

Masterarbeit

Einfluss von Nutzungsumstellungen auf die Bodenerosion von schweizerischen Schafalpen



Catherine Bauer

2013

Institut für Umweltgeowissenschaften der Universität Basel



Unter der Leitung und Betreuung von:

Prof. Dr. Christine Alewell, Universität Basel
Dr. Katrin Meusbürger, Universität Basel
Ing.-Agr. ETH Cornel Werder, Büro Alpe
Dr. Volker Prasuhn, Agroscope Reckenholz-Tänikon

Im Auftrag von Agridea, Pro Natura, Schweizerischer Schafzuchtverband und WWF
Co-finanziert von den Bundesämtern für Landwirtschaft, Umwelt und Veterinärwesen

Zusammenfassung

Der Verlust von Boden im Hochgebirge ist Teil eines natürlichen Prozesses, der durch eine unangepasste Landnutzung mit Schafen verstärkt werden kann. Um die Produktionsgrundlage der Alpwirtschaft und die Ökosystemdienstleistungen zu schützen, hat die Schweiz im Jahr 2000 eine neue Sömmerungsbeitragsverordnung (SR 910.133) eingeführt. In der neuen Gesetzgebung wird eine nachhaltige Weideführung (Weidesystem) mit höheren Beiträgen dotiert und stark übernutzte Flächen aus der Beweidung ausgeschlossen. Vor dem Jahr 2000 waren sogenannte Standweiden (freier Weidegang), wo die Schafe oft bevorzugte Gratlagen übernutzten, üblich. Die höhere finanzielle Unterstützung des Bundes für die Umtriebsweide (Koppelhaltung) und die ständige Behirtung hat dazu geführt, dass viele Schafhalter die Standweide zu Gunsten eines anderen Weidesystems aufgegeben haben. Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob eine Veränderung des Weidesystems eine Veränderung der Bodenerosion bewirkt.

Im Rahmen dieser Studie wurden insgesamt neun Schafalpen analysiert; sieben davon haben ihr Weidesystem von Standweide zu Umtriebsweide oder von Standweide zu Flächen mit Nutzungsaufgabe gewechselt und zwei wurden als Referenzalpen beigezogen, weil ihr Weidesystem sich über die Untersuchungsperiode nicht verändert hat. Eine Abnahme der Bodenerosion war sowohl für die Umtriebsweiden (bessere Weideführung, geringeren Weidedruck) als auch auf den Flächen, die aufgrund einer Übernutzung aufgegebenen worden sind, zu erwarten. Für die Untersuchung wurde die Ausdehnung der Bodenschäden vor (1990-2000) und nach der Weidesystemumstellung (2000-2010) auf Luftbildern und Fotos mit dem Geoinformationssystem (GIS) aufgenommen:

- Auf den Fotoaufnahmen wurden die Pixel mit gleichem Farbspektrum einer Klasse zugeteilt (Erosion, Gras, Himmel, Geröll, usw.), um die Erosionsfläche vom Gesamtbild (%) für die zwei selben Bilder mit unterschiedlichem Jahrgang zu ermitteln.
- Auf den Luftbildern wurde jeweils der äussere Rand der Bodenerosionsflächen im Massstab 1:500 innerhalb der Weideflächen für drei unterschiedliche Jahre (um 1990, 2000 und 2010) digitalisiert.

Um das Bodenerosionsrisiko abzuschätzen, wurde zusätzlich die Bodenerosionsverteilung in Abhängigkeit der Standortfaktoren Höhe, Hangneigung, Exposition und Geologie untersucht.

Die Fotoanalyse zeigt eine deutliche Bodenerosionsverbesserung (durchschnittlich -6%) für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide. Dies ist nicht weiter verwunderlich wenn man weiss, dass die meisten Fotos genau dort aufgenommen worden sind, wo man die Schafe als Bodenabtragsursache in der Standweidehaltung vermutete. Im Laufe der Untersuchung hat sich dennoch herausgestellt, dass die Fotoanalyse bei weitem nicht alle Schäden der Weideflächen abdeckt und somit für die gesamte Alp als nicht repräsentativ einzustufen ist. Auf den Luftbildern, welche sämtliche Schäden der Weideflächen abbilden, hat die Bodenerosion nach der Weidesystemumstellung (2000-2010) sowohl für die Umtriebsweiden (7 Alpen +1 bis +13%; 1 Alp -18%) als auch für die Nutzungsaufgaben (+1% bis +30%) und die Referenzalpen (+30% bis +97%) entgegen unseren Erwartungen zugenommen. Diese Bodenerosionszunahme konnte nicht direkt mit den zeitlich variablen Klimafaktoren in Verbindung gebracht werden. Allerdings deutet die Verteilung der Bodenerosion auf bestimmten Lagen (>1800m, 30-40°, süd-exponierte Hänge) und die Bodenerosionsformen (in Hangabwärtsrichtung langezogen), die auf den Alpen angetroffen worden sind, darauf hin, dass der Prozess des Schneegleitens weit über die Schafbeweidung hinaus ein wichtiger Erosionsfaktor auf den Alpen ist. Die erwartete Bodenerosionsverbesserung auf den Umtriebsweiden und Nutzungsaufgaben wurde demnach höchstwahrscheinlich durch eine zunehmende Schneebewegungsaktivität überdeckt, die eine abschliessende Aussage über das beste Weidesystem zur Vermeidung von Bodenerosion verunmöglicht. Die Studie hat des Weiteren aufgezeigt, dass der Vergleich der Bodenerosionsentwicklung zwischen den verschiedenen Weidesystemumstellungen (Umtriebsweiden mit Nutzungsaufgaben oder Referenzalpen mit den zwei Umstellungen) nur dann möglich ist, wenn die Bodenerosionsanfälligkeit der gegenübergestellten Standorte identisch ist. Hinzuzufügen ist ausserdem, dass die zehnjährige Zeitspanne nach der Umstellung des Weidesystems für eine Regeneration der Pflanzendecke unter den extremen Bedingungen des Hochgebirges sehr kurz ist.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
1.1. ALLGEMEINE EINFÜHRUNG.....	1
1.1.1. Relevanz.....	1
1.1.2. Rahmen	1
1.2. DAS SCHAF ALS BODENEROSIONSFAKTOR–STAND DER FORSCHUNG	2
1.2.1. Bodenerosionseinflussfaktoren.....	2
1.2.2. Bodenerosionsformen.....	3
1.3. KONZEPT.....	5
1.3.1. Weidesysteme und Weidesystemumstellungen	5
1.3.2. Fragestellung und Hypothesen.....	8
2. STANDORTBESCHREIBUNG	9
2.1. ALPAUSWAHL UND –ÜBERSICHT	9
2.2. NATÜRLICHE GEGEBENHEITEN	10
3. MATERIALIEN UND METHODEN	19
3.1. FRAGEBOGEN UND GELÄNDEBEGEHUNGEN	19
3.2. FOTOANALYSE DER BODENEROSIONSERSCHEINUNGEN	21
3.2.1. Datengrundlagen.....	21
3.2.2. Quantitative Bodenerosionsaufnahme.....	21
3.2.3. Statistik.....	23
3.3. LUFTBILDKARTIERUNG DER BODENEROSIONSERSCHEINUNGEN	24
3.3.1. Datengrundlagen.....	24
3.3.2. Bodenerosionskartierung.....	26
3.3.3. Statistik.....	28
3.4. ANALYSE MÖGLICHER EINFLUSSFAKTOREN DER BODENEROSION.....	30
3.4.1. Datengrundlagen.....	30
3.4.2. Räumliche Verteilung der Bodenerosion nach bestimmten Parametern.....	31
3.4.3. Analyse der Wirkungsstärke verschiedener Einflussfaktoren auf die Erosionsverteilung.....	33
3.4.4. Statistik.....	34
3.4.5. Niederschlagsdaten.....	36

4. RESULTATE	39
4.1. ENTWICKLUNG DER BODENEROSIONSERSCHEINUNGEN	39
4.1.1. <i>Fotoanalyse</i>	39
4.1.2. <i>Bodenerosionsfläche und -dichte auf den Luftbildern</i>	46
4.1.3. <i>Grösse der Erosionsflächen und Erosionsmuster auf den Luftbildern</i>	59
4.2. EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE RÄUMLICHE VERTEILUNG DER BODENEROSIONSERSCHEINUNGEN	79
4.2.1. <i>Standortfaktoren</i>	79
4.2.2. <i>Zeitlich variierende Einflussfaktoren</i>	95
4.2.3. <i>Wirkungsstärke der Einflussfaktoren auf die Bodenerosionsverteilung</i>	97
5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	101
5.1. VERGLEICH DER METHODEN ZUR BODENEROSIONSAUFNAHME.....	101
5.2. BODENEROSIONSURSACHEN	103
5.2.1. <i>Bodenerosionsverteilung im Zusammenhang mit den Standortfaktoren</i>	103
5.2.2. <i>Bodenerosionsentwicklung</i>	106
5.2.3. <i>Schafbeweidung als Bodenerosionsursache?</i>	111
6. SCHLUSSFOLGERUNG.....	115
LITERATURVERZEICHNIS	119
ANHANG	125
DANKSAGUNG	137

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Die Einflussfaktoren der Bodenerosion und die Folgen einer Übernutzung durch Schafbeweidung.	2
Abb.2: Die verschiedenen Bodenerosionsformen und deren Ursprung (Wiegand & Geitner 2010).	4
Abb.3: Die drei Weidesysteme, die bei der Schafhaltung üblich sind (eigene Darstellung).	6
Abb.4: Geografische Lage der Alpen (A-I) klassifiziert nach Typ und Jahr der Weidesystemumstellung und nach Kanton. (Hintergrund Swisstopo 2007b).	9
Abb.5: Prozentuale Höhenverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).	10
Abb.6: Prozentuale Primärflächenverteilung auf den Alpen (Daten Swisstopo 2007c).	11
Abb.7: Monatsmittel der Temperatur 1961-1990 an ausgewählten Wetterstationen (Alp D: Säntis, E: Château d'Oex, F:Napf, I:BadRagaz Daten MeteoSchweiz 2005, Alp A, B, C, G, H nach Tab.8).	12
Abb.8: Mittlere jährliche Temperaturverteilung in der Schweiz 1961-1990 (Hintergrund MeteoSchweiz 2011).	12
Abb.9: Monatsmittel des Niederschlags 1961-1990 an ausgewählten Wetterstationen (siehe Tab.8).	13
Abb.10: Mittlere jährliche Niederschlagverteilung in der Schweiz 1961-1990 (Hintergrund MeteoSchweiz 2011).	13
Abb.11: Prozentuale Hangneigungsverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).	14
Abb.12: Kumulative prozentuale Expositionsverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).	15
Abb.13: Prozentuale Gesteinstypverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).	15
Abb.14: Prozentuale Flächenverteilung der stratigraphischen Einheiten auf den Alpen (Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).	16
Abb.15: Quantifizierung der Bodenerosion mit Fotos.	22
Abb.16: Aufnahme der Bodenerosion und Ermittlung des Erosionsmusters auf den Luftbildern.	27
Abb.17: Schema zum Vorgang der Einflussfaktorenanalyse der Bodenerosion.	32
Abb.18: Schema zum Vorgang der Wirkungsstärkeanalyse der Einflussfaktoren der Bodenerosion.	34
Abb.19: Zeitliche Entwicklung der Bodenerosionsflächen auf den Fotos zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Jahren (T-Test, $p=0,05$, Tab.10 Anhang).	39
Abb.20: Ergebnisse der Klassifizierung der Fotoaufnahmen in Erosionsflächen (braun), Vegetation(grün), Himmel (blau), Rest (grau).	45
Abb.21: Die zeitliche Entwicklung der Erosionsdichte geordnet nach Weidesystemumstellung zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Weidesystemumstellungen (einfaktorielle ANOVA, $p=0,05$, Tab.13 Anhang).	47
Abb.22: Verhältnis der Erosionsflächen zwischen den untersuchten Jahren geordnet nach Weidesystemumstellung. Kein signifikanter Unterschied zwischen den Jahren (J0/J1, J1/J2, T-Test $p=0.05$, Tab. 14) und zwischen den unterschiedlichen Weidesystemumstellungen ersichtlich (einfaktorielle ANOVA, $p=0.05$, Tab.15 Anhang).	47

Abb.23: Verhältnis der Erosionsfläche (1990/2000) für jede Alp und Weidesystemumstellung. Alpen 1-9 = A-I. Rote gestrichelte Linie: Erosionsgleichgewicht, keine Veränderung. Blaue gestrichelte Linie: 10% Fehlermarge, die bei der Digitalisierung auf Luftbilder entstehen kann.	48
Abb.24: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsfläche für alle Weidesystemumstellungen zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.16 Anhang).	60
Abb.25: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für alle Weidesystemumstellungen.	60
Abb.26: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.17 Anhang).	61
Abb.27: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide.	61
Abb.28: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe zwischen 1990 und 2010. Kein signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.18 Anhang).	62
Abb.29: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe.	62
Abb.30: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsflächen für die Referenzalpen zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.19 Anhang).	63
Abb.31: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für die Referenzalpen.	63
Abb.32: Beispiele zur Entstehung von Bodenerosionsflächen (1-4, Referenzen siehe Text).....	66
Abb.33: Verheilung von Bodenerosionsflächen.....	67
Abb.34: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Höhenstufe.	79
Abb.35: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Hangneigung.....	80
Abb.36: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Expositionswinkel.....	81
Abb.37: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Gesteinstyp.....	82
Abb.38: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach den stratigraphischen Einheiten.....	83
Abb.39: Zeitliche Entwicklung der Starkniederschlagsereignisse zwischen 1950 und 2010 an unterschiedlichen Wettermessstationen (Tab.8).....	96
Abb.40: Zeitliche Entwicklung der monatlichen Winterniederschläge (November-März) zwischen 1985 und 2011 an unterschiedlichen Wettermessstationen (Tab.8).....	96
Abb.41: Methodenvergleich zwischen der Foto- und der Luftbildanalyse.	101
Abb.42: Steinreiche Böden auf den untersuchten Alpen.	106
Abb.43: Möglicher Einfluss der Schneebewegung auf den Boden (links: © Frank Techel, SLF).	108
Abb.44: Flächenverteilung der Höhen auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.....	109
Abb.45: Flächenverteilung der Exposition auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.	109
Abb.46: Flächenverteilung der Hangneigung auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.....	109
Abb.47: Typische Bodenerosionsformen, die durch Schneebewegung entstehen können.....	112
Abb.48: Übernutzung von Weiden durch Schafe (rechts: ©Roman Sutter).....	113

Tabellenverzeichnis

Tab.1: Höchstbesatz für Schafe nach der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV 2007).....	8
Tab.2: Höhenstufen der Böden in den Kalk- und Silikatalpen (Veit 2002).....	17
Tab.3: Technische Angaben zu den Luft- und Orthobilder (Swisstopo 2010a, Swisstopo 2012b & Swisstopo 2012c).....	25
Tab.4: Verwendete Luft- und Orthobilder. Das Orthobild L1 der Alp G konnte aufgrund von Schneeflecken nicht ausgewertet werden.	26
Tab.5: Technische Angaben zu den Grundlagedaten der Einflussfaktoren (Swisstopo 2005, Swisstopo 2001, Heitzmann 2004, Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).	30
Tab.6: Klassifizierung der Einflussparameter.....	33
Tab.7: Variablen zur Analyse der Wirkungsstärke der Einflussfaktoren.	35
Tab.8: Informationen zu den Wetterstationen.....	36
Tab.9: Informationen zu den Niederschlagsparametern.....	36
Tab.10: Unterschied der Bodenerosionsflächen auf den Fotos für die Jahre 2000 und 2012 (T-Test, $p=0.05$).....	125
Tab.11: Die Entwicklung der Bodenerosion auf den Alpen für die unterschiedlichen Jahre. Bei der Alp G fehlt die Auswertung des Orthobildes für J1, deswegen wurde die gleiche Erosionsfläche für J1 und J2 angenommen. Grün hinterlegte Kästchen zeigen eine Abnahme der Erosion, rot hinterlegte Kästchen zeigen eine Zunahme der Erosion. Kein signifikanter Unterschied der Erosion zwischen den Jahren J0,J1,J2 und den verschiedenen Weidesystemumstellungen (T-Test, $p=0.05$, Tab.12 Anhang).	46
Tab.12: Resultate zum Unterschied der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und innerhalb der Weidesystemumstellungen (T-Test, $p=0.05$).....	125
Tab.13: Resultate zum Einfluss der Weidesystemumstellung auf die Erosionsflächen der Luftbilder (einfaktorielle ANOVA, $p=0.05$).....	125
Tab.14: Resultate zum Unterschied des Verhältnisses der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und innerhalb der Weidesystemumstellungen (T-Test, $p=0.05$). Es besteht nur einen signifikanter Unterschied zwischen dem Verhältnis der Jahre J0/J1 und J1/J2 wenn man alle Weidesystemumstellungen zusammenfasst.	126
Tab.15: Resultate zum Einfluss der Weidesystemumstellung auf das Erosionsverhältnis auf den Luftbildern (einfaktorielle ANOVA, $p=0.05$).....	126
Tab.16: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für alle Weidesystemumstellungen zusammen (Friedmann-Test, $p=0,05$).....	126
Tab.17: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide (Friedmann-Test, $p=0,05$).....	127

Tab.18: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe (Friedmann-Test, $p=0,05$).....	127
Tab.19: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren für die Referenzalpen (Friedmann-Test, $p=0,05$).	127
Tab.20: Visuelle Bewertung zum Erosionsmuster auf den Alpen zwischen 2000 und 2010 basierend auf den Karten S.69 bis S.77. Je dunkler die rote Farbe desto mehr kleine Erosionsfläche sind entstanden, je dunkler die grüne Farbe desto mehr grosse Erosionsflächen sind verheilt.....	64
Tab.21: Referenzkategorien für die binäre logistische Regression.....	97
Tab.22: Regressionskoeffizient und Signifikanz der unterschiedlichen Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression.....	98
Tab.23: Wahrscheinlichkeit (%) für die richtige Zuordnung der Bodenerosion (0: keine Erosion/1: Erosion) mittels der wichtigsten Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression.....	99
Tab.24: Regressionskoeffizient und Signifikanz der unterschiedlichen Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression ohne Einbezug der geographischen Lage der Alpen.....	100
Tab.25: Wahrscheinlichkeit (%) für die richtige Zuordnung der Bodenerosion (0: keine Erosion/1: Erosion) mittels der wichtigsten Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression ohne Einbezug der geographischen Lage der Alpen.	100

Abkürzungsverzeichnis

Weidesysteme:

UW Umtriebsweide

NA Nutzungsaufgabe

SB Ständige Behirtung

TOT Alle Weidedysteme zusammengenommen

Jahr der Bodenerosionsaufnahme:

J0 um 1990

J1 um 2000

J2 um 2010

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Einführung

1.1.1. Relevanz

In der Schweiz besitzen die Alpwirtschaft und die Schafsömmernung einen Status von nationaler Bedeutung. Von den 420'000 Schafen, die im Land leben und grösstenteils für die Fleischproduktion bestimmt sind, verbringen rund die Hälfte den Sommer im Alpenraum (Arbeitsgruppe nachhaltige Schafalpung 1999, Landwirtschaftlicher Informationsdienst 1999). Um diese uralte Tradition der Schafsömmernung unter den schwierigen Produktionsbedingungen weiter zu erhalten und um eine vielfältige Landschaft zu fördern, werden jährlich Sömmernungsbeiträge ausbezahlt. Dabei wird nicht nur auf das Fortbestehen des Brauchs Wert gelegt, sondern es sollte auch auf eine nachhaltige ressourcenschonende Schafalpung geachtet werden. Nach den gesetzlichen Grundlagen der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo, Art.6) und der Sömmernungsbeitragsverordnung (SöBV 2007, Art.3 und 12) gefährdet vor allem der Verlust von Boden (Bodenerosion, Bodenabtrag, Rutschung), der zum Teil durch eine falsche Bewirtschaftung der Nutzflächen verstärkt werden kann, das sensible Ökosystem des Hochgebirges und die Produktionsgrundlage der Alpwirtschaft (Sutter 2007, Sutter & Keller 2009).

1.1.2. Rahmen

Diese Arbeit wurde im Rahmen des inter- und transdisziplinären Verbundprojekts AlpFUTUR verfasst (www.alpfutur.ch). Anhand von 25 Teilprojekten und über vier Jahre (2009-2013) hinweg wurden die Perspektiven für die zukünftige Nutzung des Schweizerischen Sömmernungsgebietes aufgearbeitet. Nebst wirtschaftlichen und politischen Aspekten lag der Schwerpunkt auf Kultur- und Naturlandschaftswerten. Im Teilprojekt 24 (SchafAlp) wurde die Nachhaltigkeit der Schafalpung für fünf verschiedene Module untersucht: Artenvielfalt, Fleischqualität, Abgänge, Wirtschaftlicher Erfolg und Bodenstabilität (Lauber et al. 2011). Aufgrund des Forschungsschwerpunkts im Bereich der Bodenerosion in den Alpen der Forschungsgruppe Umweltgeowissenschaften der Universität Basel wurde dieses Thema im Rahmen einer Masterarbeit angeboten.

1.2. Das Schaf als Bodenerosionsfaktor – Stand der Forschung

1.2.1. Bodenerosionseinflussfaktoren

Die Bodenerosion wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst (Abb.1). Dazu gehören zum einen die sogenannten Standortfaktoren, wie die Geologie und die Topographie (Höhe, Hangneigung, Exposition, Hanglänge, Hangform), die sich über die Zeit kaum verändern. Zum anderen bestimmen die biologischen Einflussgrößen, wie die Vegetation (Wurzellänge, Wurzeldichte, Bedeckungsgrad) und die Bodeneigenschaften (Bodenart, Dichte, Infiltration, Porenverteilung, Wasserhaushalt, pH, organische Substanz, Gesteinsgehalt), ob ein Boden für Erosion anfällig ist. Zu den zeitlich variierenden Faktoren gehören die Witterung und die Temperatur, die schlussendlich die Niederschlagsmenge und -art (Schnee oder Regen) determinieren (Tasser et al. 2001 & 2003, Wiegand & Geitner 2010, Konz et al.2010, Zigsch et al. 2011). Unter den soeben erwähnten natürlichen Bodenerosionsfaktoren wurden die Hangeigenschaften (Form, Länge), die biologischen Einflussgrößen und die Einwirkung des Windes in dieser Studie vernachlässigt.

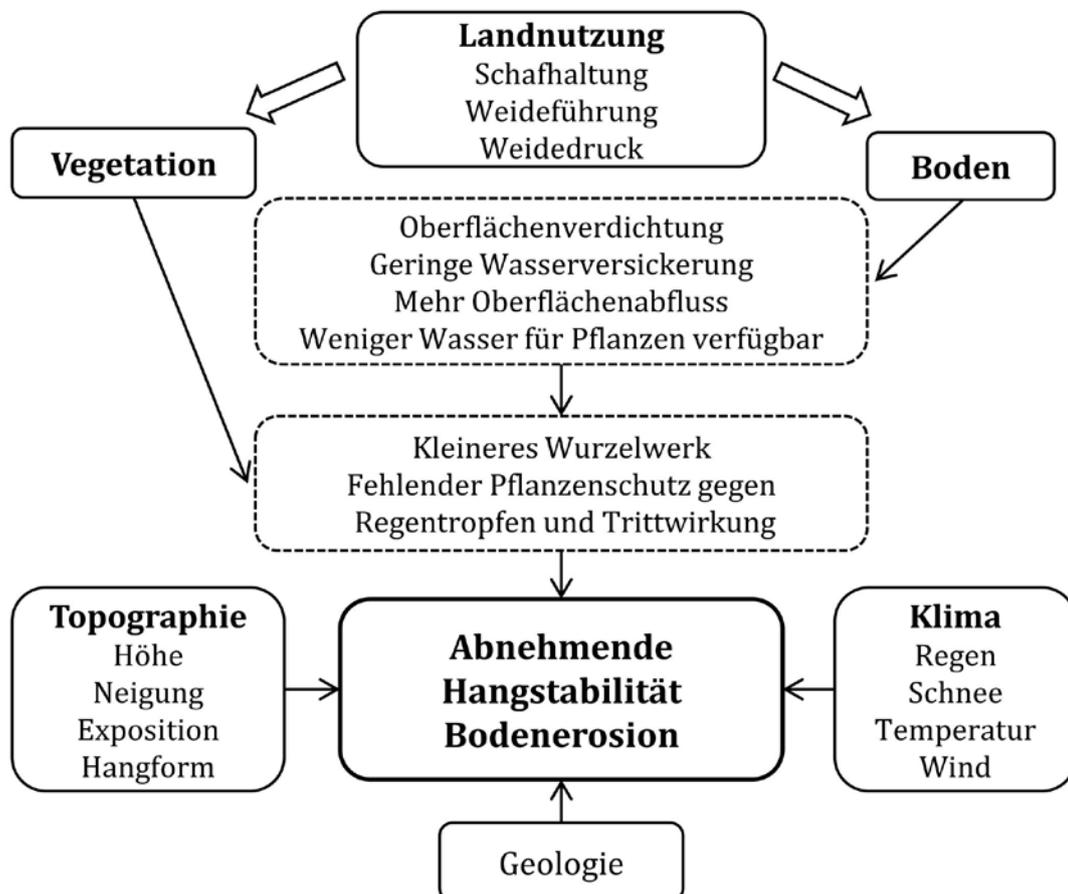


Abb.1: Die Einflussfaktoren der Bodenerosion und die Folgen einer Übernutzung durch Schafbeweidung.

Der Mensch kann ebenfalls durch die Landnutzung auf die Bodenerosion einwirken. Im Ackerbau kommt es vor allem auf die Fruchtwahl, die Feldeinteilung und die Bewirtschaftungsart an, während in der Alpwirtschaft primär die Wahl der Tierart, das Gewicht der Tiere, die Weideführung und der Weidedruck eine Rolle spielt (Troxler 2007, Zischg et al. 2011). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Schafe Bodenerosion verursachen können (Abb.1). Einerseits wird auf häufig besuchten Flächen die schützende Vegetationsbedeckung durch Frass und Tritt zerstört. Mit ihrem scharfen Gebiss sind Schafe sogar in der Lage Pflanzen mit der Wurzel auszureissen (Köstler & Krogoll 1991, Blankenhorn 1999, Schauer 2000). Folglich kann sich das Wurzelwerk der Pflanzen zurückbilden, was die innere Kohäsion des Bodens senkt und die Hangstabilität mindert (Caputa & Scehovic 1974, Van Vuren & Coblenz 1987, Arbeitsgruppe Nachhaltige Schafalping 1999, Blankenhorn 1999, Schauer 1999, Dietl 2001, Tasser et al. 2001 & 2003, Stadler 2003, Evin 2005, Troxler 2007, BAFU 2009, Wiegand & Geitner 2010). Andererseits können die Kleinwiederkäuer mit ihren scharfen Klauen einen grossen Druck ausüben (200kPa) und eine oberflächliche Bodenverdichtung verursachen, obwohl sie eigentlich nicht sehr schwer sind (35-70kg) (Gayl 1980, Ringler 2009, Roberston & Scott 2009). Eine Bodenkompaktion verursacht eine kleinere Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen und einen erhöhten Oberflächenabfluss, was wiederum den Hangabtrag fördert (Huber 1951, Jacobsen 1987, Bunza 1984 & 1989, Van Vuren & Coblenz 1987, Krogoll & Köstler 1991, Arbeitsgruppe Nachhaltige Schafalping 1999, Stadler 2003, Evin 2005, Sutter 2007, Troxler 2007, Garcia-Gonzàles 2008).

1.2.2. Bodenerosionsformen

In Hochgebirge lassen sich nebst Frass- und Trittschäden, welche direkt von den Tieren verursacht werden, zwei Hauptbodenerosionsformen (Abb.2) unterscheiden:

➤ Bei den tiefgründigen hufeisenförmigen Bodenabtragsformen, den sogenannten Translationsbodenrutschungen oder Blattanbrüchen, bewegen sich meist ganze Rasenschollen entlang einer Gleitfläche. Diese Gleitfläche kann sich entweder zwischen dem Boden und dem Ausgangsgestein lokalisieren oder sich innerhalb des Bodens entlang einer Materialdiskontinuität (z.B. Dichteunterschied) befinden (Abb.2, 7). Die Entstehungsursache kann sehr vielfältig sein. Einerseits kann der Boden durch die Schurfwirkung des Schnees verletzt werden. An dieser Stelle kann das Niederschlagswasser einfacher infiltrieren und eine Gewichtszunahme des Bodenpakets

induzieren (Abb.2, 2 & 3). Andererseits kann die Beweidung das Wurzelnetz schwächen, was sich in einer Abnahme der inneren Kohäsion der Bodens widerspiegelt. Wenn keine zu grosse Bodenverdichtung stattgefunden hat, kann Wasser zusätzlich in den Boden eindringen (Abb.2, 4 & 7) (Karl 1977, Bernhaupt 1980, Tasser et al. 2001 & 2003, BAFU 2009, Ringler 2009, Stahr & Hartmann 2009, Wiegand & Geitner 2010).

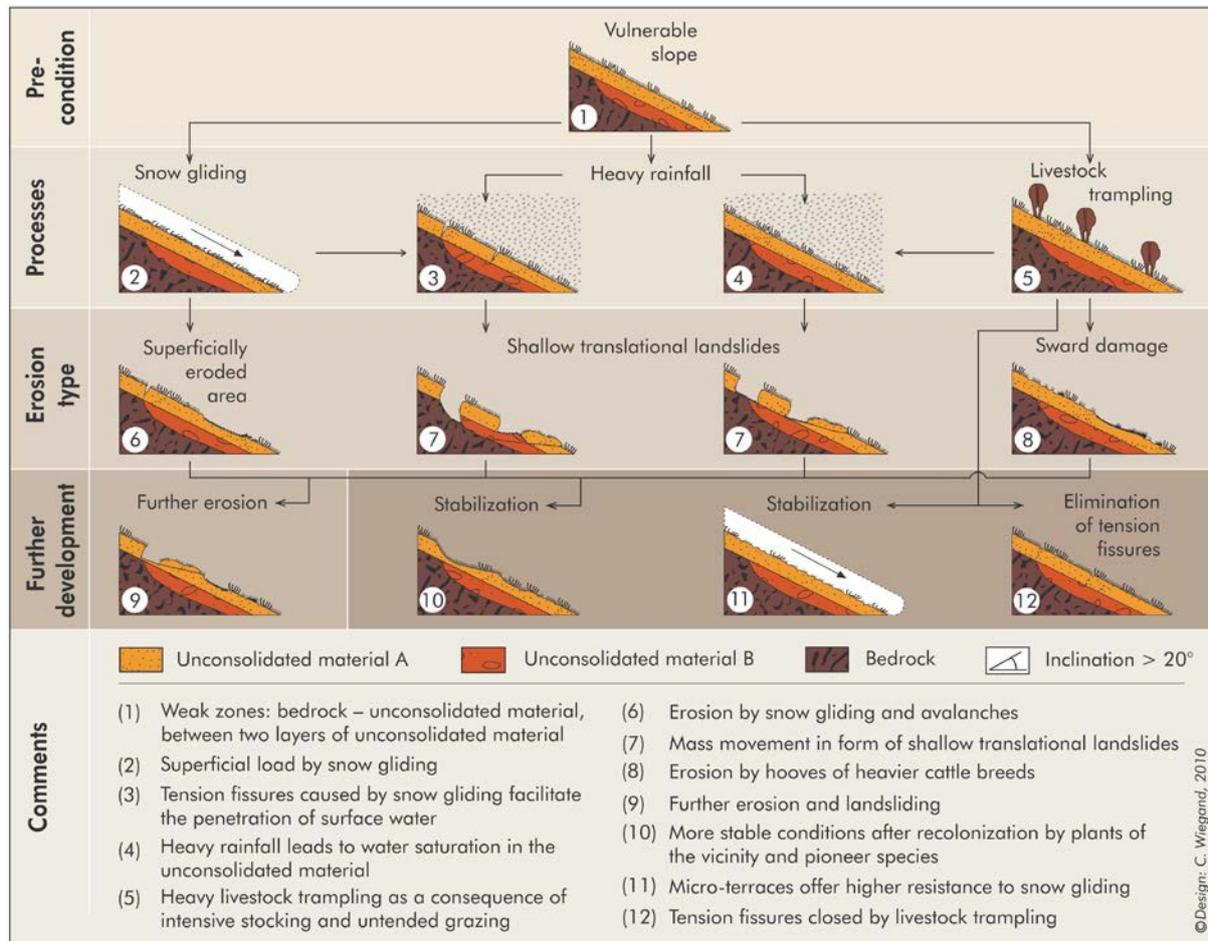


Abb.2: Die verschiedenen Bodenerosionsformen und deren Ursprung (Wiegand & Geitner 2010).

➤ Typische Schneeschrufflächen sind gegenüber Blattanbrüchen meist sehr flachgründig und eher in Neigungsrichtung langgezogen. Wie es der Name schon verrät, wird unter Einwirkung der Schneebewegung (Schneegleiten oder Nassschneelawine) der Oberboden regelrecht abgeschält (Abb.2, 2 & 6). Beim Schneegleiten handelt es sich um eine langsame Schneebewegung (mm-cm/Tag), während Lawinen innerhalb von Sekunden den Hang hinunterdonnern (Maag et al. 2001, Stahr Hartmann 2009, Stocker 2009, Wiegand & Geitner 2010, Zisch et al. 2011). Aus unterschiedlichen Studien geht hervor, dass die Beweidung den Prozess des Schneegleitens vermindern kann, indem sie das Gras kurz hält und somit die Bodenrauigkeit fördert (Abb.2, 5 & 11) (In der Gand &

Zupancic 1966, Gayl 1980, Köstler & Krogoll 1991, Dommermuth & Stahr 1993, Stahr & Hartmann 1999, Newesely et al. 2000, Maag et al. 2001, Tasser et al. 2001 & 2003, Leitinger et al. 2008, Hellebart 2006, Wiegand & Geitner 2010, Zischg et al. 2011).

Alle Bodenschäden, egal wie sie entstanden sind, können sich unter den extremen hochalpinen Bedingungen nur sehr langsam erholen (Zischg et al. 2011).

1.3. Konzept

1.3.1. Weidesysteme und Weidesystemumstellungen

Nach den gesetzlichen Grundlagen der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV) werden drei Weidesysteme unterschieden:

➤ Die Standweide wird in der SöBV in die Kategorie „übrige Weiden“ eingegliedert. Bei diesem Weidesystem erfolgt keine Weideführung (Abb.3, oben). Die Schafe können innerhalb eines eingezäunten Weideperimeters den ganzen Sommer frei weiden. Das grosse Problem dabei ist, dass sie ein ausgeprägtes eigenwilliges Ortsverhalten besitzen; sie bevorzugen Gratlagen oder die obersten Weideteile, weil sie ständig auf der Suche nach frischen jungen Pflanzen sind und es dort oben angenehm kühl ist. Aufgrund ihrer hohen Mobilität vermögen sie auch schorfiges, steiles Gelände problemlos zu überwinden. Folglich verbringen die Schafe in der Standweide die meiste Zeit auf den höchsten Lagen, wo sie die Vegetation und den Boden punktuell sehr stark übernutzen, während weiter unten das Gras verdorrt (Arbeitsgruppe Nachhaltige Schafalping 1999, Blankenhorn 1999, Schauer 2000, Dietl 2001, Aubert 2002, Stadler 2003, Troxler & Chatelain 2006, Ringler 2009).

➤ Bei der ständigen Behirtung führt ein Hirt die Schafe zu immer neuen Futterplätzen (Abb.3, Mitte). Er benutzt Hunde, Zäune oder natürliche Barrieren um die Herde zusammenzuhalten und nachts werden die Schafe eingezäunt (Chatelain & Troxler 2005, Arbeitsgruppe Nachhaltige Schafalping 1999). Die Weidenutzung und der Weidedruck ist somit hirtensabhängig; je besser ein Hirt ausgebildet ist, desto gleichmässiger erfolgt die Beweidung und desto weniger können Schafe bevorzugte Stellen übernutzen.

➤ Bei der Umtriebsweide wechseln die Schafe nach dem Rotationsprinzip ungefähr alle zwei Wochen die Koppel (Abb.3, unten). Diese Art der Weideführung sollte eine flächendeckende Beweidung ermöglichen. Die Zäune müssen dennoch an der richtigen

Stelle angebracht werden; es empfiehlt sich, sie möglichst horizontal und mit einer geringen Höhendifferenz (100-150m) anzulegen (Arbeitsgruppe Nachhaltige Schafalpfung 1999, Troxler & Chatelain 2005 & 2006, Troxler 2007).

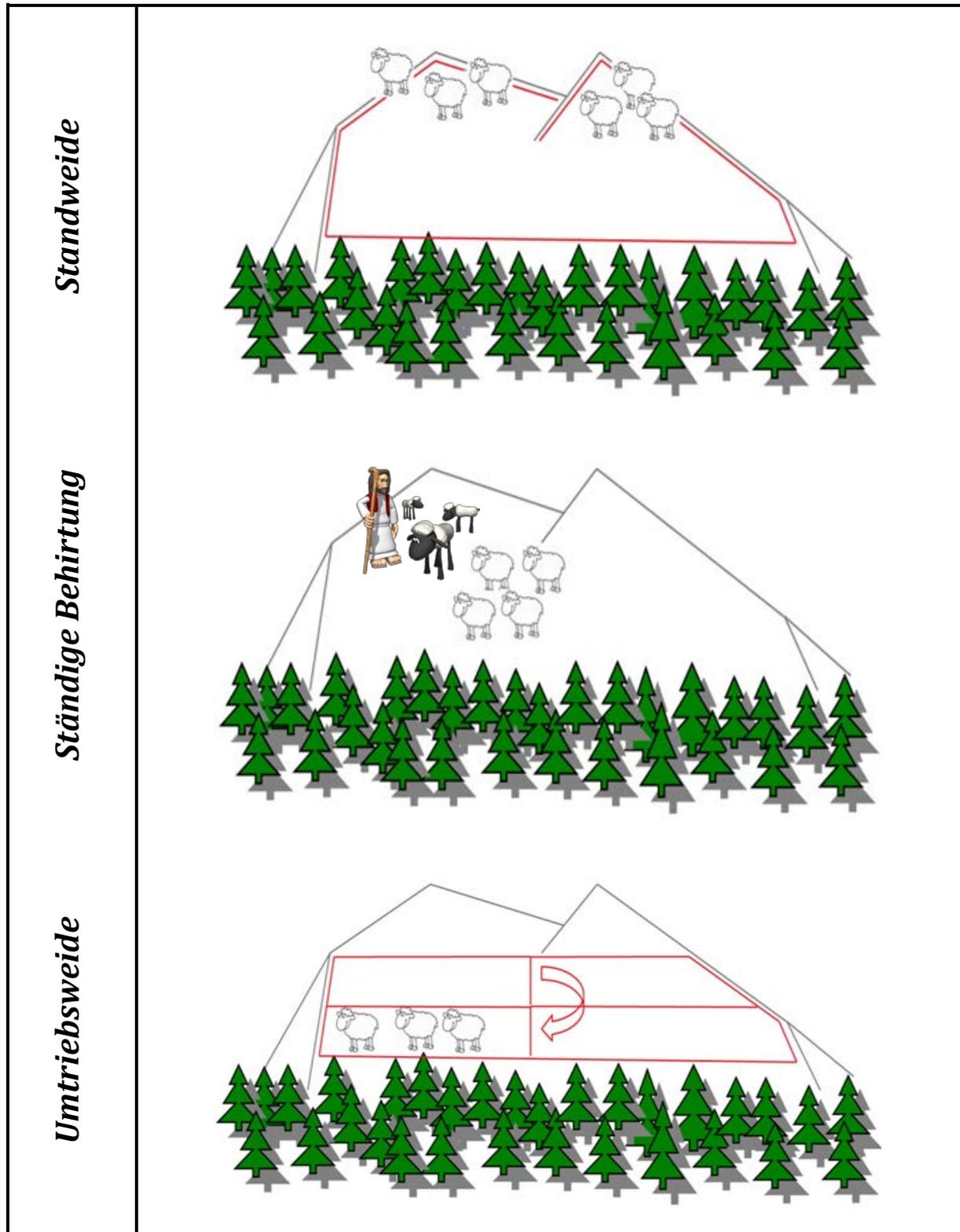


Abb.3: Die drei Weidesysteme, die bei der Schafhaltung üblich sind (eigene Darstellung).

Nach dem zweiten Weltkrieg wurde aus finanziellen Gründen die ständige Behirtung zu Gunsten der Standweide aufgegeben (Chatelain & Troxler 2005). Erst mit der Einführung der Sömmerungsbeitragsverordnung im Jahr 2000 gab es Änderungen in der Schafhaltung. Einerseits mussten die Anzahl weidender Tiere pro Weidesystem, Fläche und Höhe neu angeglichen werden (Tab.1). Folglich sank auf der Mehrheit der Alpen auch die Besatzdichte (Abschnitt 4.2.2 und Anhang) bzw. Anzahl Normalstösse (NST, mit diesem Begriff wird die Anzahl Tiere pro Fläche und Weidedauer definiert, siehe Fragebogen Abschnitt 3.1). Andererseits wurden differenzierte Beiträge nach Art der Weideführung ausgezahlt: Standweide Fr.120.00/NST, Umtriebsweide Fr.250.00/NST, Ständige Behirtung Fr.330.00/NST. Die Ausrichtung von höheren Beiträgen für die ständige Behirtung und die Umtriebsweide hat dazu geführt, dass viele Alpbesitzer das Weidesystem von Standweide zu Umtriebsweide oder zu ständiger Behirtung gewechselt haben (SöBV 2007). Zudem durften folgende Flächen nach Artikel 3 der SöBV nicht mehr beweidet werden:

- Flächen mit empfindlichen Pflanzenbeständen und Pioniervegetation auf halboffenem Boden.
- steile felsige Gebiete.
- Schutthalden und junge Moränen.
- Mit einem Weideverbot belegte Naturschutzflächen.
- Flächen, auf denen durch Beweidung die Erosionsgefahr verstärkt wird.
- Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung oder kurzer Vegetationszeit, die als bevorzugte Aufenthaltsorte der Schafe bekannt sind, dürfen nicht als Standweide genutzt werden.

In dieser Studie werden nur zwei verschiedene Weidesystemumstellungstypen analysiert:

- Der Wechsel von Standweiden zu Umtriebsweiden.
- Die Umstellung von Standweiden zu Flächen, die aus der Bewirtschaftung ausgeschlossen wurden. Der Grund der Nutzungsaufgaben waren Schäden, für die vermutet wurde, dass sie durch schafbedingte Übernutzung zustande kam.

Die ständige Behirtung konnte aufgrund mangelnder Anzahl Alpen in dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

Tab.1: Höchstbesatz für Schafe nach der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV 2007).

Standort: Höhenlage Topografie Vegetation	Weidesystem	Höchstbesatz ^a pro ha Nettoweidefläche		
		Schafe ^b	GVE	
Unterhalb der Waldgrenze: mässig steiles Gelände, mittlere Ertragslagen bzw. Pflanzenbestände	bis 1000 m	Herde mit ständiger Behirtung oder Umtriebsweide	6–10	0,5–0,9
	1000–1400 m		5–8	0,4–0,7
	über 1400 m		3–6	0,3–0,5
Ertragslagen bzw. Pflanzenbestände	bis 1000 m	Übrige Weiden	4–7	0,3–0,6
	1000–1400 m		3–5	0,3–0,4
	über 1400 m		2–3	0,2–0,3
Oberhalb der Waldgrenze: noch im Bereich der Rinderalpen, mässig steiles Gelände, mittlere Ertragslagen bzw. Pflanzenbestände	Herde mit ständiger Behirtung oder Umtriebsweide	4–5	0,3–0,5	
	Übrige Weiden	2–3	0,2–0,3	
Hohe Lagen: oberhalb des Bereichs der Rinderalpen, mässig steiles Gelände, mittlere Ertrags- lagen bzw. Pflanzenbestände	Herde mit ständiger Behirtung oder Umtriebsweide	2–3	0,2–0,3	
	Übrige Weiden	0,5–1,8	0,1–0,2	

1.3.2. Fragestellung und Hypothesen

In den vorstehenden Abschnitten wurde klar, dass die Schafe Bodenerosion verursachen können. Das Ausmass der Schäden scheint dennoch von der Weidebewirtschaftung (Weideführung, Weidedruck) abzuhängen. Demzufolge wird im Rahmen dieser Studie folgende Fragestellung untersucht:

- **Bewirkt eine Änderung im Weidesystem auch eine Änderung in der Bodenerosionsausdehnung?**

Es wurden folgende Hypothesen aufgestellt:

- **Hypothese 1:** Die Standweide ist nach Angaben der Literatur das Weidesystem, wo die Schafe am meisten Schäden verursachen können. Deswegen ist es wahrscheinlich, dass ein Wechsel von Standweide zu einer gut geführten Umtriebsweide, die Bodenerosion mindern würde.
- **Hypothese 2:** Die Aufgabe von Flächen, die früher von den Schafen stark übernutzt wurden, sollte ebenfalls eine Bodenabtragsabnahme bewirken.

Um die Fragestellung zu beantworten und die Hypothesen zu verifizieren, wurde die Bodenerosionsentwicklung über die letzten 10 bis 20 Jahren mit Hilfe von Luftbildern und Fotos auf neun Alpen verfolgt.

2. Standortbeschreibung

2.1. Alpauswahl und -übersicht

Die neun untersuchten Standorte (A-I) verteilen sich über den gesamtschweizerischen Alpenbogen (Abb.4). Die Verfügbarkeit von älteren Fotos mit Bodenerosionsschäden war das ausschlaggebende Auswahlkriterium für die Schafalpen. Diese Aufnahmen konnten von Pro Natura, Cornel Werder (Projektleiter SchafAlp) und den Kantonen St-Gallen, Glarus und Freiburg bezogen werden. Da es sich um vertrauliche Daten handelt, werden in dieser Arbeit keine Alpnamen genannt.

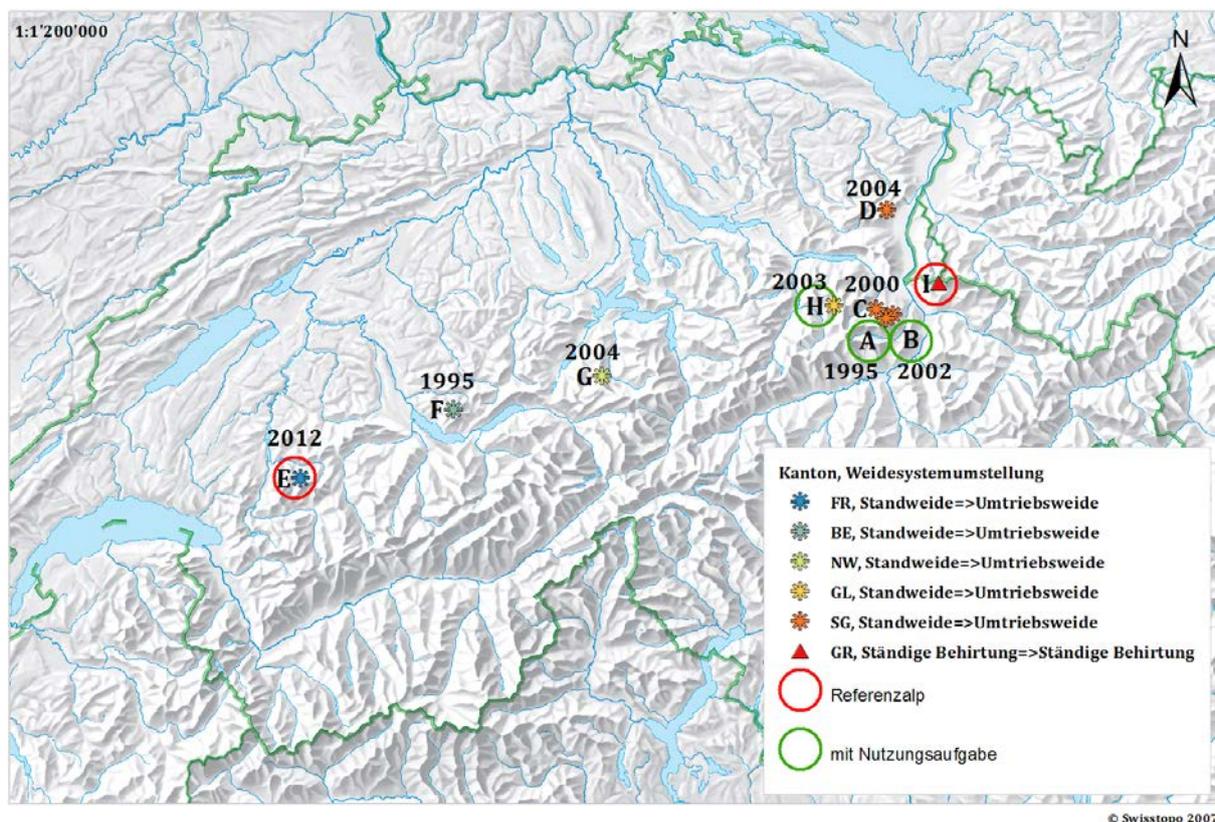


Abb.4: Geografische Lage der Alpen (A-I) klassifiziert nach Typ und Jahr der Weidesystemumstellung und nach Kanton. (Hintergrund Swisstopo 2007b).

Um die Hypothesen zu testen, musste auf den Alpen ein Wechsel im Weidesystem stattfinden. Dieser fand grösstenteils nach der Einführung der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV) im Jahre 2000 statt (siehe Datumangabe Abb.4). Acht der neun untersuchten Alpen haben ihr Weidesystem von Standweide zu Umtriebsweide gewechselt. Auf drei der acht entstandenen Umtriebsweiden wurden nach der Weidesystemumstellung Teilflächen aus der Bewirtschaftung genommen (A, B und H). Diese aufgegebenen Flächen werden in dieser Arbeit als separate Kategorie

„Nutzungsaufgabe“ behandelt und analysiert. Weiter wurden die Alpen E und I im Rahmen dieser Arbeit als Referenzalpen benutzt. Die Alp E hat erst im Jahr 2012 das Weidesystem gewechselt und ist somit für den Zeitraum 1990 bis 2011 als Standweide anzusehen. Die Alp I, die als einzige das Weidesystem der ständigen Behirtung repräsentiert, blieb ebenfalls in der Bewirtschaftungsart während dem Untersuchungszeitraum unverändert.

2.2. Natürliche Gegebenheiten

In den folgenden Abschnitten werden die natürlichen Gegebenheiten, die auf den Alpen vorzufinden sind, beschrieben. Dabei wurden Daten benutzt, die erst im Methodenteil 3.4 genauer erläutert werden.

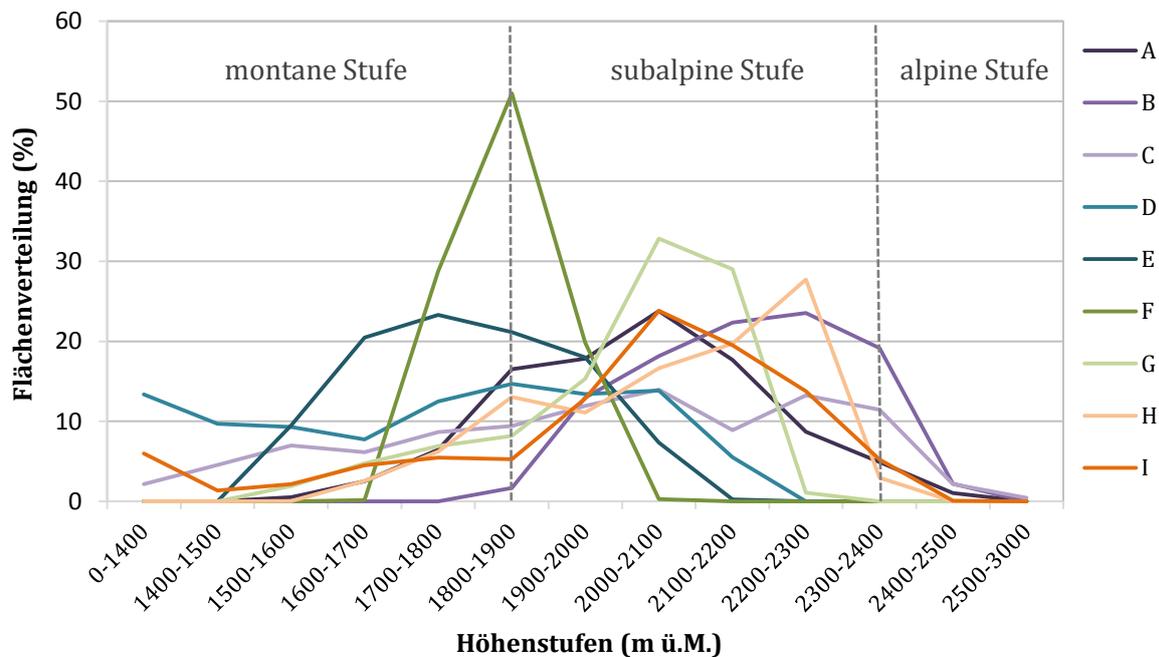


Abb.5: Prozentuale Höhenverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).

Nach der Höhenstufeneinteilung von Ellenberg (1978) befinden sich die meisten Alpen in der montanen und subalpinen Stufe (Abb.5). Bis an die Obergrenze der montanen Stufe sollte man natürlicherweise einen geschlossenen Wald vorfinden. Wie es in der Abbildung 6 ersichtlich ist, nimmt auch bei tiefer gelegenen Alpen (F und E) das Grasland einen grossen Teil der Landschaft ein. Die Ursache dieses Phänomens liegt in der Jahrhunderten alten Tradition der Alpsommerung, welche die Waldgrenze nach unten gedrückt hat (Veit 2002). In der subalpinen Stufe befindet sich normalerweise der Waldgrenzökoton, wo der Wald sich langsam auflöst und neuer Raum für die

Entwicklung von Zwergsträuchern (Alpenrose, Zwergwachholder, Heidelbeere, Schneeheide) und Krummholz (Grünerle, Legföhre) entsteht (Ellenberg 2010, Veit 2002). Auch in diesem Fall bestätigt der sehr geringen Anteil an „offenem Wald“ und „Gebüsch“ den uralten Brauch der Alpwirtschaft, die den gleitenden Übergang von Wald zu den Rasengesellschaften der alpinen Stufe hat verschwinden lassen (Abb.6). Stattdessen breiten sich für die Almen typische Borst-, Krummseggen-, Blaugrasgesellschaften und Milchkräuter über weite Teile der Alpflächen aus (Ellenberg 2010, Reisigl 1994).

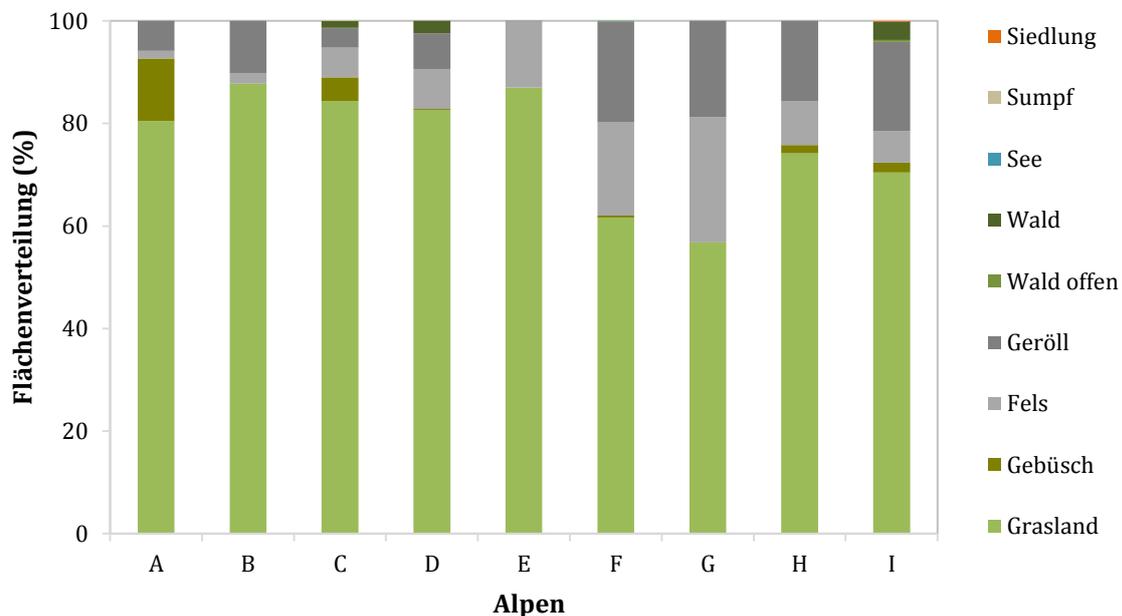


Abb.6: Prozentuale Primärflächenverteilung auf den Alpen (Daten Swisstopo 2007c).

Die untersuchten Schafalpen verteilen sich entlang des feucht-kühlen Alpennordhangs (Abb.8 & 10) (Veit 2002).

Die Temperaturschwankungen zwischen Winter und Sommer betragen im Mittel 17°C mit einem Maximum von 15°C im Juli und ein Minimum von -2°C im Januar auf ungefähr 1000m ü.M. (Abb.7). Da die Alpen deutlich höher liegen als die ausgewählten Wetterstationen (Tab.8) sind mit noch tieferen Monatsmitteltemperaturen zu rechnen. Im jährlichen Mittel liegt die Temperatur für die untersuchten Standorte zwischen 0 und 4°C (Abb.8).

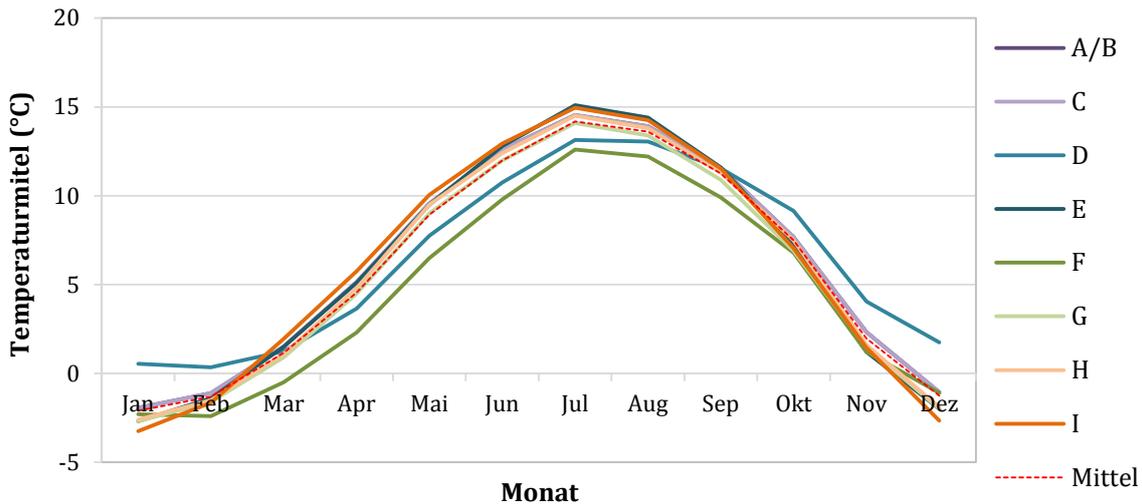


Abb.7: Monatsmittel der Temperatur 1961-1990 an ausgewählten Wetterstationen (Alp D: Säntis, E: Château d'Oex, F:Napf, I:BadRagaz Daten MeteoSchweiz 2005, Alp A, B, C, G, H nach Tab.8)

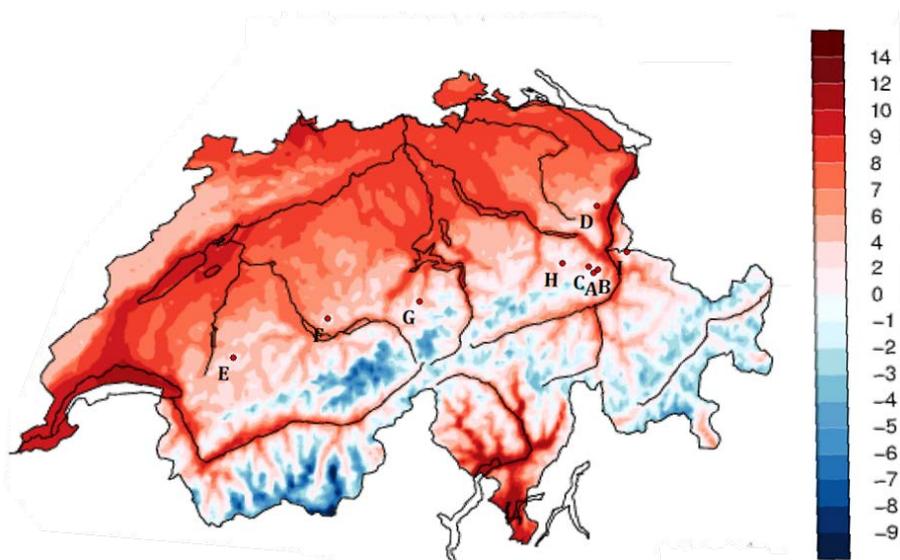


Abb.8: Mittlere jährliche Temperaturverteilung in der Schweiz 1961-1990 (Hintergrund MeteoSchweiz 2011).

Der nördliche Teil der Alpen ist durch ein sommerfeuchtes Klima charakterisiert (Abb.9). Die meisten Niederschläge fallen im August (Mittel: 180mm, Abb.9), während die trockensten Monate Oktober, Januar und Februar (Mittel: 100mm, Abb.9) sind. Der Niederschlag steigt mit zunehmender Höhe, was in den Randalpen einer Zunahme von 200mm/100m entspricht (Veit 2002). Da sich die Wetterstationen auf einer Höhe von ungefähr 1000m ü.M. befinden, ist die monatliche Niederschlagssumme auf den ausgewählten Alpen höchstwahrscheinlich höher als auf der Abbildung 9 beschrieben. Auf den Alpen fällt durchschnittlich zwischen 1700 und 2500mm Niederschlag im Jahr (Abb.10).

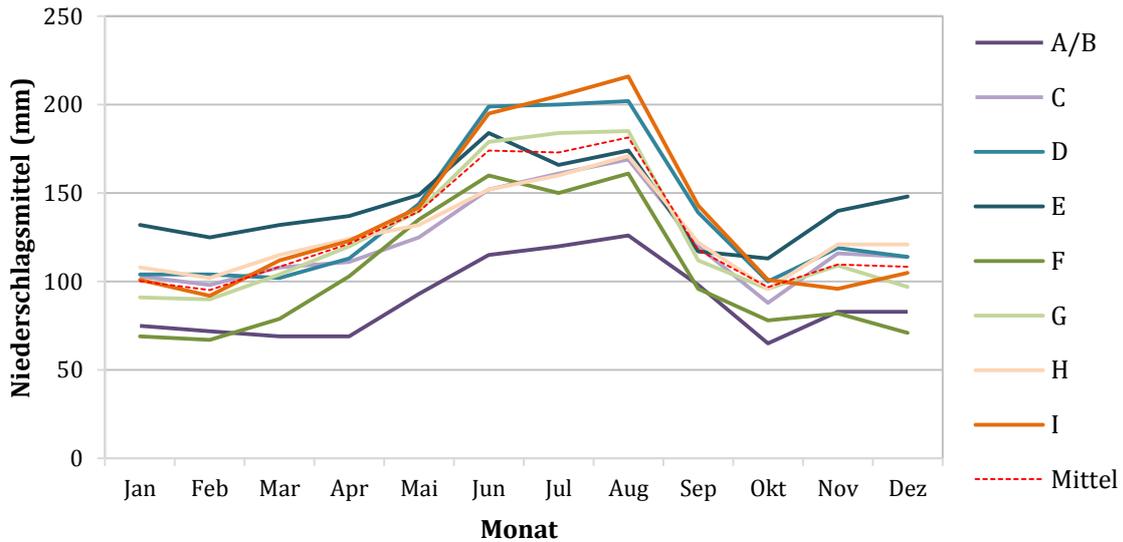


Abb.9: Monatsmittel des Niederschlags 1961-1990 an ausgewählten Wetterstationen (siehe Tab.8).

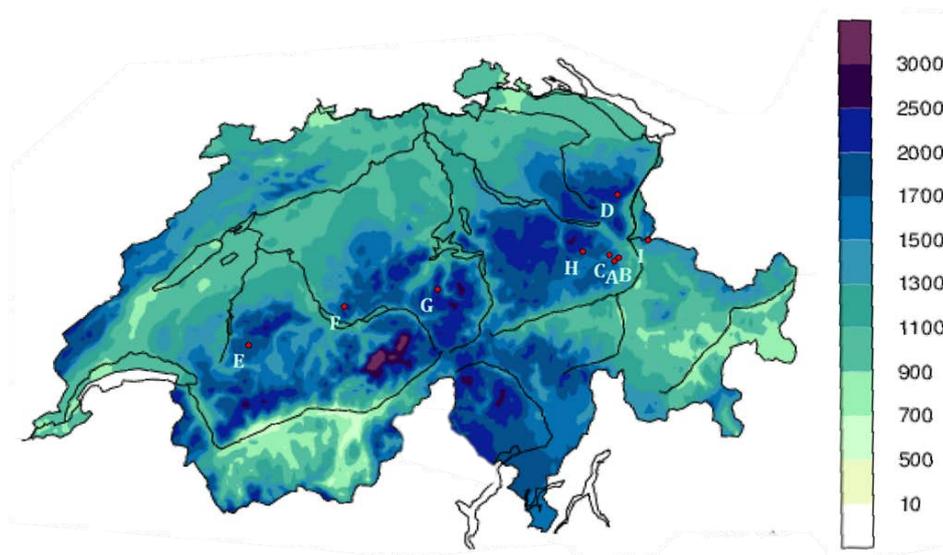


Abb.10: Mittlere jährliche Niederschlagverteilung in der Schweiz 1961-1990 (Hintergrund MeteoSchweiz 2011).

Mit Hilfe der Niederschlags- und Temperaturverteilung kann auch der Schnee besser erfasst werden. Generell steigt die Schneemenge mit zunehmender Höhe und erreicht Maximalstände von März bis Mai. Meist ist mit einer Schneebedeckungsdauer von ca. 250 Tagen auf 2000m ü.M. zu rechnen. Die Schneehöhe und -bedeckungsdauer sind oft grossen jährlichen Schwankungen ausgesetzt (Veit 2002).

Alle neun Alpen weisen eine ähnliche Hangneigungsverteilung auf (Abb. 11). Sie befinden sich alle zwischen einer Neigung von 25 und 45° mit einem Maximum bei ca. 35°. Dieser grosse Anteil an steilen Flächen bildet ideale Voraussetzungen für gravitative Massenbewegungen.

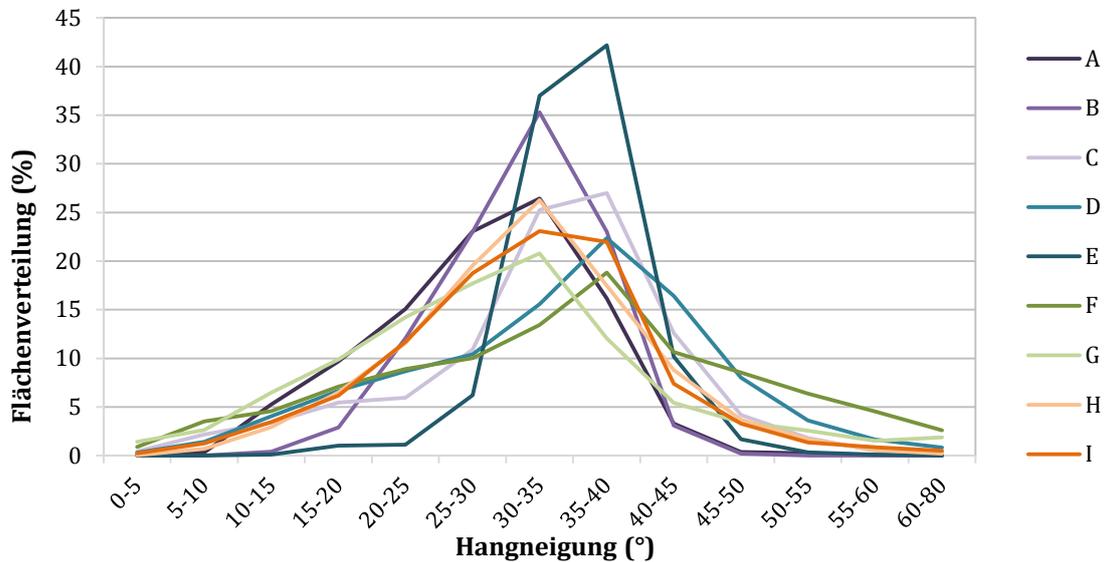


Abb.11: Prozentuale Hangneigungsverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).

Die Expositionsverteilung ist auf den neun Alpen sehr inhomogen (Abb. 12). Wenn man die kumulative Verteilung betrachtet, sieht man, dass der grösste Teil der Alpflächen SO-exponiert sind. Bei den Alpen B, D, E und H ist diese ost- und süd-Ausprägung markant, während sich die restlichen Alpen auf andere Expositionsklassen konzentrieren (Alp A) oder sich mehr oder wenig gleichmässig verteilen (Alp C, F, G, I).

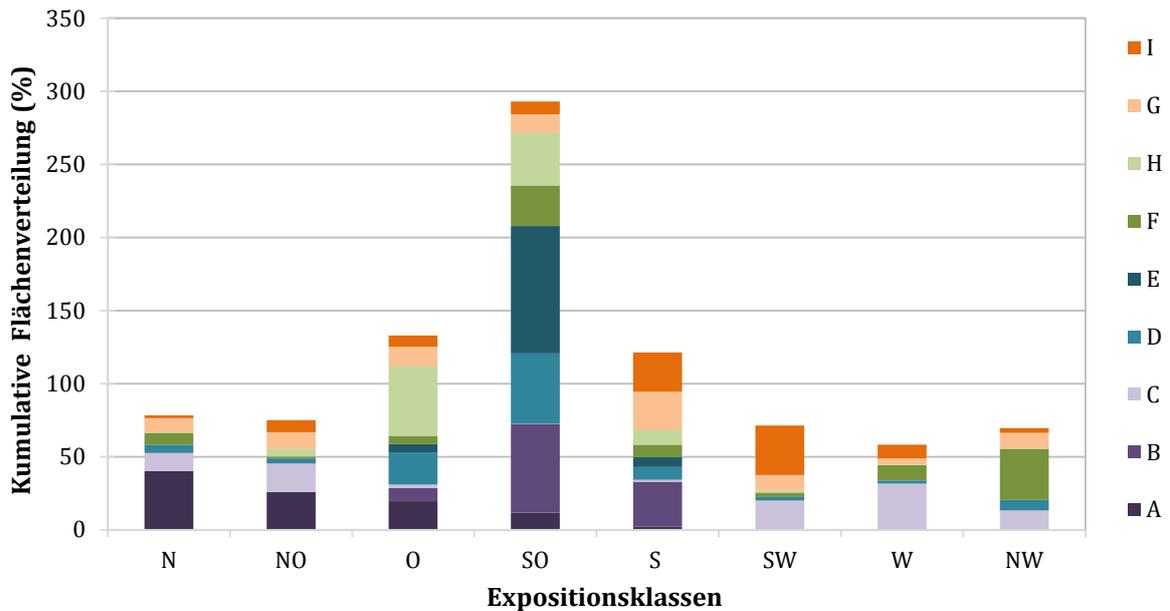


Abb.12: Kumulative prozentuale Expositionsverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Swisstopo 2001).

Die untersuchten Standorte befinden sich zum grössten Teil auf Gestein sedimentären Ursprungs, welche zwischen dem Perm und dem Jura (298-66 Mio. Jahren) im marinen Bereich abgelagert worden sind (Abb.13 & 14, Labhart 2009). Nur ein sehr kleiner Anteil an magmatischen Gesteinen (Rhyolith, Dacit) ist auf der Alp C vertreten. Weiter ist lockeres Moränen-, Bergsturz- und Hangschuttmaterial auf den Alpen C, G, H und I in kleinen Mengen vorhanden.

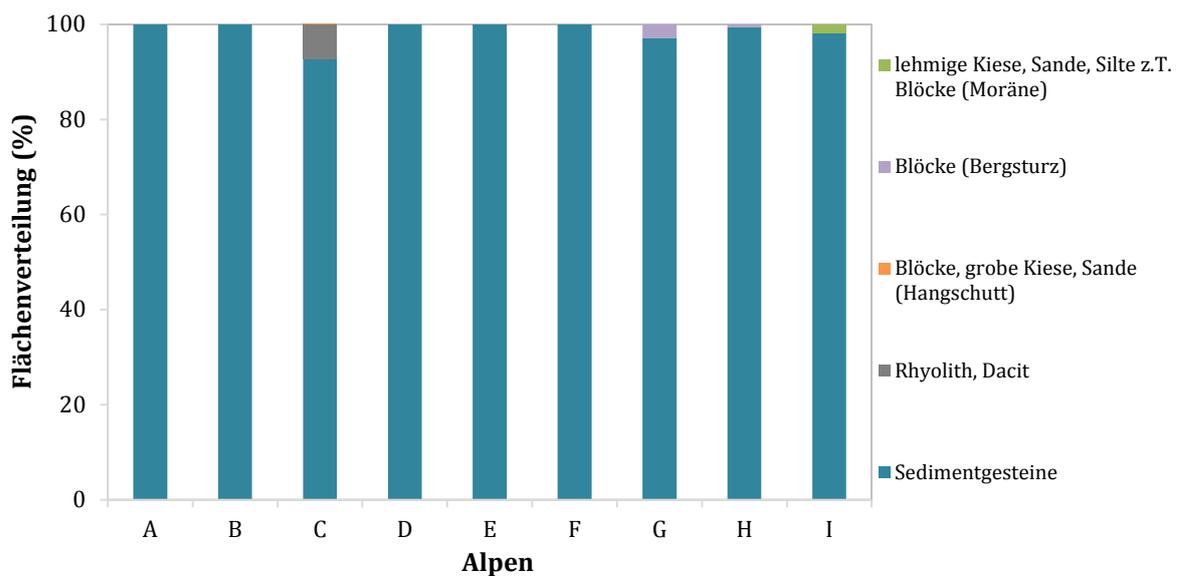


Abb.13: Prozentuale Gesteinstypverteilung der Flächen auf den Alpen (Daten Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).

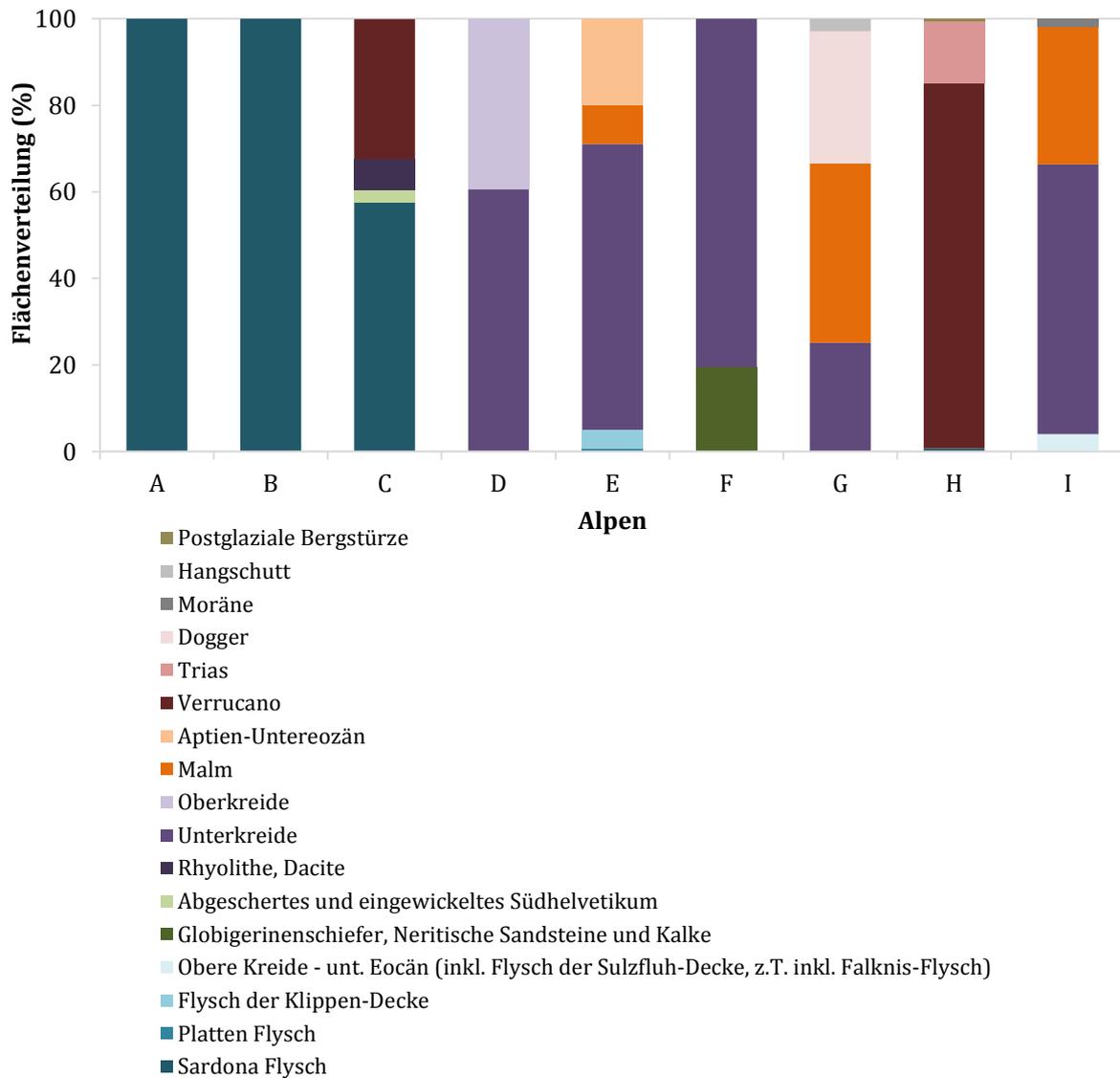


Abb.14: Prozentuale Flächenverteilung der stratigraphischen Einheiten auf den Alpen (Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).

Auf den Alpen A, B, C, E und I sind Flyschschichten vorzufinden (Abb.14). Es sind klastische (Kies, Sand) Sedimente, die sich als Folge eines Trübestroms an einem submarinen Fächer abgelagert haben. Bei der Einheit „Verrucano“ der Alp C und H handelt es sich um Schichtfolgen permischer Sedimente und Vulkanite, die in die helvetische Decke einbezogen worden sind. Weiter sind die Schichten mit der Bezeichnung Unter-, Oberkreide, Malm und Trias Meeressedimente (Kalk, Mergel, Ton, Sandstein, Dolomit, Gips, Salz) zuzuschreiben (Möbus 1997, Labhart 2009, Pfiffner 2010).

Die sehr grosse Variabilität der Bodenbildungsfaktoren Höhe, Mikroklima, Relief, Ausgangsgestein, Vegetation und des Bodenwassers spiegelt sich in kleinräumiger Vielfalt der Alpenböden wieder. Je mehr man in die Höhe geht und je steiler die Flächen werden, desto flachgründiger werden die Böden (entwickelte Braunerde → Rohböden). Die Geologie spielt eine massgebende Rolle in den Bodenbildungsprozessen und somit in der Entwicklung eines Bodentyps (Tab.2). Auf sauren silikatischen Standorten sind oft Podsole und Ranker anzutreffen, während sich auf kalkigen Standorten Braunerden und Rendzinen ausbilden. Wird das Gelände flacher und ist das Ausgangssubstrat undurchlässig, formen sich Gleye, Pseudogleye bis hin zu Anmoore und Niedermoore (Veit 2002). Eine genaue Bodenkarte ist für die Alpen nicht vorhanden.

Tab.2: Höhenstufen der Böden in den Kalk- und Silikatalpen (Veit 2002).

Höhenstufe	Kalk-Alpen	Silikat-Alpen
nival	Rohböden (Frostschutt)	Rohböden (Frostschutt)
subnival	Rohböden (Frostschutt) inselhaft Polsterrendzinen	Rohböden (Frostschutt) inselhaft alpine Ranker, Braunerden
alpin	Pararendzinen Rasenbraunerden Tangelrendzinen Pechrendzinen	alpine Ranker, Regosole, alpine Pseudogleye, alpine Pararendzinen und Podsole aus silikatischem Flugstaub, Nanopodsole
subalpin	dystrophe Tangelrendzinen Pararendzinen, Rasenbraunerden	Humus- und Eisenpodsole Braunpodsole, Braunerden
montan	(Mull-, Moder-) Rendzinen, Terra fusca, Braunerden, schwarzerdeartige Böden in inneralpinen Trockentälern	Braunerden podsolige Braunerden Podsole
collin	(Mull-, Moder-) Rendzina, Terra fusca, Pararendzinen, schwarzerdeartige Böden in inneralpinen Trockentälern	Braunerden Parabraunerden

3. Materialien und Methoden

3.1. Fragebogen und Geländebegehungen

Alle neun Alpen wurden im Sommer 2012 für jeweils einen Tag besichtigt. Die Zugänglichkeit der Schafalpen ist sehr unterschiedlich. In den meisten Fällen muss mit einem Anstieg bzw. Abstieg von mindestens einer Stunde gerechnet werden. Bei den Besuchen ging es darum, einen groben Überblick über die Alp zu bekommen, mit dem Bewirtschafter einen Fragebogen auszufüllen und die Fotos am ursprünglichen Standort neu aufzunehmen.

Die Besichtigung der jeweiligen Alp fand immer im Beisein des Alpbewirtschafters oder des -besitzers statt. Er übergab den Weideplan der Alp, falls er vor dem Besuch noch nicht entgegen genommen wurde. Weiter wurde mit ihm ein Fragebogen (siehe Seite 20) besprochen und ausgefüllt. Dieser beinhaltet unter anderem Informationen über den Weidedruck vor und nach der Weidesystemumstellung (Normalstösse) und Fragen zur Erosionsentwicklung auf Weideflächen und Nutzungsaufgaben.

Weiter wurden bei der Begehung einzelne Erosionsflächen betrachtet und ihr möglicher Ursprung diskutiert. Zudem wurden Standorte kontrolliert, bei denen die Unterscheidung von Geröll oder Bodenerosion anhand der Luftbildkartierung unklar war.

Fragebogen

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
		X	Y			

Weidesystemumstellung

Jahr	Bewirtschaftungs-system	# Schafe	Nettoweidefläche(ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide-dauer	NST
Vor							
Nach							

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit / UGBFG: Unités de gros bétail-fourrages grossiers

NST: Normalstösse / PN: Pâquiers normaux

RGVE= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

1NST=1RGVE während 100 Tage

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?
Depuis combien de temps l'alpage est-il exploité? Est-ce que ça a toujours été un alpage de mouton ?

Erosion

- Gibt es bestimmte Problemflächen?
Est-ce qu'il y a des zones à problèmes ?
- Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?
Est-ce qu'il y a un rapport entre l'estivage de moutons et l'érosion des sols ?
- Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?
Est-ce que le changement de système de pâturage a-t-il augmenté ou diminué l'érosion ?
- Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?
Comment ont évolué les surfaces abandonnées (qui ne sont plus pâturées) ? Y-a-t-il eu plus, moins d'érosion ou aucun changement ?
- Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?
Comment l'embroussaillement/reboisement a-t-il évolué avec le changement de système de pâturage ?
- Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?
Est-ce que les clôtures sont-elles toujours localisées au même endroit d'année en année dans le système de pâturage tournant ?
- Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?
Est-ce qu'il a eu des conditions météo particulières durant les 10-20 années précédentes ?

3.2. Fotoanalyse der Bodenerosionserscheinungen

Die Foto- und die Luftbildanalyse wurde mit Hilfe des Geographischen Informationssystem (ArcGIS 10.1) durchgeführt. Die Software der Firma ESRI erlaubt eine ortsgebundene Datenerfassung, -bearbeitung, -organisation und -analyse. Die Daten können entweder in Form von Vektor- (Punkte, Linien und Flächen) oder Rasterdaten (Matrix mit numerischen Werten) vorliegen (Liebig 2008).

3.2.1. Datengrundlagen

Die Fotoanalyse wurde nebst der Luftbildanalyse als Methode der Bodenerosionsaufnahme beigezogen. Bei diesem Vorgehen werden ältere Fotos vor der Weidesystemumstellung, also um das Jahr 2000, mit neuen Aufnahmen von 2012 verglichen.

Wie bereits im Kapitel 2 beschrieben, stammen die alten Fotos von verschiedenen Bezugspersonen. Es wurden insgesamt zehn Fotos ausgewertet, welche nur die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide repräsentieren. Manche Alpen (C, E, H und I) konnten aus folgenden Gründen nicht in die Fotoanalyse miteinbezogen werden: Der Zeitaufwand, um an die gewünschte Stellen zu gelangen, war für einen Tag zu gross oder die Bildqualität war ungenügend. Demensprechend sind die Alpen A, B, D, F und G mit einer oder mehreren Fotoaufnahmen dokumentiert, während die Alpen C, E, H und I nur in der Luftbildanalyse untersucht worden sind.

Wie bereits schon erwähnt, gab es Schwierigkeiten mit der Bildqualität der Fotoaufnahmen. Nebst der Suche nach dem genauen Standort, war der Winkel der Aufnahme schwer reproduzierbar. Des Weiteren war sicher auch die Grösse der Person, die das alte und das neue Foto aufgenommen hat, nicht dieselbe und die Verwendung des Zooms auf alten Fotos erschwerte die Auswertung.

3.2.2. Quantitative Bodenerosionsaufnahme

Die Bodenerosion wurde für die Fotos quantitativ mit ArcGIS erfasst (Abb.15). Als erstes war es wichtig, dass die Fotos denselben Ausschnitt aufwiesen, um die Erosionsflächen miteinander vergleichen zu können. Wenn dies nicht der Fall war, wurde der Ausschnitt durch Verschneidung mit einer Polygondatei angepasst. Diese Technik konnte auch angewendet werden, um unerwünschte Elemente, wie Geröllflächen, die dieselbe Farbe wie Erosion haben, aus dem Bild auszuschliessen. Als nächster Schritt wurden Pixel mit gleichem Farbspektrum einer Klasse wie Erosion,

Himmel, Geröll, Baum, usw. zugeordnet. Bei diesem Prozess erhielt jedes Erosionspixel denselben Wert. Die Summe der Erosionspixel multipliziert mit der Pixelgröße des jeweiligen Fotos ergab die Erosionsfläche. Nach der Ermittlung der Fläche anderer Klassen auf dem Foto, konnte schlussendlich die Erosion in Prozentsatz zum Gesamtbild berechnet werden. Mit Hilfe dieser Methode konnte die Bodenerosion unterschiedlicher Jahre quantitativ erfasst und verglichen werden.

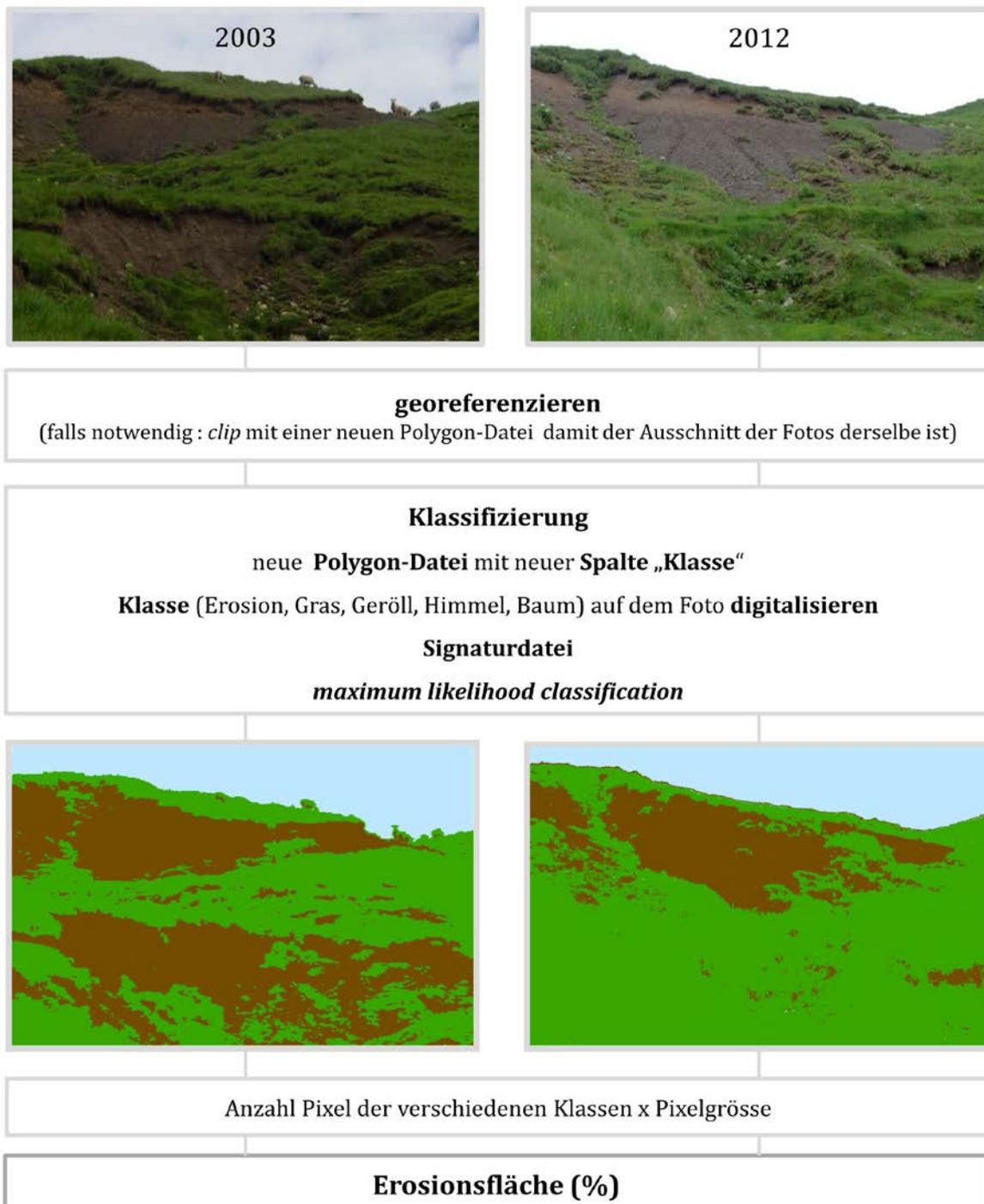


Abb.15: Quantifizierung der Bodenerosion mit Fotos.

3.2.3. Statistik

Die Statistik in dieser Arbeit wurde mit Hilfe der Statistik- und Analyse-Software SPSS (Version 21) durchgeführt.

Um herauszufinden, ob sich die Bodenerosion auf den Fotos zwischen 2000 und 2012 signifikant unterscheidet, wurden folgende Tests durchgeführt:

- Test auf Normalverteilung der Daten: Kolmogorow-Smirnow-Test (KS-Test).
- Da es sich um normalverteilte Daten handelt, wurde der T-Test benutzt, um Unterschiede zwischen den Mittelwerten bei verbundenen Stichproben zu untersuchen (Universität Zürich 2010).

3.3. Luftbildkartierung der Bodenerosionserscheinungen

3.3.1. Datengrundlagen

Alle Luftaufnahmen sind im schweizerischen Koordinatensystem CH1903_LV03 referenziert. Es handelt sich hierbei um eine schiefachsige, winkeltreue Zylinderprojektion, die 1841 mit dem Bessel-Ellipsoid definiert und 1903 von M.Rosemund entwickelt wurde. Der Fundamentalpunkt liegt bei der alten Sternwarte in Bern (600'000/200'000) (Swisstopo 2010b).

Die Luftbilder und Orthobilder vom Bundesamt für Landestopografie (Swisstopo) waren Grundlage zur Erosionsaufnahme über Luftbildkartierung (Tab.4). Alle Bilder konnten über das Luftbild-Informationssystem (LUBIS) von Swisstopo bestellt werden. Für jede Alp wurden drei Luftbilder mit unterschiedlichem Jahrgang analysiert: Bilder mit dem Flugjahr um 1990 (J0), um 2000 (J1) und um 2010 (J2). Die ungleichmässige zeitliche und geographische Luftbildaufnahme und -produktion von Swisstopo erlaubt keine einheitliche jahrgenaue Untersuchung aller Alpen. Swisstopo hat im Untersuchungszeitraum unterschiedliche Bildtypen hergestellt, welche im Folgenden kurz erläutert werden.

Luftbilder

Die Luftbilder gehören zu der älteren Generation von Landschaftsaufnahmen. Sie werden mithilfe einer analogen oder digitalen Kamera von einem Flugzeug aufgenommen. Luftbilder sind weder orthorektifiziert noch georeferenziert, was ihre Auswertung und die Überlagerung mit Orthobildern erschwert. Die Luftbilder waren die Kartierungsgrundlage für den Zeitraum um 1990 (J0) (Tab.3) (Swisstopo 2010c & Swisstopo 2012d).

Orthobilder

1998 begann Swisstopo mit der Produktion von Orthobildern (Swissimage Level 1 und 2). Orthobilder sind im Vergleich zu Luftbildern georeferenziert und orthorektifiziert. Mittels des Prozesses der Aerotriangulation wurden die Bildstreifen orientiert und die Verzerrung, die durch die Topographie und die Neigung der Kamera entstehen kann, anhand der Höhenmodelle (DTM-AV und DHM25 für Gebiete über 2000 m ü.M.) korrigiert (Swisstopo 2010a, Swisstopo 2012c & Swisstopo 2012e). Somit ist die Bodenerosionsaufnahme aufgrund der genauen Überlagerung der Daten mit den Orthobildern viel einfacher zu bewerkstelligen als mit Luftbildern.

Im Jahr 2004 lag die erste Generation von Orthofotos mit einer gesamtschweizerischen Bodenauflösung von 50cm vor (Swissimage Level 1). Nach der Inbetriebnahme einer digitalen Luftbildkamera und einer Absenkung der Flughöhe von 5000m auf 2500m ü.M. im Jahr 2005 erzielte Swisstopo eine noch bessere Bodenauflösung von 25cm (Swissimage Level 2). Für die Erosionsaufnahmen um das Jahr 2000 (J1) und um das Jahr 2010 (J2) wurden dementsprechend die Orthobilder von Swissimage Level 1 respektive Swissimage Level 2 ausgewählt (Tab.3) (Swisstopo 2010a, Swisstopo 2012c & Swisstopo 2012e).

Tab.3: Technische Angaben zu den Luft- und Orthobilder (Swisstopo 2010a, Swisstopo 2012b & Swisstopo 2012c).

Bildtyp	Datenformat			Auflösung	Lagegenauigkeit
	Farbe	Datenmenge	Bildformat		
Luftbild	f.	830MB	TIFF	23x23cm 1814 dpi	-
	s.w.	270MB		18x18cm 1210 dpi	
Orthobild	f.	L1 11.4MB/km ²	TIFF TFW	L1 50cm	Flaches Gelände 0.25-0.5m Hügelige Gelände 3-5m
		L2 46MB/km ²		L2 25cm	

Tab.4: Verwendete Luft- und Orthobilder. Das Orthobild L1 der Alp G konnte aufgrund von Schneeflecken nicht ausgewertet werden.

Alp	Luftbild		Orthobild			
			Level 1		Level 2	
	Jahr	Bezeichnung	Jahr	Bezeichnung	Jahr	Bezeichnung
A	1985	247NE204_3545	2003	1175-12	2008	1175-12
				1175-14		1175-14
				1175-21		1175-21
				1175-23		1175-23
B	1985	247NE204_3545	2003	1175-12	2008	1175-12
				1175-21		1175-21
C	1985	247NE204_3548	2003	1175-11	2008	1175-11
			2002	1175-12		1175-12
				1155-33		1155-33
			1155-34	1155-34		
D	1983	227SE236_0035	2002	1115-32	2008	1115-32
	1983	227SE232_0030				
E	1992	262NE156_0668	1998	1225-44	2010	1225-44
				1245-22		1245-22
				1246-11		1246-11
F	1993	254NW176_4643	1998	1208-4	2009	1208-4
G	1993	245SW188_3889	1999	1190-42	2010	1190-42
H	1996	237SW208_2540	2002	1154-43	2008	1154-43
			2003	1174-21		1174-21
I	1996	238SW212_2580	2002	1155-24	2008	1155-24
	1996	237SE212_2577		1156-14		1156-14
				1156-13		1156-13

3.3.2. Bodenerosionskartierung

Bei diesem Vorgang musste als erstes der Weideplan vorliegen, um zu wissen innerhalb welchen Perimeters die Erosion aufgenommen wird. Der Weideplan wurde hierzu in ArcGIS digitalisiert und georeferenziert. Auf dem Weideplan sind sowohl die als Umtriebsweiden genutzten Koppeln eingezeichnet, als auch die Flächen, die aus der Bewirtschaftung nach Weidesystemumstellung ausgeschlossen worden sind.

Anschliessend konnte die Erosion digitalisiert werden. Mit einem Massstab von 1:500 wurde der äussere Rand der Erosionsfläche aufgenommen (Abb.16). Während der Erosionsaufnahme wurden immer zuerst die genaueren Bilder zur Analyse herbeigezogen; als erstes 2010 (J2), dann 2000 (J1) und zum Schluss 1990 (J0). Auf diese Weise mussten die Jahrgänge J1 und J0 mit ungenaueren Luftbilddatensätzen nur noch auf Abweichungen geprüft werden. Der Zeitaufwand der Digitalisierung der Erosionsflächen für eine Alp und die drei verschiedenen Luftaufnahmen betrug je nach Alpgrösse 3 bis 5 Tage. Probleme bei der Digitalisierung gab es durch Schneefelder oder

Schattenwurf des Reliefs. Um dennoch die Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Jahren zu gewährleisten, wurde bei Auftreten von Schnee oder Schattenwurf die Erosion für keines der drei Jahre kartiert. Bei der Alp G wurden aufgrund flächenhafter Schneebedeckung auf dem Orthobild von 1999 keine Erosionsflächen aufgenommen. Die Genauigkeit der Luftbildkartierung, das heisst der Unterschied zwischen der reellen Erosionsfläche und der kartierten Erosionsfläche wurde nach Alewell et al. (2008) auf $\pm 10\%$ geschätzt.

Als weiterer Schritt mussten die Erosionsflächen mit dem Weideplan verschnitten werden, um die Erosionsflächen der jeweiligen Nutzungskategorie (Nutzungsaufgabe, Umtriebsweide, ständige Behirtung) zuweisen zu können. Schlussendlich konnte die Erosionsflächen mit dem ArcGIS für jede Alp, Jahr und Nutzungskategorie berechnet werden.

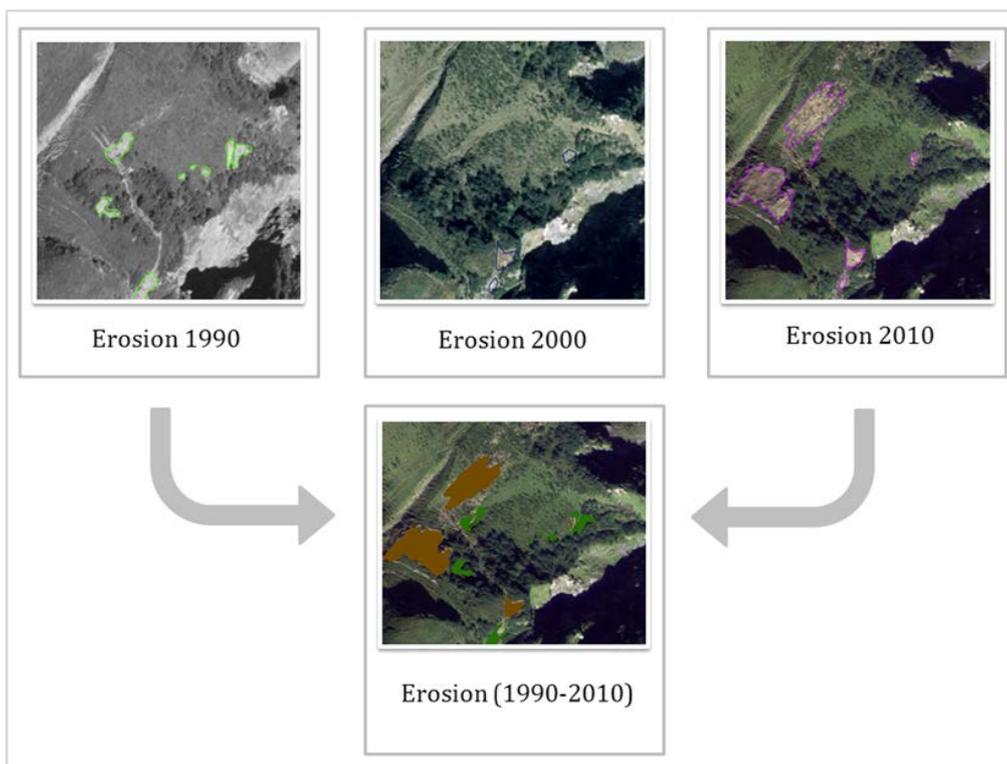


Abb.16: Aufnahme der Bodenerosion und Ermittlung des Erosionsmusters auf den Luftbildern.

Aus diesen Daten konnten folgende Erosionsgrößen abgeleitet werden:

➤ Hinsichtlich der **Grösse der einzelnen Erosionsflächen** wurde bestimmt, wie gross die Bodenrutschungen sind und ob sich diese über die Zeit ändern. Die Daten wurden für die drei unterschiedlichen Jahre J0, J1 und J2 und für alle Weidesystemumstellungen (SW→UM, SW→NA, Referenzalpen) aufgenommen.

➤ Die **Erosionsfläche** wiedergibt die Summe der Bodenabtragsflächen einer Alp für ein bestimmtes Jahr (J0, J1, J2). Diese Daten konnten ebenfalls nach der Weidesystemumstellung (SW→UM, SW→NA, Referenzalpen) geordnet werden. Die **Erosionsdichte**, die als das Verhältnis von Erosionsfläche zu Weidefläche definiert ist, wurde zusätzlich für die Darstellung der Bodenerosionsentwicklung (Abb.21) gewählt, weil die Flächen der unterschiedlichen Weidesystemumstellungen sich stark voneinander unterscheiden. Wenn man z.B. die Erosionsflächen zwischen der Umtriebsweide und der Nutzungsaufgabe vergleichen würde, hätte es viel mehr Erosion auf den Umtriebsweiden als auf den Nutzungsaufgaben, weil die Weidefläche mit der Weidesystemumstellung Umtriebsweide sieben Mal grösser ist als die mit Nutzungsaufgabe.

➤ Zuletzt konnte mit der Funktion „Erase“ das **Erosionsmuster** dargestellt werden, indem man die Erosionsflächen unterschiedlicher Jahre vergleicht und graphisch hervorhebt (Abb.16).

3.3.3. Statistik

Um Unterschiede in der Erosionsausdehnung zwischen den unterschiedlichen Jahren und Weidesystemumstellungen aufzuzeigen, wurden unterschiedliche statistische Auswertungen mit SPSS durchgeführt. Es wurde getestet, ob sich die Grösse der Erosionsflächen und die Erosionsflächen sich signifikant ($p=0,05$) über die Jahre und für eine bestimmte Weidesystemumstellung geändert haben. Die Stichprobengrößen der Erosionsflächen sind sehr klein (n liegt zwischen 3 und 9), deshalb ist die Wahrscheinlichkeit anhand dieses Parameters eine statistische signifikante Aussage zu finden, gering. Trotzdem wurden folgende Tests angewendet:

- Test auf Normalverteilung der Daten: Kolmogorow-Smirnow-Test (KS-Test).
- Bei normalverteilten Daten wurde der T-Test angewandt, da er Mittelwerte bei verbundenen Stichproben analysiert (Erosionsflächen).

- Bei nicht normalverteilten Daten wurde der parameterfreie Friedmann-Test angewandt, weil er die zentrale Tendenz bei mehr als 2 gepaarten Stichproben untersucht (Grösse der Erosionsflächen) (Universität Zürich 2010).

Zum Schluss wurde getestet, ob die Weidesystemumstellung (unabhängige Variable) einen signifikanten Einfluss auf die Erosionsausdehnung (abhängige Variable) hat. Dies wurde jeweils mit den Daten der Erosionsflächen, die nach Weidesystemumstellung klassifiziert waren, ermittelt. Die abhängige Variable ist normalverteilt, weshalb sich die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) für diese Untersuchung eignet. (Universität Zürich 2010, Backhaus et al. 2006).

3.4. Analyse möglicher Einflussfaktoren der Bodenerosion

3.4.1. Datengrundlagen

Die Bodenerosionsverteilung kann durch Standortparameter wie Höhe, Hangneigung, Exposition und Geologie stark beeinflusst werden (1.2.1). Die entsprechenden Daten sind flächendeckend für die gesamte Schweiz vorhanden.

Das Höhenmodell

Das digitale Höhenmodell der Schweiz (DHM 25) wurde von Swisstopo bezogen. Das DHM 25 ist die abgeleitete Version der Landeskarte 1:25'000 (LSK25), bei welcher die Erdoberfläche (z-Komponente) ohne Bewuchs und Bebauung wiedergegeben wird. Die Daten liegen entweder als Vektor- und Punktdaten (Basismodell) oder als Matrixformat vor. Das in dieser Arbeit benutzte Matrixmodell weist eine Auflösung von 25 auf 25 m auf (Tab.5) (Swisstopo 2001, Swisstopo 2005).

Tab.5: Technische Angaben zu den Grundlagedaten der Einflussfaktoren (Swisstopo 2005, Swisstopo 2001, Heitzmann 2004, Bundesamt für Wasser und Geologie 2000).

Parameter	Einheit	Datenformat	Zellengröße	Größe	Lagegenauigkeit
Höhe	Meter	Raster GRID	25x25m	264 MB Schweiz	Alpen 2-8m, Voralpen 2m
Hangneigung	Grad	Raster GRID	25x25m	264 MB Schweiz	Alpen 2-8m, Voralpen 2m
Exposition	Grad	Raster GRID	25x25m	264 MB Schweiz	Alpen 2-8m, Voralpen 2m
Geologie	-	Vektor	-	102 MB Schweiz	-
Primärflächen	-	Vektor	-	102 MB Schweiz	3-8m

Die Hangneigung und die Exposition

Die Hangneigung und die Exposition sind Aspekte der Topographie und können mit ArcGIS aus dem Höhenmodell DHM 25 berechnet werden. Beide Parameter wurden in der Einheit Grad erfasst (Tab.5).

Die Geologie

Die geologische Karte wurde beim Bundesamt für Wasser und Geologie bezogen. Es handelt sich hierbei um eine ältere GIS-Version (2000) der aktuellen Geologischen Karte 1:500'000 (GK500) von 2005. Das ältere Modell von 2000 ist ebenfalls im Massstab 1:500'000 und als Vektordatensatz vorhanden (Tab.5) (Heitzmann 2004, Bundesamt für Wasser und Geologie 2000). Für unsere Analyse waren vor allem die Datensätze zur Stratigraphie („strati“) und zum Gesteinstyp („L1_Rocktyp“) von Interesse.

Primärflächen

Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz (VECTOR 25) vom Bundesamt für Landestopographie basiert auf der Geometrie der 1:25'000 Landeskarte (Tab.5). Die Vektordaten liefern Informationen über neun unterschiedliche Ebenen. Für die Standortbeschreibung (2.2) wurden ausschliesslich die Daten der Primärflächen (Wald, See, usw.) benutzt (Swisstopo 2007a&c, Swisstopo 2012a).

3.4.2. Räumliche Verteilung der Bodenerosion nach bestimmten Parametern

Die oben genannten Datengrundlagen (3.4.1) und die digitalisierten Erosionsflächen (3.3.2) waren die Basis für die Einflussfaktorenanalyse mit ArcGIS. Ziel dieser Untersuchung war es, die Erosionsverteilung innerhalb eines Parameters und deren zeitliche Veränderung zu beschreiben. Ergänzend dazu wurden die Einflussparameter, die auf der gesamten Alp vorkommen, ermittelt, um die natürlichen Gegebenheiten abzubilden. Diese zwei Vorgänge werden in den folgenden zwei Abschnitten separat erläutert. Die dabei verwendeten ArcGIS Befehle sind in der Abbildung 17 beschrieben.

Die Erosionsflächen mussten als erstes in Rasterformat umgewandelt werden, sodass sie in einem bestimmten Jahr nur noch einen Wert besaßen. Die Jahre, die uns interessierten, waren 1990 (J0) und 2010(J2), weil die Chance, dass sich überhaupt etwas verändert, mit zunehmendem Zeitraum steigt. Deswegen wurde das Jahr 2000 (J1) von vornherein aus der Analyse ausgeschlossen. Als nächstes mussten die Anzahl Pixel der Einflussfaktoren für die Erosionsflächen vom Jahr 1990 und 2010 ermittelt werden. Für diese Berechnung musste man die Funktion „zonal statistics as table“

verwenden. Zum Schluss wurden die Anzahl Pixel mit der Pixelgröße verrechnet, um die Fläche der Erosion (J0 und J2 separat) geordnet nach Klasse des untersuchten Parameters herauszubekommen (Abb.17).

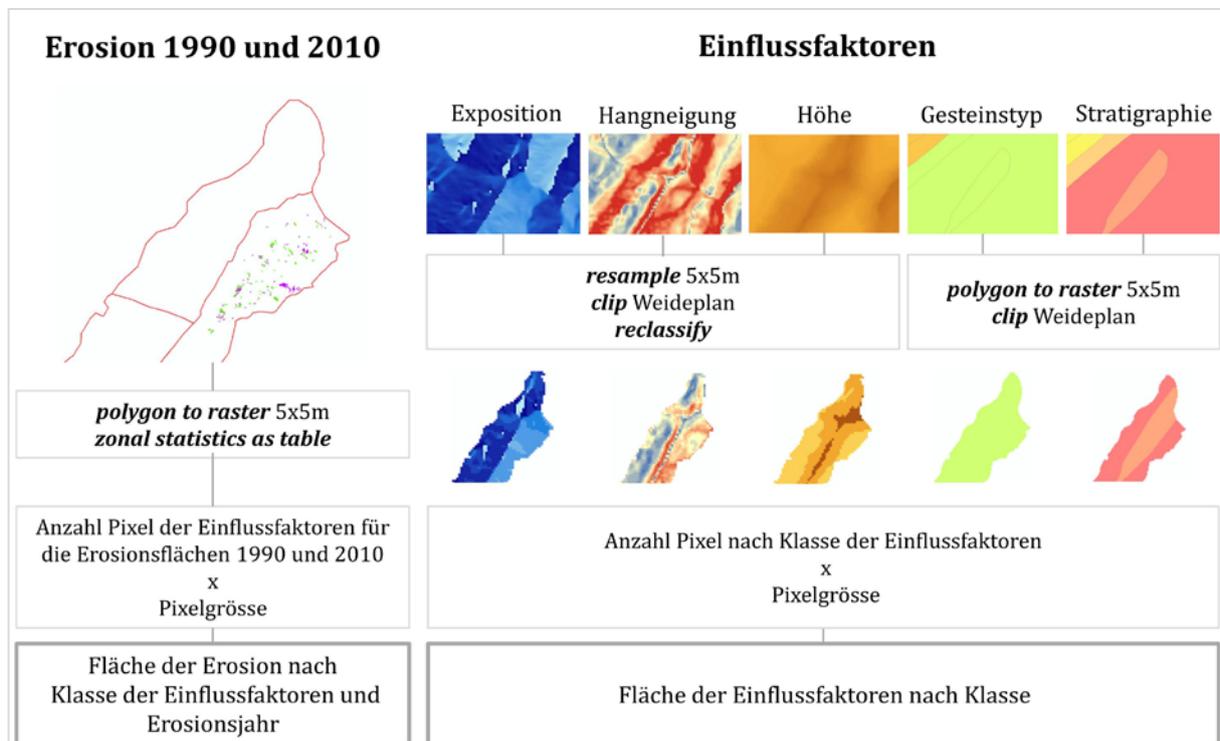


Abb.17: Schema zum Vorgang der Einflussfaktorenanalyse der Bodenerosion.

Für die Analyse der natürlich vorkommenden Standortfaktoren mussten die Parameter, die noch nicht in Rasterformat waren (Stratigraphie, Gesteinstyp), umgeformt werden. Dann wurden alle Einflussgrößen mit dem Weideplan verschnitten und anschliessend manuell nach den Kriterien der Tabelle 6 klassifiziert. Aus diesen Daten konnte die Anzahl Zellen der verschiedenen Einflussparameter nach Klasse für den ganzen Weideperimeter bestimmt werden. Zuletzt wurde wieder die Anzahl Pixel mit der Pixelgröße multipliziert, um die Fläche der einzelnen Parameter geordnet nach Klasse zu erhalten.

Tab.6: Klassifizierung der Einflussparameter.

Parameter	Min.	Max.	Schrittgrösse
Höhe (m ü.M.)	1400	2500	100m
Hangneigung (°)	0	60	5°
Exposition (°)	0	365	45°

3.4.3. Analyse der Wirkungsstärke verschiedener Einflussfaktoren auf die Erosionsverteilung

Um die Wirkungsstärke der Einflussfaktoren Höhe, Exposition, Hangneigung, Landnutzung und Geographische Lage der Alpen auf die Erosionsverteilung analysieren zu können, wurden die Daten neu aufbereitet.

In einem ersten Versuch wurden alle Alpen mit je einem Einflussfaktor in einem Layer zusammenzufasst. Alle Bereiche, die sich ausserhalb einer Alp befanden, waren mit „0“ versehen. So bekam man am Schluss sechs Layer (Höhe, Exposition, Hangneigung, Landnutzung, Alpnummer und Erosion), die alle Alpen enthielten. Die Daten konnten aufgrund der zu grossen Datenmenge (viele „0“-Werte zwischen den Alpen) weder in die Programme „R“ noch „Excel“ eingelesen werden. Um dieses Problem zu umgehen, wurde jeder Einflussfaktor für jede einzelne Alp separat analysiert (Abb.18).

Damit eine Zuordnung der abhängigen (Erosion) zu den unabhängigen Parametern (Standortfaktoren) für jedes Pixel aller Alpen möglich war, mussten zuerst alle Parameter, die noch nicht auf die Alpausdehnung zugeschnitten waren (Exposition, Hangneigung, Höhe und Gesteinstyp), angepasst werden. Alle Daten wurden auf eine Pixelgrösse von 5x5m gerastert und die Datenausdehnung („extent“) an jede Alp angeglichen. Diese zwei Schritte sind sehr wichtig, um die Daten pixelgenau überlagern und sie später wie in einer Matrix abrufen zu können. Für die Parameter Gesteinstyp, Landnutzung und Erosion wurde zusätzlich eine Klassifizierung durchgeführt, um die interessanten Kategorien zu einem späteren Zeitpunkt der Analyse abzurufen. Beim Gesteinstyp wurden unwichtige Kategorien wie Wasser, Geröll, Schutthalden oder Moränenmaterial in die Kategorie „Übrig“ zusammenfasst (Abb.18).

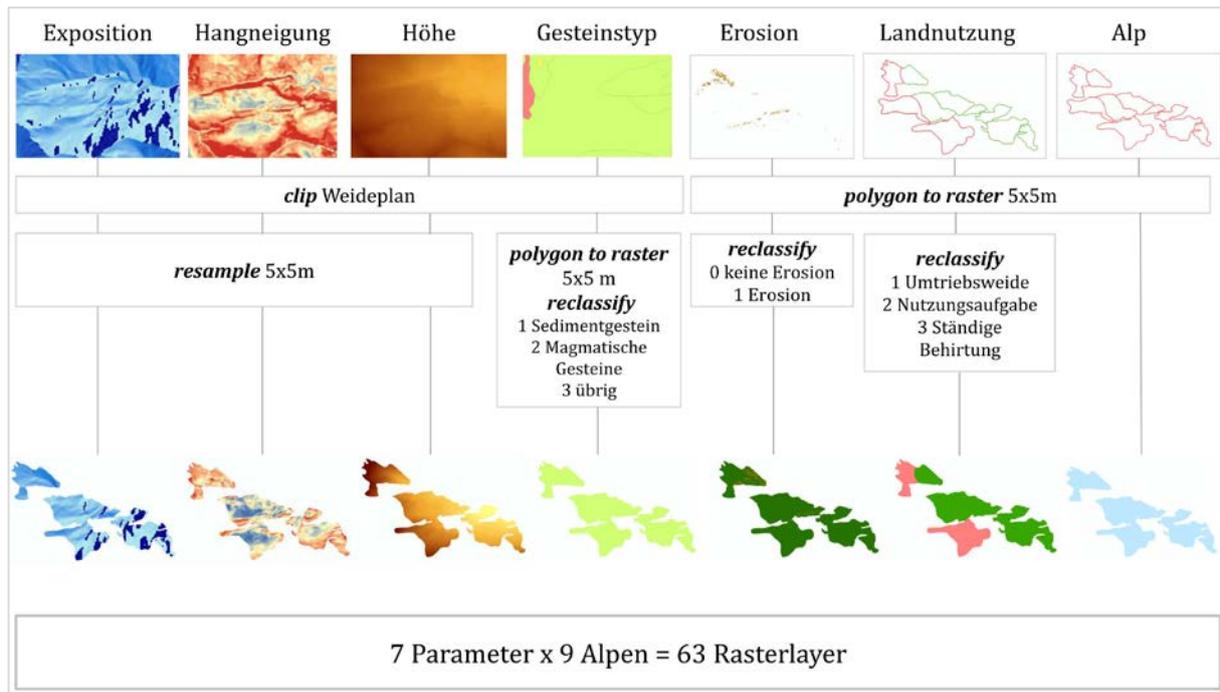


Abb.18: Schema zum Vorgang der Wirkungsstärkeanalyse der Einflussfaktoren der Bodenerosion.

Diese Daten wurden anschliessend ins R (Version 2.15.2) überführt und eingelesen. Dort konnten die Angaben jeder Alp (Landnutzung, Gesteinstyp, Höhe, Exposition, Neigung, Erosion und die Alpbezeichnung) in einer Matrix umgewandelt werden, bevor sie in Vektordaten umgeformt wurden. Anschliessend wurden die Vektordaten Spalten zugeordnet und die Tabelle für jede Alp separat exportiert. Schlussendlich hat man die Daten aller Alpen in eine Tabelle zusammengefasst.

3.4.4. Statistik

Mit Hilfe dieses Datensatzes war es nun möglich multivariate Statistik anzuwenden und der Frage nach der Wirkungsstärke unterschiedlicher Faktoren auf die Bodenerosion nachzugehen. In unserem Fall wurde in SPSS eine binäre logistische Regression gewählt, weil die abhängige Variable „Erosion“ dichotom (0=keine Erosion; 1=Erosion) und nominal ist. Die Prädiktoren sind entweder metrisch (Höhe, Exposition, Hangneigung) oder kategorisch (Gesteinstyp, Landnutzung) (Fromm 2005, Backhaus 2006) (Tab.7).

Tab.7: Variablen zur Analyse der Wirkungsstärke der Einflussfaktoren.

Variablennamen	Einflusstyp	Variablentyp	Wertebereich
Erosion	Abhängige Variable	nominal / dichotom	0/1
Höhe	S	metrisch	985-253(m ü.M)
Exposition	S	metrisch	0-359 (°)
Hangneigung	S	metrisch	0-81 (°)
Gesteinstyp	S	nominal	1:Sedimentgestein 2: Magmatisches Gestein 3 übrig
Alp	S	nominal	1: A- 9: I
Landnutzung	B	nominal	1: Umtriebsweide 2:Nutzungsaufgabe 3: Ständige Behirtung

S: Standortfaktor / B:Bewirtschaftungsfaktor

Die Auswertung der Daten erfolgte nicht problemlos: Mit der Funktion „Resample“ (Abb.18, 3.4.3) wurden die 25x25m grossen Pixel auf 5x5m-Pixel heruntergebrochen. Mit diesem Arbeitsschritt wurden viele neue Pixel geschaffen, die dieselben Informationen enthielten. In den Daten kam es folglich zu einem Ungleichgewicht: 98.5% der Gesamtanzahl Pixel war ohne Erosion gegenüber 1.5% mit Erosion. Beim Versuch, die Daten mit SPSS zu analysieren, konnten die Flächen mit Erosion wegen ihrer Unterzahl nicht in der Klassifizierungstabelle richtig eingeteilt werden. Um das Problem zu lösen, wurden die Flächen ohne Erosion dank einer Datenfilterung nach Zufallsprinzip von 98.5% auf 57% reduziert, damit der Anteil an Flächen ohne und mit Erosion ausgeglichener war.

Mit den korrigierten Daten wurden die Einflussfaktoren zuerst auf Multikollinearität (Variance Inflation Factor) geprüft. Dann erfolgte die binäre logistische Regression mit der „Vorwärts Schrittweise Likelihood Quotient“-Methode. Die Resultate aus der Klassifizierungstabelle, welche angibt, wie viel Prozent vom Datensatz der richtigen Gruppe (Erosion, keine Erosion) zugeordnet wird und die Gleichung, welche die Wirkungsstärke der unterschiedlichen unabhängigen Variablen auf die Bodenerosionsverteilung darstellt, waren für diese Arbeit von Interesse (Fromm 2005, Backhaus 2006).

3.4.5. Niederschlagsdaten

Der Niederschlag gehört im Gegensatz zu den Standortfaktoren zu den zeitlich variierenden Einflussgrößen der Bodenerosion. Der Niederschlag kann in Form von Schnee oder Regen niedergehen. Leider gibt es keine zuverlässigen Daten zu den Schneehöhen.

Es wurden insgesamt sieben Wetterstationen in der Nähe der acht Alpen zur Datenerhebung beigezogen (Tab.8).

Tab.8: Informationen zu den Wetterstationen

Abkürzung	Name	Alp	Koordinaten	Höhe ü.M. (m)
VAE	Vättis	A B	752390/197280	960
WET	Weisstannen	C	744900/205820	1010
WHA	Wildhaus	D	746130/229570	1000
JAU	Jaun	E	587520/162280	1030
SCE	Schwarzenegg	F	621130/182730	920
ENG	Engelberg	G	674156/186097	1035
ELM	Elm	H	732265/198425	958
MAL	Malbun	I	764368/219424	1610

Die analysierten Parameter befinden sich in der Tabelle 9. Es handelt sich um Daten mit einer täglichen, monatlichen und jährlichen Auflösung, die für den Zeitraum zwischen 1990 und 2012 betrachtet worden sind.

Tab.9: Informationen zu den Niederschlagsparametern.

Niederschlagsparameter	Einheit
Jahressumme	mm
Verhältnis der Jahressumme zur Norm	%
Tage des Jahres mit Niederschlagssumme \geq 100mm	Anzahl
Tage des Jahres mit Niederschlagssumme \geq 70mm	Anzahl
Tage des Jahres mit Niederschlagssumme \geq 50mm	Anzahl
Verhältnis der Monatssumme zur Norm	%
Tagessumme	mm

Damit man die zeitliche Entwicklung der potentiell Rutschungs auslösenden Ereignisse bekommt, wurden einerseits die Events herausgefiltert, bei denen die drei Tagesniederschlagssummen über 100 mm betragen. Andererseits wurden die Daten (Jahressumme, Verhältnis Jahressumme zur Norm und Tage mit Niederschlagssumme \geq 50, 70, 100) mit der jeweiligen Alp verglichen, um herauszufinden, ob es eine Korrelation zwischen der zeitlichen Änderung in der Bodenerosionsausdehnung und der

Niederschlagsentwicklung gibt. Obwohl die Stationen meistens etwas tiefer liegen als die jeweilige Alp, wurden zum Schluss die Monatssummen speziell für die Wintermonate November bis März betrachtet, um Indizien über die mögliche Schneemenge zu bekommen.

4. Resultate

4.1. Entwicklung der Bodenerosionserscheinungen

4.1.1. Fotoanalyse

Die Bodenerosionsfläche hat zwischen 2000 und 2012 für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide auf den Fotoaufnahmen deutlich, wenn auch nicht signifikant, von durchschnittlich 23.3% auf 17.0% abgenommen (Abb.19, Tab.10 Anhang). Nur auf drei der insgesamt zehn ausgewerteten Fotos ist eine Erosionszunahme zu verzeichnen (A1, A2, B1, Abb. 20).

Diese Erosionsentwicklungen sind ebenfalls für den Zeitraum zwischen 2000 und 2010 auf den entsprechenden Luftbildern erkennbar.

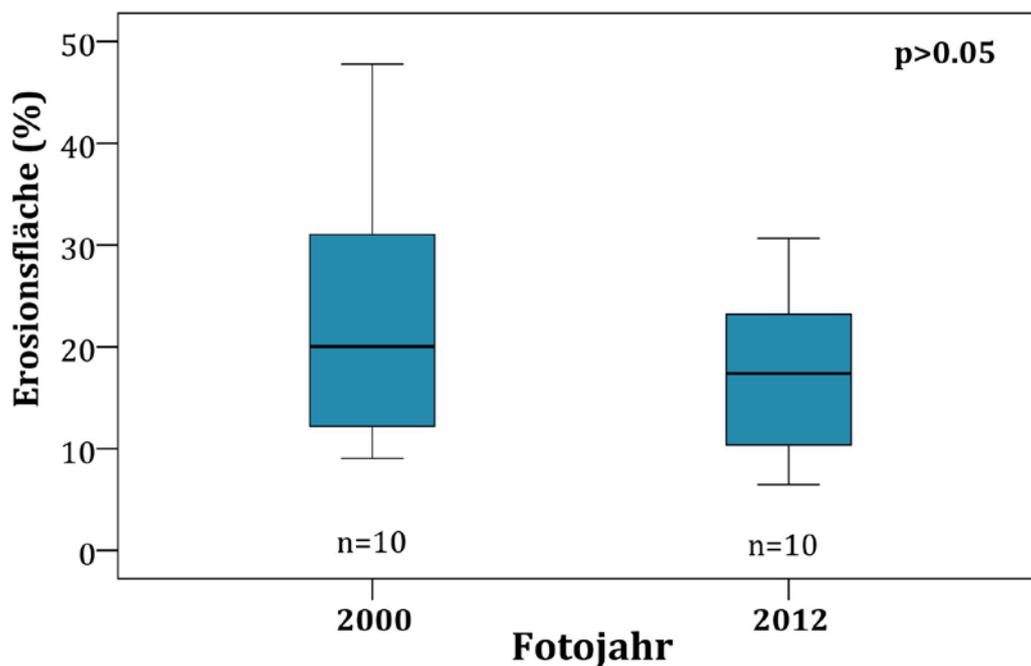
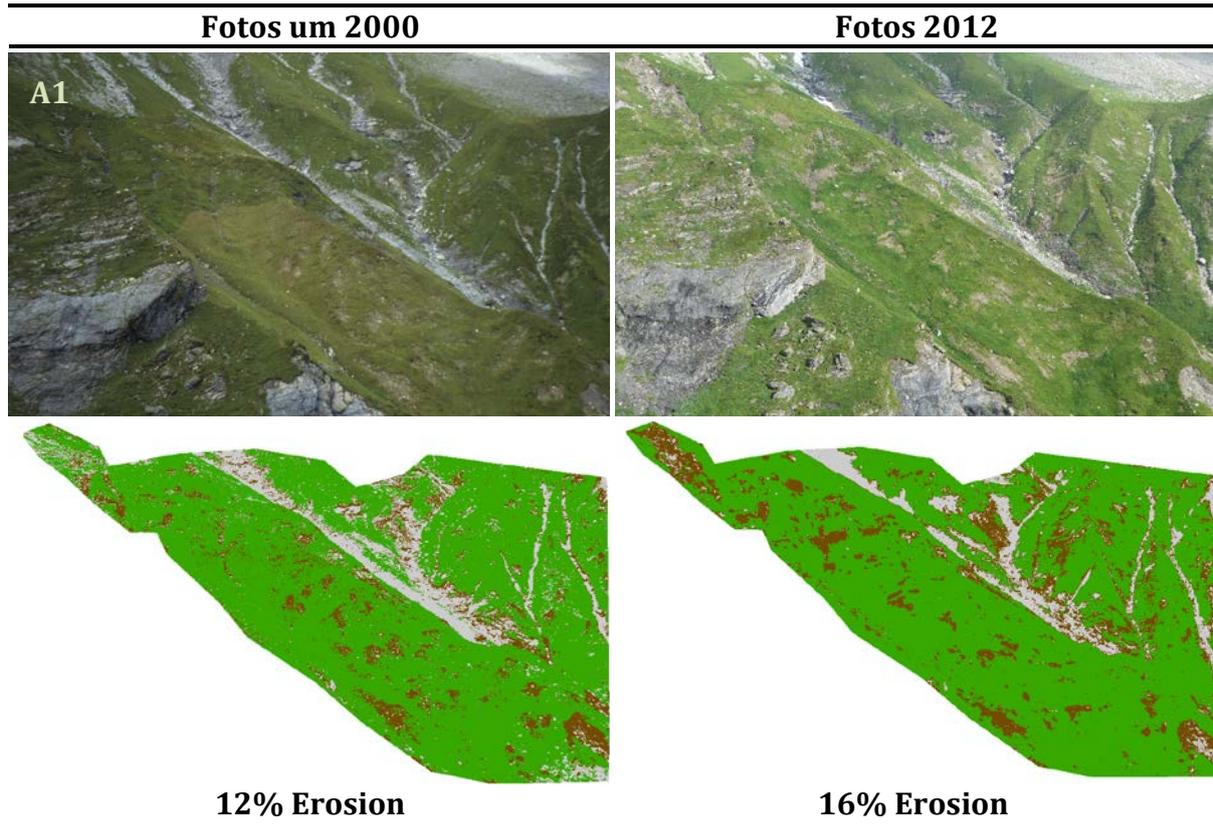


Abb.19: Zeitliche Entwicklung der Bodenerosionsflächen auf den Fotos zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den unterschiedlichen Jahren (T-Test, $p=0,05$, Tab.10 Anhang).



Fotos um 2000

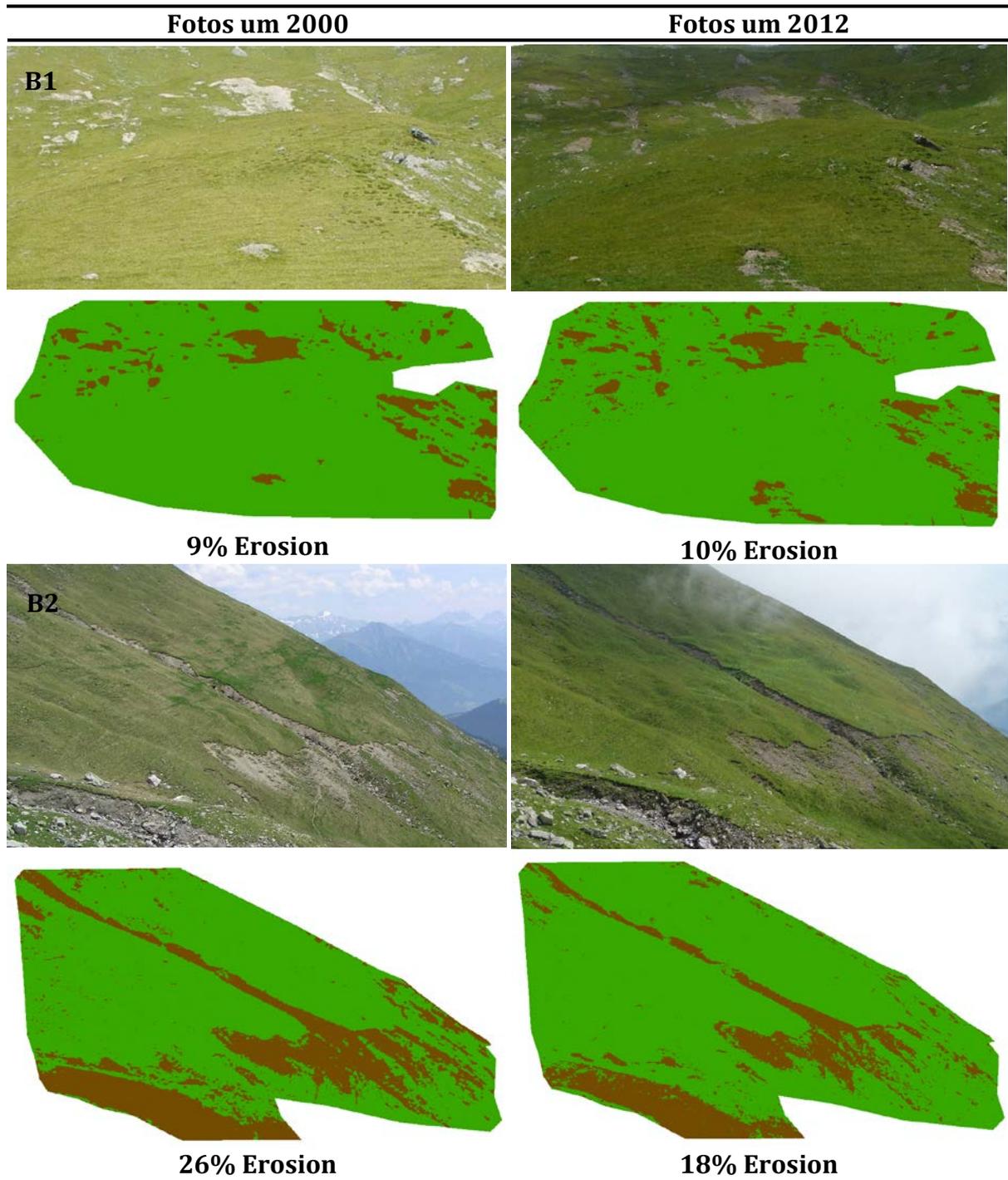
Fotos um 2012

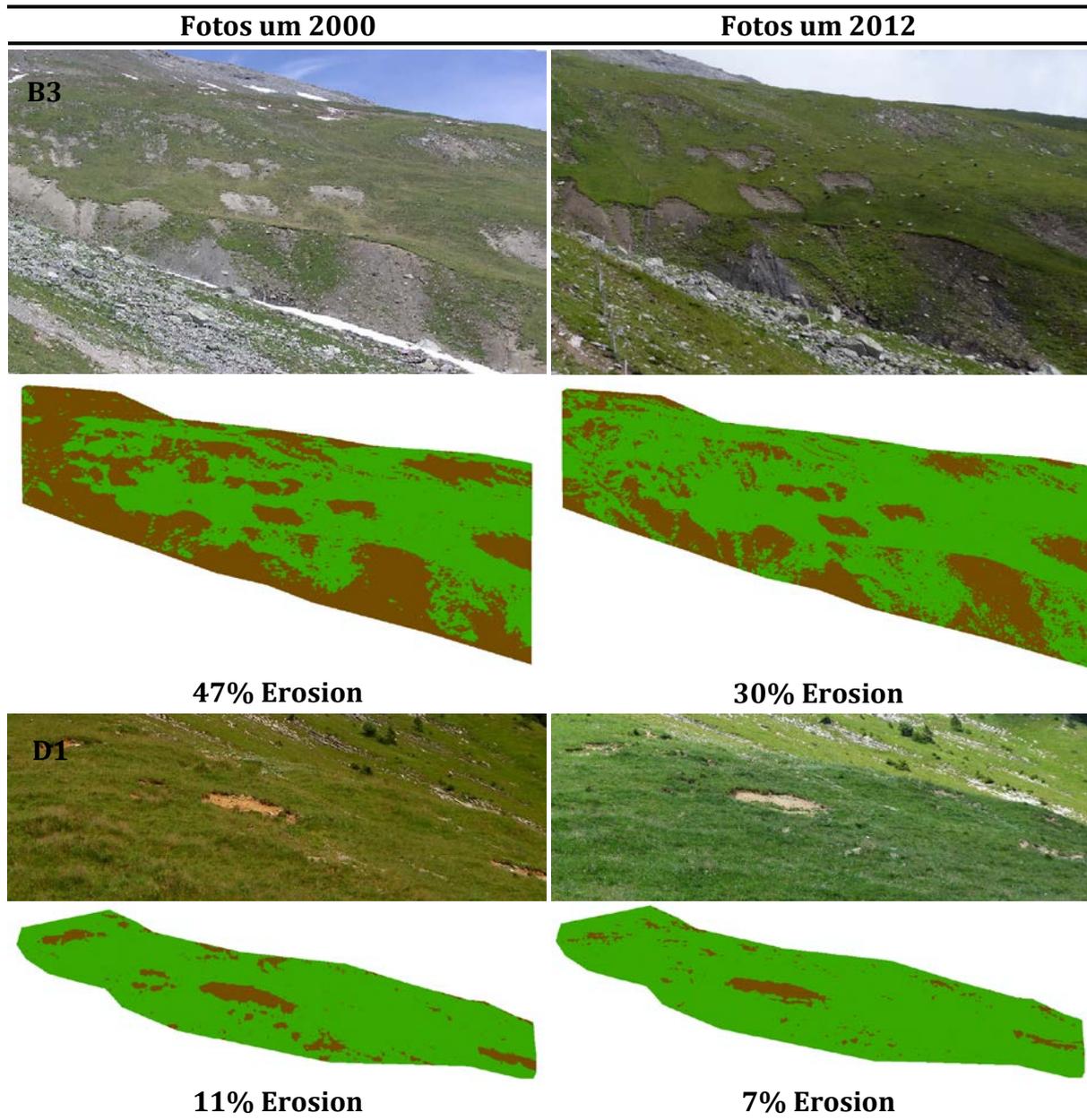


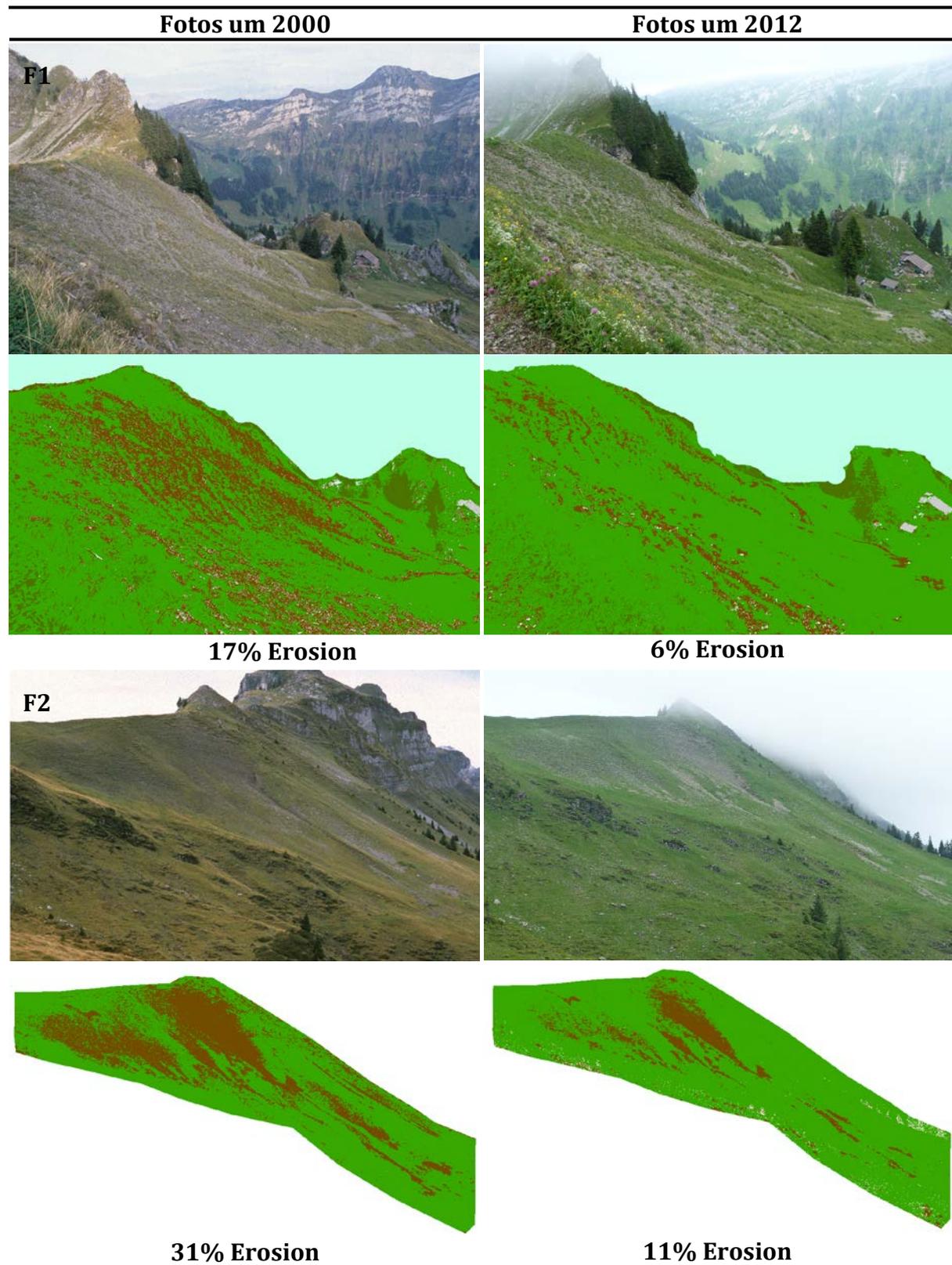
16% Erosion



25% Erosion







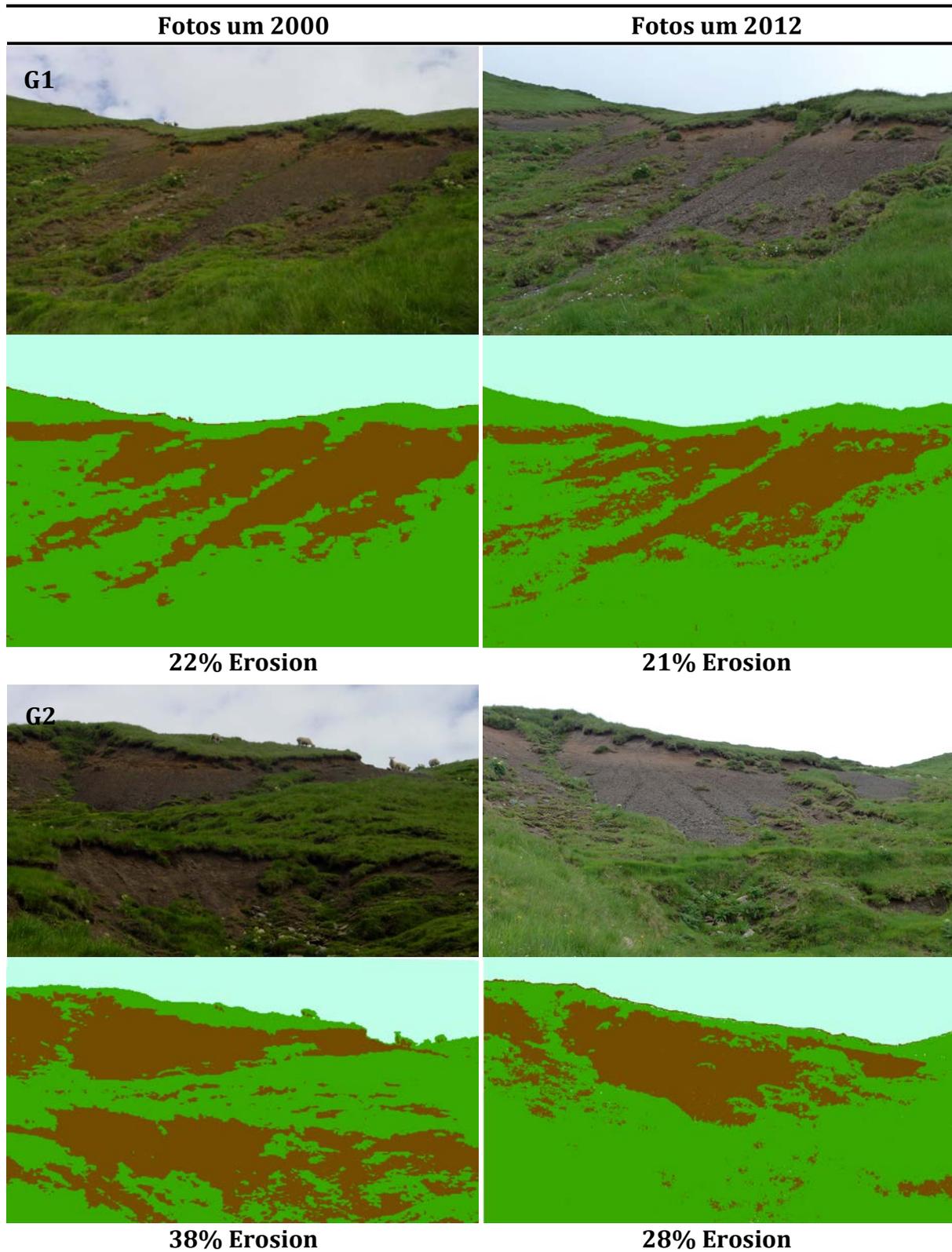


Abb.20: Ergebnisse der Klassifizierung der Fotoaufnahmen in Erosionsflächen (braun), Vegetation(grün), Himmel (blau), Rest (grau).

4.1.2. Bodenerosionsfläche und -dichte auf den Luftbildern

Die Bodenerosionsdaten, die aus den Luftbildern gewonnen worden sind (Karte S.49 bis S.57), zeigen denselben Trend für die Weidesystemumstellungen von Standweide zu Umtriebsweide und von Standweide zu Nutzungsaufgabe: Auf den meisten Alpen sinkt der Bodenabtrag zwischen 1990 und 2000, bevor er nach 2000 wieder zunimmt (Tab.11 Summe, Abb.21, Abb.22). Dennoch ist die Bodenerosionszunahme zwischen 2000 und 2010 für die aufgegebenen Flächen noch grösser als für die Umtriebsweiden (Abb.21, Abb.22). Die Referenzalpen I und E bilden mit einer konstanten Bodenerosionszunahme eine Ausnahme (Tab.11, Abb.21, Abb.22).

Tab.11: Die Entwicklung der Bodenerosion auf den Alpen für die unterschiedlichen Jahre. Bei der Alp G fehlt die Auswertung des Orthobildes für J1, deswegen wurde die gleiche Erosionsfläche für J1 und J2 angenommen. Grün hinterlegte Kästchen zeigen eine Abnahme der Erosion, rot hinterlegte Kästchen zeigen eine Zunahme der Erosion. Kein signifikanter Unterschied der Erosion zwischen den Jahren J0,J1,J2 und den verschiedenen Weidesystemumstellungen (T-Test, p=0.05, Tab.12 Anhang).

Alpen	Erosionsfläche 1990 (J0) (m ²)	Erosionsfläche 2000 (J1) (m ²)	Erosionsfläche 2010 (J2) (m ²)	Erosion (J0-J1)	Erosion (J1-J2)	Erosion (J0-J2)
A	75429	48675	58215	26754	-9540	17214
B	73514	51125	49267	22389	1857	24246
C	42301	30658	32455	11643	-1796	9846
D	12958	11759	9949	1199	1809	3008
E	96	127	3770	-31	-3643	-3674
F	11801	12852	13221	-1051	-369	-1420
G	7671	7777	7777	-106	0	-105
H	37268	38330	43754	-1062	-5424	-6486
I	20307	27372	39347	-7065	-11975	-19040
			Summe (m²)	52670	-29081	23589

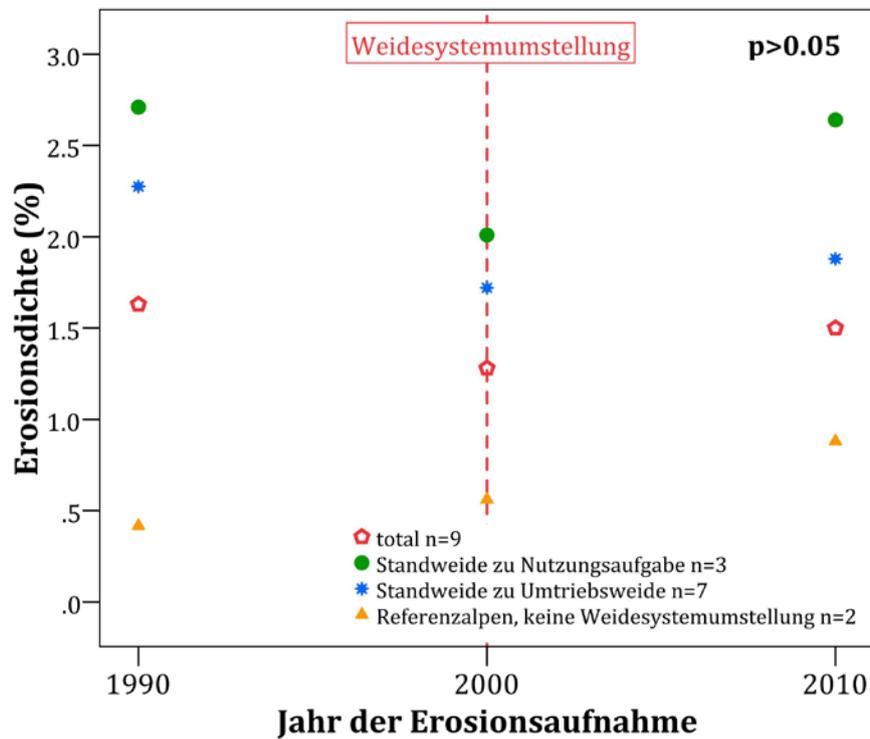


Abb.21: Die zeitliche Entwicklung der Erosionsdichte geordnet nach Weidesystemumstellung zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den Weidesystemumstellungen (einfaktorielle ANOVA, $p=0,05$, Tab.13 Anhang).

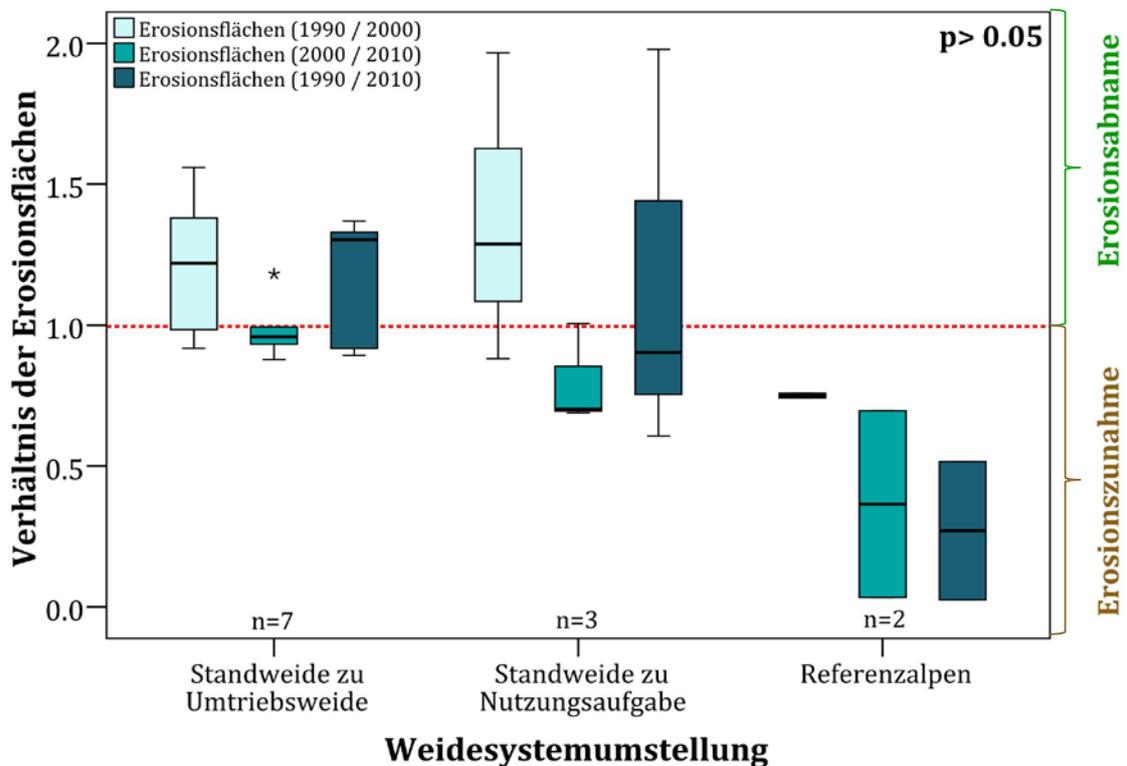


Abb.22: Verhältnis der Erosionsflächen zwischen den untersuchten Jahren geordnet nach Weidesystemumstellung. Kein signifikanter Unterschied zwischen den Jahren (J0/J1, J1/J2, T-Test $p=0,05$, Tab. 14) und zwischen den unterschiedlichen Weidesystemumstellungen ersichtlich (einfaktorielle ANOVA, $p=0,05$, Tab.15 Anhang).

Geht man einen Schritt weiter und beobachtet die Bodenerosionssituation auf jeder Alp einzeln (Abb.23, Tab.11), erscheint ein differenzierteres Bild. Auf sechs von sieben Umtriebsweiden (A, B, C, F, G und H) hat der Bodenabtrag zwischen 2000 und 2010 mit +1 bis +13% nur wenig zugenommen; die Erosion befindet sich meistens in der zehn-prozentigen Marge, die bei der Kartierung der Flächen entstehen kann (blau gestrichelte Linie). Nur auf einer Umtriebsweide (Alp D) hat der Bodenabtrag um 18% abgenommen. Bei den Nutzungsaufgaben ist die Bodenerosion auf zwei von drei Alpen (A und H) um ca. 30% gestiegen, während auf der Alp B die Erosionsausdehnung dieselbe geblieben ist. Der Bodenabtrag hat auf den Referenzalpen E (Standweide) und I (ständige Behirtung) mit respektive 97% und 30% stark zugenommen.

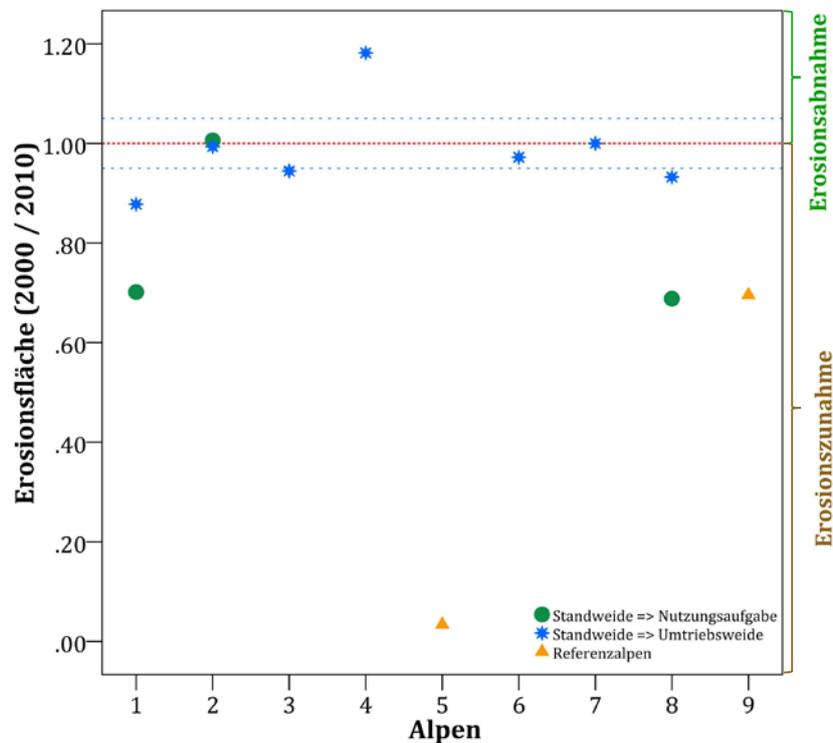
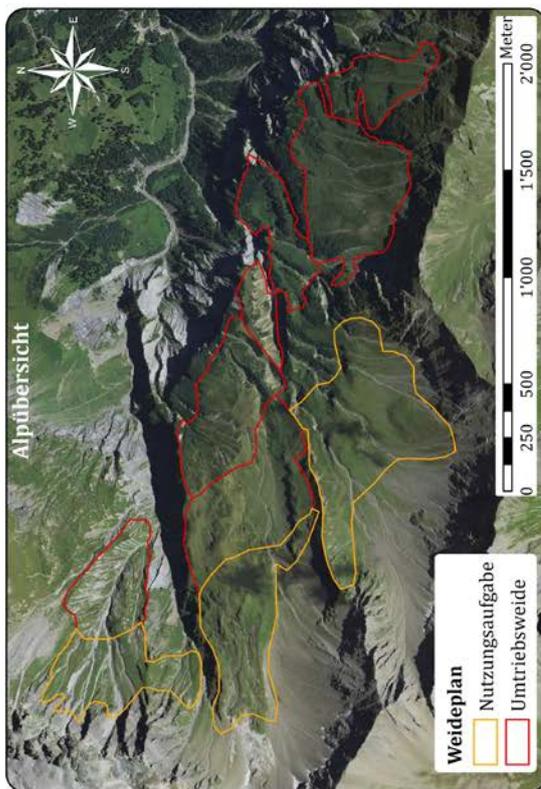


Abb.23: Verhältnis der Erosionsfläche (1990/2000) für jede Alp und Weidesystemumstellung. Alpen 1-9 = A-I. Rote gestrichelte Linie: Erosionsgleichgewicht, keine Veränderung. Blaue gestrichelte Linie: 10% Fehlermarge, die bei der Digitalisierung auf Luftbilder entstehen kann.

Aus der Abbildung 21 können noch zusätzliche Informationen über die Erosionsdichte gewonnen werden. Wenn man den Durchschnitt über alle Jahre und Weidesystemumstellungen berechnet, beträgt die Erosionsdichte auf den Alpen nur 1,5%. Ein Maximum von 2,7% wird auf der Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe 1990 erreicht. Generell gesehen ist die Bodenerosionsdichte auf den aufgegebenen Flächen am grössten, gefolgt von den Umtriebsweiden und den Referenzalpen.

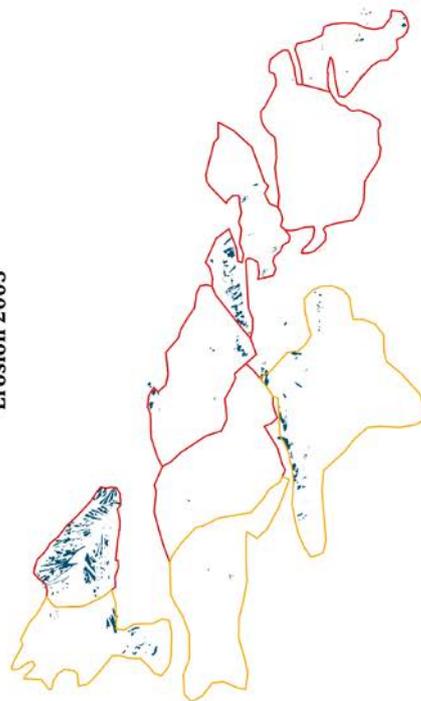
Alp A



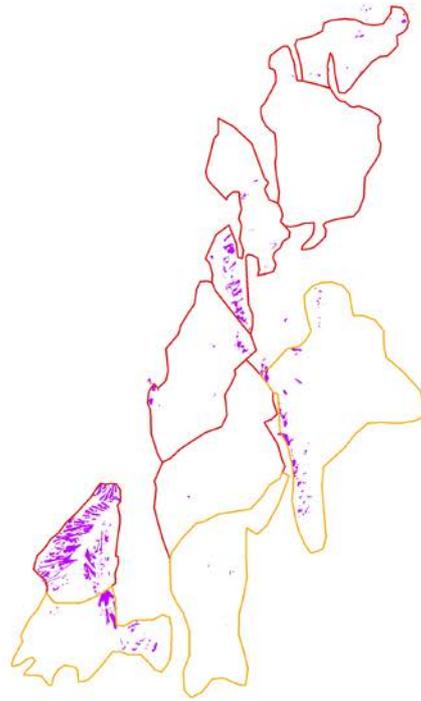
Erosion 1985



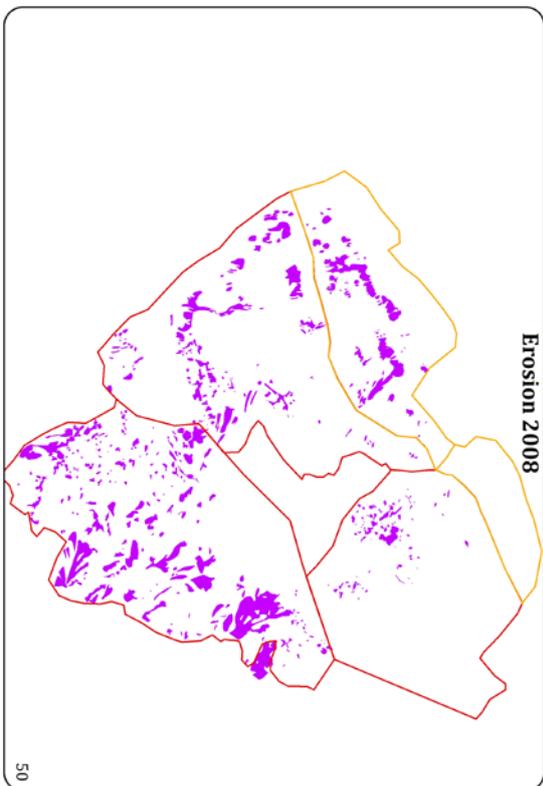
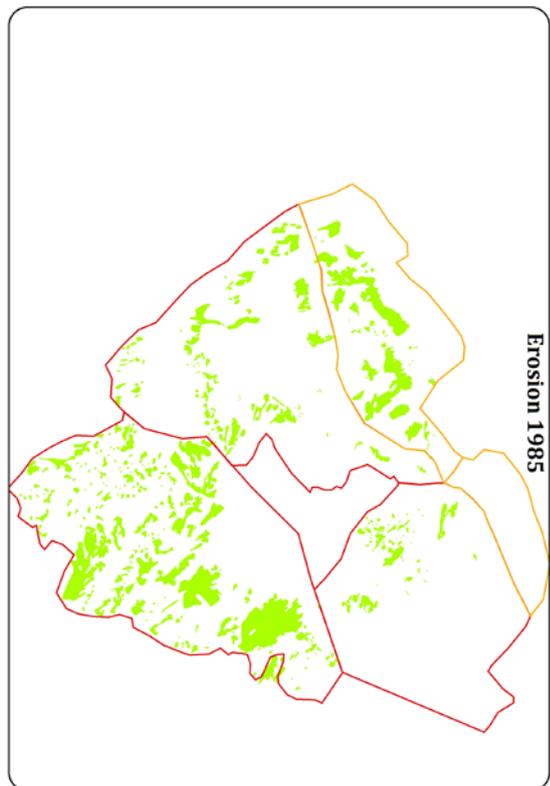
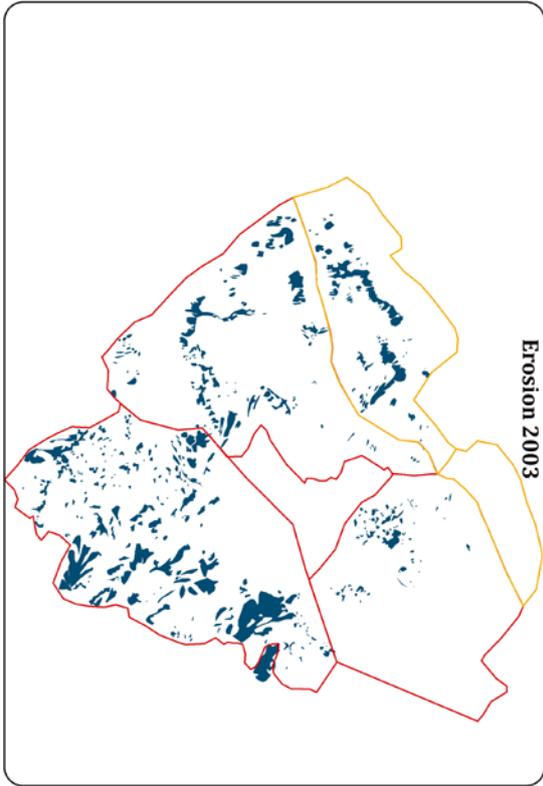
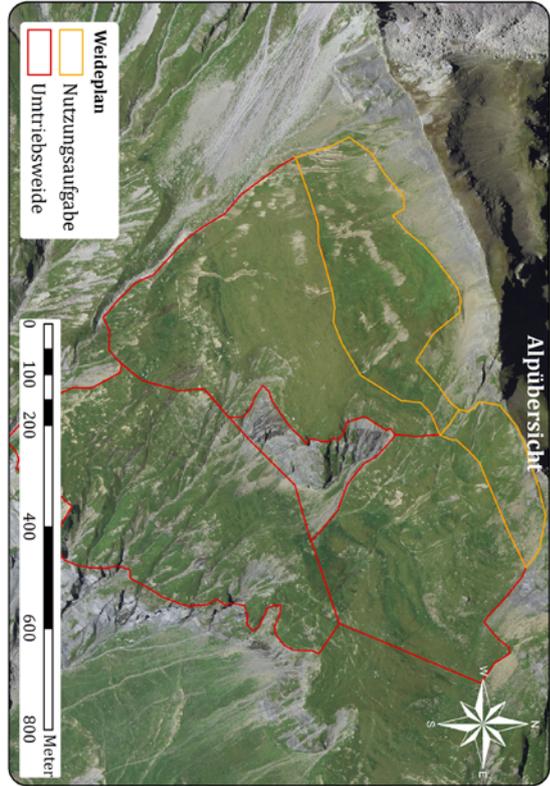
Erosion 2003



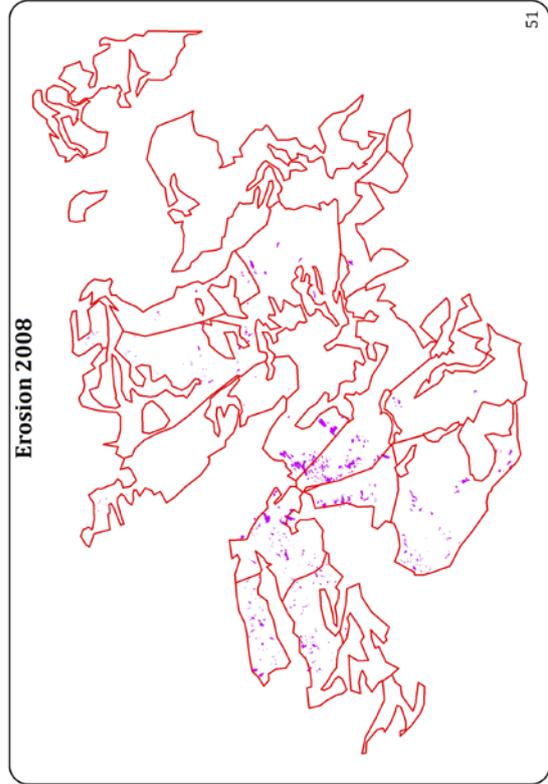
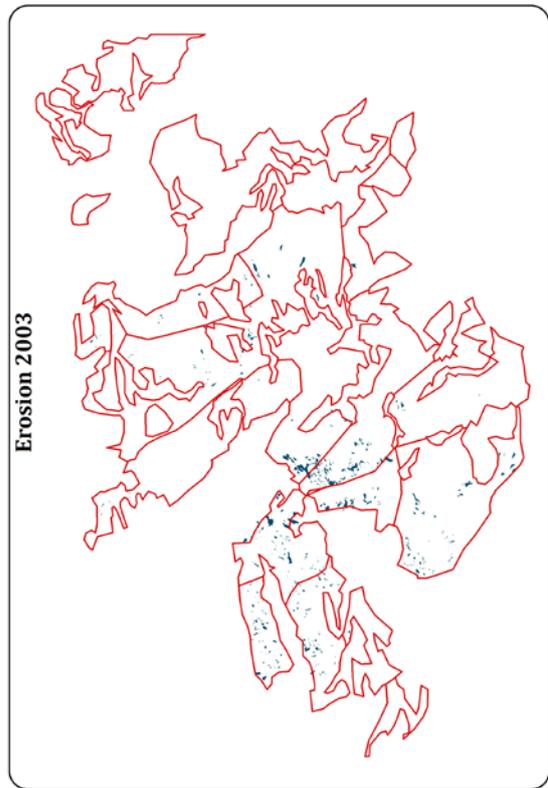
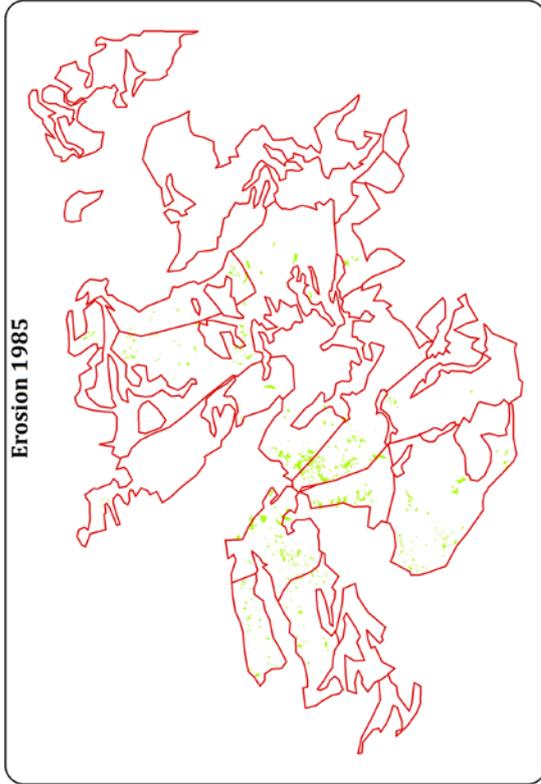
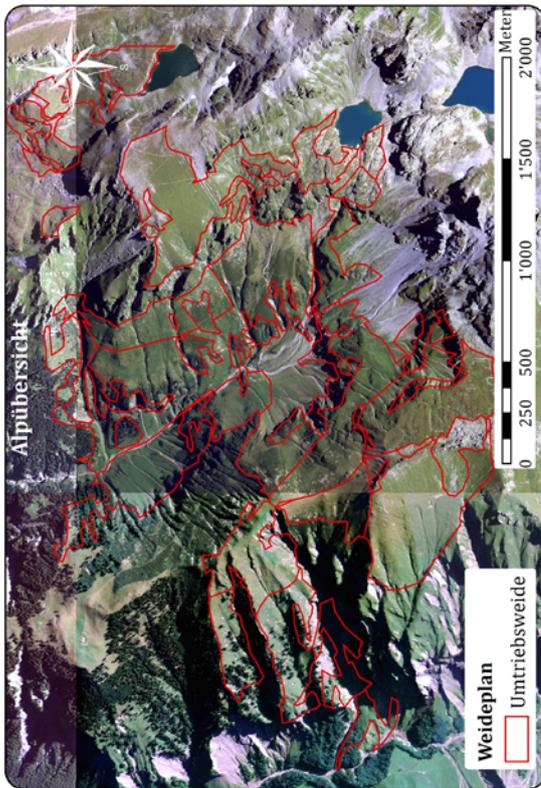
Erosion 2008



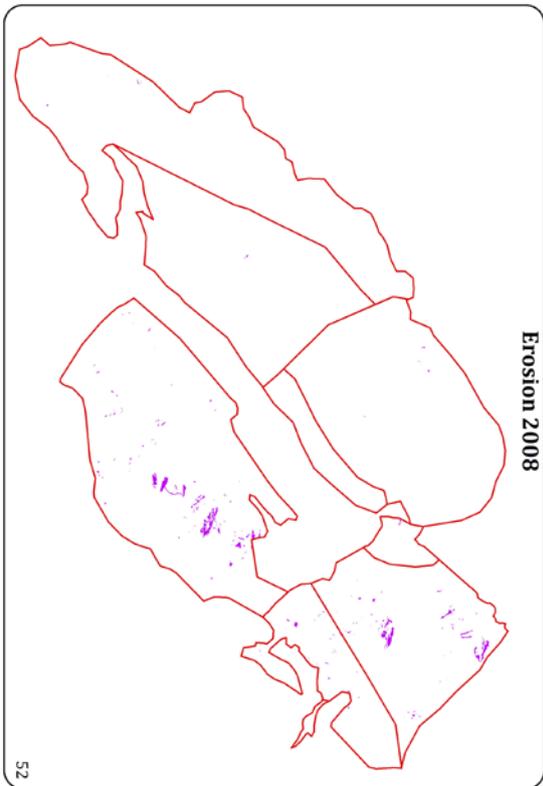
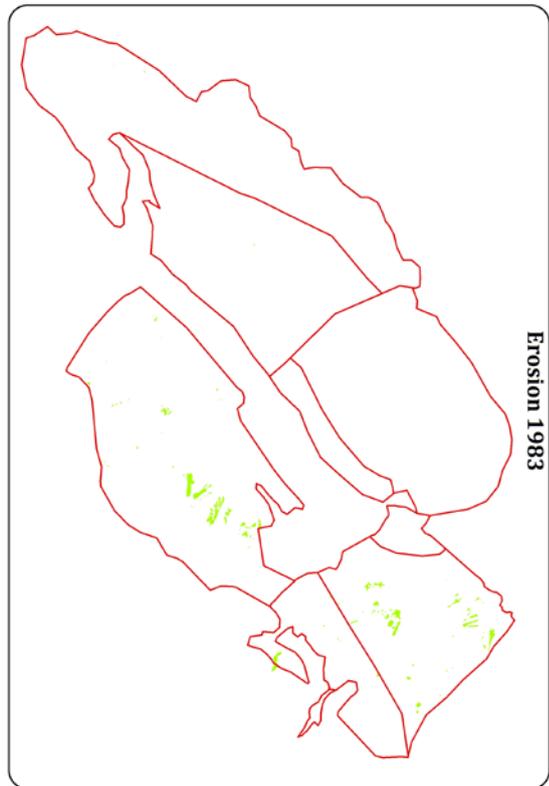
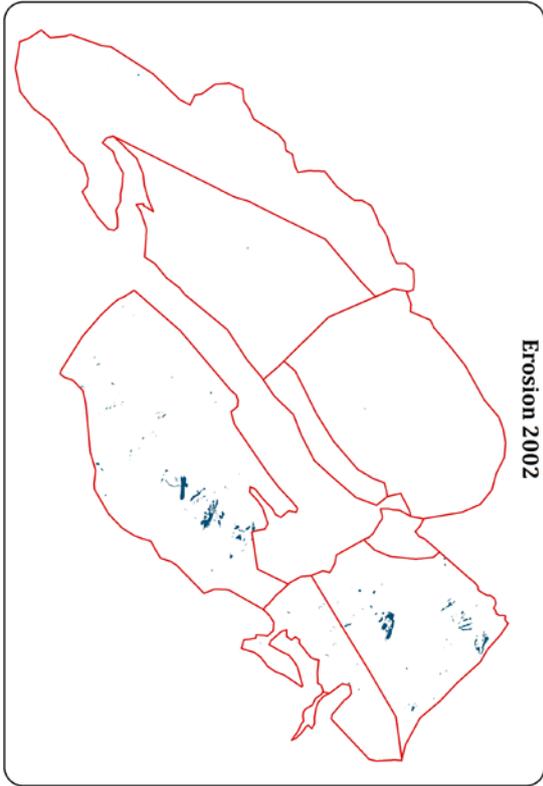
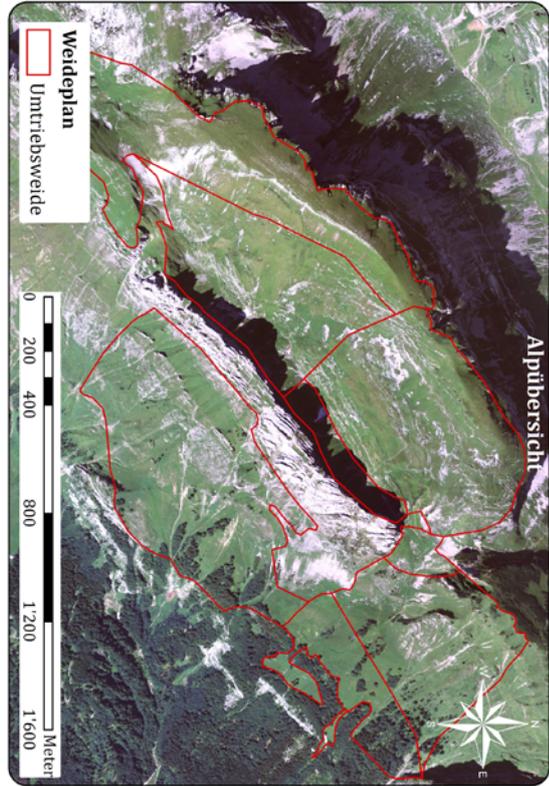
Alp B



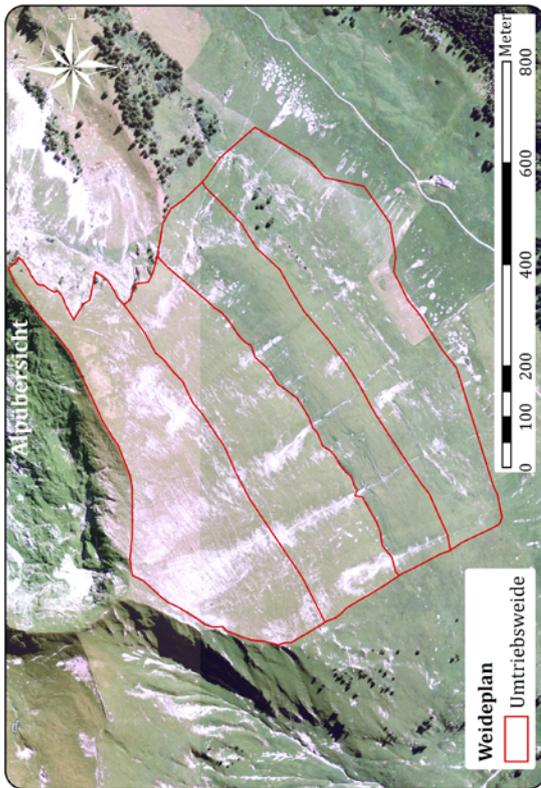
Alp C



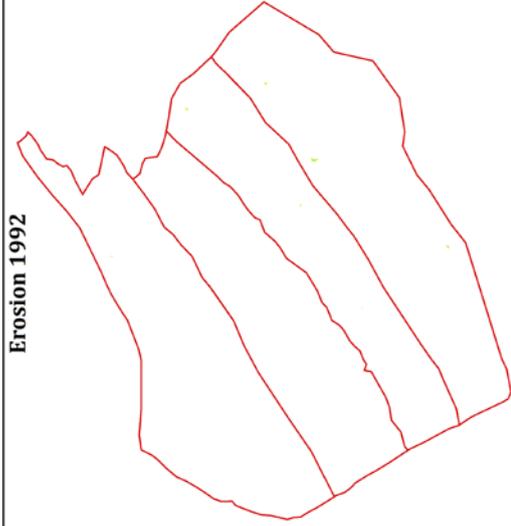
Alp D



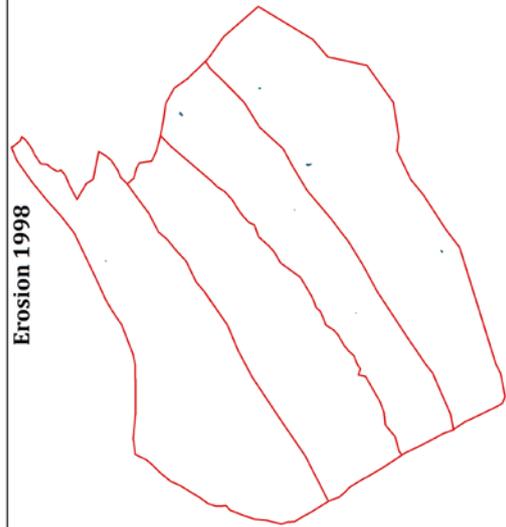
Alp E



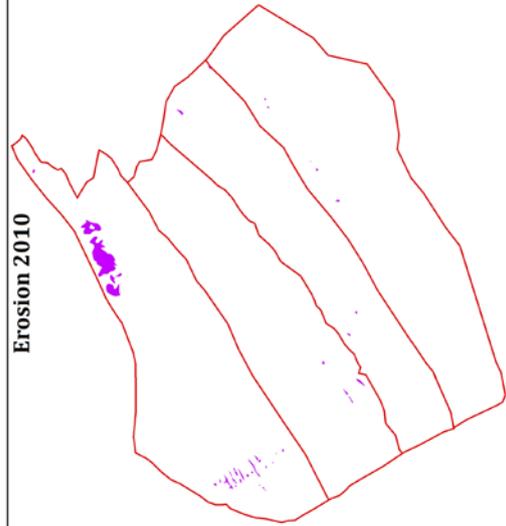
Erosion 1992



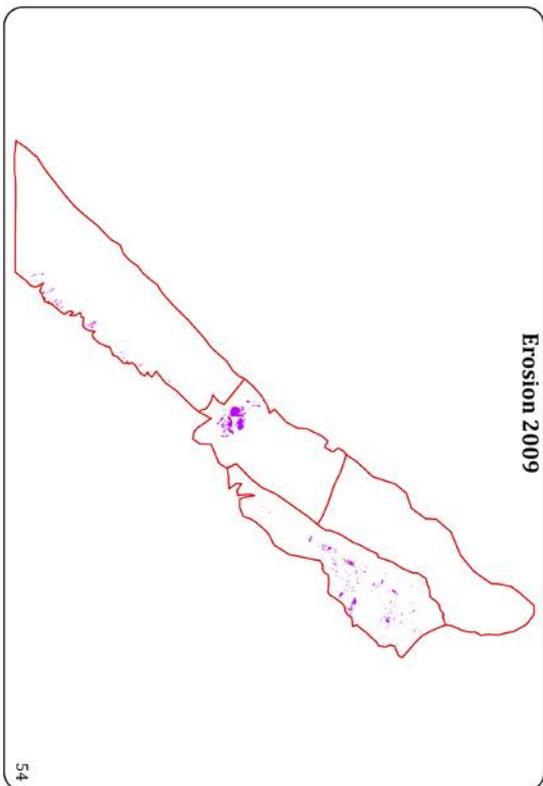
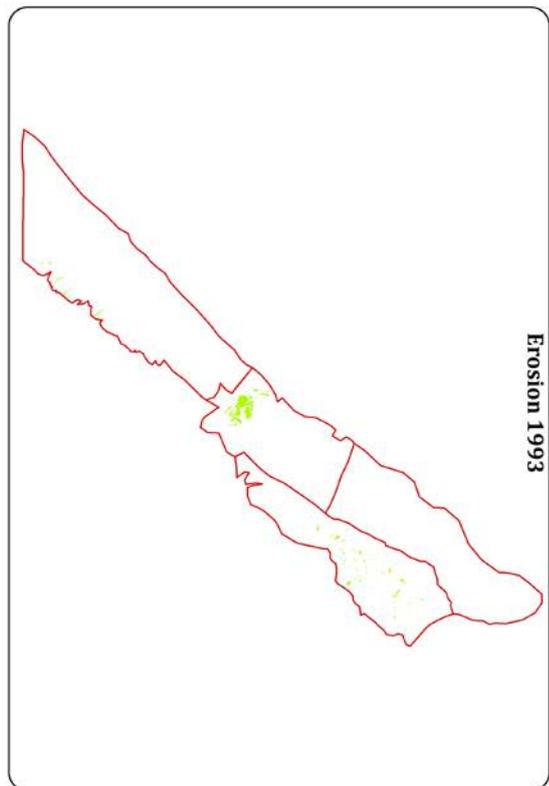
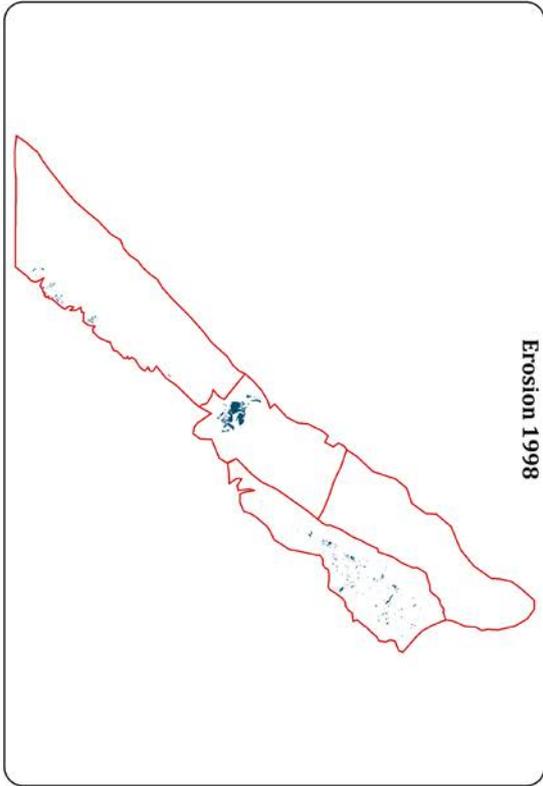
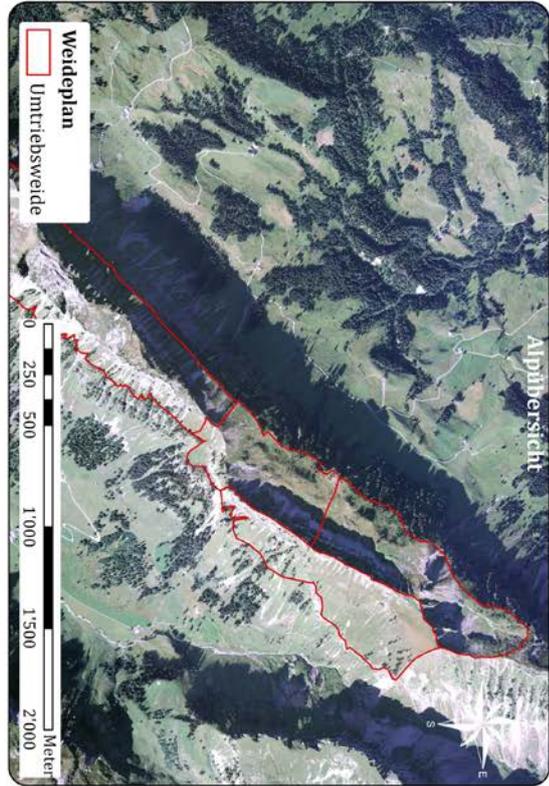
Erosion 1998



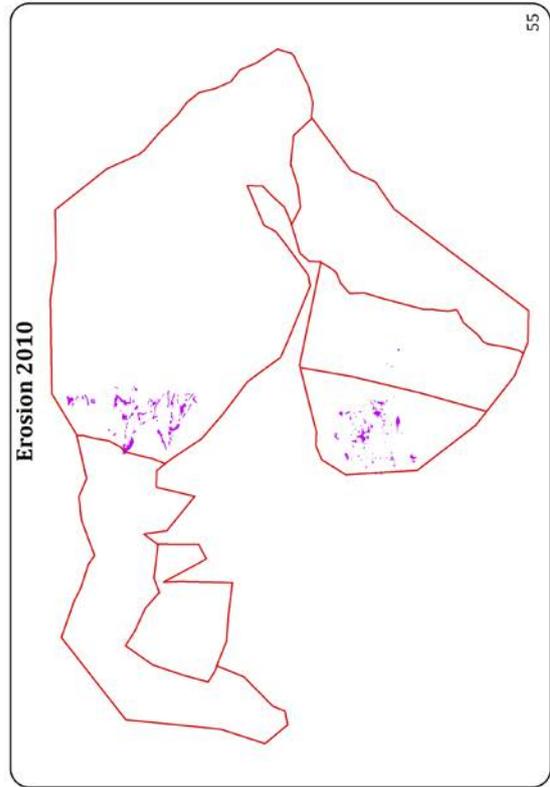
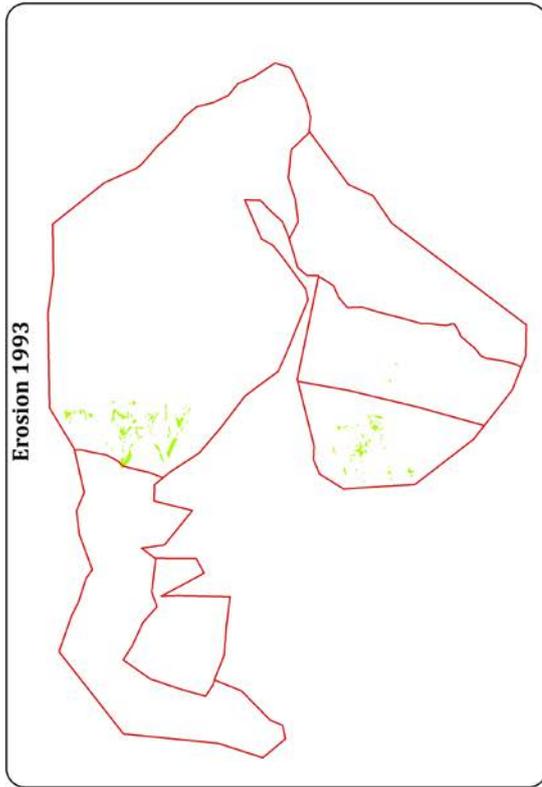
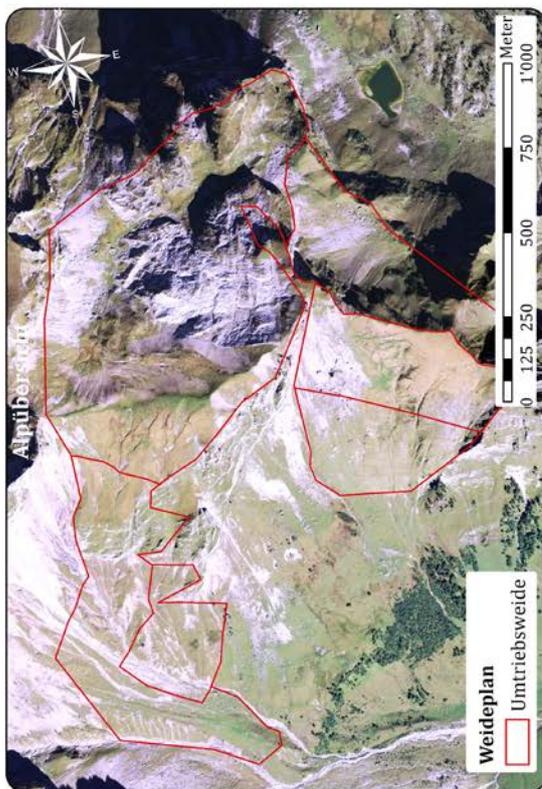
Erosion 2010



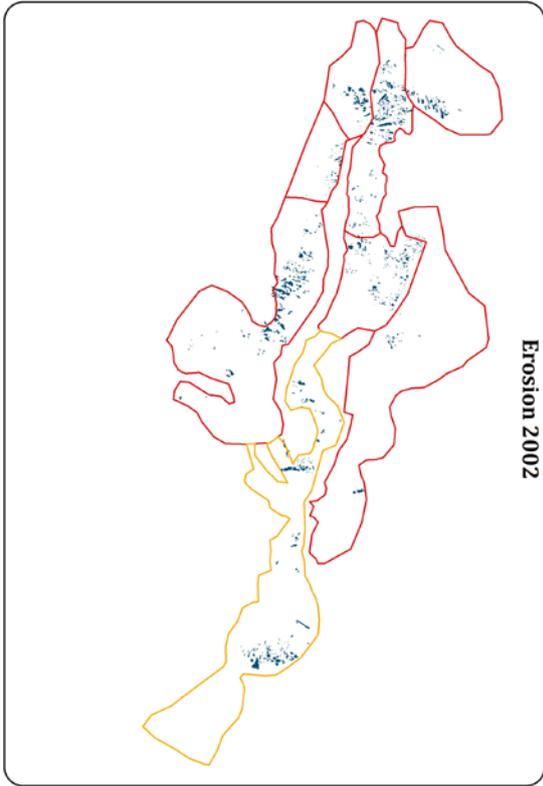
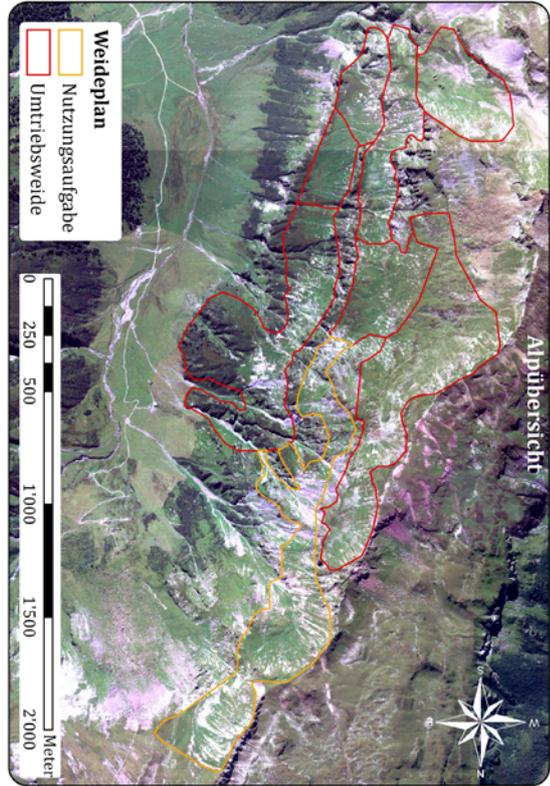
Alp F



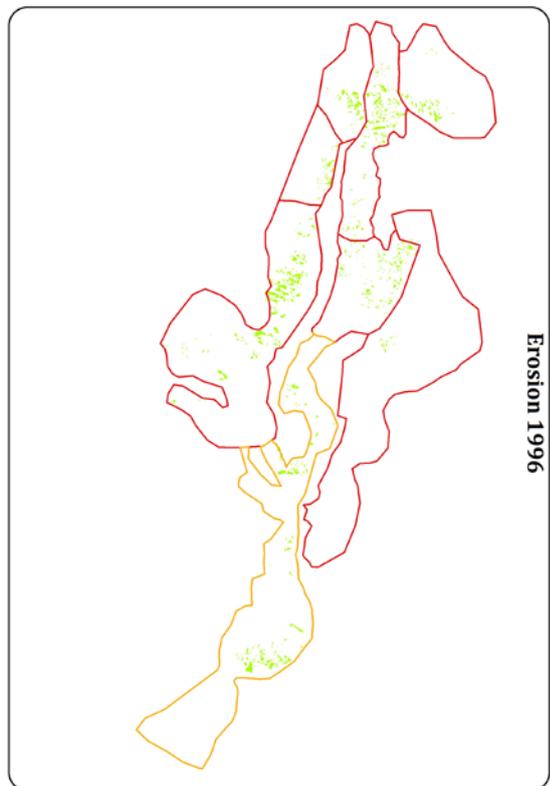
Alp G



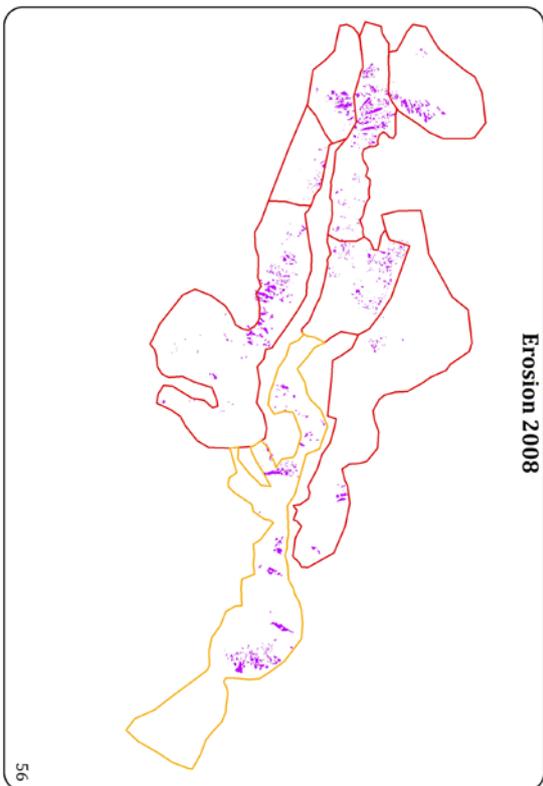
Alp H



Erosion 2002

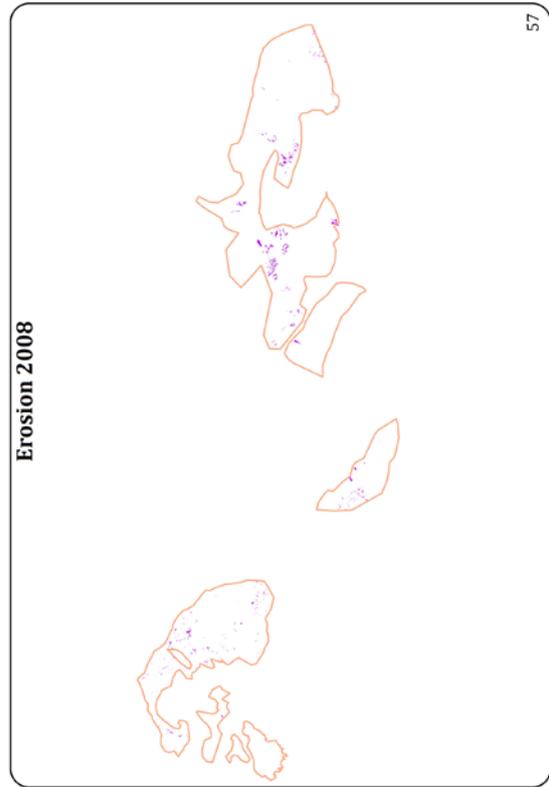
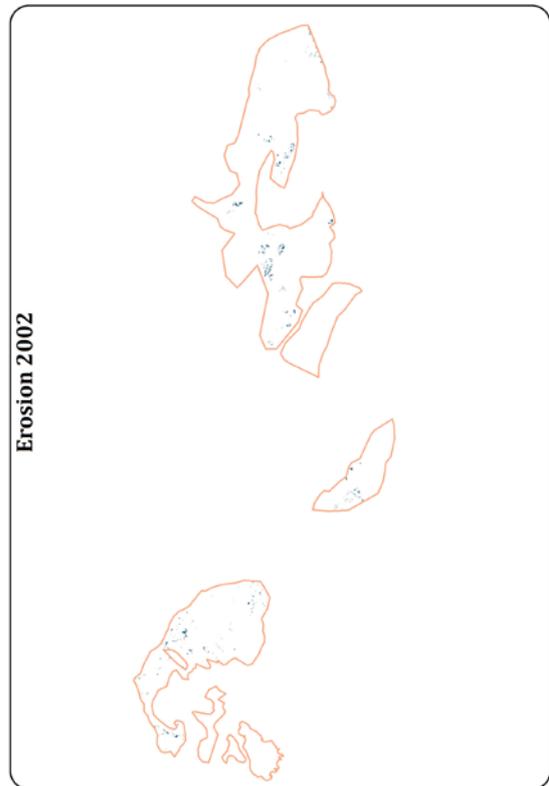
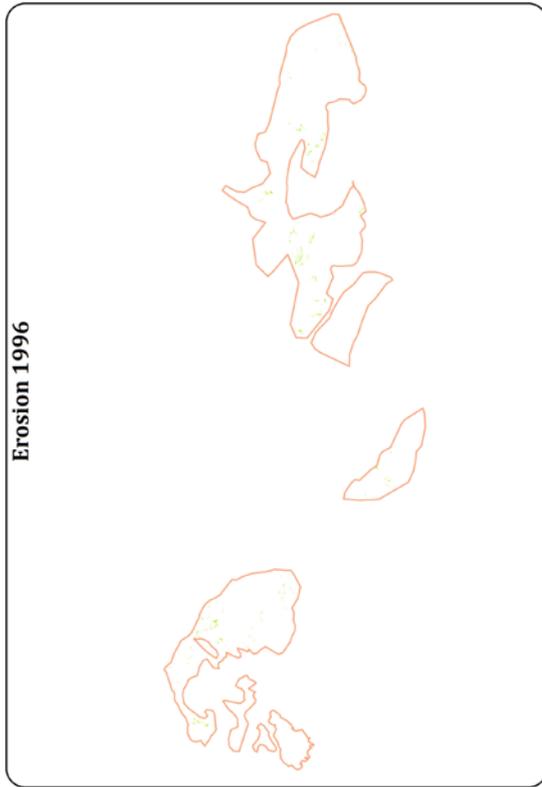
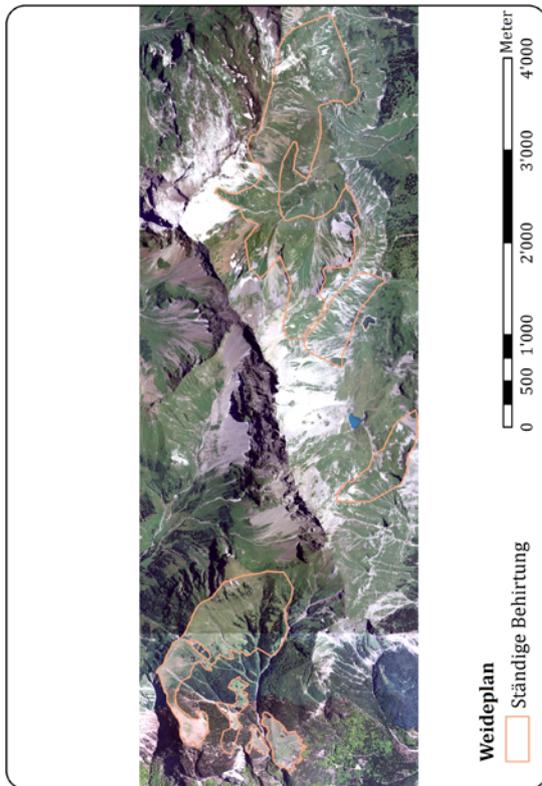


Erosion 1996



Erosion 2008

Alp I



4.1.3. Grösse der Erosionsflächen und Erosionsmuster auf den Luftbildern

Die meisten Erosionsflächen, die auf den untersuchten Alpweiden auftreten, sind relativ klein. Mehr als 70% der Bodenerosionsflächen sind kleiner als 50m² und mehr als 50% liegen unter 25m² (Abb.25).

Im Laufe der Zeit hat die Grösse der Erosionsflächen sowohl für alle Weidesystemumstellungen zusammengefasst (Abb.24, Abb.25, Tab.16 Anhang), als auch für die einzelnen Weidesysteme, die auf Umtriebsweide (Abb.26, Abb.27, Tab.17 Anhang) oder Nutzungsaufgabe (Abb.28, Abb.29, Tab.18 Anhang) gewechselt haben und für die Referenzalpen (Abb.30, Abb.31, Tab.19 Anhang) stetig abgenommen. Betrachtet man alle Weidesystemumstellungen zusammen, so ist die Erosionsfläche von durchschnittlich 85m² im Jahr 1990 auf 59m² im Jahr 2010 gesunken (Abb.25).

Während die Erosionsflächengrössen abgenommen haben, ist die Anzahl der Erosionsflächen über der Zeit auf allen Weidesystemumstellungen (Abb.25, Abb.27, Abb.29) und auf den Referenzalpen (Abb.31) stetig gestiegen: Insgesamt wurden auf allen Alpen im Jahr 2010 4392 Erosionsflächen aufgenommen, während es 1990 noch 3319 waren (Abb.25).

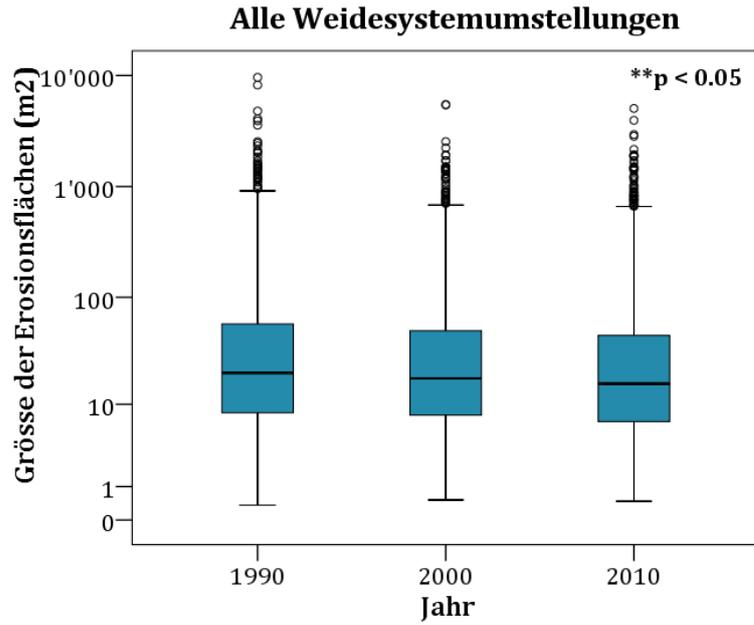


Abb.24: Zeitliche Entwicklung der Größe der Erosionsfläche für alle Weidesystemumstellungen zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.16 Anhang).

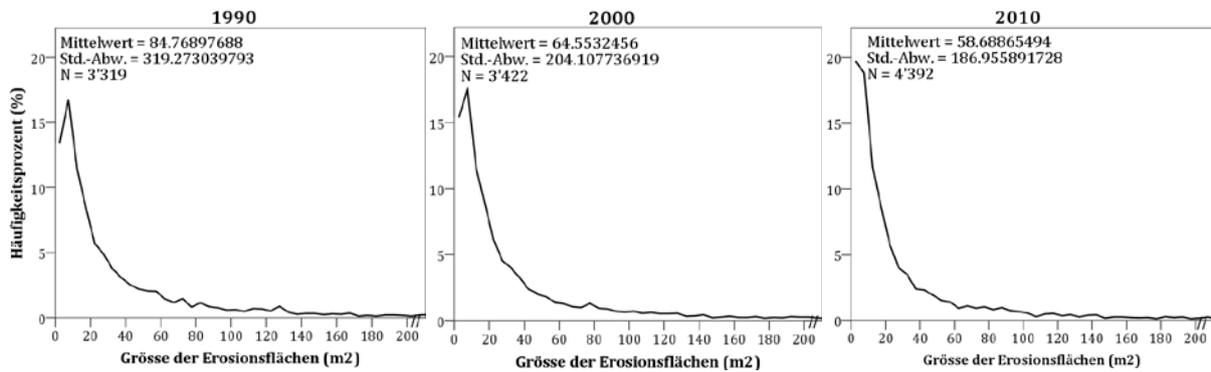


Abb.25: Häufigkeitsverteilung der Größe der Erosionsflächen für alle Weidesystemumstellungen.

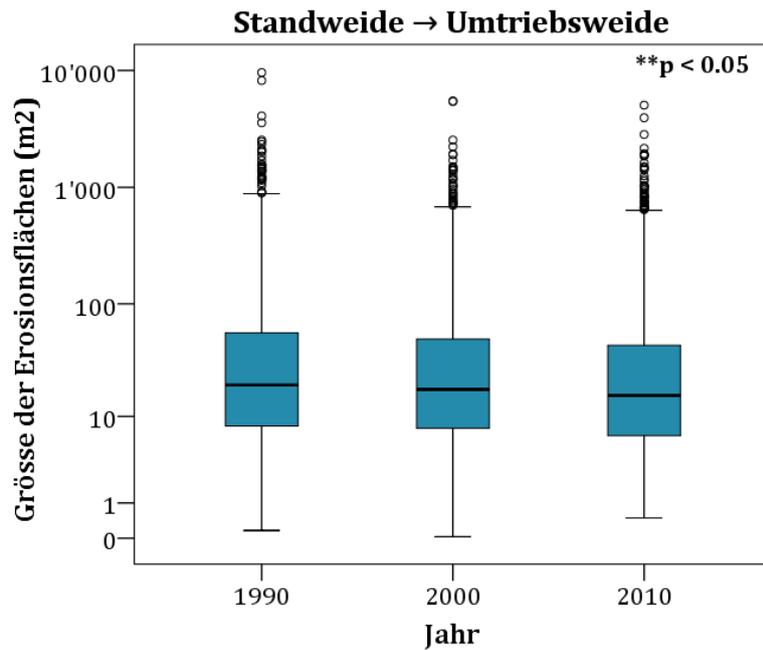


Abb.26: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.17 Anhang).

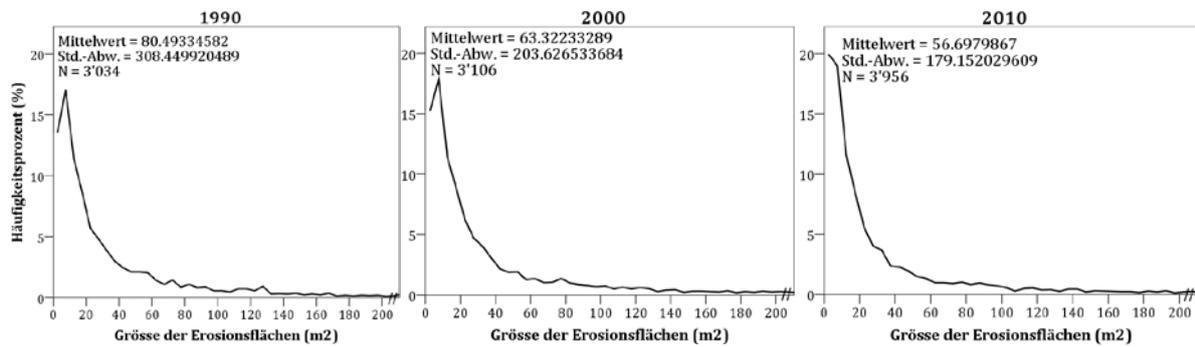


Abb.27: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide.

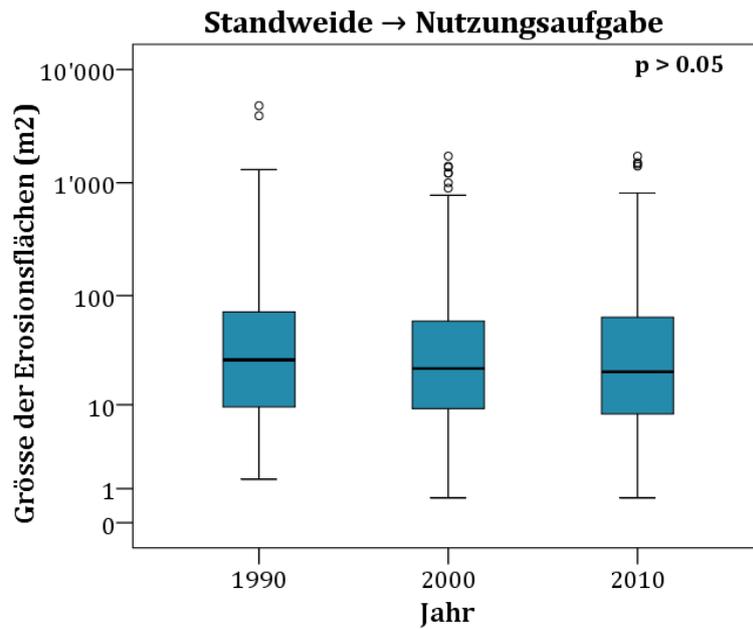


Abb.28: Zeitliche Entwicklung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe zwischen 1990 und 2010. Kein signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.18 Anhang).

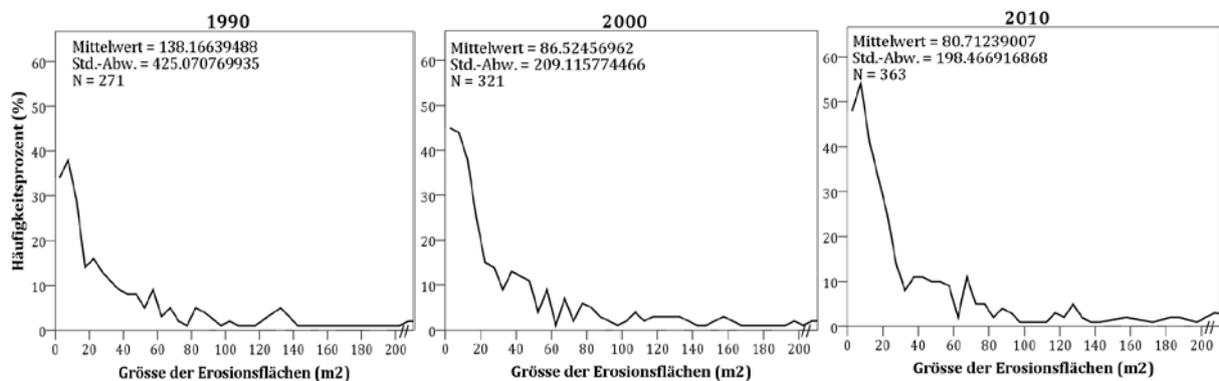


Abb.29: Häufigkeitsverteilung der Grösse der Erosionsflächen für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe.

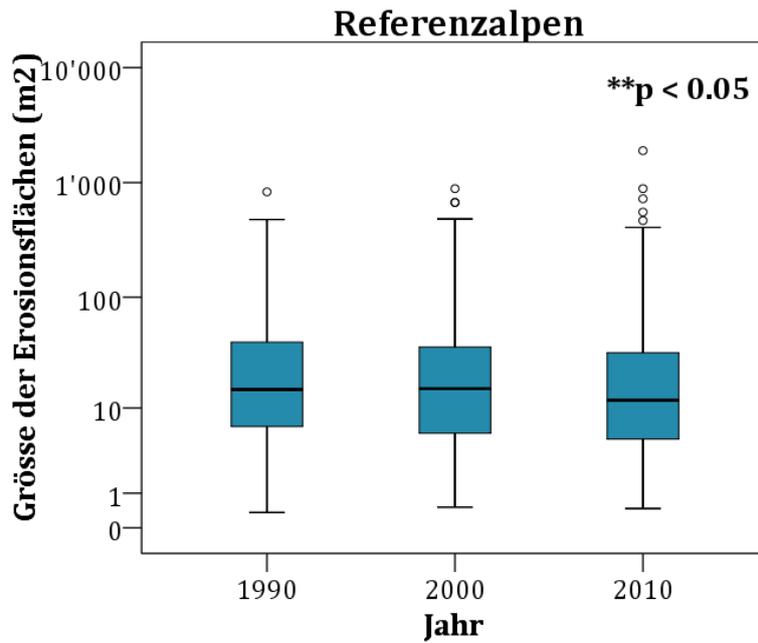


Abb.30: Zeitliche Entwicklung der Größe der Erosionsflächen für die Referenzalpen zwischen 1990 und 2010. Signifikanter Unterschied der Daten (Friedmann-Test, $p=0,05$, Tab.19 Anhang).

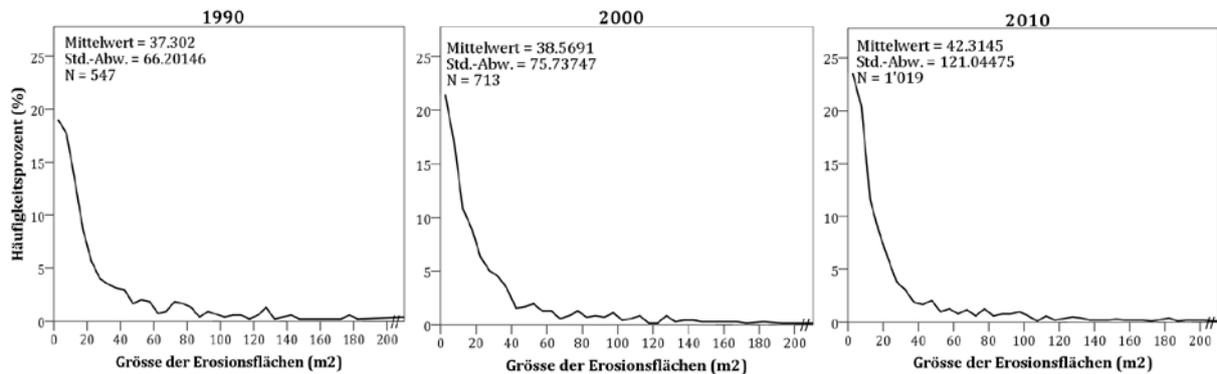


Abb.31: Häufigkeitsverteilung der Größe der Erosionsflächen für die Referenzalpen.

Bodenerosionsflächen, als sich grössere Schadensflächen erholt haben (Tab.20, Abb.29, Abb.31).

Ein weiterer in diesem Zusammenhang nennenswerter Aspekt, ist die allgemeine Entstehungs- und Wiederbewuchsdynamik von Bodenerosionsflächen.

Bodenabtragsflächen können auf unterschiedliche Weise entstehen (Abb.32). Einerseits bilden sich Erosionsschäden oft dort, wo die Schafe durch ihre häufige Präsenz einen Weg gebildet haben (Abb.32, 1 & 2). Andererseits können bereits bestehende Schäden durch retrogressive Erosion vergrössert werden (Abb.32, 3). Schlussendlich können sich Erosionsflächen mit der Gravitation hangabwärts fortpflanzen (Abb.32, 4). In diesem Fall ist der Einfluss von Wasser oder Schnee nicht auszuschliessen.

Bei der Verheilung bzw. Wiederverwachsung von Bodenerosionsflächen gibt es kein bestimmtes Entwicklungsmuster: Entweder wächst das Gras von oben, von der Seite oder von unten nach (Abb.33). Massgebend für die Verheilung sind wahrscheinlich die Windverfrachtung und die Einbringung von Pflanzensamen durch Tiere. Die Zeit, die eine Bodenerosionsfläche zum verheilen beansprucht, hängt ab von der Höhe bzw. Vegetationszeit und ob sie regelmässig durch einen Störfaktor (Schaf, Schnee) beeinflusst wird.

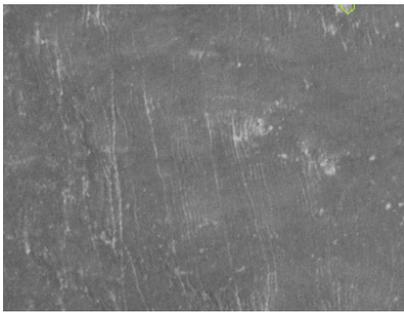
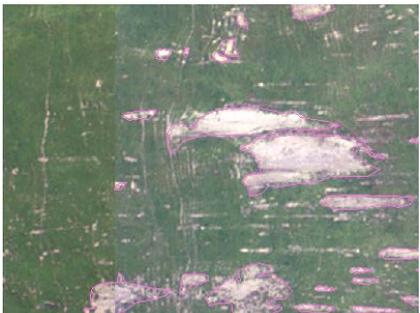
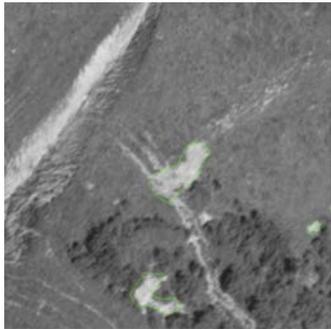
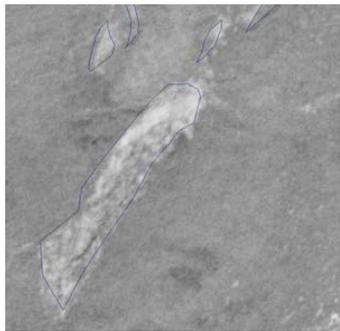
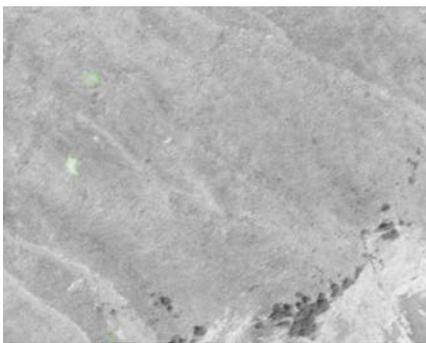
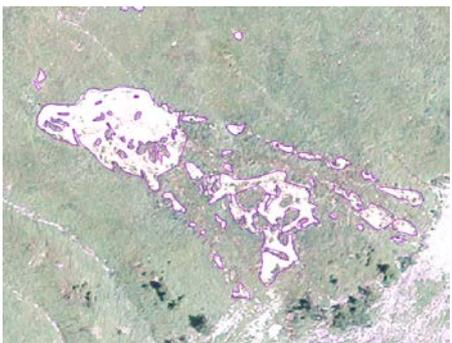
		Luftaufnahme 1990	Luftaufnahme 2010
Entstehung von Bodenerosionsflächen	1		
	2		
	3		
	4		

Abb.32: Beispiele zur Entstehung von Bodenerosionsflächen (1-4, Referenzen siehe Text).

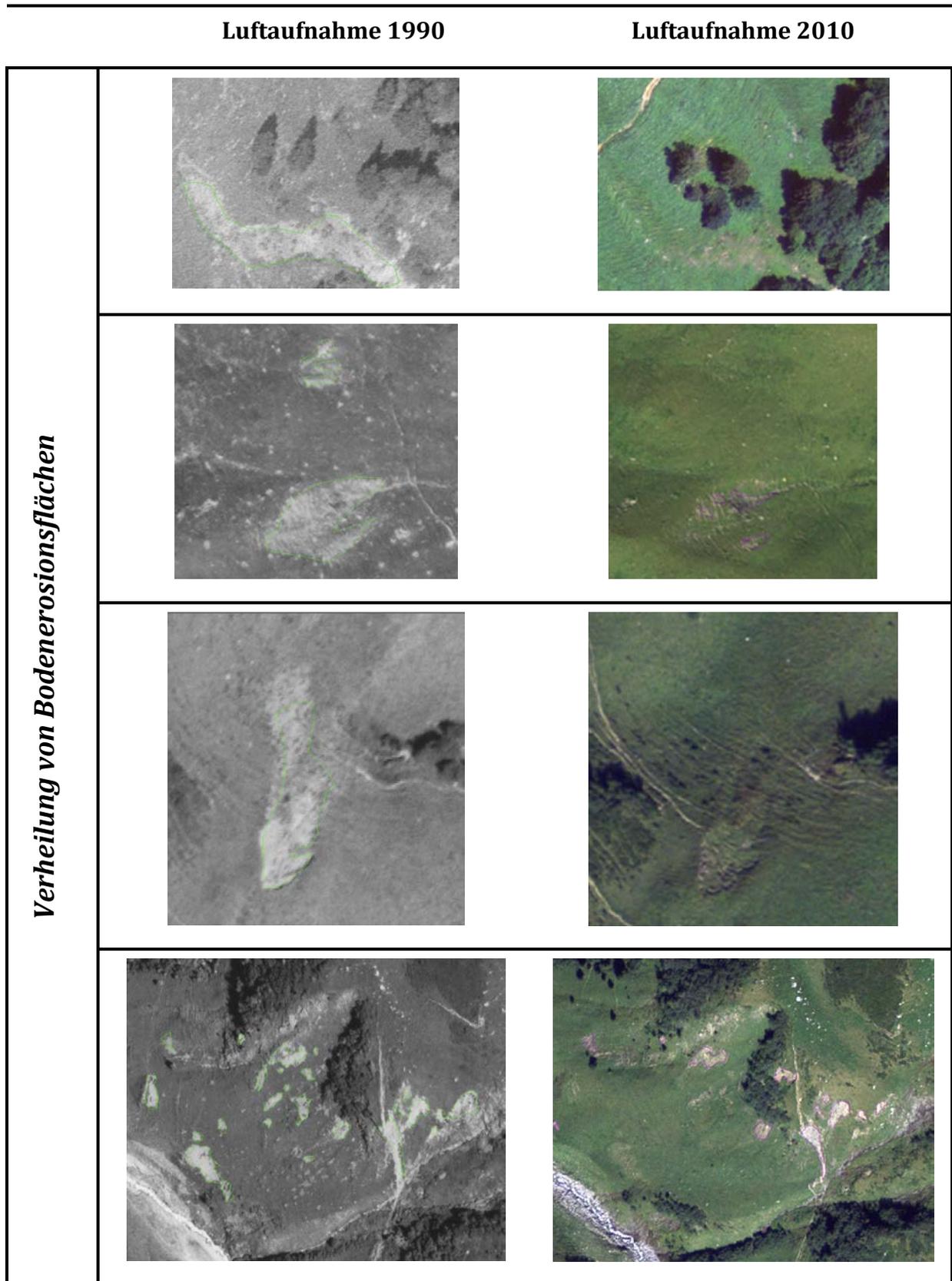
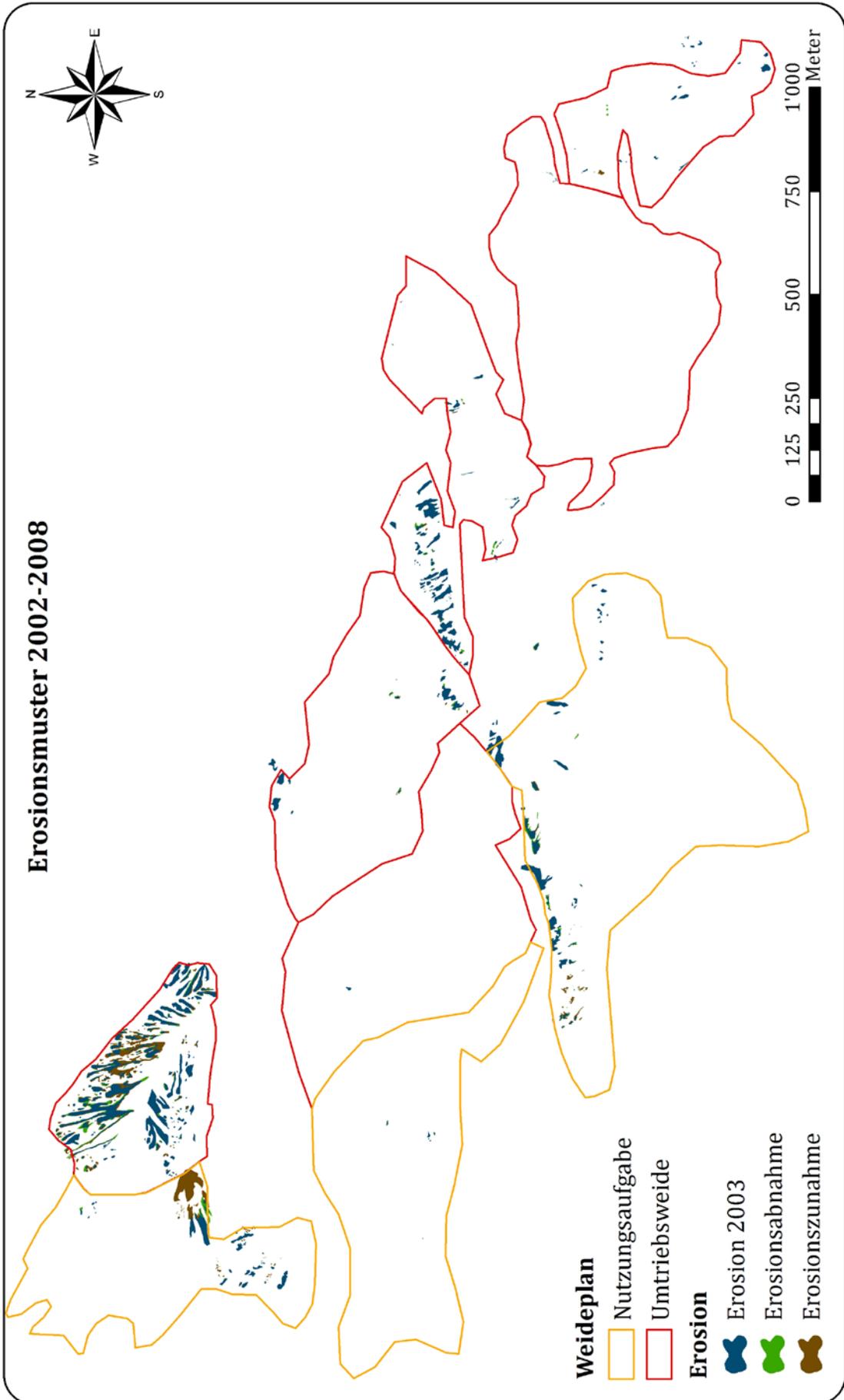


Abb.33: Verheilung von Bodenerosionsflächen.

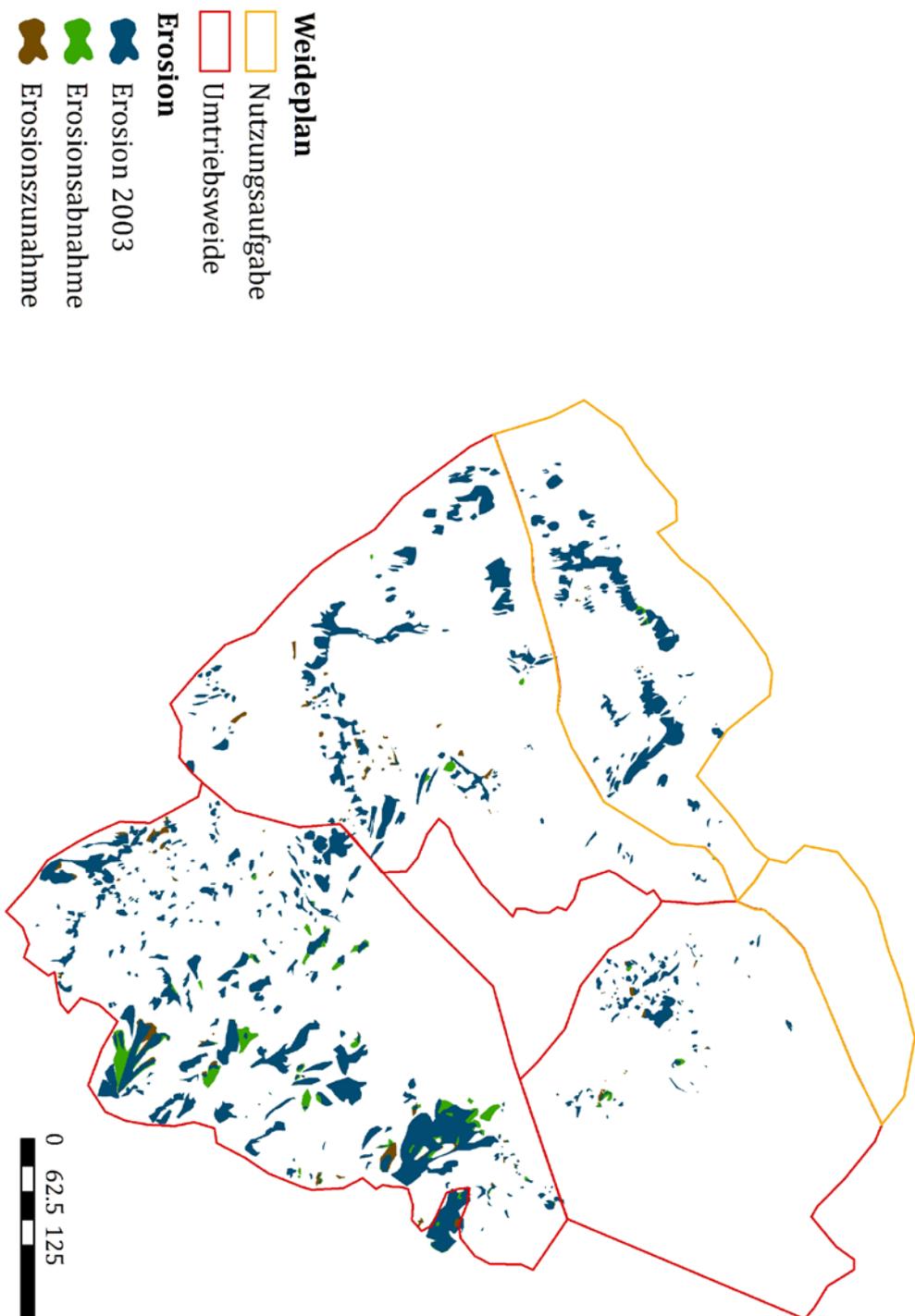
Alp A

Erosionsmuster 2002-2008



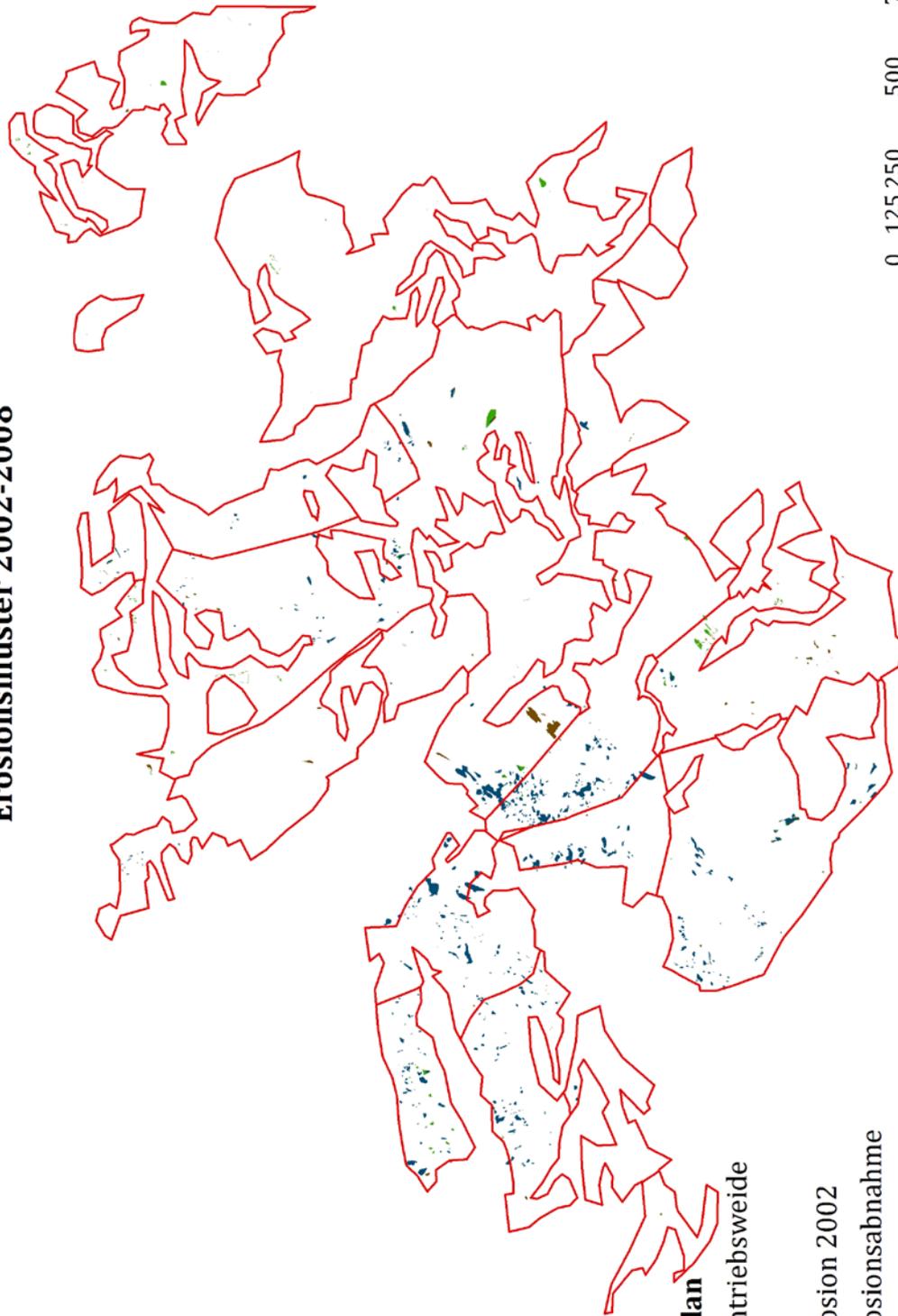
Alp B

Erosionsmuster 2003-2008



Alp C

Erosionsmuster 2002-2008

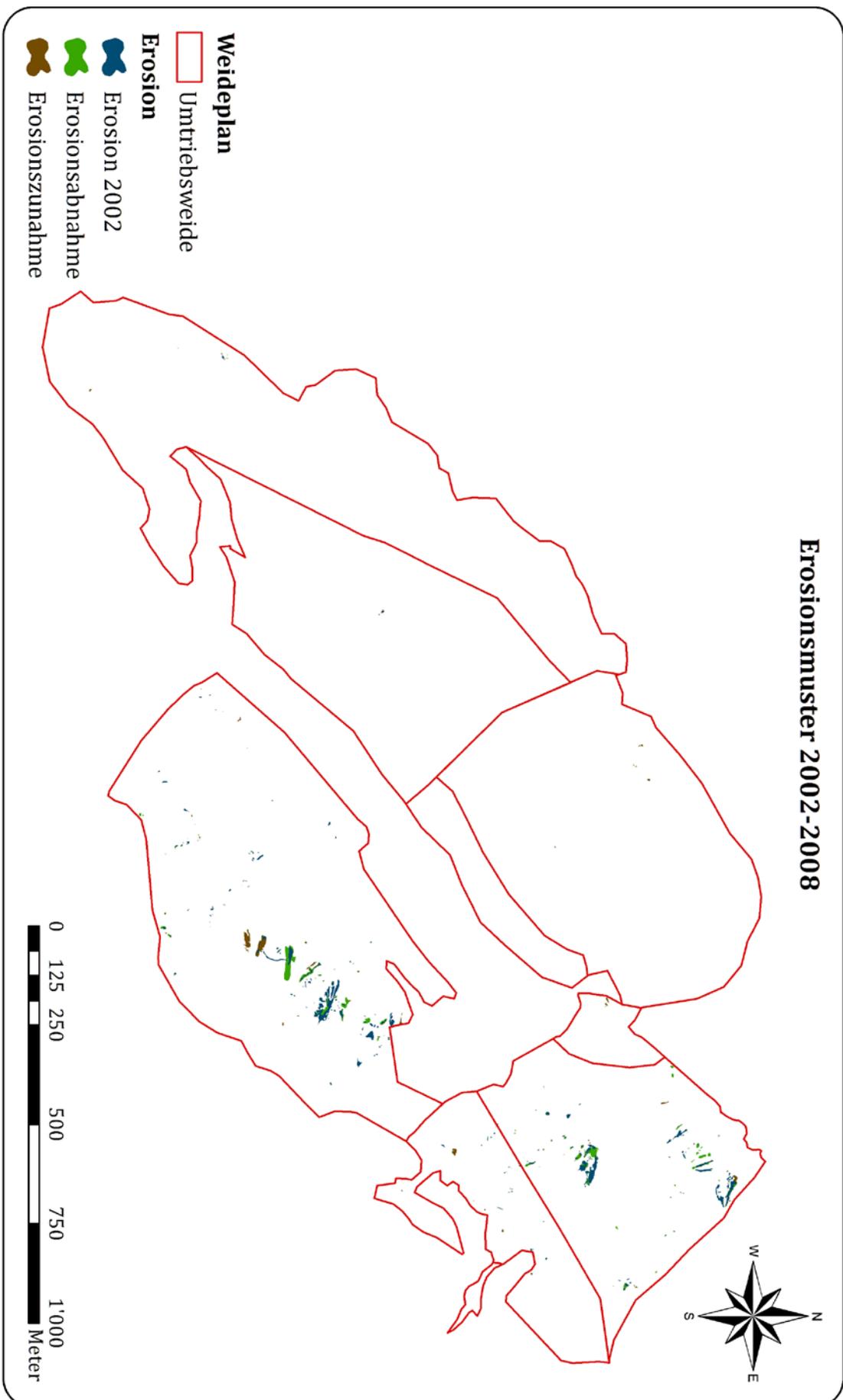


- Weideplan**
- Umtriebsweide
- Erosion**
- Erosion 2002
 - Erosionsabnahme
 - Erosionszunahme



Alp D

Erosionsmuster 2002-2008

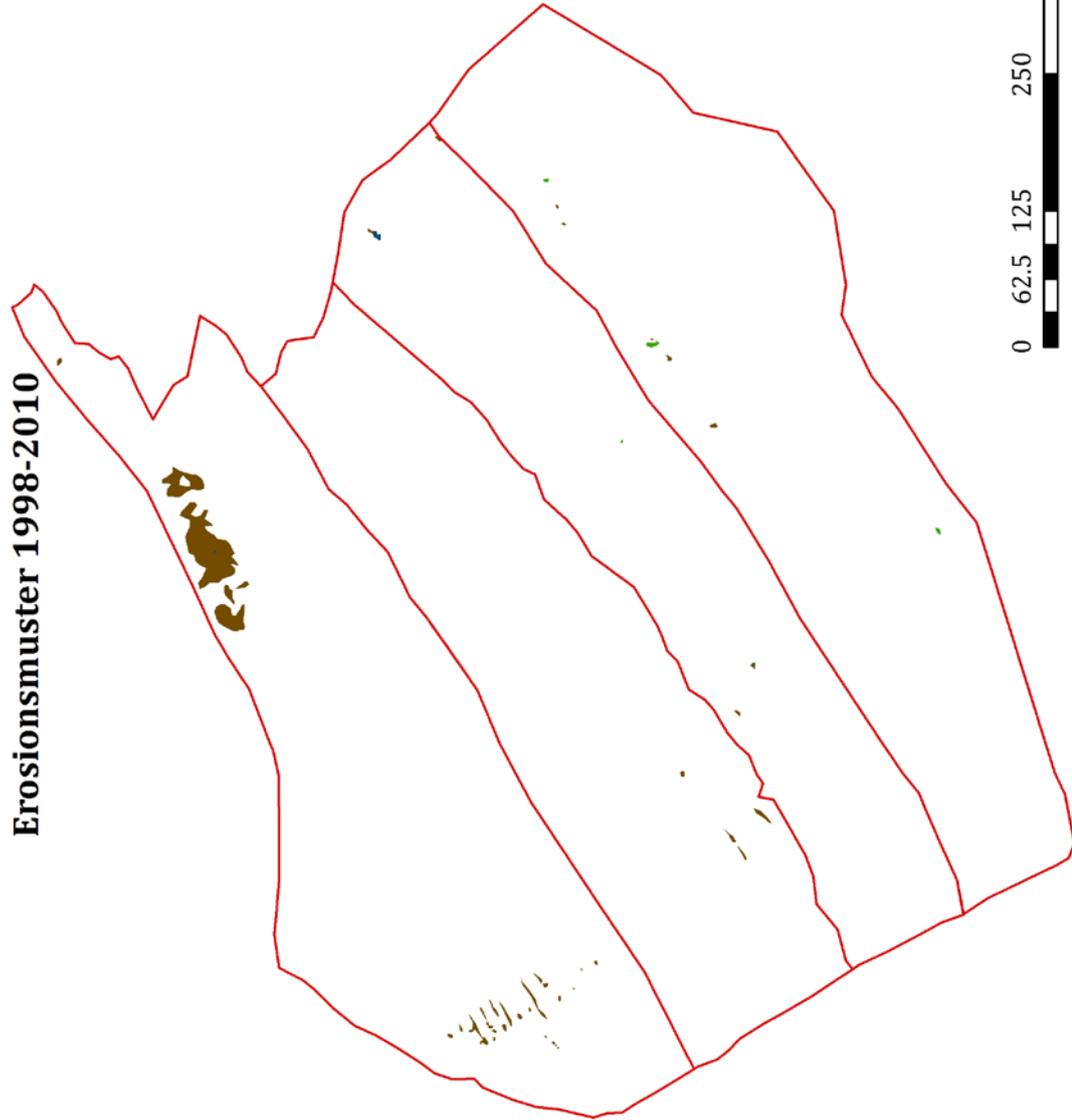


Alp E

Erosionsmuster 1998-2010

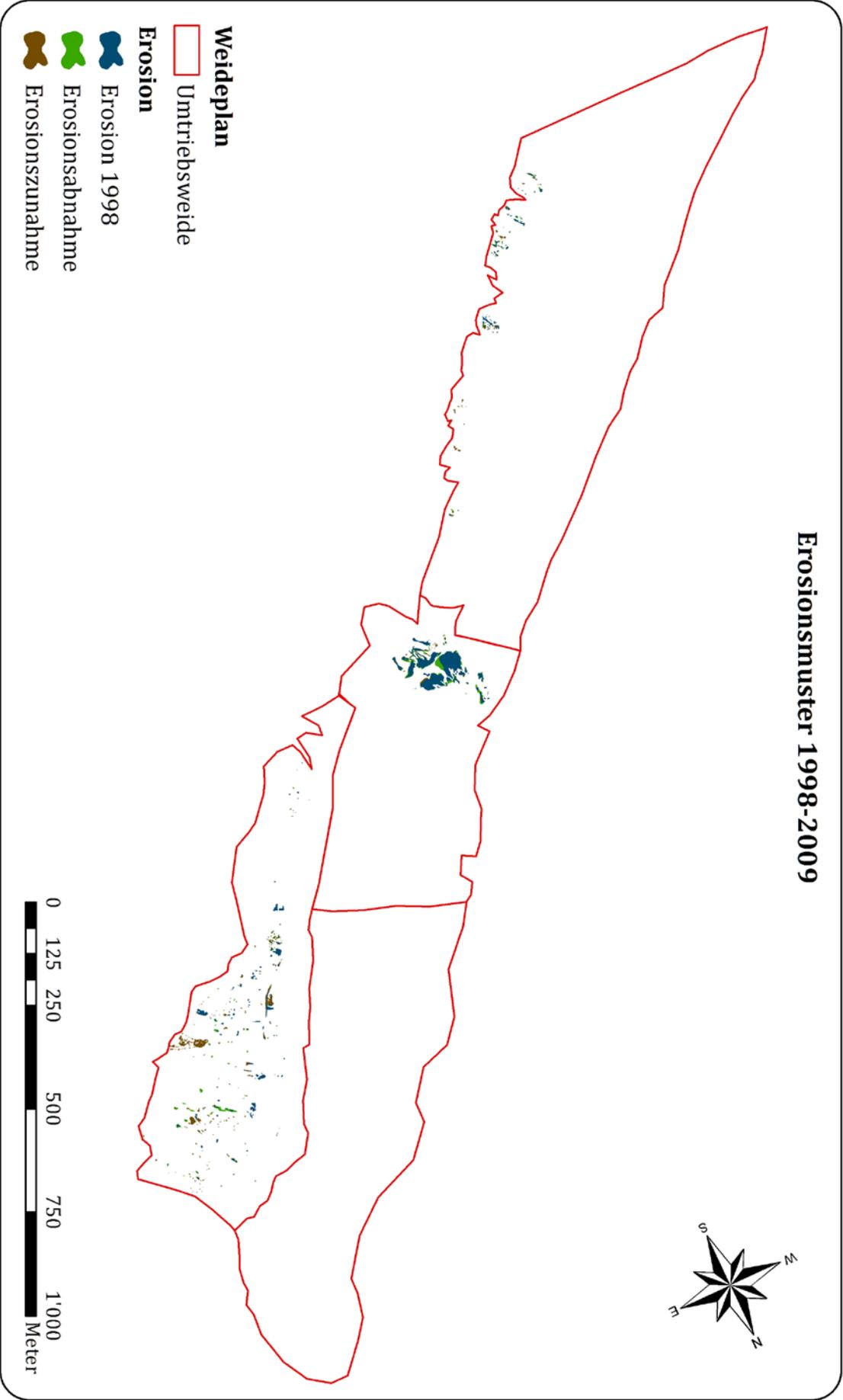


- Weideplan**
- Weideplan
- Erosion**
- Erosion 1998
 - Erosionsabnahme
 - Erosionszunahme



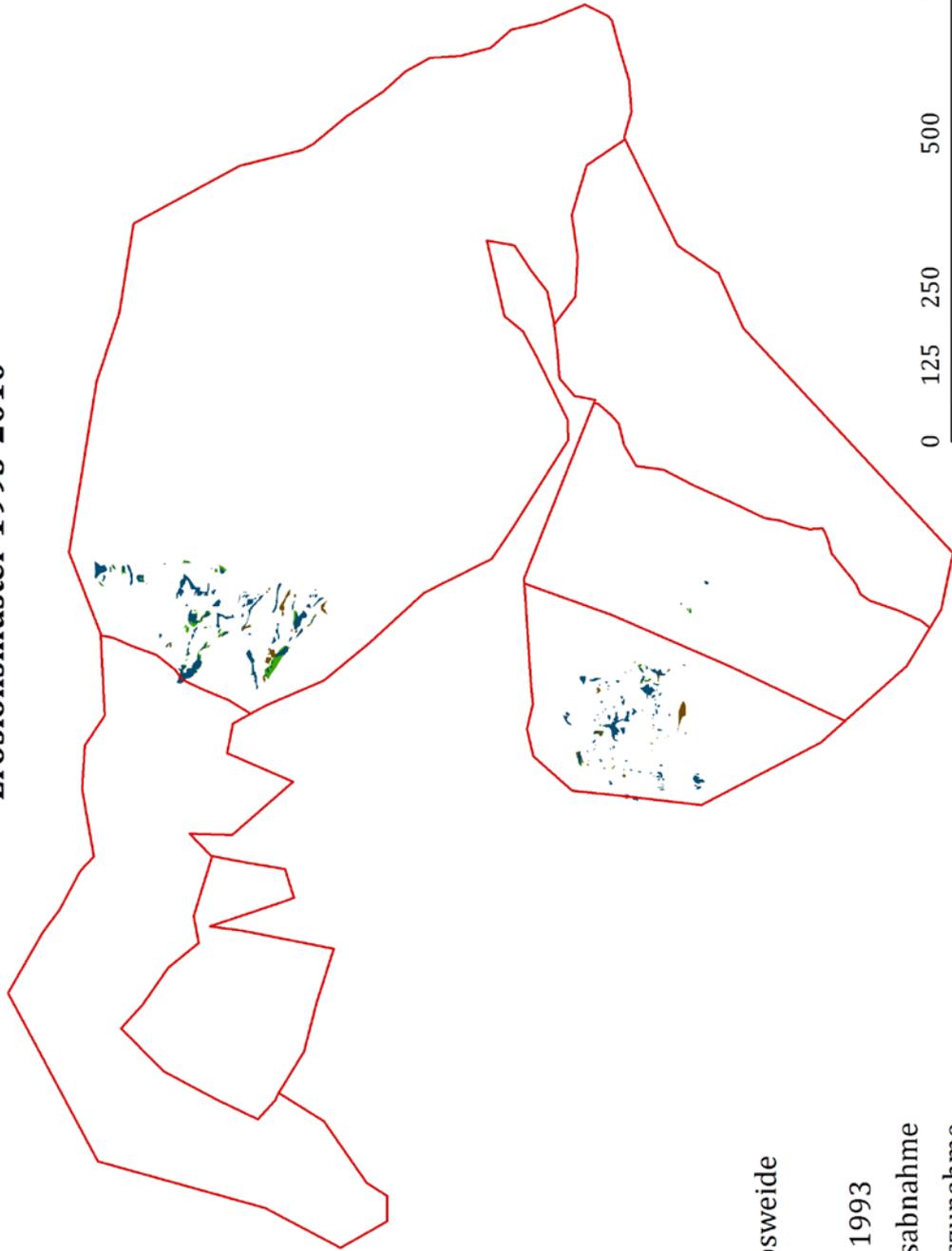
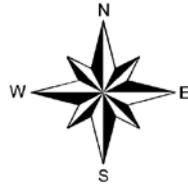
Alp F

Erosionsmuster 1998-2009



Alp G

Erosionsmuster 1993-2010



Weideplan

Umtriebsweide

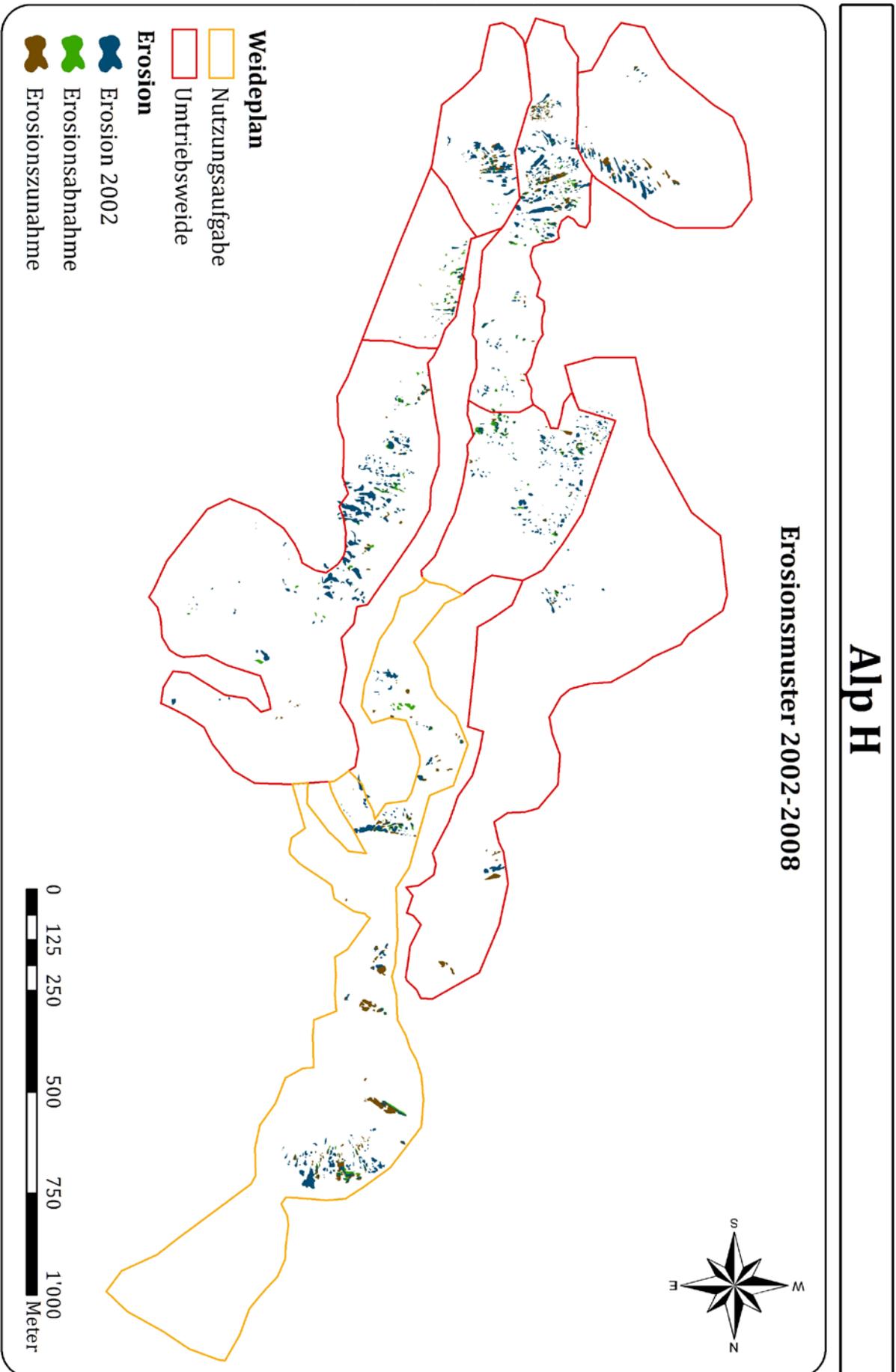
Erosion

Erosion 1993

Erosionsabnahme

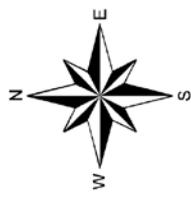
Erosionszunahme





Alp I

Erosionsmuster 2002-2008



Weideplan

□ Ständige Behirtung

Erosion

● Erosion 2002

● Erosionsabnahme

● Erosionszunahme



4.2. Einflussfaktoren für die räumliche Verteilung der Bodenerosionserscheinungen

Im Rahmen dieser Studie wurden die Standortfaktoren (Höhe, Hangneigung, Exposition, Geologie, Geographische Lage) und die zeitlichen Einflussgrößen (Niederschlag, Landnutzung) auf die Erosionsverteilung untersucht. Nebst Graphiken wurden auch für jede Alp Karten mit den Einflussgrößen erstellt (Karten S. 85 bis S.93).

4.2.1. Standortfaktoren

Höhe

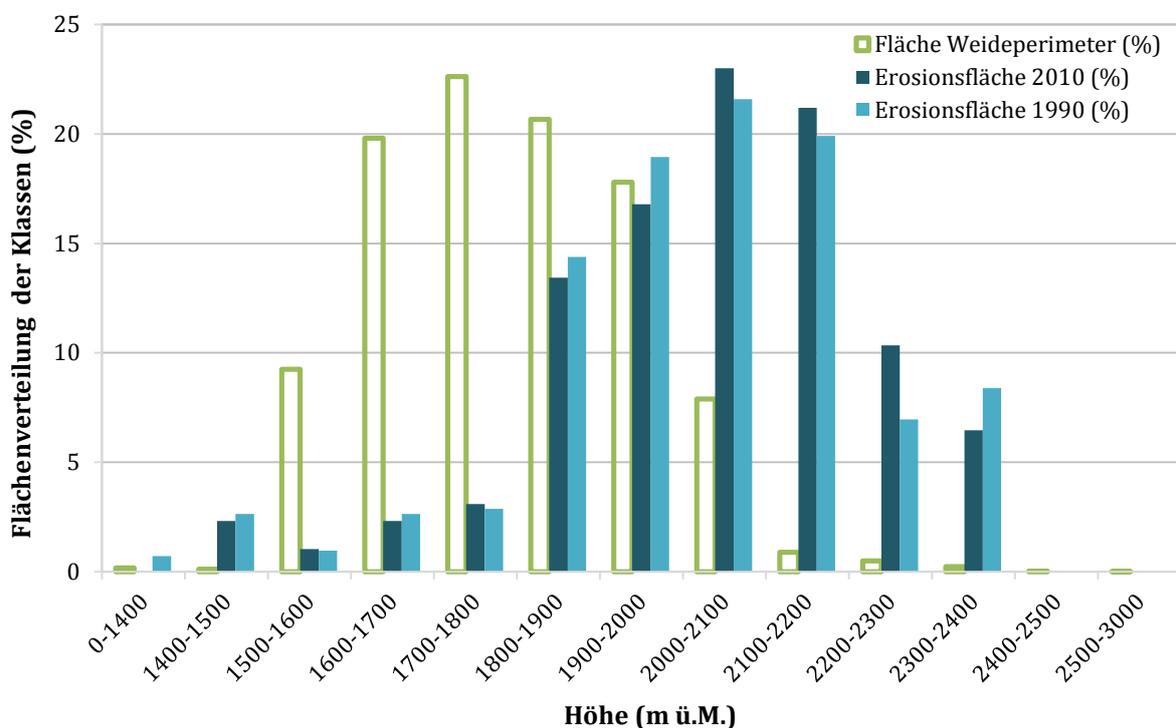


Abb.34: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Höhenstufe.

Obwohl der grösste Teil der Alpen zwischen 1500 und 2100m ü.M. liegen, verteilen sich die Mehrheit der Bodenabtragsflächen zwischen 1800 und 2400m ü.M.. Die Bodenerosionsflächen haben sich zwischen 1990 und 2010 in der Höhe verschoben: Die Schäden von 1990, welche sich früher zwischen 1800 und 2000m ü.M. und über 2300m ü.M. befanden, konzentrieren sich 2010 zwischen einer Höhe von 2000 und 2300m ü.M.. Die Erosionsflächen unter 1800m ü.M. blieben meist unverändert. (Abb.34, Karten S.85 bis S.93)

Hangneigung

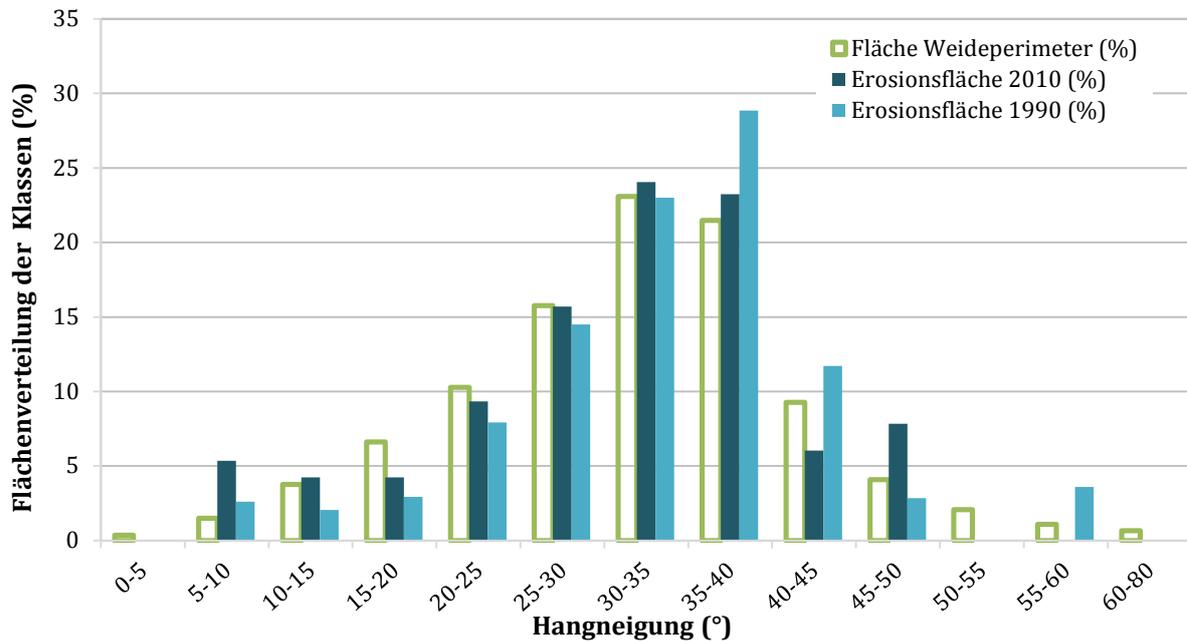


Abb.35: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Hangneigung.

Steile Hänge sind auf alpinen Schafalpen häufig. Auch auf unseren Alpen besitzen ca. 65% der Weideflächen eine Hangneigung von mehr als 30°. Ein grosser Anteil der Weiden konzentriert sich zwischen 25° und 40°. Die Erosionsflächen sind ebenfalls in grosser Mehrheit auf Flächen zwischen 25° und 40° Hangneigung vorzufinden. Über 40° nimmt deren Anteil stark ab. Die Erosionsflächen, die sich zwischen 5° und 35° Hangneigung befinden, sind über die Zeit häufiger geworden. Hingegen sind die Erosionsflächen auf sehr grosser Hangneigung, mit Ausnahme der Neigungsklasse 45°-50°, 2010 gegenüber 1990 seltener geworden (Abb.35, Karte S.85 bis S.93).

Exposition

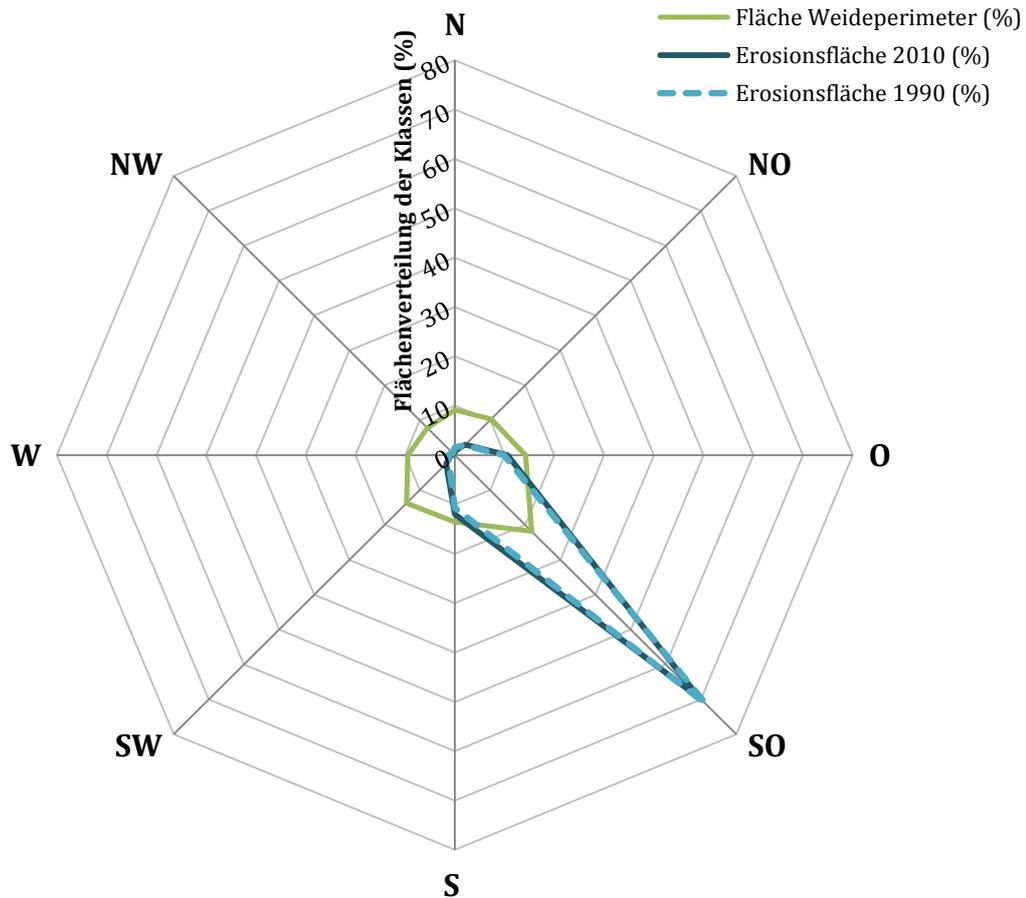


Abb.36: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Expositionswinkel.

Wie bereits in der Standortbeschreibung (Abb.12) erwähnt, besitzen viele der untersuchten Alpen eine S-, SO- und O-Exposition. Die anderen Himmelsrichtungen sind mit je ca. 10% auf den Weiden vertreten. Rund 70% der Erosionsflächen konzentrieren sich auf SO-exponierte Weideflächen, während S- und O- exponierte Hänge je ca.12% von Bodenerosion betroffen sind. Diese Konzentration des Bodenabtrags auf S-, O- und vor allem SO-Expositionen kann ebenfalls auf Alpen (A, D, F, G, H und I) festgestellt werden, auf denen diese Expositionen nicht die gesamte Weidefläche dominieren. NO- bis SW-Expositionen sind auf unsere Alpen nur sehr wenig (<6%) von Erosion betroffen. Zwischen 1990 und 2010 gibt es keinen Unterschied in der Bodenerosionsverteilung nach Exposition (Abb.36, Karte S.85 bis S.93).

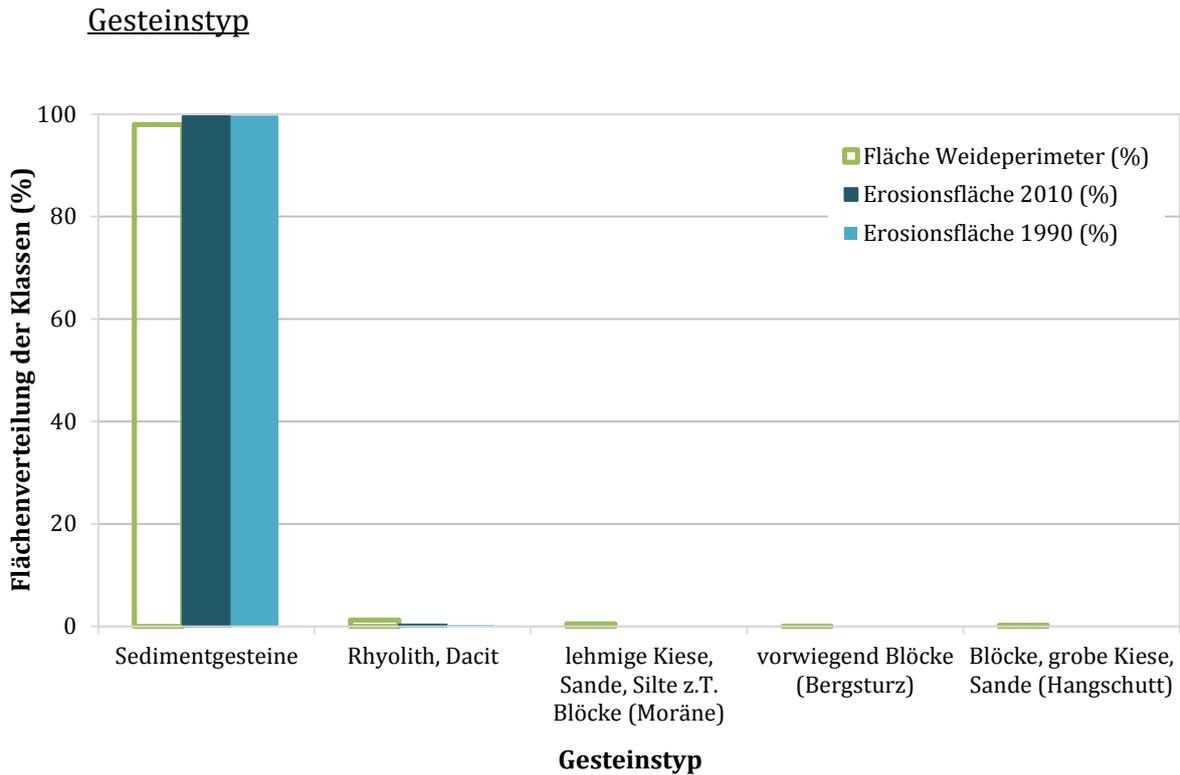


Abb.37: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach Gesteinstyp.

Die Schafalpen liegen zu 98% auf Sedimentgestein. Nur bei sehr wenigen Flächen bildet magmatisches Gestein und Schutt das Ausgangssubstrat. Die Bodenerosionsflächen verteilen sich fast ausschliesslich auf dem sehr häufig vorhandenen Sedimentgestein. Hier ist keine Änderung Bodenerosionsverteilung zwischen 1990 und 2000 ersichtlich (Abb.37, Karte S.85 bis S.93).

Stratigraphische Einheiten

Wenn man die stratigraphischen Einheiten betrachtet sind Flysch, Verrucano und Meeressedimente aus dem Malm, Trias Unter- und Oberkreide am häufigsten auf den Alpen vorzufinden. Auf dem Sardona Flysch sind mehr als 50% aller Bodenerosionsflächen vertreten, gefolgt von Schichten aus der Unterkreide, Verrucano und der Trias. Mit der Zeit hat sich die Bodenerosion verschoben. Weniger Flyschsedimente und Verrucano sind 2010 von Bodenerosion heimgesucht worden. Demgegenüber haben die Schäden auf Unterkreide, Trias und Malm 2010 zugenommen (Abb.38).

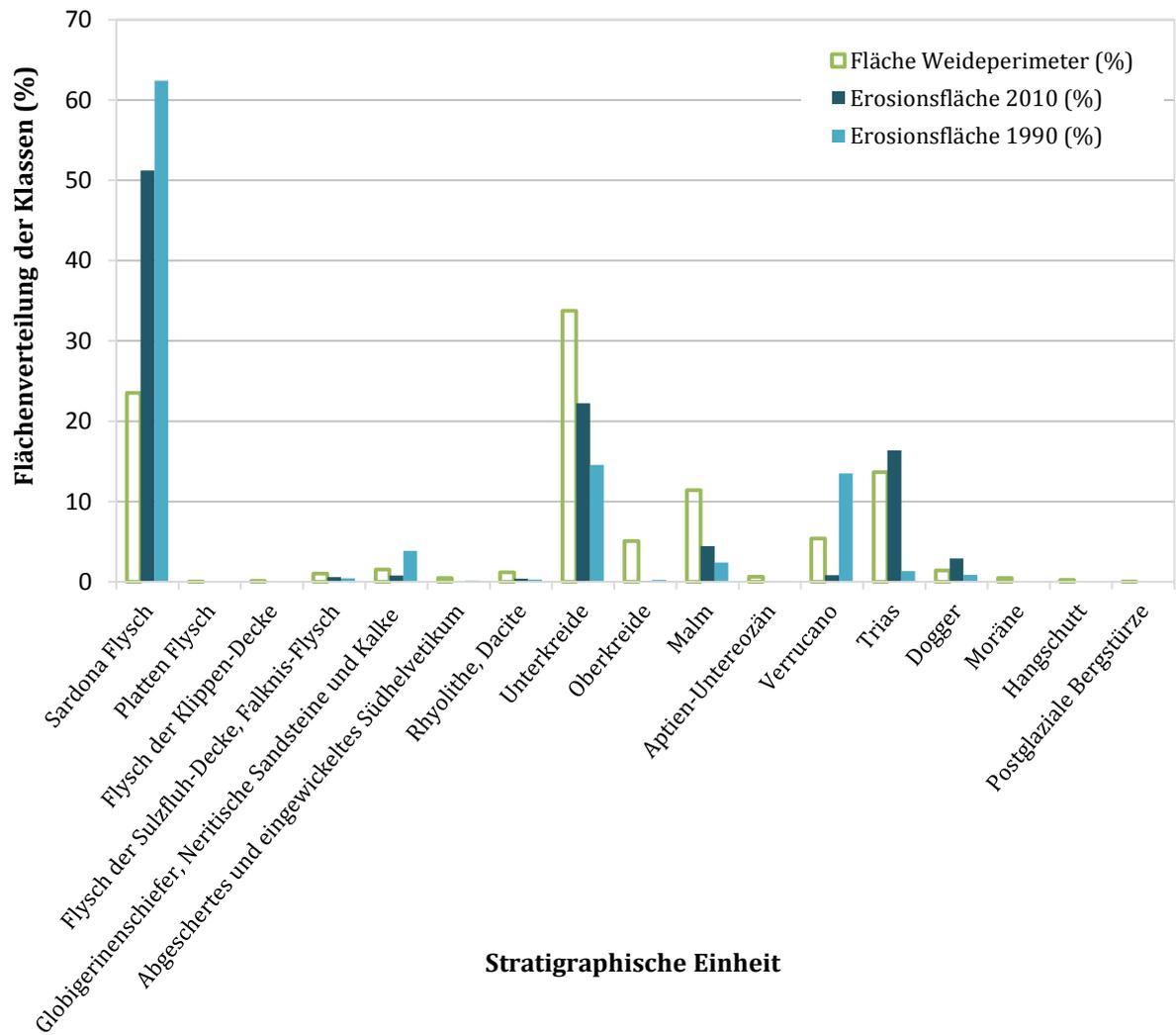
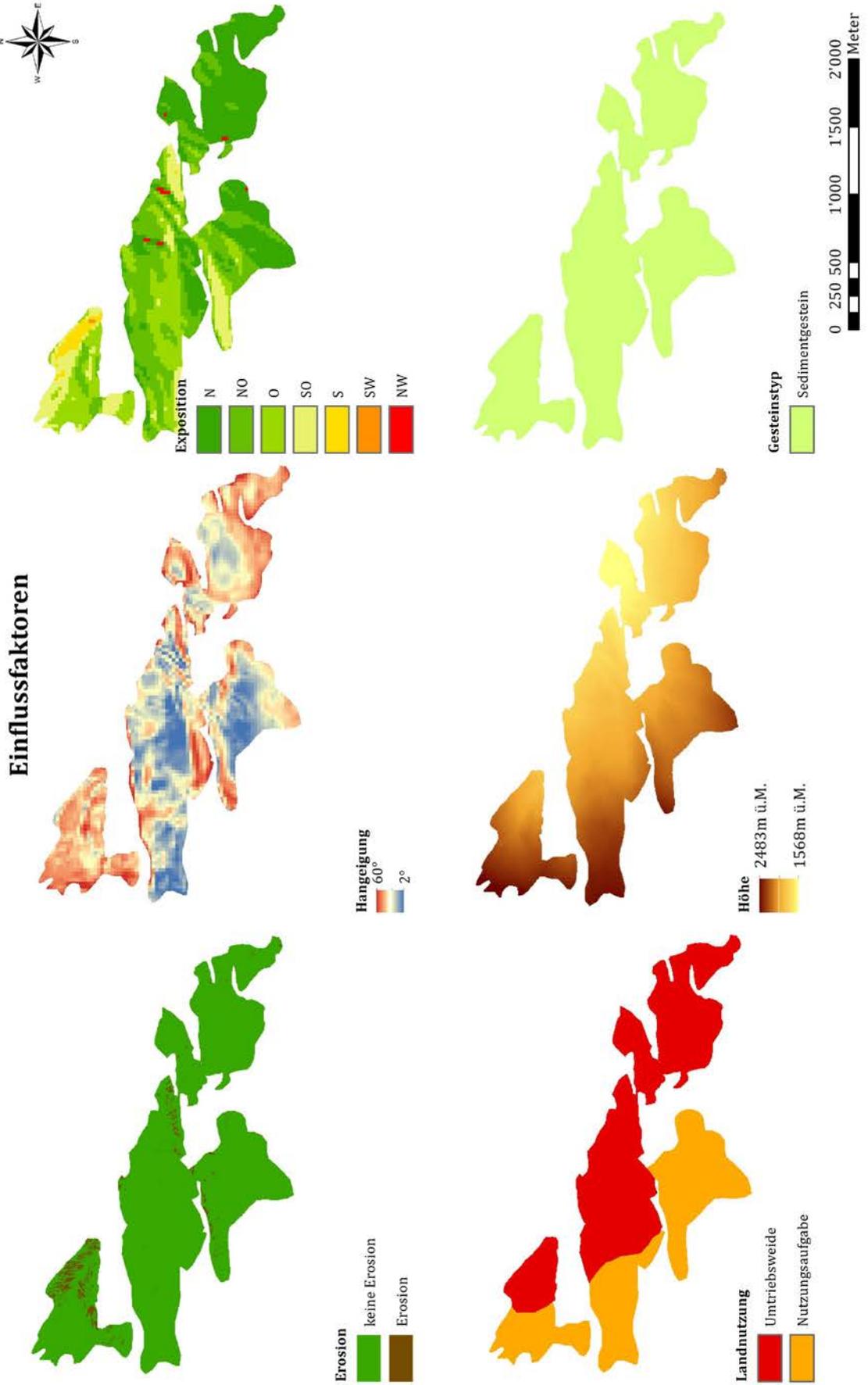


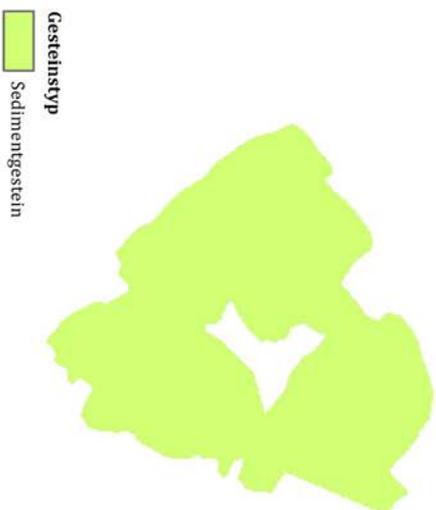
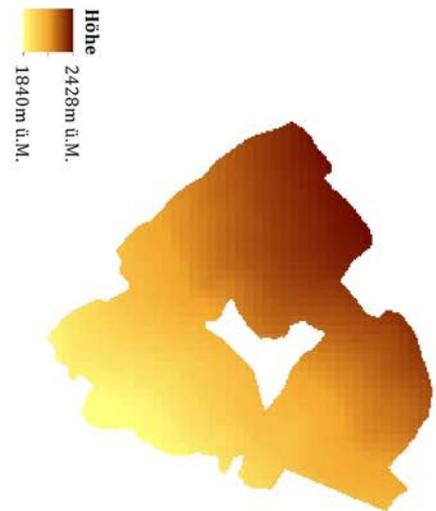
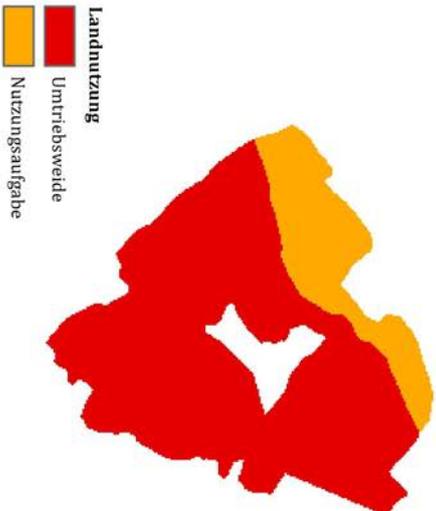
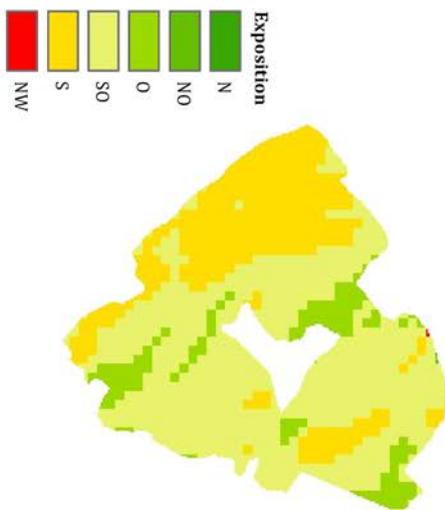
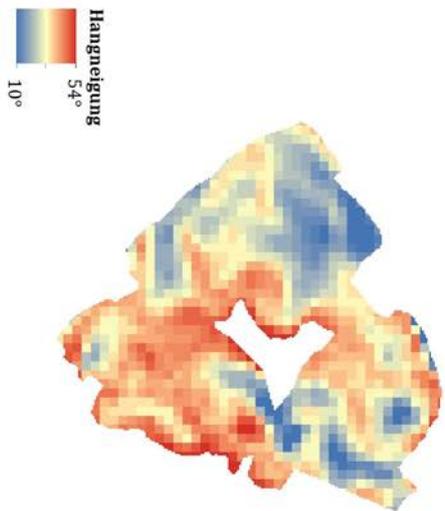
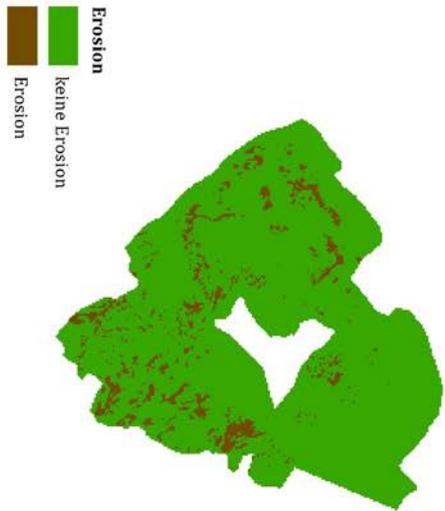
Abb.38: Räumliche Flächenverteilung der Erosion nach den stratigraphischen Einheiten.

Alp A



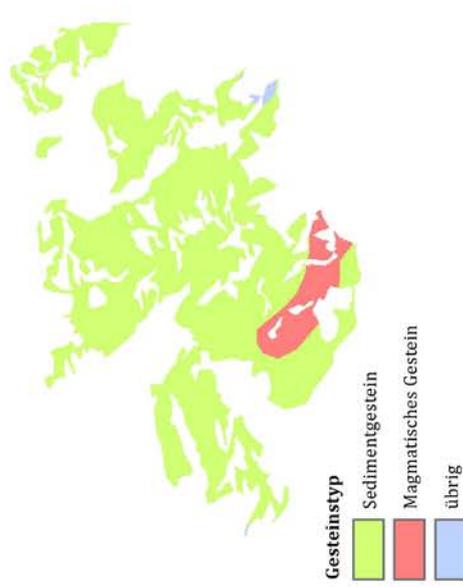
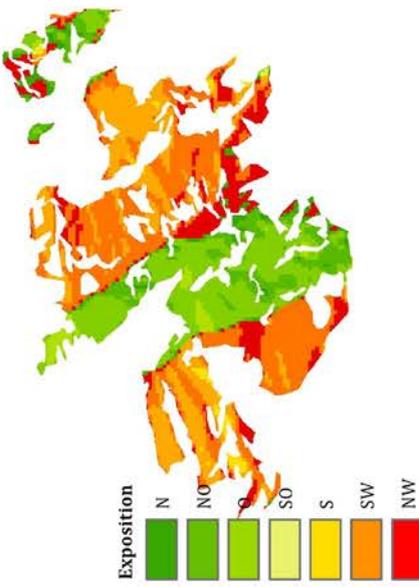
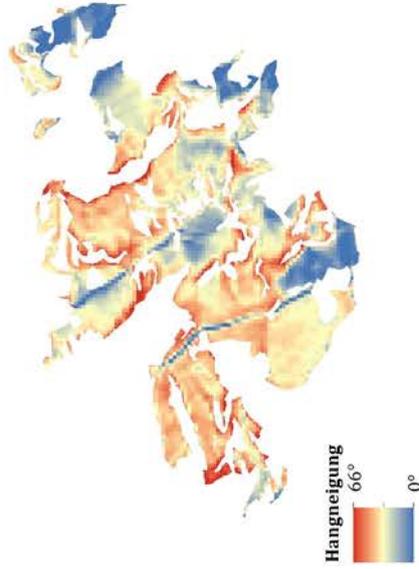
Alp B

Einflussfaktoren



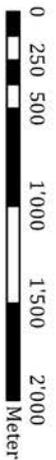
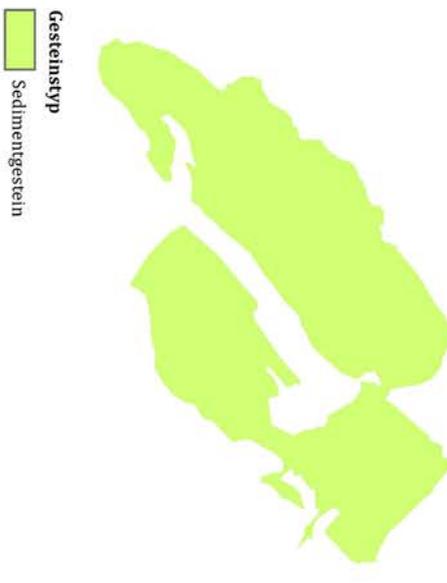
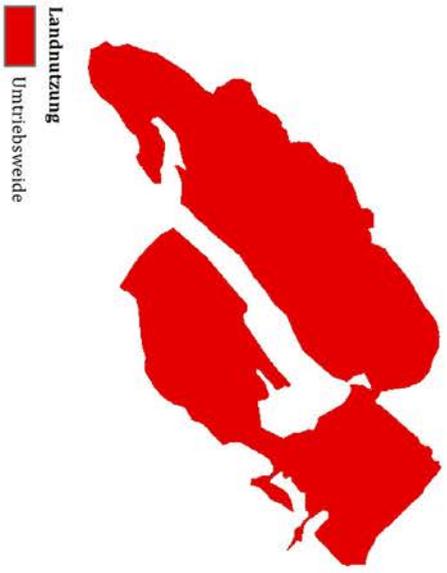
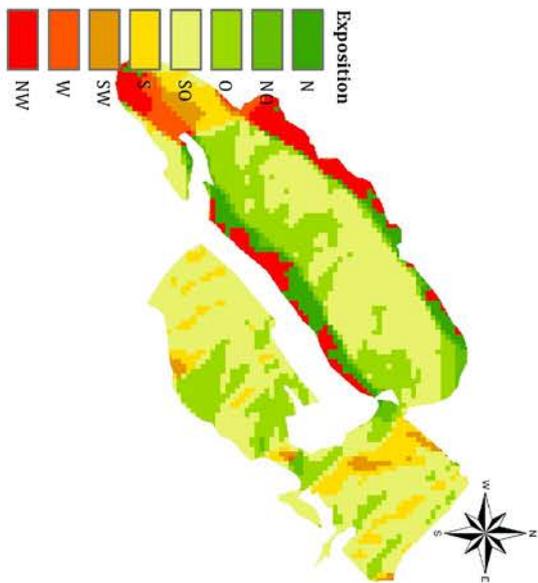
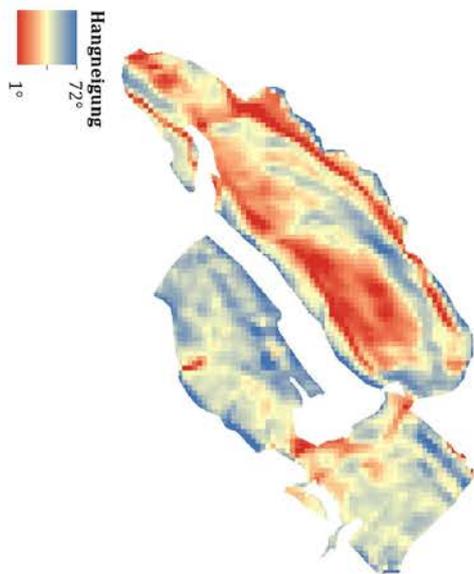
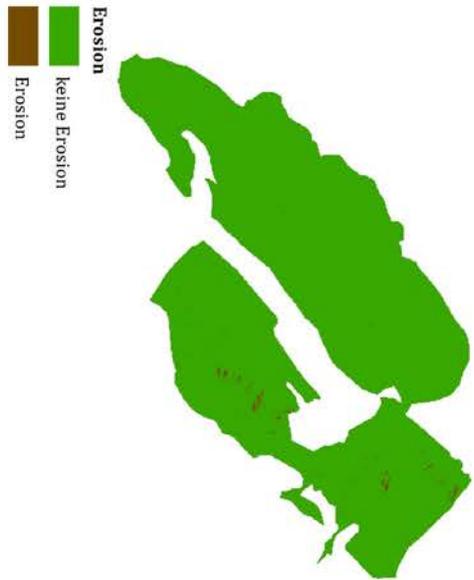
Alp C

Einflussfaktoren

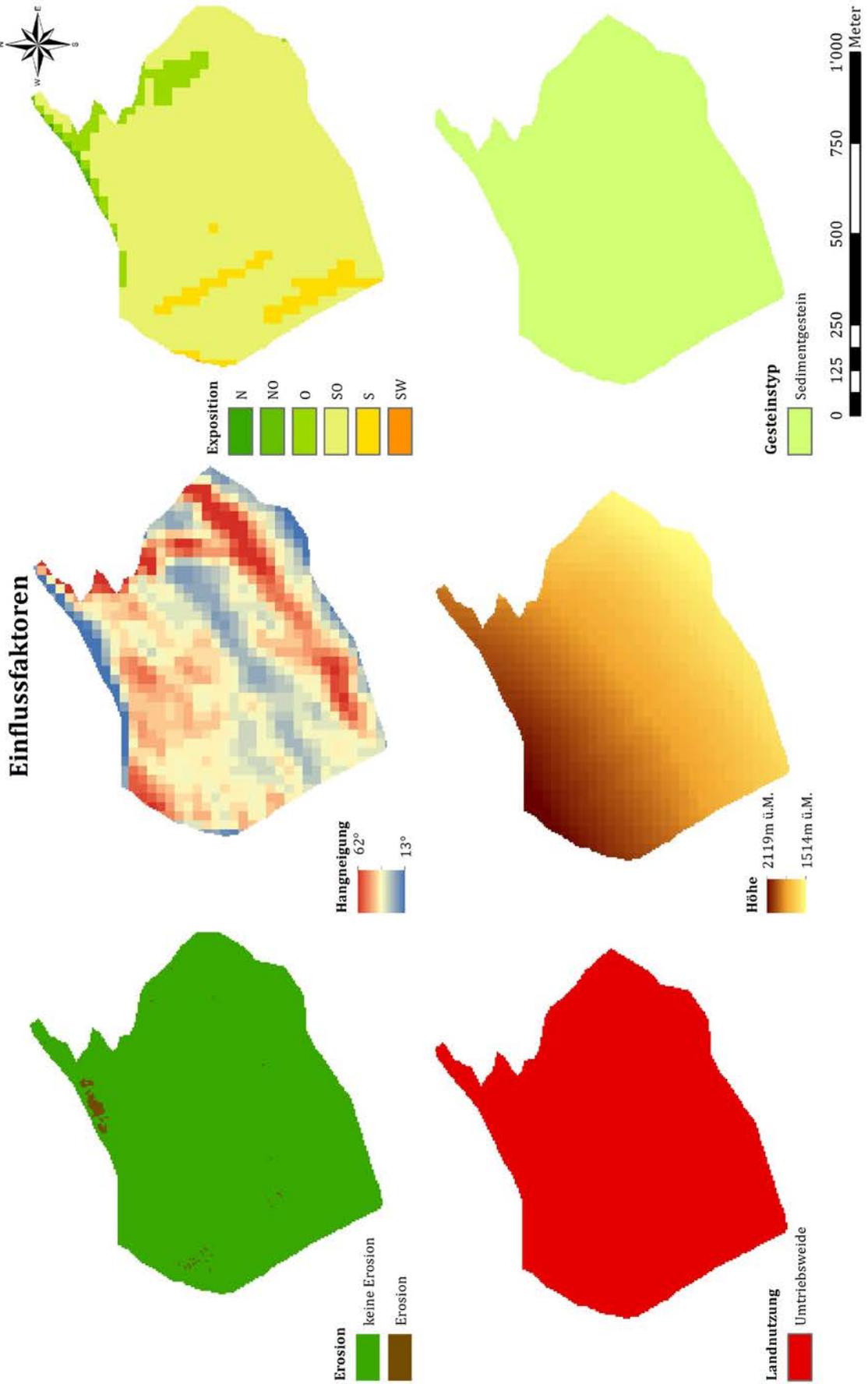


Alp D

Einflussfaktoren

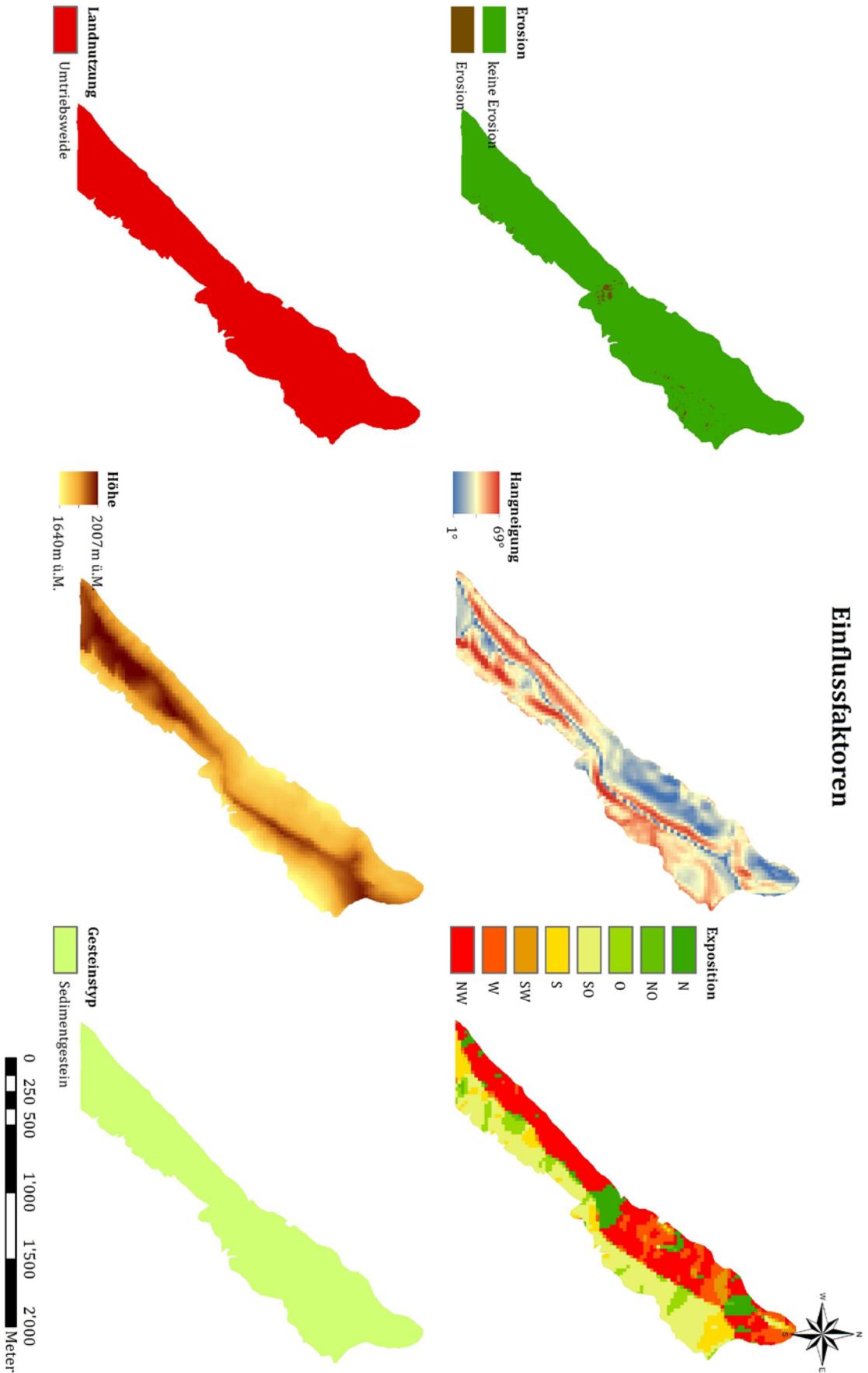


Alp E



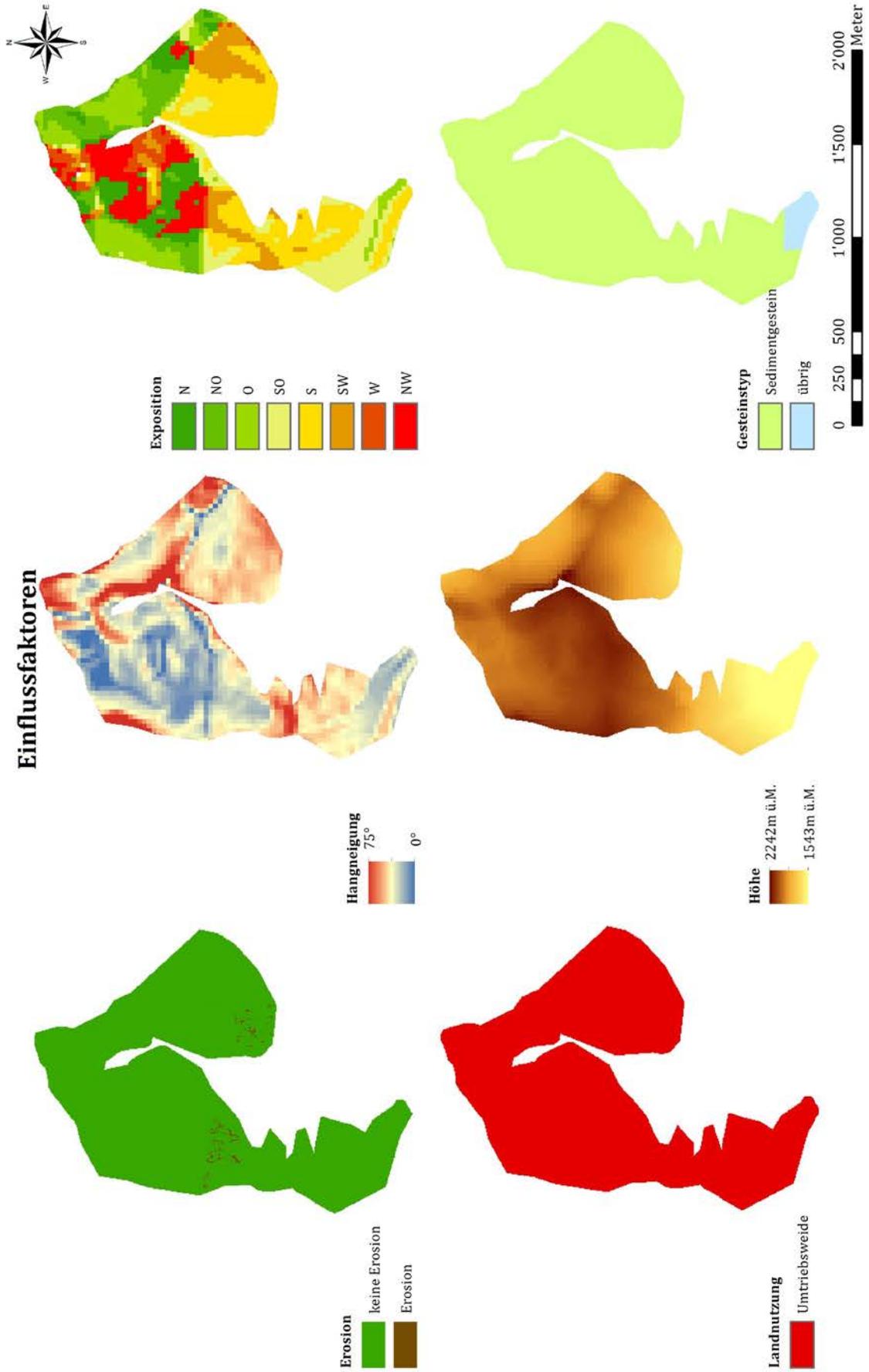
Alp F

Einflussfaktoren



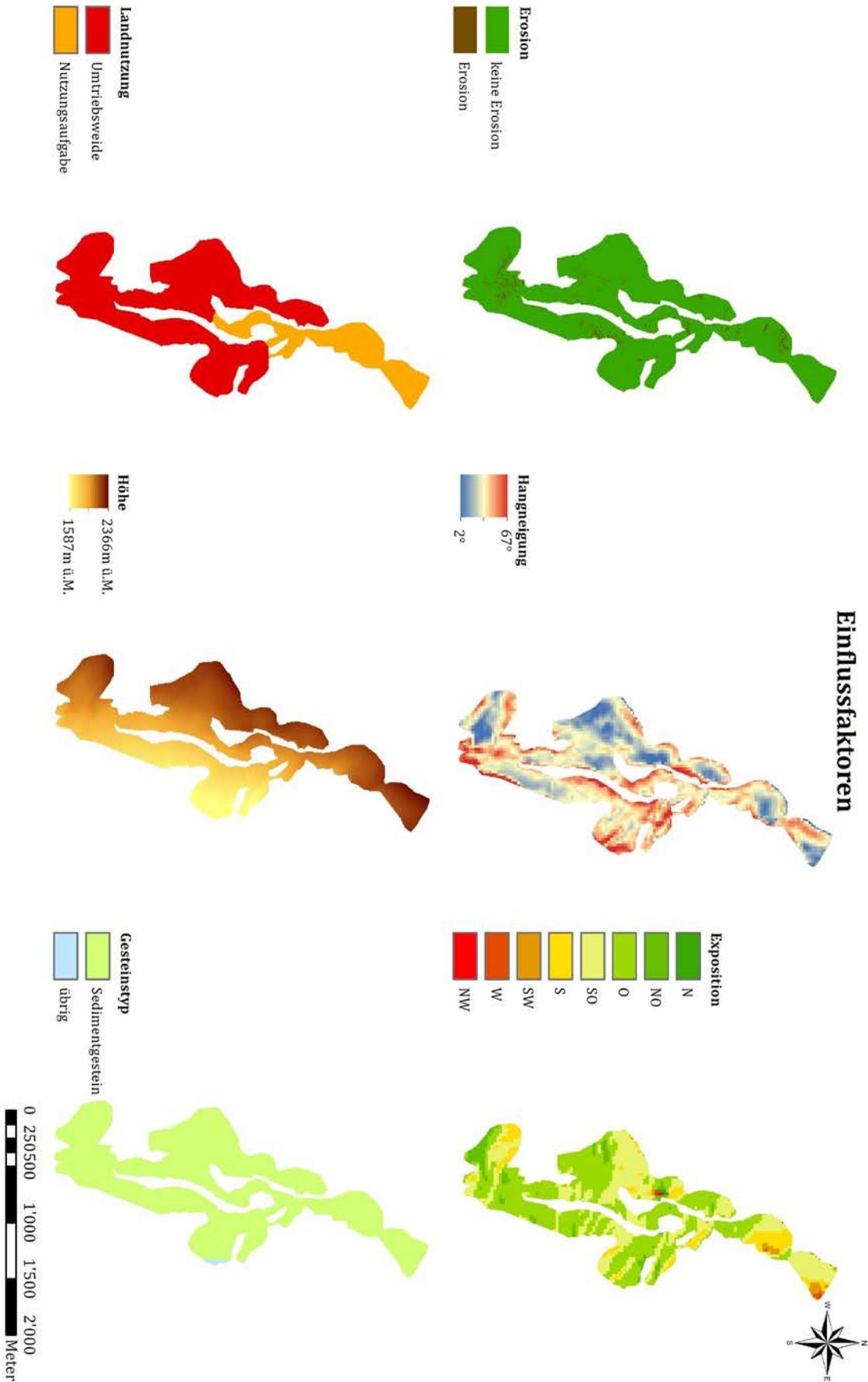
Alp G

Einflussfaktoren



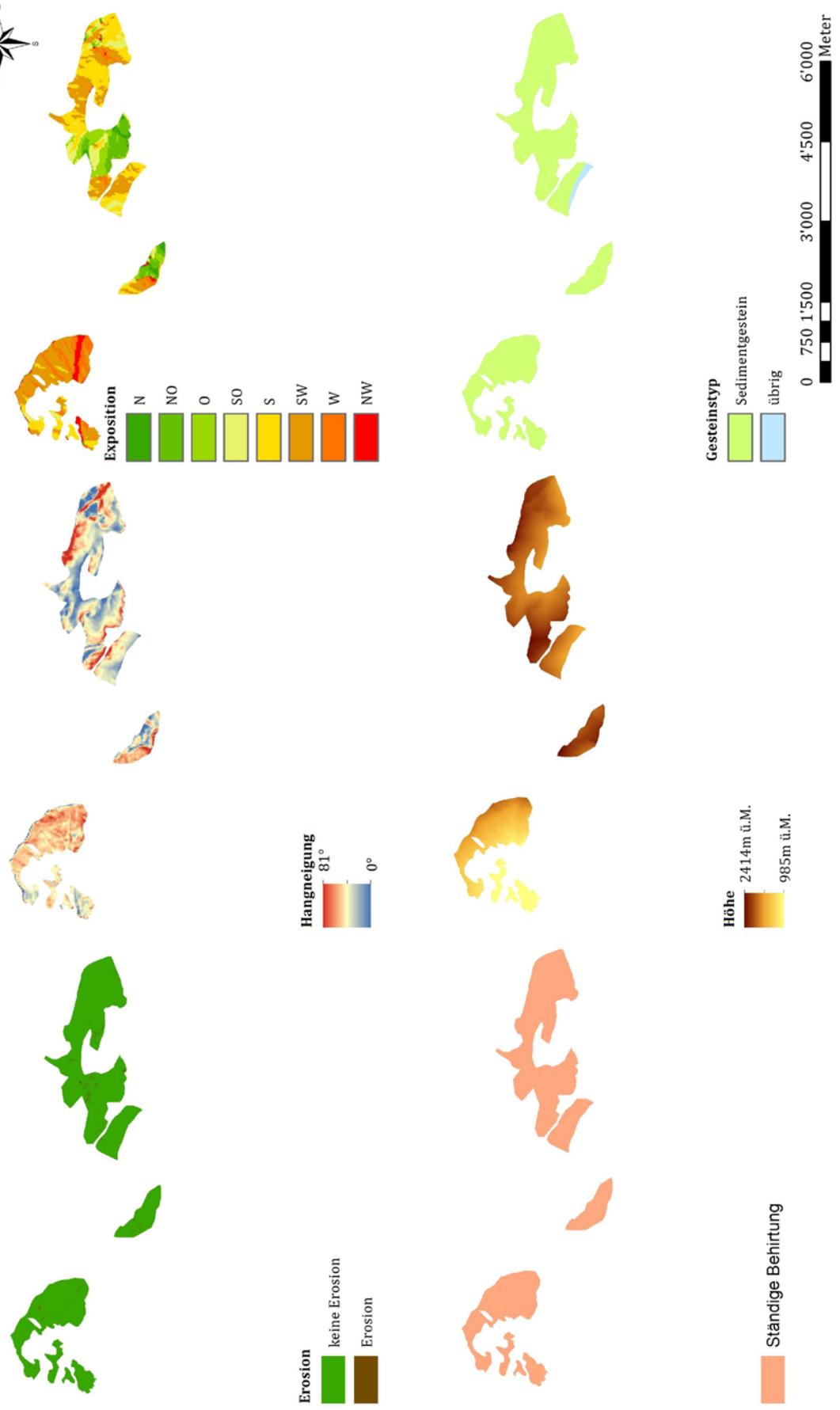
Alp H

Einflussfaktoren



Alp I

Einflussfaktoren



4.2.2. Zeitlich variierende Einflussfaktoren

Landnutzung

Mit Hilfe des Fragebogens (siehe Anhang) konnten Angaben zur Landnutzungsänderung und ihren Einfluss auf die Bodenerosionsentwicklung gewonnen werden. Die folgenden Informationen und Beobachtungen beziehen sich auf Aussagen vom Alpbewirtschafter oder vom -besitzer.

In der Vergangenheit wurden die Alpen oft mit Rindern bestossen, bevor sie zu reinen Schafalpen wurden. Vor der Weidesystemumstellung von 2000 wurden die Schafe in einer Standweide (freier Weidegang) gehalten. Aufgrund ihrer Vorliebe für die Kälte und das frische Gras war der Weidedruck auf den obersten Weideteilen sehr hoch, während die unteren Weidepartien kaum von den Schafen genutzt worden sind.

Nach dem Jahr 2000 haben die Alpbesitzer auf die Umtriebsweide (Koppelhaltung) gewechselt. Dort sollte der Weidedruck innerhalb der Weidegrenzen gleichmässig über den gesamten Alpsommer verteilt sein. Trotzdem kommt es ab und zu vor, dass die Schafe sich auch innerhalb einer Koppel präferenziell am oberen Zaunverlauf aufhalten. Nach Angaben der Älpler wurden die Normalstösse (Weidedruck, der auf Basis Anzahl Tiere und der Weidedauer berechnet wird) nach der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV) neu definiert und berechnet. Demzufolge, haben die Normalstösse auf den Alpen um durchschnittlich 9 Normalstösse (Ergebnisse aus Fragebögen) abgenommen. Bezüglich der Bodenerosion scheint die gleichmässige Weideführung hier und da ihre Früchte zu tragen: Schafwege sind stellenweise verschwunden und früher stark übernutzte Gebiete erholen sich langsam. Dennoch konnten die meisten Älpler noch keine grosse Änderung der Bodenerosionsausdehnung nach Umstellung in Umtriebsweide feststellen.

Auf den Weidepartien, die nach der Weidesystemumstellung aufgegebenen worden sind, hat die Erosion nach Meinung der Älpler tendenziell zugenommen. Aus deren Sicht könnte diese Entwicklung mit dem längeren Gras und der Schneebewegung zusammenhängen.

Niederschlag

Als erstes wurde der Verlauf der Starkniederschlagsereignisse (3-Tagessummen $\geq 100\text{mm}$) betrachtet. Zwischen 1950 und 2010 scheint deren Anzahl zuzunehmen (Abb.39). Für die Periode zwischen 1990 und 2000 gab es 1990, 1991, 1995 und 1999 viele Extremniederschläge. Nach den Weidesystemumstellungen waren in den Jahren 2002, 2004 und 2005 die Niederschläge sehr stark.

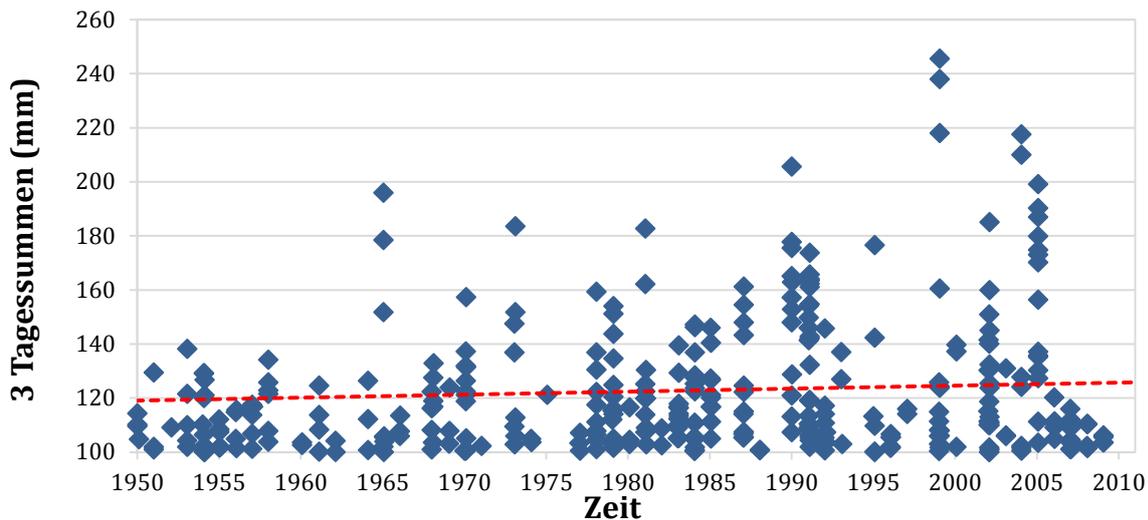


Abb.39: Zeitliche Entwicklung der Starkniederschlagsereignisse zwischen 1950 und 2010 an unterschiedlichen Wettermessstationen (Tab.8).

Als zweites wurden die Winterniederschläge (November bis März) an den Wettermessstationen nahe den Alpen genauer betrachtet. Diese weisen zwischen 1985 und 2011 eine abnehmende Tendenz auf (Abb.40).

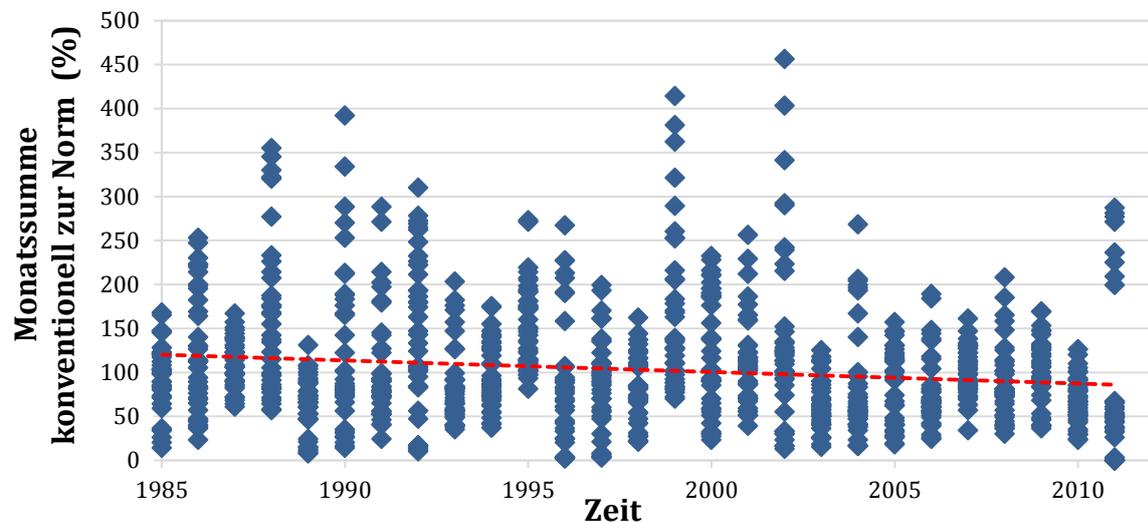


Abb.40: Zeitliche Entwicklung der monatlichen Winterniederschläge (November-März) zwischen 1985 und 2011 an unterschiedlichen Wettermessstationen (Tab.8).

Abschliessend wurde geprüft, ob eine Korrelation zwischen der Änderung in der Bodenerosionsausdehnung und der Niederschlagsentwicklung (Jahressumme, Anzahl Tage mit Niederschlagssumme $\geq 50, 70, 100$) für jede Alp mit der zugehörigen Messstation besteht. Es wurde keine Zusammenhänge zwischen Bodenerosionszunahme bzw. -abnahme mit der jeweiligen Niederschlagsentwicklung gefunden.

Im Fragebogen wurde zusätzlich nach besonderen Witterungsereignissen gefragt (siehe Anhang). Die Antworten haben sich meist auf Erinnerungen der nahen Vergangenheit bezogen. Extremniederschlagsereignisse haben sich im Sommer 2005, 2009 und 2011 ereignet, teilweise begleitet von Hagelschlägen. Immer wieder erwähnt wurde der Extremwinter 2011/2012, bei welchem auf nicht gefrorenem Boden grosse Schneemengen fielen und dadurch viele Bodenschäden entstanden sind.

4.2.3. Wirkungsstärke der Einflussfaktoren auf die Bodenerosionsverteilung

Um die Wirkungsstärke der Einflussgrössen (Alpen, Landnutzung, Gesteinstyp, Höhe, Exposition, Hangneigung) zu berechnen, wurde eine logistische Regression gerechnet.

Mit Hilfe des VIF (Variance Inflation Factor $\leq 1,7$) konnte eine Multikollinearität zwischen den Prädiktoren ausgeschlossen werden. Dementsprechend wurden alle sechs oben genannten unabhängigen Variablen in die binäre logistische Regression miteinbezogen. Für die kategorischen unabhängigen Variablen Landnutzung (Umtriebsweide, Nutzungsaufgabe, Ständige Behirtung), Gesteinstyp (Sedimentgestein, magmatisches Gestein, übrig) und die unterschiedlichen Alpen (A bis I) mussten sogenannte Referenzkategorien innerhalb jeder einzelnen Variablen definiert werden (Tab.21).

Tab.21: Referenzkategorien für die binäre logistische Regression.

Prädiktoren	Referenzkategorien
Landnutzung	Ständige Behirtung
Gesteinstyp	übrig
Alp	I

Aus den sechs ursprünglichen Ausgangsvariablen hat SPSS nur fünf Variablen in die Analyse miteinbezogen (Tab.22). Die Landnutzung wurde vom Modell nicht berücksichtigt. Die Resultate zeigen, dass die geographische Lage der Alpen das Risiko für Bodenerosion am stärksten beeinflusst. Die Alpen A und B sind im Vergleich zur Alp I erosionsanfälliger als die Alpen H, C, E, G und D. Bei der Alp F ist das Resultat nicht signifikant. Die zweite unabhängige Variable, die einen signifikanten Einfluss auf die Bodenerosionswahrscheinlichkeit hat, ist die Hangneigung: Je grösser das Gefälle, desto stärker ist die Eintrittswahrscheinlichkeit von Bodenabtrag. Die Prädiktoren Exposition, Gesteinstyp und Höhe wurden zum Schluss in das Modell integriert. Der Gesteinstyp hat dabei keinen signifikanten Einfluss auf die Bodenrutschungen. Mit der „Schrittweise Vorwärts“ Methode und den fünf Einflussfaktoren konnten 69.1% der Daten der Bodenerosion korrekt zugeordnet werden (Tab.23). Dabei konnte alleine der Parameter „Alp“ schon 67.9% der Verteilung erklären.

Tab.22: Regressionskoeffizient und Signifikanz der unterschiedlichen Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression.

Prädiktoren		Regressionskoeffizient B	df	Sig.
Exposition		-.002	1	.000
Höhe		.000	1	.024
Hangneigung		.036	1	.000
Gesteinstyp übrig		-	2	.000
Gesteinstyp	Sedimentgestein	20.100	1	.996
	Magmatisches Gestein	18.930	1	.996
Alp	I	-	8	.000
	A	1.087	1	.000
	B	2.087	1	.000
	C	.123	1	.012
	D	-.845	1	.000
	E	-.218	1	.034
	F	-.020	1	.750
	G	-.356	1	.000
	H	.891	1	.000
Konstante		-22.081	1	.996

Tab.23: Wahrscheinlichkeit (%) für die richtige Zuordnung der Bodenerosion (0: keine Erosion/1: Erosion) mittels der wichtigsten Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression.

	Beobachtet		Vorhergesagt		Richtig (%)
			Erosion		
			0	1	
Schritt 1 Alpen	Erosion	0	9983	3256	75.4
		1	4174	5705	57.7
	Gesamtprozentsatz				67.9
Schritt 2 Hangneigung	Erosion	0	10421	2818	78.7
		1	4268	5611	56.8
	Gesamtprozentsatz				69.3
Schritt 3 Exposition	Erosion	0	10399	2840	78.5
		1	4304	5575	56.4
	Gesamtprozentsatz				69.1
Schritt 4 Gesteinstyp	Erosion	0	10387	2852	78.5
		1	4268	5611	56.8
	Gesamtprozentsatz				69.2
Schritt 5 Höhe	Erosion	0	10364	2875	78.3
		1	4259	5620	56.9
	Gesamtprozentsatz				69.1

Da die geographische Lage einen sehr grossen Einfluss auf die Bodenerosionsanfälligkeit hat, wurde das Modell der binären logistischen Regression nochmals ohne diese Variable durchgeführt (Tab.24). Das Modell hat in der neuen Konstellation zuerst die Landnutzungsänderung als wichtigsten Einflussparameter des Bodenabtrags hervorgehoben. Innerhalb der verschiedenen Weidesysteme ist die Bodenerosionseintrittswahrscheinlichkeit auf der Referenzalp am höchsten, gefolgt von der Nutzungsaufgabe und der Umtriebsweide. Die Höhe wurde als zweiter Faktor integriert. Dabei steigt das Erosionsrisiko mit zunehmender Höhe. Anschliessend wurde die Hangneigung vom Modell berücksichtigt. Wie bereits erwähnt, nimmt die Bodenerosionseintrittswahrscheinlichkeit mit steigendem Gefälle zu. Zuletzt wurden die Exposition und der Gesteinstyp in der logistischen Regression integriert. Die Exposition ist ohne Unterteilung in Expositionsklassen schwierig zu interpretieren. Der Gesteinstyp ist auch in dieser Modellkonstellation nicht signifikant. Ohne Einbezug der geographischen Lage der Alpen hat das Modell 61.8% der Fälle der korrekten Bodenerosionszugehörigkeit zugeteilt (Tab.25).

Tab.24: Regressionskoeffizient und Signifikanz der unterschiedlichen Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression ohne Einbezug der geographischen Lage der Alpen.

Prädiktoren	Regressionskoeffizient B	df	Sig.
Exposition	-.003	1	.000
Höhe	.002	1	.000
Hangneigung	.036	1	.000
	Ständige Behirtung	2	.000
Landnutzung	Umtriebsweide	1	.000
	Nutzungsaufgabe	1	.000
	übrig	2	.000
Gesteinstyp	Sedimentgestein	1	.996
	Magmatisches Gestein	1	.996
Konstante	-24.693	1	.995

Tab.25: Wahrscheinlichkeit (%) für die richtige Zuordnung der Bodenerosion (0: keine Erosion/1: Erosion) mittels der wichtigsten Einflussfaktoren für das Modell der binären logistischen Regression ohne Einbezug der geographischen Lage der Alpen.

	Beobachtet	Vorhergesagt			Richtig (%)
			Erosion		
			0	1	
Schritt 1 Landnutzung	Erosion 0	12384	855	93.5	
	Erosion 1	8606	1273	12.9	
	Gesamtprozentsatz			59.1	
Schritt 2 Höhe	Erosion 0	10885	2354	82.2	
	Erosion 1	7460	2419	24.5	
	Gesamtprozentsatz			57.5	
Schritt 3 Hangneigung	Erosion 0	10363	2876	78.3	
	Erosion 1	6360	3519	35.6	
	Gesamtprozentsatz			60.0	
Schritt 4 Exposition	Erosion 0	10235	3004	77.3	
	Erosion 1	5921	3958	40.1	
	Gesamtprozentsatz			61.4	
Schritt 5 Gesteinstyp	Erosion 0	10135	3104	76.6	
	Erosion 1	5735	4144	41.9	
	Gesamtprozentsatz			61.8	

5. Diskussion der Ergebnisse

5.1. Vergleich der Methoden zur Bodenerosionsaufnahme

Fotos aus der Vergangenheit überliefern meist wertvolle Informationen, die mit den neuen Gegebenheiten verglichen werden können. Anhand von Fotodokumentationen werden häufig Änderungen im Bereich vom Städtewachstum, der Gletscher- oder Waldentwicklung veranschaulicht. Mit den Fotoaufnahmen kann man aber nur einen bestimmten Ausschnitt einer Landschaft aufnehmen. Wenn das Zielobjekt genug gross ist, ist es einfacher als wenn man relative kleine Änderungen erfassen will. Für unsere Studie wurden nur einzelne Nahaufnahmen mit Bodenerosionsflächen zur Verfügung gestellt (Abb.20). Dementsprechend wurde nur ein Bruchteil aller Bodenerosionsflächen der ganzen Alp durch die Fotoanalyse abgedeckt (Abb.41). Folglich sind die Ergebnisse der Fotoanalyse, welche eine Abnahme der Bodenerosionsflächen zwischen 2000 und 2010 für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide hervorgebracht haben, für die gesamte Alp als nicht repräsentativ einzustufen. Nichtsdestotrotz könnte die Weidesystemumstellung in Umtriebsweide kleinräumig durchaus einen positiven Einfluss auf die Bodenerosion haben. Die Fotos wurden nämlich vor der Weidesystemumstellung genau dort aufgenommen, wo man die Schafe als Bodenerosionsursache in der Standweide vermutete.

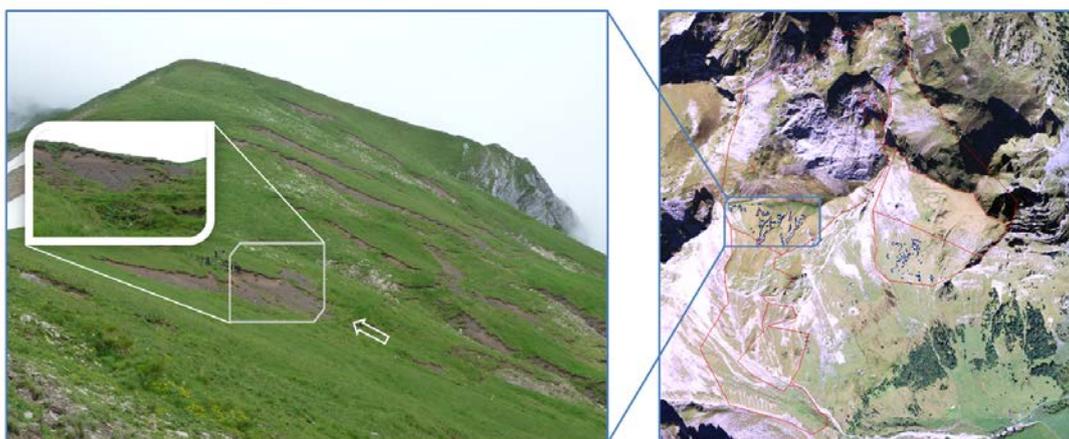


Abb.41: Methodenvergleich zwischen der Foto- und der Luftbildanalyse.

Im Vergleich zu den Fotos können anhand der Luftbilder alle Rutschungen einer Alp erfasst werden (Abb. 41). Infolgedessen sind die erlangten Resultate mit Hilfe dieser

Methode repräsentativer als die der Fotoanalyse. Diese Form der Datenerhebung hat aber auch Nachteile: Sie steht nicht jährlich zur Verfügung, ist kostenpflichtig und besitzt teilweise Störelemente wie Schnee oder Schatten, die eine Erosionsaufnahme verhindern.

Auf die Genauigkeit der Daten der jeweiligen Methode wurde bereits in den Abschnitten 3.2.1 und 3.3.1 eingegangen.

5.2. Bodenerosionsursachen

Die Diskussion über die Bodenerosionsursachen wird in dieser Arbeit in zwei Teile aufgeteilt. Als erstes geht es darum die Bodenerosionsverteilung anhand der topographischen und geologischen Standortfaktoren zu beurteilen, um anschliessend die Landnutzungsänderung und Niederschlagsdatenentwicklung als mögliche erklärende Variablen der Entwicklung der Bodenerosionsflächen auf den Umtriebsweiden und Nutzungsaufgaben zu bewerten. Schliesslich wird die Rolle der Schafbeweidung als Bodenerosionsursache diskutiert.

5.2.1. Bodenerosionsverteilung im Zusammenhang mit den Standortfaktoren

Die Standortfaktoren gehören zu den Einflussgrössen, die sich über die Zeit kaum verändern, aber trotzdem die Bodenerosionsverteilung massgebend beeinflussen können.

Die geographische Lage

Das Bodenerosionsrisiko wird durch die geographische Lage der Alpen beeinflusst (Tab.22). Die Eintrittswahrscheinlichkeit der Bodenerosion auf den verschiedenen Alpen ordnet sich nicht nach einem West-Ost Gradient an. Demnach kann eine Schweiz weite räumlich variierende Niederschlagsverteilung das unterschiedliche Bodenerosionsrisiko nicht begründen. Somit wurde keine Erklärung für die unterschiedliche Bodenerosionsanfälligkeit der verschiedenen Alpen gefunden.

Die Höhe

Auf der Abbildung 34 wurde bereits festgestellt, dass die Bodenerosion ab einer Höhe von 1800m ü.M. massiv zunimmt, obwohl sich der grösste Teil der Alpen zwischen 1500 und 2100m ü.M. verteilt. Eine zunehmende Bodenerosionsanfälligkeit mit steigender Höhe wurde ebenfalls von der Regressionsanalyse bestätigt (Tab.24). Die Ursache dieses Phänomens kann zum Teil durch den Niederschlagsgradienten, der in höheren Lage für eine grössere Wasser- und Schneeverorgung verantwortlich ist, verursacht sein (Wiegand & Geitner 2010, Tasser et al. 2001 & 2003). Diese zwei Medien sind für die Bildung von Translationsrutschungen oder Schneeschurf ausschlaggebend (1.2.2). Nach den Ergebnissen verschiedener Studien steigen die Schneegleitraten oberhalb 1900m ü.M. stark an (Newesely et al. 2000, Tasser et al. 2001 & 2003). Dies ist zum einen auf eine grössere Schneemächtigkeit in höheren Lagen zurückzuführen; ein

schweres Schneepaket ist der Schwerkraft stärker ausgesetzt als eine dünne Schneeschicht (In der Gand & Zupancic 1966, Stahr Hartmann 1999, Newesely et al. 2000, Leitinger et al. 2008). Zum anderen führt eine dickere Schneebedeckung zu einer grösseren Wasserzufuhr, die potentiell als Gleitmittel für Schneebewegung fungiert (In der Gand & Zupancic 1966, McClung & Clarke 1987, Höller 2001, Mitterer & Schweizer 2012). Weiter können periglaziale Prozesse (häufiges Gefrieren und Auftauen) wie Solifluktion, Frostverwitterung und Kammeisbildung in Gebiete über 2000m ü.M. die Bodenschicht destabilisieren oder die Verheilung von bestehenden Schäden verzögern (Bunza 1989, Stocker 2009). Schliesslich ist die Vegetation mit zunehmender Höhe aufgrund der abnehmenden Temperatur, des geringeren Luftdrucks und der längeren Schneebedeckung gegenüber Störungen empfindlicher (Ellenberg 1978 & 2010, Reisigl 1994, Veit 2002).

Die Hangneigung

Aus unseren Ergebnissen ging hervor, dass die Bodenerosionsaktivität (Abb.35) und die Bodenerosionseintrittswahrscheinlichkeit (Tab.24) mit zunehmendem Gefälle steigen. Die meisten Bodenerosionsflächen befinden sich zwischen 30° und 40°. Diese Resultate lassen sich mit denen anderer Studien vergleichen (Meusburger & Alewell 2008, Ringler 2009, Stahr & Hartmann 1999, Rickli et al. 2001, BAFU 2009, Tasser et al. 2001 & 2003). Bei einer starken Hangneigung kann die Schwerkraft (treibende Kraft) die Reibungskraft (innerhalb des Bodens, zwischen Boden und Ausgangsgestein oder zwischen der Kontaktzone Schnee und Boden) und die innere Kohäsion im Material (entgegenwirkende Kräfte) übertreffen (BAFU 2009). Wenn diese physikalische Gesetzmässigkeiten eintreffen, gerät entweder der Boden ins Rutschen oder der Schnee in Bewegung (Schneegleiten oder Lawine) (Stehrer 1988, Dommermuth & Stahr 1993, Newesely et al. 2000, Bischofsberger 1982). Die Hangneigung hat somit direkt über die Erhöhung der Schwerkraft als auch indirekt über die Erhöhung des Schneegleitens Einfluss auf die Entstehung von Bodenerosionsflächen.

Die Ergebnisse unserer Bodenerosionsuntersuchungen zeigten eine deutliche Bodenabtragsabnahme bei über 40° Gefälle, obwohl sich derartige steile Flächen stellenweise im Weideperimeter befinden (oft Felsklippen, Schuttflächen) (Abb.35). Nach eigenen Beobachtungen und nach Resultaten anderer Studien (Wiegand & Geitner 2010, Tasser et al. 2001) kann sich über der 40°-Marke weder Vegetation ansiedeln, noch Boden bilden und dementsprechend auch keine Bodenerosion entstehen.

Exposition

Die Verteilung der Bodenerosion nach Himmelsrichtung ergibt ein deutliches Bild: Rund 70% aller Bodenerosionsflächen sind auf SO-ausgerichteten Hängen vorzufinden. Dagegen sind S- und O-exponierte Bodenabtragsflächen mit je ca. 12% vertreten, während die restlichen Himmelsrichtungen kaum von Erosion betroffen sind. Diese SO Dominanz kann teilweise durch den grösseren Anteil dieser Exposition auf der gesamten Weidefläche erklärt werden (20%) (Abb.36). Zum anderen kann das Schneegleiten, das besonders auf S-exponierten Hänge aktiv ist, zu einem grösseren Teil diese einseitige Erosionsverteilung begründen. Auf Südlagen führt eine höhere Sonneneinstrahlung zu einem grösseren Schmelzwasserandrang, der wiederum die Gleitfähigkeit der Schneedecke steigert (Stehrer 1988, Newesely et al. 2000, Stahr & Hartmann 2009). Die Frage, warum unsere Bodenerosionsflächen sich stärker auf SO-Hänge konzentrieren als auf SW-Lagen, kann dennoch nicht rein mit dem Schneegleiten erklärt werden. Erhöhte Schneegleitraten sind nämlich auf SW-exponierten Flächen häufiger als auf SO-exponierten Hängen, weil sich diese Hänge aufgrund der Nachmittagssonne stärker aufwärmen können (Bernhaupt 1980, Newesely et al. 2000, Tasser et al. 2001). Die Studie von Tasser et al. (2003) weist ebenfalls ein erhöhtes Erosionsrisiko auf SO-Hängen auf. Diese begründet er teils durch erhöhte Schneegleitraten auf S-Hängen, andererseits mit „ungünstigeren klimatischen Bedingungen“, die auf SO-Hängen häufiger auftreten als auf SW-exponierten Flächen. Darunter versteht er vor allem feuchtere Bodenverhältnisse, die zum einen das Bodengewicht erhöhen und zum anderen den Scherwiderstand verringern, was sich gesamthaft in einer niedrigeren Bodenstabilität äussert. Diese Hypothese kann durch seine früheren Ergebnisse (Tasser et al. 2001) bekräftigt werden: Eine abnehmende Schneebedeckungsdauer von O nach SW dehnt die Wasserzufuhr auf SO-exponierten Hängen über einen längeren Zeitraum aus.

Geologie

Die Bodenerosion konzentriert sich auf dem am häufigsten vorkommenden Gesteinstyp, nämlich auf Sedimentgestein, das 98% der Alpflächen ausmacht (Abb.37). Dieses Resultat wird durch nicht signifikante Ergebnisse ($p > 0,05$) der Regressionsanalyse bestätigt (Tab.24).



Abb.42: Steinreiche Böden auf den untersuchten Alpen.

Aus Zeitgründen hat man die stratigraphischen Einheiten nicht in die Regressionsanalyse miteinbezogen. Das Resultat wäre höchstwahrscheinlich interessanter ausgefallen als die Ergebnisse der Gesteinstypanalyse. Nach der Abbildung 38 kann man vermuten, dass vor allem der Sardona Flysch, der Verrucano, Schichten aus der Unterkreide und des Trias erosionsanfällig sind. Der grosse Anteil an unkonsolidiertem Sedimentgestein und der hohe Bodenskelettgehalt, der teilweise bei den Feldbegehungen sehr auffallend war (Abb.42), kann die Bodenerosion fördern (Wiegand & Geitner 2010, Stahr & Hartmann 1999).

5.2.2. Bodenerosionsentwicklung

Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide

Nach der Weidesystemumstellung um 2000 von Standweide auf Umtriebsweide hat sich die Bodenerosion nur stellenweise erholt (4.1.1 & 4.1.3). Im Mittel hat der Bodenabtrag entgegen unseren Erwartungen aber eher zugenommen (4.1.2). Die Hypothese 1, dass bei der Weidesystemumstellung hin zu Umtriebsweide die Bodenerosion abnehmen sollte, wurde somit nicht bestätigt. Die Umtriebsweide ermöglicht eine gleichmässige Verteilung des Weidedrucks und steuert der Vorliebe der Schafe, sich den ganzen Sommer auf dem höchsten Punkt der Weide aufzuhalten, entgegen. Zudem wurden in den meisten Fällen nach dem Wechsel des Weidesystems die Anzahl Schafe bzw. die Normalstösse herabgesetzt (4.2.2 und Fragebögen). Es scheint unwahrscheinlich, dass die extensivere Landnutzung mit der Umtriebsweide für die Bodenerosionszunahme verantwortlich ist. Neben der Landnutzung können klimatische Faktoren wie z.B. Starkniederschlagsereignisse eine Bodenerosionszunahme verursachen (Rickli et al. 2001, Rickli & Bucher 2003, Meusburger & Alewell 2008). Aus unseren Untersuchungen (4.2.2) ist eine Starkniederschlagsabnahme und eine sinkende

Tendenz der Winterniederschläge zwischen 2000 und 2010 hervorgegangen. Ausserdem wurde kein Zusammenhang zwischen der Bodenerosionsentwicklung einer Alp und der Niederschlagsentwicklung der zugehörigen Wetterstation beobachtet. Die zwei Referenzalpen zeigen zwischen 2000 und 2010 ebenfalls eine starke Bodenerosionszunahme (4.1.2), die landnutzungsunabhängig ist. Deshalb ist trotz der Ergebnisse der Niederschlagsentwicklung, höchstwahrscheinlich die Witterung für die Bodenabtragszunahme verantwortlich. Aufgrund der Verteilung der Bodenerosion auf den für Schneeabtrag prädestinierten Flächen (5.2.1) kann man vermuten, dass diese einen Einfluss auf die beobachtete Bodenerosionsentwicklung hatten und die erwartete Verbesserung verdeckt haben (Abb.43). Solche Rutschungsschübe mit episodischem Charakter, welche im Zusammenhang mit Gleitschneewinter stehen, sind keine Seltenheit (Ringler 2009, Stahr & Hartmann 1999). Dabei spielt nicht nur eine Rolle, wie viel Schnee im Winter fällt, sondern auch, ob der Boden vor dem grossen Schneefall gefroren ist; die Schneegleitraten sind am höchsten, wo die Temperatur vor dem Schneefall über 0°C liegen (Höllner 2001, Stahr & Hartmann 1999). Das Wasser, das in der Kontaktzone zwischen Boden und Schnee notwendig ist, kann durch Regen, Schneeschmelze, Hangwasser (Quelle) oder durch die Wärme des Bodens, welche die darüber liegende Schneeschicht zum Schmelzen bringt, erbracht werden (Mitterer & Schweizer 2012). Der Winter 2011/12 ist ein gutes Beispiel bei welchem viele Rutschungen durch einen ungefrorenen Boden begünstigt worden sind (Mitterer & Schweizer 2012, Beobachtung der Älpler 4.2.2). Die Vermutung, dass vermehrte Schneeabträge in den letzten zehn Jahren Bodenerosion verursacht haben, kann durch weitere Ergebnisse bekräftigt werden. Zum einen hat die Bodenerosion über die Zeit in höheren Lagen deutlich zugenommen (Abb.34), obwohl der Weidedruck auf diesen Weideteilen deutlich abgenommen hat. Zum anderen sind viele neue kleine Bodenerosionsflächen sowohl auf den Umtriebsweiden, Nutzungsaufgaben und Referenzalpen entstanden (4.1.3), die aufgrund ihrer flachgründigen, langgezogenen und hangabwärts gerichteten Morphologie auf eine grössere Schneeabtragungsdynamik während dieser Periode hindeuten (1.2.2) (Abb.47) (Dommermuth & Stahr 1993, Stahr & Hartmann 1999, Schauer 1999, Stocker 2009, Zischg et al. 2011). Gegenätzlich dazu gibt die Grösse der Erosionsfläche keinen Hinweis über die Entstehungsursache: Sowohl regen- als auch schneeinduzierte Bodenerosionsformen können einige Quadratmeter bis hunderte von Quadratmetern gross sein (Tasser et al. 2003, Hellebart 2006, Stocker 2009, Wiegand & Geitner 2010).



Abb.43: Möglicher Einfluss der Schneebewegung auf den Boden (links: © Frank Techel, SLF).

Im Laufe der Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Referenzalpen natürlicherweise bodenerosionsanfälliger sind als die Umtriebsweiden (Tab.24). Sie liegen etwas höher (Abb.44) und besitzen mehr Steilhänge zwischen 30° und 40° (Abb.46). Mit ihrem sehr grossen Anteil an S-exponierten Hängen können sie zudem leichter durch Schneebewegungen beeinflusst werden als die heutigen Umtriebsweiden (Abb.45). Demzufolge könnte die stärkere Bodenerosionszunahme auf den Referenzalpen gegenüber den Umtriebsweiden nicht nur auf Witterungseinflüssen beruhen, sondern auch durch die unterschiedlichen Standortbedingungen verursacht worden sein.

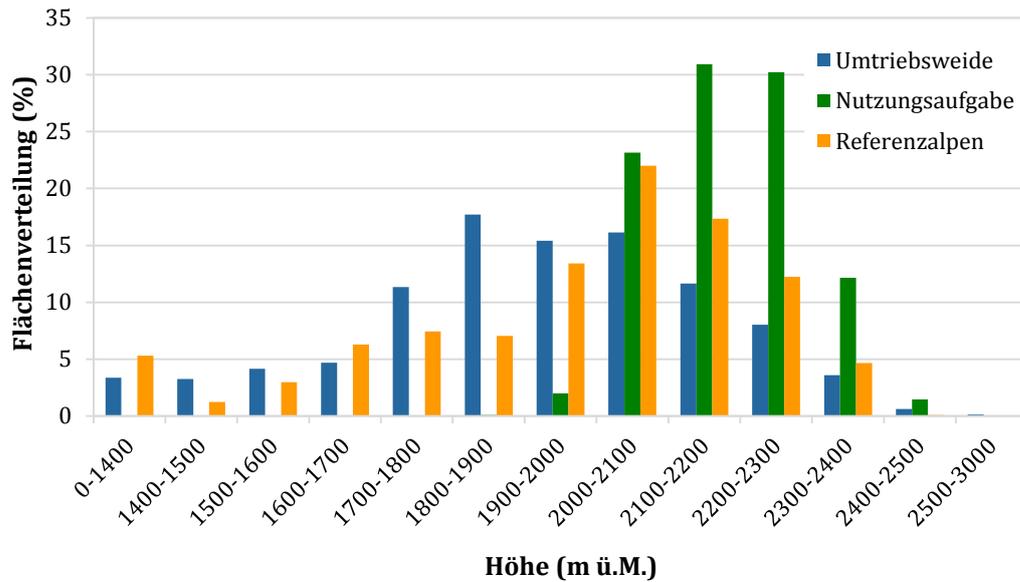


Abb.44: Flächenverteilung der Höhen auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.

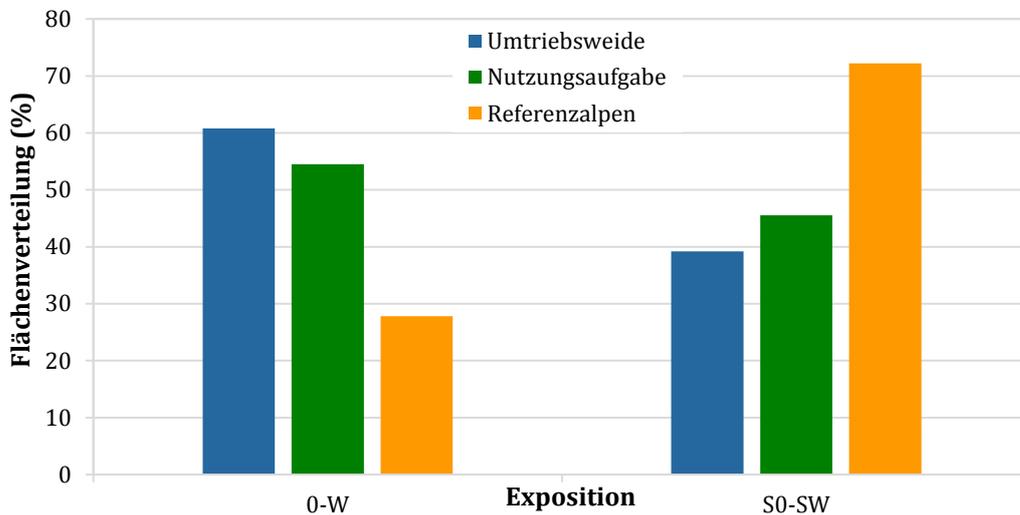


Abb.45: Flächenverteilung der Exposition auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.

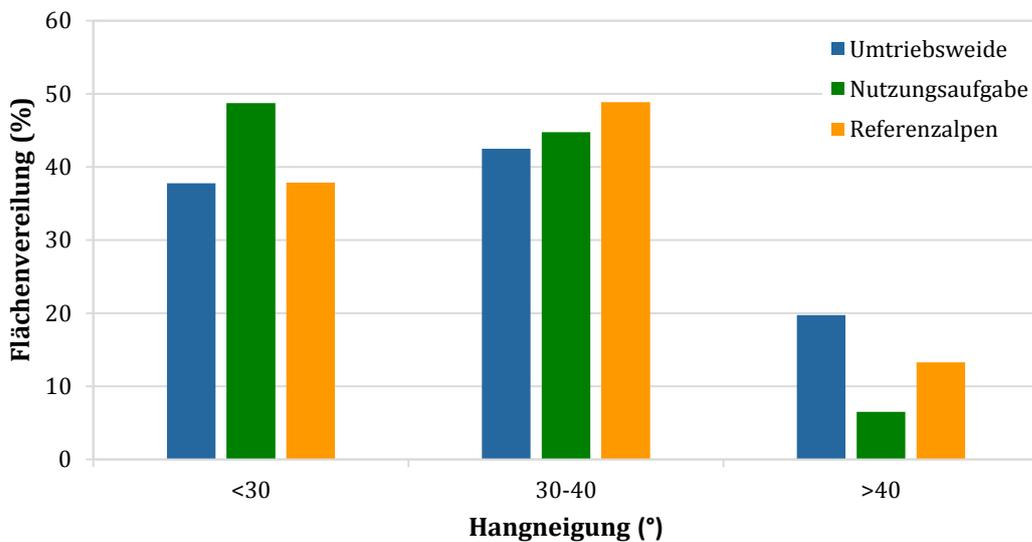


Abb.46: Flächenverteilung der Hangneigung auf den Alpen geordnet nach Weidesystemumstellung.

Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe

Der Grund, warum die Weideflächen aus der Bewirtschaftung ausgeschlossen wurden, waren die Richtlinien der Sömmerungsbeitragsverordnung (SöBV), welche die Alpfung auf stark übernutzten Weideflächen oder Weidepartien mit hoher natürlicher Bodenerosionsanfälligkeit verbieten (1.3.1). Demensprechend hat man erwartet, dass der Bodenabtrag nach der Aufgabe dieser Flächen abnehmen würde (Hypothese 2). Wie soeben für die Weidesystemumstellung in Umtriebsweide erklärt, ist auch in diesem Fall die Bodenerosionszunahme zwischen 2000 und 2010 höchstwahrscheinlich auf eine erhöhte Schneebewegungsaktivität zurückzuführen.

Während der Periode nach der Weidesystemumstellung hat die Bodenerosion auf den aufgegebenen Weidepartien noch stärker zugenommen als auf den Umtriebsweiden (Abb.21 & 22). Damit stellt sich die oft umstrittene Frage: Kann die Schafalpfung zur Landschaftspflege und -erhaltung beitragen? Auf den ersten Blick könnte man meinen, dass diese Frage mit „ja“ beantwortet werden kann. Im Sömmerungsgebiet hat sich die Nutzungsaufgabe in zahlreichen Studien als erosionsfördernd erwiesen. Nachdem Flächen nicht mehr bewirtschaftet werden, verändern sich die Pflanzengesellschaften nach dem natürlichen Verlauf der Sukzession. Oberhalb der Waldgrenze oder direkt nach der Weideaufgabe können sich teppichartige, langhalmige Grasmatten bilden, welche das Schneegleiten aufgrund der geringeren Bodenrauigkeit begünstigen (In der Gand & Zupancic 1966, Gayl 1980, Köstler & Krogoll 1991, Dommermuth & Stahr 1993, Stahr & Hartmann 1999, Newesely et al. 2000, Maag et al. 2001, Tasser et al. 2001 & 2003, Leitinger et al. 2008, Hellebart 2006, Wiegand & Geitner 2010, Zischg et al. 2011). Ist die Schneemächtigkeit genug gross und die Sukzession weiter fortgeschritten, können auch Hindernisse, wie Horst bildende Gräser, Steine, kleine starre Zwergsträucher oder Jungbäume ausgerissen werden, die wiederum den Bodenschurf und die Wasserinfiltration fördern (Stocker 2009, Maag et al. 2001, Dommermuth & Stahr 1993, Zischg et al. 2011, Tasser et al. 2001 & 2003, Stahr & Hartmann 1999). Die Schneebewegung wird nur dann von den starr-, hochwüchsigen Zwergsträuchern (Rhododendron, Alpenrose) und Jungbäumen gebremst, wenn die Schneesicht dünn ausfällt. Im Gegensatz zu den starren Zwergsträuchern liefern die leicht biegsamen Zwergsträucher (Heidekraut, Bärentraube, Grünerle) der Schneebewegung keinen Widerstand; sie wirken nur als Schutzschild zwischen der erosiven Kraft des Schnees und dem Boden, indem sie sich unter der Schneelast hangabwärtsgerichtet biegen

(Zischg et al.2011, Newesely et al. 2000, Tasser et al. 2001 & 2003). Werden Flächen unterhalb der Waldgrenze aus der Bewirtschaftung genommen, kann sich nach wenigen Jahrzehnten ein geschlossener Wald bilden, welcher die Schneebewegung total inhibiert (Tasser et al. 2001). Unsere Nutzungsaufgaben befinden sich deutlich oberhalb der Waldgrenze (>2000m ü.M.) (Abb.44). Dementsprechend konnten sich innerhalb der letzten zehn Jahren langhalmige Grasmatten mit vereinzelt Zwergsträuchern ausbreiten. Es könnte also tatsächlich sein, dass eine Weideaufgabe auf diesen Flächen einen veränderten Pflanzenwuchs und -bestand bewirkt hat, welche sich in der Bodenerosionszunahme im Zusammenhang mit einer erhöhten Schneegleitaktivität widerspiegelt. Das heisst aber nicht, dass die grössere Bodenerosionsdichte und stärkere Bodenerosionszunahme gegenüber der Umtriebsweide ausschliesslich (Abb.21, 23) auf die Landnutzungsart zurückzuführen ist. Die Nutzungsaufgaben sind im Vergleich zu den Umtriebsweiden natürlicherweise erosionsanfälliger (Tab.24); sie besitzen einen grösseren Anteil an Steilhängen zwischen 30° und 40° (Abb.46), befinden sich in höheren Lagen (Abb.44) und weisen einem grösseren Anteil an S-exponierten Lagen auf (Abb.45). Folglich verhindert die verschiedene standortbedingte Bodenerosionsanfälligkeit der untersuchten Bewirtschaftungstypen eine klare Aussage über den erosionsschützenden Effekt der Umtriebsweide.

5.2.3. Schafbeweidung als Bodenerosionsursache?

Die Frage, wie und ob die Schafe Bodenerosion auf den Alpen verursachen, wird in diesem Abschnitt anhand der Bodenabtragsverteilung aufgeklärt. Wie bereits in der Einleitung (1.2.1) erwähnt, können Kleinwiederkäuer Bodenerosion direkt durch eine punktuelle Übernutzung (Tritt, Frass) ihrer Lieblingsstandorte auslösen. An solchen Stellen kann der Boden entweder durch ein mangelndes bis fehlendes Wurzelnetz ins Rutschen kommen oder durch einen erhöhten Oberflächenabfluss abgetragen werden. Zudem ist es möglich, dass Schneegleiten bereits verletzte Bodenpartien durch seine Schurfwirkung vergrössert.

In den Abschnitt 5.2.1 und 5.2.2 wurde darauf hingewiesen, dass Schneegleiten als natürlicher Bodenerosionsverursacher höchstwahrscheinlich eine dominante Rolle auf unseren Alpen einnimmt (Abb.43). Dies kann durch die Morphologie der Erosionsmuster, die oft auf den Alpen gesichtet wurden, bestätigt werden (Abb.47).



Abb.47: Typische Bodenerosionsformen, die durch Schneebewegung entstehen können.

Zudem verteilt sich die Bodenerosion genau dort, wo Schneegleiten besonders aktiv ist und entweder den Oberboden abschält oder die Rissbildung fördert: Oberhalb 1800m ü.M, an S-exponierten Hängen und Hangneigungen über 30°. Wenn die Schafe die Hauptverursacher der Bodenrutschungen auf den Alpen wären, würde die Bodenerosionsverteilung nach Exposition (Abb.36) vielleicht anders aussehen. Schafe bevorzugen nämlich N-exponierte Lagen, die kälter sind und wo das Gras länger frisch bleibt (Wyl et al. 1985, Troxler & Chatelain 2006, Zischg et al. 2011). Die Schäden, die in höheren Lagen vorkommen (Abb.34) sind wahrscheinlich grösstenteils natürlich entstanden (5.2.1). Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass einen Teil der dort vorkommenden Bodenerosionsflächen durch Schafe verursacht worden sind oder sogar noch aus der früheren Standweidehaltung stammen (Abb.48). Nach eigenen Beobachtungen und der einzigen wissenschaftlichen Studie zur Bodenerosion auf Schafalpen in der Schweiz (Bischofsberger 1982) lösen Schafe meist nur „mikrotopographische Erosionsphänomene“ entlang von Wegen, an Ruheplätzen, Salz- oder Wasserstellen aus (Abb.48), während natürliche Prozesse wahrscheinlich einen grösseren Teil der Schadensflächen verursachen.



Abb.48: Übernutzung von Weiden durch Schafe (rechts: ©Roman Sutter).

6. Schlussfolgerung

Die erwartete Bodenerosionsabnahme nach den Weidesystemumstellungen in Umtriebsweide oder Nutzungsaufgabe ist während des kurzen Beobachtungszeitraums (2000-2010) höchstwahrscheinlich durch Einflüsse der Schneedynamik überlagert worden. Nur stellenweise und sehr kleinräumig hat sich die Bodenerosion auf den neu eingeführten Umtriebsweiden erholt (Fotos und Luftbilder). Die Bodenerosionsverteilung und die Alpbegehungen haben zudem gezeigt, dass die Schafe wahrscheinlich nur einen kleinen Teil der Rutschungen direkt verursacht haben, während natürliche Prozesse (Schneegleiten) und Standortbedingungen (Topographie) den Bodenabtrag in einem grösseren Ausmass beeinflussen. Sind Schäden einmal entstanden, können sie auch unabhängig von der Nutzung durch Witterungseinflüsse oder Klimaphänomene verstärkt werden.

Die kleinere Bodenerosionszunahme und -dichte der Umtriebsweiden gegenüber den aufgegebenen Flächen kann nicht eindeutig auf die vermutete pflegende Eigenschaft einer gut geführten Schafbeweidung zurückgeführt werden. Die Ursache für den Unterschied der Erosionsentwicklung und -dichte zwischen den zwei Weidesysteme liegt womöglich in der verschiedenen natürlichen Erosionsanfälligkeit; die Nutzungsaufgaben sind steiler, höher gelegen und von der Exposition stärker von Schneebewegung beeinflussbar als die Fläche mit Koppelhaltung. Dasselbe Problem bestand für den Vergleich zwischen den Referenzalpen und den zwei oben genannten Weidesystemumstellungen; die stärkere Bodenerosionszunahme auf den Referenzalpen zwischen 2000 und 2010 war ebenfalls auf ein höheres natürliches Rutschungsrisiko zurückzuführen. Aus diesen Erkenntnissen geht hervor, dass Vergleichsflächen mit identischen Ausgangsbedingungen für derartige Fragestellungen nur sehr schwierig aufzufinden sind. Werden die entsprechenden Referenzflächen mit grosser Mühe ermittelt, ist das noch keine Garantie für das Einverständnis des Grundbesitzers.

Anhand dieser Studie ergab sich noch kein abschliessendes Ergebnis zum besten Weidesystem zur Vermeidung von Bodenerosion. Deswegen werden folgende Empfehlungen für zukünftige Studien abgegeben:

- Der Methodenvergleich hat klar gezeigt, dass Luftbilder für die Aufnahme von Bodenerosion geeigneter sind als Fotos. Um die Bodenabtragsentwicklung besser über die Jahre zu verfolgen und um Fehlinterpretationen zu vermeiden, lohnt es sich, die Luftbilder in einem kurzen Zeitabstand zu analysieren. Hätte man in dieser Arbeit die Bodenerosion nur um 1990 und um 2010 aufgenommen, hätte sich eine Bodenerosionsabnahme herauskristallisiert (Abb.21, Tab.11).
- Um die Signifikanz der Daten zu erhöhen, müssten mehr Alpen in die Analyse miteinbezogen werden. Zur Vervollständigung der Daten sollte zudem das Weidesystem der ständigen Behirtung beachtet werden.
- Die kurze Zeitspanne nach der Weidesystemumstellung hat noch keine Bodenerosionsverbesserung hervorgebracht. Im Hochgebirge verhindert das extreme Klima, die Topographie und die winterlichen Schneebewegungen eine schnelle Regeneration der Pflanzendecke. Deshalb wäre es sinnvoll, diese Studie über einen längeren Zeitraum nach Weidesystemumstellung weiterzuverfolgen.
- Die Bodenerosionsentwicklung hängt prinzipiell von den zeitlichen Variablen Landnutzung und Witterung ab. Auf den Alpen kann die Bodenerosionsursache meist nur indirekt ermittelt werden, indem man diese zwei Einflussgrössen über die Zeit verfolgt. Könnte man die Schneebewegungsdynamik, welche auf den Alpen vermeintlich eine grosse Rolle spielt, zeitlich und räumlich modellieren, wäre die Bodenerosionsursache einfacher und direkter einzugliedern.
- Nicht beachtete Einflussfaktoren der Bodenerosion, wie Pflanzen- und Bodeneigenschaften, sollten die Analyse vervollständigen.
- Die Beobachtung von Benachbarten Standorten mit vergleichbaren Standortfaktoren, würde zu einer eindeutigeren Interpretation des Landnutzungseffektes führen.

Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Arbeit können folgende Ratschläge an die Praxis und an die Alpwirtschaft weitergegeben werden:

- Lawinenanrissabhängige oder Flächen mit einer höheren Schneegleitgefahr (S-exponierte Lagen, $>30^\circ$ Neigung, $>1800\text{m ü.M.}$) sollten wenn möglich nicht aus der

Bewirtschaftung ausgeschlossen werden, sofern keine massive Übernutzung durch Schafe (typische Lagerplätze mit nacktem Boden) nachgewiesen ist. Solche Lagen sollten dennoch keineswegs den Schafen den ganzen Sommer überlassen werden (Standweide), aber regelmässig und über eine kurze Zeitspanne beweidet werden (Umtriebsweide, Ständige Behirtung).

- Bei sehr langen Regenerationszeiten kann es empfehlenswert sein, technische Massnahmen, wie die Einrichtung einer Holzwollendecke (Breu 2013, Frey 2012), zu ergreifen. Dies auch deswegen, da Klima- und Winterprozesse einmal entstandene Schäden auch unabhängig von der Nutzung drastisch verstärken können.

Literaturverzeichnis

- Alewell, C., Meusburger, K., Brodbeck, M., Baenninger, D., 2008. Methods to describe and predict soil erosion in mountain regions. *Landscape und Urban Planning* 88, 46–53.
- Arbeitsgruppe “Nachhaltige Schafalpung”, 1999. Nachhaltige Schafalpung. Bern.
- Aubert, P., 2002. Rôle du mouton dans le cadre de la gestion du territoire et de l’environnement. Präsentiert an cours SRVA-ADCF, Le point sur la production du mouton, Fionnay.
- Backhaus, K., 2006. Multivariate Analysemethoden eine anwendungsorientierte Einführung, 11., überarb. Aufl. ed, Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin.
- BAFU, 2009. Naturgefahren - Rutschungen.
URL: <http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren/01917/index.html?lang=de> (Zugriff 6.21.12).
- Bernhaupt, P., 1980. Zum Problem der Bodenerosion im Almgebiet am Beispiel der Planneralm, Wölzer, Tauern, Steiermark, in: *Interpraevent*. Salzburg, S. 291–308.
- Bischofberger, P., 1982. Schafbeweidung und Hangabtragung auf Alpweiden: am Beispiel der Bourgoalp suedlich von Gruyère (FR). Diplomarbeit Universität Freiburg.
- Blankenhorn, H.-J., 1999. Schafe brauchen Hirten - auch zum Schutz der Alpen. *BUWAL Bulletin* 3.
- Breu, M., 2013. Mit Vlies und Matten gegen die Erosion. *Basler Zeitung* 20.1.2013, Teil Wissen S.20.
- Bundesamt für Wasser und Geologie, 2000. Geologische Karte der Schweiz 1:500'000 (provisorische GIS-Beta-Version).
- Bunza, G., 1984. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen, in: *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*. Bern.
- Bunza, G., 1989. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in der Alpinen Grasheide der Hohen Tauern an der Grossglockner- Hochalpenstrasse, Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Innsbruck.
- Caputa, J., Scehovic, J., 1974. Moutons sur le pâturage. *Revue suisse d’agriculture* 6, 37–41.
- Chatelain, C., Troxler, J., 2005. Gardiennage permanent des moutons à haute altitude. Analyse de cinq alpages et recommandations de gestion. *Revue suisse d’agriculture* 37, 151–160.
- Dietl, W., 2001. Weide und Futterbau. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz.
URL: http://www.smg-milchschafe.ch/files/Dokumente/fuett_Ref_Dietl.pdf (Zugriff 21.6.2012).
- Dommermuth, C., Stahr, A., 1993. Erosion im Hochgebirge und der strukturelle Wandel der Almwirtschaft. *Spektrum der Wissenschaft* 93, 16–18.
- Ellenberg, H., 1978. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*, 2., völlig neu bearb. Aufl. ed. Ulmer, Stuttgart.
- Ellenberg, H., 2010. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*, 6., vollst. neu bearb. und stark erw. Aufl. Ed, UTB. Ulmer, Stuttgart.

- Evin, M., 2005. Les effets du surpâturage dans les Alpes du Sud. *La voie du loup* 22, 14–17.
- Frey, H., 2012. Werkstoff Holzwole. Lindner Suisse GmbH.
URL: http://www.lignum.ch/uploads/media/Werkstoff_Holzwole.PDF (Zugriff 7.3.2013).
- Fromm, S., 2005. Binäre logistische Regression.
URL: http://www.unibamberg.de/fileadmin/uni/fakultaeten/sowi_lehrstuehle/empirische_sozialforschung/pdf/bambergerbeitraege/Log-Reg-BBES.pdf (Zugriff 1.16.13).
- Garcia-Gonzàles, R., 2008. Management of Natura 2000 habitats. 6170 Alpine and subalpine calcareous grasslands.
- Gayl, A., 1980. Schafe als Landschaftspfleger? Präsentiert an Interpraevent, Villach/Österreich, S. 373–377.
- Heitzmann, P., 2004. Geologische Karten der Schweiz - analog und digital.
URL: http://www.kartenportal.ch/Sammlungen_PDF/bern_heitzmann.pdf (Zugriff 1.15.13).
- Hellebart, S., 2006. Almwirtschaft und Schutzfunktion. Klagenfurt.
- Höller, P., 2001. Snow gliding and avalanches in a south-facing larch stand, in: Dolman, A.J., Hall, A.J., Kavvas, M.L., Oki, T., Pomeroy, J.W. (Eds.), *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models*. Int. Assoc. Hydrological Sciences, Wallingford, S. 355–358.
- Huber, J.A., 1951. Alpenflora und Schafweide im Allgäu. Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere, München.
- In der Gand, H.R., Zupancic, M., 1966. Snow gliding and avalanches. *Int. Assoc. Hydrological Sciences*, Davos, S. 230–242.
- Jacobsen, N.K., 1987. Studies on soils and potential for soil erosion in the sheep farming area of South Greenland. *Arctic and Alpine Research* 19, 498–507.
- Karl, J., 1977. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf brachliegende und extensiv genutzten Flächen, in: *Brache und Wasserhaushalt*, 34. Lahn-Giessen, S. 108–122.
- Konz, N., Baenninger, D., Konz, M., Nearing, M., Alewell, C., 2010. Process identification of soil erosion in steep mountain regions. *Hydrological Earth System Science* 14, 675–686.
- Köstler, E., Krogoll, B., 1991. Auswirkungen von anthropogenen Nutzungen im Bergland zum Einfluss der Schafbeweidung (Literaturauswertung), *Berichte der Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege*. Beiheft. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen (Salzach).
- Labhart, T.P., 2009. *Geologie der Schweiz*, 8. Aufl. ed. Ott, Bern.
- Landwirtschaftlicher Informationsdienst, 1999. Schafe sollen nur noch nachhaltig gealpt werden - also nicht überall.
URL: <http://www.lid.ch/de/medien/mediendienst/artikel/infoarticle/8468/> (Zugriff 2.26.13).
- Lauber, S., Herzog, F., Seidl, I., 2011. AlpFUTUR. Zukunft der Sömmerungsweiden in der Schweiz.
URL: <http://www.alpfutur.ch/src/dossier.pdf> (Zugriff 7.3.2013)
- Leitinger, G., Hoeller, P., Tasser, E., Walde, J., Tappeiner, U., 2008. Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling* 211, 363–374.

- Liebig, W., 2008. ArcGIS - ArcView 9, 2., aktual. Aufl. ed. Points Verlag, Norden.
- Maag, S., Nösberger, J., Lüscher, A., 2001. Mögliche Folgen einer Bewirtschaftungsaufgabe von Wiesen und Weiden im Berggebiet. PRIMALP, Zürich.
- McClung, D.M., Clarke, G.K.C., 1987. The effects of free water on snow gliding. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 92, 6301–6309.
- Meteoschweiz, 2005. Klimadiagramme und -normwerte an Stationen.
URL:http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/klimadiagramme.html 1 (Zugriff 1.22.13).
- Meteoschweiz, 2011. Klimakarten Schweiz 1961-1990.
URL:http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/klima_schweiz/Klimakarten_schweiz_1961-90.html (Zugriff 1.21.13).
- Meusburger, K., Alewell, C., 2008. Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Natural Hazards Earth System Science* 8, 509–520.
- Mitterer, C., Schweizer, J., 2012. Towards a better understanding of glide-snow avalanche Formation. Präsentiert an International snow science workshop, Anchorage.
- Möbus, G., 1997. Geologie der Alpen eine Einführung in die regional-geologischen Einheiten zwischen Genf und Wien. Verlag Sven von Loga, Köln.
- Newesely, C., Tasser, E., Spadinger, P., Cernusca, A., 2000. Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology* 1, 61–67.
- Pfiffner, O.A., 2010. Geologie der Alpen, 2., korrigierte Auflage. ed, UTB. Haupt Verlag, Bern.
- Reisigl, H., 1994. Alpenpflanzen im Lebensraum alpine Rasen, Schutt- und Felsvegetationen vegetationsökologische Informationen für Studien, Exkursionen und Wanderungen, 2., bearb. Aufl. ed. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Rickli, C., Bucher, H., 2003. Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.2002 im Napfgebiet und vom 31.8-1.9.2002 im Gebiet Appenzell.
- Rickli, C., Zimmerli, P., Böll, A., 2001. Effects of vegetation on shallow landslides: an analysis of the events of august 1997 in Sachseln, Switzerland. *Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf*.
- Ringler, A., 2009. Almen und Alpen Höhenkulturlandschaft der Alpen Ökologie, Nutzung, Perspektiven. Verein zum Schutz der Bergwelt, München.
- Robertson, F.A., Scott, J.T., 2009. Environmental effects of sheep farming, in: McDowell, R.W. (Ed.), *Environmental impacts of pasture-based farming*. CABI, S.144–186.
- Schauer, T., 1999. Beispiele von Erosionsprozessen in Zusammenhang mit den Standortfaktoren und Vegetation im bayerischen Alpenraum. *Relief Boden Paläoklima* 14, 117–128.
- Schauer, T., 2000. Der Einfluss der Schafbeweidung auf das Abfluss- und Abtragsgeschehen. Präsentiert an Interpraevent, Villach/Österreich, S. 65–74.
- SöBV, 2007. Sömmerungsbeitragsverordnung, SR 910.133.
URL: <http://www.admin.ch/ch/d/sr/9/910.133.de.pdf> (Zugriff 6.07.2012)

- Stadler, F., 2003. Sömmerung von Schafen im Fürstentum Liechtenstein. Ökologische Grundlagen. Amt für Wald, Natur und Landschaft, Landwirtschaftsamt, Fürstentum Liechtenstein.
- Stahr, A.R., Hartmann, T., 1999. Landschaftsformen und Landschaftselemente Im Hochgebirge. Springer DE.
- Stehrer, J., 1988. Quantitative Untersuchungen zur sozioökonomisch gesteuerten Denudation in der östlichen Osterhorngruppe (Salzburg). Präsentiert an Interpraevent, Graz, S. 49–61.
- Stocker, E., 2009. Geomorphic responses to landuse changes on steep slopes in timberline environment; Central Alps, Austria. Rom. Journ. Geogr. 53, 91–106.
- Sutter, R., 2007. Erosion im Alpengebiet. Agricultura Ingenieurbüro, Appenzell.
- Sutter, R., Keller, L., 2009. Bodenerosion im Sömmerungsgebiet erkennen, vermeiden, beheben (Merkblatt). AGRIDEA, Lindau.
- Swisstopo, 2001. DHM 25. Digitales Höhenmodell der Schweiz 1:25'000.
- Swisstopo, 2005. swisstopo: DHM25.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height/dhm25.parsysrelated1.41325.downloadList.66735.DownloadFile.tmp/dhm25infode.pdf> (Zugriff 1.14.13).
- Swisstopo, 2007a. VECTOR25, Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz.
URL:www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.43533.DownloadFile.tmp/vector25infode.pdf (Zugriff 1.22.13).
- Swisstopo, 2007b. Reliefkarte Alpen 1:1Million.
- Swisstopo, 2007c. Vector25.
- Swisstopo, 2010a. SWISSIMAGE. Das digitale Farbornthophotomosaik der Schweiz.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images/ortho/swissimage.parsysrelated1.76752.downloadList.50684.DownloadFile.tmp/infos201003deu.pdf> (Zugriff 1.8.13).
- Swisstopo, 2010b. Schweizerische Kartenprojektionen.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/topics/survey/sys/refsys/projections.html> (Zugriff 1.10.13).
- Swisstopo, 2010c. Luftbilder.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images/aerial.html> (Zugriff 1.8.13).
- Swisstopo, 2012a. VECTOR25.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25.html> (Zugriff 1.22.13).
- Swisstopo, 2012b. Bilder.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images.html> (Zugriff 1.8.13).
- Swisstopo, 2012c. SWISSIMAGE.
URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images/ortho/swissimage.html> (Zugriff 1.8.13).

- Swisstopo, 2012d. Digitale Luftbilder.
 URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images/aerial/digital.html> (Zugriff 1.8.13).
- Swisstopo, 2012e. Orthobilder.
 URL:<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/images/ortho.html> (Zugriff 1.8.13).
- Tasser, E., Mader, M., Tappeiner, U., 2003. Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. *Basic and Applied Ecology* 4, 271–280.
- Tasser, E., Tappeiner, U., Cernusca, A., 2001. Südtirols Almen im Wandel : ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen. Europäische Akademie, Bozen.
- Troxler, J., 2007. Schonende Graslandnutzung im Berggebiet mit minimaler Bodenerosion. Präsentiert an Bodenerosion in den Alpen, Andermatt.
- Troxler, J., Chatelain, C., 2005. Möglichkeiten und Grenzen der Umtriebsweide für Schafe auf Hochalpen. *Forum Kleinwiederkäuer* 8, 6–12.
- Troxler, J., Chatelain, C., 2006. Pâturage tournante avec des moutons à haute altitude. Trois années d’observations sur deux alpages en Valais. *Revue suisse d’agriculture* 38, 53–61.
- Universität Zürich, 2010. Methodenberatung. Datenanalyse. Zentrale Tendenz.
 URL:<http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/unterschiede/zentral.html> (Zugriff 1.14.13).
- Van Vuren, D., Coblenz, B.E., 1987. Some ecological effects of feral sheep on Santa Cruz island, California, USA. *Biological Conservation* 41, 253–268.
- Veit, H., 2002. Die Alpen Geoökologie und Landschaftsentwicklung, UTB. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Wiegand, C., Geitner, C., 2010. Shallow erosion in grassland areas in the Alps, in: Borsdorf, A., Institut, für G.M. und U. (Eds.), *Challenges for Mountain Regions - Tackling Complexity*. Böhlau, Wien, S. 76–83.
- Wyl, A. von, 1985. L’exploitation ovine en altitude, Schlussbericht zum schweizerischen MAB-Programm. Bern.
- Zischg, A., Flury, C., Costa, R., Huber, B., Berger, S., 2011. Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.

Anhang

4.1.1 Fotoanalyse

Tab.10: Unterschied der Bodenerosionsflächen auf den Fotos für die Jahre 2000 und 2012 (T-Test, p=0.05).

Gepaarte Differenzen						
	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		Sig. (2-seitig)
				Untere	Obere	
Unterschied 2000 - 2012	6.28	9.53	3.01	-0.54	13.1	0.067

4.1.2 Bodenerosionsfläche und -dichte auf den Luftbildern

Tab.12: Resultate zum Unterschied der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und innerhalb der Weidesystemumstellungen (T-Test, p=0.05).

Gepaarte Differenzen						
	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		Sig. (2- seitig)
				Untere	Obere	
EroTOTJ0 - EroTOTJ1	5852.0	11715.1	3905.0	-3152.8	14857.2	0.172
EroTOTJ1 - EroTOTJ2	-3231.7	4914.9	1638.3	-7009.3	546.5	0.084
EroTOTJ0 - EroTOTJ2	2620.9	12983.2	4327.7	-7358.9	12600.6	0.562
EroUMJ0 - EroUMJ1	6700.0	8816.8	3332.4	-1454.2	14854.2	0.091
EroUMJ1 - EroUMJ2	-1644.1	2250.5	850.6	-3725.6	437.3	0.101
EroUMJ0 - EroUMJ2	4410.7	7899.8	2793.0	-2193.7	11015.1	0.158
EroNAJ0 - EroNAJ1	3222.9	4266.6	2463.3	-7376.0	13821.8	0.321
EroNAJ1 - EroNAJ2	-2905.4	2588.0	1494.2	-9334.4	3523.5	0.191
EroNAJ0 - EroNAJ2	317.4	6486.3	3744.9	-15795.3	16430.3	0.940

Tab.13: Resultate zum Einfluss der Weidesystemumstellung auf die Erosionsflächen der Luftbilder (einfaktorielle ANOVA, p=0.05).

Einfaktorielle ANOVA					
		Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
EroJ2	Zwischen den Gruppen	611405773.6	305702886.8	1.376	0.301
	Innerhalb der Gruppen	1999200257.1	222133361.9		
	Gesamt	2610606030.7			
EroJ1	Zwischen den Gruppen	522375029.7	261187514.9	1.296	0.326
	Innerhalb der Gruppen	1612817056.9	201602132.1		
	Gesamt	2135192086.7			
EroJ0	Zwischen den Gruppen	536493690.9	268246845.4	.622	0.558
	Innerhalb der Gruppen	3881174011.1	431241556.8		
	Gesamt	4417667702.1			

Tab.14: Resultate zum Unterschied des Verhältnisses der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und innerhalb der Weidesystemumstellungen (T-Test, p=0.05). Es besteht nur einen signifikanter Unterschied zwischen dem Verhältnis der Jahre J0/J1 und J1/J2 wenn man alle Weidesystemumstellungen zusammenfasst.

Gepaarte Differenzen						
	Mittelwert	Standard -abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz		(Sig. 2 -seitig)
				Untere	Obere	
EroTOT (J1/J2)-EroTOT(J0/J1)	-0.28520	0.32793	0.11594	-0.55935	-0.01104	0.043
EroNA (J1/J2)-EroNA(J0/J1)	-0.57964	0.38396	0.22168	-1.53344	0.37417	0.120
EroUM (J1/J2)-EroUM(J0/J1)	-0.30047	0.33582	0.12693	-0.61105	0.01012	0.056

Tab.15: Resultate zum Einfluss der Weidesystemumstellung auf das Erosionsverhältnis auf den Luftbildern (einfaktorielle ANOVA, p=0.05).

Einfaktorielle ANOVA					
		Quadratsumme	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Ero(J0/J2)	Zwischen den Gruppen	0.314	0.157	0.580	0.579
	Innerhalb der Gruppen	2.437	0.271		
	Gesamt	2.751			
Ero(J0/J1)	Zwischen den Gruppen	0.316	0.158	1.156	0.362
	Innerhalb der Gruppen	1.095	0.137		
	Gesamt	1.411			
Ero(J1/J2)	Zwischen den Gruppen	0.022	0.011	0.100	0.906
	Innerhalb der Gruppen	0.893	0.112		
	Gesamt	0.915			

4.1.3 Grösse der Erosionsflächen und Erosionsmuster auf den Luftbildern

Tab.16: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für alle Weidesystemumstellungen zusammen (Friedmann-Test, p=0,05).

Ränge	
	Mittlerer Rang
Erosion1990m2	2.07
Erosion2000m2	2.01
Erosion2010m2	1.92
Statistik	
N	3319
Chi-Quadrat	35.359
Asymptotische Signifikanz	0.000

Tab.17: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Umtriebsweide (Friedmann-Test, $p=0,05$).

Ränge	
	Mittlerer Rang
Erosion1990m2	2.06
Erosion2000m2	2.02
Erosion2010m2	1.92
Statistik	
N	3034
Chi-Quadrat	30.187
Asymptotische Signifikanz	0.000

Tab.18: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren und für die Weidesystemumstellung von Standweide zu Nutzungsaufgabe (Friedmann-Test, $p=0,05$).

Ränge	
	Mittlerer Rang
Erosion1990m2	2.09
Erosion2000m2	1.98
Erosion2010m2	1.93
Statistik	
N	271
Chi-Quadrat	3.898
Asymptotische Signifikanz	0.142

Tab.19: Resultate zum Unterschied der Grösse der Erosionsflächen auf den Luftbildern zwischen den verschiedenen Jahren für die Referenzalpen (Friedmann-Test, $p=0,05$).

Ränge	
	Mittlerer Rang
Erosion1990m2	2.05
Erosion2000m2	2.04
Erosion2010m2	1.91
Statistik	
N	547
Chi-Quadrat	7.139
Asymptotische Signifikanz	0.028

4.2.2 Zeitlich variierende Einflussfaktoren

Fragebögen

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
SG	A	X	Y	Anonym	gemischt	Ok NA vorhanden 6 Koppeln in UW
		749706	203208			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
1995	Vor	SW	1200	168	7.1	103	115	90
	Nach	UW + NA	536	126	4.3	46	100	46

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Die Alp ist schon über 100 Jahre bewirtschaftet. Damals wurde die Alp mit Rindern bestossen. Seit 40 Jahren sind Schafe auf der Alp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Ja, beim „Chimmetentobel“ und beim „Schild“.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Die Erosion hängt nicht direkt mit der Schafalpung zusammen. Es wurde festgestellt, dass dort wo keine Bewirtschaftung mehr stattfindet, längeres Gras wächst und dadurch zu mehr Schneegleiten führt. Die Schafalpung stabilisiert das Gelände.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Keinen Einfluss feststellbar.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Im „Sunnental“ wurde keinen Unterschied festgestellt (kaum Erosion). Es gibt eine Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen (Schneegleiten) im Bereich „Chimeten“.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Die Verbuschung hat sich kaum verändert.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Ja.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
2009 gab es starker Hagel. 2004 und 2012 hat der Winter Schäden angerichtet.

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
SG	B	X	Y	Anonym	BFS Schwarzkopfschaf	Ok NA vorhanden 3 Koppeln in UW
		751599	204436			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2002	Vor	SW	350	80	4.3	30	91	32
	Nach	UW + NA	233	50	4.6	20	77	26

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Die Alp wird schon über 200 Jahre bestossen. In den 30er Jahren gab es auch Rinder auf der Alp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Ja, die Gebiete „Hochpardiel“, „Bärtlishüttli“ und „Karlböden“ sind von Erosion betroffen.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Die Erosion im „Hochpardiel“ hängt höchst wahrscheinlich mit der Schafalpe zusammen. Dort wurde früher die Weide stark übernutzt. Andere Flächen wurden vom Militär beschädigt.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Die Schafwege sind im oberen Teil verschwunden.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Das Schneegleiten beschädigte Bereiche wo keine Beweidung mehr stattfindet (längeres Gras).
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Keine Verbuschung vorhanden.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Seit 2008 ist der Zaunverlauf gleich.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
2009 gab es starker Hagel. 2012 hat der Winter Schäden angerichtet.

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
SG	C	X	Y	Anonym	gemischt	Ok UW
		747034	205948			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdicke (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2000	Vor	SW	1050	Über 300	3.5	90	98	91
	Nach	UW	1030	241	4.3	88	98	89

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Seit dem 12. Jhd. wird die Alp bewirtschaftet. Seit 1650 sind Kühe, Schafe und Ziegen auf der Alp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Ja, im Gebiete „Chilchlenen“ hat es viele Erlen wo der Schnee eine Angriffsfläche hat und im „Jägeri“.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Der Bereich „Oberi Stafinella“ wurde früher stark übernutzt.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Zuerst gab es eine Erholung dann eine Verschlechterung.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Auf den aufgegebenen Flächen (oberen Bereich der Alp) gibt es eher eine Verschlechterung.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Die Verbuschung hat zugenommen. Deswegen müsste er mehr Ziegen haben.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Der Zaunverlauf ist immer gleich.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20Jahren?**
Im Sommer 2012 gab es Extremniederschlagsereignisse und im Winter 2011/12 viel Schneedruck.

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
SG	D	X	Y	Anonym	gemischt	Ok UW 9 Koppeln
		749869	234338			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2004	Vor	SW	1258	186	6.8	108	110- 115	96
	Nach	UW	960	186	5.2	83	110- 115	74

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Die Alp wird seit dem Mittelalter bewirtschaftet. Bis 1970 war es noch eine gemischte Rinder- und Schafalp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Auf der „Oberalp“ gibt es keine Probleme. Auf der „Unteralp“ kommt es immer wieder zu Erosion (Bereich „Chruezberg“).
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Die Erosionsflächen haben oft Schneegleiten oder Starkregenereignisse als Ursache. Kleine Gangeln (Trejen) können jedoch die Angriffsfläche für Schneeschurf vergrössern.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Keinen Einfluss feststellbar.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Keine aufgegebenen Flächen vorhanden.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Es gibt keine Verbuschung.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Nein, nicht immer. Als es noch die Alp noch als Standweide galt, war die Unteralp und Oberalp in je 2 Koppeln (=4 Koppeln) unterteilt. Noch früher waren es nur 2 Koppeln (Unteralp und Oberalp).
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
2003 war sehr trocken, 2012 Schneereich auf ungefrorenem Boden. Die Sommer sind kühler mit mehr Niederschlag.

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
FR	E	X	Y	Anonym	Oxford	Ok Seit 2012 UW 4 Koppeln
		584219	158001			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2012	Vor	SW	260- 280	54	5	23	105	22
	Nach	UW	260- 280	54	5	23	105	22

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Seit ungefähr 1950 wird die Alp bewirtschaftet. Früher waren auch noch Rinder auf der Alp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Es gibt keine wirklichen Erosionsflächen. Das Gelände ist trocken.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Nur im oberen rechten Teil der Alp kam es mit der Standweide zur Übernutzung.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Die Weidesystemumstellung ist neu (Referenzalp).
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Keine aufgegebenen Flächen vorhanden.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Es gibt keine Verbuschung.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Die Umtriebsweide wurde 2012 erst eingeführt.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
-

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
BE	F	X	Y	Anonym	BFS Heideschnuke	Ok UW 4 Koppeln
		626700	177079			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche(ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
1995	Vor	SW	430	150	2.8	37	90	41
	Nach	UW	388	150	2.6	33	90	36

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Seit dem 17-18. Jhd. Bis 1947 wurden auch noch Rinder gehalten.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Nein.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Nein. Das Gelände neigt natürlich zur Erosion.
Rund um das „Schäferhüttli „ auf der linken und rechten Seite des Grats sind Zeichen einer früheren Übernutzung erkennbar.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
-
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Keine aufgegebenen Flächen vorhanden.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Sie nimmt tendenziell zu.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Ja.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20Jahren?**
-

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
NW	G	X	Y	Anonym	gemischt	Ok UW 5 Koppeln
		668715	186598			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2004	Vor	SW	650	300	2,1	53	98	54
	Nach	UW	700	281	2.5	60	98	61

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Seit ungefähr 90 Jahren. Es wurden früher unten Rinder und Schafe zusammengehalten und später getrennt.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
In Richtung des „Bockigrats“, auf der „Ochsenmatt“ und auf den steileren Flächen des „Scheideggstocks“.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Auf der „Ochsenmatt“ ist der Zusammenhang z. Erosion und Übernutzung (vor allem durch frühere Standweide) wahrscheinlich. Beim „Scheideggstock“ wird vor allem der Schneeschurf als Ursache beigezogen (Winter 2011/12).
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Es scheint so, als ob sich die Erosionsflächen auf der „Ochsenmatt“ sich langsam erholen würden.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Keine aufgegebenen Flächen vorhanden.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Keine Verbuschung vorhanden.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Auf der Seite des „Bockigrats“ wird mit der Zäunung noch experimentiert. Beim „Scheideggstock“ ist der Zaunverlauf immer derselbe.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
Im Sommer 2011 gab es viel Niederschlag. Der letzte Winter mit der grossen Schneemenge auf dem ungefrorenen Boden verursachte vermehrt Schneeschurf.

Allgemein

Kanton	Alp	Koordinaten		Bewirtschafter/ Besitzer	Schafrasse	Weideplan prüfen
GL	H	X	Y	Anonym	Weisses Alpschaf Braunes Alpschaf	Ok WA vorhanden UW 7 Koppeln
		735007	206849			

Weidesystemumstellung

Jahr		Bewirtschaftungs- system	# Schafe	Nettoweidefläche (ha)	Schafdichte (Schafe/Nettoweide ha)	RGVE	Weide- dauer	NST
2003	Vor	SW	368	111	3,3	32	105	30
	Nach	UW + NA	311	67	4,6	26	98	27

RGVE : Raufutter verzehrende Grossvieheinheit= Anzahl Schafe 0.0861 (mittleres Alpschaf)*

NST: Normalstösse =1RGVE während 100 Tagen

*NST=(100*RGVE)/Anzahl Sömmerungstage (Weidedauer)*

Allgemein

- **Wie lange ist die Alp schon bewirtschaftet? War es schon immer eine Schafalp?**
Die Alp wird schon sicher seit 30 Jahren bewirtschaftet. Es waren auch mal Rinder auf der Alp.

Erosion

- **Gibt es bestimmte Problemflächen?**
Ja, es gibt relativ viel Flächen mit Schäden: „Schäferstein“, „Saumenhörner“, „mittlerer und obere Saumen“, „Saumenwand“, „Schafbützi“.
- **Hängt die Erosion mit der Schafhaltung zusammen?**
Der Bereich „obere Saumen“ wurde früher stark übernutzt. Sonst haben der Schnee und der Niederschlag einen grossen Einfluss auf das Gebiet.
- **Hat die Umstellung eine Erosionsabnahme oder -zunahme zur Folge?**
Sehr unterschiedlich je nach Gebiet.
- **Gibt es eine Erholung/Zunahme der Erosion auf den aufgegebenen Flächen?**
Auf den aufgegebenen Flächen („Schafbützi“) hat die Erosion eher zugenommen.
- **Wie sieht es mit der Verbuschung der Flächen aus? Wurde sie mit der Umstellung weniger?**
Die Verbuschung hat im unteren Bereich eher abgenommen.
- **Ist der Zaunverlauf/ die Aufteilung der Umtriebsweide von Jahr zu Jahr immer gleich?**
Der Zaunverlauf beim Weideteil 2a/3a und Z 8 ist von Jahr zu Jahr unterschiedlich.
- **Gab es besondere Witterungsereignisse in den letzten 10-20 Jahren?**
Im Sommer 2005 gar es Extremniederschlagsereignisse und im Winter 2011/12 viel Schneedruck.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei meiner Masterarbeit tatkräftig unterstützt haben:

- Meine zwei Betreuerinnen der Universität Basel, Prof. Dr. Christine Alewell und Dr. Katrin Meusburger, die für Fragen, Ratschläge, konstruktive Kritik sowie für Lösungen von GIS Problemen jederzeit zur Verfügung gestanden sind.
- Herr Dipl. Ing.-Agr. Cornel Werder, Hauptbetreuer des Projekts SchafAlp, der mich bei meinen ersten Schritten in der Alpwirtschaft und während dem gesamten Arbeitsprozess begleitet hat.
- Herr Dr. Volker Prasuhn von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon für seine fachliche Hilfestellung, für die er öfters den Weg nach Basel auf sich nahm.
- Die Mitfinanzierer und Auftraggeber vom Teilprojekt SchafAlp: Agridea, Pro Natura, Schweizerischer Schafzuchtverband, WWF Schweiz, Bundesämter für Landwirtschaft, Umwelt und Veterinärwesen.
- Die Alp-Bewirtschafter/Besitzer und die landwirtschaftlichen Ämter der Kantone Sankt-Gallen, Glarus und Fribourg, die diese Studie durch ihr wollwollendes Mitwirken und das Bereitstellen von Fotodokumenten ermöglicht haben.
- Die Leitung vom Verbundprojekt AlpFUTUR, die für ihre Arbeit und ihren herzlichen Empfang an den Sitzungen ein grosses Lob verdienen.
- Alle Freunde und Betreuer, die mich auf der Alp begleitet haben und teilweise eine schwere Last mit sich tragen mussten.
- Meine Eltern, die mir mein Studium finanziert haben und stets helfend an meiner Seite standen.