viel Geschiebmaterial direkt oberhalb des Wanderweges (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-16: Bachbett mit Geschiebematerial und unterspülten Baumstrüngen (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-17: Wanderweg mit Murgangpotenzial oberhalb Ochsenchneu (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-18: Querabschlag zur Ableitung des Wassers in den Wald. Ausgehoben von Hans Ruedi Appert (Foto: R. Corrodi)

An besser ausgebauten und stärker frequentierten Wegen sind teilweise auch grössere Querabschläge zu finden, wie derjenige in Abbildung 4-19 unterhalb von Rigi Scheidegg. Damit diese ihre Funktion aber langfristig erfüllen können, ist ein regelmässiges Ausputzen, insbesondere nach starken Regenfällen, notwendig. Werden Querabschläge nicht regelmässig ausgeputzt, können sie verstopfen und das Wasser fliesst nicht wie gewünscht ab. Dies führt dazu, dass Wege ausgespült werden und nach wenigen Jahren saniert werden müssen. Ein Beispiel für einen nicht genügend ausgeputzten Querabschlag ist in Abbildung 4-20 zu sehen. Dieser befindet sich auf dem Weg oberhalb Ochsenchneu (Abb.2-2, zwischen Punkt 4 und 5).



Abb. 4-19: Funktionsfähiger Querabschlag unterhalb Rigi Scheidegg (Foto: R. Corrodi)



Abb. 4-20: Sanierungsbedürftiger Querabschlag oberhalb Ochsenchneu. (Foto: R. Corrodi)

Um Murgänge längerfristig eindämmen zu können, ist eine dauernde Bestockung und Bepflanzung des Bodens wichtig. Aufgrund des Klimawandels gibt es immer mehr Trockenperioden und dies teilweise schon im Frühjahr. Dies führt zu einem verminderten Wachstum der Pflanzen und der Boden ist nur schwach durchwurzelt. Wie bereits in Kapitel 4.1.1 erwähnt, werden Bäume durch gestörtes Wurzelwachstum instabiler und können auch bei einem Murgang leichter entwurzelt werden. Entwurzelte Bäume können zu Verkläuerungen führen und so selbst zu Auslösern für Murgänge werden. Reicht der Schutzwald nicht, um Murgänge zurückzuhalten braucht es technische Massnahmen wie Sohlensicherung durch Wildbachsperrern, Geschieberückhaltebecken oder Murbremsen. (Plattform Naturgefahren PLANAT, o. J.-e)

4.1.3 Hangmuren und Rutschungen

Hangmuren und Rutschungen können insbesondere da entstehen, wo eine starke Hangneigung besteht und rutschiger Untergrund vorhanden ist. Bei der Rigi ist das vor allem im steilen südlichen Flyschgebiet der Fall (Abb.3-4 und Abb.3-7). Aber auch auf dem Molasseuntergrund kann es bei starkem oder langanhaltendem Regen zu Hangmuren oder Rutschungen kommen. Zudem ereignen sich Rutschungen häufiger im Freiland als im Wald, da im Wald eine stärkere und tiefgründigere Durchwurzlung durch die Bäume besteht (Rickli et al., 2019). Ein Beispiel einer Rutschung, direkt oberhalb eines Wanderweges, konnte bei der Begehung am 5. September 2020 kurz nach dem Felsenweg (Abb.2-1, Punkt 6) auf einem gegenüberliegenden Wanderweg gesehen werden (Abb.4-21). Diese Rutschung wirkt sich zwar eher kleinflächig auf den Wanderweg aus,

dennoch ist das Ablagerungsmaterial wegzuräumen, um den Durchgang zu gewährleisten. Durch die Ablagerungen können die Wege auch beschädigt werden und müssen unter Umständen saniert werden. Rutschungen und Hangmuren können aber durchaus auch grossflächiger auftreten und höheren Schaden anrichten.



Abb. 4-21: Rutschung direkt oberhalb eines Wanderweges. Aufnahme wurde zwischen Felsenweg und Unterstetten gemacht. (Foto: R. Corrodi)

Da die Starkregenereignisse aufgrund der Klimaveränderung zunehmen werden, ist auch häufiger mit Hangmuren und Rutschungen zu rechnen. Ebenfalls kann davon ausgegangen werden, dass diese, durch die Verschiebung der höheren Niederschlagsmenge von Sommer in die Zwischen- und Wintermonate, vermehrt von Herbst bis Frühling auftreten werden. Zu diesem Schluss kommt auch der Bericht von Mani&Caduff. Eine Zunahme der Frequenz dürfte demnach in den Voralpen und Alpen erfolgen, was auch das Rigigebiet betrifft. (Abb.4-22) (Mani & Caduff, 2015, S. 34).

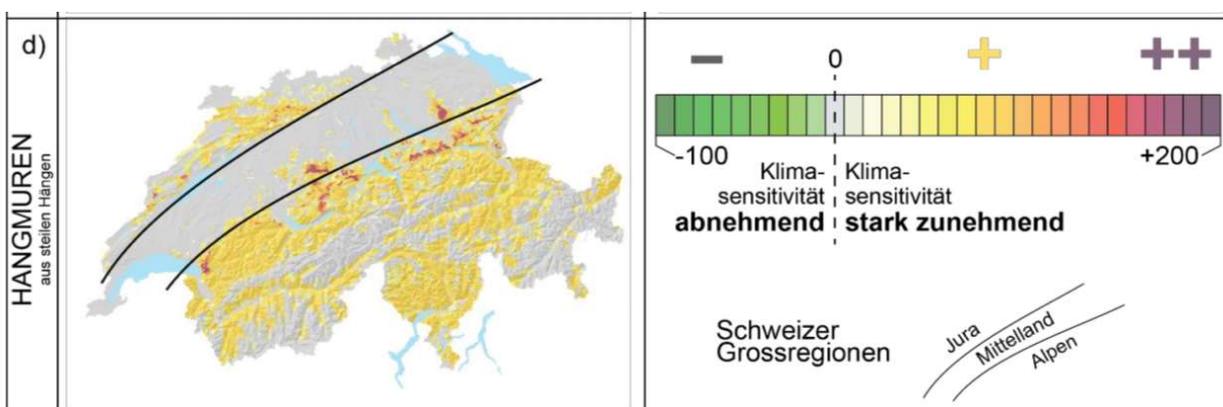


Abb. 4-22: Veränderung der Frequenz von Hangmuren an steilen Hängen (Bast et al., 2020, S. 23)

Zur Verminderung der Rutschungen und Hangmuren ist, wie bei den Murgängen, die Bepflanzung der Böden von grosser Wichtigkeit. In einer Studie der WSL wurde mit einem Scherapparat untersucht, wann Bodenproben ins Rutschen kommen. Es konnte festgestellt werden, dass bepflanzte Böden bis 65% höheren Belastungen gegenüber unbepflanzten Böden standhalten (Graf, te Kamp, Auer, Acharya & Wu, 2015). Ist eine ausreichende Bepflanzung an Hängen nicht gegeben und besteht erhöhte Rutschgefahr, können Hänge mit Drahtsteinkörben stabilisiert werden. Diese werden aus Drahtgeflecht konstruiert und mit Blöcken oder scharfkantigen Bruchsteinen befüllt. Zwischen den einzelnen Elementen werden Schnittgut oder Heckenbüschelschichten auf eine vegetationsfähige Bodenschicht gelegt. (Studer & Zeh, 2014)

4.1.4 Lawinen

Wie aus den Tabellen 4-1 und 4-2 hervorgeht, sind Lawinen keine häufigen Ereignisse an der Rigi. Da die Neuschneetage bis 2040 abnehmen werden, werden auch die Lawinenereignisse abnehmen. Es ist aber möglich, dass viele Lawinen, insbesondere kleinere Lawinen, in der Vergangenheit unbemerkt blieben, bzw. nicht gemeldet wurden, da sie keinen Schaden verursacht haben. Wenn in Zukunft mehr Personen auch im Winter auf Wanderwegen unterwegs sein werden, ist es möglich, dass das Schadenpotenzial zunimmt und dadurch Lawinenereignisse vermehrt zur Gefahr werden. Dies erfordert eine höhere Kontrolle bei Schneeschuh – und Winterwanderwegen.

4.2 Veränderung der Nutzung

Wenn es in Zukunft weniger Tage mit Schneebedeckung geben wird und die Temperaturen bereits früh im Jahr angenehm warm sind, führt dies dazu, dass Wandernde auch schon früher im Jahr auf den Wanderwegen unterwegs sein werden. Dieser Trend ist den Wanderwegverantwortlichen, gemäss Aussagen am regionalen Expertenworkshop, in den letzten Jahren bereits aufgefallen. Startete die Wandersaison früher in den Monaten April/Mai, waren in den letzten Jahren bereits im Februar und März regelmässig Wandernde unterwegs. Zu dieser Jahreszeit sind trotz warmen Tagestemperaturen die Böden oft noch gefroren und die Frostverwitterung in Gange. Dies führt dazu, dass bei höherem Aufkommen von Wandernden, das Risiko von einem Stein- oder Blockschlag getroffen zu werden erhöht wird, da das Schadenpotenzial zunimmt. Auch in den Sommermonaten ist aufgrund der zunehmenden Sommer- und Hitzetage mit einem höheren Aufkommen von Touristen zu rechnen, da diese Abkühlung in den Bergen suchen. Dies dürfte dazu führen, dass mehr unerfahrene Berggänger unterwegs sein werden, was wiederum das Schadenpotenzial erhöht.

Aufgrund der immer wärmeren Temperaturen und abnehmenden Neuschneetage, wird es auch immer weniger Tage mit Skibetrieb geben. Auf die Frage von Sabine Kleppek am Expertenworkshop vom 2. September 2020, ob es bis 2040 auf der Rigi noch einen Skibetrieb geben wird, antworteten einige Anwesende, dass sie nicht damit rechneten. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben, werden die Neuschneetage zwischen 1500 - 2500 m.ü.M. auf unter 60 fallen. Da die Skigebiete der Rigi aber nur knapp über 1500 m.ü.M. oder sogar darunter liegen, ist sogar mit nur noch ca. 30 Neuschneetagen zu rechnen. Wird es dereinst keinen Skibetrieb mehr geben, besteht die Möglichkeit, dass an schneereichen Tagen mehr Personen auf den Winterwanderwegen und Schneeschuhtrails unterwegs sein werden. Gemäss den Wanderwegverantwortlichen sind die Kapazitäten des Wanderwegnetzes im Winter aber noch ausreichend, um die doppelte Anzahl Personen, verglichen mit der heutigen Auslastung, bewältigen zu können.

4.3 Schutzfunktion des Waldes ist gefährdet

Gemäss Verjüngungskontrolle im Kanton Schwyz sind 37% des Waldes, insbesondere Schutzwald, von Wildverbiss betroffen. Gemäss dem Faktenblatt 2020 von Dr. Dani Rüegg liegt die Verbissintensität vor allem bei Tannen und Vogelbeeren stark über dem Grenzwert, welcher für einen Aufwuchs unterschritten werden müsste. Auch andere Baumarten wie Ahorn, Buche und im Jahr 2020 auch die Fichte, sind vom Wildverbiss stark betroffen (Abb.4-23). Dies führt dazu, dass die Mischbaumarten und Tannen nicht aufwachsen können und eine zu geringe Verjüngung des Waldes stattfindet. (Rüegg, 2020)

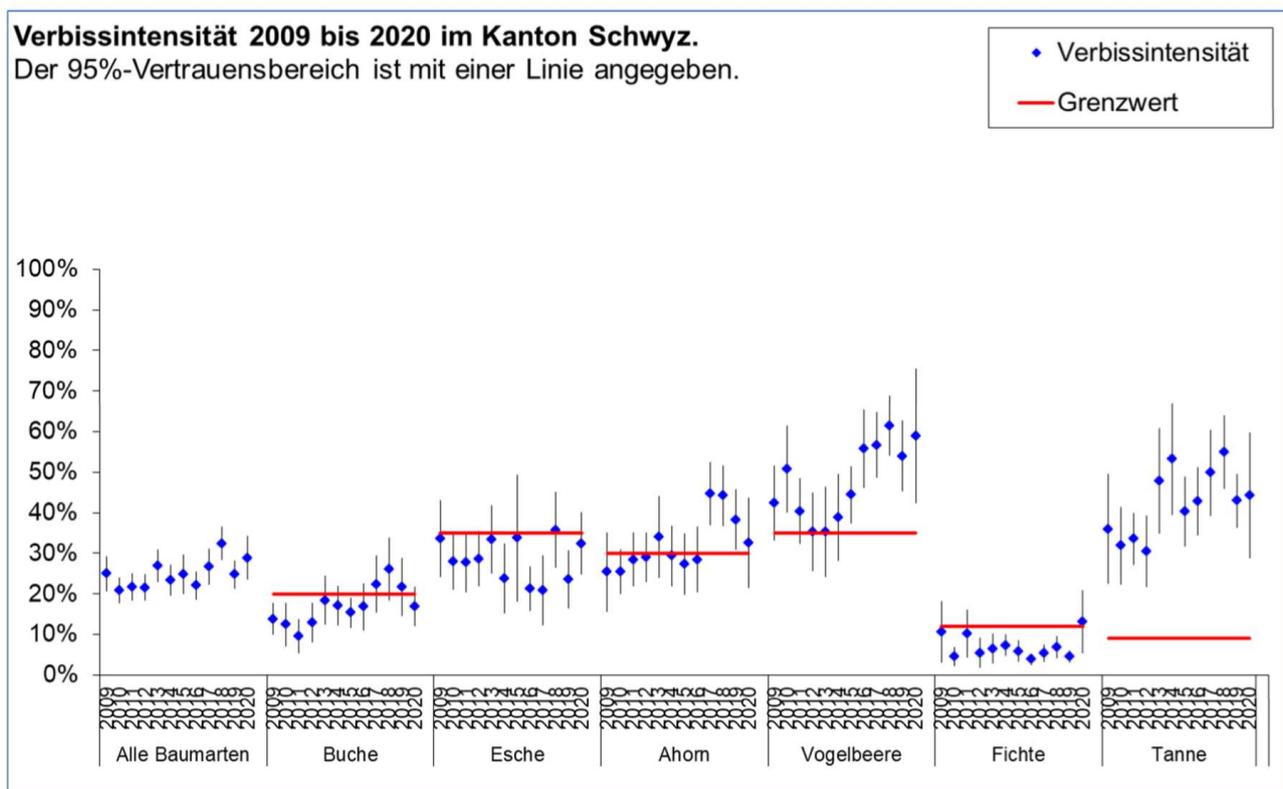


Abb. 4-23: Verbissintensität verschiedener Baumarten von 2009 - 2020 im Kanton Schwyz inklusiv der Grenzwerte, die für eine ausreichende Verjüngung unterschritten werden müssten. (Rüegg, 2020)

Diese Problematik betrifft gemäss mündlicher Mitteilung von Pius Betschart von der Unterallmeind-Korporation Arth auch den Schutzwald im Gebiet Rigi. Aufgrund des Wildverbisses werde die Verjüngung des Waldes vernachlässigt, was zu einer Überalterung des Waldes führen wird.

Aber nicht nur der Wildverbiss, sondern auch die längeren Trockenperioden machen dem Wald zu schaffen. Im Sommer 2018 wurde die längste und schwerste Dürreperiode seit Beginn der systematischen Wetteraufzeichnungen gemessen. Diese lange Trockenperiode ohne Niederschläge hat verschiedene Laubbaumarten, insbesondere viele Buchen, geschwächt.

Erste Ergebnisse einer Analyse der WSL haben gezeigt, dass im Mai 2019 51% der Buchen mit einem verfrühten Laubabfall im Jahr 2018 eine Kronenmortalität (dürre Äste in der Krone) aufwiesen. Bei den Kontrollbäumen, also den Bäumen, die im Sommer 2018 keinen verfrühten Laubfall aufwiesen, waren nur 22% der Bäume von Kronenmortalität betroffen. („Mittelfristige Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Buchen-Einzelbäume - WSL“, o. J.) Diese Kronenmortalität kann zum Abbruch von Ästen führen und somit eine Gefährdung für Personen darstellen, welche sich im Wald oder auf Wanderwegen befinden.

Innerhalb des Pilotprogramms «Anpassung an den Klimawandel» läuft im Wallis das Projekt D.03 «Klimaangepasste Baumarten im Schutzwald». Dieses soll aufzeigen, welche einheimischen, aber auch gebietsfremden Baumarten genügend resistent sind, um auch bei den erwarteten Klimaveränderungen genügend Schutz vor Naturgefahren bieten zu können. (NCCS, 2019) Nach Abschluss dieses Projektes wäre sicherlich eine Überprüfung der Resultate und allenfalls eine entsprechende Anpassungsstrategie für das Gebiet Rigi sinnvoll.

5. Diskussion

Wie die Klimamodelle in Kapitel 3.4 zeigen, ist an der Rigi in allen Höhenlagen mit einem deutlichen Anstieg der Durchschnittstemperaturen zu rechnen. Dies führt dazu, dass die Frosttage und somit der Frostwechsel abnimmt. Dadurch wird sich Gestein weniger stark destabilisieren, was zu einer Reduktion von Stein- und Blockschlägen führen wird. Da es im Gebiet der Rigi keinen Permafrost gibt, welcher aufgrund der zunehmenden Durchschnittstemperaturen auftaut, wird auch kein neues Gestein freigelegt, womit die Materialverfügbarkeit nicht weiter zunehmen kann. Auch daraus resultiert, dass mit einer Abnahme von Sturzprozessen zu rechnen ist. Dennoch können diese Ereignisse an einzelnen Stellen ein enormes Gefahrenpotenzial darstellen, wie das Ereignis am Fallenbach vom 19. August 2019 oder der geologische Bericht für die Felswand «Elend» der GeoRisk AG gezeigt haben. Insbesondere das Ereignis am Fallenbach hat veranschaulicht, dass die Wanderwegeninfrastruktur durch Steinschlag stark beeinträchtigt werden kann, was zu einem hohen Aufwand für die Wanderwegverantwortlichen und zu hohen Kosten führt. Da festzustellen war, dass viele Wandernde in den letzten Jahren schon früh im Jahr in den Bergen unterwegs sind, erhöht sich zudem das Risiko von einem Sturzprozess während der Tauzeit getroffen zu werden. Es sind daher regelmässige Kontrollen von gefährdeten Orten wichtig, um Massnahmen wie eine Sprengung oder verstärkte Schutzmassnahmen ergreifen zu können. An der Felswand «Elend» wurden Warnschilder angebracht, da dieser Weg aber sehr stark frequentiert ist, wäre es, wie in Kapitel 4.1.1 erläutert, sinnvoll die marode Mauer mit einer Stahlverbauung oder einer Netzabdeckung zu ersetzen. Auch am Fallenbach, wo eine Sanierung des Metallsteges mit hohen Kosten verbunden ist, sind verstärkte Schutzmassnahmen sinnvoll, um künftig Schäden an der Wanderwegeninfrastruktur verhindern zu können.

Aufgrund der Starkniederschläge, welche gemäss Klimaszenarien in Zukunft häufiger auftreten werden, nehmen im Gebiet Rigi insbesondere die Naturgefahren zu, welche mit Wasser in Verbindung stehen, was sich schwieriger vorhersagen lässt als die Sturzprozesse. Bei den Murgängen ist gemäss Kapitel 4.1.2 besonders in den Flysch- und Molassegebieten eine deutliche Zunahme von kleinen und grossen Ereignissen zu erwarten. Wie sich bei den Rekognoszierungen gezeigt hat, gibt es diverse Stellen, an denen ein Murgangpotenzial mit viel Geschiebe vorhanden ist. Zudem ist die Hangneigung von 14°, welche für einen Murgang ausreichend ist, an den meisten Orten der Rigi gegeben. Da diese Gebiete oft direkt über einem Wanderweg liegen oder die Wanderwege selbst ein hohes Murgangpotenzial aufweisen, ist bis 2040 mit einem deutlich höheren Schaden der Wanderwegeninfrastruktur zu rechnen. Rutschungen und Hangmuren werden, wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, insbesondere an steilen Hängen mit einem gut erodierbaren Untergrund wie Flysch zunehmen. Aus den Abbildungen 3-4 und 3-7 geht hervor, dass dies insbesondere im südlichen Gebiet oberhalb von Gersau der Fall ist. Durch das Abrutschen von Lockermaterial können Wanderwege verschüttet und beschädigt werden,

was zu einem erhöhten Arbeits- und Kostenaufwand führen wird. Dies wird dazu führen, dass nach Starkregenereignissen vermehrt Kontrollen nötig sind und Querabschläge häufiger ausgeputzt werden müssen. Da Kontrollen bis anhin ab April durchgeführt werden, müssten diese bereits früher im Jahr geplant werden, da die Starkregenereignisse häufiger auch im Winter auftreten werden. Es dürfte zu einem Mehraufwand für Unterhaltsarbeiten, sowohl in Form von Arbeitsstunden als auch von Kosten, kommen. Auf die Frage an Stefan Gwerder, ob der Verein genügend Kapazitäten für diesen künftigen Mehraufwand hat, antwortete er *«Wenn mehr Kapazität benötigt wird, wird mehr Kapazität geschaffen.»*. Inzwischen hat er diese Kapazität bereits erhöht, indem per 2021 die Stelle «Technischer Leiter» geschaffen wurde. Dieser wird eingesetzt werden, wenn grössere Unterhaltsarbeiten vorgenommen werden müssen. Reichen häufigere Kontrollen und Unterhaltsarbeiten nicht aus, um die Schäden an der Wanderweginfrastruktur zu minimieren, sind technische Lösungen wie Sohlenverbauungen, Geschieberückhaltebecken oder Drahtkörbe zum Schutz vor Einwirkungen auf die Infrastruktur möglich.

Wie die Auswertungen des Naturgefahrenkatasters in Kapitel 4.1 zeigen, sind Lawinen kein sehr häufiges Ereignis im Gebiet Rigi. Aufgrund der von Klimamodellen prognostizierten abnehmenden Anzahl Neuschneetage und steigender Nullgradgrenze dürften Lawinenereignisse bis 2040 zudem noch weiter abnehmen. Sie werden in Zukunft also keine grosse Einwirkung auf die Wanderweginfrastruktur der Rigi haben. Es besteht aber die Möglichkeit, dass der Skibetrieb bis 2040 auf der Rigi eingestellt sein wird. Dies könnte dazu führen, dass das Personenaufkommen an Neuschneetagen auf Winterwander- und Schneeschuhwanderwegen zunehmen wird. Die Kapazitäten auf den Wegen ist gemäss Aussagen von Wanderwegverantwortlichen zwar vorhanden, allerdings erhöht dies die Gefahr, dass sich Personen an Orten mit Lawinenrisiko aufhalten werden. Um Wanderer auf diese Gefahren aufmerksam zu machen, braucht es gezielte Informationen und Kampagnen. Ein Monitoring des Personenaufkommens sollte frühzeitig gemacht werden, um bei einem deutlichen Anstieg der Wegfrequentierung einen Ausbau der Winterwander- und Schneeschuhwanderwege zu planen.

Wie der Bericht des Bundesrates «Umwelt Bericht 2018» (Kapitel 4.1.1) sowie die WSL Studie von Graf et al. (Kapitel 4.1.2) zeigen, schützen ein intakter Wald und Bodenbedeckung am effektivsten vor Naturgefahren. Wie in Kapitel 4.3 gezeigt, werden sich die trockeneren Sommer und vermehrten Dürreperioden aber negativ auf die Vegetation auswirken. Durch lange Dürreperioden können insbesondere Buchen geschwächt werden, wie die in Kapitel 4.3 thematisierte Analyse der WSL gezeigt hat. Aufgrund des Wildverbisses ist gemäss dem Faktenblatt von Dr. Dani Rüegg zudem die Verjüngung des Waldes gefährdet. Dies kann dazu führen, dass die Schutzfunktion des Waldes nicht mehr ausreicht, um wirkungsvoll vor Naturereignissen zu schützen. In diesem Fall wären technische Lösungen an Gefahrenstellen möglich. Ob sich der finanzielle Aufwand für diese

technischen Lösungen aber lohnt ist fraglich und müsste an Orten mit hohem Schadenpotenzial im Einzelfall anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse beurteilt werden.

An den touristischen Hotspots Rigi Kulm, Rigi Kaltbad, Chänzeli und Rigi Scheidegg haben sich gemäss Gefahrenkataster bis anhin nicht sehr viele Naturereignisse ereignet. In diesen Gebieten ist auch die Hangneigung nicht sehr gross und es besteht keine erhöhte Gefahr durch den Oberflächenabfluss wie aus den Abbildungen 3-6 und 3-7 hervorgeht. Dies widerspiegelt sich auch in der Gefahrenhinweiskarte (Abb.3-18), wo diese Gebiete nicht als potenzielle Gefahrenzonen ausgeschieden sind. Aus diesem Grund dürfte hier auch in Zukunft nicht mit allzu grossen Ereignissen gerechnet werden. Einzelereignisse können dennoch nie ausgeschlossen werden. Aufgrund der zunehmenden Sommer- und Hitzetage ist aber damit zu rechnen, dass vermehrt Touristen und Wanderer die Angebote und die Wanderweginfrastruktur der Rigi nutzen werden und sich die Personen über ein grösseres Gebiet verteilen werden. Dies dürfte dazu führen, dass mehr unerfahrene Berggänger unterwegs sind. Hier wird es wichtig sein, die Gefahren, welche von Naturgefahren ausgehen, vermitteln zu können. Auch die Kapazität der Wanderweginfrastruktur ist zu beobachten. Hier wären allenfalls Monitorings von gewissen Wanderwegabschnitten sinnvoll, um an Stellen mit hoher Frequentierung, auch bei nicht akuter Gefahr, Hinweise anzubringen.

5.1 Empfehlungen für Wanderwegverantwortliche

Um Touristen und Wandernde auf die veränderten Naturgefahren aufmerksam zu machen, braucht es genügend Information und Sensibilisierung. Wie Bernard Hinderling vom Dachverband Schweizer Wanderwege am Expertenworkshop vom 2. September 2020 mitgeteilt hat, liegt es an den SWW entsprechende Informationskampagnen zu lancieren. Es ist zu empfehlen, das Thema bereits heute aufzugreifen, um Wandernde schon heute vor Naturgefahren besser zu schützen und auf die Auswirkungen des Klimawandels aufmerksam zu machen.

Die kantonalen Fachstellen müssen die Kontrollen der Wanderwege über einen längeren Zeitraum im Jahr planen. Insbesondere nach Starkregenereignissen sind Kontrollen und allenfalls Unterhaltsarbeiten wichtig. Um auch in Zukunft genügend finanzielle Mittel für die Unterhaltsarbeiten zur Verfügung zu haben sind Leistungsvereinbarungen mit den Kantonen vorausschauend zu planen.

Freiwillige Mitarbeiter sind für das Wanderwegwesen sehr bedeutend. Sie leisten einen grossen Beitrag zum Erhalt der Wege. Ein motiviertes Team mit guten Ortskenntnissen ist wertvoll und sollte daher frühzeitig durch Schulungen aufgebaut werden.

Es ist zu empfehlen, dass sich Wanderwegverantwortliche mit dem Kanton und den diversen Waldbesitzern wie der Unterallmeind-Korporation Arth zusammenschliessen, um ein Konzept zur Aufrechterhaltung des Schutzwaldes auszuarbeiten. Wie sich gezeigt hat, bietet dieser den besten

Schutz gegen die Naturgefahren, die an der Rigi bis 2040 die grösste Relevanz haben werden. Ein Informationsaustausch mit den Projektträgern des Projektes D.03 «Klimaangepasste Baumarten im Schutzwald» könnte wichtige Inputs liefern, um auch im Gebiet Rigi auf die Veränderungen des Waldes vorbereitet zu sein.

Es ist zu empfehlen, auf gewissen Wegabschnitten, insbesondere auf Wegabschnitten um die grössten touristischen Hotspots, ein Monitoringsystem einzuführen, um herauszufinden, wie stark gewisse Wege frequentiert werden und wie sich die Frequentierung verändert. Sollte die Kapazität gewisser Wanderwegabschnitte an ihre Grenzen stossen, wäre ein gezieltes Lenkungssystem über mehrere Wanderwege sinnvoll, um die Besucher und Wanderer besser zu verteilen oder an Orte mit einem geringeren Gefahrenpotenzial zu lenken.

Von zentraler Bedeutung wird auch künftig die gute Kommunikation zwischen den Akteuren sein. Der Informationsaustausch zwischen den Akteuren an der Rigi verläuft reibungslos. Es ist aber wichtig, diesen aufrechtzuerhalten und auch an nächste Generationen weiterzugeben. So kann sichergestellt werden, dass die Schweizerinnen und Schweizer auch im Jahr 2040 sicher ihrem Lieblingssport nachgehen können.

6. Literaturverzeichnis

Aktivitäten auf der Rigi. (o. J.). Zugriff am 18.11.2020. Verfügbar unter:

<https://www.rigi.ch/erleben/aktivitaeten/>

Bast, A., Ortner, G. & Bründl, M. (2020). *Sicher Wandern 2040. Eine Literatursynthese*. Literatursynthese. (S. 51). Davos Dorf: WSL - Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF.

BFS. (2018). *Forstwirtschaft der Schweiz. Taschenstatistik 2018*. Nr. 829–1800. (S. 7). Neuchâtel: Bundesamt für Statistik.

Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW & Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. (1997). *Naturgefahren. Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Empfehlungen*. (S. 42). Bern.

Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege. (2013). *Signalisation Wanderwege. Handbuch*. (S. 68). Bundesamt für Strassen ASTRA.

Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege. (2017). *Gefahrenprävention und Verantwortlichkeit auf Wanderwegen. Leitfaden*. (S. 100). Bundesamt für Strassen ASTRA.

Bundesamt für Umwelt. (2015). Was sagen Gefahrenkarten aus?. (Mai 2015)

Bundesamt für Umwelt. (2019a). Anpassung an den Klimawandel. Pilotprogramm, Phase II. (29. Oktober 2019)

Bundesamt für Umwelt. (2019b). *Jahrbuch Wald und Holz 2019*. Nr. Umwelt-Zustand Nr. 1914. (S. 106). Bern.

Bundesamt für Umwelt. (o. J.-a). Anpassung an den Klimawandel. Zugriff am 25.12.2020. Verfügbar unter:

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/anpassung-an-den-klimawandel.html>

Bundesamt für Umwelt. (o. J.-b). Gefahrenkarten, Intensitätskarten und Gefahrenhinweiskarten. Zugriff am 18.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-naturgefahren/naturgefahren--fachinformationen/naturgefahrensituation-und->

raumnutzung/gefahrengrundlagen/gefahrenkarten--intensitaetskarten-und-gefahrenhinweiskarten.html

Bundesamt für Umwelt, MeteoSchweiz & NCCS. (2020). *Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 2013.* (S. 105). Bern.

Bundesamt für Umwelt, Schweizerischer Versicherungsverband & Vereinigung Kantonaler Gebäudeversicherungen. (2018). *Gefährdungskarte Oberflächenabfluss Schweiz. Zusammenfassung.* Nr. R261-2495. (S. 6).

Bundesgesetz über den Wald. (1. Januar 1993). 921.0.

Bundesgesetz über Fuss- und Wanderwege (FWG). (1. Januar 1987). 704.

GeoRisk AG. (2019). *Geologische Beurteilung und Vorstudie. Wanderweg Rigi Scheidegg.* (S. 74). Stans. *Gesetz über die öffentlichen Wege mit privater Unterhaltspflicht.* (26. Januar 1958). 443.110.

Gnägi, C. & Labhart, T. P. (2017). *Geologie der Schweiz* (10. Auflage). Bern: ott-verlag.

Goldauer Bergsturz von 1806. (o. J.). *Die Internetseite zum Goldauer Bergsturz von 1806.* Zugriff am 21.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.goldauerbergsturz.ch/index.html>

Graf, F., te Kamp, L., Auer, M., Acharya, M. S. & Wu, W. (2015). Soil Aggregate Stability in Eco-engineering: Comparison of Field and Laboratory Data with an Outlook on a New Modelling Approach (Springer Series in Geomechanics and Geoengineering). In W. Wu (Hrsg.), *Recent Advances in Modeling Landslides and Debris Flows* (S. 29–47). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11053-0_4

Hantke, R. & Kuriger, E. (2003). Geologie und Geotope im Kanton Schwyz, *Berichte der Schwyzerischen Naturforschenden Gesellschaft*(Vierzehntes Heft), 130.

IPCC DDC Glossary. (o. J.). Zugriff am 9.10.2020. Verfügbar unter: https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html

Jäckli, H. & Kempf, T. (1972). Hydrogeologische Karte der Schweiz 1:100'000. Blatt Bözberg-Beromünster.

Kanton Schwyz. (o. J.). Naturgefahrenkarten. Zugriff am 18.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.sz.ch/behoerden/umwelt-natur-landschaft/naturgefahren/naturgefahrenkarten.html/72-416-397-395-4063>

Kantonales Fuss- und Wanderweggesetz (KFWG). (18. Mai 2004). 443.210.

Karte SchweizMobil. (o. J.). Zugriff am 28.7.2020. Verfügbar unter:

<https://map.schweizmobil.ch/?lang=de&photos=yes&logo=yes&season=summer&resolution=19.19&E=2680915&N=1209503&bgLayer=pk&layers=Wanderwegnetz>

Law, M. & Collins, A. (2019). *Getting to Know ArcGIS Pro* (Second Edition.). Redlands, California: Esri Press.

Luzerner Zeitung. (o. J.). Strasse Gersau - Brunnen bleibt eine Woche zu. *Luzerner Zeitung*. Zugriff am

5.1.2021. Verfügbar unter: <https://www.luzernerzeitung.ch/zentralschweiz/schwyz/strasse-gersau-brunnen-bleibt-eine-woche-zu-ld.1142595>

Mani, P. & Caduff, U. (2015). *Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 2: Resultate*. (S. 89). Bern: geo7 AG.

MeteoSchweiz. (2014). *Klimaszenarien Schweiz - Eine regionale Übersicht*. (S. 36).

MeteoSchweiz. (2020a). Klimanormwerte Pilatus. Normperiode 1981-2010. (20. Mai 2020)

MeteoSchweiz. (2020b). Klimanormwerte Engelberg. Normperiode 1981-2010. (19. Mai 2020)

Mittelfristige Auswirkungen der Trockenheit 2018 auf Buchen-Einzelbäume - WSL. (o. J.). Zugriff am

3.9.2020. Verfügbar unter: <https://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/programme-und-initiativen/wsl-initiative-trockenheit-2018/e3-mittelfristige-auswirkungen-buche.html>

NCCS, N. C. for C. S. (2018). Alpen. (6. November 2018). Zugriff am 8.12.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen.html>

NCCS, N. C. for C. S. (2019). D.03 Klimaangepasste Baumarten im Schutzwald. (25. Juli 2019). Zugriff am

4.9.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/massnahmen/pak/projektephase2/pilotprojekte-zur-anpassung-an-den-klimawandel--cluster--klimaan/d-03-klimaangepasste-baumarten-im-schutzwald.html>

NCCS, N. C. for C. S. (o. J.-a). F.11 Sicher wandern 2040. Zugriff am 29.8.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/massnahmen/pak/projektephase2/pilotprojekte-zur-anpassung-an-den-klimawandel--cluster-Sensibilisierung/f-11-sicher-wandern-2040.html>

NCCS, N. C. for C. S. (o. J.-b). Klimaszenarien verstehen. Zugriff am 1.9.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-klimaszenarien/klimaszenarien-verstehen.html>

NCCS, N. C. for C. S. (o. J.-c). Klimaszenarien CH2018 Alpen. Zugriff am 1.9.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/regionen/grossregionen/alpen/klimaszenarien-ch2018-alpen.html>

NCCS, N. C. for C. S. (o. J.-d). CH2018-Webatlas. Zugriff am 3.9.2020. Verfügbar unter:

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>

Plattform Naturgefahren PLANAT. (o. J.-a). Informationsplattform zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz [Entstehung S / F]. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter:

<http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/steinschlag-felssturz/entstehung-s-f/>

Plattform Naturgefahren PLANAT. (o. J.-b). Informationsplattform zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz [Bergsturz]. Zugriff am 18.9.2020. Verfügbar unter:

<http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/bergsturz/>

Plattform Naturgefahren PLANAT. (o. J.-c). Informationsplattform zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz [Hangmure]. Zugriff am 17.9.2020. Verfügbar unter:

<http://www.planat.ch/de/wissen/rutschung-und-felssturz/hangmure/>

Plattform Naturgefahren PLANAT. (o. J.-d). Informationsplattform zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz [Lawinen]. Zugriff am 10.10.2020. Verfügbar unter:

<http://www.planat.ch/de/wissen/lawinen/>

Plattform Naturgefahren PLANAT. (o. J.-e). Informationsplattform zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz [Massnahmen MG]. Zugriff am 9.12.2020. Verfügbar unter: <http://www.planat.ch/?id=184>

Polar Electro. (o. J.). Polar Flow. Zugriff am 19.11.2020. Verfügbar unter: <https://flow.polar.com/>

Pro Rigi – Geologie. (o. J.). Zugriff am 29.8.2020. Verfügbar unter:

http://www.prorigi.ch/?Der_Berg:Geologie

Pro Rigi – Vereinigung Pro Rigi. (o. J.). Zugriff am 27.6.2020. Verfügbar unter: <http://www.prorigi.ch/>

Pro Rigi – Wald. (o. J.). Zugriff am 31.8.2020. Verfügbar unter: http://www.prorigi.ch/?Der_Berg:Wald

Rickli, C. (2019). Rutschungen und Murgänge. (7. Oktober 2019). Gehalten auf der Vorlesung im Modul Naturgefahren und Schutzwald, Maienfeld.

Rickli, C., Graf, F., Bebi, P., Bast, A., Loup, B. & McArdell, B. (2019). Schützt der Wald vor Rutschungen? Hinweise aus der WSL-Rutschungsdatenbank. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 170(6), 310–317. <https://doi.org/10.3188/szf.2019.0310>

Rigi Bahnen AG. (2020). *Geschäftsbericht 2019*. (S. 52). Vitznau: Rigi Bahnen AG.

Rüegg, D. (2020). *Verjüngungskontrolle im Kanton Schwyz. Faktenblatt 2020*. (S. 2). Kaltbrunn: ETH.

Schweizer Bundesrat (Hrsg.). (2018). *Umwelt Schweiz 2018. Bericht des Bundesrates*. (S. 202). Bern.

Schweizer Wanderwege | Ziele. (o. J.). Zugriff am 10.12.2020. Verfügbar unter:

<https://www.wandern.ch/de/Ueber-uns/ziele->

Schwyz Wanderwege | Verein. (o. J.). Zugriff am 18.11.2020. Verfügbar unter: <https://www.schwyz-wanderwege.ch/de/verein>

Studer, R. & Zeh, H. (2014). *Soil Bioengineering. Construction Type Manual*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

Swiss Geoportal. (o. J.). *geo.admin.ch*. Zugriff am 14.2.2020. Verfügbar unter: <https://map.geo.admin.ch>

UAK - Unterallmeind-Korporation Arth. (o. J.). Nutzung. *UAK - Unterallmeind-Korporation Arth*. Zugriff am 3.1.2021. Verfügbar unter: <http://www.uak.ch/wald/nutzung/>

Wandern auf der Rigi. (o. J.). Zugriff am 18.11.2020. Verfügbar unter:

<https://www.rigi.ch/erleben/aktivitaeten/wandern>

Personenverzeichnis

Appert Hans Ruedi, Ortsleiter Gemeinde Arth, Schwyzer Wanderwege
appert@gmx.ch

Betschart Pius, Geschäftsführer, Unterallmeind-Korporation Arth
pius.betschart@uak.ch

Fischer Andreas, Leiter Klimaszenarien, MeteoSchweiz
andreas.fischer@meteoswiss.ch

Gwerder Stefan, Leiter Geschäftsstelle, Schwyzer Wanderwege
stefan.gwerder@schwyzer-wanderwege.ch

Kleppek Sabine, Projektleiterin, Bundesamt für Umwelt
sabine.kleppek@bafu.admin.ch

Köchli Maurus, Leiter Kantonale Fachstelle, Fachbereich Langsamverkehr, Amt für Wald- und Naturgefahren Kanton Schwyz
maurus.koechli@sz.ch

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 2

Abb. 2-1: Besichtigungstour vom 5. September 2020 von Rigi Kulm über «Chänzeli», Rigi Kaltbad und Felsenweg nach Hinterbergen. Aufzeichnung mit PolarFlow App (Polar Electro, o. J.)	10
Abb. 2-2: Besichtigungstour vom 17. September 2020 von Rigi Scheidegg zur Felswand «Elend» und nach Ochsenchneu. Aufzeichnung mit PolarFlow App (Polar Electro, o. J.)	11

Kapitel 3

Abb. 3-1: Standort der Rigi in der Zentralschweiz 1:1'500'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)	15
Abb. 3-2: Standort der Rigi zwischen Zuger-, Vierwaldstätter- und Lauerzersee 1:200'000 („Swiss Geoportal“, o. J.).....	15
Abb. 3-3: Gesamtgebiet der Rigi mit dem Wanderwegnetz. Markiert sind die drei wichtigen Erhebungen Rigi Kulm (1797 m.ü.M.), Rigi Scheidegg (1658 m.ü.M.) und Rigi Hochflue (1698 m.ü.M.). 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.).....	16
Abb. 3-4: Geologische Einheiten des Kantons Schwyz. Der gelbe Bereich ist die subalpine Molasse, welche sich zu Nagelfluh verfestigt hat. Der orange Bereich zeigt das zu Sackungen und Rutschungen neigende Flyschgebiet. Der grüne Teil im Gebiet Gersau und Hochflue gehört zur Axendecke des Helvetikums. (Hantke & Kuriger, 2003, S. 11)	17
Abb. 3-5: Hydrogeologie der Rigi (Blatt Bözberg-Beromünster) 1:100'000. Der orange Bereich zeigt das Nagelfluhgebiet, welches eine mittlere bis geringe Durchlässigkeit hat. Der blaue Teil besteht aus Lockergesteinen, welche eine hohe Durchlässigkeit aufweisen. („Swiss Geoportal“, o. J.)	18
Abb. 3-6: Gefährdung durch den Oberflächenabfluss im Gebiet Rigi 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)	18
Abb. 3-7: Hangneigungen in Grad im Gebiet Rigi 1:50'000 („Swiss Geoportal“, o. J.)	19
Abb. 3-8: Wanderwegnetz der Region Rigi/SZ. Auswertung aus ArcGIS Pro. Gelb = Wanderwege, rot = Bergwanderwege, blau=Alpinwanderwege	22
Abb. 3-9: Biogeografische Grossregion Alpen (beige). Zu der Grossregion Alpen gehören das Wallis, die Zentral- und Ostalpen sowie weite Teile des Kantons Graubünden. (NCCS, 2018)	25
Abb. 3-10: Erwartete Abweichungen der mittleren Temperaturen in den Alpen im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-c).....	27
Abb. 3-11: Erwartete Abweichungen des Niederschlags in den Alpen im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-c).....	28
Abb. 3-12: Erwartete Anzahl Sommertage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)	29
Abb. 3-13: Erwartete Anzahl Hitzetage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)	30
Abb. 3-14: Erwartete Anzahl Tropennächte in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)	30
Abb. 3-15: Erwartete Anzahl Frosttage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)	31
Abb. 3-16: Erwartete Anzahl Neuschneetage in den Alpen im Jahr 2035 im Vergleich zur Normperiode 1981-2010 (NCCS, o. J.-d)	32
Abb. 3-17: Gefahrenstufen als Ergebnis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit (in Jahren) (Bundesamt für Umwelt, 2015).....	35
Abb. 3-18: Gefahrenkarte und Gefahrenhinweiskarte des Kantons Schwyz für das Gebiet Rigi/SZ. Rot=hohe Gefahr, blau=mittlere Gefahr, gelb=geringe Gefahr, braun= potenziell gefährdetes Gebiet ausserhalb des Siedlungsbereiches. (Kanton Schwyz, o. J.)	36

Kapitel 4

Abb. 4-1: Räumliche Verteilung der Ereignisse nach Naturgefahr von 1990-2018.....	39
Abb. 4-2: Dichte der Naturereignisse 1990-2018. Auswertung mit «Kernel Density» in ArcGIS Pro. Flächeneinheit in km ²	39
Abb. 4-3: Dichte der Wanderwege. Auswertung mit «Kernel Density» in ArcGIS Pro. Flächeneinheit in km ²	40
Abb. 4-4: Veränderung der Frequenz und Magnitude für Steinschlag und Felssturz (Bast et al., 2020).....	41
Abb. 4-5: Legende zu Abb. 4-4. Die Legenden für die Sensitivitätsanalysen sind einheitlich von -100 (abnehmend) - +200 (stark zunehmend) skaliert.....	41
Abb. 4-6: Nagelfluhblock mit Spalt kurz nach Rigi Kulm auf dem nordöstlichen Weg Richtung Kulmalp. (Foto: R.Corrodi).....	42
Abb. 4-7: Wanderweg beim Fallenbach zwischen Gersau und Brunnen vor dem Steinschlagereignis (Foto: R.Corrodi).....	43
Abb. 4-8: Wanderweg nach der Zerstörung durch den Steinschlag am 11. August 2019 (Luzerner Zeitung, o. J.).....	43
Abb. 4-9: Marode Blocksteinmauer an der Felswand «Elend» (Foto: R.Corrodi)	44
Abb. 4-10: Bäume an der Oberkante der Felswand, deren Wurzeln den Untergrund destabilisieren (Foto: R.Corrodi).....	44
Abb. 4-11: Steinschlagwarntafel kurz vor der Felswand "Elend" (Foto: R.Corrodi)	45
Abb. 4-12: Beispiel für einen Hinweis einer Wanderwegsperrung aufgrund von Steinschlaggefahr („Karte SchweizMobil“, o. J.).....	45
Abb. 4-13: Veränderung der Frequenz von Murgängen und Wildbachprozessen aufgeteilt in kleine, grosse und sehr grosse Ereignisse (Bast et al., 2020, S. 25)	46
Abb. 4-14: Bachbett mit viel Geschiebematerial (Foto: R.Corrodi).....	47
Abb. 4-15: Bachbett mit viel Geschiebematerial direkt oberhalb des Wanderweges (Foto: R.Corrodi)	47
Abb. 4-16: Bachbett mit Geschiebematerial und unterspülten Baumstrünken (Foto: R. Corrodi).....	48
Abb. 4-17: Wanderweg mit Murgangpotenzial oberhalb Ochsenchneu (Foto: R.Corrodi).....	48
Abb. 4-18: Querabschlag zur Ableitung des Wassers in den Wald. Ausgehoben von Hans Ruedi Appert (Foto: R.Corrodi).....	48
Abb. 4-19: Funktionsfähiger Querabschlag unterhalb Rigi Scheidegg (Foto: R.Corrodi)	49
Abb. 4-20: Sanierungsbedürftiger Querabschlag oberhalb Ochsenchneu) (Foto: R.Corrodi).....	50
Abb. 4-21: Rutschung direkt oberhalb eines Wanderweges. Aufnahme wurde zwischen Felsenweg und Unterstetten gemacht. (Foto: R.Corrodi)	51
Abb. 4-22: Veränderung der Frequenz von Hangmuren an steilen Hängen (Bast et al., 2020, S. 23)	51
Abb. 4-23: Verbissintensität verschiedener Baumarten von 2009 - 2020 im Kanton Schwyz inklusiv der Grenzwerte, die für eine ausreichende Verjüngung unterschritten werden müssten. (Rüegg, 2020).....	54

Tabellenverzeichnis

Kapitel 3

Tab. 3-1: Beschreibung der Wanderwegkategorien nach SN 640 829a gemäss Handbuch Signalisation Wanderwege (gekürzt) (Bundesamt für Strassen ASTRA, Schweizer Wanderwege, 2013, S. 9)	21
--	----

Kapitel 4

Tab. 4-1: Anzahl Ereignisse pro Naturgefahr gemäss Naturgefahrenkataster. Eigene Auswertung in ArcGIS Pro.	37
Tab. 4-2: Anzahl Ereignisse pro Naturgefahr von 1990 – 2018 gemäss Naturereigniskataster. Eigene Auswertung in ArcGIS Pro	38

Anhangverzeichnis

Anhang 1: Erklärung betreffend des selbständigen Verfassens der Bachelorarbeit

Anhang 2: Teilnehmerliste des Expertenworkshops vom 2. September 2020

Anhang 3: Einladung zum Expertenworkshop vom 2. September 2020

Anhang 1

Erklärung betreffend des selbständigen Verfassens der Bachelorarbeit im Departement Life Sciences and Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichere ich, Rebecca Corrodi, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe.

Alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang wurden korrekt ausgewiesen und im Literaturverzeichnis vermerkt. Die Bachelorarbeit enthält somit keine Plagiate, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum

Unterschrift

Steinmaur, 13.1.2021
.....



.....

Anhang 2

Sicher Wandern 2040

Phase II 2020

Regionale Workshops

Name	Vorname	Institution	Funktion
Gwerder	Stefan	Schwyzter Wanderwege (SZWW)	Geschäftsführer
Truttmann	Marcel	Schwyzter Wanderwege (SZWW)	Vorstand
Appert	Hans Ruedi	Schwyzter Wanderwege (SZWW)	Ortsleiter Goldau
Schmid	Christoph	Gemeinde Arth	Leiter Abt. Infrastruktur-Umwelt-Sicherheit
Camenzind	Franz	Schwyzter Wanderwege (SZWW)	Ortsleiter Gersau
Lehmann	Andreas	Luzerner Wanderwege	Geschäftsführer
Waldis	Josef	Luzerner Wanderwege	Bezirksleiter Rigi Südseite
Betschart	Pius	Unterallmeindkorporation (UAK)	Geschäftsführer
Baggenstos	Rita	Rigiplus AG	Verkauf, Marketing
Geiger	Werner	Kurverein Rigi	Präsident
Marty	Peter	ZHAW, Regionalentwicklung	Leiter
Hinderling	Bernard	Schweizer Wanderwege	
Corrodi	Rebecca	ZHAW, SBui17	Bachelorarbeit
Kleppek	Sabine	BAFU	

SW2040_Phase2 - Teilnehmende regionale Workshops v2020-08-31.xlsx/SZ/04.01.2021/1

Anhang 3

Sicher Wandern 2040: Hintergrundpapier zum Workshop vom 2. September im Rigi Kulm-Hotel



Marty Peter (marp) <marp@zhaw.ch>

↩ Antworten
↩ Allen antworten
→ Weiterleiten
⋮
An appert@gmx.ch; christoph.schmid@arth.ch; franz-camenzind@bluewin.ch; andreas.lehmann@luzerner-wanderwege.ch; jwaldis@bluewin.ch; pius.betschart@uak.ch; jeanine.zuest@rigi.ch; rita.baggenstos@rigi.ch; wgeiger@widevision.ch

Fr, 28.08.2020 13:47

Cc [Stefan Gwerder \(stefan.gwerder@schwyzer-wanderwege.ch\)](mailto:stefan.gwerder@schwyzer-wanderwege.ch); Truttmann Marcel; Bernard Hinderling; Corrodi Rebecca (corroreb); [Sabine Kleppek \(sabine.kleppek@bafu.admin.ch\)](mailto:Sabine Kleppek (sabine.kleppek@bafu.admin.ch)); Hunziker Rebecca (hunc)

Sehr geehrte Damen und Herren

Wir freuen uns auf den gemeinsamen Transfer- und Adaptionstworkshop Rigi im Rahmen des Klimaanpassungsprojekts «Sicher Wandern 2040» am 2. September im Rigi Kulm-Hotel.

1. Gerne senden wir Ihnen im Vorfeld ein **Hintergrundpapier mit einem groben Überblick der Themen**, die kommenden Mittwoch in der einen oder anderen Form zur Sprache kommen können. Es ist nicht Absicht, dass Sie das Papier vorgängig detailliert durchgehen. Wesentlich wird das Zusammentragen Ihrer ExpertInnensicht am Workshop sein.
2. Für eine **kurze Vorstellungsrunde** am Morgen bitte ich Sie jedoch, sich zu überlegen, welche Herausforderung Sie für das Wanderwegwesen der Zukunft an der Rigi sehen, und wo Sie sich z.B. durch das Projekt «Sicher Wandern 2040» Unterstützung erhoffen würden (bezüglich Planung, Bau, Unterhalt, Kommunikation, Sensibilisierung, Zusammenarbeit etc.).

Freundliche Grüsse und ein gutes Wochenende!

Peter Marty (für die Projekträgerschaft)

Peter Marty, Dipl. Kulturingenieur ETH
 Leiter Forschungsgruppe Regionalentwicklung, Dozent
 Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
 ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
 Departement Life Sciences und Facility Management
 Grüental, Postfach, CH-8820 Wädenswil

Fon direkt: +41 58 934 59 42
 Fax: +41 58 934 59 11
 Email: peter.marty@zhaw.ch
 Web: www.zhaw.ch/iunr/regionalentwicklung

Skype: m.pe02g
 LinkedIn: ch.linkedin.com/pub/peter-marty/28/778/3b4