



Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Klimasensitivität Naturgefahren

Teil 2: Resultate

Impressum

Auftraggeber:	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Gefahrenprävention, 3000 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
Auftragnehmer:	geo7 AG, geowissenschaftliches Büro Neufeldstrasse 5 - 9, 3012 Bern
Autoren:	Peter Mani, dipl. Geograf Ursin Caduff, M.Sc. Geograf
Begleitung BAFU:	Stéphane Losey
Hinweis:	Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Änderungskontrolle

Version	Datum	Name / Stelle	Bemerkungen
0.1	04.03.2014	Peter Mani	Erstellt
1.0	18.03.2015	Peter Mani	Definitiv

Anmerkungen zum Dokument

Erstellt mit	Microsoft Office Word, Version 2010
Dateiname	\\srvbiblio\all\projekte\2013\3140_siprocc4\bericht\be02map_b, resultate phase 4.docx
Dateigrösse	41311 KBytes

Inhaltsverzeichnis

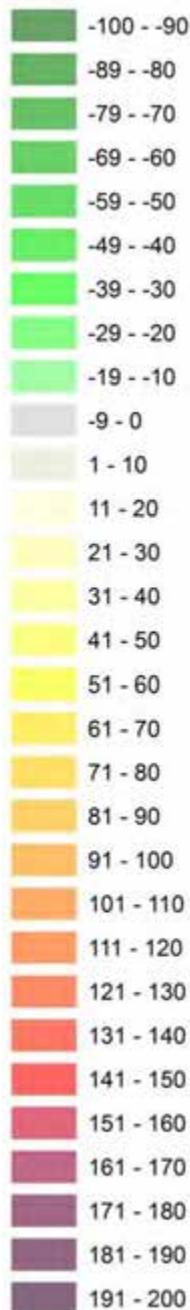
1	Einleitung	1
2	Steinschlag	2
2.1	Erläuterung	2
2.2	Zwischenresultate	4
2.3	Aggregierte Resultate.....	10
3	Felssturz	12
3.1	Erläuterung	12
3.2	Zwischenresultate	13
3.3	Aggregierte Resultate.....	21
4	Trockenschneelawinen	23
4.1	Erläuterung	23
4.2	Zwischenresultate	24
4.3	Aggregierte Resultate.....	27
5	Nassschneelawinen	29
5.1	Erläuterung	29
5.2	Zwischenresultate	30
5.3	Aggregierte Resultate.....	32
6	Hangmuren aus steileren Hängen	34
6.1	Erläuterung	34
6.2	Zwischenresultate	35
6.3	Aggregierte Resultate.....	36
7	Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden.....	37
7.1	Erläuterung	37
7.2	Zwischenresultate	38
7.3	Aggregierte Resultate.....	42
8	Wildbach	44
8.1	Erläuterung	44
8.2	Zwischenresultate	47
8.3	Aggregierte Resultate.....	61
9	Wildflüsse.....	64

9.1	Erläuterung	64
9.2	Zwischenresultate	66
9.3	Aggregierte Resultate.....	75
10	Flüsse	78
10.1	Erläuterung	78
10.2	Aggregierte Resultate.....	79
11	Beurteilung der Resultate	80
12	Literaturverzeichnis.....	85

1 Einleitung

Im vorliegenden Bericht sind die Schlussresultate der Sensitivitätsanalyse Klimawandel Naturgefahren zusammengestellt und kurz erläutert. Die Herleitung der Klimasensitivität und die Methoden, die den Resultaten zugrunde liegen, sind im Methodenbericht (geo7, 2015a) und im GIS-Handbuch (geo7, 2015b) beschrieben.

Für alle Sensitivitätskarten gilt eine einheitliche Legende, die von -100 (Sensitivität abnehmend) bis + 200 (Sensitivität stark zunehmend) reicht.



Für die Dokumentation von weiteren Daten werden individuelle Legenden verwendet, die an den entsprechenden Stellen wiedergegeben werden.

2 Steinschlag

2.1 Erläuterung

Die höheren Temperaturen führen im mittleren Szenario im Mittelland, im Jura, in den Tälern der Südschweiz und bis in mittlere Lagen in den Voralpen und Alpen zu einer deutlichen Abnahme der Anzahl Frostwechseltage. Nur in den Gipfelbereichen der Hochalpen kommt es zu einer Zunahme. Dies wirkt sich auf die Frostwechselverwitterung und damit auf die Materialverfügbarkeit aus. Im mittleren Szenario nimmt die Materialverfügbarkeit wegen der Abnahme der Frostwechsel in tieferen bis mittleren Lagen ab (Karte 1). In erhöhten Lagen bleibt sie unverändert. Nur in den höchstgelegenen Gebieten kommt es zu einer Zunahme.

Im Extremszenario zeigt sich ein vergleichbares Bild. Hauptunterschied ist, dass in den hohen Lagen die Anzahl der Frostwechseltage deutlich stärker zunimmt als im mittleren Szenario. Dies wirkt sich auch auf die Materialverfügbarkeit aus. In den Gipfellagen der Hochalpen, insbesondere im Wallis, erreichen grössere Gebiete die Stufe „stark zunehmend“ (Karte 2). Ausserdem ist in grösseren Teilen der Voralpen und in der Südschweiz wegen dem Rückgang der Frostwechseltage mit einer Abnahme der Materialverfügbarkeit zu rechnen.

Die Veränderungen der Materialverfügbarkeit infolge Permafrostdegradation beschränkt sich naturgemäss auf die hochalpinen Gebiete, wobei im mittleren Szenario in den Berner-, Walliser und Bündneralpen in den obersten Gipfelbereichen noch keine wesentliche Veränderung zu erwarten ist (Karte 3). Im Extremszenario reicht die Degradation bis in die höchsten Gipfelregionen, mit entsprechenden Auswirkungen auf die Materialverfügbarkeit (Karte 4). Eine zusätzliche Differenzierung ergibt sich aufgrund der Geologie und der Exposition.

Die Kombination der Materialverfügbarkeit infolge Frostwechsel und infolge Permafrostdegradation zeigt, dass mit Ausnahme der hochalpinen Gebiete die Materialverfügbarkeit zurückgehen wird oder unverändert bleibt (Karte 5). Die Zunahme fällt im Extremszenario deutlich stärker aus (Karte 6) als im mittleren Szenario.

Beim Wasserzufluss ist im mittleren Szenario in den tieferen Lagen des Mittellandes eine Abnahme zu erwarten (Karte 7), da Schneeschmelzereignisse seltener werden und bei den Starkniederschlägen keine wesentliche Veränderung erwartet wird. In mittleren Lagen bleibt die Situation unverändert. In den höheren Lagen der Voralpen und in den Alpen nimmt der Wasserzufluss zu, dies insbesondere aufgrund der verstärkten Schneeschmelze im Winter und im Frühling.

Im Extremszenario unterscheidet sich der Wasserzufluss deutlich vom mittleren Szenario (Karte 8). Die Zunahme der Starkniederschläge führt in allen Höhenlagen zu einer Zunahme des Wasserzuflusses. Zusätzlich bewirkt die verstärkte Schneeschmelze in höheren Lagen eine weitere Zunahme des Wasserangebotes.

Die nicht aggregierten Resultate für Frequenz und Magnitude (Karte 9 bis Karte 12) zeigen die Sensitivität für das mittlere Szenario und das Extremszenario ohne Berücksichtigung der Anzahl Sturzquellen. Für das mittlere Szenario resultiert für beide Parameter im Jura, im Mittelland sowie in den Tälern der Voralpen und Alpen sowie der Südschweiz eine Abnahme, dies aufgrund der abnehmenden Materialverfügbarkeit. Bei der Frequenz führen die Zunahme der Materialverfügbarkeit und des Wasserzuflusses in den Alpen zu einer Zunahme, teilweise auch zu einer starken Zunahme. Bei der Magnitude ist dies weniger ausgeprägt, da durch die häufigeren Ereignisse sich weniger Material ansammeln kann. Im Extremszenario weisen in den Alpen wesentlich grössere Gebiete eine starke Zunahme auf, dies vor allem wegen der starken Zunahme des Wasserzuflusses, aber auch wegen der deutlich grösseren Materialverfügbarkeit. Bei der Magnitude ist die Zunahme wegen der Zunahme der Frequenz wie beim mittleren Szenario beschränkt.

Bei den aggregierten Resultaten wird die Häufigkeit von Sturzquellen mitberücksichtigt. Dadurch weisen viele Gebiete in beiden Szenarien keine Veränderung auf, da in diesen Gebieten nur eine geringe Anzahl Sturzquellen existiert. Deutliche Veränderungen ergeben sich vor allem in den Alpen und Voralpen sowie in der Südschweiz. Beim mittleren Szenario ist in den Alpen eine Zunahme der Frequenz zu verzeichnen, in den Voralpen und in der Südschweiz eine Abnahme. Beim Extremszenario weisen grössere Gebiete in den Alpen eine starke Zunahme auf, in den Voralpen und der Südschweiz jedoch eine Abnahme. Bei der Magnitude zeigen nur wenige Gebiete eine Zunahme. Dies gilt für beide Szenarien. In den Voralpen und der Südschweiz resultiert jedoch für grössere Gebiete eine Abnahme. Im Extremszenario betrifft dies teilweise auch tiefergelegene Gebiete in den Alpen.

2.2 Zwischenresultate

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Frostwechsel
mittleres Szenario



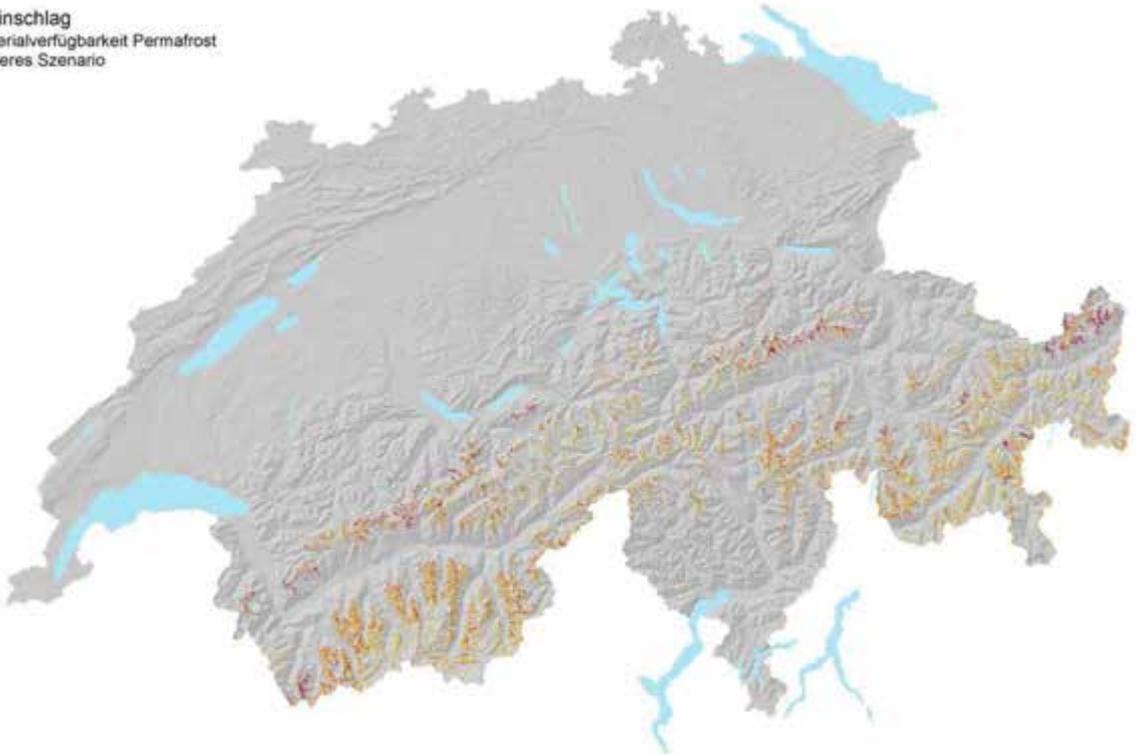
Karte 1

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Frostwechsel
Extrem Szenario



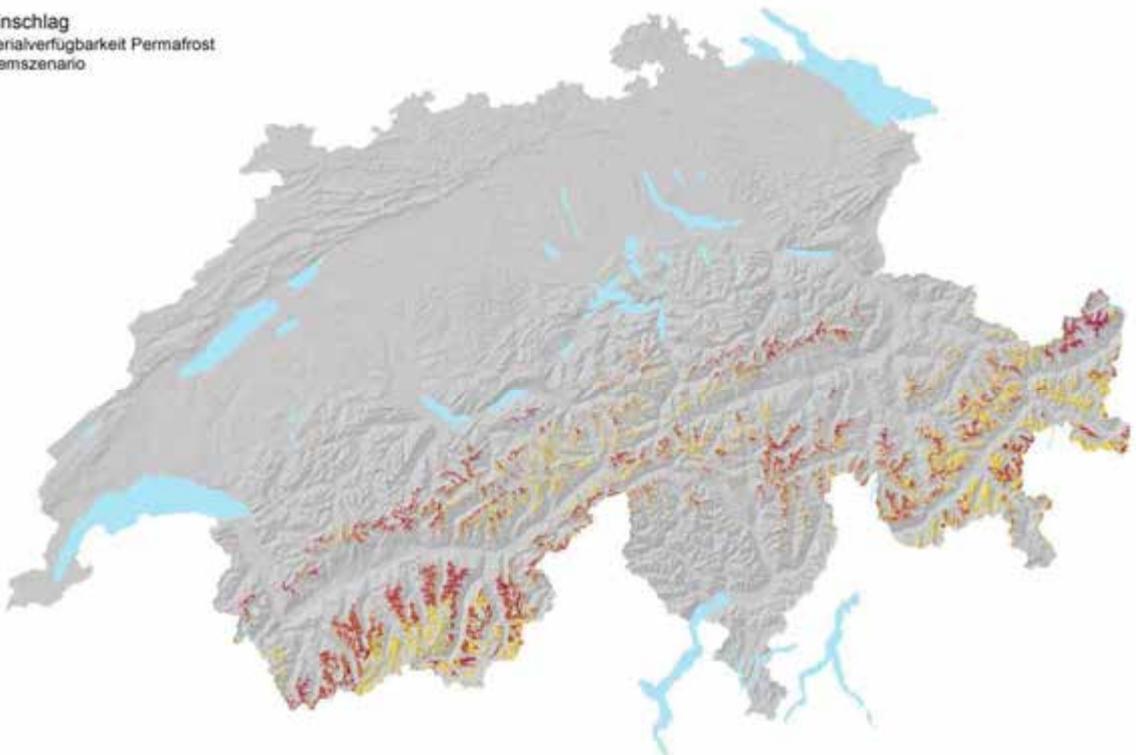
Karte 2

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Permafrost
mittleres Szenario



Karte 3

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Permafrost
Extremszenario



Karte 4

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Total
mittleres Szenario



Karte 5

Steinschlag
Materialverfügbarkeit Total
Extremszenario



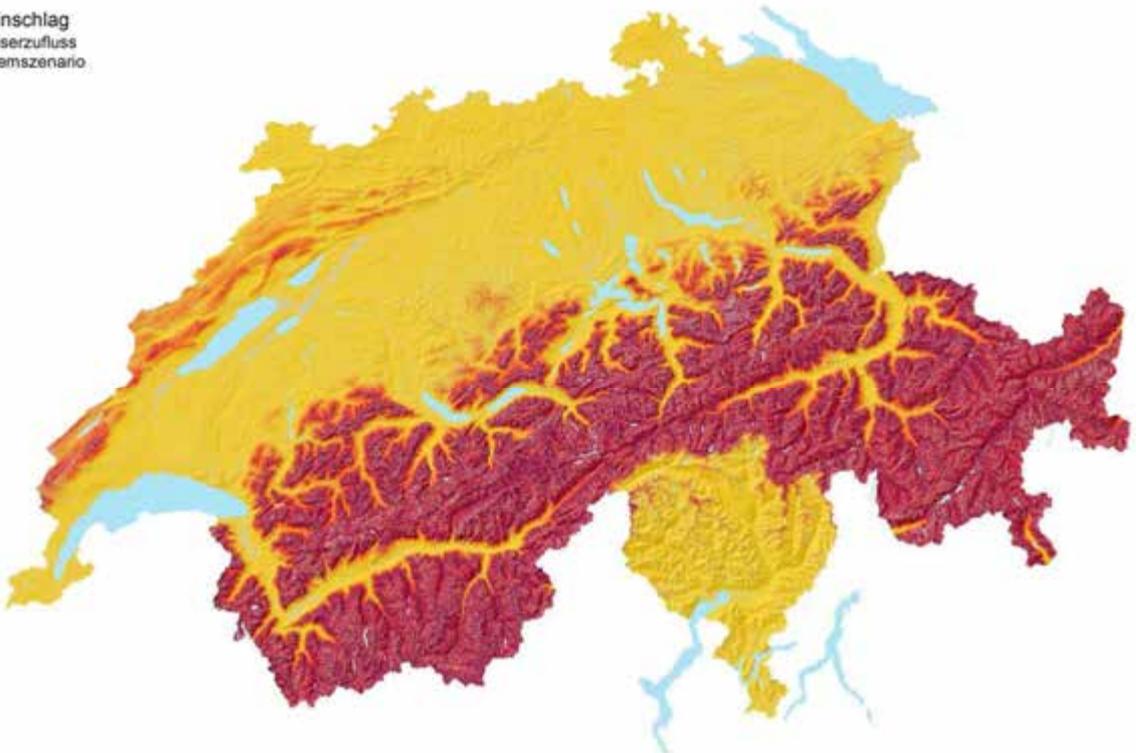
Karte 6

Steinschlag
Wasserzufluss
mittleres Szenario



Karte 7

Steinschlag
Wasserzufluss
Extremszenario



Karte 8

Steinschlag
Frequenz
mittleres Szenario



Karte 9

Steinschlag
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



Karte 10

Steinschlag
Magnitude
mittleres Szenario



Karte 11

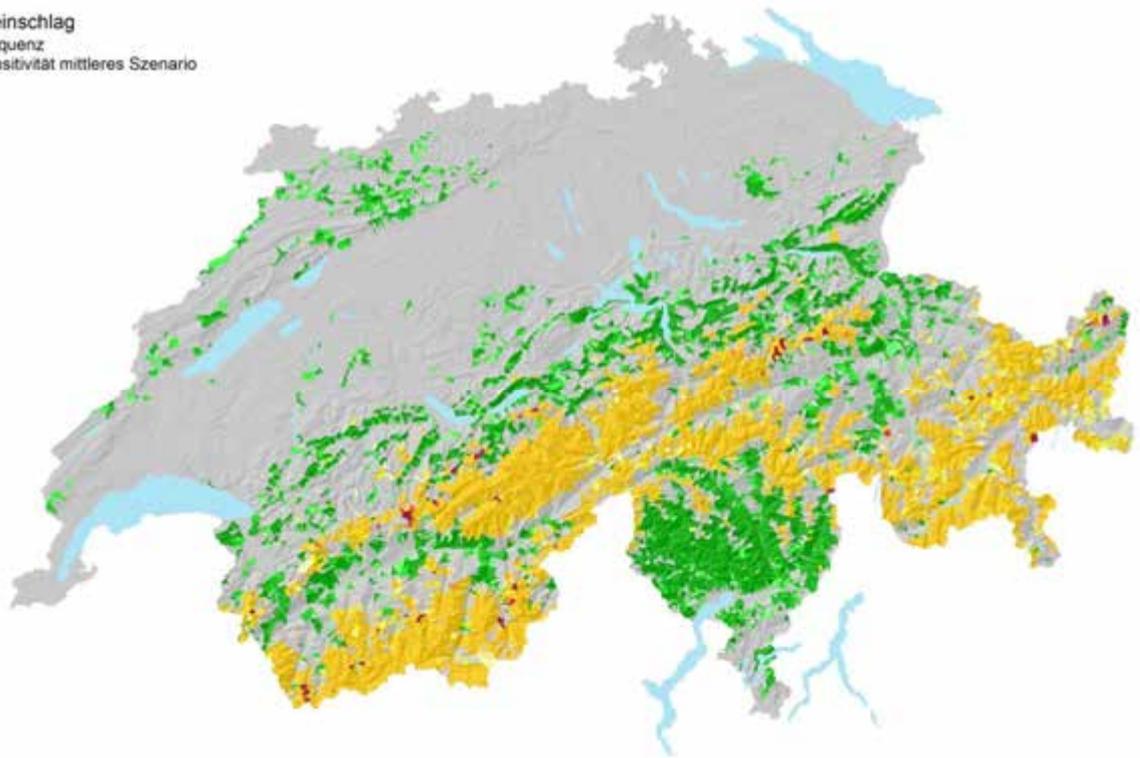
Steinschlag
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 12

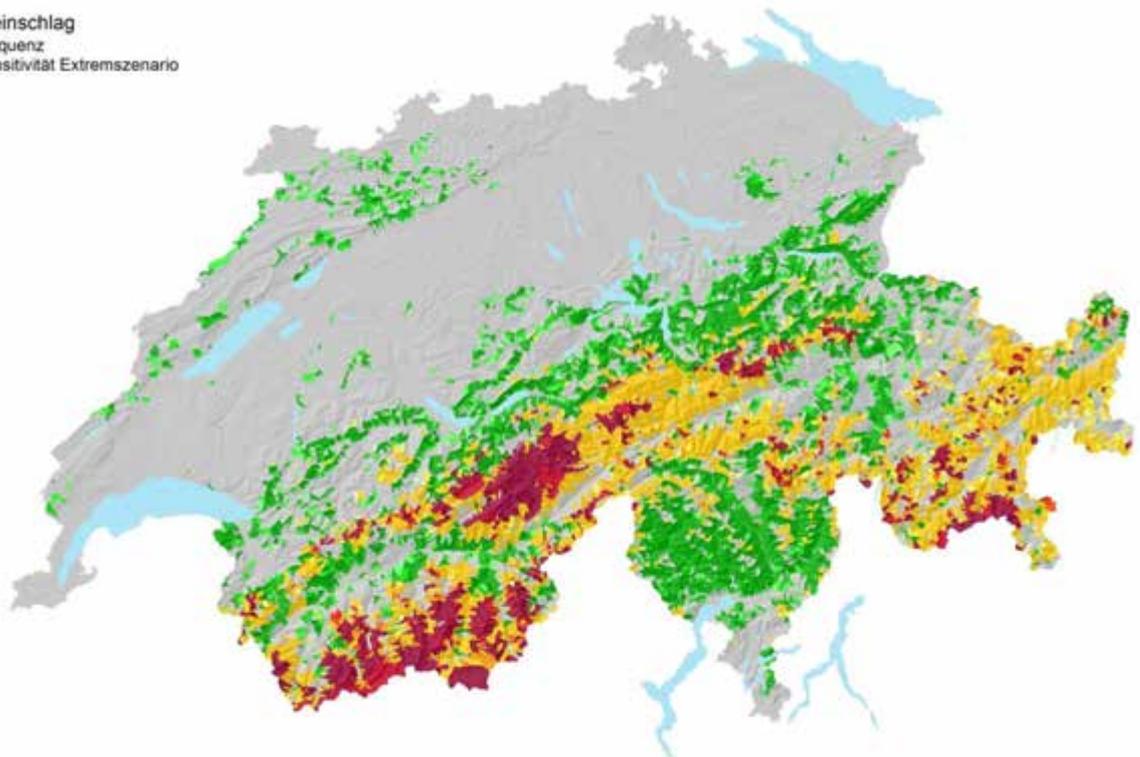
2.3 Aggregierte Resultate

Steinschlag
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



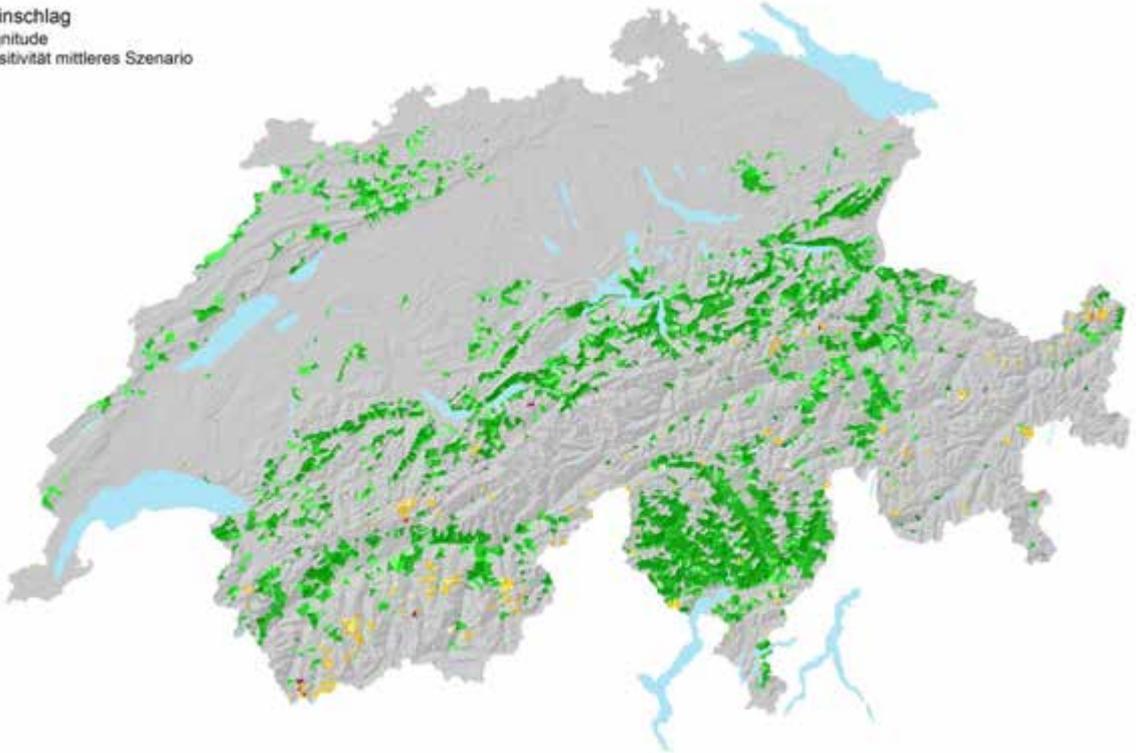
Karte 13

Steinschlag
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



Karte 14

Steinschlag
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 15

Steinschlag
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 16

3 Felssturz

3.1 Erläuterung

Beim Felssturz spielt der Wasserzufluss über längere Zeit eine wichtige Rolle, da durch ihn der Wasserdruck in den Klüften aufgebaut wird. Im mittleren Szenario nimmt der Wasserzufluss nur in der Südschweiz zu (Karte 17). Im Mittelland und Jura sowie in den Tälern der Voralpen und Alpen ist von einer Abnahme auszugehen. Im Extremszenario zeigt sich ein anderes Bild (Karte 18). Im Mittelland und Jura ist wegen der stärkeren Winterniederschläge und der früheren Schneeschmelze mit einer starken Zunahme des Wasserzuflusses zu rechnen. In den Alpen ist die Zunahme etwas weniger stark, da hier die verstärkte Schneeschmelze im Frühling nicht auch noch mit einer Zunahme der Niederschläge zusammenfällt. In der Südschweiz ist wegen der Abnahme der Niederschläge im Frühling und im Sommer in den Tälern sogar von einer Abnahme des Wasserzuflusses auszugehen.

Bei der Permafrostdegradation ist klar, dass diese im mittleren Szenario (Karte 19) weniger stark ist als im Extremszenario (Karte 20). Vor allem im Wallis und in den Bündner Alpen weisen im Extremszenario grosse Flächen eine starke Zunahme auf.

Die Bewertung der Sensitivität ohne Berücksichtigung der Anrissgebiete für Felssturz zeigt wegen des Rückganges des Wasserzuflusses im mittleren Szenario in den tieferen Lagen eine Abnahme der Frequenz, in den hohen Lagen, wo die Permafrostdegradation eine Rolle spielt, eine Zunahme (Karte 21). Im Extremszenario ist in den tiefer gelegenen Gebieten wegen der starken Zunahme des Wasserzuflusses mit einer Zunahme der Felsstürze zu rechnen, in den hochgelegenen Gebieten mit einer starken Zunahme (Karte 22).

Im mittleren Szenario ist bei der Magnitude in den Permafrostdegradationsgebieten mit einer Zunahme bzw. starken Zunahme zu rechnen (Karte 23). In den übrigen Gebieten bleibt die Situation unverändert. Im Extremszenario nimmt die Magnitude in weiten Gebieten ab (Karte 24). Nur in den Gebieten mit Degradation des Permafrosts ist mit einer Zunahme, oft sogar mit einer starken Zunahme zu rechnen.

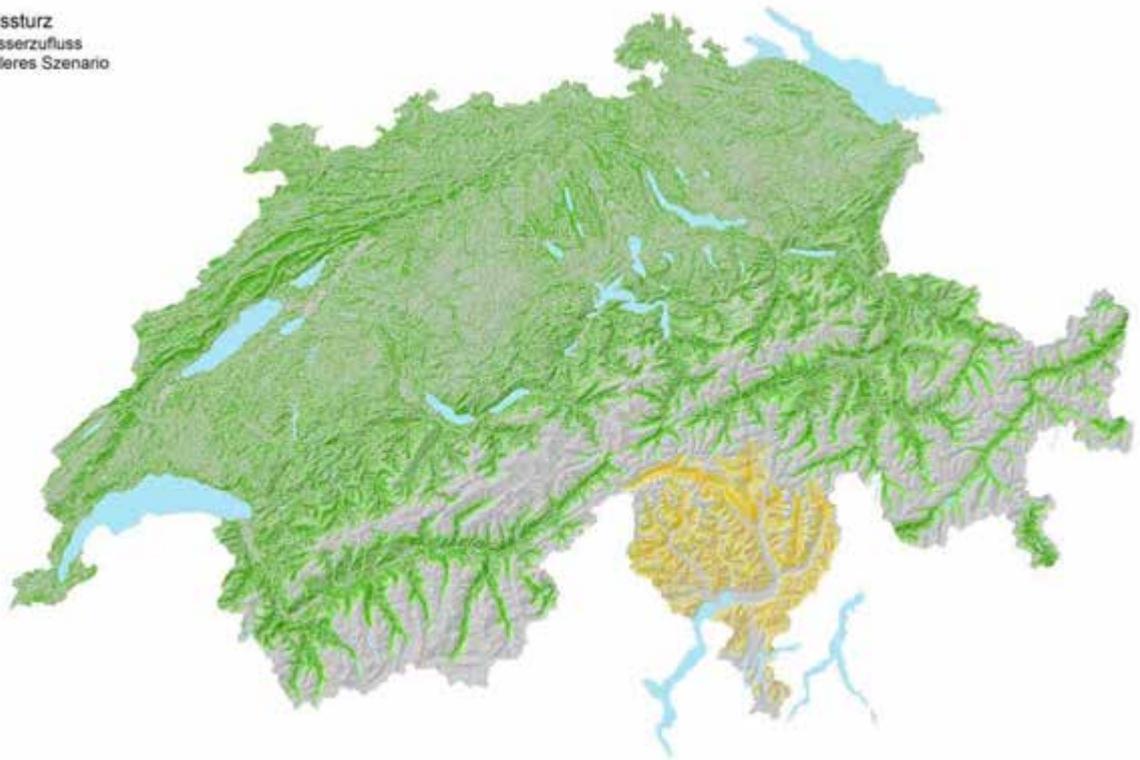
Die Gletscherrückzugsgebiete werden separat berücksichtigt. Sie sind im mittleren Szenario (Karte 25) kleiner als im Extremszenario (Karte 26). Die Frequenz ist in diesen Gebieten überall zunehmend, da sie neu als Felssturzquelle in Frage kommt. Bei der Magnitude weisen die Gebiete im mittleren Szenario eine Zunahme auf (Karte 27), im Extremszenario wegen des grösseren Wasserzuflusses eine sehr starke Zunahme (Karte 28).

In der Kombination sind bei der Frequenz keine grossen Unterschiede gegenüber der Bewertung der Gebiete ohne Gletscherrückzug erkennbar (Karte 29 und Karte 30). Bei der Magnitude weisen im Extremszenario mehr Gebiete eine starke Zunahme auf, dies wegen der starken Veränderung in den Gletscherrückzugsgebieten (Karte 32).

Bei den aggregierten Resultaten ergibt sich ein deutlich anderes Bild (Karte 33 bis Karte 36). Da mit Ausnahme der Alpen grössere Felssturzgebiete fehlen, ist in beiden Szenarien in grossen Teilen der Schweiz keine Veränderung zu erwarten. In den Alpen ist jedoch in beiden Szenarien und überall von einer Zunahme, bzw. von einer starken Zunahme auszugehen, sowohl bezüglich Frequenz, als auch bezüglich Magnitude.

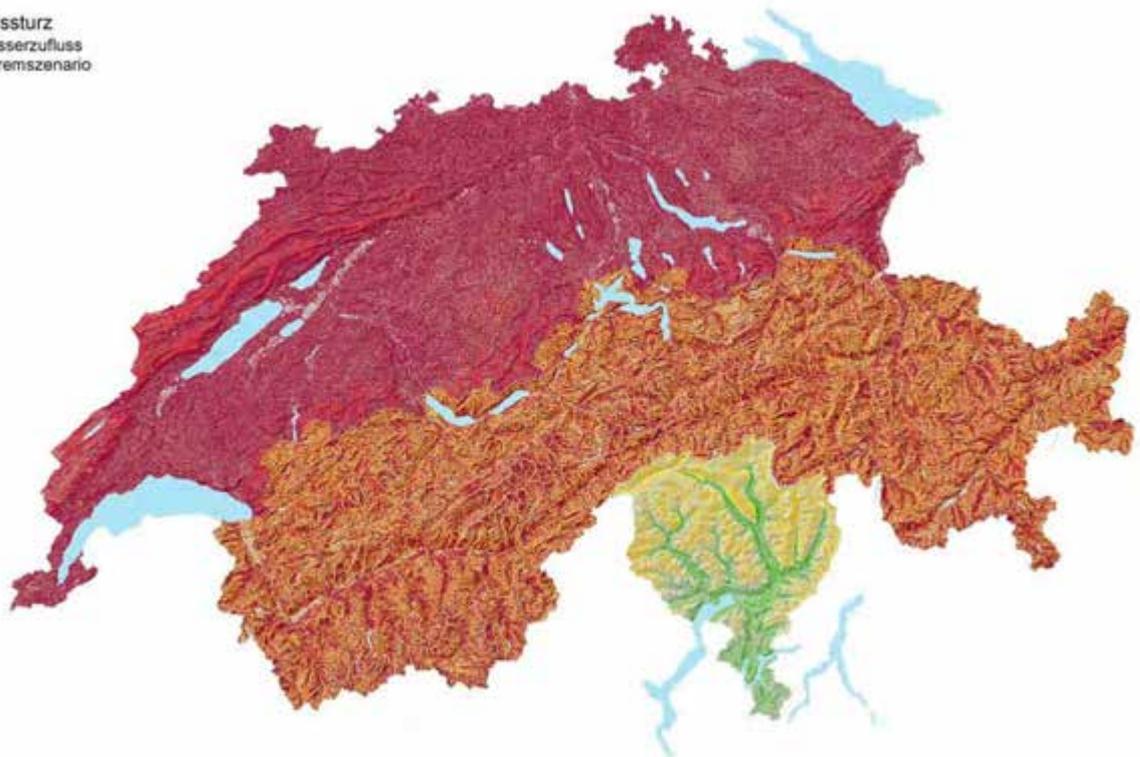
3.2 Zwischenresultate

Felssturz
Wasserzufluss
Mittleres Szenario



Karte 17

Felssturz
Wasserzufluss
Extremeszenario



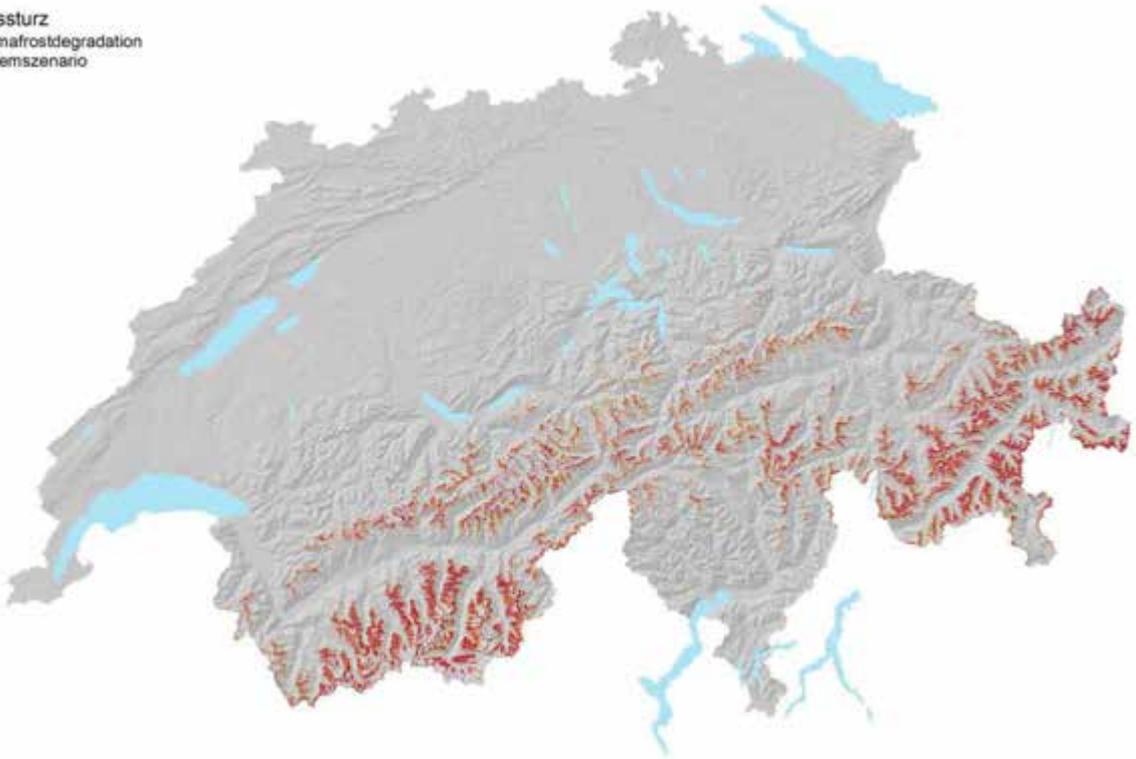
Karte 18

Felssturz
Permafrostdegradation
Mittleres Szenario



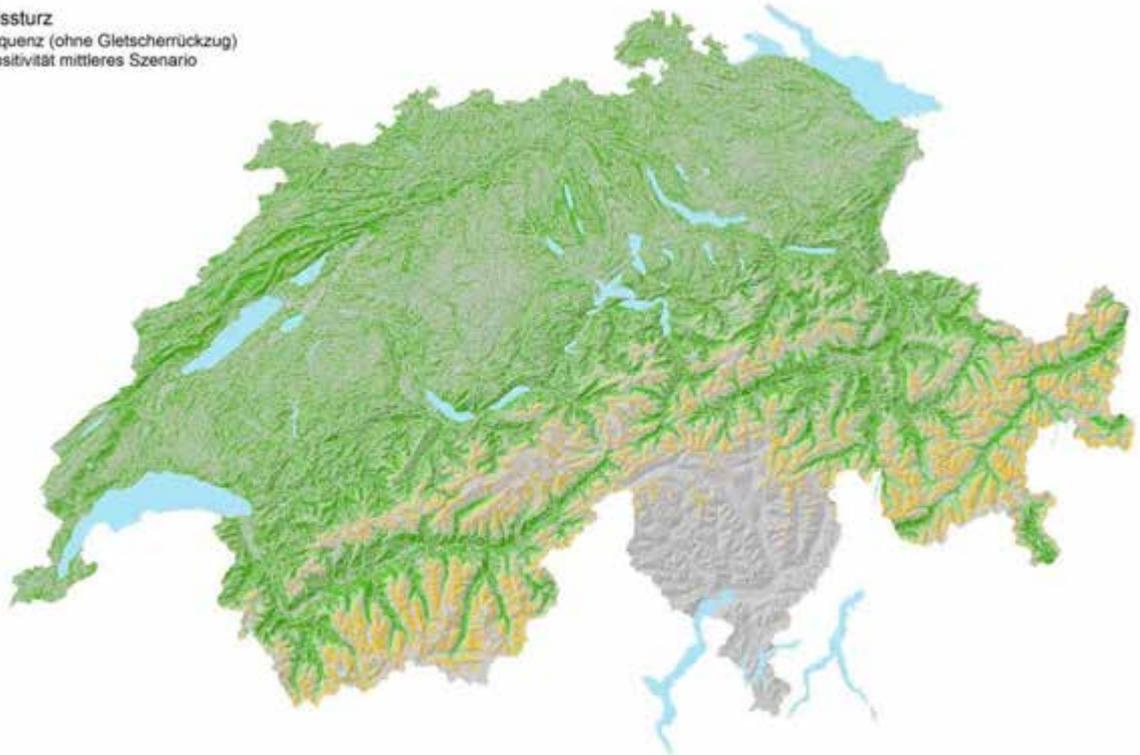
Karte 19

Felssturz
Permafrostdegradation
Extremeszenario



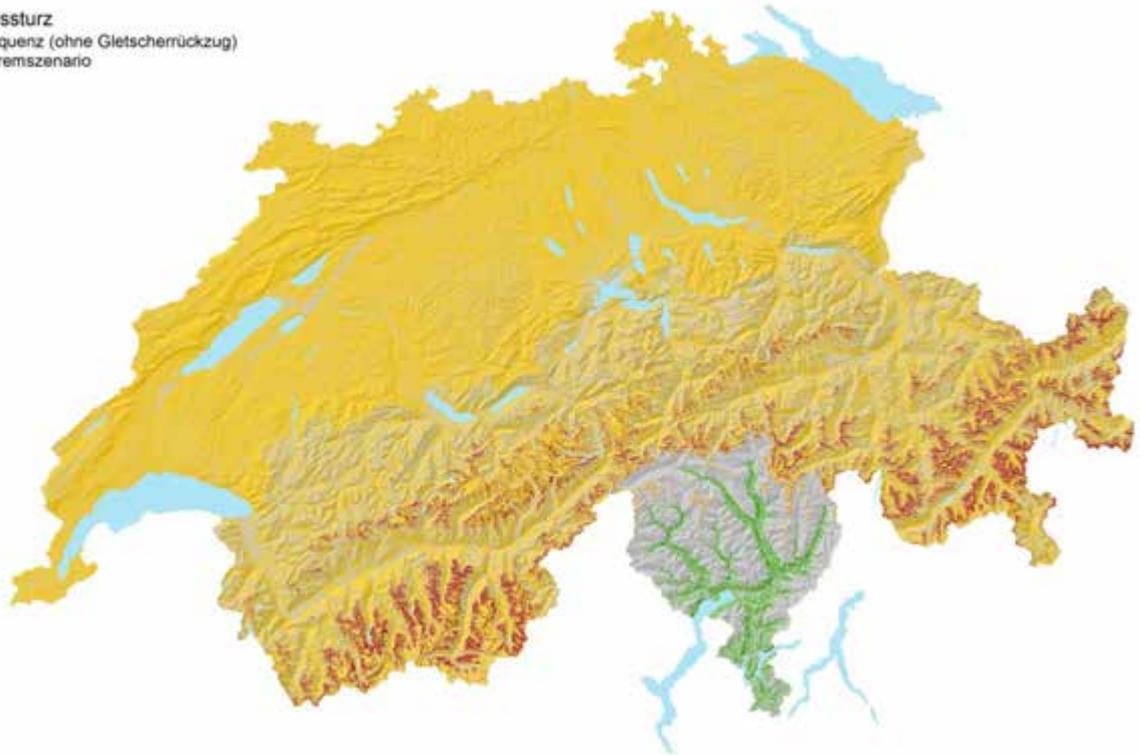
Karte 20

Felssturz
Frequenz (ohne Gletscherrückzug)
Sensitivität mittleres Szenario



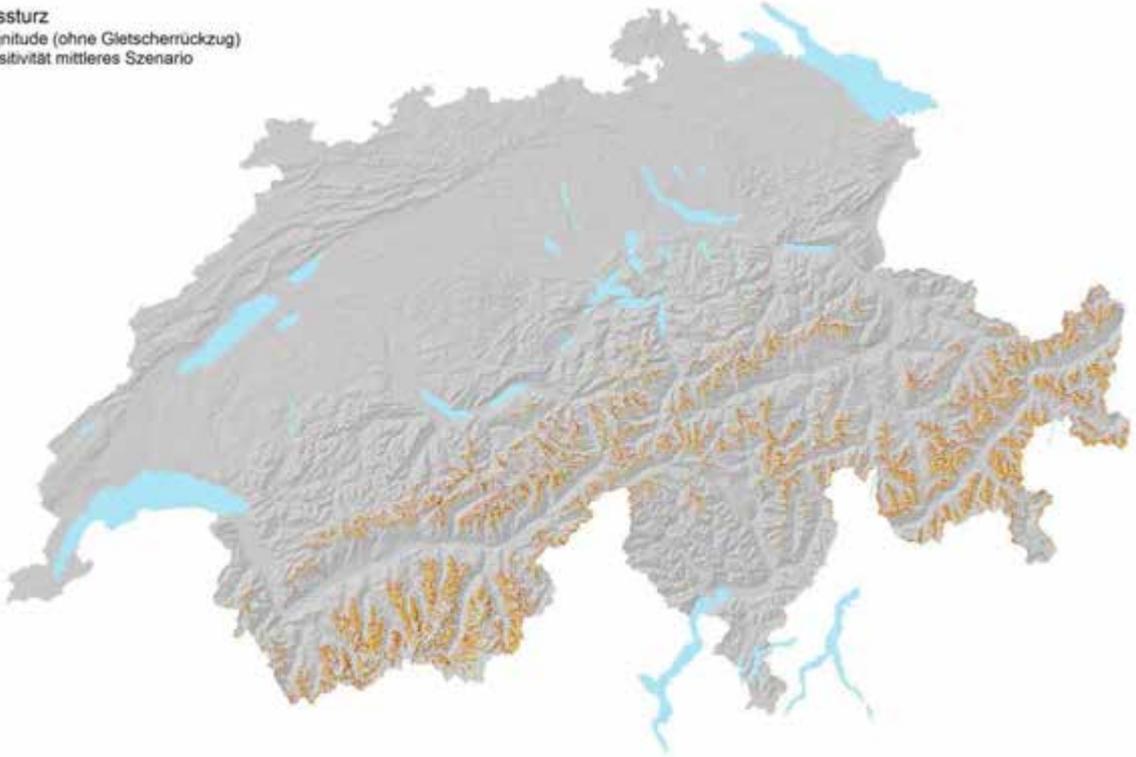
Karte 21

Felssturz
Frequenz (ohne Gletscherrückzug)
Extrem Szenario



Karte 22

Felssturz
Magnitude (ohne Gletscherrückzug)
Sensitivität mittleres Szenario



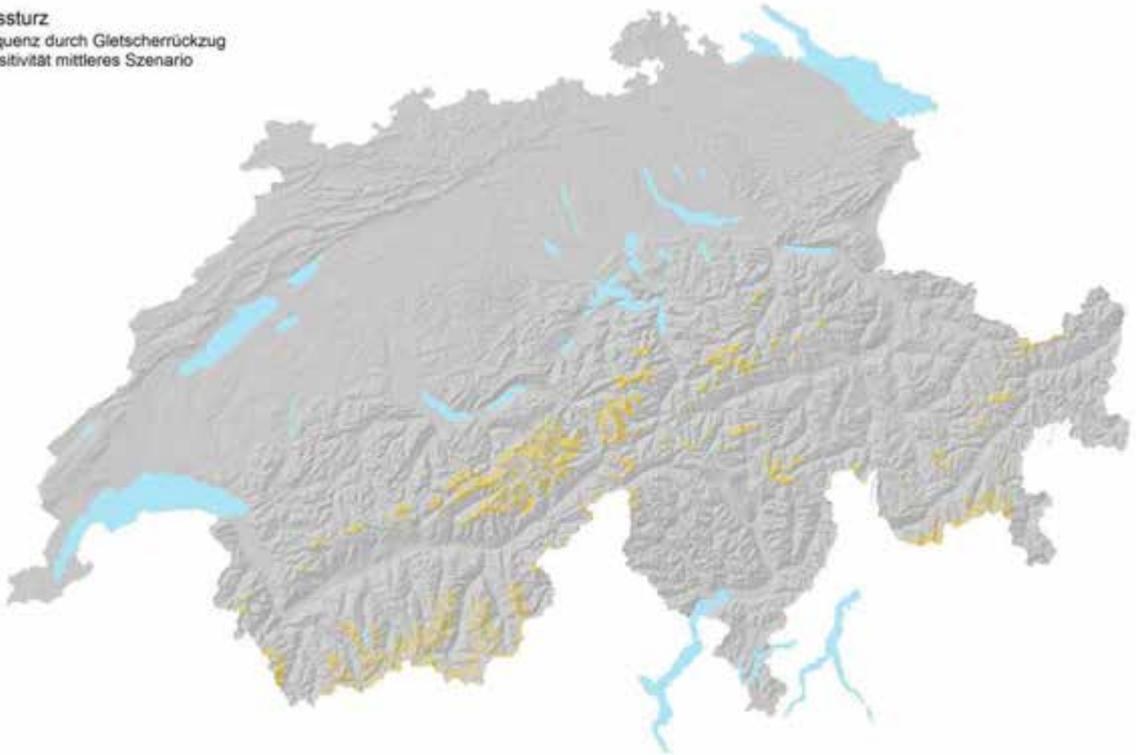
Karte 23

Felssturz
Magnitude (ohne Gletscherrückzug)
Extremeszenario



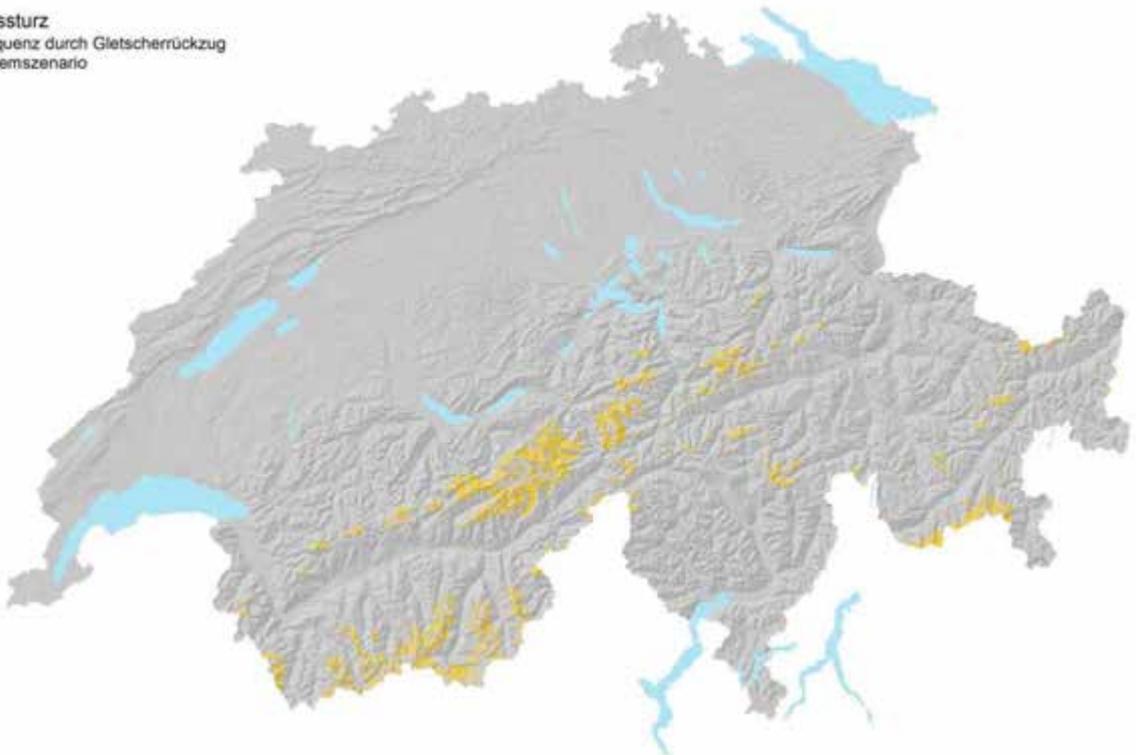
Karte 24

Felssturz
Frequenz durch Gletscherrückzug
Sensitivität mittleres Szenario



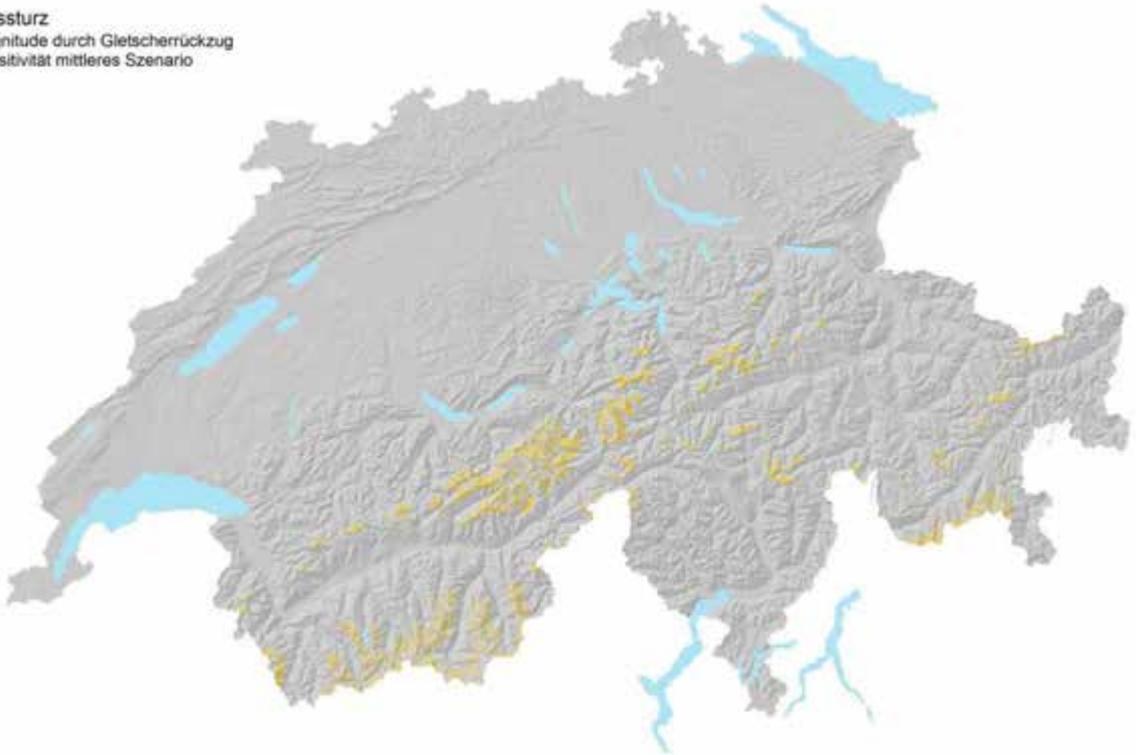
Karte 25

Felssturz
Frequenz durch Gletscherrückzug
Extremszenario



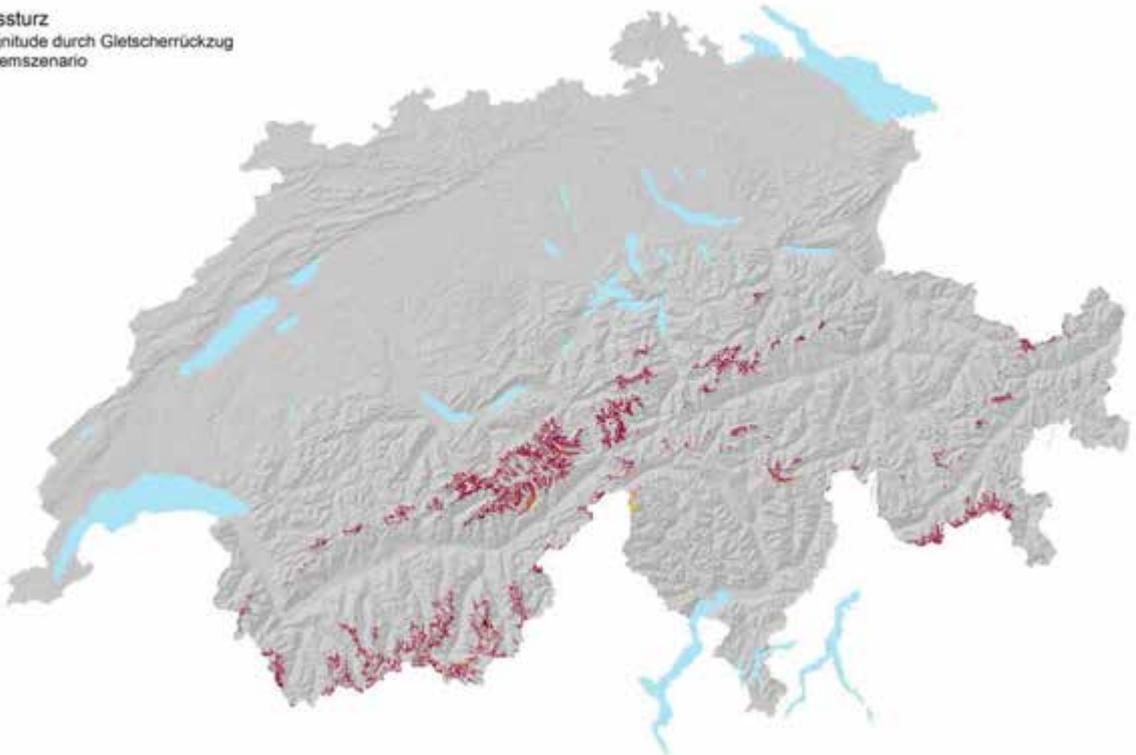
Karte 26

Felssturz
Magnitude durch Gletscherrückzug
Sensitivität mittleres Szenario



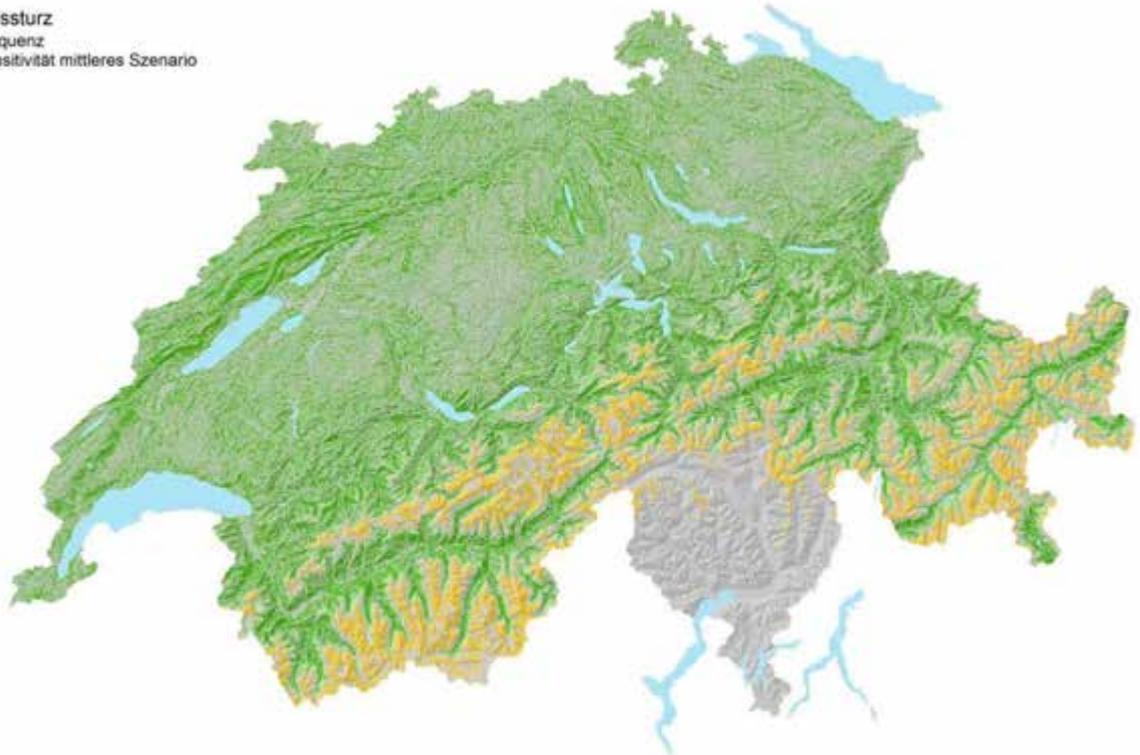
Karte 27

Felssturz
Magnitude durch Gletscherrückzug
Extrem Szenario



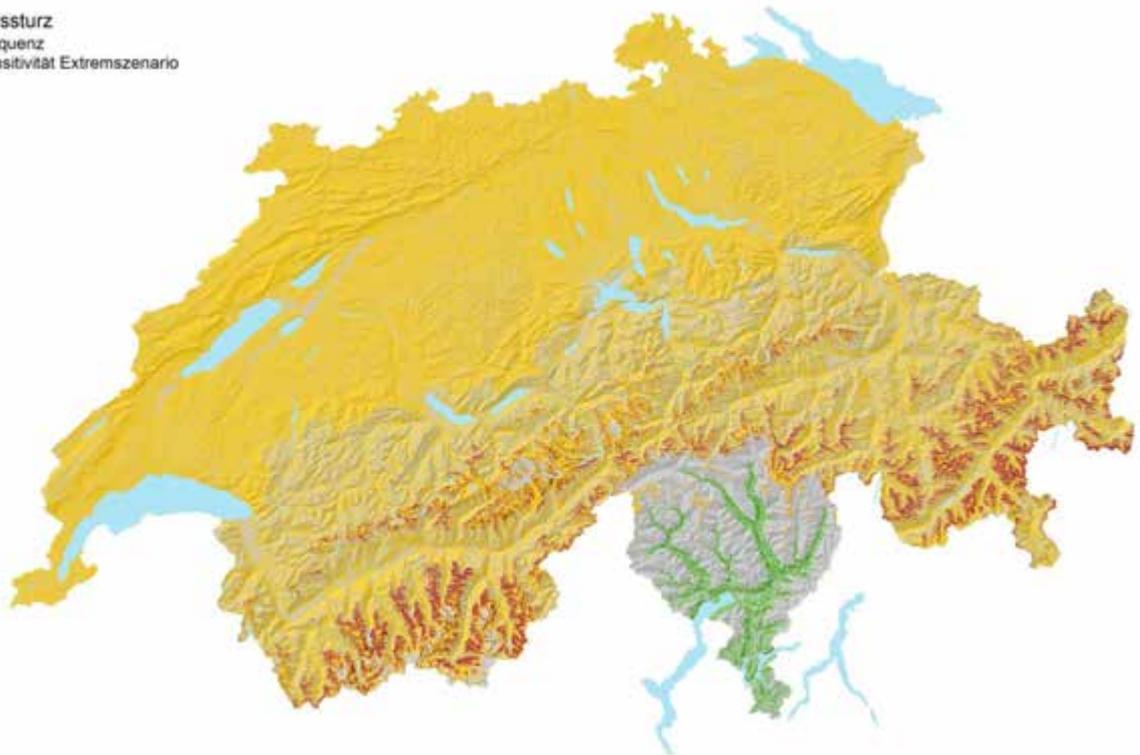
Karte 28

Felssturz
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



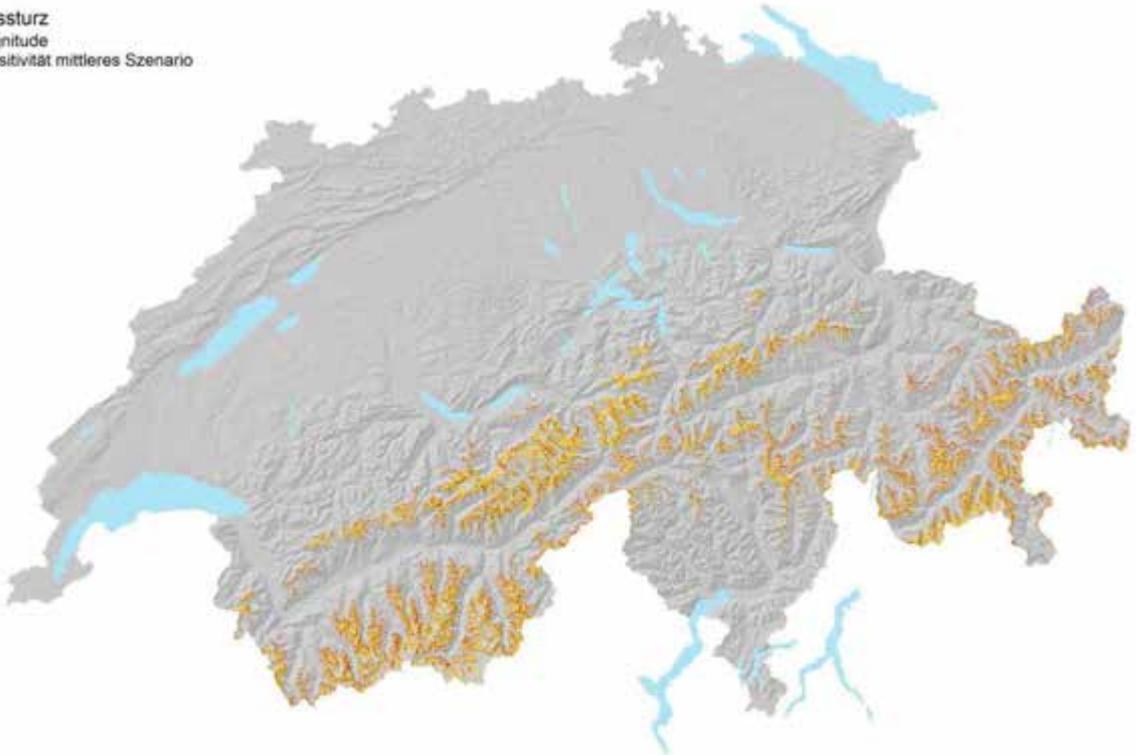
Karte 29

Felssturz
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



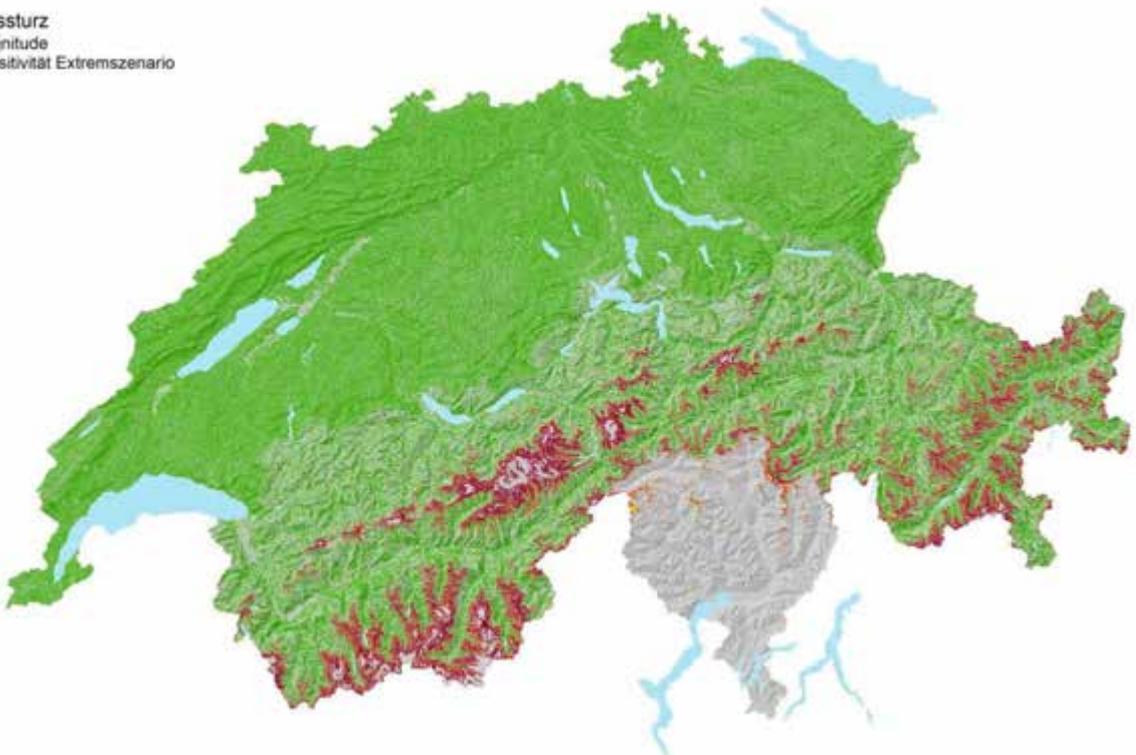
Karte 30

Felssturz
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 31

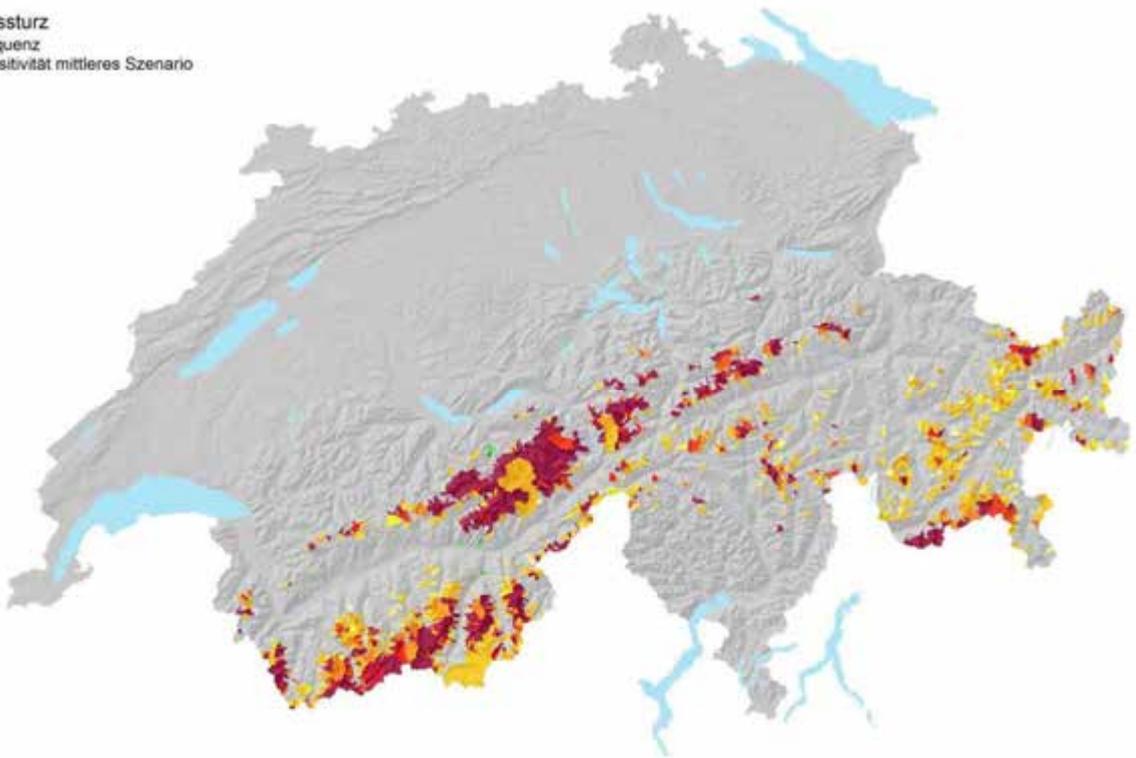
Felssturz
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 32

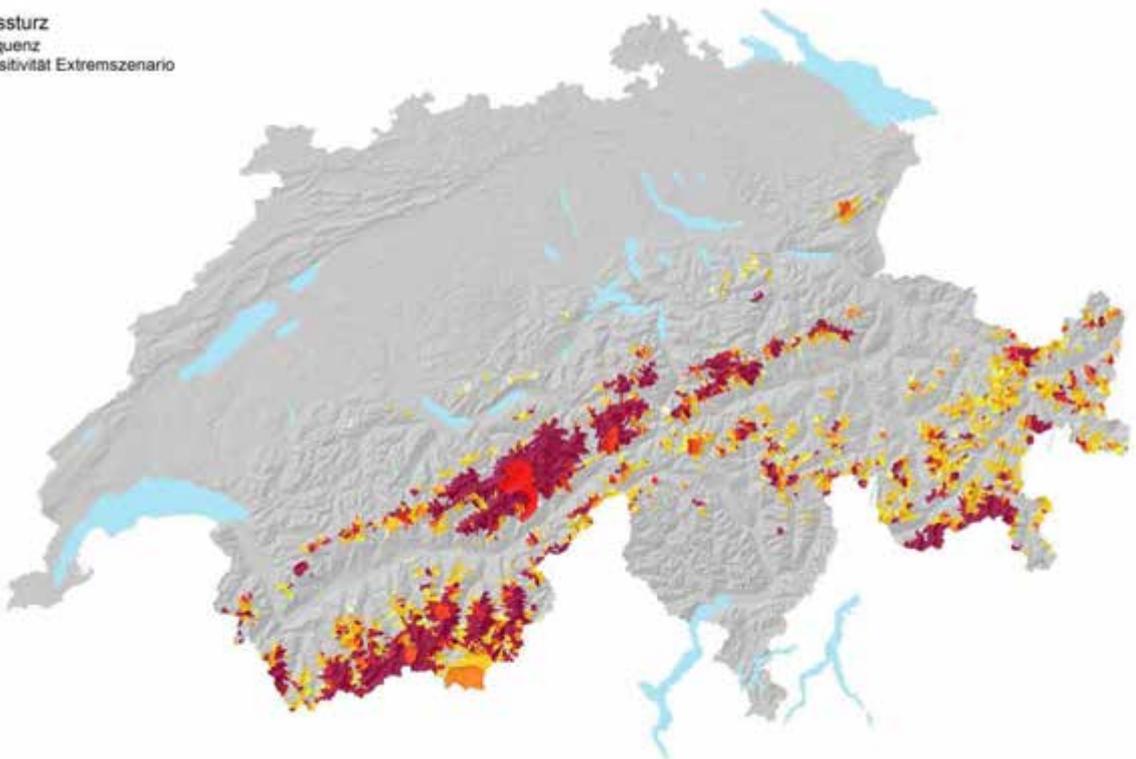
3.3 Aggregierte Resultate

Felssturz
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



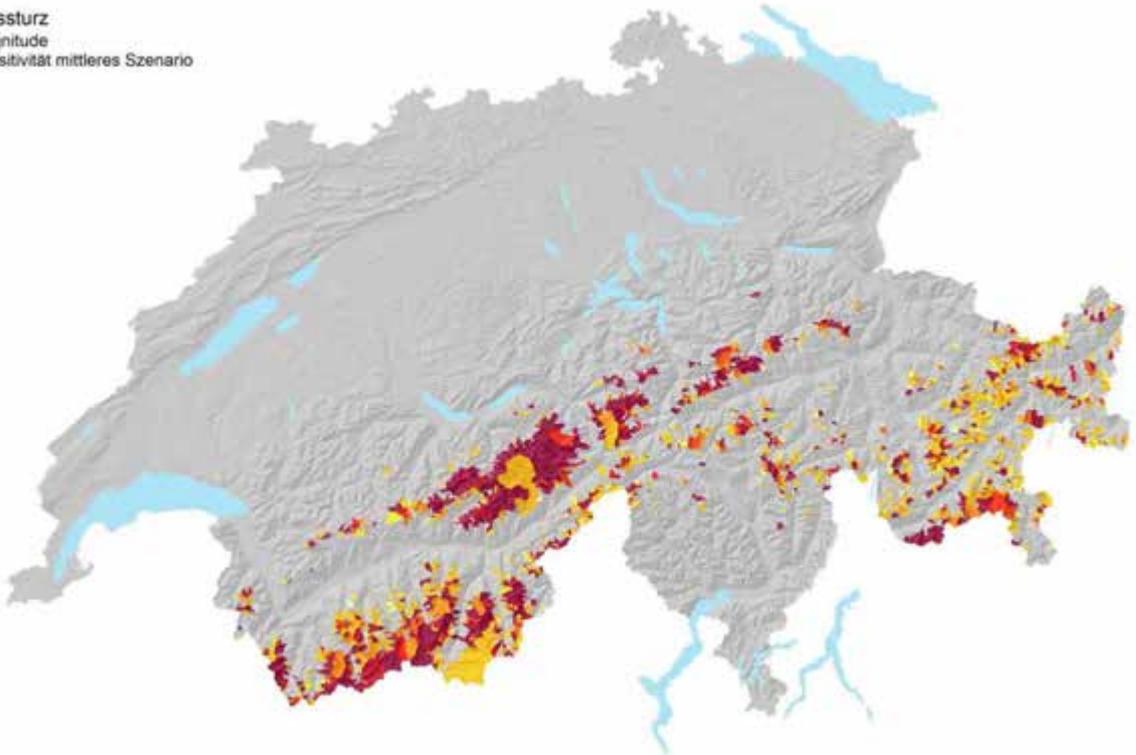
Karte 33

Felssturz
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



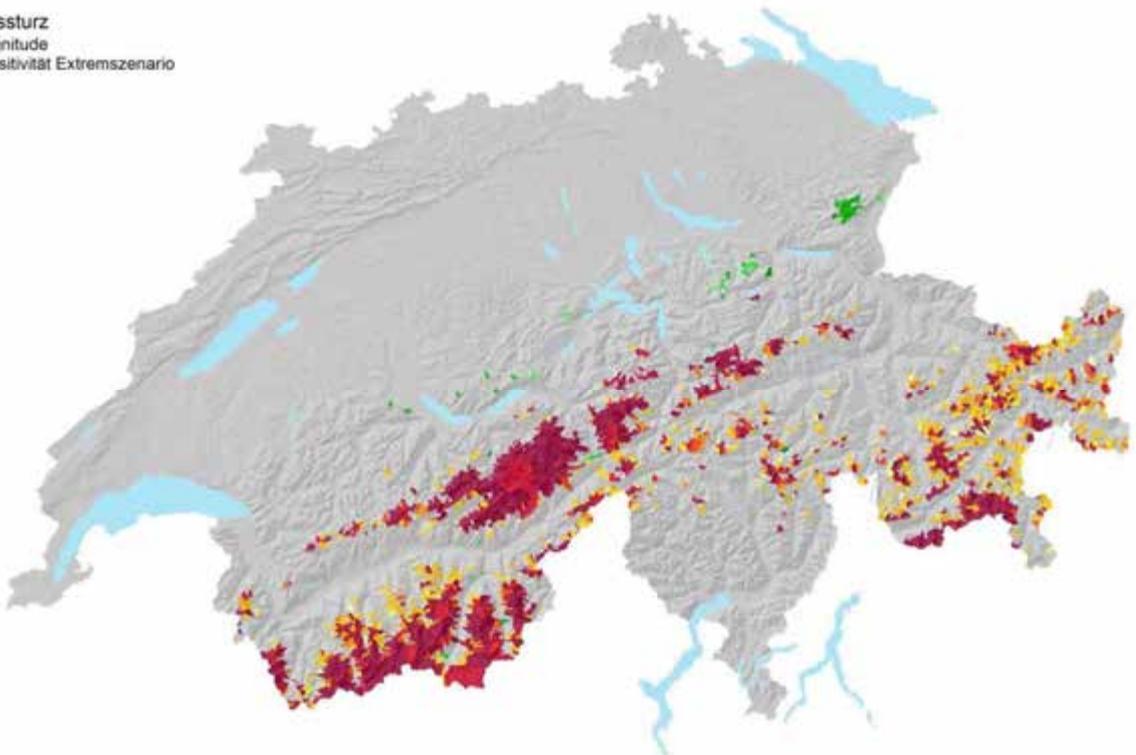
Karte 34

Felssturz
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 35

Felssturz
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 36

4 Trockenschneelawinen

4.1 Erläuterung

Die Gefahr von Trockenschneelawinen hängt mit der Schneemenge, die innerhalb weniger Tage fällt, zusammen. Im mittleren Szenario nehmen die Starkschneefälle in weiten Teilen der Schweiz ab (Karte 37). In erhöhten Lagen in den Voralpen und Alpen, sowie in der Südschweiz bleibt die Situation unverändert. Nur in Lagen oberhalb 3000 m ü.M. ist von einer Zunahme auszugehen. Im Extremszenario ist in den hohen Lagen wegen der stärkeren Zunahme der Winterniederschläge teilweise mit einer starken Zunahme der Starkschneefälle zu rechnen.

Da für die Bewertung der Frequenz und der Magnitude die Anrissvolumen aus der Lawinensimulation verwendet werden, werden in den Karten Karte 35 bis Karte 42 nur die Anrissflächen dargestellt. Für das mittlere Szenario resultiert für die Voralpen und die niedrigeren Gebiete in den Alpen und in der Südschweiz eine Abnahme, in den hochgelegenen Gebieten eine Zunahme. Im Extremszenario weisen grössere Flächen eine Zunahme auf, die höchstgelegenen Flächen sogar eine starke Zunahme. Bei der Magnitude weisen in beiden Szenarien mehr Flächen eine starke Zunahme auf.

In der Aggregation resultiert im mittleren Szenario für den nördlichen Alpenrand und den Tessin eine Abnahme bei der Frequenz (Karte 43). Im Extremszenario ist die Abnahme in der Südschweiz geringer (Karte 44). Für die Alpen ergibt das mittlere Szenario eine Zunahme der Frequenz, wobei im Extremszenario dies für eine grössere Fläche zutrifft.

Bei der Magnitude weisen im mittleren Szenario einige Flächen eine starke Zunahme auf (Karte 45). Im Extremszenario ist der Anteil dieser Flächen grösser (Karte 46).

4.2 Zwischenresultate

Trockenschneelawinen
Starkschneefälle
Mittleres Szenario



Karte 37

Trockenschneelawinen
Starkschneefälle
Extremeszenario



Karte 38

Trockenschneelawinen
Frequenz
Mittleres Szenario



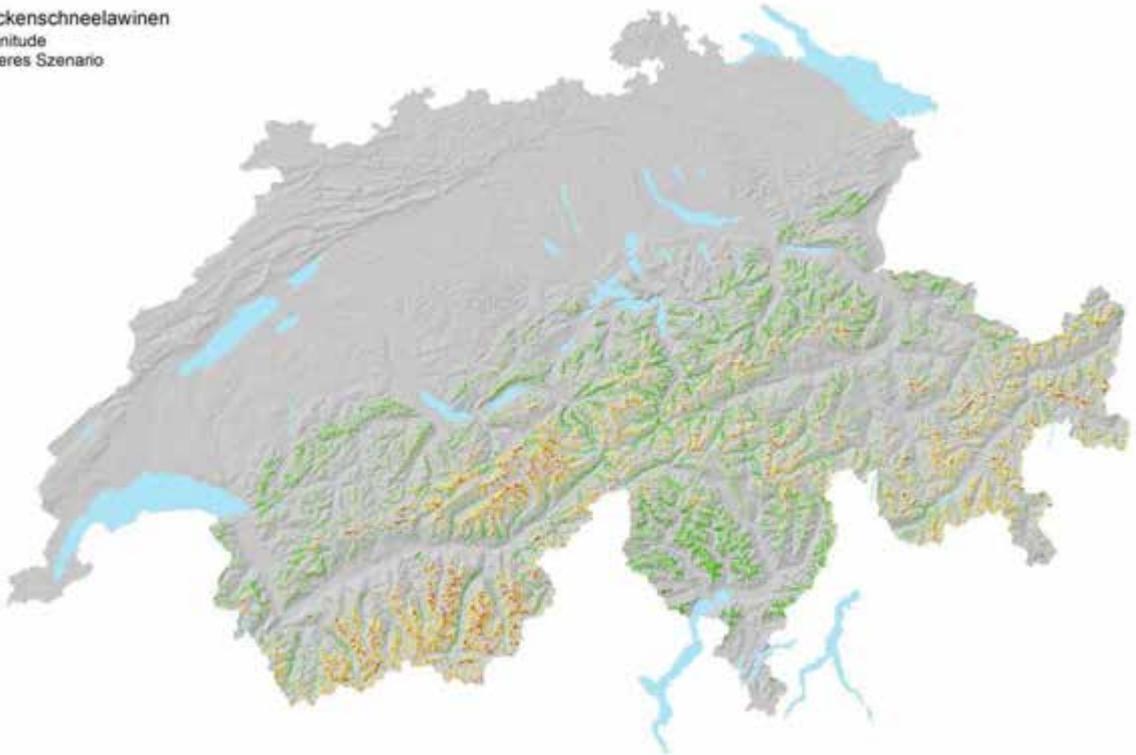
Karte 39

Trockenschneelawinen
Frequenz
Extremeszenario



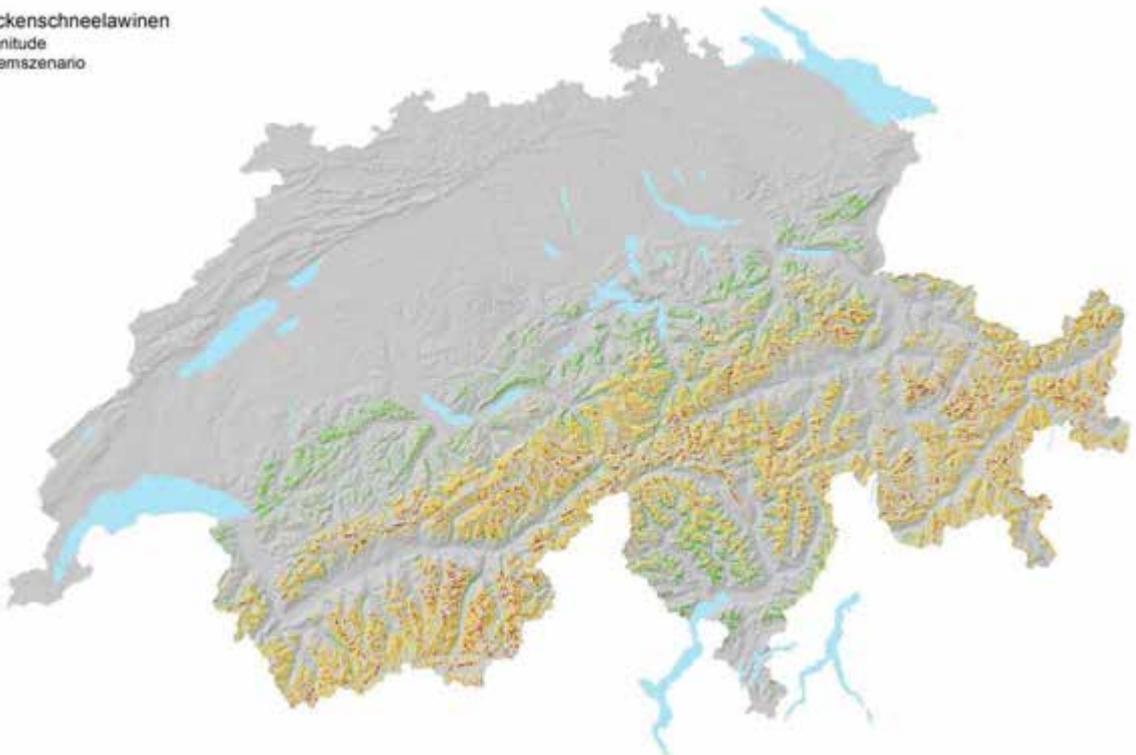
Karte 40

Trockenschneelawinen
Magnitude
Mittleres Szenario



Karte 41

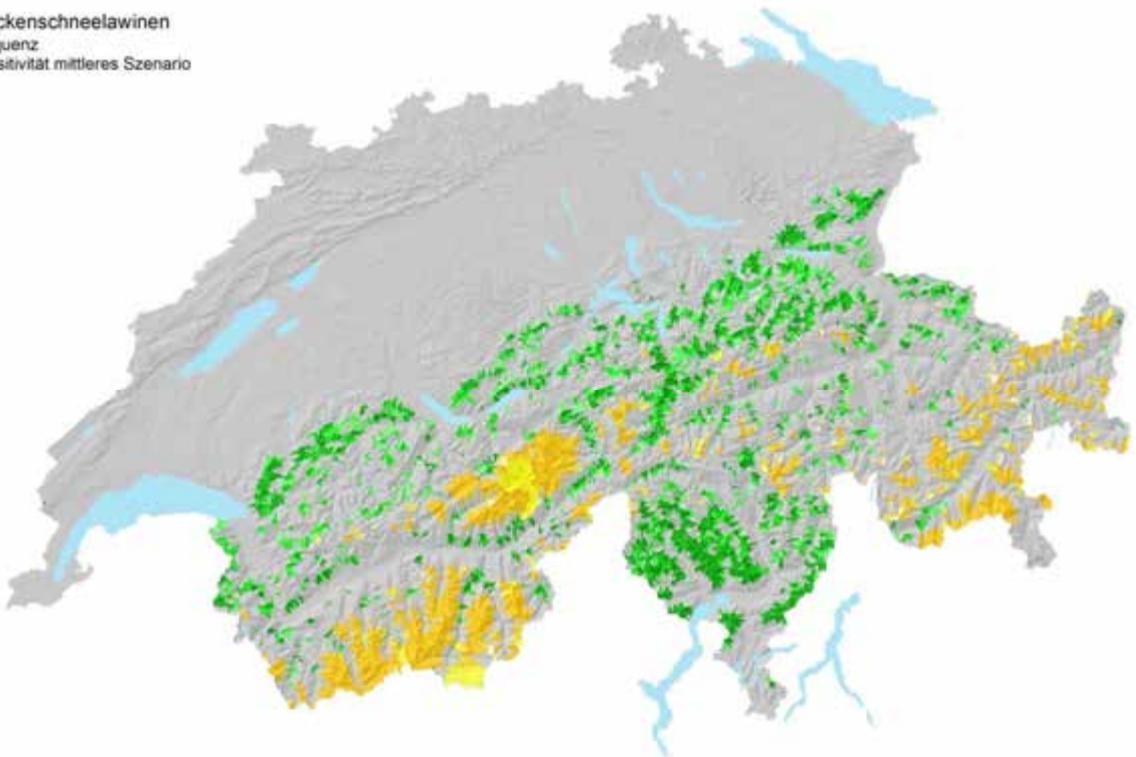
Trockenschneelawinen
Magnitude
Extremszenario



Karte 42

4.3 Aggregierte Resultate

Trockenschneelawinen
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



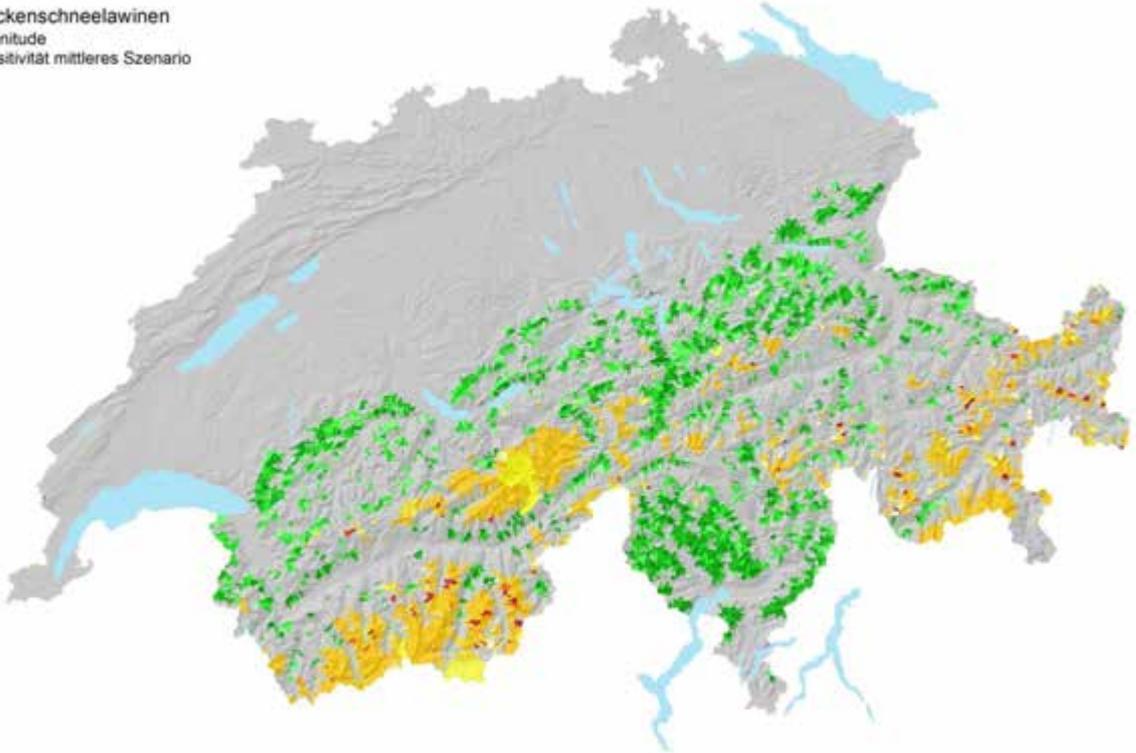
Karte 43

Trockenschneelawinen
Frequenz
Extremszenario



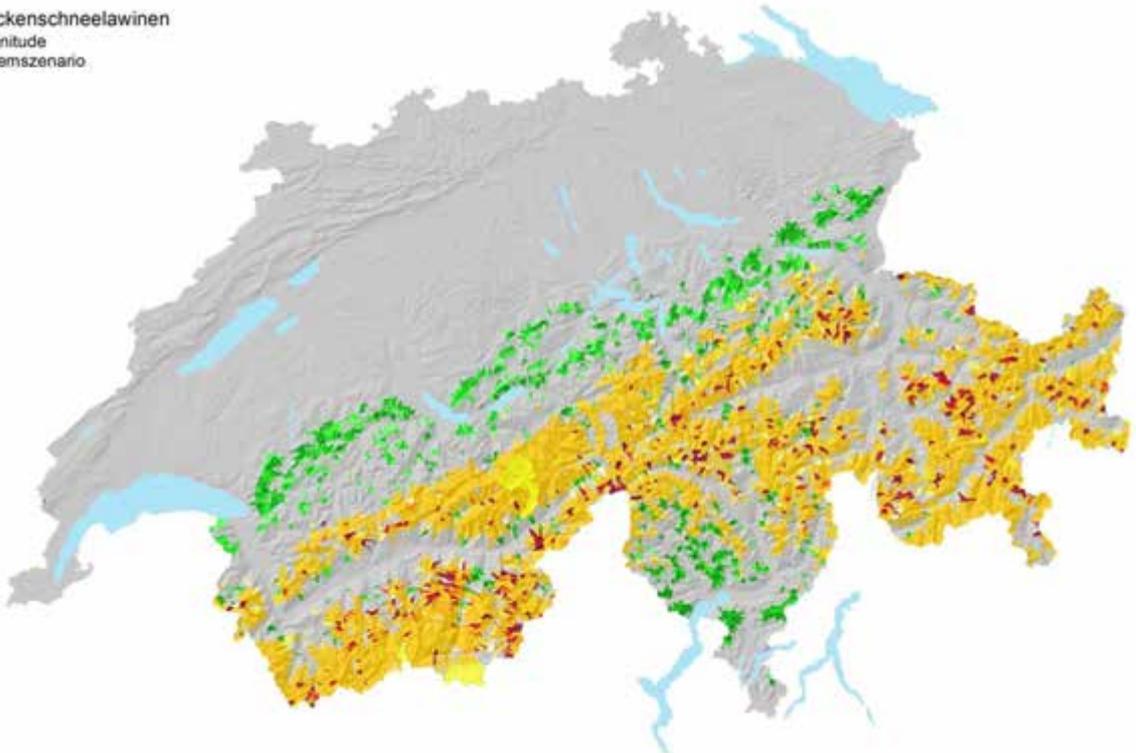
Karte 44

Trockenschneelawinen
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 45

Trockenschneelawinen
Magnitude
Extremeszenario



Karte 46

5 Nassschneelawinen

5.1 Erläuterung

Für die Beurteilung der Sensitivität von Nassschneelawinen wird nur die akkumulierte Schneemenge, bzw. als Indikator die Höhe berücksichtigt. Im mittleren Szenario resultiert für die Frequenz in höheren Lagen eine Zunahme (Karte 47), im Extremszenario, wegen der Zunahme der Winterniederschläge in den höchstgelegenen Gebieten, eine starke Zunahme (Karte 48). In den meisten Gebieten der Voralpen und des Mittellandes weist die Bewertung jedoch in beiden Szenarien eine Abnahme auf, da hier der Niederschlag vermehrt als Regen fällt und damit die Schneehöhe abnimmt.

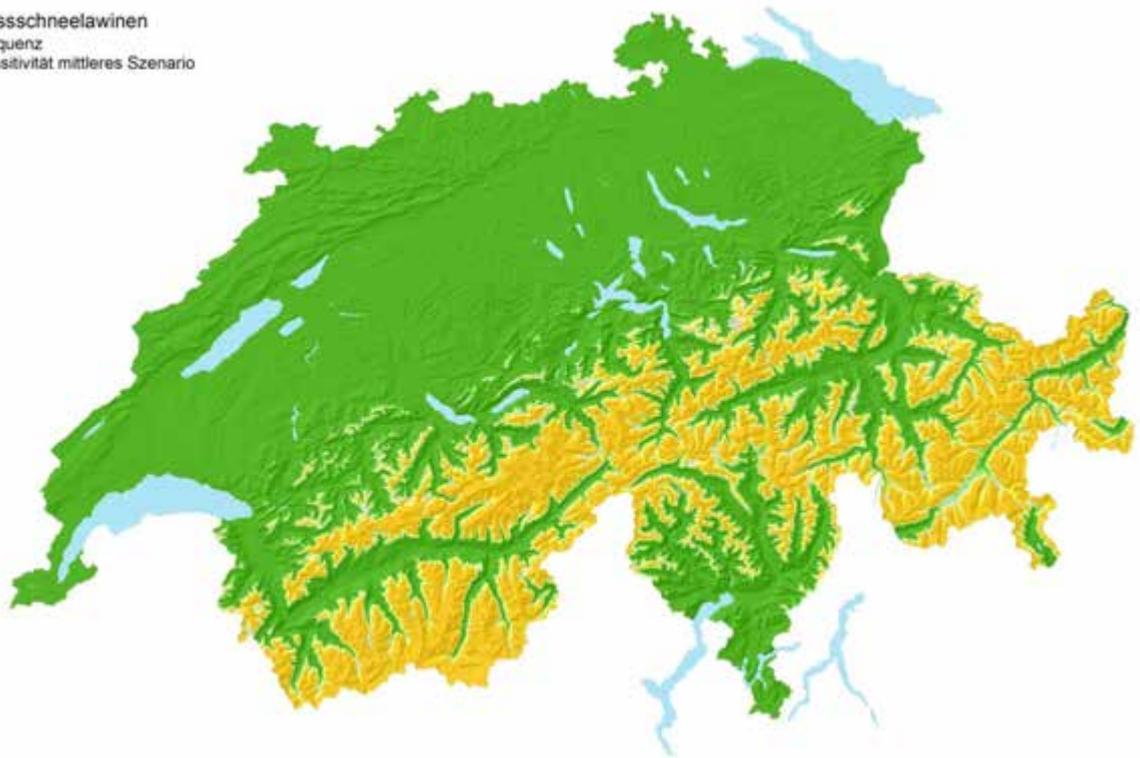
Bezogen auf die Magnitude resultiert beim mittleren Szenario für die tieferen Lagen eine Abnahme, in den höher gelegenen Gebieten bleibt sie unverändert (Karte 49). Im Extremszenario ergibt die Bewertung für die höchsten Lagen eine starke Zunahme (Karte 50).

In der räumlichen Aggregation werden nur die Bewertungen in den Lawinenanrissgebieten berücksichtigt. Da es hier keine Anrissgebiete gibt, weisen das Mittelland und die meisten Tallagen in den Voralpen und Alpen sowie der Südschweiz bezüglich der Frequenz und der Magnitude in beiden Szenarien keine Veränderung auf (Karte 51 bis Karte 54). Für die Voralpen resultiert in beiden Szenarien eine Abnahme der Frequenz, für die Alpen eine Zunahme. Im Extremszenario weisen die zentralen Berneralpen, die Hochalpen des Wallis und die Berninagruppe eine starke Zunahme auf.

Bezogen auf die Magnitude weisen im mittleren Szenario die höher gelegenen Gebiete der Voralpen und der Südschweiz eine Abnahme auf (Karte 53). Die hochgelegenen Gebiete in den Alpen und die Tallagen sowie das Mittelland und der Jura weisen unveränderte Bedingungen auf. Im Extremszenario resultiert demgegenüber für die hochgelegenen Gebiete in den Alpen eine Zunahme oder sogar eine starke Zunahme der Magnitude (Karte 54).

5.2 Zwischenresultate

Nassschneelawinen
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 47

Nassschneelawinen
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



Karte 48

Nassschneelawinen
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 49

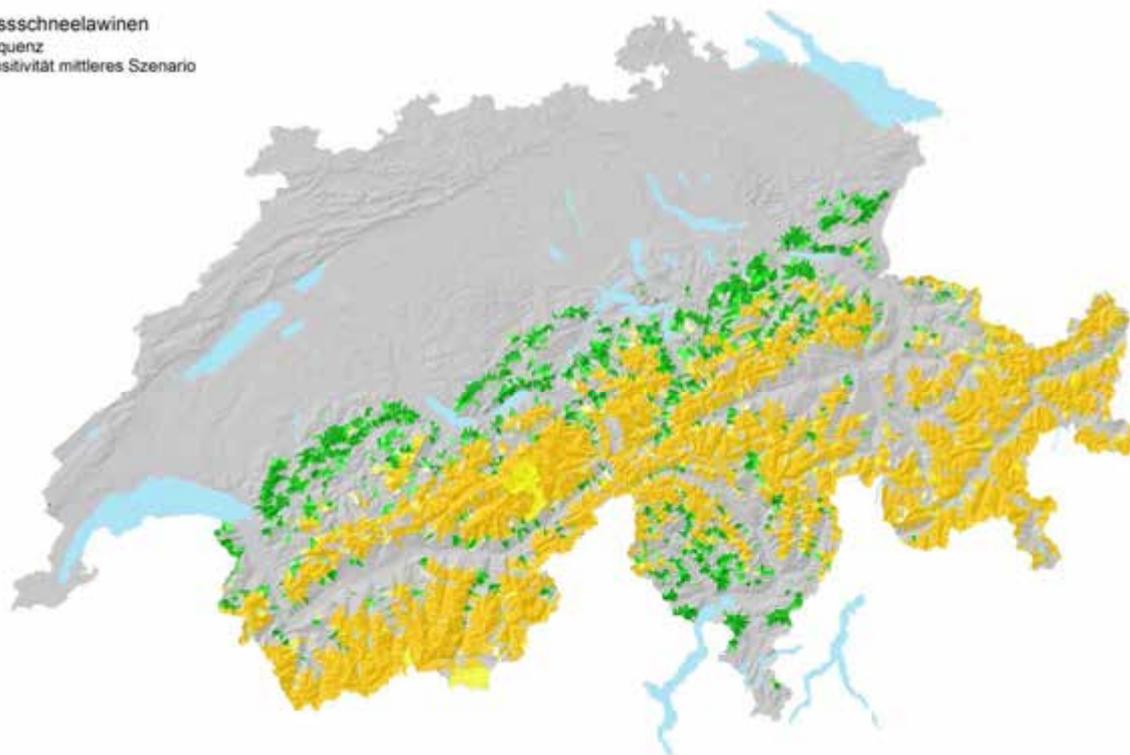
Nassschneelawinen
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 50

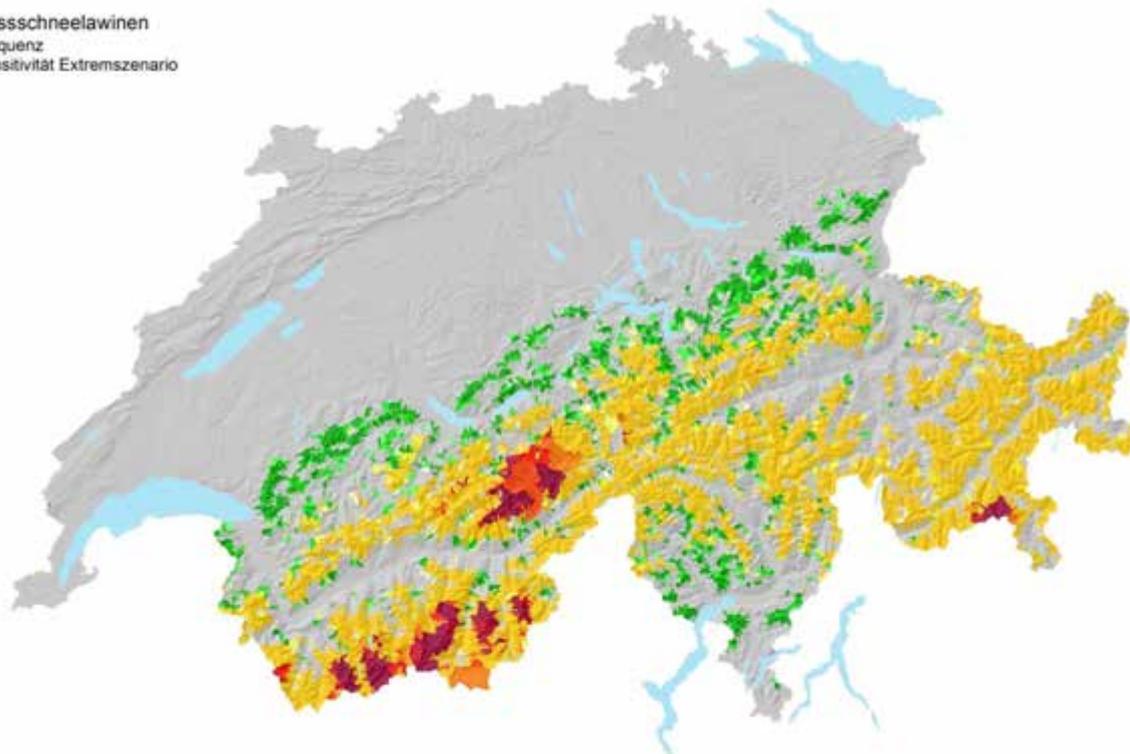
5.3 Aggregierte Resultate

Nassschneelawinen
 Frequenz
 Sensitivität mittleres Szenario



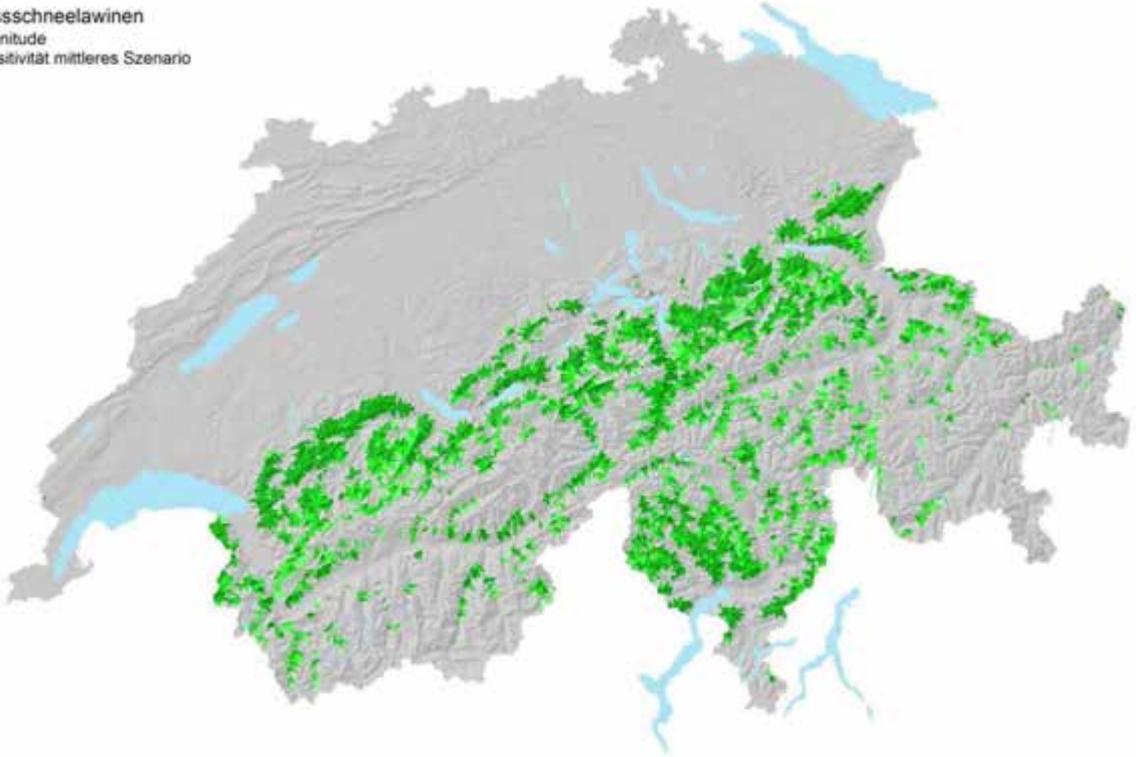
Karte 51

Nassschneelawinen
 Frequenz
 Sensitivität Extremszenario



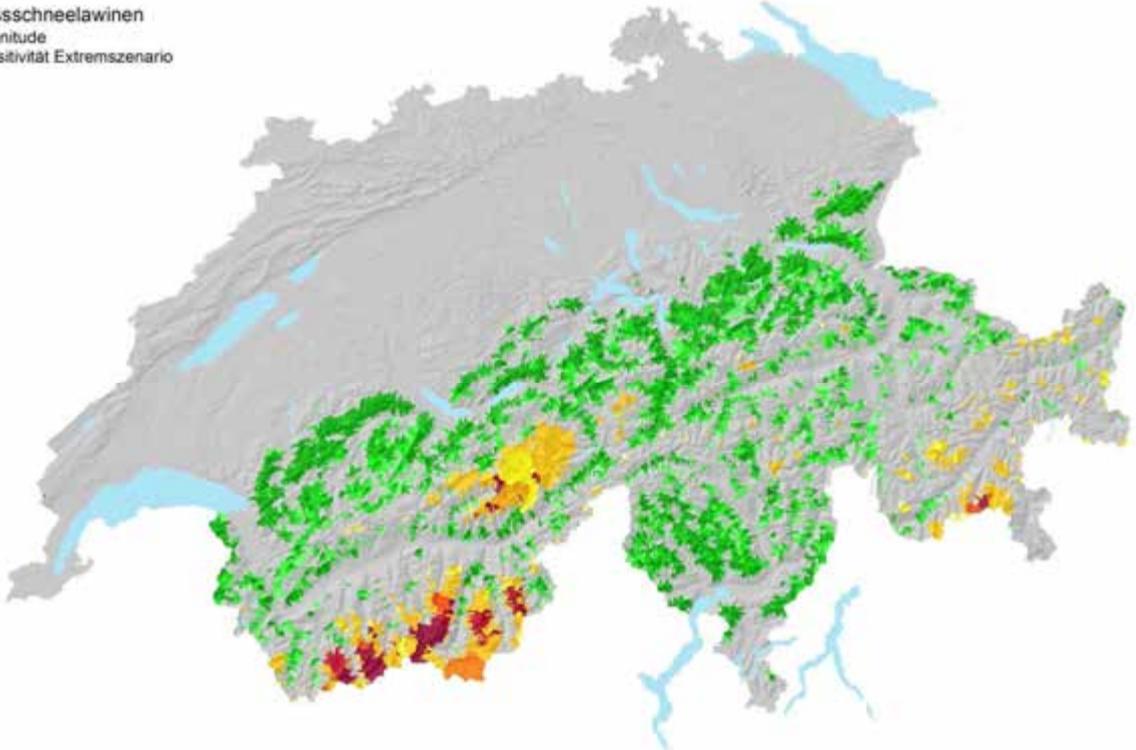
Karte 52

Nassschneelawinen
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 53

Nassschneelawinen
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 54

6 Hangmuren aus steileren Hängen

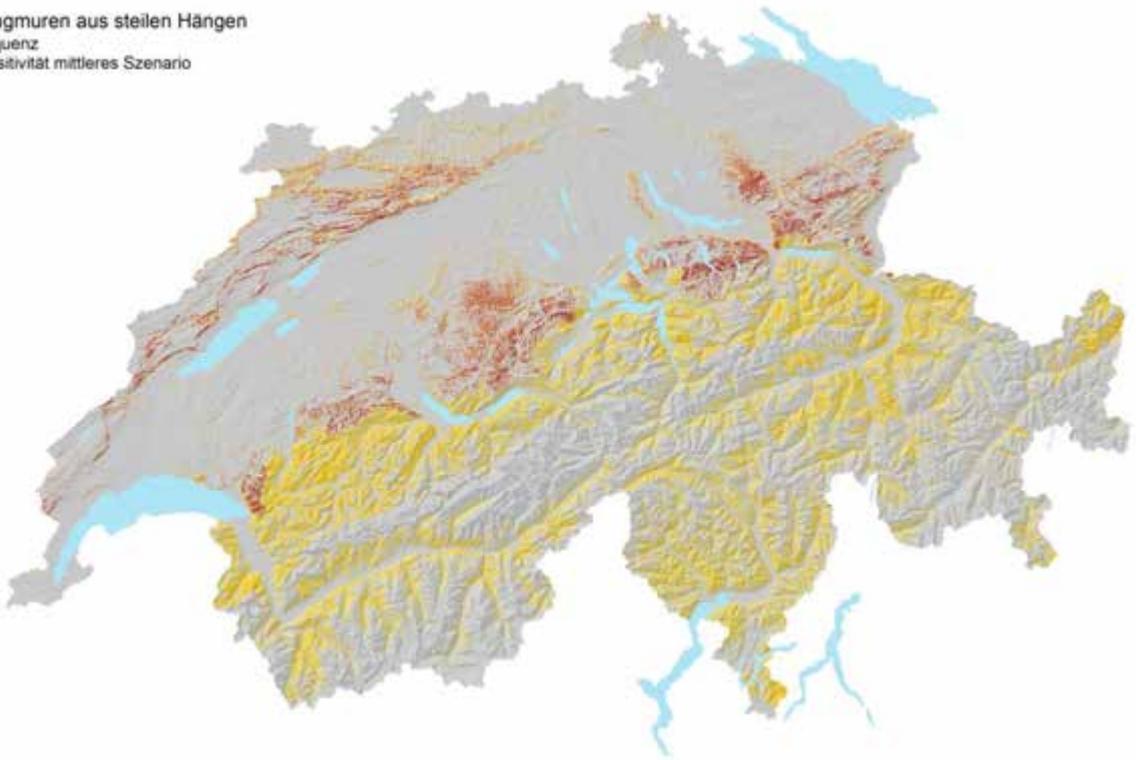
6.1 Erläuterung

Für die Hangmuren aus steilen Hängen wird nur die Frequenz bewertet. Die Bewertung wird nur für die Anrissflächen durchgeführt. Im mittleren Szenario nimmt die Frequenz in den Alpen, Voralpen und der Südschweiz zu, im höheren Mittelland und im Jura teilweise stark zu (Karte 55). Im Extremszenario weisen auch grössere Gebiete der Voralpen und Alpen eine starke Zunahme auf (Karte 56). Grund dafür ist hauptsächlich eine höhere variable Disposition im Herbst und Winter sowie teilweise verstärkte Trigger im Frühling.

Die aggregierten Resultate zeigen ein vergleichbares Bild (Karte 57 und Karte 58). Im Extremszenario weisen mehr Flächen im Mittelland und im Jura eine Zunahme der Frequenz auf. Ausserdem weisen grössere Gebiete in den westlichen Voralpen, im Glarnerland, im Vorderrheintal und im Unterengadin eine starke Zunahme auf.

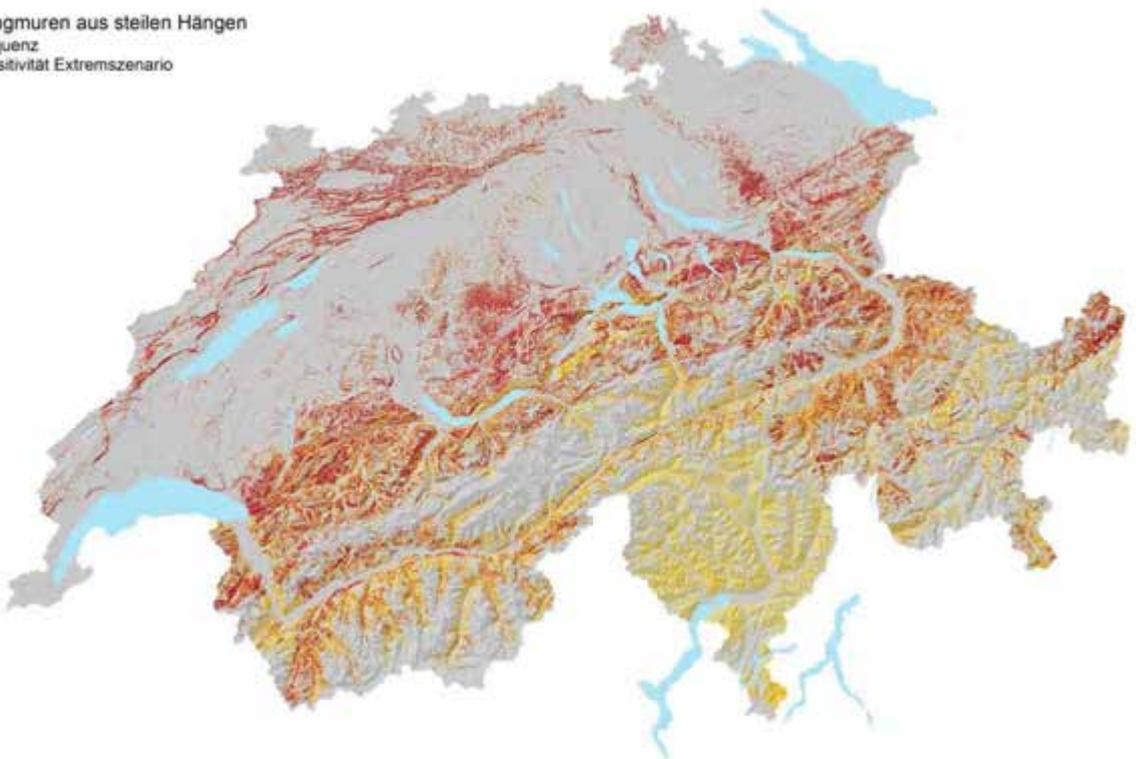
6.2 Zwischenresultate

Hangmuren aus steilen Hängen
 Frequenz
 Sensitivität mittleres Szenario



Karte 55

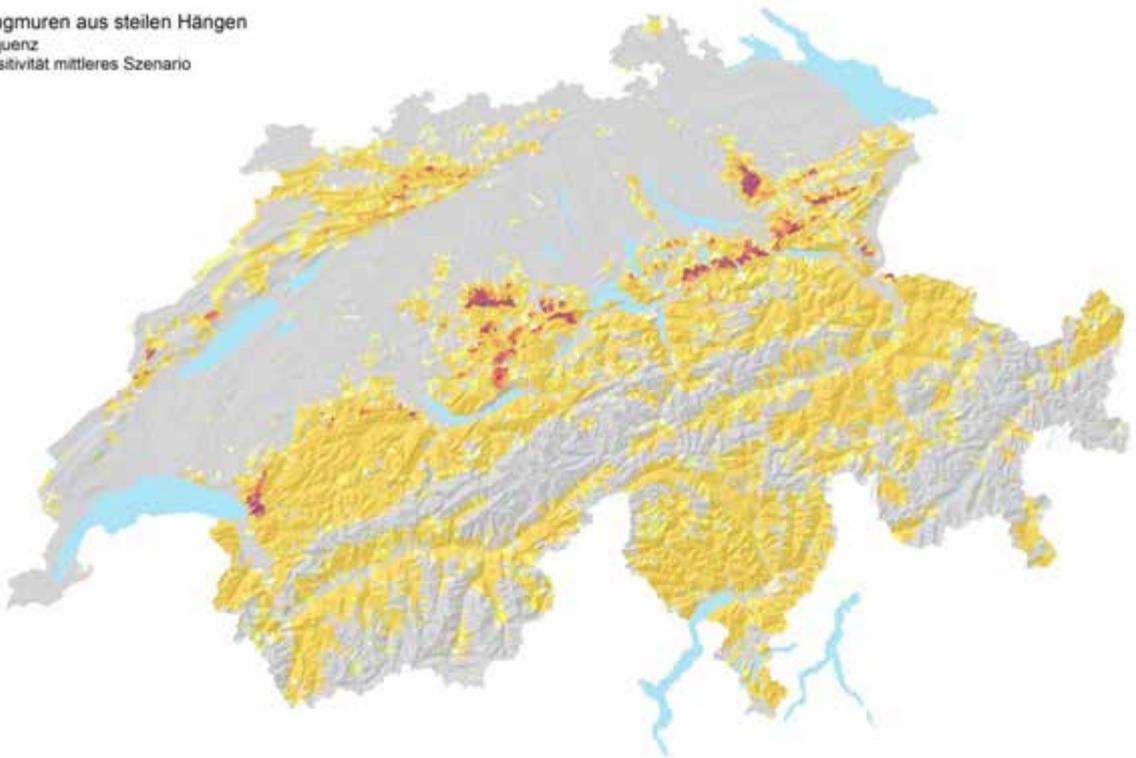
Hangmuren aus steilen Hängen
 Frequenz
 Sensitivität Extremszenario



Karte 56

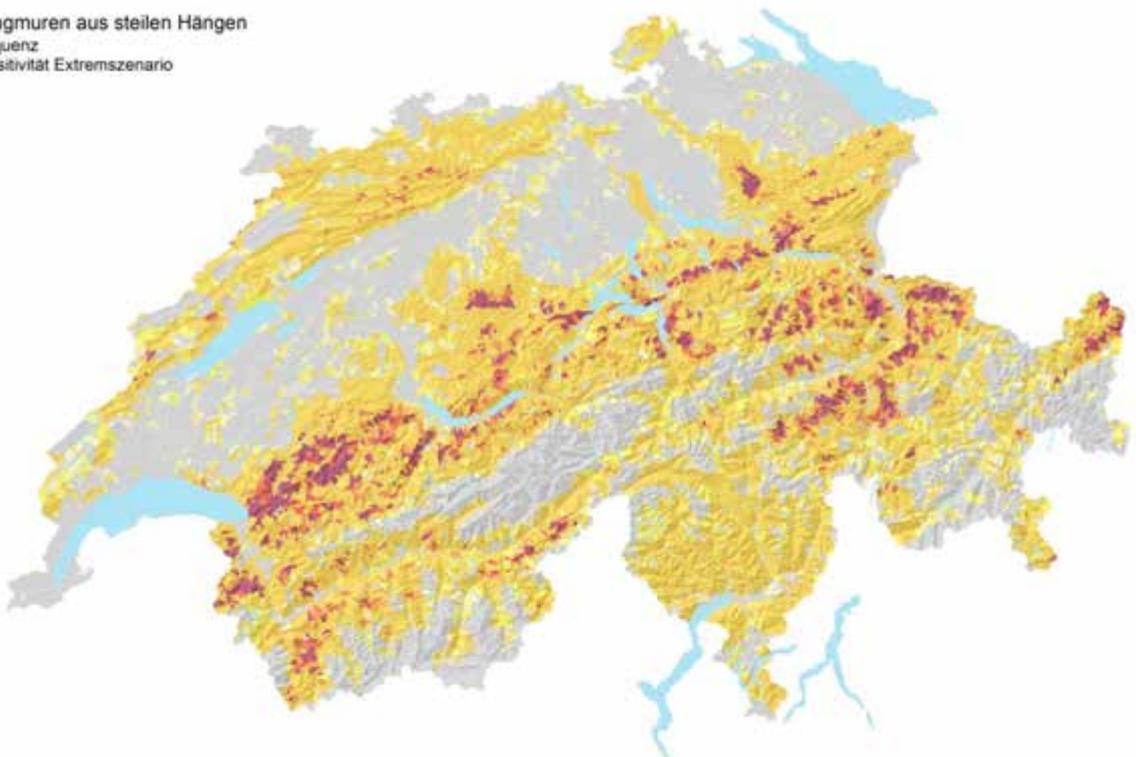
6.3 Aggregierte Resultate

Hangmuren aus steilen Hängen
 Frequenz
 Sensitivität mittleres Szenario



Karte 57

Hangmuren aus steilen Hängen
 Frequenz
 Sensitivität Extremszenario



Karte 58

7 Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden

7.1 Erläuterung

Die Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden sind primär ein Phänomen der Voralpen, Alpen und der höher gelegenen Gebiete in der Südschweiz. Dabei spielt die Permafrostdegradation eine wichtige Rolle. Im mittleren Szenario sind deutlich weniger Flächen betroffen als im Extremszenario (Karte 59 und Karte 60). Ausserdem weisen im Extremszenario grössere Flächen eine starke Zunahme auf. Besonders ausgeprägt ist dies im Wallis und in Graubünden.

Als zweite wichtige Einflussgrösse gilt der Wasserzufluss, da dieser die Schutthalden auf-sättigen und so destabilisieren kann. Dazu sind grössere Wassermengen notwendig. Deshalb sind hier länger andauernde Niederschläge und die Schneeschmelze relevant. Für die Auslösung sind jedoch intensivere Niederschläge notwendig. Karte 61 und Karte 62 zeigen die kombinierte Bewertung des Wasserzuflusses im Hinblick auf die Sättigung und die Triggerwirkung. Im mittleren Szenario ist in den höher gelegenen Gebieten der Alpen, der Voralpen und der Südschweiz mit einer Zunahme zu rechnen, in den tieferen Lagen der Südschweiz mit einer Abnahme. Im Extremszenario ist mit Ausnahme der Südschweiz von einer Zunahme, teilweise von einer starken Zunahme auszugehen. Für die Südschweiz resultiert nur für die höchsten Lagen eine Zunahme, in tieferen Lagen dafür eine Abnahme.

Die Frequenz von Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden ist vor allem vom Wasserzufluss abhängig. Dies zeigt auch die entsprechende Karte für das mittlere Szenario (Karte 63). Im Extremszenario weisen weniger Gebiete eine starke Zunahme auf als beim Wasserangebot (Karte 64).

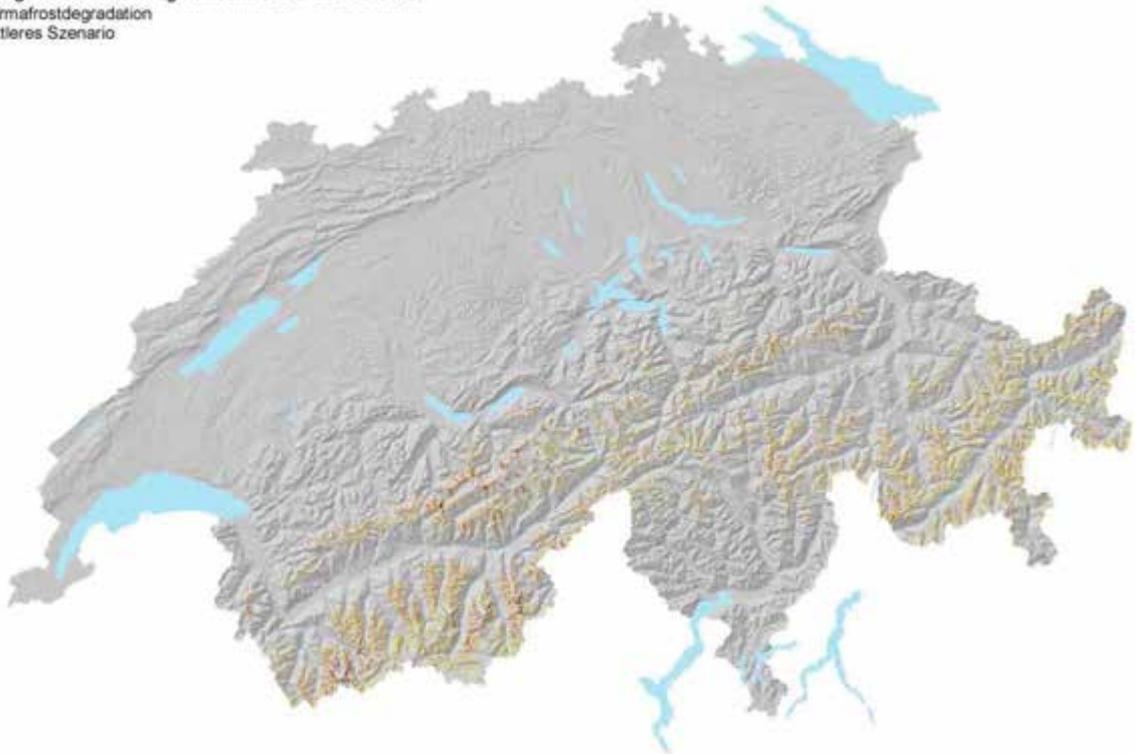
Für die Magnitude ist die Permafrostdegradation der entscheidende Faktor. Dies zeigt sich vor allem beim mittleren Szenario (Karte 65). Im Extremszenario weisen grössere Gebiete eine Abnahme auf (Karte 66). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einer Zunahme der Frequenz bei geringer Veränderung in der Permafrostdegradation die Menge an aufbereitetem Lockermaterial und damit die Magnitude zurückgehen.

Die aggregierten Resultate zeigen bei der Frequenz im mittleren Szenario eine Zunahme im höher gelegenen Voralpengebiet, in den Alpen und in der Südschweiz (Karte 67). Eine Abnahme zeigen nur vereinzelte Gebiete in der Südschweiz. Im Extremszenario weisen vor allem im Wallis und in Graubünden mehrere Gebiete eine starke Zunahme der Frequenz auf (Karte 68). In der Südschweiz resultiert für die meisten Gebiete eine Abnahme.

Bei der Magnitude weisen im mittleren Szenario nur wenige Gebiete eine Veränderung auf (Karte 69). Im Extremszenario resultiert ein sehr uneinheitliches Bild (Karte 70). In den nördlichen Alpen weisen grössere Gebiete eine Abnahme auf. In den Walliser Alpen und in Graubünden gibt es ebenfalls Gebiete mit einer Abnahme, aber auch recht viele Gebiete mit einer Zunahme, teilweise auch mit einer starken Zunahme.

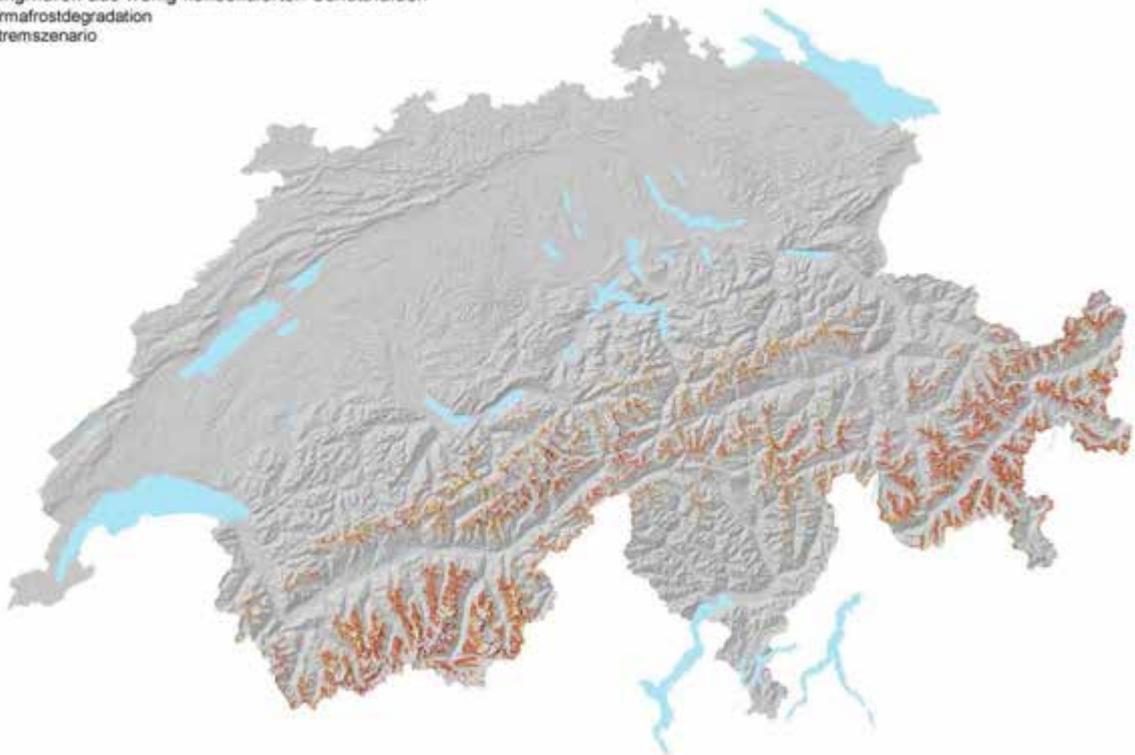
7.2 Zwischenresultate

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Permafrostdegradation
Mittleres Szenario



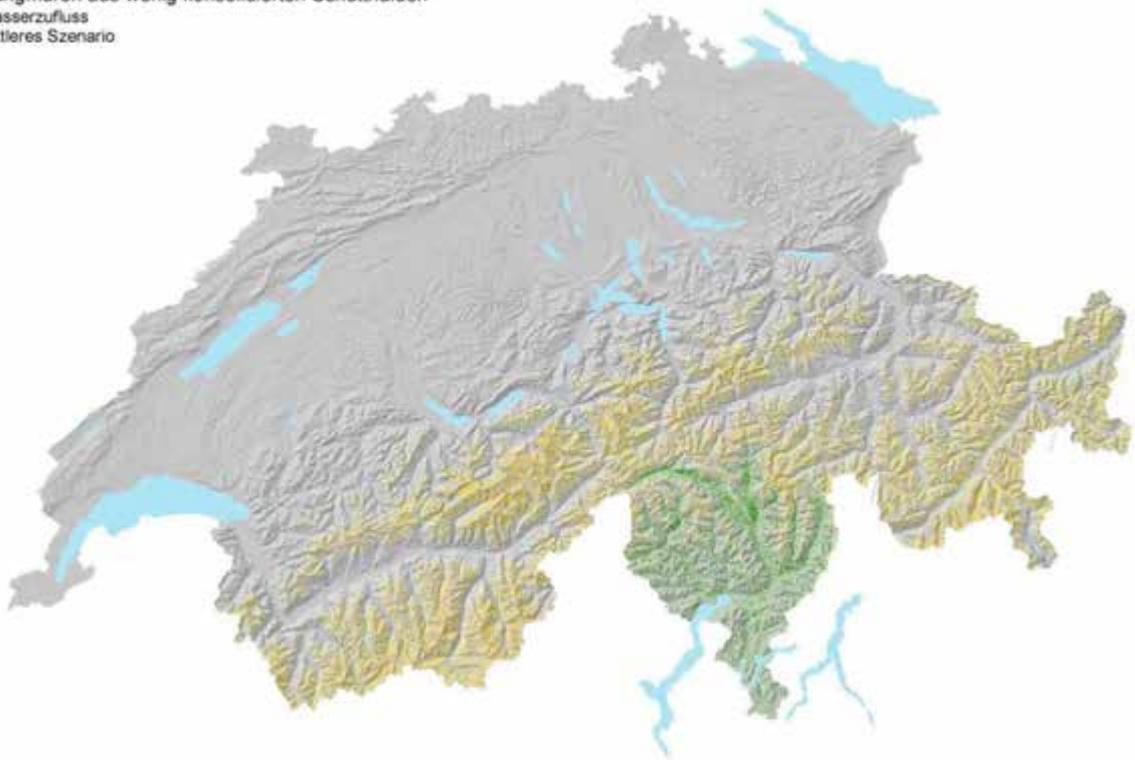
Karte 59

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Permafrostdegradation
Extremeszenario



Karte 60

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Wasserzufluss
Mittleres Szenario



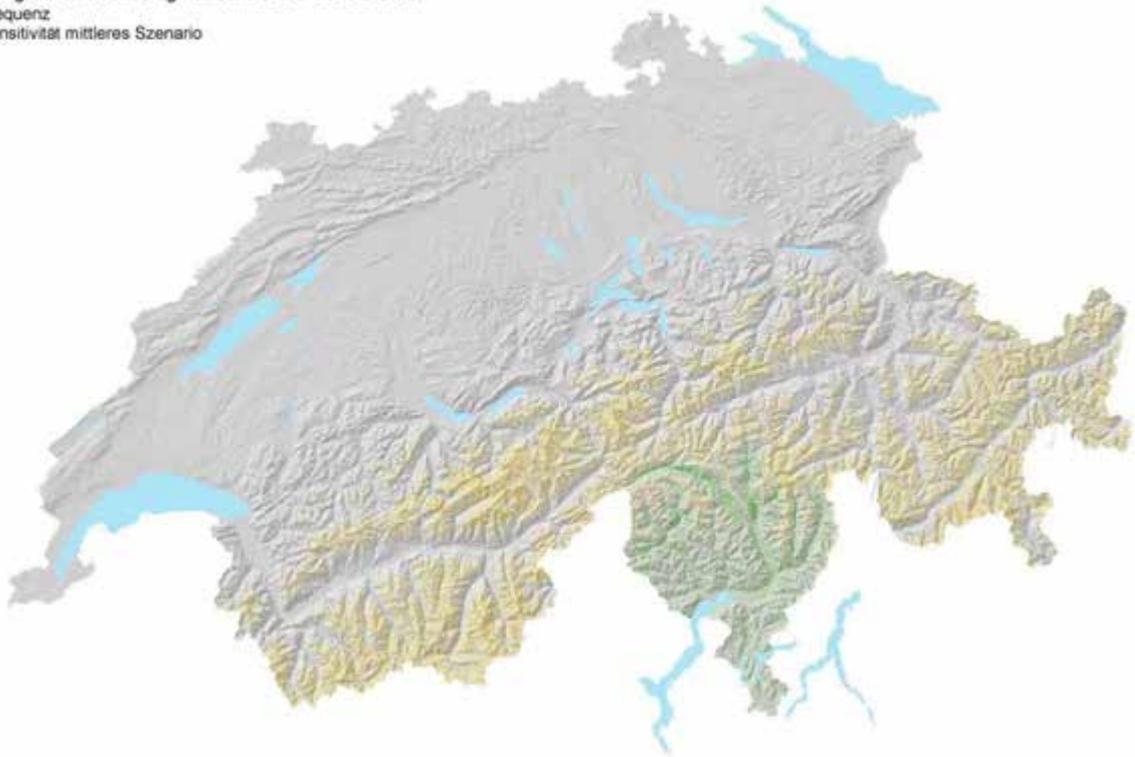
Karte 61

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Wasserzufluss
Extremeszenario



Karte 62

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Frequenz
Sensitivität mittleres Szenario



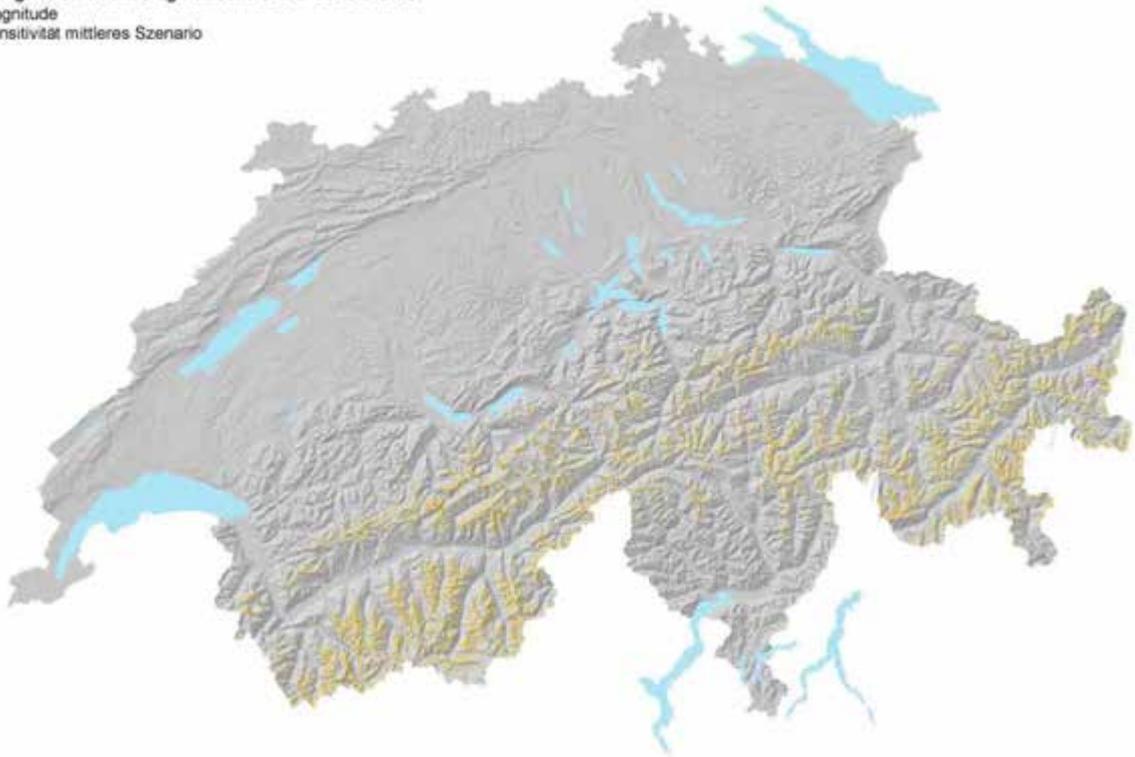
Karte 63

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Frequenz
Sensitivität Extremszenario



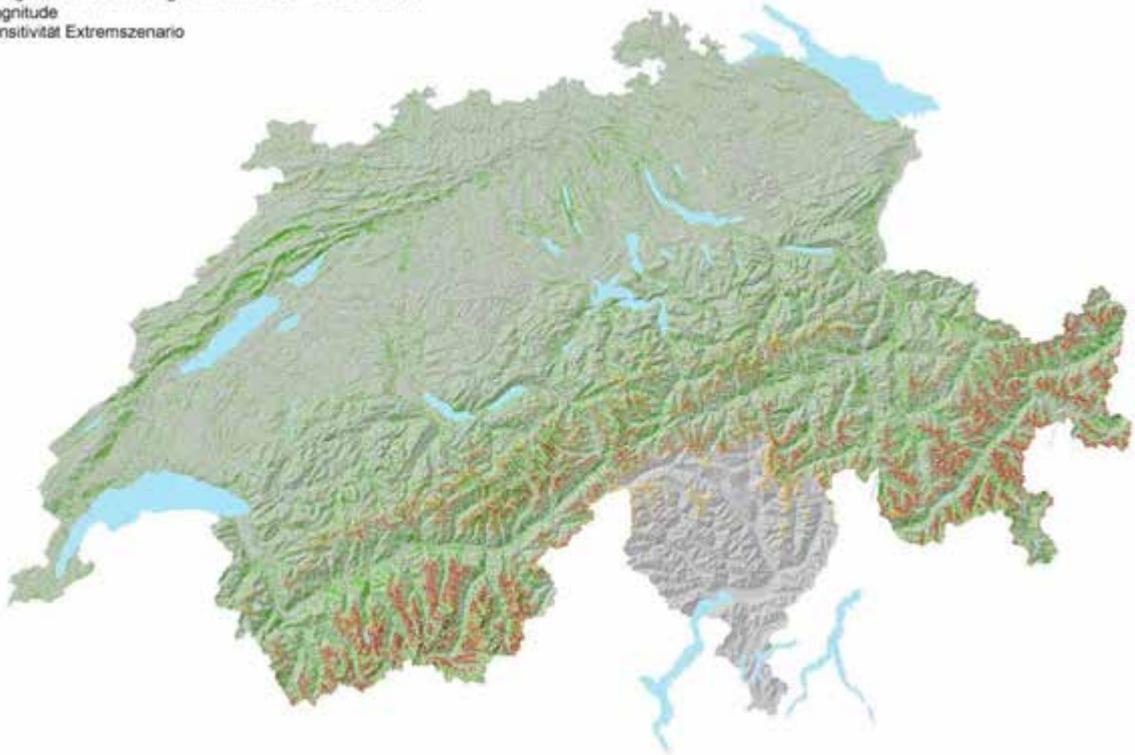
Karte 64

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Magnitude
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 65

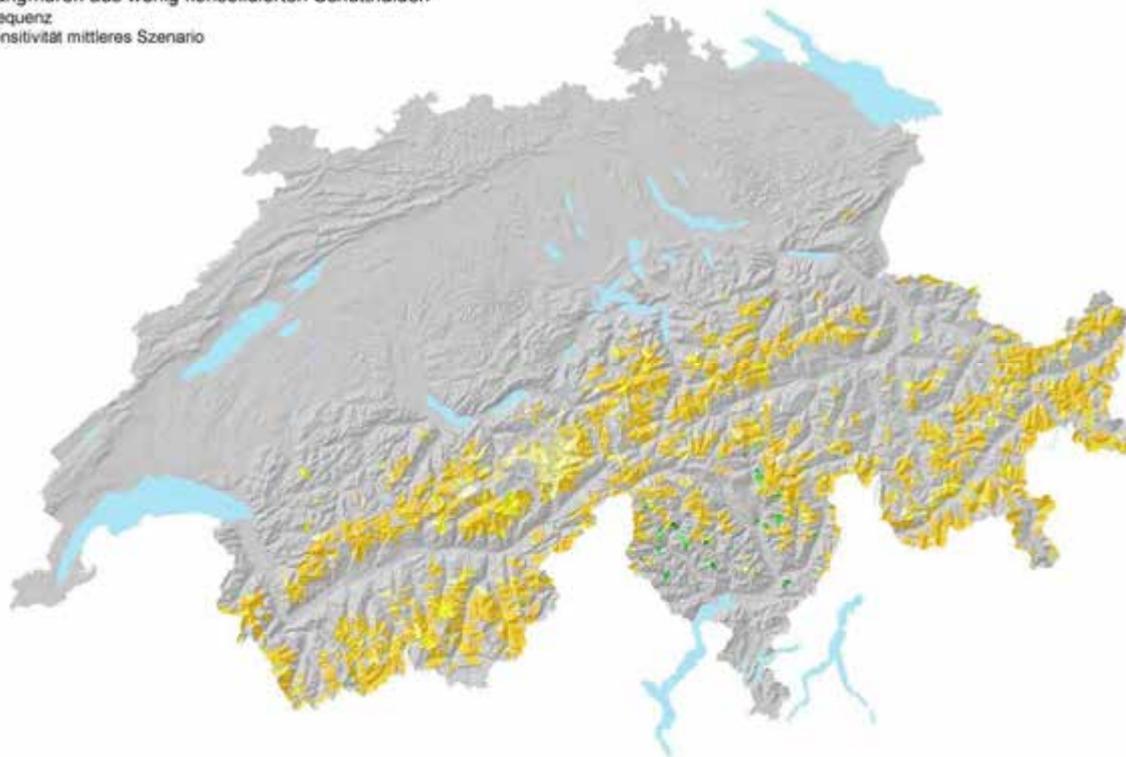
Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
Magnitude
Sensitivität Extremszenario



Karte 66

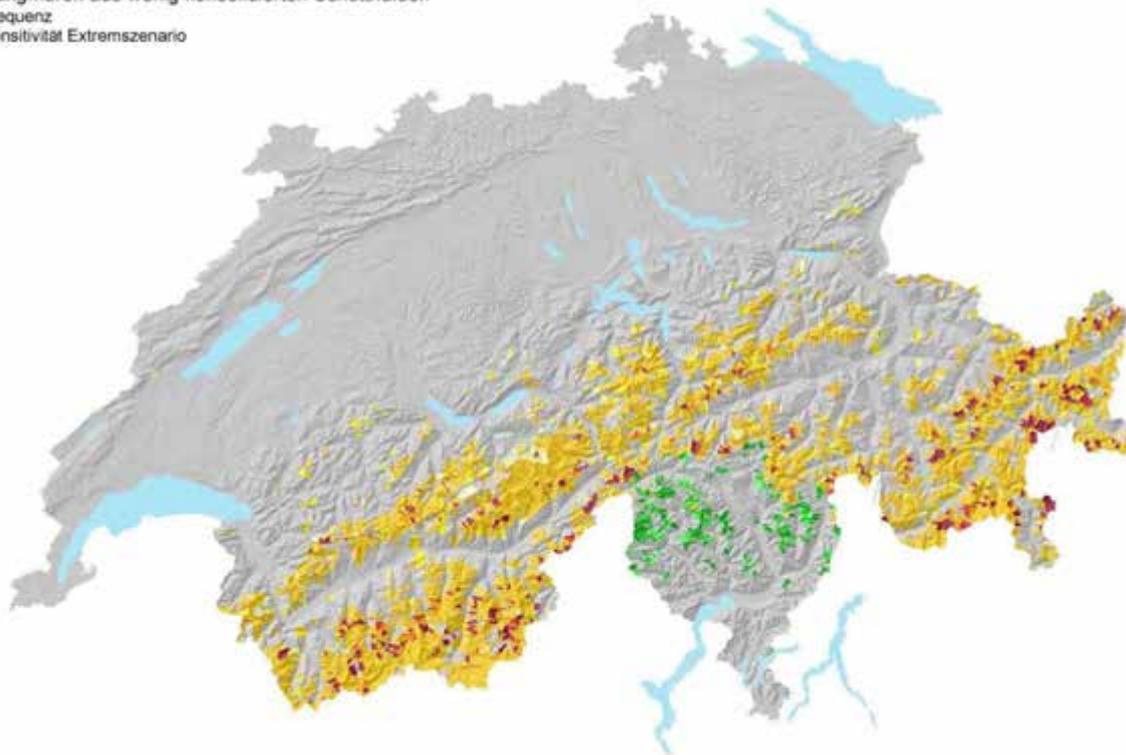
7.3 Aggregierte Resultate

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
 Frequenz
 Sensitivität mittleres Szenario



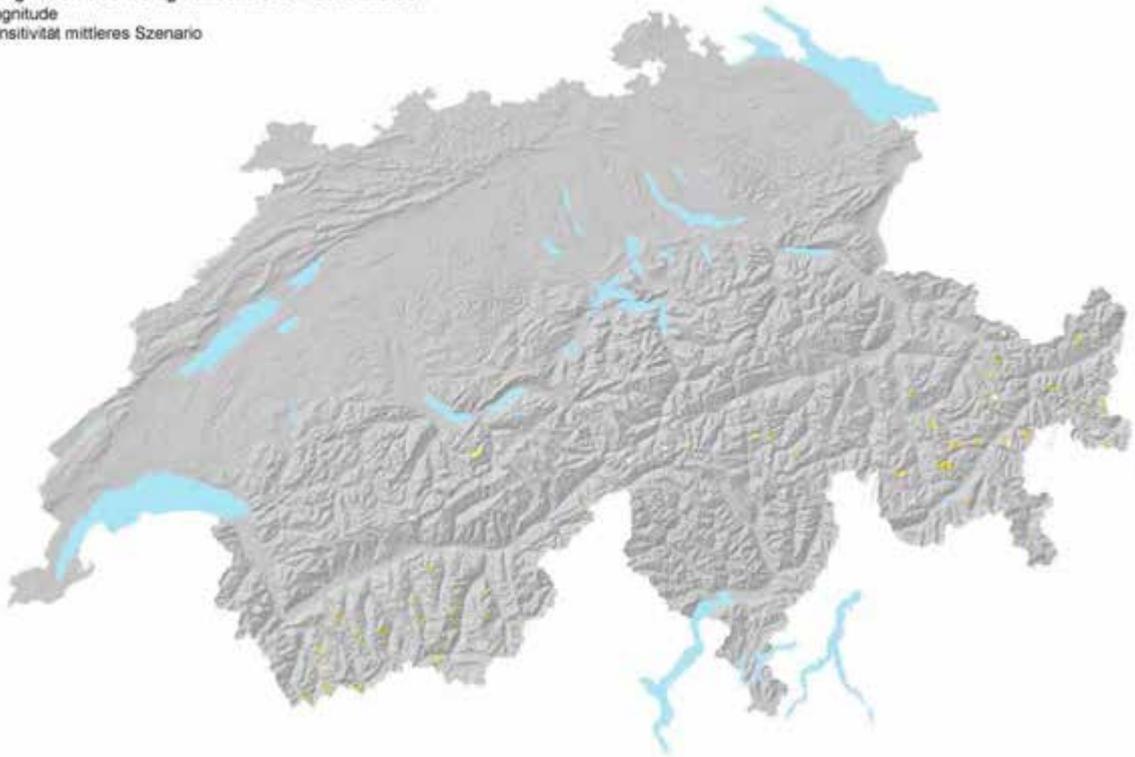
Karte 67

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
 Frequenz
 Sensitivität Extremszenario



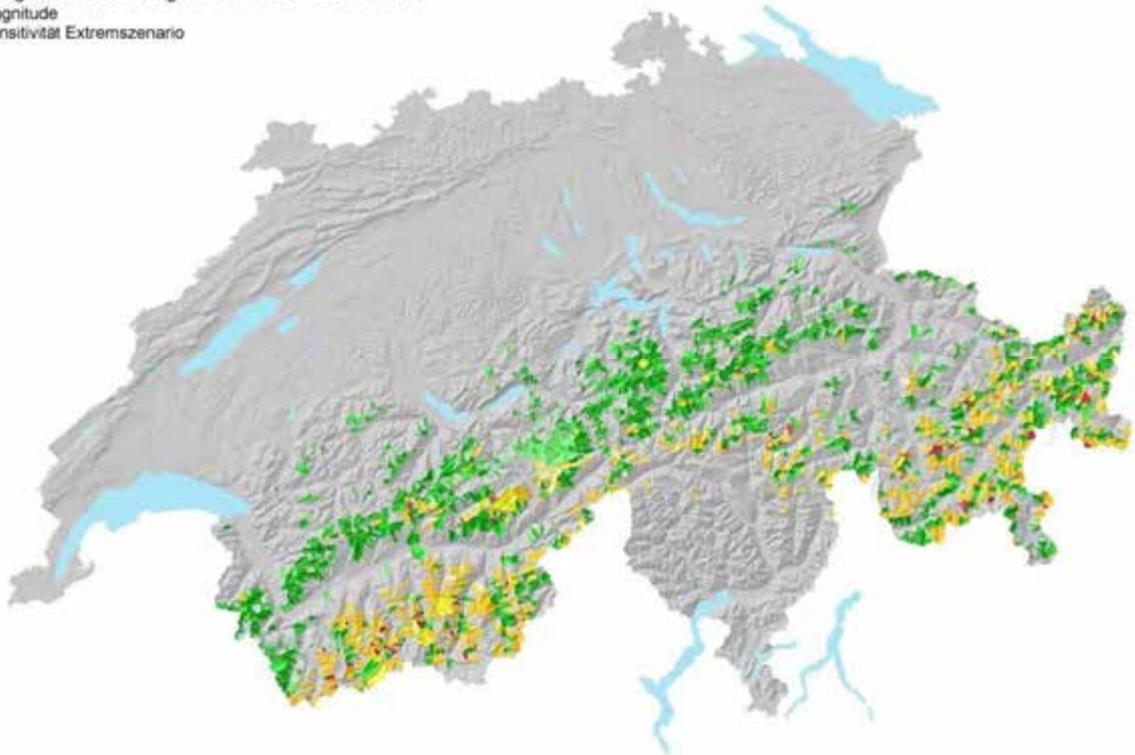
Karte 68

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
 Magnitude
 Sensitivität mittleres Szenario



Karte 69

Hangmuren aus wenig konsolidierten Schutthalden
 Magnitude
 Sensitivität Extremszenario



Karte 70

8 Wildbach

8.1 Erläuterung

Für die Bewertung der Geschiebelieferung aus Jungschuttgebieten wurden die Bewertungen der verschiedenen Hangprozesse aggregiert. Im mittleren Szenario weisen vor allem die hochgelegenen Gebiete in den Alpen, aber auch die Flysch- und Molasse-Gebiete in den Voralpen eine starke Zunahme auf (Karte 71). In den übrigen Gebieten der Voralpen, des Juras und der Südschweiz resultiert mehrheitlich eine Zunahme der Geschiebelieferung aus Jungschuttgebieten. Im Extremszenario weisen noch vermehrt Gebiete in den Voralpen, im Glarnerland und im Vorderrheintal eine starke Zunahme auf (Karte 72). Im Jura resultiert für grössere Gebiete eine Zunahme. Dies gilt auch für einige Gebiete im Mittelland.

Neben der Sensitivität der Geschiebelieferung wird die Sensitivität der auslösenden Ereignisse bewertet. Diese zeigt für das mittlere Szenario (Karte 73) für die Alpen, Voralpen und den grössten Teil der Südschweiz einheitlich eine Zunahme. Für die höher liegenden Gebiete des Mittellandes und des Juras resultiert eine starke Zunahme, für die tiefer liegenden Gebiete eine Zunahme. Im Extremszenario ist fast für die ganze Schweiz eine starke Zunahme der auslösenden Ereignisse zu verzeichnen (Karte 74).

Mittels Kombination der Bewertungen Geschiebelieferung und auslösende Ereignisse wird die Frequenz von kleinen, grossen und sehr grossen Wildbachereignissen bewertet. Für kleine Ereignisse resultiert im mittleren Szenario für die ganze Schweiz mit Ausnahme kleiner Gebiete im Tessin eine Zunahme (Karte 75). Für die höhergelegenen Gebiete in den Alpen, aber auch für einige Flysch- und Molassegebiete resultiert sogar eine starke Zunahme. Im Extremszenario trifft eine starke Zunahme der Frequenz für grosse Teile der Alpen, Voralpen, der Südschweiz und des Juras zu (Karte 76). In beiden Szenarien ist die Zunahme hauptsächlich auf die Zunahme der Frequenz von auslösenden Ereignissen zurückzuführen.

Bei der Frequenz von grossen Ereignissen ergibt sich ein differenzierteres Bild (Karte 77). In den hochgelegenen alpinen Gebieten ergibt die Bewertung eine starke Zunahme. In den tiefer liegenden Gebieten der Alpen, ohne die Täler, und in den Voralpen resultiert eine Zunahme. In westlichen und zentralen Teilen des Juras und in den höher gelegenen Gebieten des Mittellandes resultiert eine Abnahme. Für die Täler in den Alpen und für die tieferen Lagen des Mittellandes bleibt die Situation unverändert.

Im Extremszenario weisen wegen der höheren Frequenz von auslösenden Ereignissen nur noch wenige Gebiete eine starke Zunahme auf (Karte 78), da die Geschiebelieferung in Jungschuttgebieten begrenzt ist. Weite Teile der Alpen und Voralpen, etwas weniger ausgeprägt im Jura und in der Südschweiz, weisen eine Zunahme auf. Im Mittelland kommt es bei der Frequenz von grossen Ereignissen mehrheitlich zu einer Abnahme.

Die Frequenz von sehr grossen Ereignissen nimmt im mittleren Szenario im Jura und in den höhergelegenen Gebieten des Mittellandes ab (Karte 79). Für die höhergelegenen Gebiete der Alpen und der Südschweiz resultiert eine Zunahme. In den tiefer gelegenen Gebieten der Alpen, der Südschweiz, in den Voralpen und im tieferen Mittelland bleibt die Situation weitgehend unverändert.

Im Extremszenario resultiert für das Mittelland und weite Teile der Südschweiz eine Abnahme (Karte 80). Auch in den tiefer gelegenen Gebieten der Alpen und Voralpen kommt es zu einer Abnahme, in den höher gelegenen Gebieten jedoch zu einer Zunahme.

Eine weitere Beurteilungsebene bildet die Geschiebelieferung aus Altschuttgebieten. Diese beinhaltet einerseits die Gerinneerosion in Altschuttgebieten, andererseits die Geschiebelieferung aus Gletscherrückzugsgebieten. Die Bedeutung der Gerinneerosion wird in einem ersten Schritt unabhängig von den Klimaszenarien vorgenommen. Die Bewertung ergibt für das Mittelland, den Jura und die stark vergletscherten Gebiete in den Alpen

eine kleine Bedeutung (Karte 81). In den Voralpen und den niedrigeren Lagen der Alpen resultiert eine grosse, teilweise auch eine sehr grosse Bedeutung der Gerinneerosion.

Die Bewertung der Geschiebelieferung aus Gletschervorfeldern beinhaltet in einem ersten Schritt eine Bewertung des Geschiebepotenzials in den neuen Gletscherrückzugsgebieten aufgrund des Erosions/Sedimentations-Index (IES). Ein grosses Geschiebepotenzial entsteht bei den eher kleineren Gletschern mit vielen Felswänden oberhalb. Solche Gebiete kommen vor allem in Graubünden, im Glarner- und Urnerland, im Goms und in den westlichen Berner Alpen vor (Karte 82). Im Bereich der grossen Talgletscher im Wallis und in den Berner Alpen ist das Geschiebepotenzial geringer.

Im zweiten Bewertungsschritt wird der Anteil der Gletscherrückzugsgebiete an den Einzugsgebieten in die Bewertung mit einbezogen. Hier gilt das Gegenteil der obenstehenden Bewertung. Die stark vergletscherten Gebiete der Berner und Walliser Alpen, aber auch das Oberengadin und das Bergell, weisen grosse Anteile von Gletscherrückzugsgebieten auf, sowohl im mittleren Szenario (Karte 83), als auch noch verstärkt im Extremszenario (Karte 84).

Die Kombination der beiden Bewertungen ergibt für das mittlere Szenario für die meisten Gebiete eine Zunahme, für einige Gebiete eine starke Zunahme (Karte 85). Im Extremszenario weisen deutlich mehr Gebiete eine starke Zunahme auf, wobei kein klares räumliches Muster zum Vorschein kommt (Karte 86).

Die Kombination der Bedeutung Gerinneerosion und der Geschiebelieferung aus Gletscherrückzugsgebieten ergibt das Geschiebepotenzial Altschutt. Dieses ist für das mittlere Szenario in Karte 87, für das Extremszenario in Karte 88 dargestellt. Im Mittelland und Jura ist in beiden Szenarien das Potenzial klein.

Wie beim Jungschutt werden in einem weiteren Schritt die Frequenzen für kleine, grosse und sehr grosse Ereignisse aus Altschuttgebieten bewertet. Dazu wird das Geschiebepotenzial mit den auslösenden Ereignissen kombiniert. In Altschuttgebieten gilt, dass eine Zunahme der auslösenden Ereignisse auch zu einer Zunahme der Ereignisfrequenz in allen Ereignisgrössen führt, da ein praktisch unbegrenztes Geschiebepotenzial zur Verfügung steht.

Bei den kleinen Ereignissen ist im mittleren Szenario in weiten Teilen der Voralpen und Alpen sowie in der Südschweiz mit einer Zunahme, häufiger noch mit einer starken Zunahme zu rechnen (Karte 89). Für das Extremszenario resultiert fast nur noch eine starke Zunahme (Karte 90), dies aufgrund der starken Zunahme bei den auslösenden Ereignissen. In beiden Szenarien resultiert für das Mittelland und den Jura nur in wenigen Gebieten eine Veränderung.

Bei den grossen Ereignissen weist der Grossteil der Gebiete in den Alpen und Voralpen im mittleren Szenario eine Zunahme auf (Karte 91). Am Nordrand der Alpen gibt es vermehrt Gebiete mit einer starken Zunahme. Im Extremszenario fallen wesentlich mehr Gebiete in die Stufe mit einer starken Zunahme (Karte 92).

Bei den sehr grossen Ereignissen ergibt die Bewertung für das mittlere Szenario nur noch für wenige Gebiete am Nordrand der Alpen eine starke Zunahme (Karte 93). Für die übrigen Gebiete resultiert eine Zunahme. Im Extremszenario resultieren wieder vermehrt Gebiete mit einer starken Zunahme, ohne dass aber ein räumliches Muster auszumachen wäre (Karte 94).

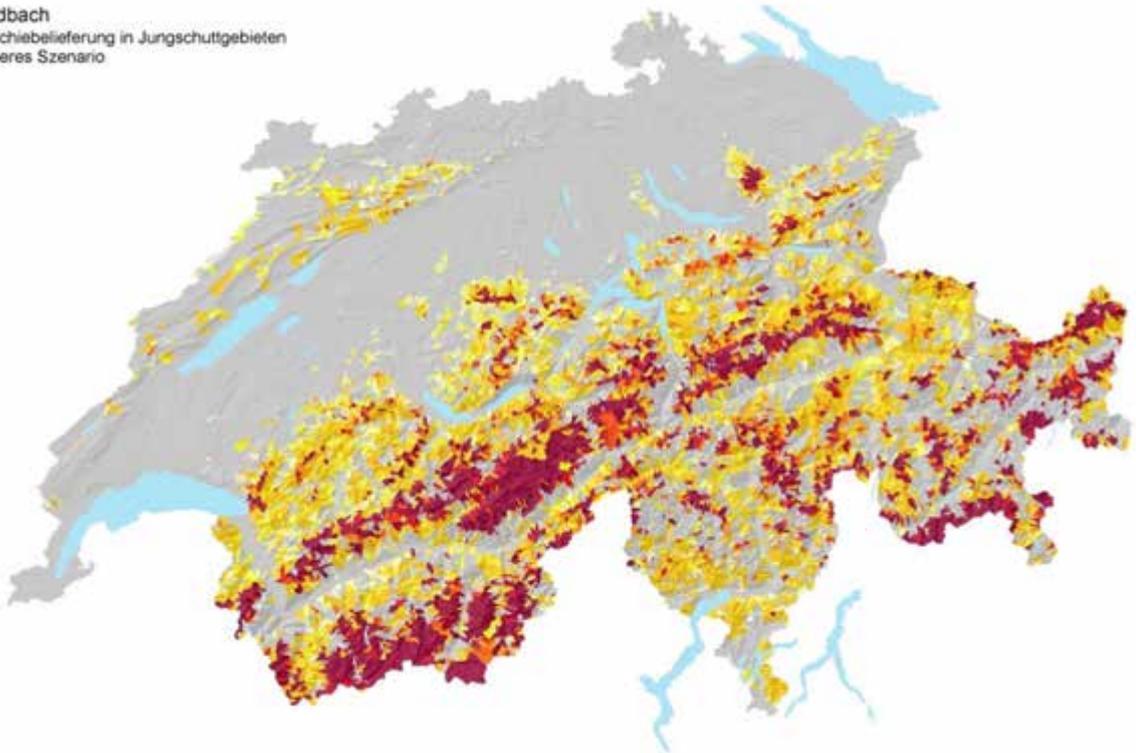
Für die Schlussbewertung werden die Bewertungen für die Jungschutt- und die Altschuttgebiete zusammengeführt. Dies ergibt für die kleinen Ereignisse sowohl für das mittlere Szenario (Karte 95) als auch für das Extremszenario (Karte 96) für weite Teile der Alpen, Voralpen und die Südschweiz eine starke Zunahme. Für das Mittelland resultiert eine Zunahme. Im Jura fallen im Extremszenario grössere Gebiete in die Kategorie mit einer starken Zunahme.

Für die grossen Ereignisse resultiert für die Voralpen und Alpen im mittleren Szenario in den höher gelegenen Gebieten eine starke Zunahme, in den tiefergelegenen eine Zunahme (Karte 97). Im Jura und anschliessend an die Ebenen des Mittellandes ist eine Abnahme zu verzeichnen. Im Mittelland selbst resultiert keine Veränderung. Im Extremszenario resultiert für das Mittelland eine Abnahme (Karte 98). Auch in der Südschweiz treten vermehrt Gebiete mit einer Abnahme auf. Demgegenüber weisen in den Alpen etwas mehr Gebiete die Stufe „starke Zunahme“ auf.

Bei den sehr grossen Ereignissen resultiert für das mittlere Szenario für den Jura und das höhere Mittelland eine Abnahme, für das Mittelland selbst keine Veränderung (Karte 99). In den Alpen und Voralpen fallen grosse Teile in die Stufe „Zunahme“, teilweise resultiert auch eine starke Zunahme. Im Extremszenario ergibt die Bewertung für das Mittelland und Teile des Juras und der Südschweiz eine Abnahme (Karte 100). In den Alpen und Voralpen reicht das Spektrum von einer Abnahme bis zu einer starken Zunahme, wobei die Abnahmen hauptsächlich in den tiefer gelegenen Gebieten vorkommen.

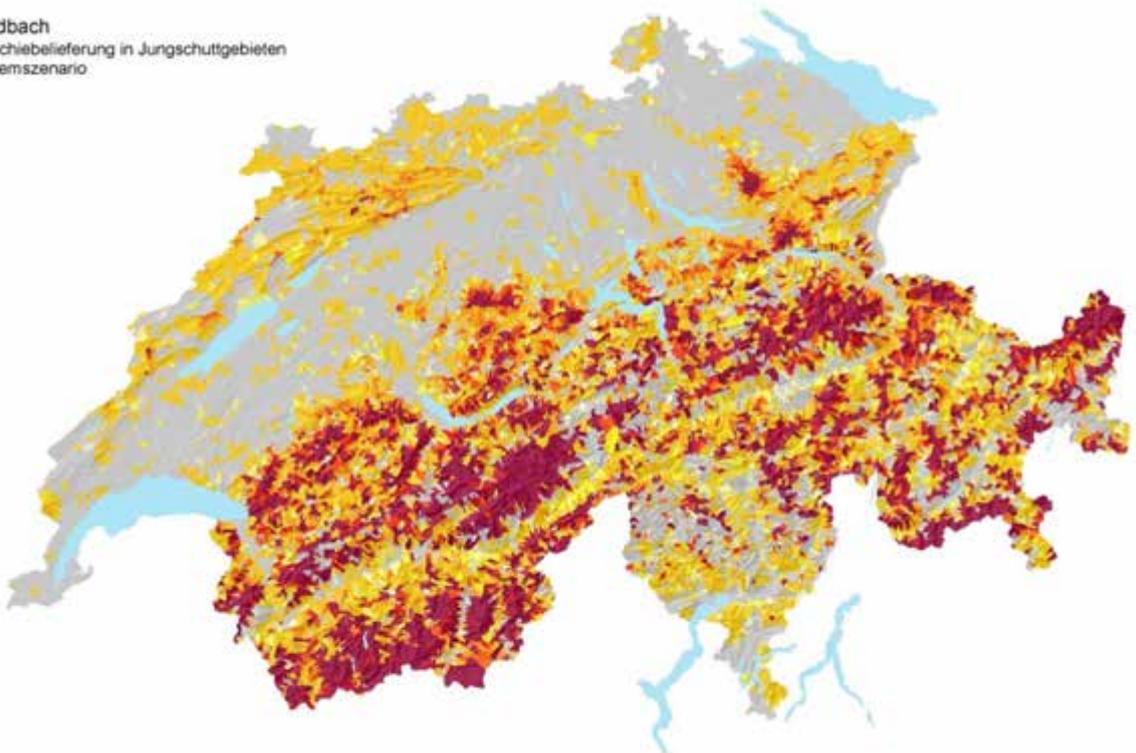
8.2 Zwischenresultate

Wildbach
 Geschiebelieferung in Jungschuttgebieten
 mittleres Szenario



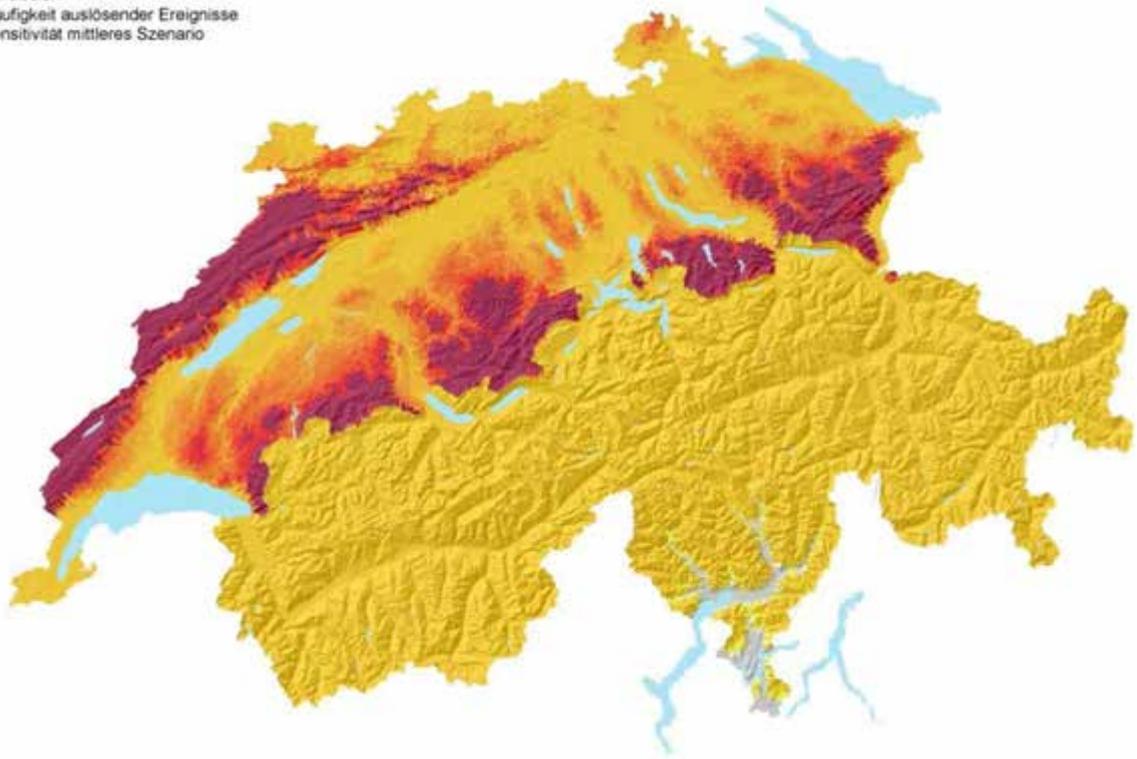
Karte 71

Wildbach
 Geschiebelieferung in Jungschuttgebieten
 Extremszenario



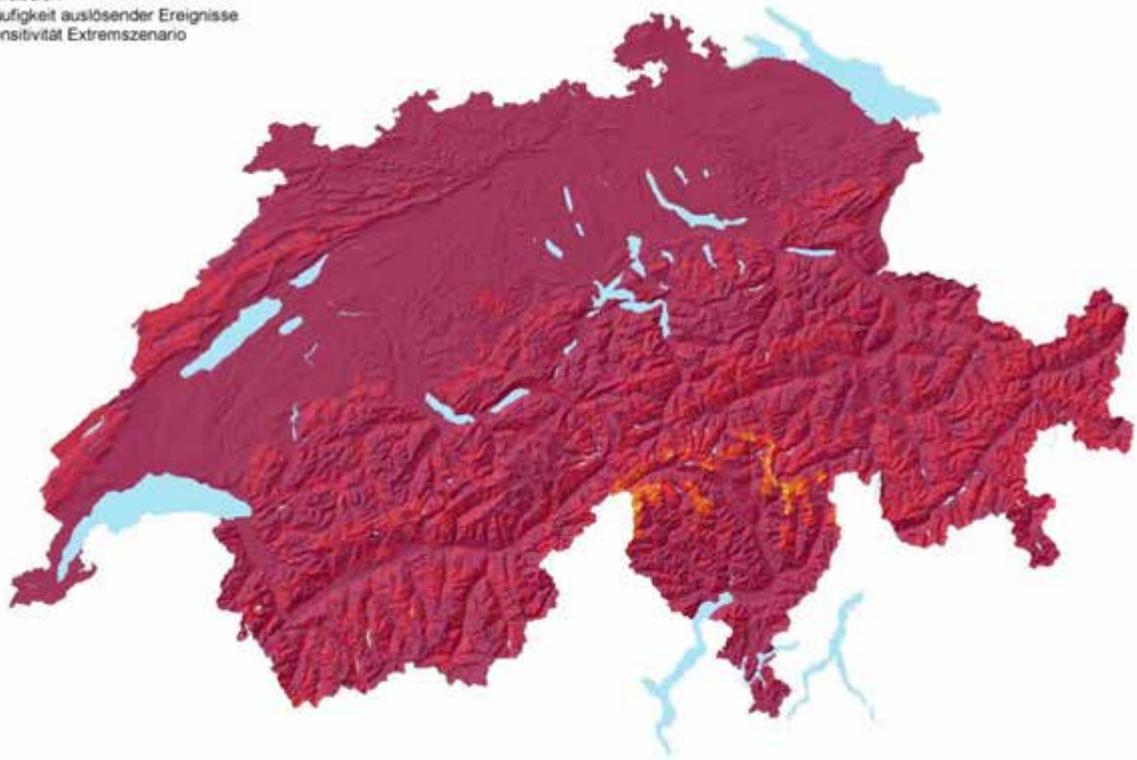
Karte 72

Wildbach
Häufigkeit auslösender Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



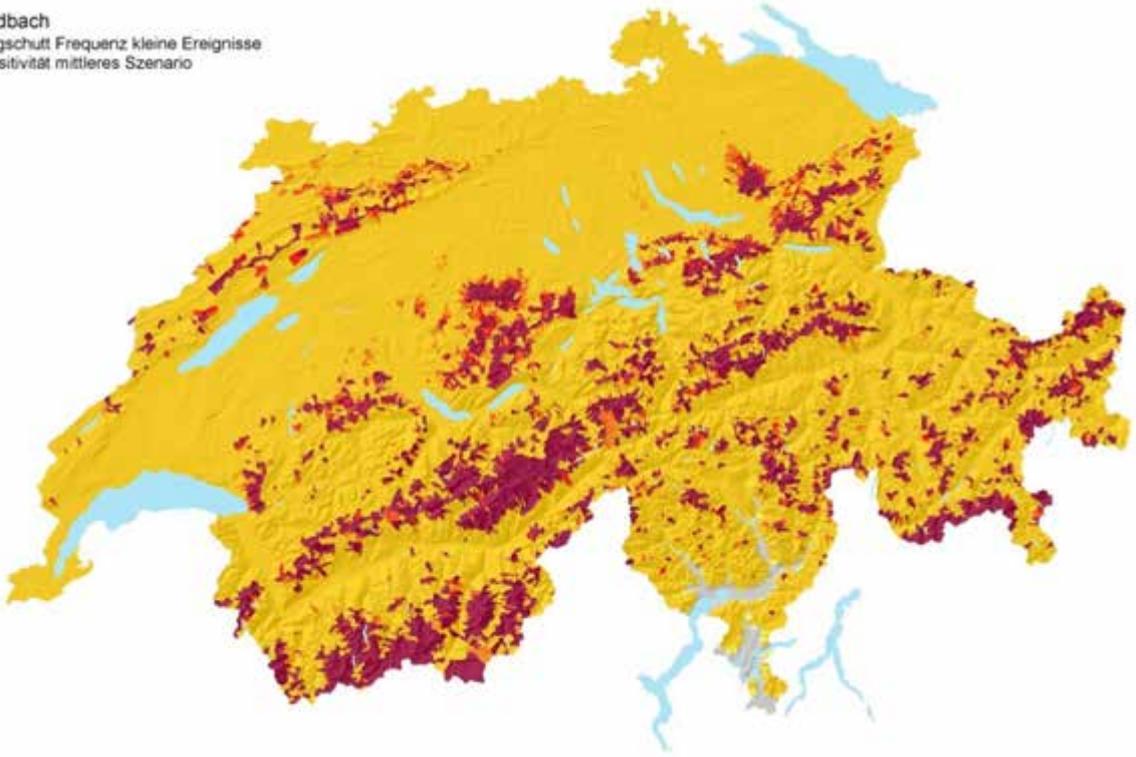
Karte 73

Wildbach
Häufigkeit auslösender Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



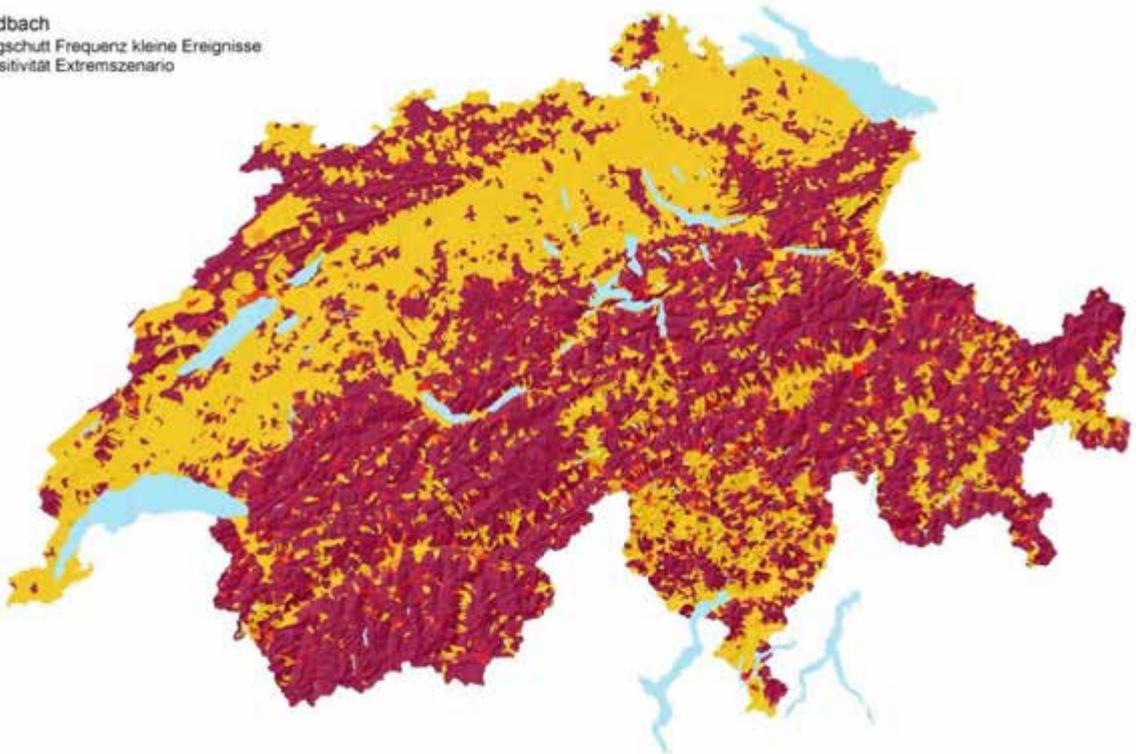
Karte 74

Wildbach
Jungschutt Frequenz kleine Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



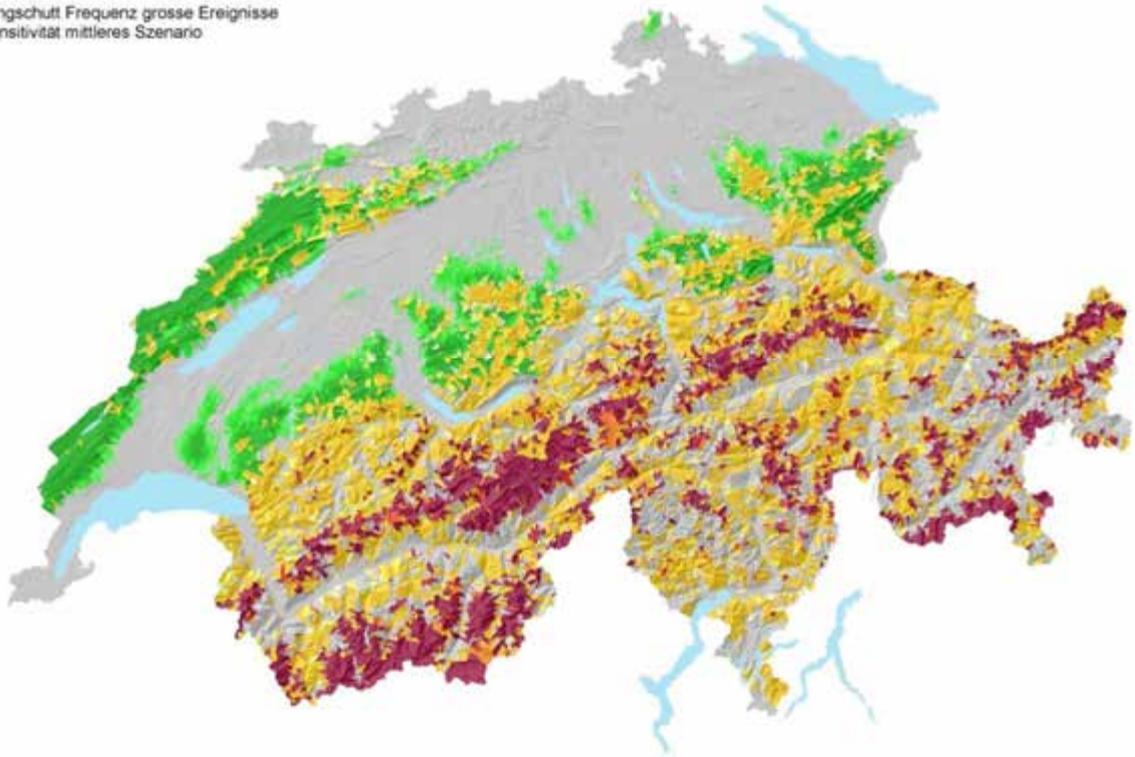
Karte 75

Wildbach
Jungschutt Frequenz kleine Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



Karte 76

Wildbach
Jungschutt Frequenz grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



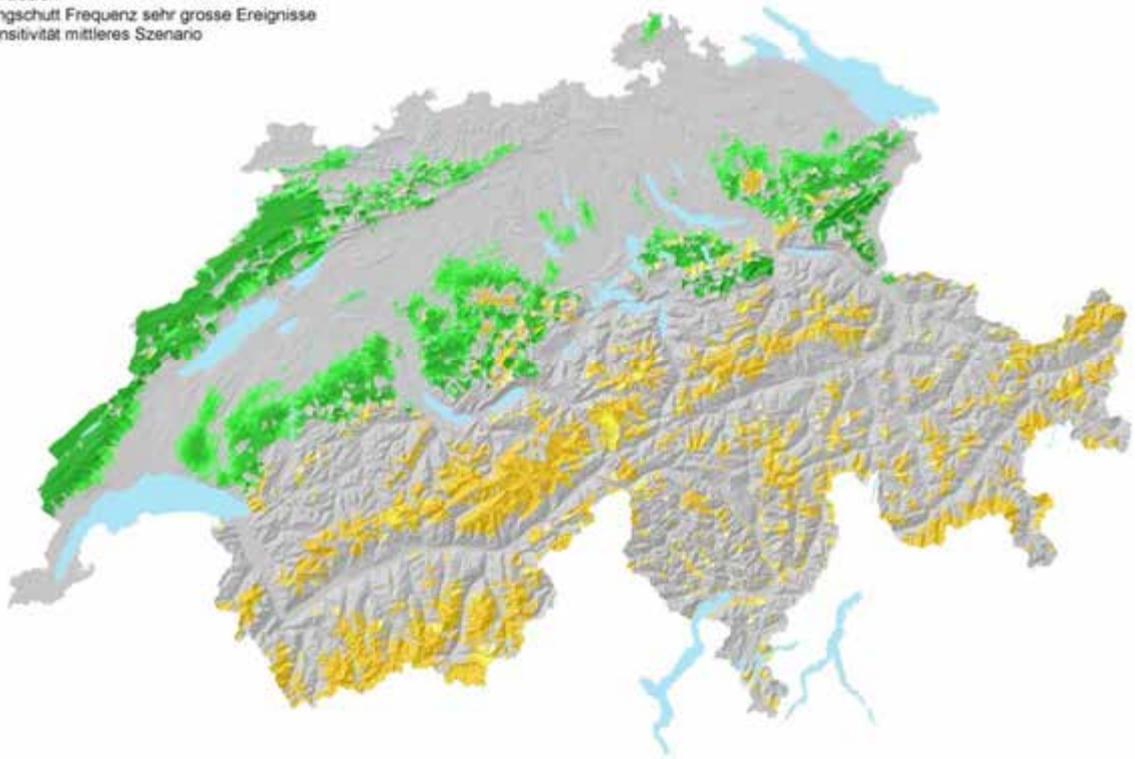
Karte 77

Wildbach
Jungschutt Frequenz grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



Karte 78

Wildbach
Jungschutt Frequenz sehr grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 79

Wildbach
Jungschutt Frequenz sehr grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



Karte 80

Legende zu Karte 81: Bedeutung Gerinneerosion

- klein
- mittel
- gross
- sehr gross

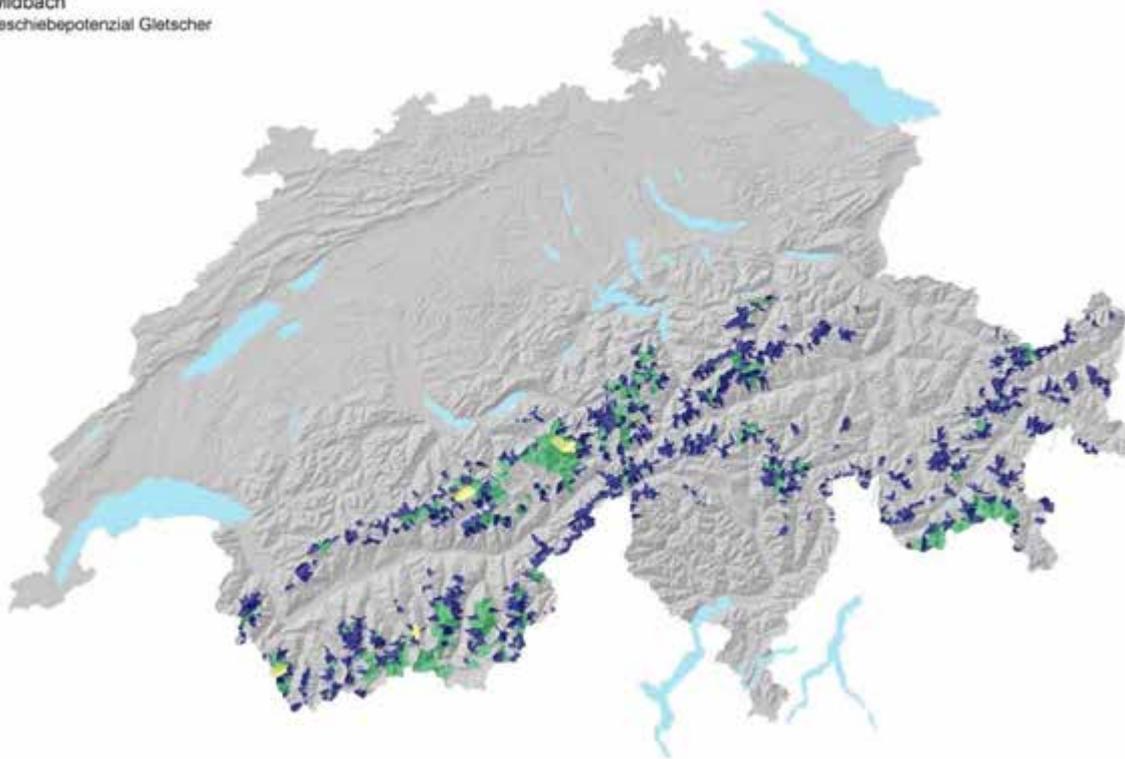
Wildbach
Bedeutung Gerinneerosion



Karte 81

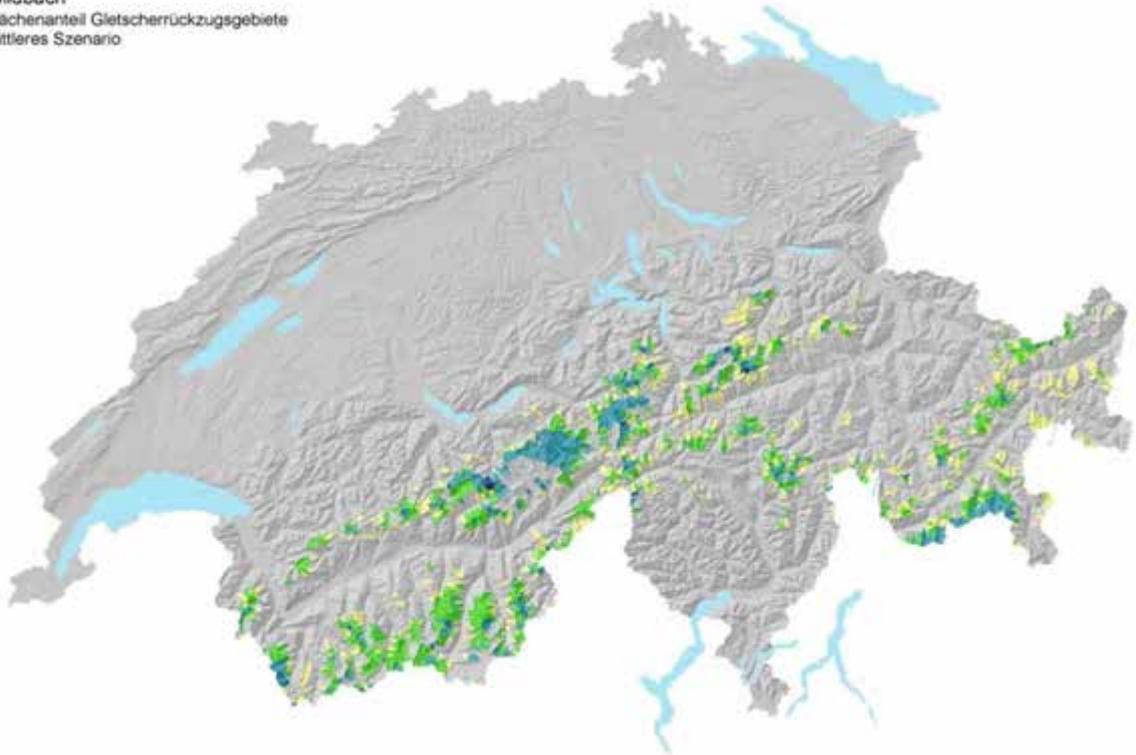
<p>Legende für Karte 82: Geschiebepotenzial Gletscher</p> <ul style="list-style-type: none"> kein Gletscherrückzug klein mittel gross 	<p>Legende für Karte 83 und Karte 84: Flächenanteil Gletscherrückzugsgebiete [%]</p> <ul style="list-style-type: none"> kein Gletscherrückzug 0 - 5 5 - 25 25 - 50 50 - 100
---	--

Wildbach
Geschiebepotenzial Gletscher



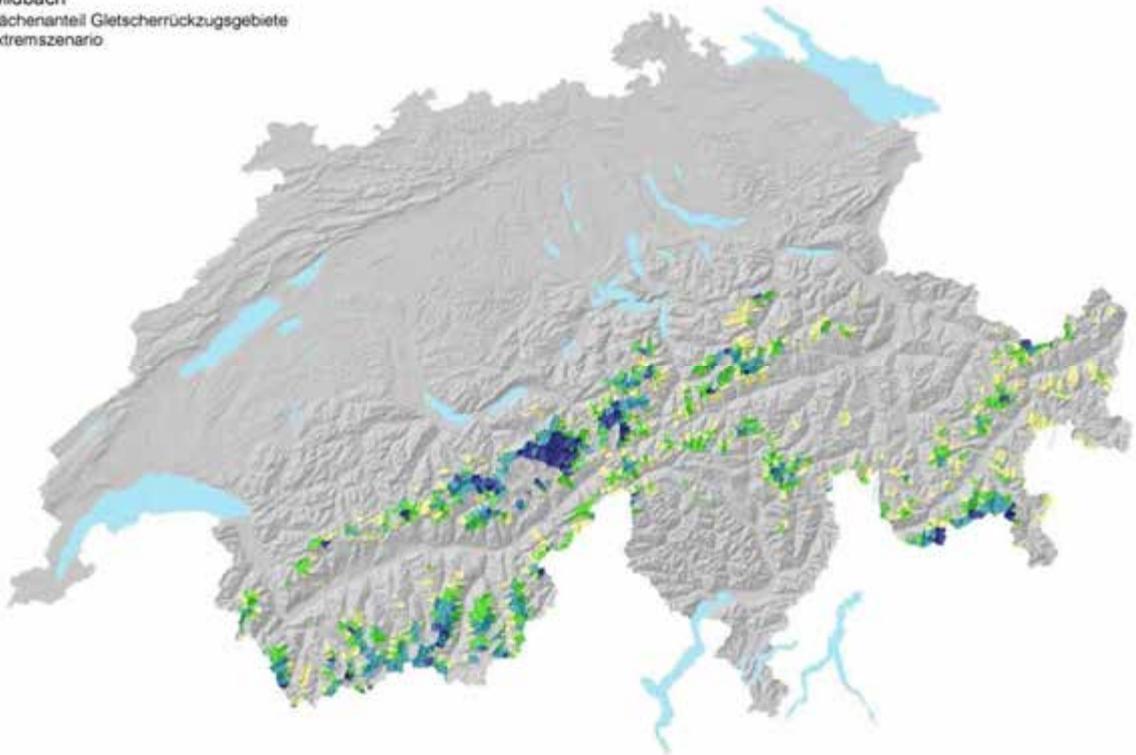
Karte 82

Wildbach
Flächenanteil Gletscherrückzugsgebiete
mittleres Szenario



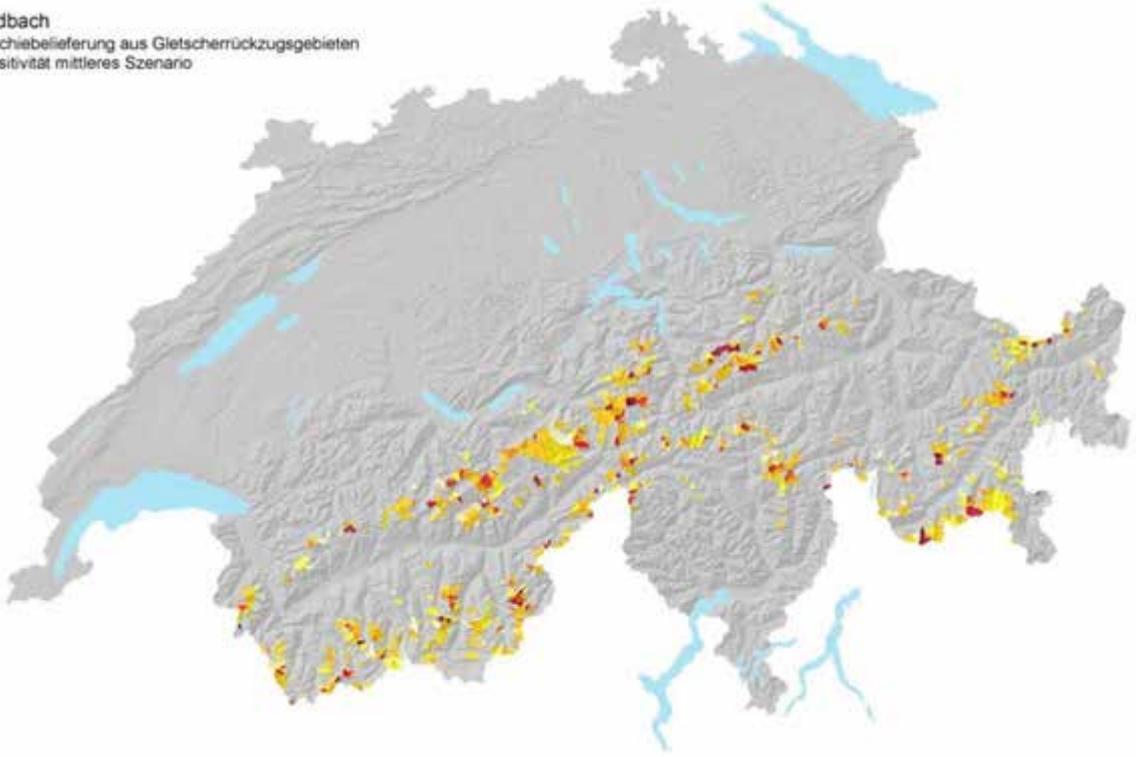
Karte 83

Wildbach
Flächenanteil Gletscherrückzugsgebiete
Extremszenario



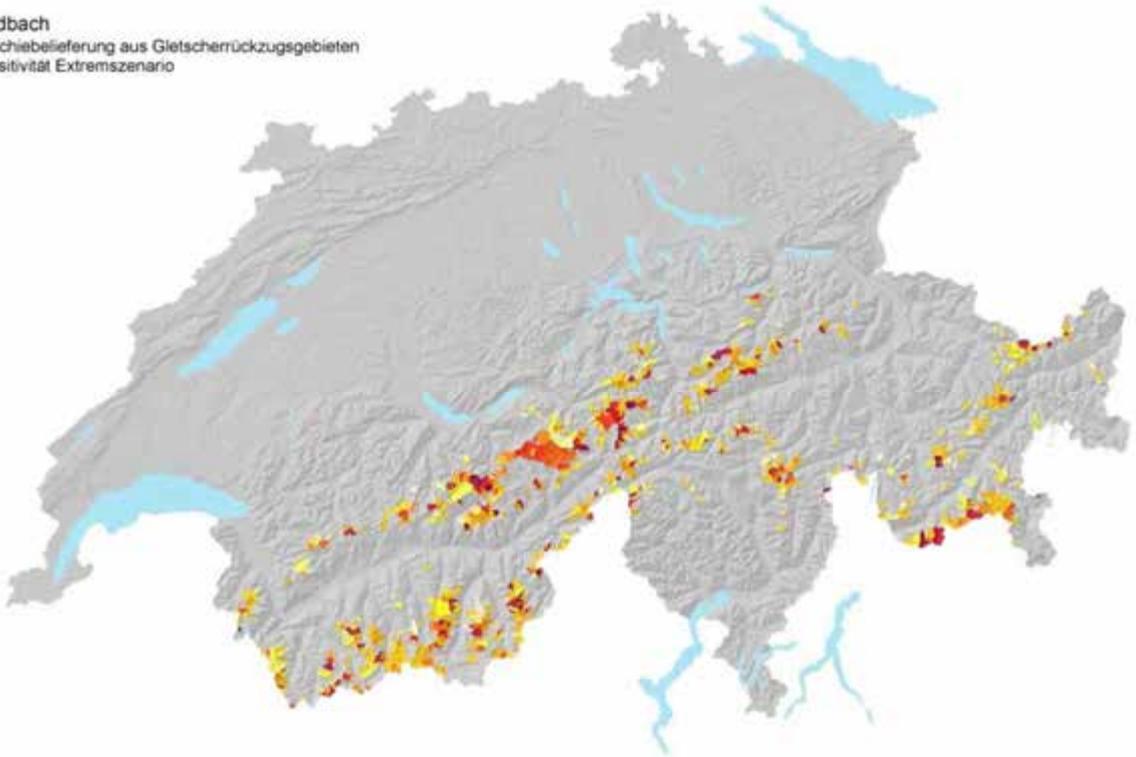
Karte 84

Wildbach
Geschiebelieferung aus Gletscherrückzugsgebieten
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 85

Wildbach
Geschiebelieferung aus Gletscherrückzugsgebieten
Sensitivität Extremszenario

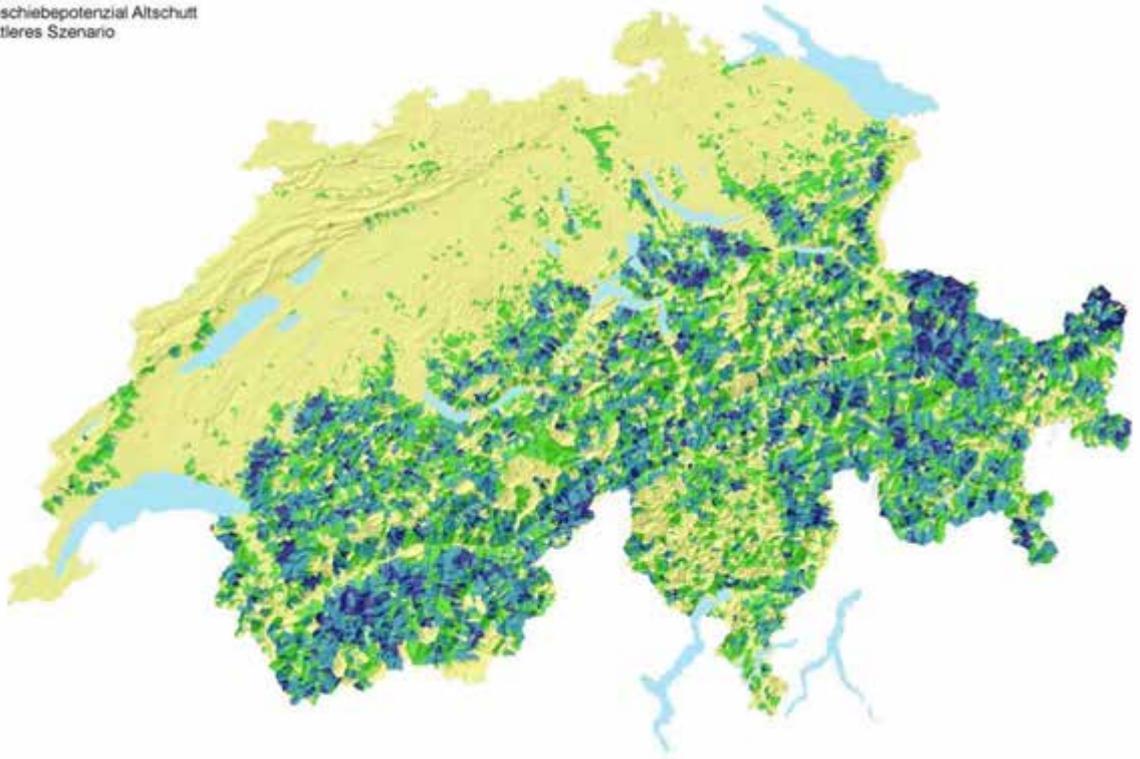


Karte 86

Legende zu Karte 87 und Karte 88: Geschiebepotenzial Altschutt

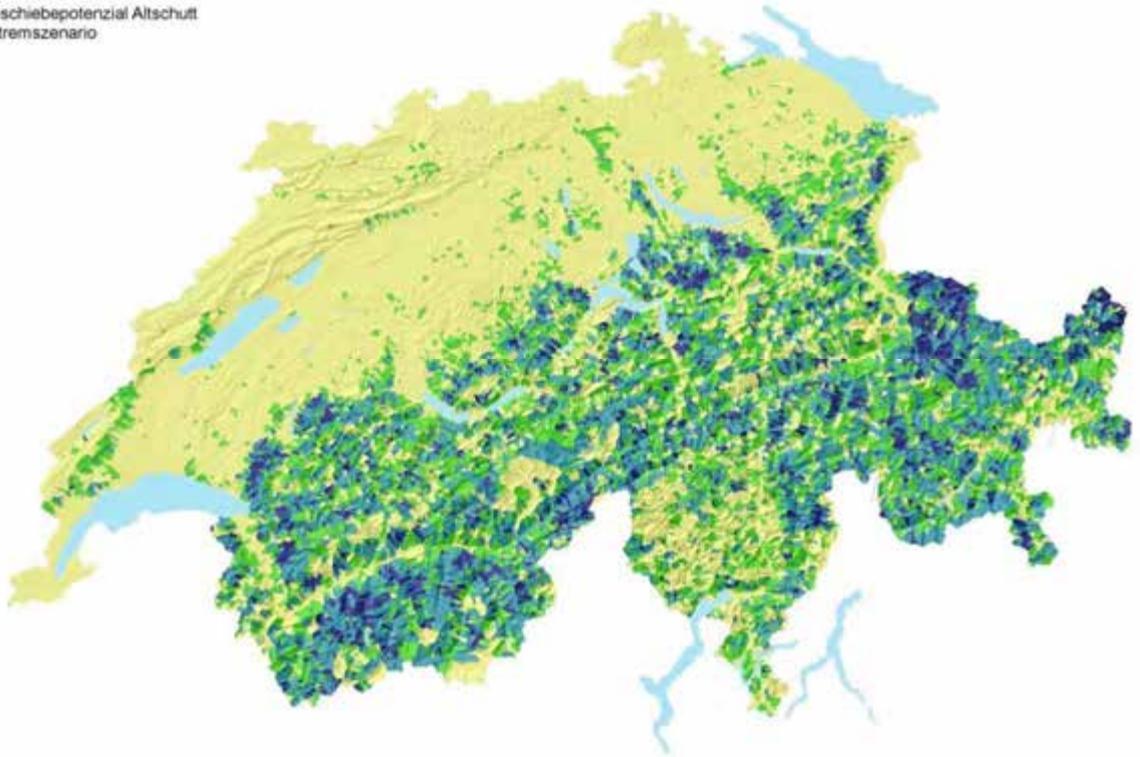
-  klein
-  mittel
-  gross
-  sehr gross

Wildbach
Geshiebepotenzial Altschutt
mittleres Szenario



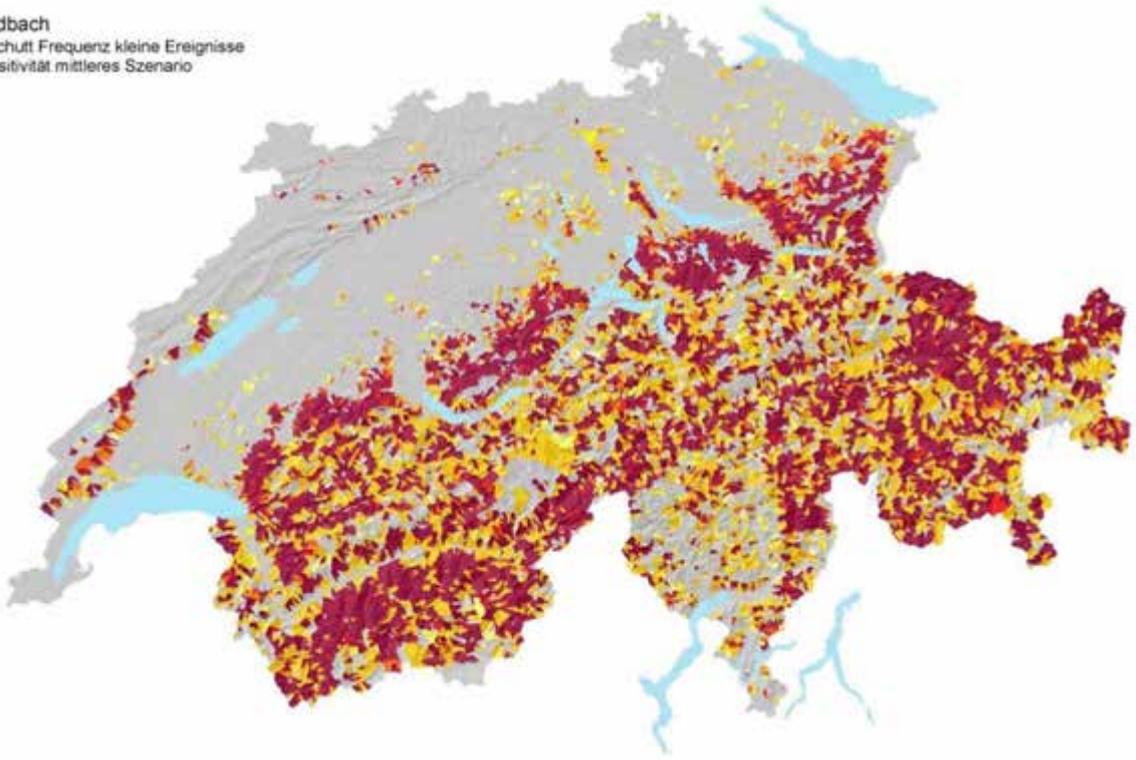
Karte 87

Wildbach
Geshiebepotenzial Altschutt
Extrem Szenario



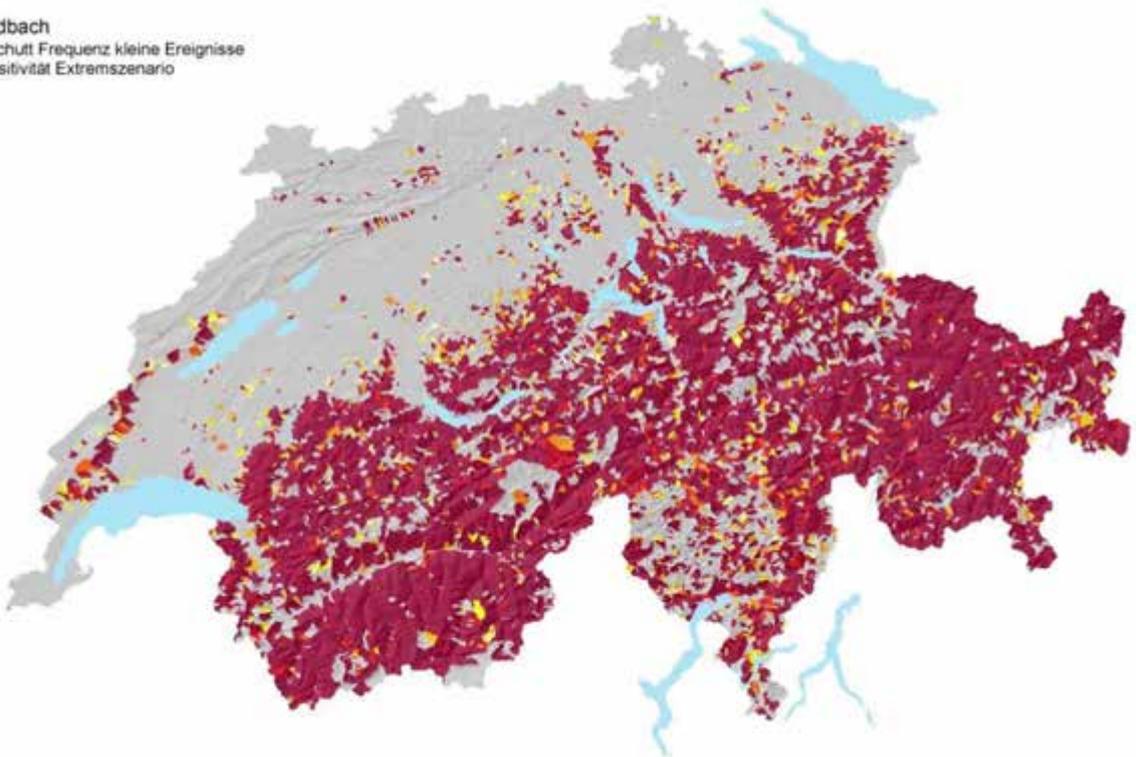
Karte 88

Wildbach
Altschutt Frequenz kleine Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



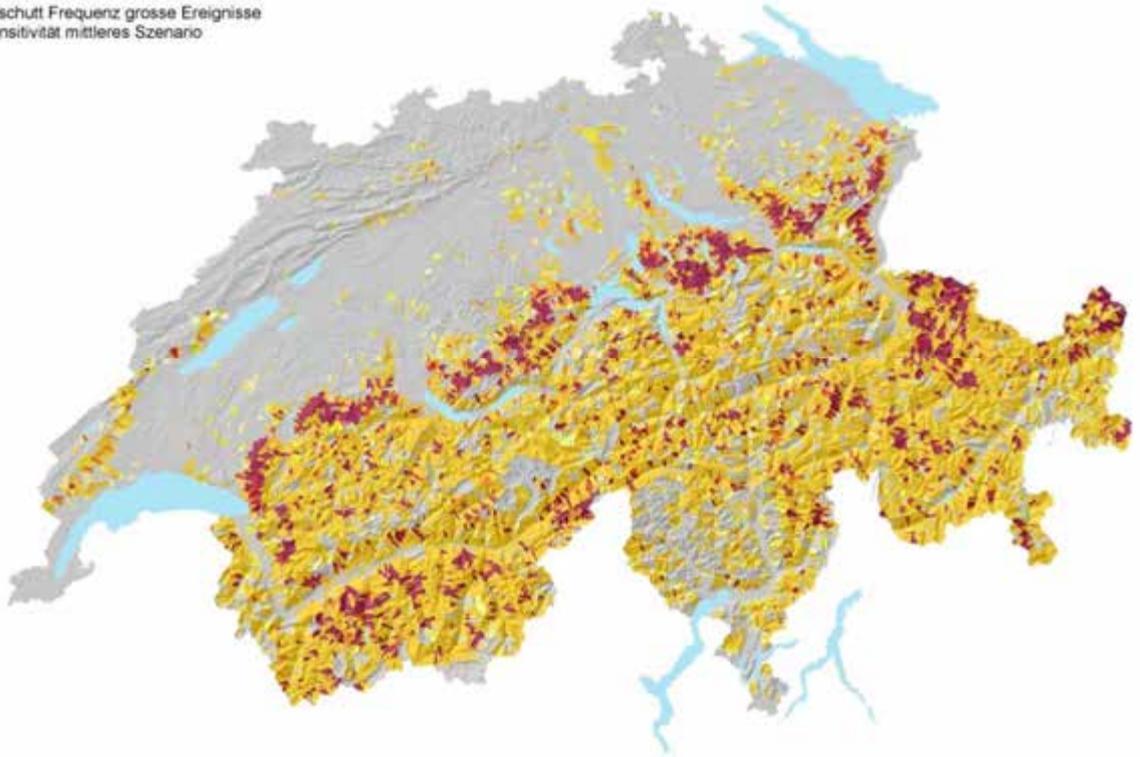
Karte 89

Wildbach
Altschutt Frequenz kleine Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



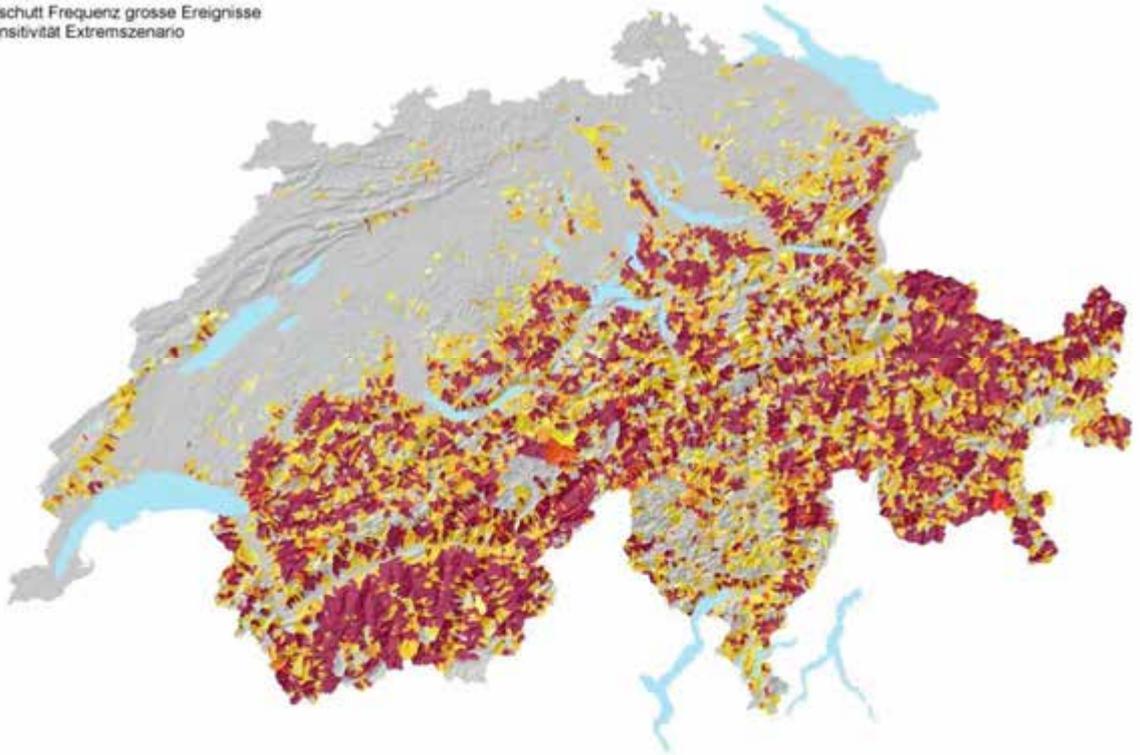
Karte 90

Wildbach
Altschutt Frequenz grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



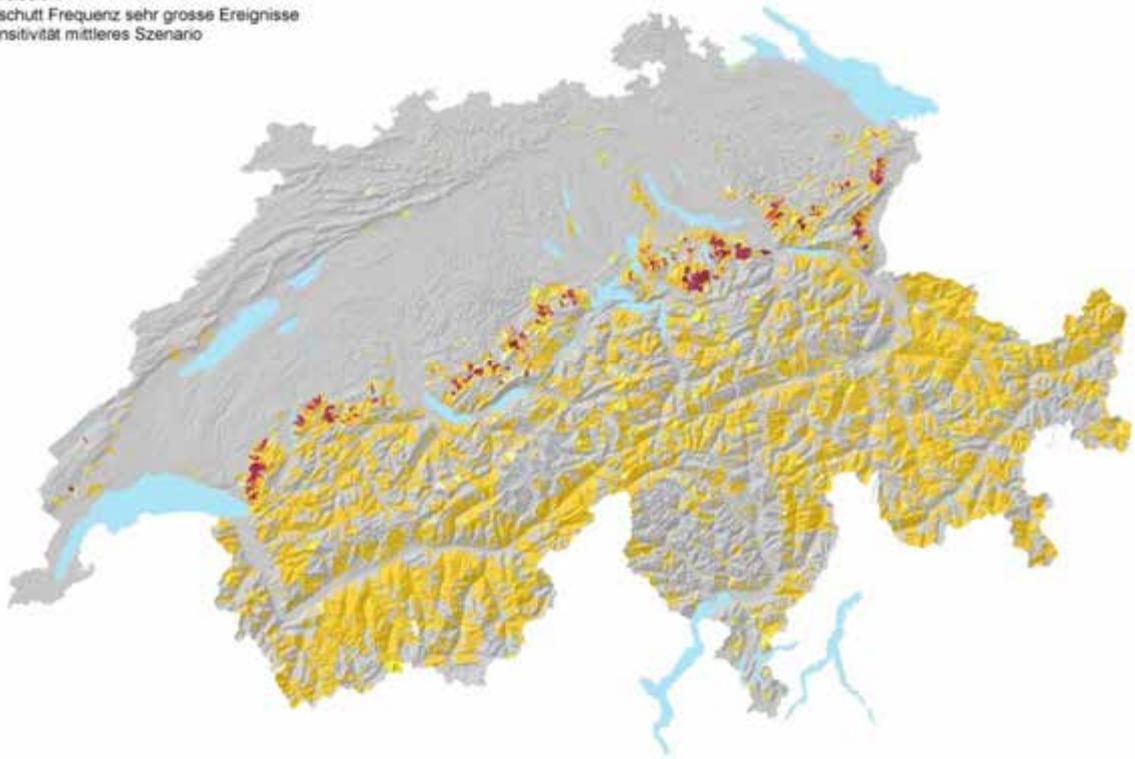
Karte 91

Wildbach
Altschutt Frequenz grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



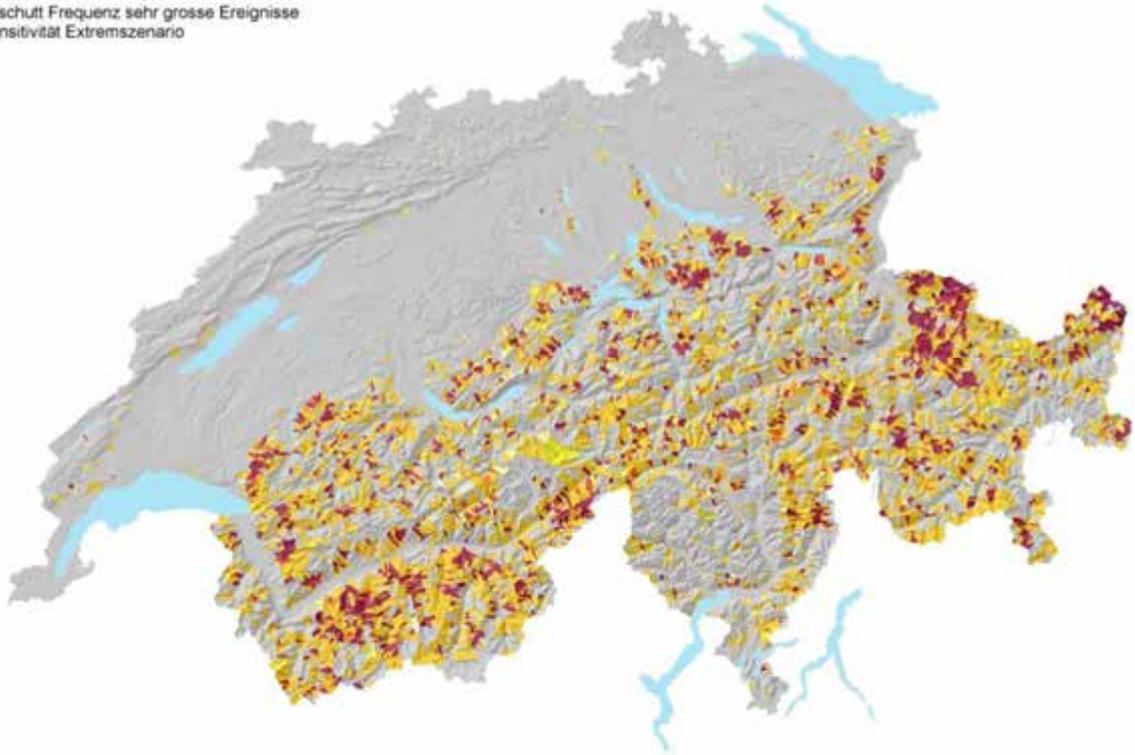
Karte 92

Wildbach
Altschutt Frequenz sehr grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 93

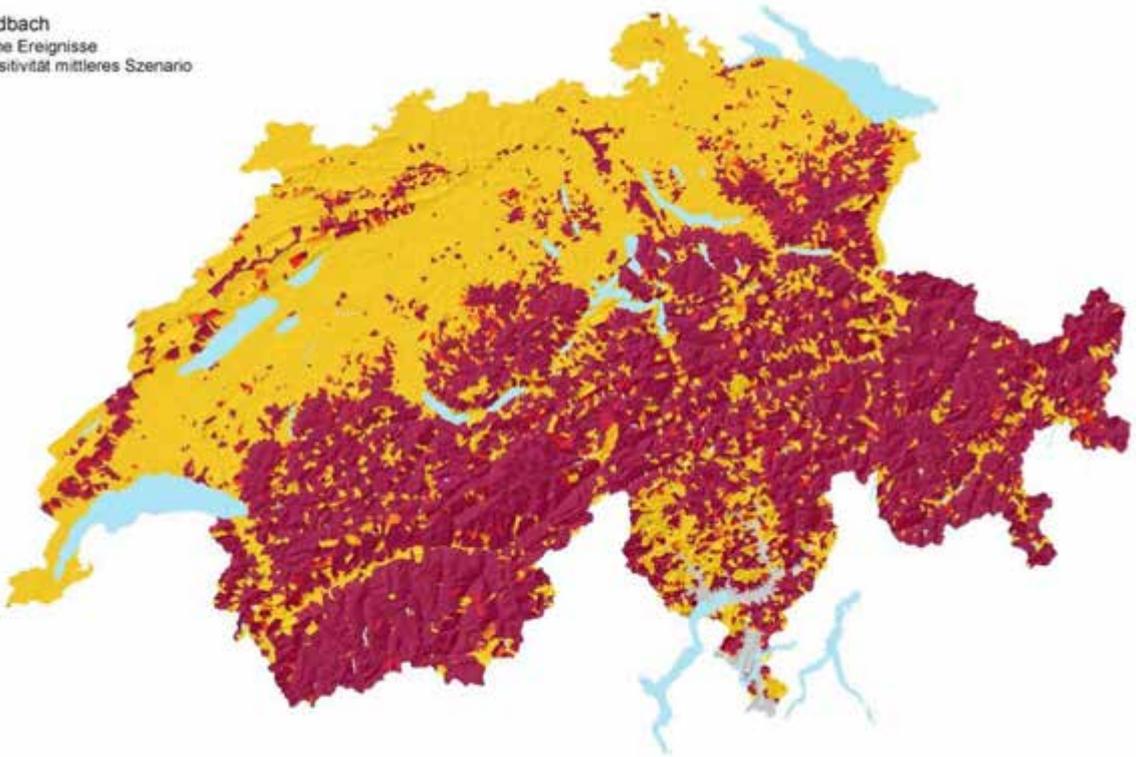
Wildbach
Altschutt Frequenz sehr grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



Karte 94

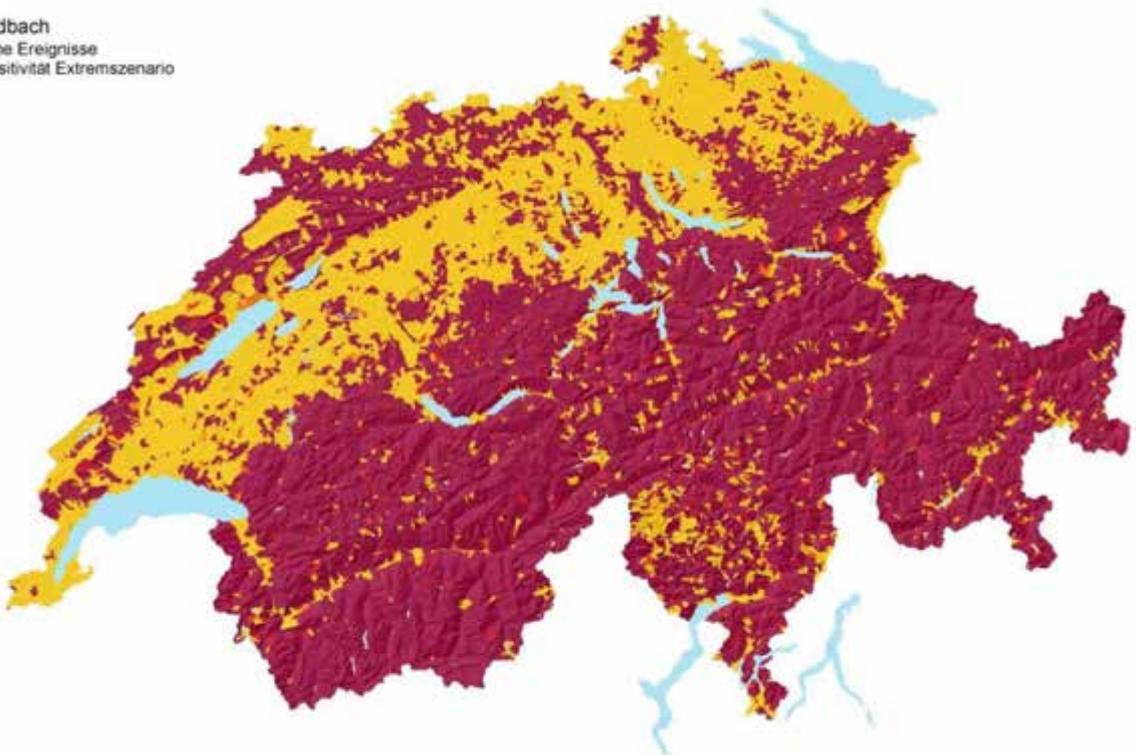
8.3 Aggregierte Resultate

Wildbach
 kleine Ereignisse
 Sensitivität mittleres Szenario



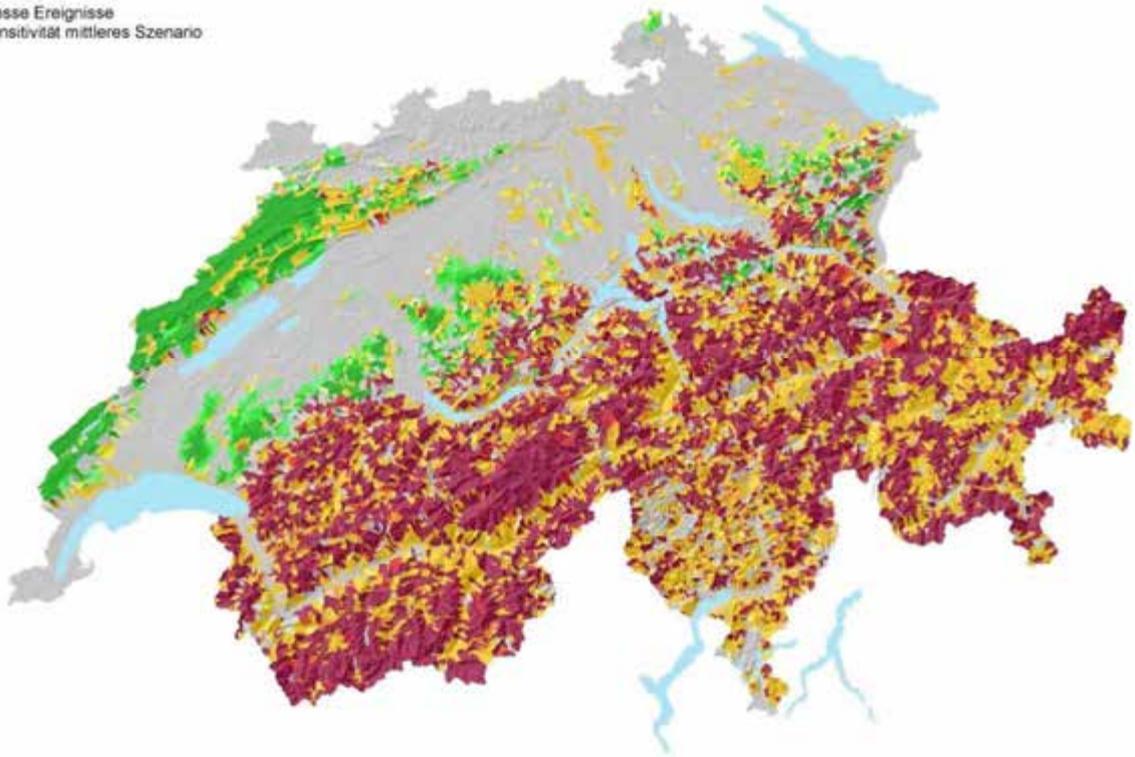
Karte 95

Wildbach
 kleine Ereignisse
 Sensitivität Extremszenario



Karte 96

Wildbach
grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



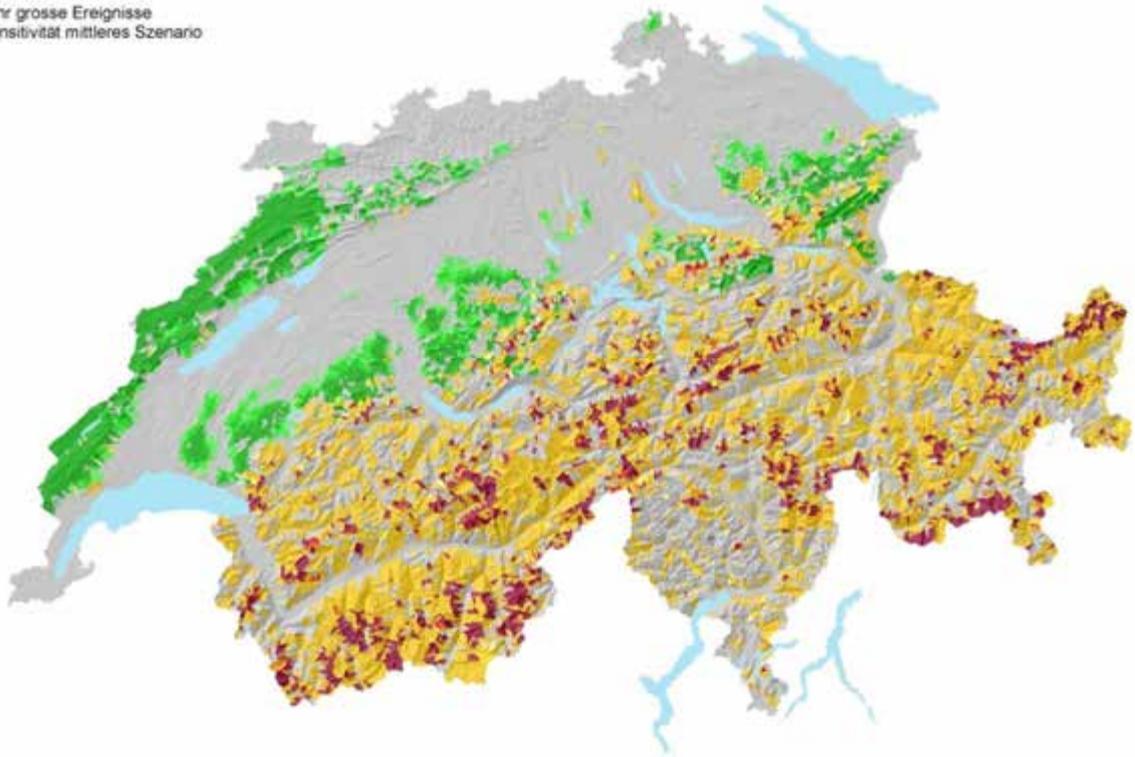
Karte 97

Wildbach
grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



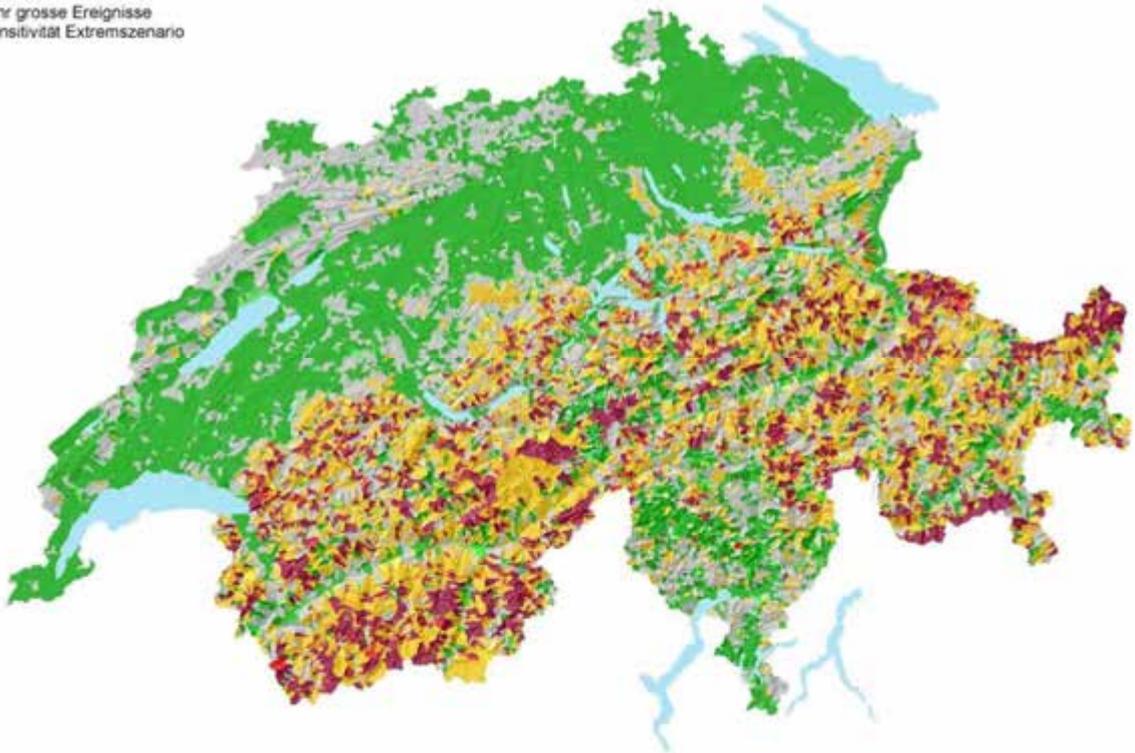
Karte 98

Wildbach
sehr grosse Ereignisse
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 99

Wildbach
sehr grosse Ereignisse
Sensitivität Extremszenario



Karte 100

9 Wildflüsse

9.1 Erläuterung

In den Wildflüssen spielt das Wasserangebot eine wichtige Rolle. Im mittleren Szenario weisen die Alpen und Voralpen, aber auch grosse Teile der Südschweiz und des westlichen Juras eine Zunahme beim Wasserangebot auf (Karte 101). In den tieferen Lagen des Mittellandes bleibt die Situation unverändert und in den Tälern des Tessins resultiert eine Abnahme des Wasserangebotes. Im Extremszenario weisen das Mittelland, der Jura und die hohen Lagen der Alpen eine starke Zunahme auf (Karte 102). Die übrigen Gebiete der Alpen, die Voralpen und die Südschweiz ohne die Täler weisen eine Zunahme auf.

Neben dem Wasserangebot spielt die Abflussbildung eine bedeutende Rolle. Die Auswertung der Abflusstypenkarte zeigt, dass grosse Teile der Voralpen und der Südschweiz, aber auch die tiefen und mittleren Lagen in den Alpen einen hohen Anteil an schnell reagierenden Flächen aufweisen (Karte 103). Im Mittelland ist dieser Anteil gering, mit Ausnahme der Gebiete mit einem hohen Siedlungsanteil. Diese sind jedoch bezüglich der Reaktion nicht direkt mit den übrigen Flächen zu vergleichen, da hier die Siedlungsentwässerung entscheidend ist.

Für die Abflussbildung ebenfalls relevant sind Flächen, die wegen stark verzögerter Abflussreaktion zu Schwellenprozessen führen können. Einen hohen Anteil solcher Flächen weisen die vergletscherten Gebiete in den Alpen auf (Karte 104). Aber auch einige Gebiete mit grossen Speichervolumen im westlichen und zentralen Mittelland weisen einen grösseren Anteil solcher Flächen auf. Hier sind es mächtige Moränenablagerungen, die eine stark verzögerte Abflussreaktion verursachen.

Die Sensitivität für Hochwasserabflüsse aufgrund der schnellen Abflussreaktion zeigt für das mittlere Szenario eine starke Zunahme für weite Teile der Voralpen und der Südschweiz (Karte 105). Etwas weniger ausgeprägt ist die Zunahme im Wallis, in Graubünden und im Jura. Unverändert bleibt die Situation im Mittelland und in den hochgelegenen Gebieten der Alpen. Im Extremszenario weisen fast alle Gebiete eine Zunahme auf (Karte 106). Die Zunahme ist im Jura und in den Voralpen stark, da sich hier die starke Zunahme beim Wasserangebot auswirkt. Unverändert bleibt die Situation lediglich in den Tälern der Südschweiz.

Bei den Hochwasserabflüssen aufgrund von Schwellenprozessen ist im mittleren Szenario die Sensitivität in den höhergelegenen Gebieten der Alpen zunehmend (Karte 107). Für den grössten Teil der Schweiz ergibt sich jedoch keine Veränderung. Im Extremszenario weisen die zentralen und östlichen Berner Alpen sowie die Walliser Alpen und höher gelegenen Gebiete der Bündner Alpen, aber auch die Moränenlandschaften im westlichen und zentralen Mittelland eine starke Zunahme auf (Karte 108).

Die Kombination aus diesen beiden Prozessen ist für das mittlere Szenario in Karte 109, für das Extremszenario in Karte 110 dargestellt. Beide weisen für das Voralpen-Gebiet und die Südschweiz eine starke Zunahme auf. Im Extremszenario fallen auch die höhergelegenen Gebiete der Alpen und der Jura in diese Kategorie. Für das Mittelland ergibt das mittlere Szenario keine Veränderung, für das Extremszenario eine Zunahme. In den Tälern der Südschweiz ergibt das mittlere Szenario eine Abnahme, das Extremszenario eine unveränderte Situation.

Für die Schlussbewertung für die rein hydrologischen Ereignisse werden die Ergebnisse aus den detaillierten Einzugsgebieten auf die Einzugsgebiete der Stufe 40 aggregiert. Diese Bewertung ergibt für beide Szenarien für grosse Teile der Schweiz eine starke Zunahme. Im mittleren Szenario ist einzig das Mittelland davon ausgenommen (Karte 114). Im Extremszenario fallen auch weite Teile des Mittellandes in die Stufe „starke Zunahme“ (Karte 115).

Neben den reinen Hochwasserabflüssen können in Wildflussgebieten auch Geschiebetransport und Erosion eine wichtige Rolle spielen. Die Bewertung der Seitenerosion in den flacheren Gerinnen erfolgt direkt auf den Einzugsgebieten der Aggregation 40. Die Auswertung der möglichen Prallhangstrecken zeigt ein heterogenes Bild (Karte 111). Schwerpunkte lassen sich nur im östlichen Voralpengebiet und in einem Gebiet zwischen den westlichen Voralpen und dem westlichen Ende des Juras ausmachen. Für die Bewertung der Sensitivität wird zusätzlich die Sensitivität des Hochwasserabflusses berücksichtigt (Karte 114 und Karte 115). Im mittleren Szenario weisen Gebiete im westlichen Jura, in den Voralpen, in der Südschweiz und in Graubünden eine Zunahme der Seitenerosion auf (Karte 116). Nur vereinzelt ergibt die Bewertung eine starke Zunahme. Im Mittelland und in grösseren Teilen der Walliser Alpen bleibt die Situation unverändert. Im Extremszenario weisen vor allem die Gebiete nördlich des Genfersees mit einer hohen Dichte von Prallhangstrecken eine starke Zunahme auf. Im Weiteren weist bei diesem Szenario auch der östliche Jura eine Zunahme auf. Ausserdem treten auch im Mittelland vermehrt Gebiete mit einer Zunahme auf. Hier ist es vor allem die starke Zunahme bei den Hochwasserabflüssen, die dazu führt.

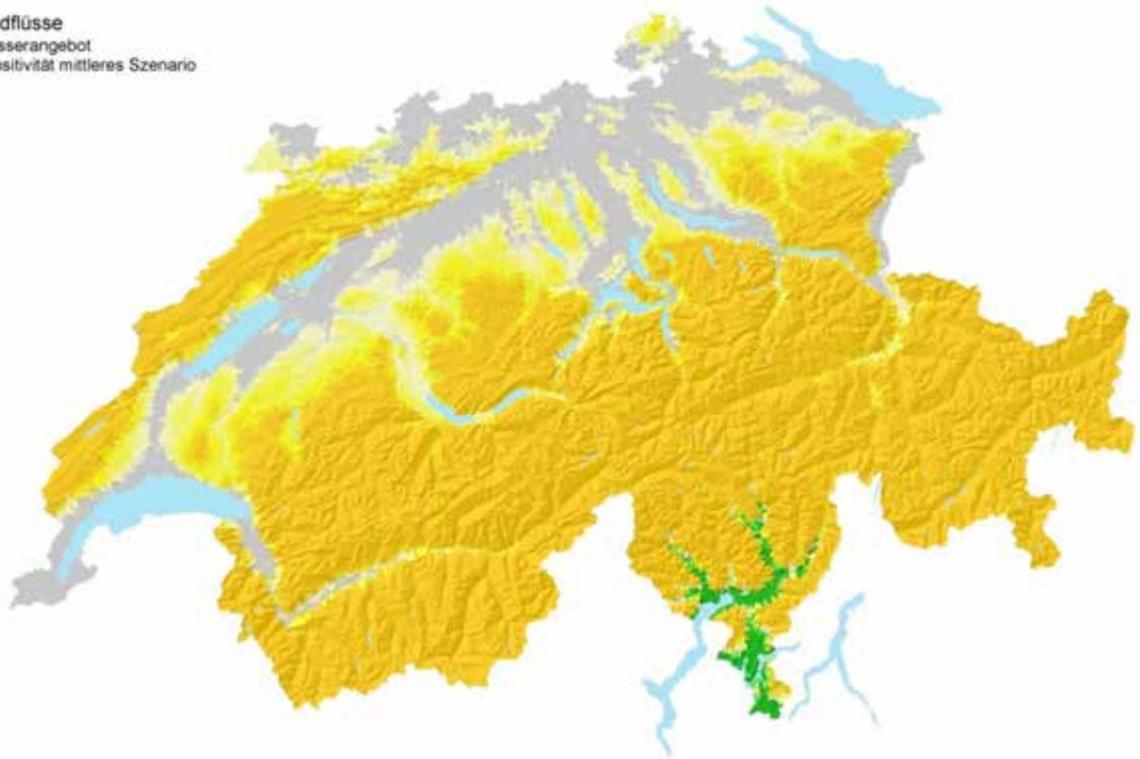
Für die Bewertung der Sensitivität von Geschiebeereignissen werden einerseits die Flächenanteile mit hoher Geschiebesensitivität, andererseits die Sensitivität Hochwasserabfluss berücksichtigt. Der Flächenanteil der geschieberelevanten Flächen mit einer Zunahme oder einer starken Zunahme im mittleren Szenario ist in der Karte 112, für das Extremszenario in der Karte 113 dargestellt. Beide Karten zeigen einen höheren Flächenanteil von Gebieten mit einer hohen Geschiebesensitivität; Werte von über 40 % in den Voralpen, den Alpen und der Südschweiz. Im Extremszenario treten solche Flächen vermehrt auch im Jura und im Mittelland auf.

Die Schlussbewertungen für Geschiebeereignisse in Wildflüssen ist in Karte 118 und Karte 119 dargestellt. Für das mittlere Szenario resultiert für weite Gebiete der Voralpen, Alpen und der Südschweiz eine starke Zunahme. Im Jura weisen einige Gebiete eine Zunahme bzw. eine starke Zunahme auf. Für weite Teile des Juras wie auch für das Mittelland ergeben sich jedoch in diesem Szenario keine Veränderungen. Im Extremszenario fallen jedoch auch im Jura grössere Gebiete in die Stufe „starke Zunahme“, dies sowohl aufgrund der starken Zunahme bei den Hochwasserabflüssen, als auch bei der Zunahme bei der Geschiebesensitivität. Ausserdem weisen auch vermehrt Gebiete im höheren Mittelland eine Zunahme auf. Auch dafür ist sowohl die Zunahme bei der Geschiebesensitivität, als auch die Zunahme bei den Hochwasserabflüssen verantwortlich.

Die Bewertung für die Geschiebeereignisse gilt auch für die Bewertung der Sensitivität für Gerinneerosion in steileren Gerinnen, da diese vor allem durch Querströmungen, ausgelöst durch Geschiebeumlagerungen ausgelöst wird.

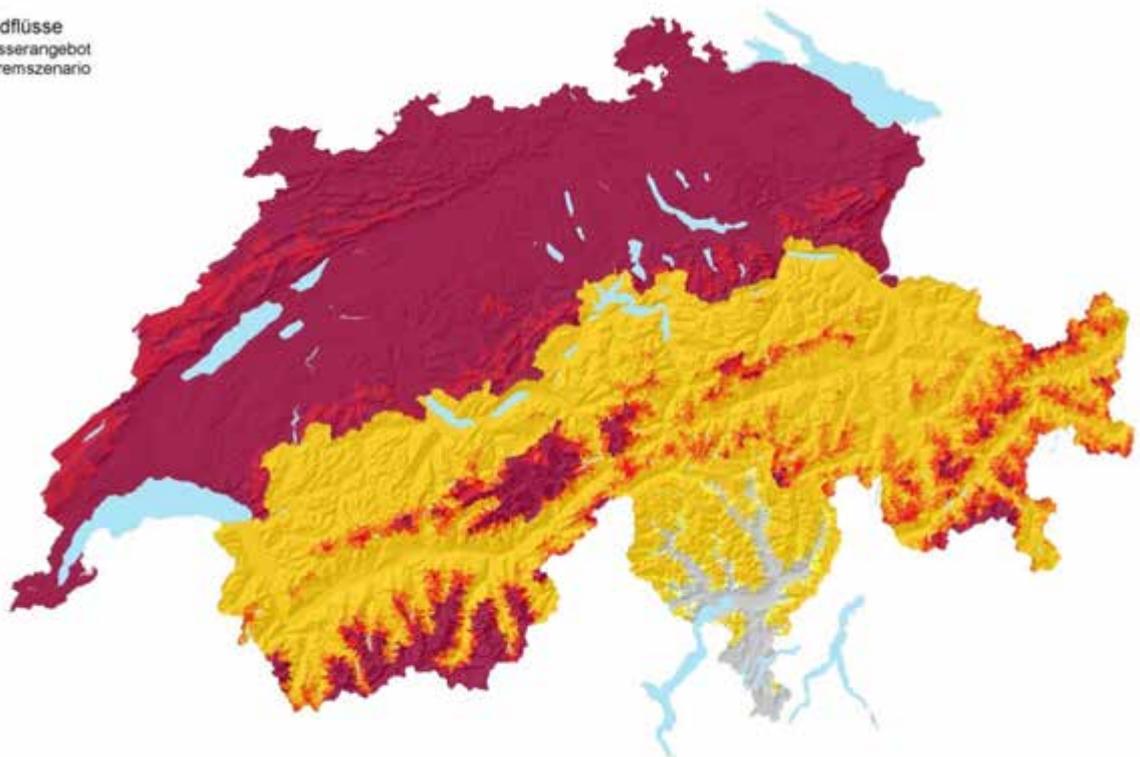
9.2 Zwischenresultate

Wildflüsse
Wasserangebot
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 101

Wildflüsse
Wasserangebot
Extrem Szenario

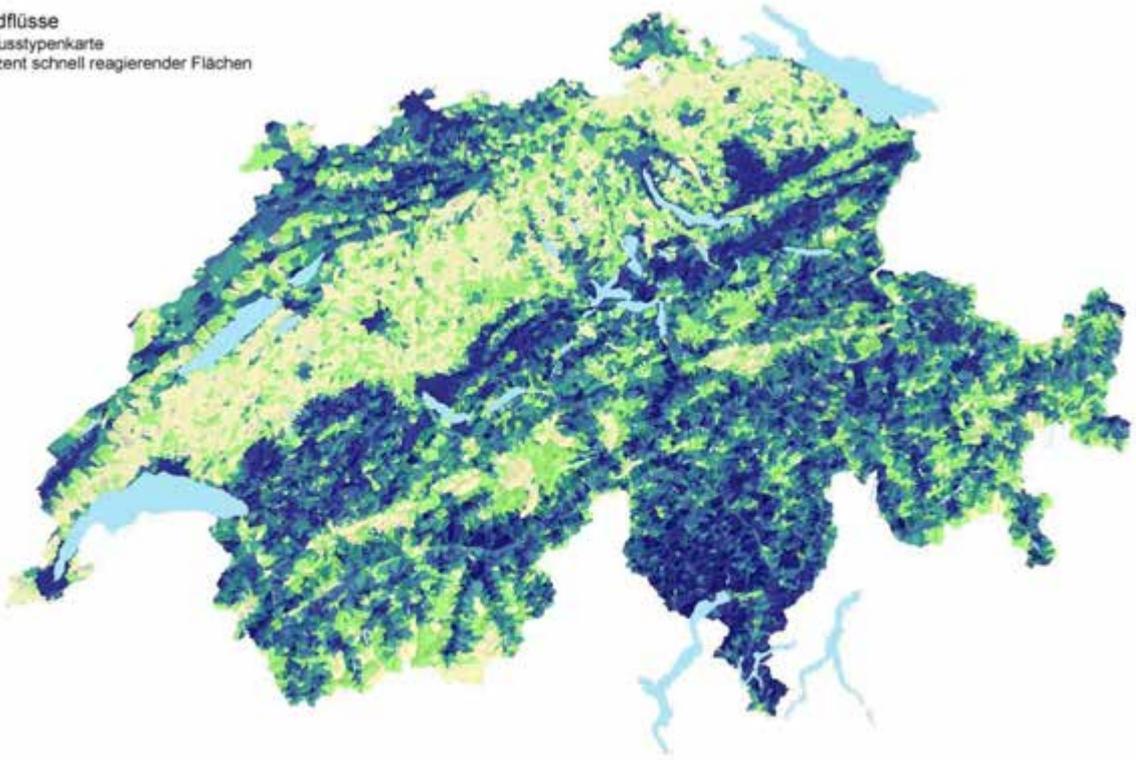


Karte 102

Legende zu Karte 103 und Karte 104: Flächenanteile in Prozent

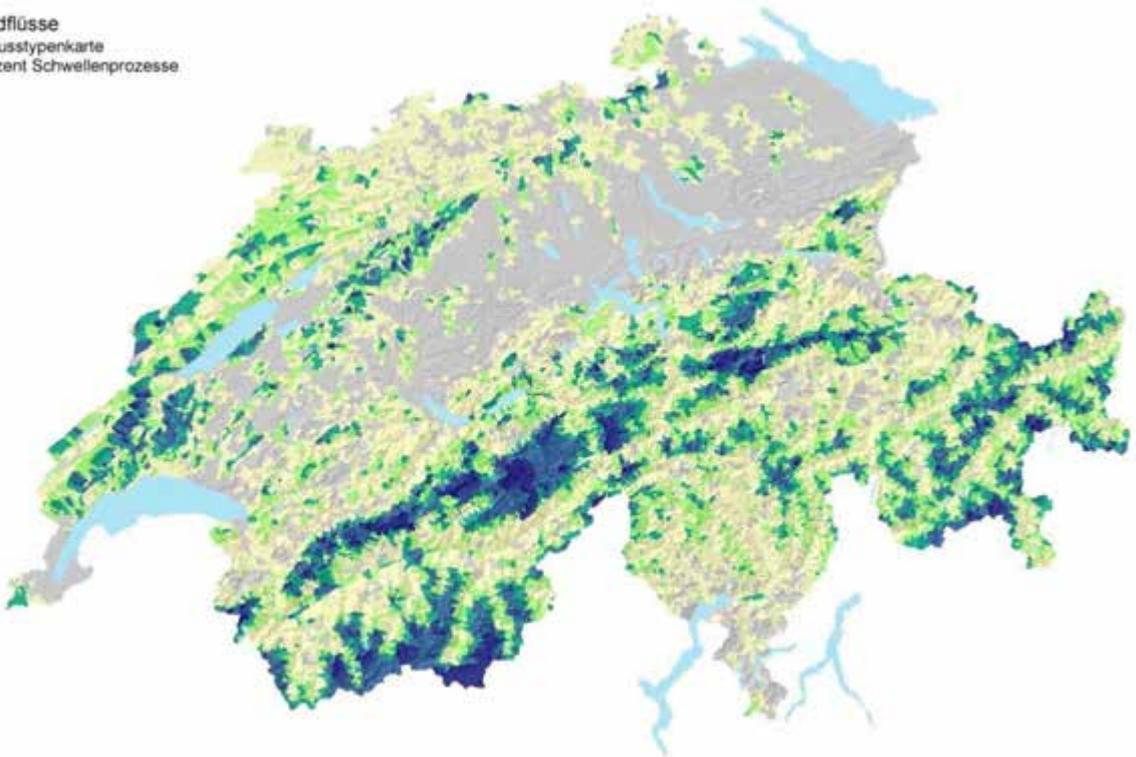


Wildflüsse
Abflusstypenkarte
Prozent schnell reagierender Flächen



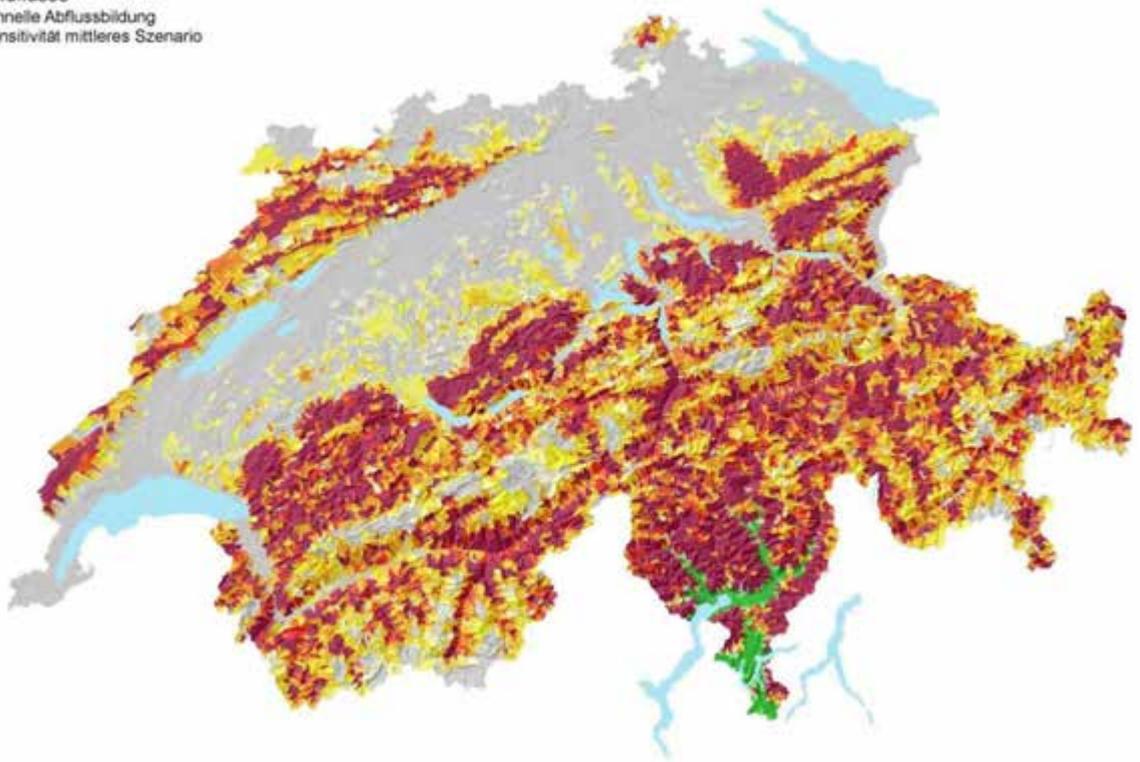
Karte 103

Wildflüsse
Abflusstypenkarte
Prozent Schwellenprozesse



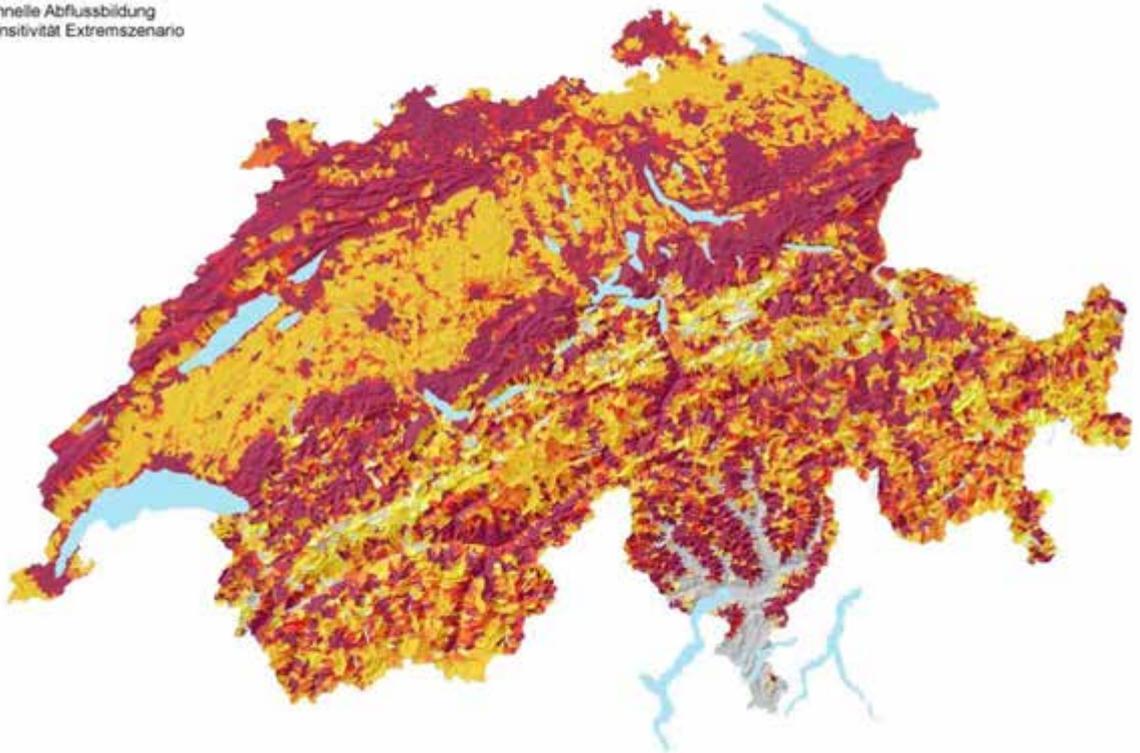
Karte 104

Wildflüsse
schnelle Abflussbildung
Sensitivität mittleres Szenario



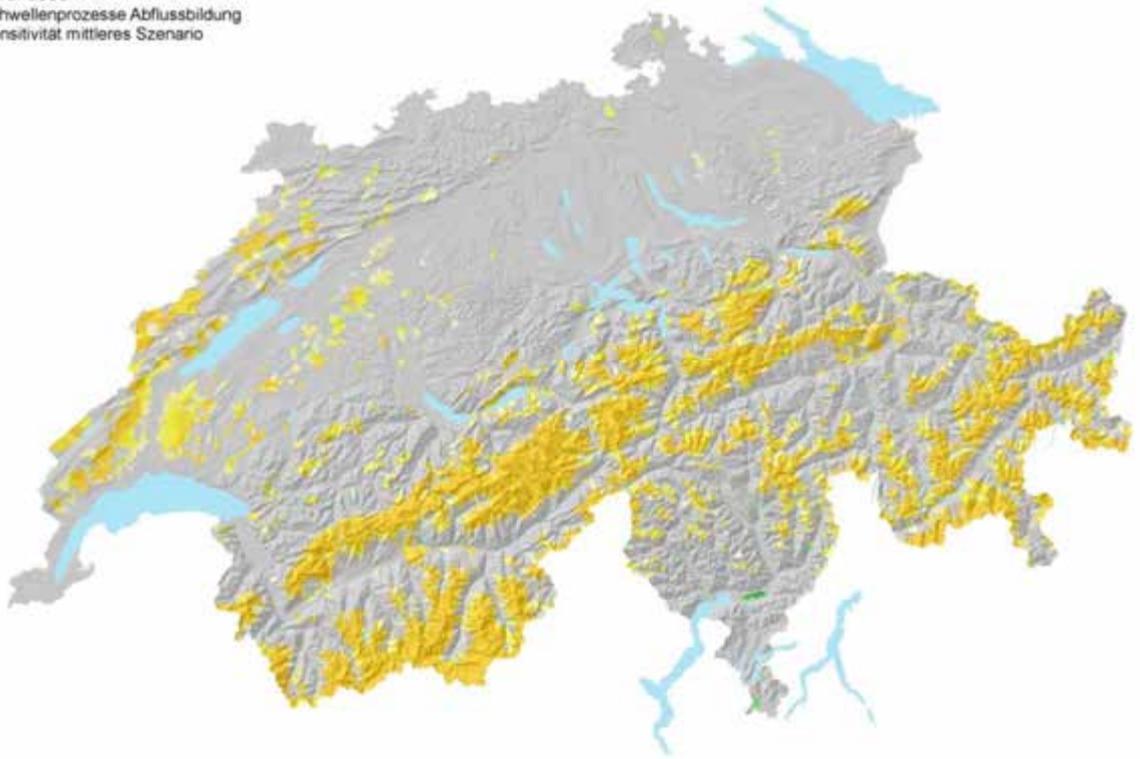
Karte 105

Wildflüsse
schnelle Abflussbildung
Sensitivität Extremszenario



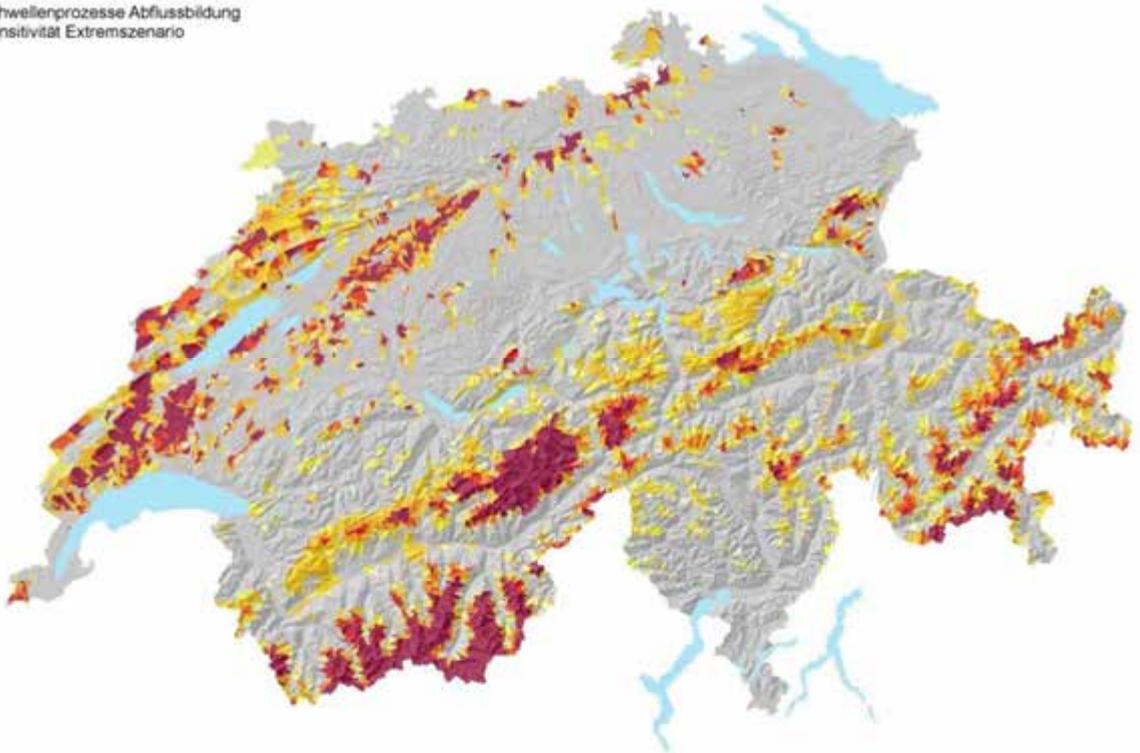
Karte 106

Wildflüsse
Schwellenprozesse Abflussbildung
Sensitivität mittleres Szenario



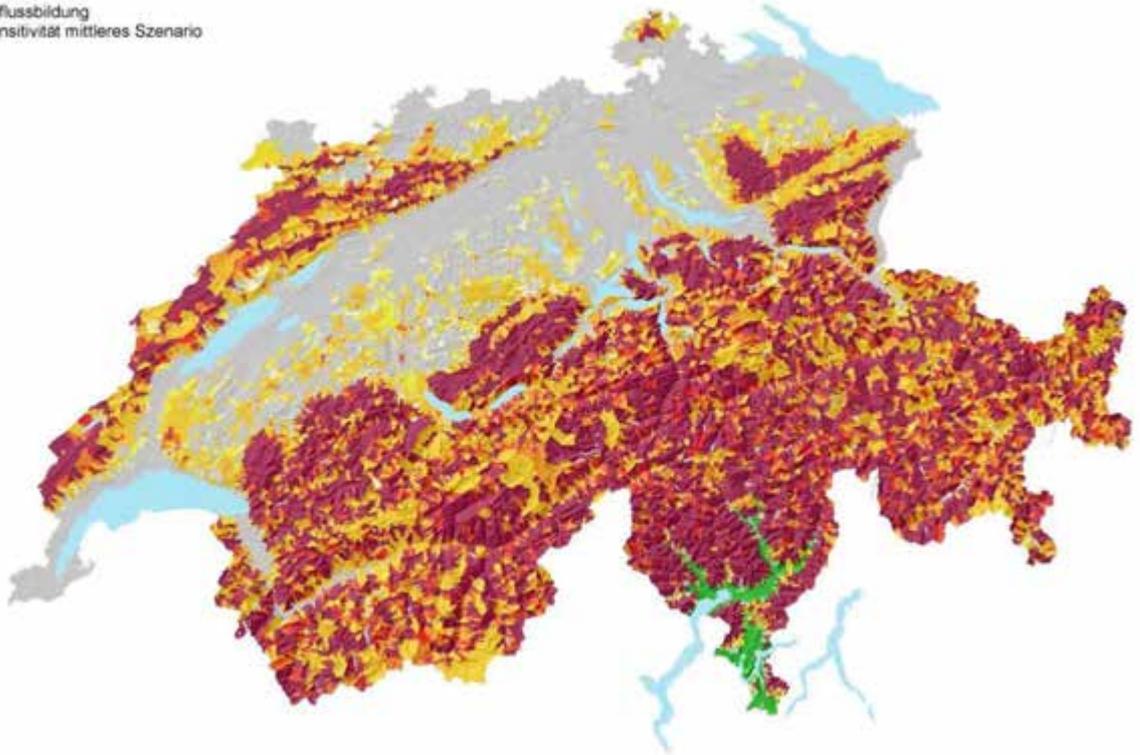
Karte 107

Wildflüsse
Schwellenprozesse Abflussbildung
Sensitivität Extremszenario



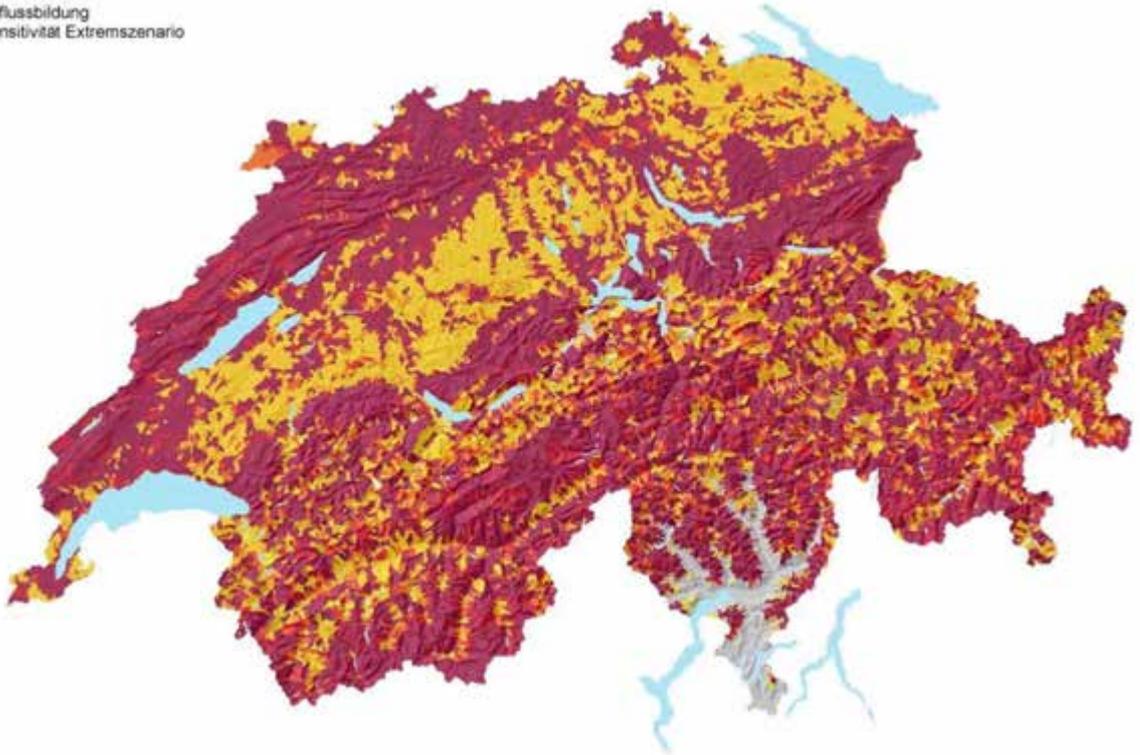
Karte 108

Wildflüsse
Abflussbildung
Sensitivität mittleres Szenario



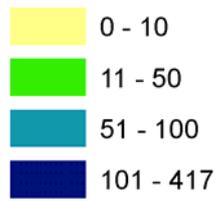
Karte 109

Wildflüsse
Abflussbildung
Sensitivität Extremszenario

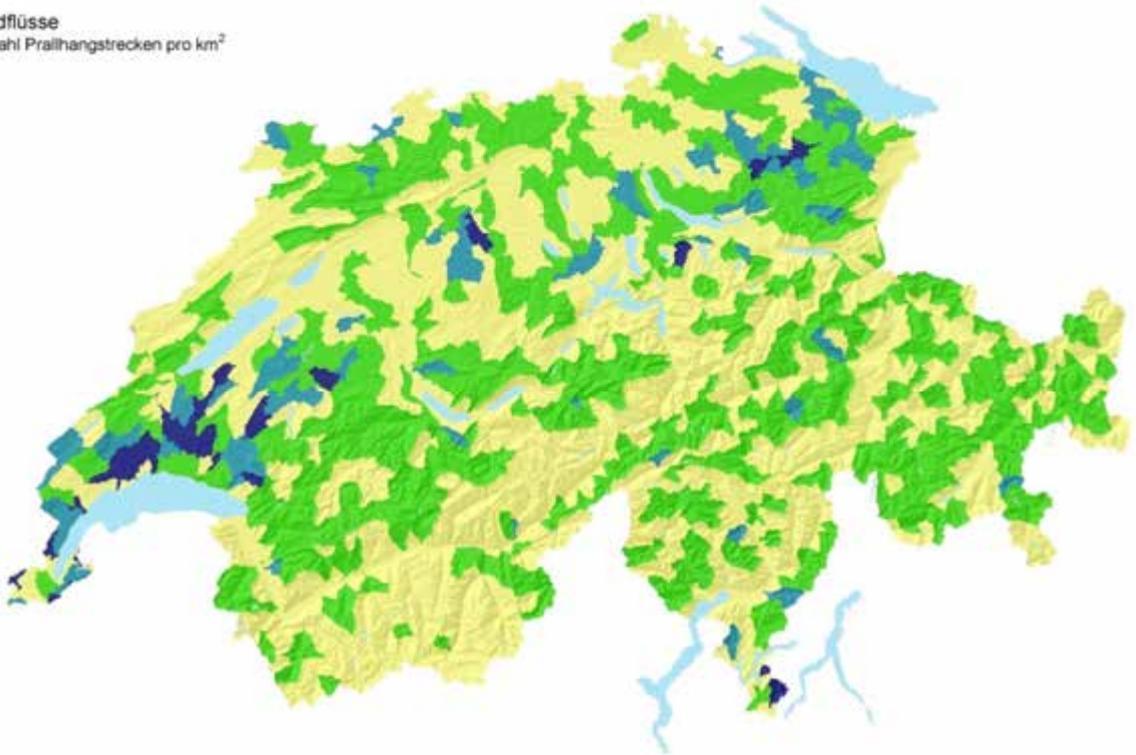


Karte 110

Legende zu Karte 111: Anzahl Prallhangstrecken pro km²

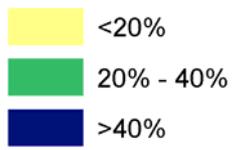


Wildflüsse
Anzahl Prallhangstrecken pro km²

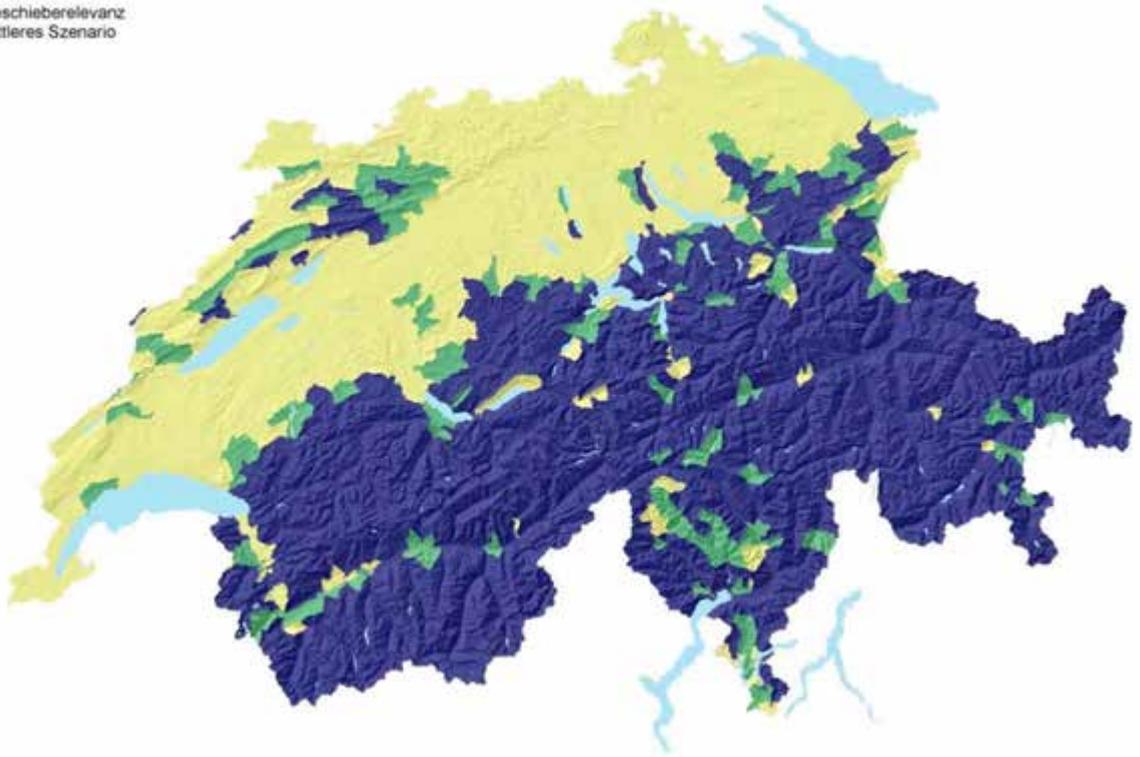


Karte 111

Legende zu Karte 112 und Karte 113: Flächenanteil mit hoher Geschiebesensitivität

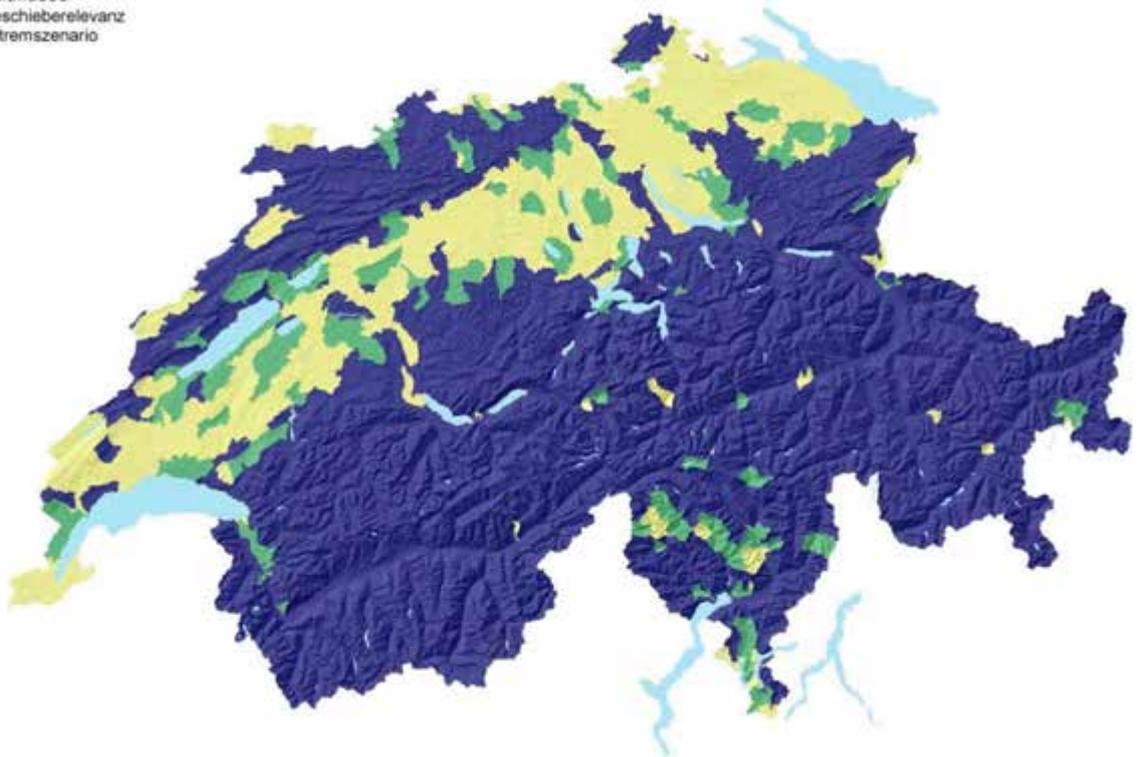


Wildflüsse
Geschieberelevanz
Mittleres Szenario



Karte 112

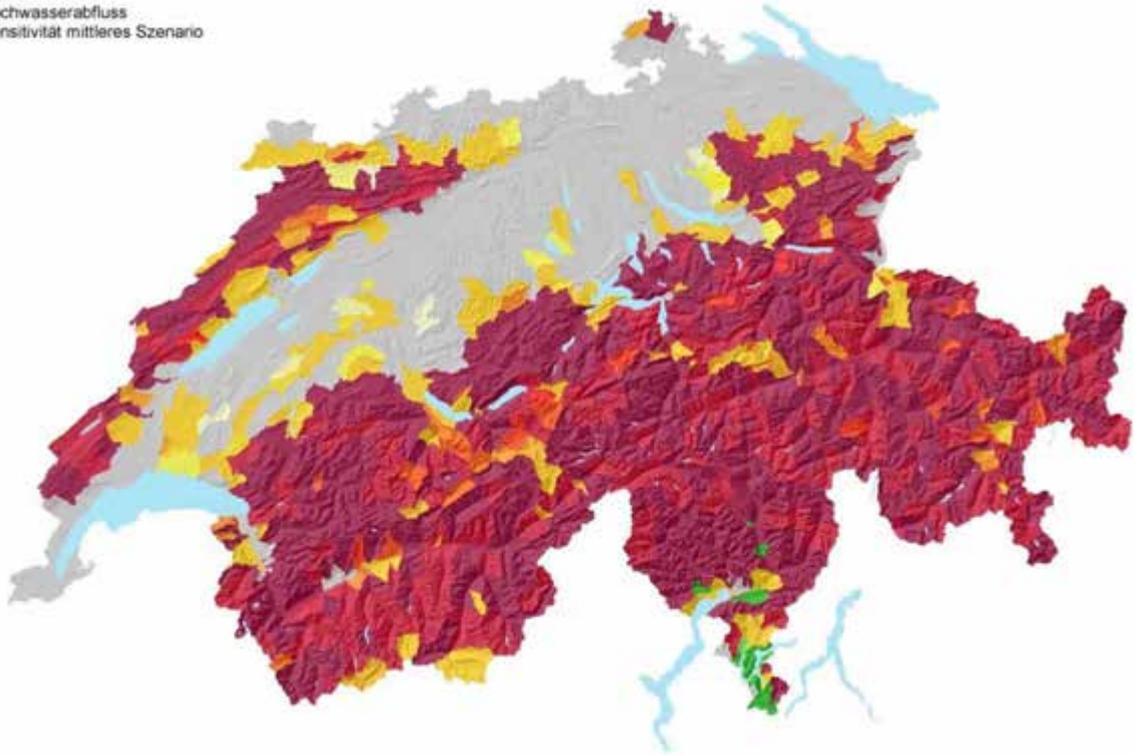
Wildflüsse
Geschieberelevanz
Extremeszenario



Karte 113

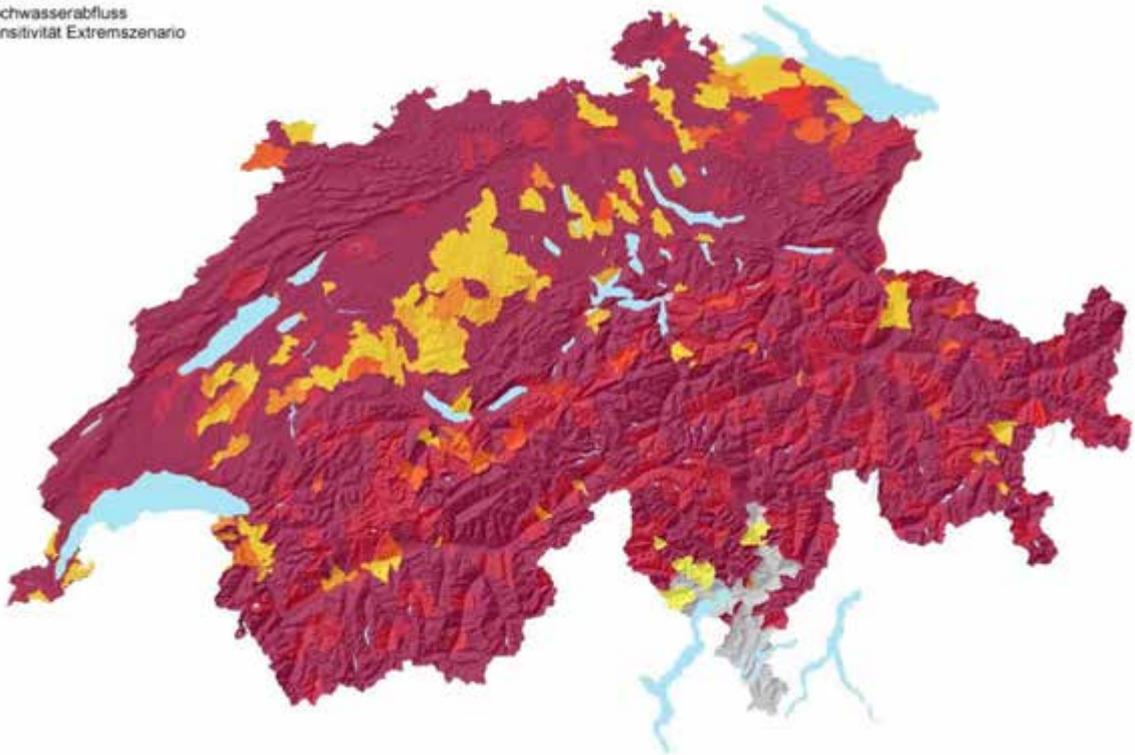
9.3 Aggregierte Resultate

Wildflüsse
Hochwasserabfluss
Sensitivität mittleres Szenario



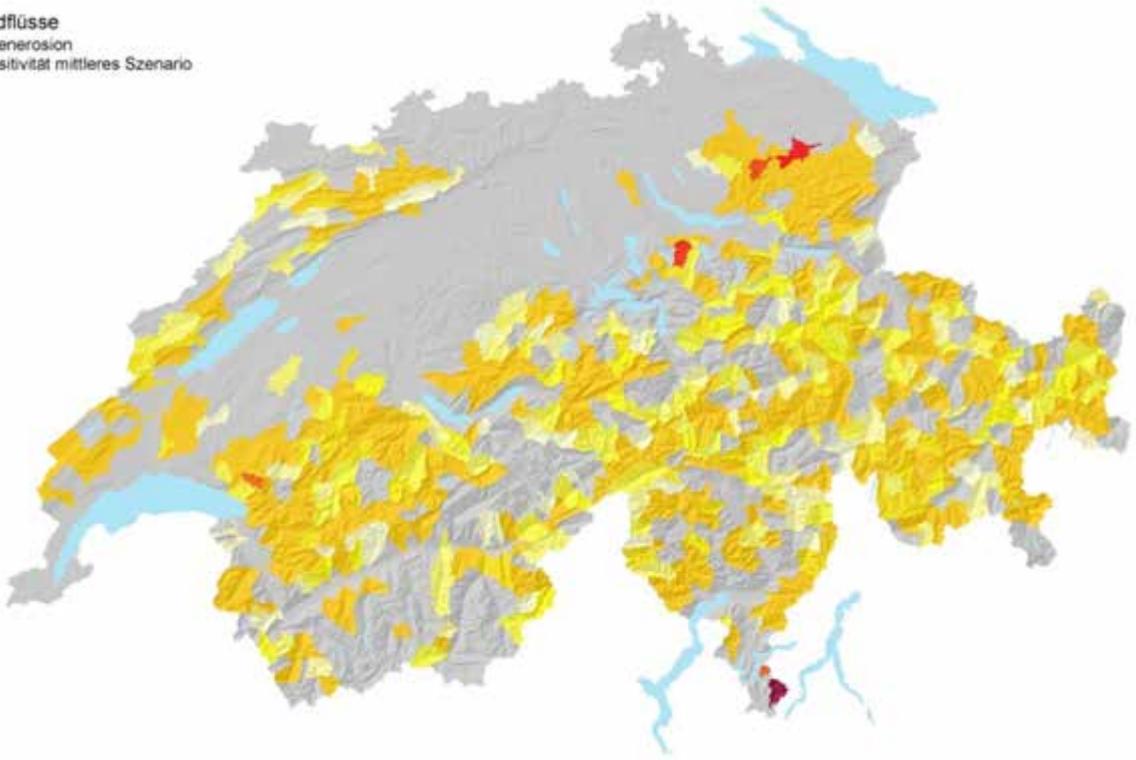
Karte 114

Wildflüsse
Hochwasserabfluss
Sensitivität Extremszenario



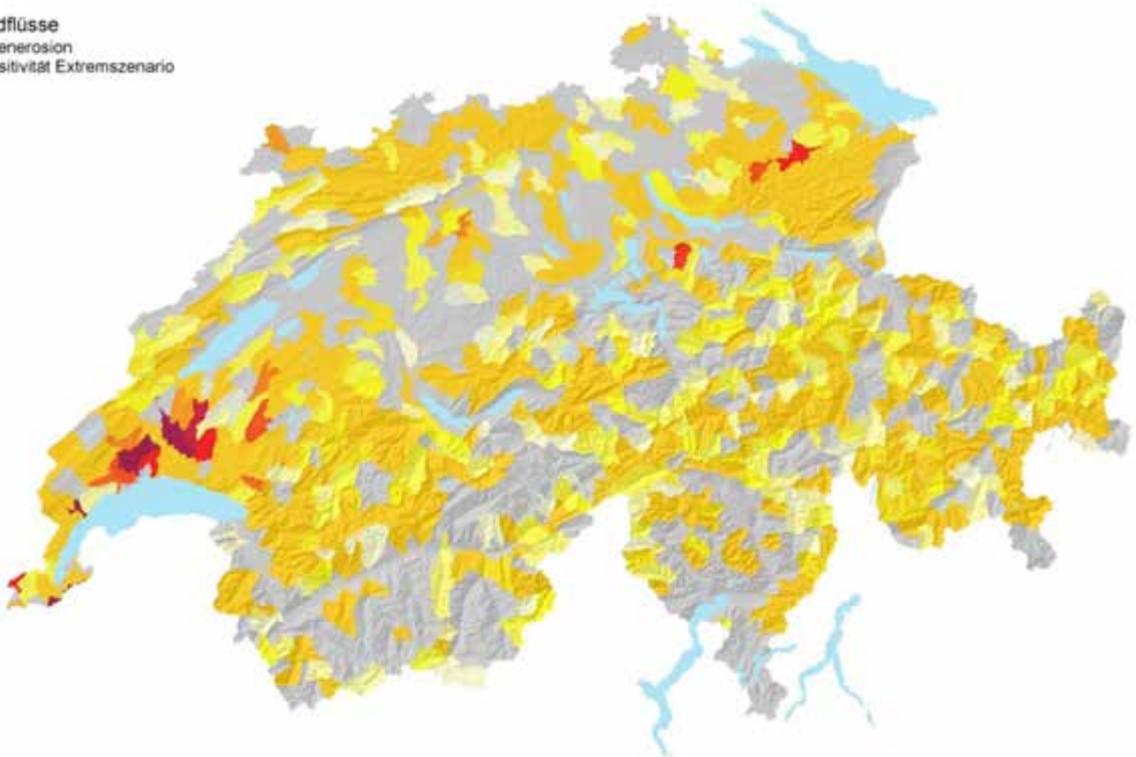
Karte 115

Wildflüsse
Seitenerosion
Sensitivität mittleres Szenario



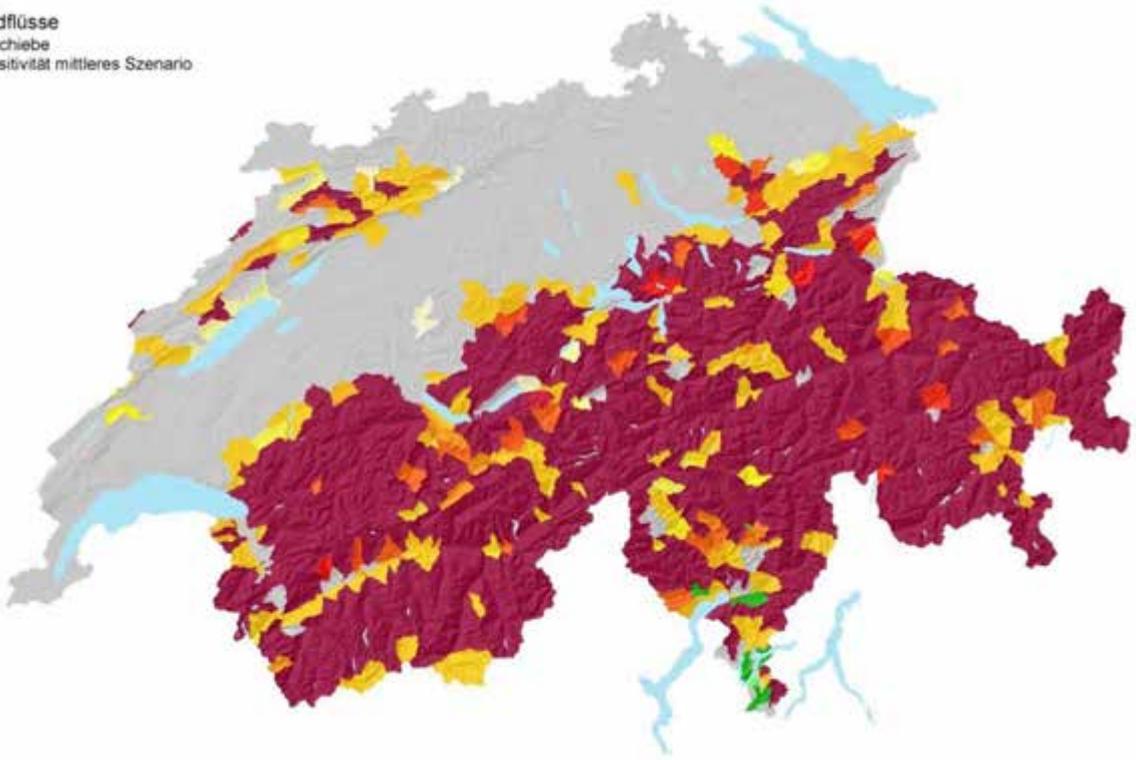
Karte 116

Wildflüsse
Seitenerosion
Sensitivität Extremszenario



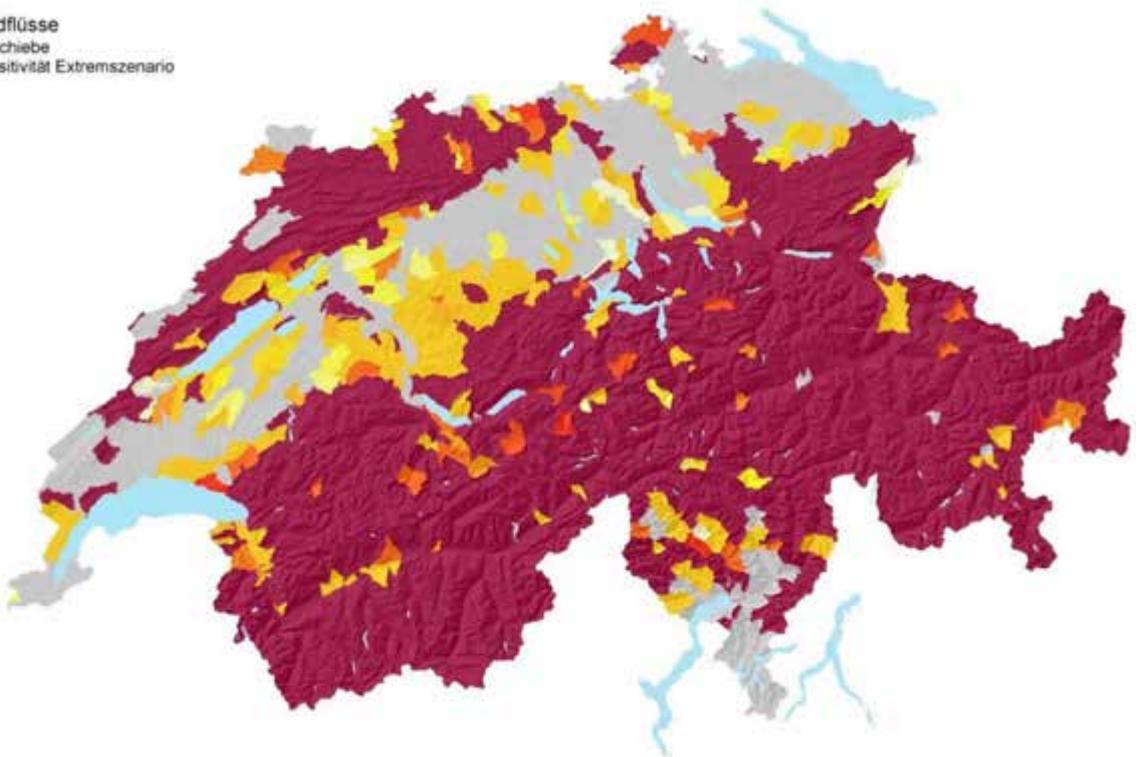
Karte 117

Wildflüsse
Geschiebe
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 118

Wildflüsse
Geschiebe
Sensitivität Extremszenario



Karte 119

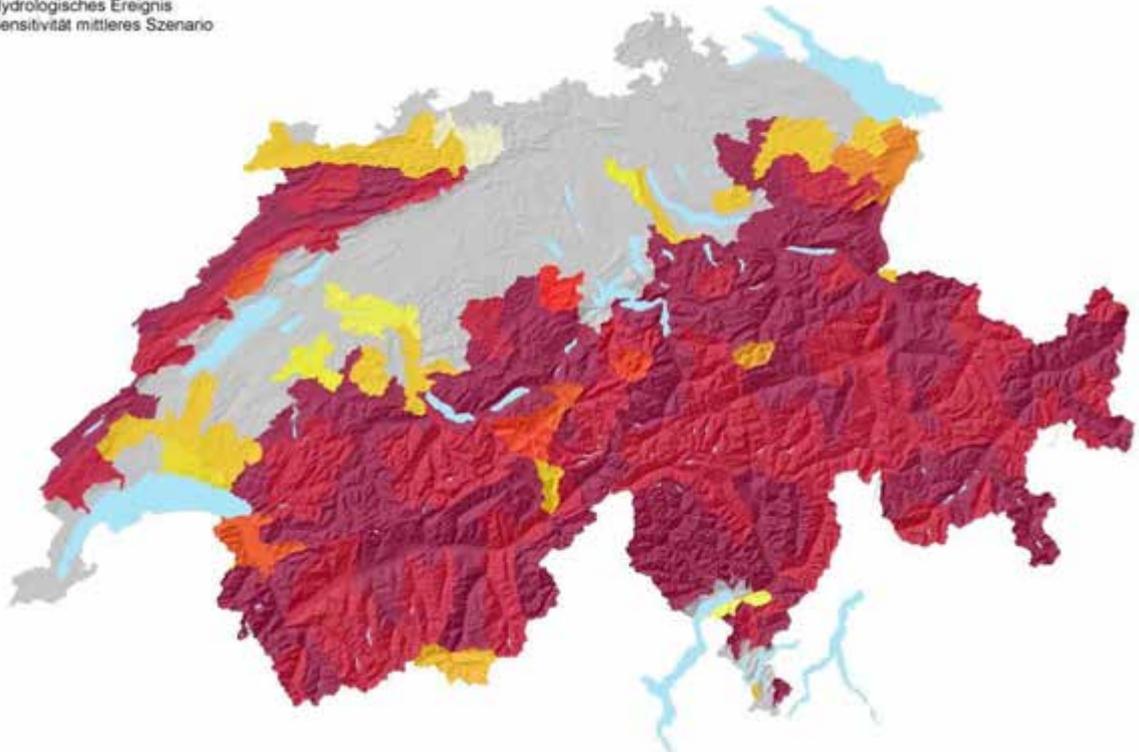
10 Flüsse

10.1 Erläuterung

Für die Flüsse wird nur die Sensitivität von Hochwasserabflüssen bewertet. Basis dazu bildet die Bewertung der hydrologischen Prozesse auf der detailliertesten Einzugsgebietsgliederung, wie sie auch für die Wildflussgebiete verwendet wurde (Karte 109 und Karte 110). Diese Resultate werden mittels Quantilauswertung auf die Einzugsgebiete der Aggregation 150 aggregiert. Für das mittlere Szenario ergibt die Auswertung für die meisten Gebiete der Voralpen, der Alpen, der Südschweiz und den westlichen Jura eine starke Zunahme (Karte 120). Für das Mittelland und den Südtessin resultiert keine Veränderung. Beim Extremszenario ergibt die Aggregation fast für die ganze Schweiz eine starke Zunahme (Karte 121). Nur vereinzelte Gebiete im Mittelland und im Tessin weisen eine Zunahme oder unveränderte Verhältnisse auf.

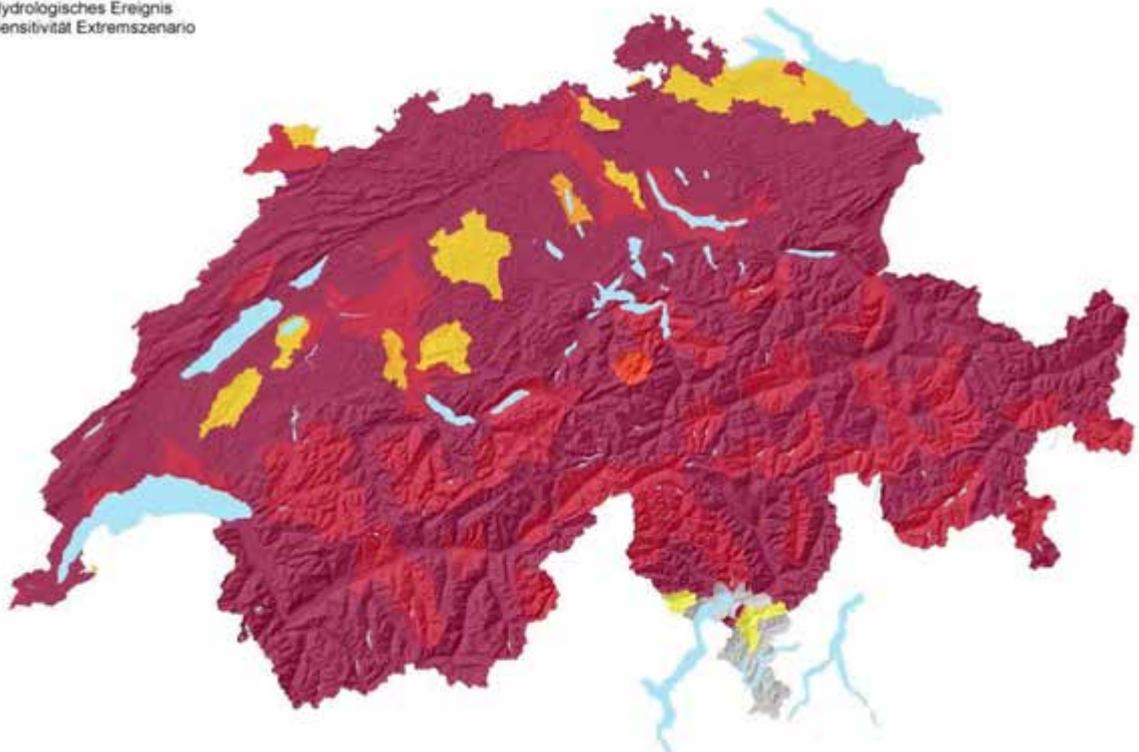
10.2 Aggregierte Resultate

Flüsse
Hydrologisches Ereignis
Sensitivität mittleres Szenario



Karte 120

Flüsse
Hydrologisches Ereignis
Sensitivität Extremszenario



Karte 121

11 Beurteilung der Resultate

Die Zusammenstellung der Resultate zeigt, dass die Bewertungsverfahren für die Hangprozesse zu recht differenzierten Resultaten führten. Bei den Gerinneprozessen, insbesondere bei den Wildflüssen und den Flüssen sind die Resultate deutlich weniger differenziert. Der Hauptgrund dafür liegt darin, dass für die Hydrologie aus dem Projekt Silva-Protect-CH keine Grundlagen verfügbar waren. Bei den Hangprozessen standen demgegenüber relativ detaillierte Grundlagen aus den Prozesssimulationen zur Verfügung. Somit resultierte trotz der räumlich nur wenig gegliederten Klimaszenarien ein recht differenziertes Bild.

Bei den Gerinneprozessen spielen die hydrologischen Prozesse eine zentrale Rolle. Diese sind von Natur aus komplex. Mit den relativ groben Bewertungsmethoden und den räumlich nur wenig gegliederten Klimaszenarien entsteht deshalb ein wenig differenziertes Bild. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob die ergänzte Abflusstypenkarte (geo7, 2014) für die Beurteilung der Abflussprozesse geeignet ist, da sie auf der groben und räumlich recht ungenauen Bodeneignungskarte basiert. Um dies zu prüfen, wurde für ein Einzugsgebiet im Kanton Zürich, für das eine Abflussprozesskarte (Geodatenatz Abflussprozesskarte, GIS-ZH), basierend auf einer detaillierten Bodenkarte existiert, ein Vergleich durchgeführt.

Neben der generell gröberen Raumgliederung der Abflusstypenkarte Schweiz fällt auf, dass im südöstlichen Teil im oberen Tösstal in der Abflusstypenkarte Schweiz grosse Flächen in die Stufe „leicht verzögert“ fallen, während sie in der Karte des Kantons Zürich in die Stufe „verzögert“ fallen und demnach nicht als rasch reagierende Flächen betrachtet werden (Abbildung 1). Dazu ist allerdings zu bemerken, dass dieses Gebiet zu einem bedeutenden Anteil von Wald bedeckt ist und deshalb hier auch keine detaillierte Bodenkarte vorliegt. Diese existiert nur für das Landwirtschaftsland. Im Übrigen sind jedoch die Unterschiede nicht so gross.

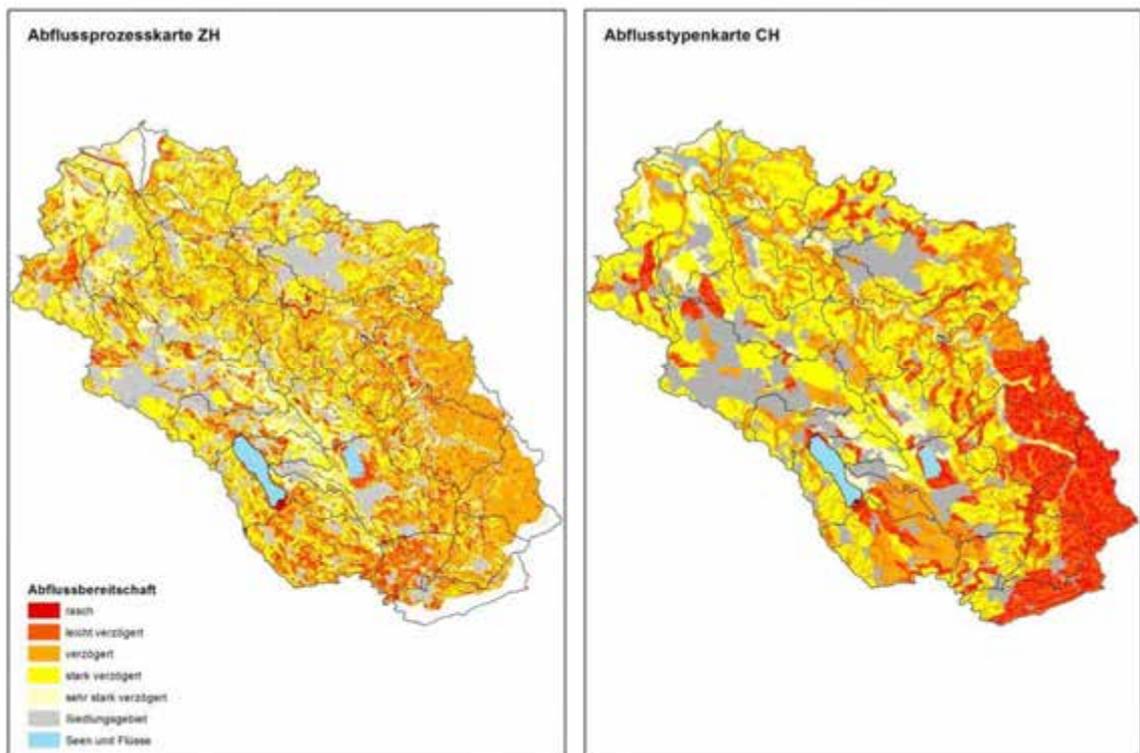


Abbildung 1 Vergleich Abflussprozesskarte des Kantons Zürich und Abflusstypenkarte Schweiz

Die Ausscheidung der rasch reagierenden Flächen zeigt mit Ausnahme des oben erwähnten Gebietes im oberen Tösstal keine wesentlichen Unterschiede (Abbildung 2). Grösser sind die Unterschiede bei den Flächen, die bei der Abflussbildung zu Schwellenprozessen führen können. Hier weist die Abflussprozesskarte des Kantons Zürich mehr Einzugsgebiete mit einem hohen Anteil an Flächen auf, die zu Schwellenprozessen führen können (Abbildung 3).

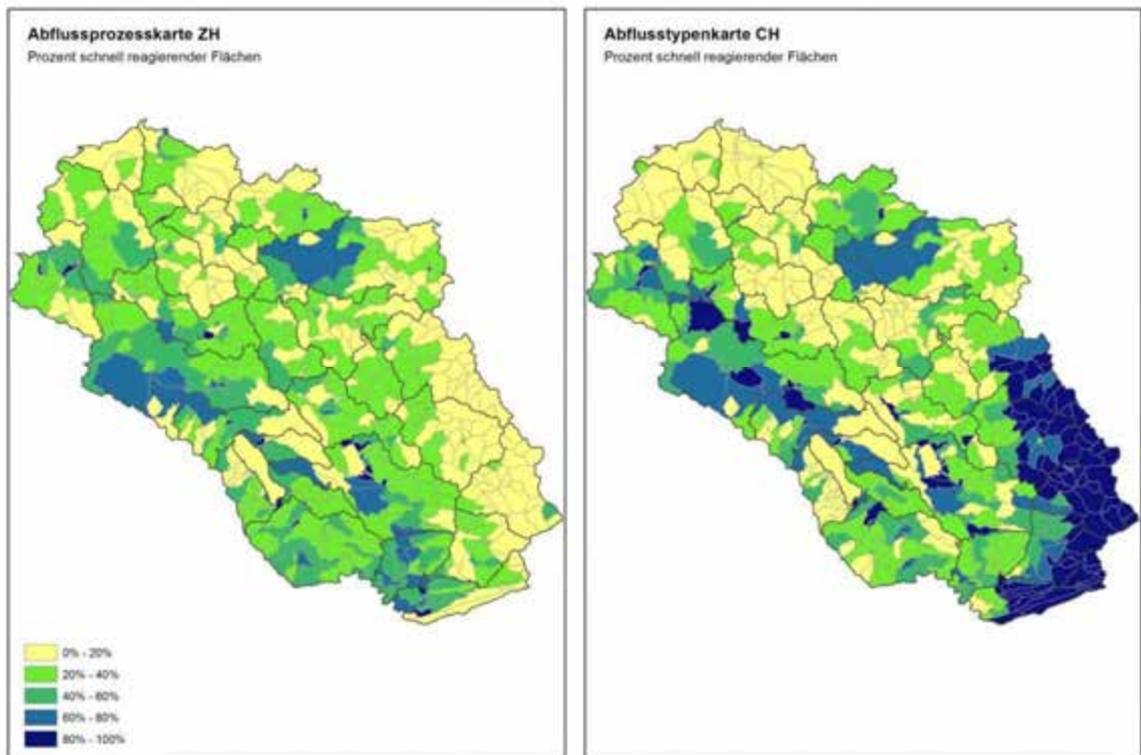


Abbildung 2 Vergleich Auswertung Flächenanteil rasch reagierende Flächen

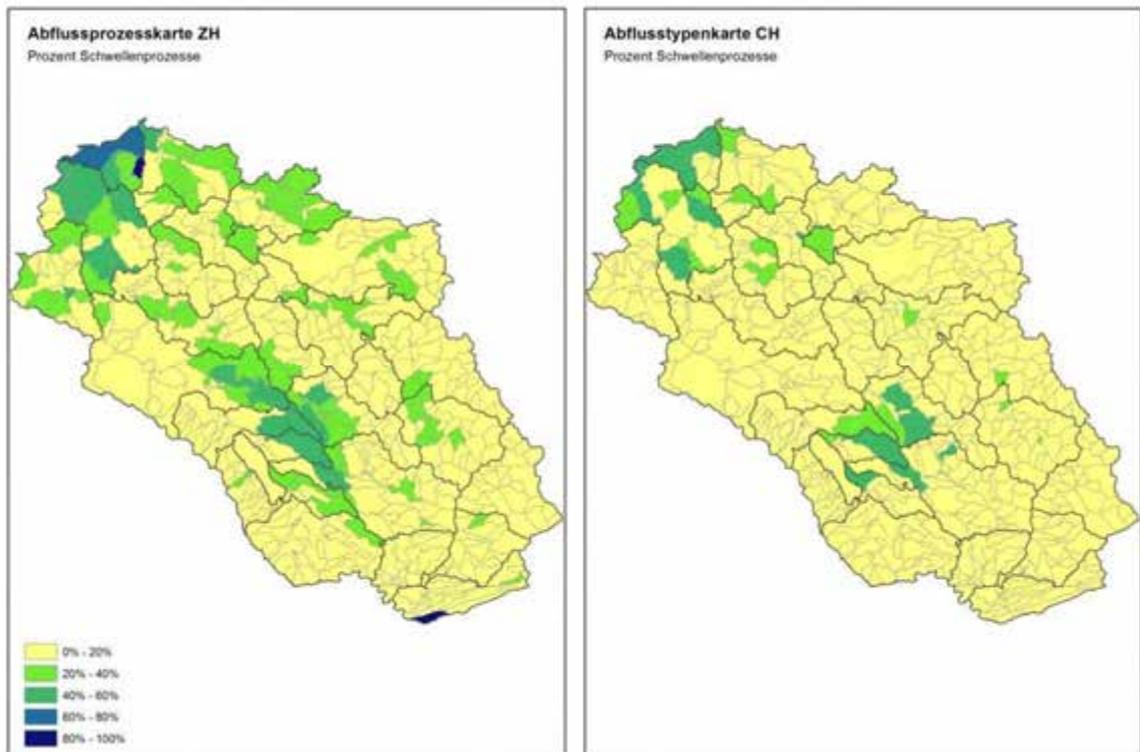


Abbildung 3 Vergleich Auswertung Flächenanteil potenzielle Schwellenprozesse

Die Unterschiede in den Schwellenprozessen wirken sich jedoch nicht stark aus, wie die Gegenüberstellung der Sensitivität für die Hochwasserabflüsse im mittleren Szenario zeigen (Abbildung 4). Einzig im oberen Tösstal resultiert für die Abflusstypenkarte Schweiz eine starke Zunahme, wogegen für die Abflussprozesskarte Zürich keine Veränderung ausgeschieden wird. Dies ist jedoch auch dadurch begründet, dass das Szenario nur für einen Teil des Gebietes eine Zunahme des Niederschlages ergibt. Dies gilt auch für die aggregierten Resultate (Abbildung 5).

Im Extremszenario sind die Unterschiede zwischen den beiden Karten grösser, neben dem oberen Tösstal insbesondere im nördlichen und westlichen Teil (Abbildung 6) des Gebietes. Hier fallen bei der Abflussprozesskarte des Kantons Zürich mehr Gebiete in die höchste Sensitivitätsstufe. Dies ist vor allem auf die Abflussreaktion infolge von Schwellenprozessen zurückzuführen, die in diesen Bereichen hohe Flächenanteile aufweisen. Bei der Aggregation werden diese Effekte noch verstärkt (Abbildung 7).

Der Vergleich zeigt, dass durch die Verwendung unterschiedlich detaillierter Bodeninformationen unterschiedliche Ergebnisse resultieren. Dabei kann vermutet werden, dass im nördlichen und westlichen Bereich die Resultate basierend auf der Prozesstypenkarte des Kantons Zürich realitätsnaher sind als die Ergebnisse, die aus der Abflusstypenkarte Schweiz abgeleitet wurden. Im oberen Tösstal lässt sich dies nicht abschliessend beurteilen.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass die Homogenität der Resultate bei Verwendung der Abflussprozesskarte des Kantons Zürich eher noch verstärkt wird, dies insbesondere im Extremszenario.

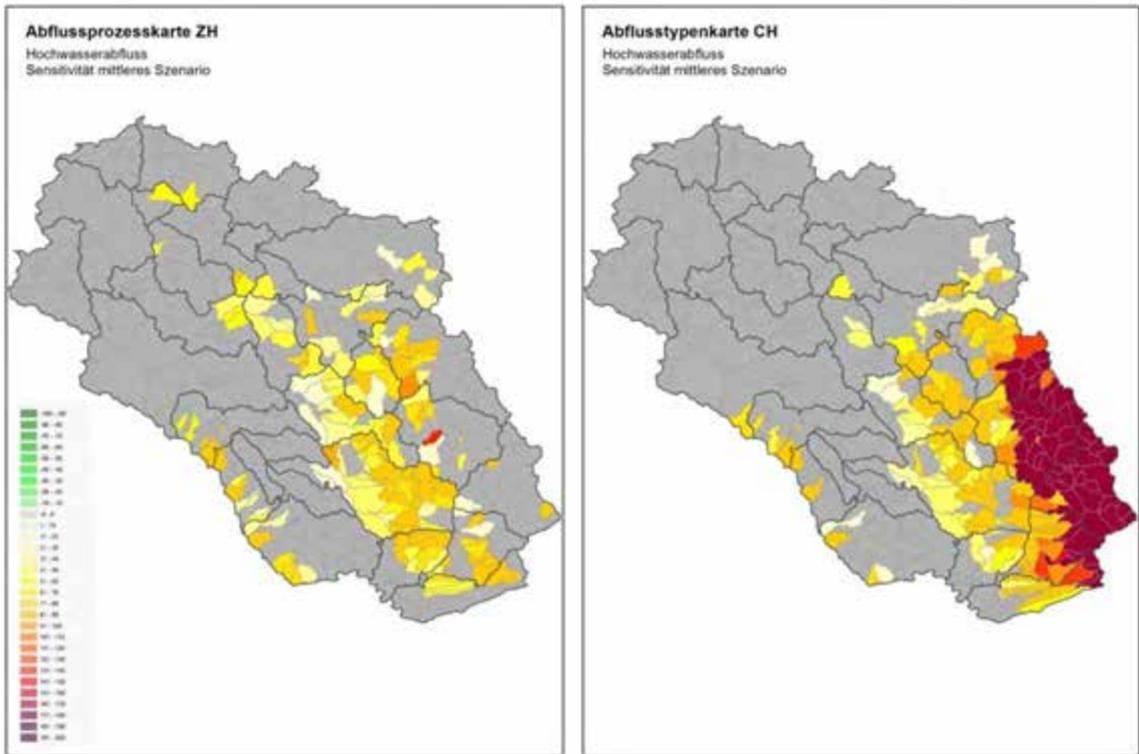


Abbildung 4 Vergleich Sensitivität Hochwasserabfluss für das mittlere Szenario

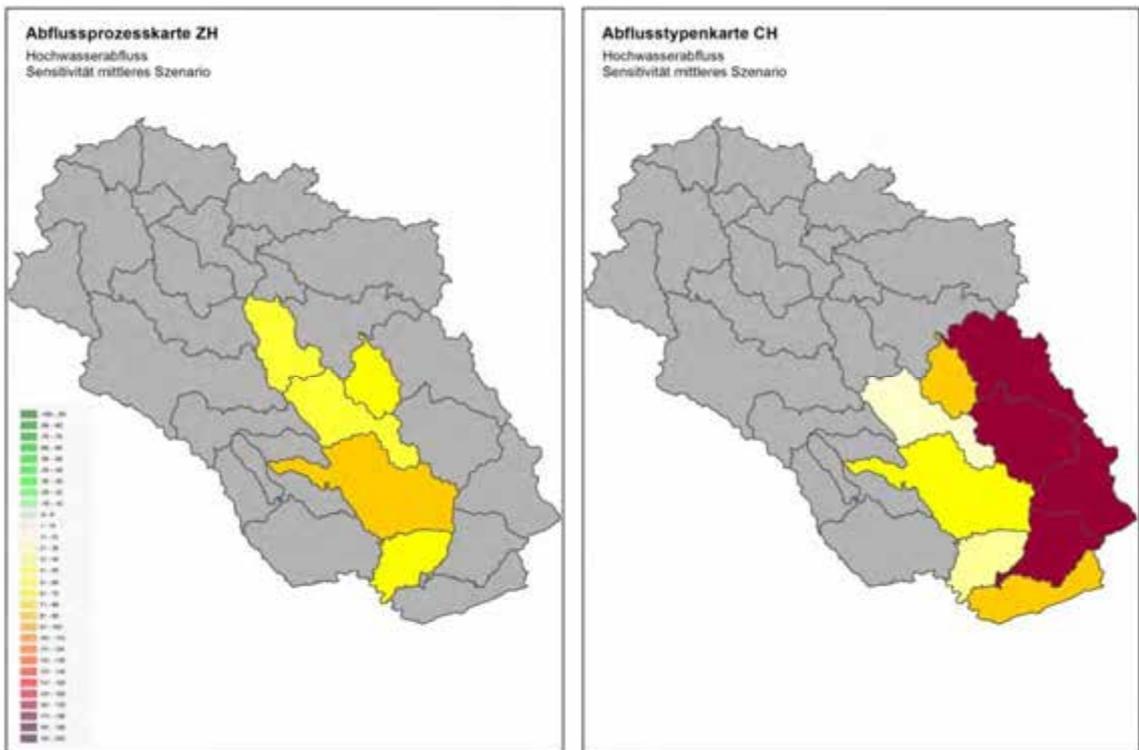


Abbildung 5 Vergleich Sensitivität Hochwasserabfluss für das mittlere Szenario, aggregiert

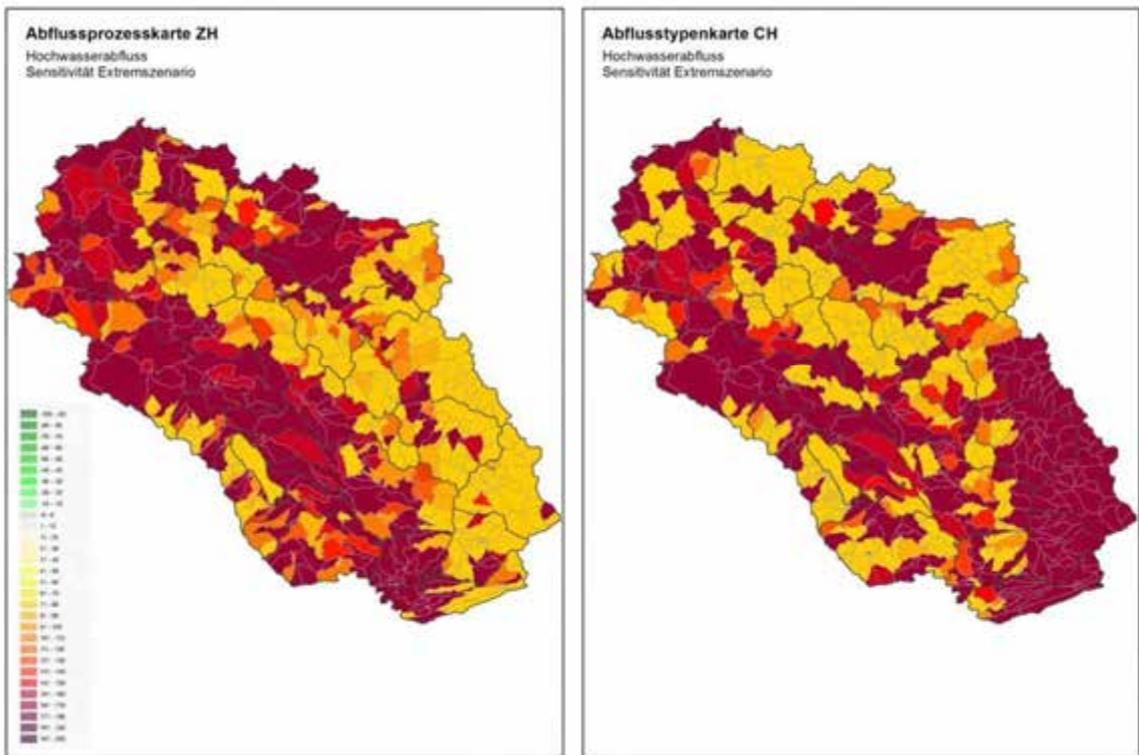


Abbildung 6 Vergleich Sensitivität Hochwasserabfluss für das Extremszenario

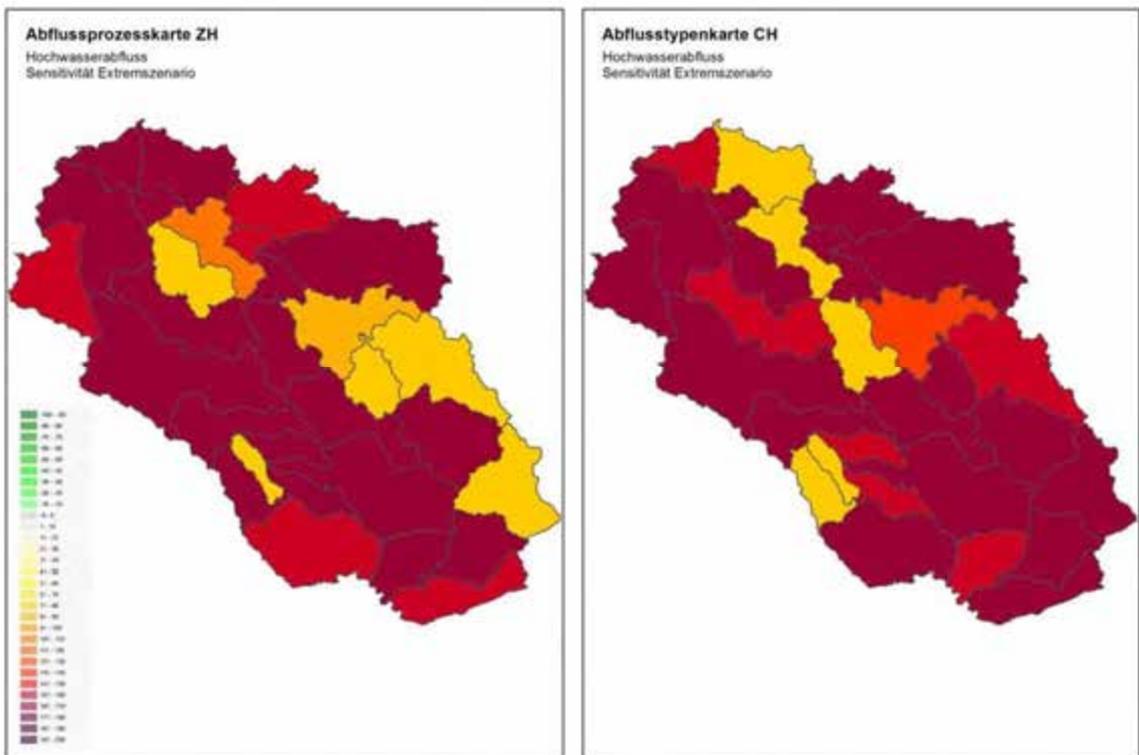


Abbildung 7 Vergleich Sensitivität Hochwasserabfluss für das Extremszenario, aggregiert

12 Literaturverzeichnis

geo7, 2014: Berechnung Abflusstypenkarte. Bericht zuhanden BAFU.

geo7, 2015a: Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 1: Methodenbericht. Bericht zuhanden BAFU.

geo7, 2015b: Klimasensitivität Naturgefahren. Teil 3: GIS-Handbuch. Bericht zuhanden BAFU.