



# Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität



## Eine Fallstudie aus dem Entlebuch



Diplomarbeit des Studiengangs Umweltnaturwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich



Februar 2007



Diplomandin

Jolanda Krummenacher

Leiter

PD Dr. Matthias Bürgi

Betreuer

Dipl. Ing. ETH Albert Böll

Dipl. Forsting. ETH Christian Rickli



Titelbilder von oben nach unten:

Einzelstehende Eiche Ussefalkenbach, Nutzungsaufgabe Haselegg, Rutschung Spittel, Haselsträucher Oberrohrigmoos, Rutschung Habsucht, Junge Fichten auf Weideland Ussefalkenbach, Nutzungsaufgabe und Verwaltung Haselegg, Junge Fichten und Aufgabe der Pflege Bösarni, Anrissstelle Ussefalkenbach, Rutschanriss mit Fichtenwurzeln Spittel.

Alle Bilder J. Krummenacher

*„Die Folgen dieses Dauerregens sind allein optisch schon mehr als eindrucklich: Die Region Entlebuch/Wolhusen ist verwüstet. An unzähligen Steillagen gingen Murgänge nieder, Bäche traten über die Ufer. Noch unschätzbare materielle Schäden, Evakuationen, Hilfskräfte im Dauereinsatz, gesperrte Strassen- und Bahnstrecken, Strom-, Telefon- und Internetausfälle, verschobener Schulbeginn.“*

Entlebucher Anzeiger vom Dienstag, 23. August 2005



## Vorwort

Während meines Studiums begann ich mich immer stärker für die Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Landwirtschaft zu interessieren. Eine nachhaltige Landwirtschaft, die auf die Umwelt Rücksicht nimmt und sich für die Bauern auch finanziell lohnt, steht dabei im Zentrum meines Interesses. Daher haben mich die offensichtlichen Rutschschäden auf landwirtschaftlichem Kulturland, die während den Starkniederschlägen vom 19. bis 23. August 2005 entstanden, sehr beschäftigt. Die Frage, ob Gehölzpflanzen im Freiland Rutschungen nachhaltig verhindern könnten, tauchte in meinen Gedanken immer wieder auf. Bei genauerer Betrachtung musste ich jedoch feststellen, dass Gehölzpflanzen im Landschaftsbild des Entlebuch nicht oft anzutreffen sind, häufiger aber Verbuschung und Verwaldung in Folge von Nutzungsaufgabe. Da begann mich die Frage zu interessieren, ob Nutzungsaufgabe und die damit einhergehende Verbuschung und Verwaldung wirklich zur Destabilisierung von Hängen führt, wie die gängige Meinung besagt.

## Dank

Ein besonderer Dank gebührt PD Dr. Matthias Bürgi und Herrn Albert Böll von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Sie ermöglichten mir durch ihre offene Art, meine Diplomarbeit zum Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität durchzuführen. Sie hatten immer ein offenes Ohr für meine Anliegen und haben mich mit beratenden Gesprächen und ihrem Engagement stets kompetent unterstützt.

Ganz speziell danken möchte ich auch Herrn Christian Rickli von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Er hat mir die von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL aufgenommenen Daten zur Verfügung gestellt und es mir damit ermöglicht, meine Diplomarbeit in diesem Rahmen zu gestalten. Er hat mir auch jederzeit kompetent bei Fragen weiter geholfen und mich stets mit seinem Fachwissen unterstützt.

Ein ganz herzlicher Dank gilt auch allen Personen der Forschungsgruppen „Landnutzungsgeschichte“ und „Landschaftsmanagement“ der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Sie standen mir stets hilfsbereit zur Seite und haben mich durch anregende Gespräche und Diskussionen motiviert.

Zürich, Februar 2007

Jolanda Krummenacher



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1	Geschichtlicher Hintergrund .....	7
1.2	Wissensstand .....	8
1.3	Fragestellung und Ziel dieser Arbeit .....	12
<b>2</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>15</b>
2.1	Einfluss von Gehölzen auf die Hangstabilität.....	15
2.1.1	Hydrologische Wirkungen von Gehölzen .....	16
2.1.2	Mechanische Wirkung von Gehölzen .....	16
2.2	Charakterisierung des Untersuchungsgebietes.....	19
2.2.1	Untersuchungsgebiet Flühli.....	19
2.2.2	Klima .....	20
2.2.3	Geologie .....	21
2.2.4	Boden .....	22
2.2.5	Nutzung .....	22
2.2.6	Neigungsverhältnisse .....	22
2.3	Starkniederschläge 19. bis 23. August 2005 .....	23
<b>3</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>27</b>
3.1	Vorgehen .....	27
3.2	Grundlagedaten.....	29
3.3	Kartierungen von Gehölzen und Nutzung.....	30
3.4	Zuordnung der Rutschungen zu den Flächenkategorien.....	31
3.5	Berechnung der Rutschaktivität .....	31
3.6	Abschätzung des Einflusses vom Entstehungsort der Rutschungen .....	33
3.6.1	Neigung.....	33
3.6.2	Geländeform.....	34
3.6.3	Festgestein und Lockergestein.....	35
3.7	Abschätzung des Einflusses von Gehölzpflanzen und Nutzungsaufgabe auf das Ausmass der Rutschungen .....	35

3.8	Erhebung über die praktische Erfahrung von Landwirten aus dem Untersuchungsgebiet zum Thema .....	37
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>41</b>
4.1	Verbreitung von Gehölzen und Nutzungsarten im Freiland .....	44
4.2	Rutschaktivitäten .....	45
4.2.1	Rutschaktivitäten in den einzelnen Nutzungskategorien .....	46
4.2.2	Rutschaktivitäten in den einzelnen Gehölzkategorien.....	47
4.2.3	Rutschaktivitäten in den einzelnen Gehölzkategorien in Abhängigkeit von der Nutzungskategorie .....	48
4.3	Einfluss des Entstehungsortes der Rutschungen.....	50
4.3.1	Neigung.....	50
4.3.2	Geländeform.....	57
4.3.3	Festgestein und Lockergestein.....	60
4.4	Einfluss von Gehölzpflanzen und Nutzungsaufgabe auf das Ausmass der Rutschungen.....	64
4.5	Erfahrungen der Landwirte aus dem Untersuchungsgebiet zum Thema .....	69
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>71</b>
5.1	Allgemeines.....	71
5.2	Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität.....	73
5.2.1	Landwirtschaftliche Nutzungskategorien .....	73
5.2.2	Einzelstehende Gehölze auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.....	74
5.2.3	Sukzessionsstadien nach Nutzungsaufgabe landwirtschaftlicher Flächen.....	75
5.2.4	Wald .....	78
5.3	Diskussion der Methoden .....	80
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>83</b>
6.1	Schlussfolgerung für die Praxis.....	83
6.2	Methodisch wissenschaftliche Schlussfolgerung.....	84



7	Literatur .....	85
	Tabellenverzeichnis .....	89
	Abbildungsverzeichnis .....	91
	Anhang .....	95



## Zusammenfassung

Rutschungen sind weltweit verantwortlich für den Tod vieler Menschen und verursachen beachtlichen Schaden an der Infrastruktur. Im Entlebuch traten im August 2005 als Folge von Starkniederschlägen unzählige Rutschungen auf. Wie gross die Regenmenge sein muss, damit an einem bestimmten Ort eine Rutschung ausgelöst wird, hängt von der lokalen Hangstabilität ab. Faktoren mit Einfluss auf die Hangstabilität sind Bodeneigenschaften und Geologie, das Gelände und die Vegetation.

Die Landnutzung, und damit die Vegetation, haben oft einen bedeutenden Einfluss auf die Hangstabilität. Es liegen Erkenntnisse vor, dass im Wald die Rutschaktivität deutlich geringer ist als im Freiland. Für die Vegetation des Freilandes, die hauptsächlich durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsart bestimmt wird, wurden noch nicht viele Untersuchungen bezüglich Hangstabilität durchgeführt. Es gibt aber Hinweise, dass sich eine zu intensive landwirtschaftliche Nutzung negativ auf die Hangstabilität auswirkt. Auch über den Einfluss von Nutzungsaufgabe landwirtschaftlichen Kulturlandes auf die Hangstabilität wurde noch wenig geforscht. Die gängige Meinung unter Experten besagt, dass Nutzungsaufgabe zu einer erhöhten Rutschaktivität führt, die dann mit der Etablierung von Wald wieder sinkt.

Diese Diplomarbeit geht der Frage nach, welchen Einfluss Nutzungsaufgabe und Gehölze im Freiland auf die Hangstabilität ausüben. Der Beantwortung dieser Frage kommt eine grosse Bedeutung zu, denn im Zusammenhang mit Rutschungen sind Vorbeugungsmassnahmen in jedem Fall kostengünstiger als Wiederherstellungsarbeiten. Eine nachhaltige Reduktion des Risikos oberflächennaher Rutschungen kann erreicht werden, indem man die wichtigsten beeinflussbaren Faktoren der Hangstabilität eruiert und Massnahmen daraus ableitet. Dies ist das Ziel dieser Arbeit.

Im Untersuchungsgebiet Flühli im Entlebuch wurden mittels Kartierungen Informationen über die auf landwirtschaftlichem Kulturland feststellbaren Anzeichen von Nutzungsaufgabe sowie das Vorkommen von Gehölzen erhoben. Daten über die Rutschungen wurden von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL zur Verfügung gestellt. Bei der Datenauswertung in einem GIS wurden die Rutschaktivitäten (Anzahl Rutschungen pro Hektare [R/ha]) der einzelnen Flächenkategorien berechnet und miteinander verglichen. Zusätzlich wurde der Entstehungsort der Rutschungen mit berücksichtigt, wobei die Faktoren Neigung, Geländeform sowie Fest- und Lockergestein mit einbezogen wurden. Die praktischen Erfahrungen der Landwirte zum Thema Hangstabilität, die in Interviews erhoben wurden, flossen mit in die Diskussion ein.

Das Untersuchungsgebiet Flühli hat eine durchschnittliche Neigung von 23° und eine Fläche von insgesamt 506 Hektaren. Bei 56 im Gebiet aufgetretenen

Rutschungen entspricht dies einer durchschnittlichen Rutschaktivität von 0.11 R/ha. Die Weideflächen waren am stärksten von Rutschaktivitäten betroffen (0.17 R/ha), an zweiter Stelle stehen der Wald (0.11 R/ha) und die nicht mehr genutzten Gebiete (0.10 R/ha). Allerdings erstreckt sich der Wald (27.6°) auf leicht steileren Flächen als die Weideflächen (26.0°), die nicht mehr genutzten Gebiete sind durchschnittlich geneigt (23.2°). Unter vergleichbaren Neignungsverhältnissen ist die Rutschaktivität auf den Weideflächen höher als im Wald. Auf den Mähwiesen ereigneten sich wenig Rutschungen (0.02 R/ha), auf Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe gingen keine Rutschungen nieder. Die Mähwiesen (15.9°) befinden sich auf sehr flachen Gebieten, die Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe sind durchschnittlich geneigt (21.4°). Betrachtet man die Flächen mit Nutzungsaufgabe genauer und teilt sie in Kategorien ein, fällt auf, dass sich nur auf den Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen Rutschungen ereigneten (0.10 R/ha bzw. 0.12 R/ha) (durchschnittliche Neigung: 26.6° bzw. 26.1°). Auf den Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Laubgehölzen ereigneten sich keine Rutschungen, obwohl sie nicht weniger stark geneigt sind (24.9° bzw. 24.4°). Die Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen sind im Durchschnitt gleich stark geneigt wie die Wald- und Weideflächen, die Rutschaktivitäten entsprechen jedoch denen des Waldes und sind geringer als diejenigen der Weidefläche.

Die Rutschaktivität ist stark von der Hangneigung abhängig. Ausserdem treten Rutschungen vermehrt auf Geländeformen mit Rinnenlage und auf Gehängeschutt auf. Im Freiland (Weideflächen) treten häufiger Rutschungen auf als im Wald, was auf den positiven Einfluss der Vegetation zurückzuführen ist. Es konnte aufgezeigt werden, dass auf Flächen mit Nutzungsaufgabe und aufkommenden Gehölzen die Rutschaktivität tendenziell kleiner ist als auf den Weideflächen, die Hänge also stabilisiert werden. Dieses Resultat widerspricht der gängigen Meinung.

Für die Praxis bedeutet dies, dass es sich auf sehr steilen Weideflächen mit Rinnenlage oder Flächen mit Anzeichen alter Rutschungen lohnen kann, die Nutzung aufzugeben und Verwaldung als Rutschprävention zu fördern, falls eine mögliche zukünftige Rutschung eine Gefahr darstellt.

Die hier verwendete Methode mit den Rutschaktivitäten wurde von Rickli entwickelt. Sie funktioniert jedoch nur bei genügend grossen Flächen (>50 ha). Die Flächen mit Nutzungsaufgabe und Gehölzvorkommen waren oft zu klein, um ein aussagekräftiges Resultat zu erhalten. Daher muss bei zukünftigen Forschungsarbeiten bezüglich des Einflusses von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität unbedingt darauf geachtet werden, ein grosses Gebiet zu untersuchen.

# 1 Einleitung

## 1.1 Geschichtlicher Hintergrund

Naturkatastrophen haben die Menschen seit jeher begleitet. Im Alpenraum waren und sind insbesondere Überschwemmungen und Rutschungen häufig auftretende Phänomene, wie Röthlisberger (1998) in einem chronologischen Bericht, der bis in die Gegenwart reicht, eindrücklich erläutert. Richtet man ein besonderes Augenmerk auf die Region Flühli im Entlebuch, überrascht die Tatsache, dass das Gebiet zwischen 1837 und 1903 nicht weniger als neun Mal verheerend überschwemmt wurde (Hofstetter, 2001, vgl. Abbildung 1.1).



Abbildung 1.1: Naturkatastrophe in Flühli. Die Liegenschaft Säuschachen nach dem Unwetter am 3. Juli 1903. (Quelle: Hofstetter, 2001)

Schon immer haben die Menschen auf unterschiedliche Art versucht, sich vor den Naturgewalten zu schützen. Aber erst im 19. Jahrhundert, als in der Schweiz (und insbesondere in Flühli aufgrund der Glasproduktion) die Wälder stark übernutzt waren, wurde ein

Zusammenhang zwischen den Überschwemmungen und der verlorenen Schutzwirkung von Gebirgswäldern entdeckt (Hofstetter, 2001; Röthlisberger, 1998). In der Folge wurden stark übernutzte und abgeholzte Wälder wieder aufgeforstet (Hofstetter, 2001).

Die Schutzwirkung von Gebirgswäldern ist für die Menschen im Alpenraum ein wichtiges Thema. Allerdings rentierten sich schon in den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts gerade im Berggebiet die Wälder nicht mehr für die Forstwirtschaft. Als Folge der sich nicht mehr lohnenden Pflege der Schutzwälder erläuterten Surber et al. 1973, dass die Wälder ihre Schutzwirkung aufgrund Unternutzung nicht mehr erfüllen können. Heutzutage wird dieses Thema ein bisschen differenzierter betrachtet. So zeigte Amman (2006), dass sogar Flächen mit abgestorbenen Fichten grundsätzlich noch eine Schutzwirkung gegen Naturgefahren bieten, aber an gewissen Standorten und bei ungünstigen Bedingungen die Schutzwirkung eines zerfallenden Bestandes nicht ausreicht, bis eine aufkommende Verjüngung genügend Schutzwirkung zeigt. Damit Wälder ihre Schutzfunktion erfüllen können, werden sie am besten weder übernutzt noch unternutzt.

Beim offenen, landwirtschaftlich genutzten Land sind die Zusammenhänge zwischen Stabilität und Nutzung noch nicht so direkt erkannt wie beim Wald. Bätzig (1991) erklärte, dass die Bergbauern seit jeher durch genau angepasste Bewirtschaftungsformen und aufwändige Reparatur- und Pflegearbeiten eine relativ stabile Kulturlandschaft schufen. Auch hier erschweren die neuen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen aber immer stärker die Fortführung der traditionellen Aufgabe. Es wird immer weniger Zeit in die aufwändigen Reparatur- und Pflegearbeiten investiert, häufig werden für die Landwirtschaft nicht mehr interessante Gebiete ganz aufgegeben (Surber et al., 1973). Gleichzeitig werden günstige Gebiete immer stärker genutzt, oder gar übernutzt (Bätzig, 1991). Vermutet wird, dass mit Nutzungsaufgabe („Unternutzung“) oder Intensivierung („Übernutzung“) in der Landwirtschaft die ökologische Stabilität der Landschaft stark abnimmt. Es drängt sich sogar die Frage auf, ob diese Entwicklung mit einer Zunahme von Naturkatastrophen verbunden ist. Hinzu kommt, dass aufgrund der Klimaänderung mit grosser Wahrscheinlichkeit vermehrt Starkniederschläge auftreten werden (Bätzig, 1991; Rebetez, 2006). Dadurch wird das Risiko von zunehmenden Naturkatastrophen noch verstärkt.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einem Aspekt von Naturkatastrophen: Oberflächennahen Rutschungen. Rutschungen werden definiert als die Massenbewegung von Steinen, Geröll oder Erde in einem geneigten Gelände (Cruden, D.M and Varnes, D.J., zitiert nach Wang and Sassa, 2006). Rutschungen sind weltweit verantwortlich für den Tod vieler Menschen und verursachen beachtlichen Schaden oder gar die Zerstörung von Elementen der Infrastruktur (Wang and Sassa, 2006). Die starken Auswirkungen von Rutschungen sind neben den direkten Effekten dadurch zu erklären, dass Rutschmaterial in Gerinne gerät und als Geschiebe Bäche verstopfen kann, was dann zu Überschwemmungen führt (Borga et al., 2002; Rebetez, 2006).

## *1.2 Wissensstand*

Die meisten Rutschungen werden durch Starkniederschläge ausgelöst (Wang and Sassa, 2006). Rickli, Zimmerli und Böll (2001) konnten dies auch in den schweizerischen Alpen bestätigen. Sie zeigten am Beispiel von Sachseln, dass die Rutschaktivität mit der Regenmenge zunimmt. Wie gross die Regenmenge sein muss, damit an einem bestimmten Ort eine Rutschung ausgelöst wird, hängt von der Hangstabilität am jeweiligen Standort ab (Gasser and Zöbisch, 1988). Faktoren mit Einfluss auf die Hangstabilität sind Bodeneigenschaften und Geologie (Festigkeit, Durchlässigkeit, Verwitterung), das Gelände (Neigung, Exposition, Morphologie) und die Vegetation (Rickli, 2001).

Baeza und Corominas (2001) eruierten in Spanien mittels multivariaten statistischen Analysen die dominierenden Parameter mit Einfluss auf die Auslösung von oberflächennahen Rutschungen. Diese waren die Hangneigung,

die Art der Landnutzung und die Grösse des Einzugsgebietes, d.h. die Geomorphologie eines potentiellen Rutschstandortes. Dieses Resultat kann als Hinweis dafür dienen, dass die Art der Landnutzung und damit die Vegetation im Allgemeinen einen bedeutenden Einfluss hat auf die Hangstabilität.

Bisher beschränkten sich die Forschungen bezüglich des Einflusses der Vegetation auf die Hangstabilität jedoch hauptsächlich auf den Wald oder auf den Vergleich zwischen Wald und Freiland. Rickli (2001) konnte in Sachseln feststellen, dass die Rutschaktivität im Wald deutlich geringer ist als im Freiland. Als Erklärung dafür wird häufig der Grund genannt, dass tief wurzelnde Bäume und Büsche dem oberflächennahen Bodenmaterial eine signifikante Kohäsionskraft verleihen und den präferentiellen Abfluss des Wassers erleichtern (Sidle et al., 2006). Die grössere Bodenfestigkeit führt zu einer tieferen Gleitzzone der Rutschung, was die Schwelle der Rutschauslösung erhöht (Ekanayake and Phillips, 2002), aber auch das Ausmass des Rutsches vergrössert (Rickli, 2001).

Im Zusammenhang mit der Schutzwirkung abgestorbener Bäume im Schutzwald konnte Ammann (2006) am Beispiel des Gandbergwaldes in Schwanden zeigen, dass Wurzeln von vor 10 Jahren abgestorbenen Fichten im Vergleich zu Wurzeln von frisch gefällten, lebenden Fichten eine um 29% reduzierte Zugfestigkeit hatten und 75% weniger Verformungsarbeit aufnehmen konnten. Deshalb nimmt bei erosions- und rutschungsempfindlichen Böden die Gefahr von oberflächennahen Rutschungen nach dem Absterben der Bäume in Folge der zunehmenden Zersetzung des Wurzelholzes zu.

In einer Wegleitung über minimale Pflegemassnahmen von Wäldern mit Schutzfunktion gibt das BUWAL für Wälder auf Rutschflächen den in Tabelle 1.1 dargestellten Soll-Zustand vor. Der jeweilige Soll-Zustand lässt die Stabilitätsanforderungen als „minimal“ erfüllt gelten .

Tabelle 1.1: Soll-Zustandes des Waldes zur Erfüllung der minimalen Stabilitätsanforderungen für Wälder auf Rutschflächen .

Potentieller Beitrag des Waldes	Soll-Zustand
Gross: bei flächgründigen Rutschungen (Gleithorizont < 2m)	- keine wurfgefährdeten Bäumen - möglichst keine Lücken > ½ Baumlänge
Mittel: bei mittelgründigen Rutschungen (Gleithorizont ca. 2-10m)	- keine wurfgefährdeten Bäume im Anrissbereich - Deckung nachhaltig > 50%
Klein: bei tiefgründigen Rutschungen (Gleithorizont > 10m)	- nachhaltige Verjungung gesichert

In anderen Untersuchungen wurde die Zugresistenz von Wurzeln verschiedener Pflanzenarten verglichen, um daraus auf deren Einfluss auf die

Scherkraft des Bodens zu schliessen (z.B. Bischetti et al., 2005; Genet et al., 2005; Mattia et al., 2005; Schmidt et al., 2001).

Für die Vegetation des Freilandes, die hauptsächlich durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftungsart bestimmt wird, wurden noch nicht viele Untersuchungen bezüglich Hangstabilität durchgeführt. Rickli (2001) konnte am Beispiel von Sachseln zeigen, dass sich eine zu starke Bestossung negativ auf die Hangstabilität auswirkt. Dieses Resultat kann ein Hinweis sein, dass sich eine Übernutzung von landwirtschaftlichen Flächen negativ auswirkt auf die Hangstabilität.

Wie sich eine Nutzungsaufgabe landwirtschaftlichen Kulturlandes (Unternutzung) auf die Hangstabilität auswirkt, wurde an einem Beispiel in Spanien untersucht. Hänge mit mehrjährigen Kulturen wie Kirsche (*Prunus avium*) oder Oliven (*Olea europaea*) zeigten nach der Nutzungsaufgabe kurzfristig eine erhöhte Rutschaktivität. 30 Jahre nach Nutzungsaufgabe erreichte die Rutschaktivität ein Maximum und begann danach mit der Etablierung des Waldes wieder zu sinken (Cammeraat et al., 2005). In der Schweiz wurde der Einfluss der Nutzungsaufgabe auf die Hangstabilität noch nicht untersucht. Es scheint allerdings unter Experten Konsens zu herrschen, dass im Übergang von der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zum Wald die Risiken von Naturgefahren zunehmen können. Im Rahmen dieser Arbeit konnten aber keine neueren Literaturquellen diesbezüglich gefunden werden. Ältere Quellen besagen, dass bei aufgegebenem landwirtschaftlichen Flächen im Winter der Schnee und das lange, nicht geschnittene oder beweidete Gras ineinander frieren. Beim Kriechen oder Gleiten kann der Schnee die Grasnarbe aufreissen (Surber et al., 1973). Solch offener Boden ist anfällig für Erosion und Rutschungen. Gleichzeitig verweisen Surber et al. darauf, dass aufgegebenes Landwirtschaftsland durch seine raue, stufige Vegetationsdecke extreme Abflussschwankungen vermindern kann. Beide Fälle wurden aber nicht konkret untersucht. Der Übergang von der Nutzungsaufgabe bis zum einigermaßen geschlossenen Wald kann unter günstigen Standortverhältnissen sehr rasch, unter Umständen im Verlaufe eines Jahrzehnts, vor sich gehen (Surber et al., 1973).

Neben dem aufgegebenen Landwirtschaftsland kommen auch in der bewirtschafteten Freifläche Gehölze vor, hauptsächlich in Form von einzeln stehenden Bäumen oder Gebüsch. Bei Obstbäumen auf landwirtschaftlichem Nutzland ist es offensichtlich, dass die Bäume vom Bauer mit Absicht gepflanzt wurden. Bäume und Sträucher, die nicht genutzt werden, könnten zufällig aufgekommen sein, oder aber mit einer nicht direkt sichtbaren Absicht durch die Bauern gepflanzt worden sein. Möglicherweise haben Bergbauern früher konkret Einzelbäume in offenem Landwirtschaftsland gepflanzt, um Rutschungen zu verhindern. Literatur darüber gibt es aber wenig. Machatschek (2002) beispielsweise beschreibt den Einsatz von Bäumen zur Hangstabilisierung in der traditionellen Landwirtschaft Österreichs: Sofort nach den ersten



Andeutungen bevorstehender Rutschungen, an Böschungskanten und unterhalb von Wegen, pflanzte man zur Stabilisierung Eschen und Berg-Ahorn. Die Bäume stabilisierten mit ihren Wurzeln das Gelände und dienten der Hangentwässerung. Oft standen die Bäume relativ eng zusammen. Damit sie dem Gras nicht zu viel Licht wegnehmen, wurden sie stark und regelmässig geschnitten („geschneitelt“) (Abbildung 1.2).

Durch das Schneiteln der Bäume wurde die Krone permanent klein gehalten, es entstanden Kopfbäume. Das abgeschnittene Material wurde dabei als Futter für das Vieh verwendet. Gleichzeitig führte das Schneiteln dazu, dass die Bäume mit dem Holzzuwachs nicht zu schwer wurden und als zusätzliche Kraft auf die labilen Hänge einwirkten sowie die Baumstatik im Gleichgewicht blieb (im Gegensatz zu einem Baum, bei dem das Schneiteln aufgegeben wurde, Abbildung 1.3).



Abbildung 1.2: Kopfbäume (hier Weiden). Sie wurden in der traditionellen Landwirtschaft oft zur Hangstabilisierung eingesetzt. Durch das Schnaiteln wird das Gewicht der Bäume relativ gering gehalten, trotzdem wirken die Wurzeln stabilisierend auf den Boden. (Bild-Quelle: [www.roland-wittenberg.de](http://www.roland-wittenberg.de))



Abbildung 1.3: Nutzungsaufgabe bei einer Kopfesche. Das Krongewicht nimmt zu. In einem instabilen Hang kann die Baumstatik aus dem Gleichgewicht geraten und der Gewichtsdruck auf den Boden nimmt zu. (Bild-Quelle: [www.jakobspilger.lvr.de](http://www.jakobspilger.lvr.de))

Auch in der Schweiz wurden Bäume geschneitelt. Die Schneitelung fand eher im offenen Land als im Wald statt. Aus praktischen Gründen wurden Schneitelbäume eher klein gehalten (Stuber and Bürgi, 2001). Über den Einsatz von Einzelbäumen zur Stabilisierung von Hängen wurde für die Schweiz jedoch keine Literatur gefunden. Auch wurde der Einfluss von geschneitelten Solitär-bäumen wissenschaftlich bisher nicht untersucht.

### 1.3 Fragestellung und Ziel dieser Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit oberflächennahen Rutschungen auf landwirtschaftlichem Kulturland. Dabei soll der Frage nachgegangen werden, welchen Einfluss Nutzungsaufgabe und Gehölze im Freiland auf die Hangstabilität ausüben.

Im Übergang vom gepflegten Landwirtschaftsland zum Wald treten verschiedene Stadien der Sukzession auf (Abbildung 1.4). Erstes Zeichen einer Nutzungsaufgabe von landwirtschaftlichen Flächen ist das Vorkommen von langem Altrgras. Mit der Zeit kommen junge Gehölze auf, die Fläche beginnt zu verbuschen. Die Gehölze werden älter und die Sukzession schreitet fort, das Gebiet verwaldet. Als Schlussvegetation bildet sich eine geschlossene Waldfläche (Fotos zur Illustration der einzelnen Sukzessionsstadien befinden sich zu Beginn des 4. Kapitels).

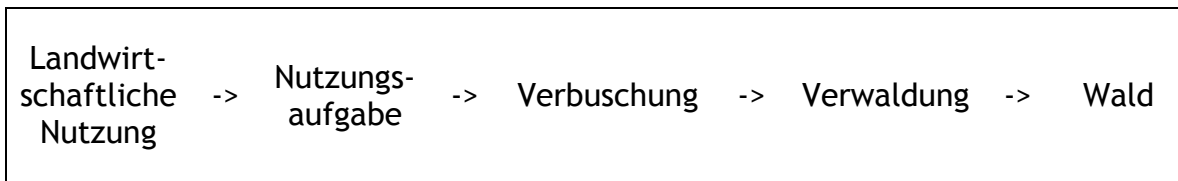


Abbildung 1.4: Sukzessionsstadien beim Übergang von landwirtschaftlich genutztem Land zum Wald.

In dieser Diplomarbeit werden die verschiedenen Sukzessionsstadien im Übergang vom gepflegten Landwirtschaftsland zum Wald bezüglich ihrem Einfluss auf die Hangstabilität untersucht. Es wird der Frage nachgegangen, ob eine Aufgabe der Nutzung zu vermehrten oberflächennahen Rutschungen führt. Ausserdem wird untersucht, ob bestimmte Sukzessionsstadien im Übergang vom gepflegten landwirtschaftlichen Kulturland zum Wald besonders instabil sind bezüglich Rutschungen.

Die Flächen mit Nutzungsaufgabe werden anhand ihrer Gehölzvegetation in Kategorien eingeteilt. Unterschieden wird zwischen jungen Nadelbäumen, jungen Laubbäumen (Verbuschung), sowie ausgewachsenen Nadelbäumen und ausgewachsenen Laubbäumen (Verwaldung). Damit kann zusätzlich eine Aussage gemacht werden über den unterschiedlichen Einfluss von Laub- und Nadelgehölzen auf die Hangstabilität bezüglich oberflächennaher Rutschungen.

Speziell betrachtet werden in dieser Arbeit ausserdem auch Gehölze auf landwirtschaftlich genutztem Gebiet, mit anderen Worten Gehölze, die nicht aufgrund Nutzungsaufgabe aufkamen. Dies sind hauptsächlich einzeln stehende Bäume und Gebüsche. Es wird der Frage nachgegangen, ob diese Gehölze einen stabilisierenden Effekt auf die Hänge ausüben. Ausserdem soll herausgefunden werden, ob diese einzeln stehenden Gehölze zufällig aufkamen, oder ob sie durch die Bauern gezielt zur Stabilisierung der Hänge gepflanzt wurden.

Auch bei den einzeln stehenden Gehölzen wird zwischen Laub- und Nadelbäumen unterschieden, um zusätzlich eine Aussage zu machen über deren unterschiedlichen Einfluss auf die Hangstabilität. Um herauszufinden, ob die einzeln stehenden Gehölze zufällig aufkamen oder von den Landwirten mit Absicht gepflanzt wurden, werden Interviews mit Bauern durchgeführt. Gleichzeitig soll mit den Interviews eine Aussage gemacht werden über die praktischen Erfahrungen der Landwirte über den Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität.

Der Beantwortung der hier gestellten Fragen kommt eine grosse Bedeutung zu, denn im Zusammenhang mit Rutschungen sind Vorbeugungsmassnahmen in jeden Fall kostengünstiger als Wiederherstellungsarbeiten (Rebetez, 2006). Eine nachhaltige Reduktion des Risikos oberflächennaher Rutschungen kann erreicht werden, indem man die wichtigsten beeinflussbaren Faktoren der Hangstabilität eruiert und Massnahmen daraus ableitet. So kann in gefährdeten Gebieten eine Stabilisierung erreicht werden. Diese Diplomarbeit zeigt auf, inwiefern sich eine Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung und Pflege und die damit verbundene Verbuschung und Verwaldung auf die Hangstabilität gegenüber oberflächennahen Rutschungen auswirkt. Erörtert wird insbesondere, ob es Hangsituationen gibt, bei denen eine Nutzungsaufgabe stabilisierend wirkt und deshalb Sinn macht und förderungswürdig ist, oder bei denen im Gegensatz dazu eine Nutzungsaufgabe ein verstärktes Risiko von oberflächennahen Rutschungen mit sich bringt und deshalb die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Pflege unterstützt werden sollte.

Aus der Untersuchung des Einflusses von einzeln stehenden Gehölzen soll deren Potential in künftigen Hangstabilisierungsprojekten abgeschätzt werden.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Einfluss von Gehölzen auf die Hangstabilität

Pflanzen werden seit langer Zeit eingesetzt, um Rutschungen vorzubeugen und Rutschflächen zu stabilisieren (Böll, 1997). In dieser Arbeit wird speziell auf die Wirkung von Gehölzpflanzen auf die Stabilität von Hängen bei Starkniederschlagsereignissen eingegangen.

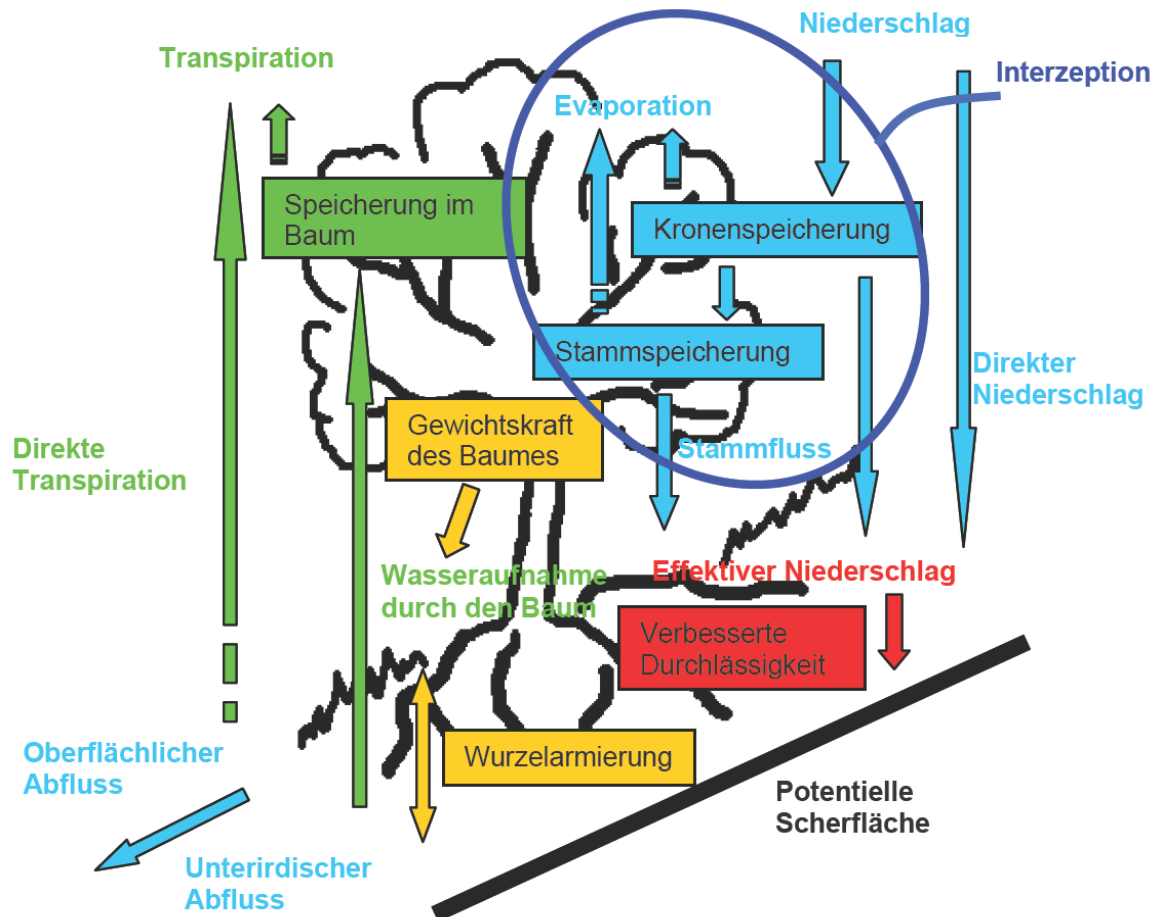


Abbildung 2.1: Interaktionen zwischen Gehölz und Hang während eines Starkniederschlagsereignisses. (Quelle: Wilkinson et al., 2002, verändert)

Gehölze beeinflussen die Hangstabilität über hydrologische Mechanismen (Interzeption, Wurzelwasseraufnahme und Evapotranspiration) und mechanische Effekte (Wechselwirkungen zwischen Wurzeln und Boden, Gewichtskraft des Baumes) (Abbildung 2.1 und Tabelle 2.1). Wichtig ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung von Gehölzen auf die Hangstabilität mit deren Dichte und Alter zunimmt (Schmidt et al., 2001).

### 2.1.1 Hydrologische Wirkungen von Gehölzen

Eine wichtige hydrologische Wirkung von Gehölzen auf die Hangstabilität ist die Interzeption. Bäume und Sträucher halten Niederschlagswasser auf ihrer Oberfläche zurück (Kronspeicherung und Stammspeicherung). Das so auf der Vegetation abgefangene Wasser verdunstet zum Teil. Der Rest gelangt mit einer zeitlichen Verzögerung via Stammabfluss oder Blatztropfen auf den Boden. Die effektive Niederschlagsmenge auf der Bodenoberfläche wird dadurch verkleinert und verzögert, die Wasserinfiltration in den Boden reduziert (Greenway, 1987, zitiert in Rickli, 2001). Aufgrund der Gehölze dauert es länger, bis der Porenwasserdruck im Boden eine kritische Schwelle überschreitet, bei der eine Rutschung ausgelöst werden kann (Sidle et al., 2006) (vgl. Tabelle 2.1).

Gehölze entziehen dem Boden auch aus tieferen Schichten Wasser und geben es über die Transpiration wieder an die Atmosphäre ab (McNaughton and Jarvis, 1983, zitiert in Sidle et al., 2006). Dadurch senken sie das Rutschungspotential aufgrund niedriger Ausgangsporenwasserdrücke (Lafolie et al., 1991) (vgl. Tabelle 2.1).

Wurzeln von Gehölzen verbessern die Wasserdurchlässigkeit in Böden (Sidle et al., 2006), indem sie einen Beitrag leisten zur Bildung von Makroporen. Dadurch bilden sich präferentielle Fließwege aus, die zu einem effektiven unterirdischen lateralen Abfluss beitragen können (Sidle et al., 2001). Solche Drainagewege werden insbesondere bei Starkniederschlagsereignissen bedeutend, wenn es darum geht, schnell viel Wasser abzuleiten, um eine Wassersättigung des Bodens zu verhindern (vgl. Tabelle 2.1).

Greenway (1987, zitiert in Rickli, 2001) zeigt aber auch, dass unter Gehölzen im Gegensatz zur Grasvegetation eine rauere Oberflächenstruktur des Bodens vorzufinden ist, die die Wasserinfiltration erhöht. Gras kann durch starken Regen auf den Boden gedrückt werden und so eine semi-permeable Barriere bilden, die eine Wasserinfiltration stark reduziert (Lamb and Premchitt, 1990, zitiert in: Wilkinson et al., 2002). Diese Tatsache erhöht das Risiko, dass wegen Gehölzen der Porenwasserdruck im Boden eine kritische Schwelle überschreitet und eine Rutschung ausgelöst wird. Eintreffen kann dies insbesondere dann, wenn das infiltrierte Wasser nicht via präferentielle Fließwege lateral abgeleitet wird (vgl. Tabelle 2.1).

### 2.1.2 Mechanische Wirkung von Gehölzen

Wurzeln von Gehölzen leisten aufgrund ihrer Armierungswirkung einen wichtigen Beitrag an die Scherfestigkeit der Böden. Gehölzwurzeln können auch schwächere Bodenschichten mit tieferen, stabileren verbinden und dabei die Scherfestigkeit des Oberbodens erhöhen (Wilkinson et al., 2002). Das Risiko oberflächennaher Rutschungen wird dadurch verkleinert, denn die höhere

Bodenfestigkeit im Oberboden verlagert die potentielle Scherfläche in tiefere Bodenschichten, was die Schwelle einer Rutschauslösung erhöht (Ekanayake and Phillips, 2002). Falls es aber dann doch zu einer Rutschung kommt, ist sie entsprechend grösser und tiefer (Sidle et al., 2006). Der Effekt der armierenden Wirkung von Wurzeln im Boden ist abhängig von der Pflanzenart sowie deren Alter (Bischetti et al., 2005) (vgl. Tabelle 2.1).

Tsukamoto und Kusabe (1984, zitiert in Rickli, 2001) beschreiben den grossen Einfluss des Bodenaufbaus auf die armierende Wirkung von Wurzeln im Hang (Abbildung 2.2).





		Beschreibung	Armierungseffekt
	Typ A  Boden Fels	Flächgründige Böden, durch Wurzelarmierung verstärkt. Darunter massiver, für Wurzeln undurchdringbarer Fels.	gering
	Typ B  Boden Fels	Ähnlich wie A, der Fels enthält jedoch Klüfte, die durchwurzelt werden können.	gross
	Typ C  Boden Übergangsschicht Fels	Mittel- bis tiefgründige Böden mit einer Übergangsschicht, in welcher die Lagerungsdichte und der Reibungswinkel grösser sind. Wurzeln, die in der Lage sind, diese Schicht zu durchdringen, erhöhen die Hangstabilität.	mässig
	Typ D  Boden Fels	Die Lockergesteinsschicht ist mächtiger als der Wurzelraum. Wurzeln können hydrologische Wirkungen ausüben, bewirken jedoch bezüglich tief verlaufenden Gleitflächen keine mechanische Armierung.	gering

Abbildung 2.2: Armierenden Wirkung von Gehölzwurzeln in Abhängigkeit vom Bodenaufbau. (nach Tsukamoto and Kusabe, 1984, zitiert in Rickli, 2001)

Die Gewichtskraft eines Baumes bewirkt je nach Situation eine Erhöhung der treibenden oder der rückhaltenden Kräfte (Greenway, 1987, zitiert in

Rickli, 2001), was sich negativ oder positiv auf die Hangstabilität auswirken kann (vgl. Tabelle 2.1).

Vegetation kann Windkräfte in den Boden übertragen, was die treibenden Kräfte erhöht (Greenway, 1987, zitiert in Rickli, 2001) und somit die Hangstabilität herabsetzt (vgl. Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Hydrologische und mechanische Wirkungen von Gehölzen, zusammengefasst. +:stabilisierende Wirkung; -:destabilisierende Wirkung.

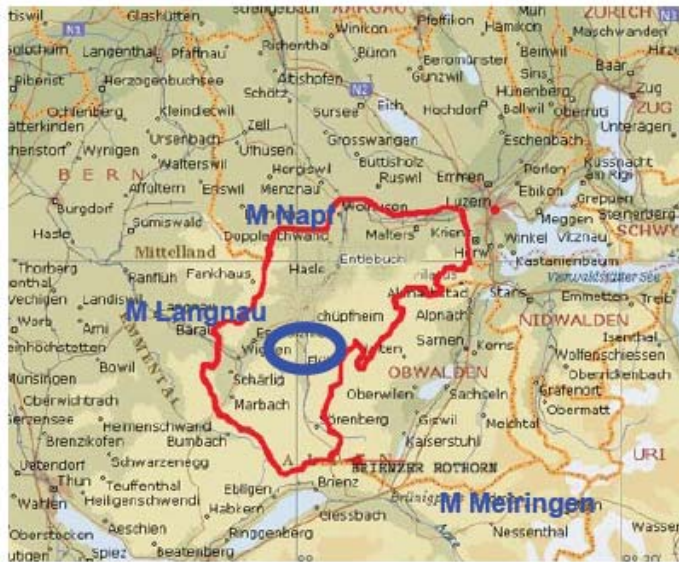
Hydrologische Wirkung	Effekt
<b>Interzeption</b>	+
• Verdunstung: reduziert Wassermenge, die den Boden erreicht	+
• Stammabfluss und Blatttropfen: zeitliche Verzögerung des Auftreffens von Wasser auf Boden	+
<b>Wasseraufnahme</b>	+
• Wasserentzug aus Boden: niedrigere Ausgangsporenwasserdrücke	+
<b>Evapotranspiration</b>	+
• Wasserentzug aus Boden und Abgabe an Atmosphäre: niedrigere Ausgangsporenwasserdrücke	+
<b>Wasserdurchlässigkeit des Bodens (Wurzeln bilden Makroporen und präferentielle Fließwege)</b>	+/-
• Wasser infiltriert schnell:	
wenn unterirdisch abgeleitet, niedrigere Porenwasserdrücke	+
wenn unterirdisch nicht abgeleitet, höhere Porenwasserdrücke	-
Mechanische Wirkung	
<b>Armierungswirkung der Wurzeln im Boden</b>	+/-
• Erhöhung der Kohäsionskraft des Bodens	+
• Verbinden von Bodenschichten	+
• Verlagerung der potentiellen Scherfläche in die Tiefe, erhöhte Schwelle der Rutschauslösung, ausgelöste Rutschung dafür von grösserem Ausmass	+/-
<b>Gewichtskraft des Baumes</b>	+/-
• Treibende Kräfte, Gewichtskraft des Baumes unterstützt Rutschung	-
• Rückhaltende Kräfte, Gewichtskraft des Baumes verhindert Rutschung	+
<b>Übertragung von Windkräften</b>	-
• Erhöht treibende Kräfte, unterstützt Rutschung	-



## 2.2 Charakterisierung des Untersuchungsgebietes

### 2.2.1 Untersuchungsgebiet Flüfli

Die Region Entebuch liegt im Voralpengebiet des Kantons Luzern (Abbildung 2.3). Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Waldemmental, einem Seitental des Entlebuch (Abbildungen 2.3 und 2.4). Es umfasst eine Fläche von 506 Hektaren.



- Amt Entlebuch
- Lage des Untersuchungsgebietes Flüfli
- M Messstation MeteoSchweiz (vgl. Abschnitt 2.2.2)

Abbildung 2.3: Lage des Untersuchungsgebietes Flüfli im Entlebuch. (Quelle: <http://lrg.ethz.ch>, verändert)

Untersuchungsgebiet Flüfli

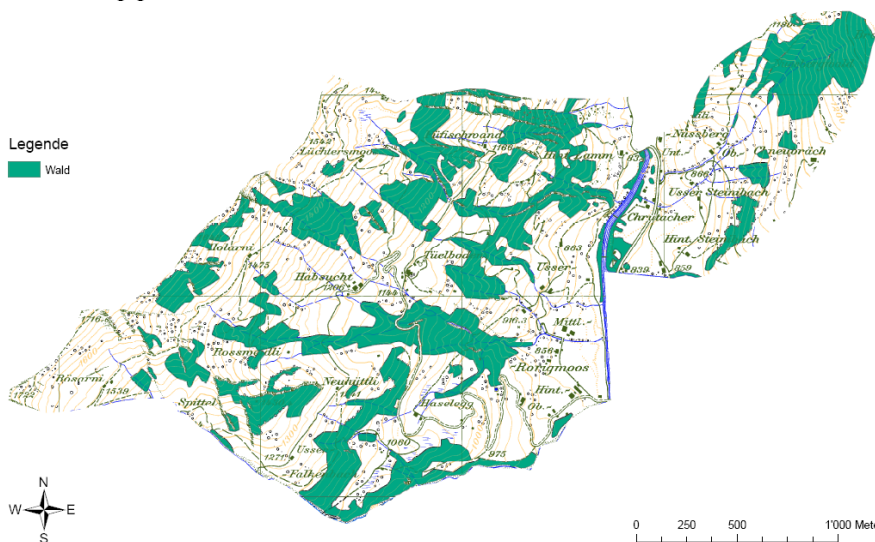


Abbildung 2.4: Untersuchungsgebiet Flüfli.

### 2.2.2 Klima

In Flüfli gibt es durchschnittliche Jahresniederschläge von 1725mm (Abbildung 2.5). Dies ist eine eher grosse Menge (vgl. Zürich-Reckenholz: 1042mm) und ist auf die Lage von Flüfli in den Voralpen zurückzuführen (Daten: MeteoSchweiz).

Die Messstation Flüfli nimmt keine Temperaturdaten auf. Abbildung 2.6 stellt das Monatsmittel der Temperatur von den drei umliegenden Messstationen Napf, Langnau und Meiringen im Jahresverlauf dar. Die Position der Messstationen ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

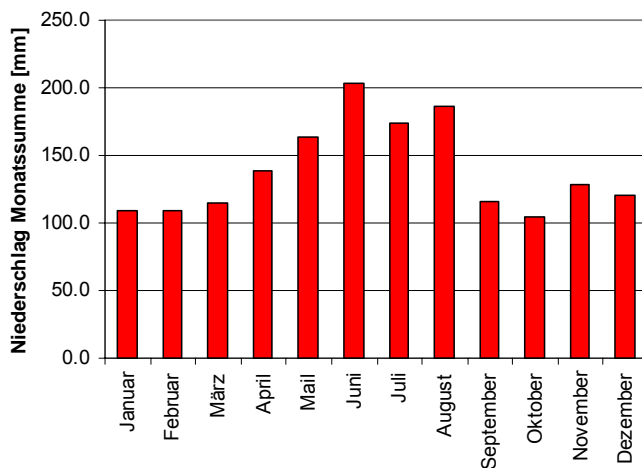


Abbildung 2.5: Niederschlag Monatssumme in Flüfli, Normwerte. (Quelle: MeteoSchweiz)

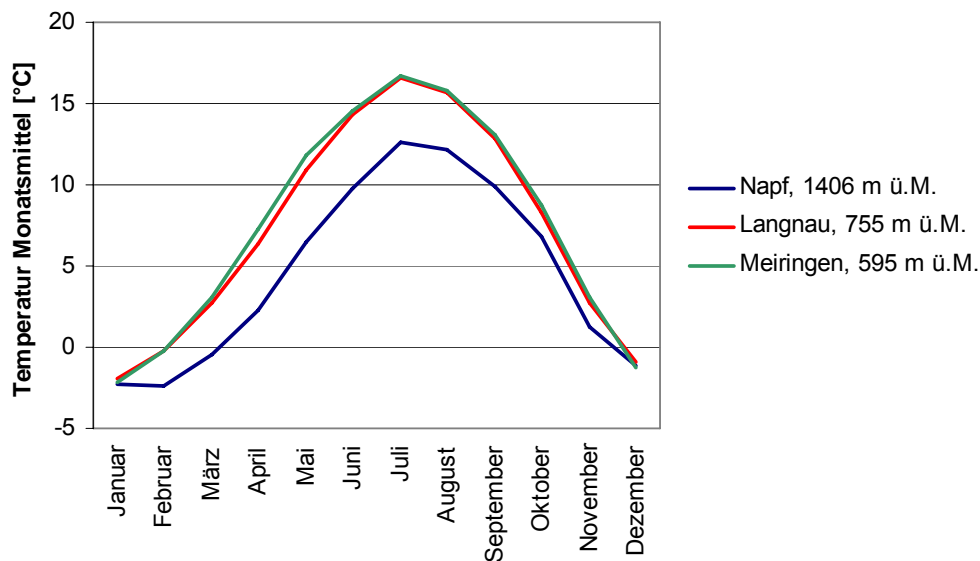


Abbildung 2.6: Temperatur Monatsmittel von umliegenden Messstationen, Normwerte. (Quelle: MeteoSchweiz)

### 2.2.3 Geologie

Im Untersuchungsgebiet befinden sich die klassischen Molasseschichten: Untere Meeresmolasse bei Flühli und Untere Süsswassermolasse an der Beichlen. Die Molasseschichten bestehen aus Sandstein, Mergel und Nagelfluh. Vor etwa 25 bis 15 Millionen Jahren wurden sie von der Alpenfaltung erfasst, verfaultet und steil gestellt. Während der letzten grossen Vereisung war auch das Entlebuch von Eis bedeckt. Der grösste Gletscher hatte sein Einzugsgebiet in der Region von Sörenberg. Er floss bei Flühli vorbei, zwängte sich durch die Talverengung zwischen Beichlen und Farneren und breitete sich im Haupttal des Entlebachs aus. Die Eismassen hinterliessen im Untersuchungsgebiet an beiden Talflanken Moränenwälle (Schluenegger, 2006).

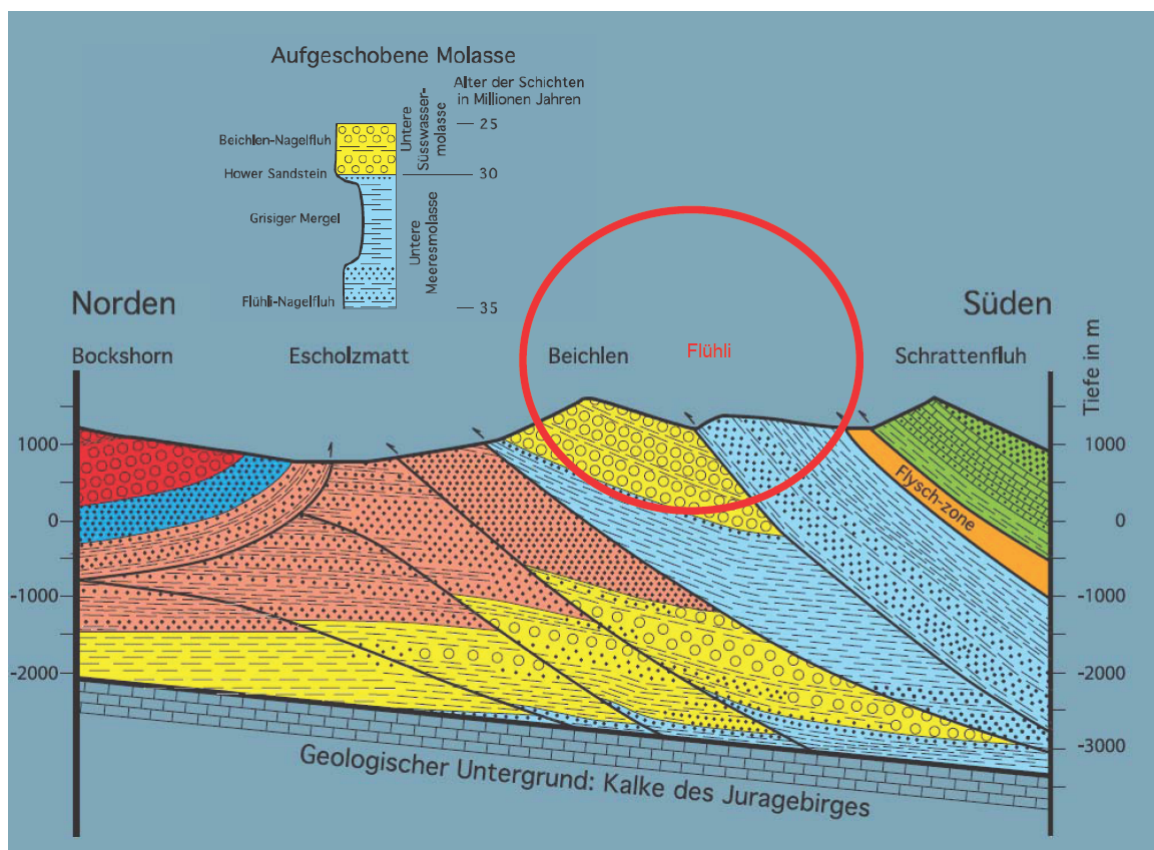


Abbildung 2.7: Aufgeschobene Molasse im Untersuchungsgebiet. Im Untersuchungsgebiet (rot eingekreist) dominieren die Beichlen-Nagelfluh, Hower Sandstein, Grisiger Mergel und Flühli-Nagelfluh. (Quelle: Schluenegger, 2006)

Keine Region am schweizerischen Alpennordhang ist heute geologisch so intensiv in Bewegung wie das Entlebuch. Die Abtragung der steilen Bergflanken ist in vollem Gange. Im Juni 1980 ereignete gleich neben der Grenze des Untersuchungsgebietes als Folge von lang andauernden und starken Regenfällen ein Bergsturz. Zwischen den Alpen Spittel und Schwarzenberg lösten sich auf einer stark durchnässten Mergelschicht ein mächtiger Schuttstrom und ergoss sich bis nach Falkenbach. Rund eine Million Kubikmeter Erd- und

Gesteinsmassen bewegten sich Richtung Hellschwandbach und weiter Richtung Rohrigmoos und Schintmoos (Küng, 2000).

#### 2.2.4 Boden

An den Hängen der Beichlen dominieren in der subalpinen Stufe Podsole oder Braunerde-Podsole, in Begleitung von Braunerden, Rohböden, Ranker, Pararendzinen, Rendzinen und hydromorphen Böden. Im Talboden der Waldemme und an den Hängen des Brandchnubels dominieren Rendzinen und Lehmrendzinen in Begleitung von Rohhumus-Rendzinen, Rohböden, Ranker, Pararendzinen, Braunerden, Podsolen und hydromorphen Böden (Ganssen and Hädrich, 1965). Leider konnten im Rahmen dieser Arbeit keine neueren Quellen gefunden werden.

#### 2.2.5 Nutzung

Im Gemeindegebiet Flühli-Sörenberg entfallen 17% der Bodennutzung auf Mähwiesen, 31% auf Wald und 38% auf Weide. 14% sind unproduktiv ([www.fluehli.ch](http://www.fluehli.ch) 27.11.2006).

Im Untersuchungsgebiet sieht die Verteilung etwas anders aus. 23% der Bodennutzung sind Mähwiesen, 28% Wald und 42% Weide. 6% werden nicht genutzt (Vgl. Abbildung 4.12).

Im Vergleich mit der gesamten Schweiz gibt es den grundlegenden Unterschied, dass in Flühli kein Ackerbau betrieben wird. Ansonsten sind die Prozentzahlen vergleichbar, obwohl das BFS leider nicht wie in dieser Arbeit zwischen Mähwiesen und Weideflächen unterscheidet und demnach die Zahlen nicht direkt verglichen werden können. Im Jahr 2003 umfasst die landwirtschaftliche Nutzfläche der Schweiz 1 350 703 ha (BFS, 2005). Die Waldfläche beträgt 1 186 000 ha (BFS, 2006). Von der Gesamtfläche an Wald und landwirtschaftliche Nutzfläche sind 47% Wald (BFS, 2006), 5% Kunstwiese und 25% Naturwiesen und Weiden, die restlichen 33% entfallen auf den Ackerbau (BFS, 2005).

#### 2.2.6 Neigungsverhältnisse

Die durchschnittliche Neigung des Untersuchungsgebietes Flühli beträgt 23.2°. Die Waldgebiete (27.6°) sind durchschnittlich steiler als die Freilandgebiete (21.6°). Die Neigung der Mähwiesen beträgt durchschnittlich 15.9°, diejenige der Weideflächen 26.0°. Flächen mit Nutzungsaufgabe liegen im gleichen Bereich wie das gesamte Untersuchungsgebiet, mit einer durchschnittlichen Neigung von 23.2° (Daten berechnet in einem geographischen Informationssystem, GIS, vgl. Kapitel 4.3.1).

### 2.3 Starkniederschläge 19. bis 23. August 2005

Die Ausführungen in diesem Kapitel stammen von MeteoSchweiz (2006).

Verantwortlich für die starken Niederschläge vom 19. bis 23. August 2005 war folgende Wetterentwicklung: Ein Tiefdruckgebiet aus dem Raum Frankreich dehnte sich zum Golf von Genua aus und zog von dort weiter über die östlichen Alpen nach Norden. Dabei wurden feuchtwarme Luftmassen aus dem Mittelmeerraum über die Alpen verfrachtet und mit nordöstlichen Winden zum Alpennordhang zurückgeführt und dort gestaut.

Einmalig ist, dass fast am gesamten Alpennordhang flächig innerhalb von 48 Stunden mehr als 100 Liter pro  $m^2$  gefallen sind. In Flühli wurde allein am 22. August 2005 eine Tagessumme von  $112.9 \text{ l/m}^2$  gemessen (Abbildung 2.8). Seit Beginn der Messungen 1901 wurde diese Regenmenge nur einmal (1912) überboten. In den drei Tagen vom 19. August bis und mit dem 22. August 2005 wurde in Flühli eine gesamte Regenmenge von  $255.1 \text{ l/m}^2$  gemessen, dies ist mehr als der Normwert für die durchschnittliche Niederschlagsmenge im gesamten Monat August (vgl. Abbildung 2.8 und Abbildung 2.9). Bereits vor diesem Starkniederschlagsereignis war der August relativ regenreich. Vom ersten bis und mit 18. August gab es in Flühli 13 Regentage, in denen eine Gesamtmenge von  $137.6 \text{ l/m}^2$  Regen fiel (Abbildung 2.8). Die Böden waren dementsprechend schon ziemlich wassergesättigt. Gesamthaft fiel im August eine Regenmenge von  $400 \text{ l/m}^2$  (Abbildung 2.9). Dies ist mehr als doppelt so viel wie in durchschnittlichen Jahren.

Im Vergleich zur übrigen Schweiz sind im Entlebuch während diesem Starkniederschlags sehr grosse Regenmengen gefallen (Abbildung 2.10).

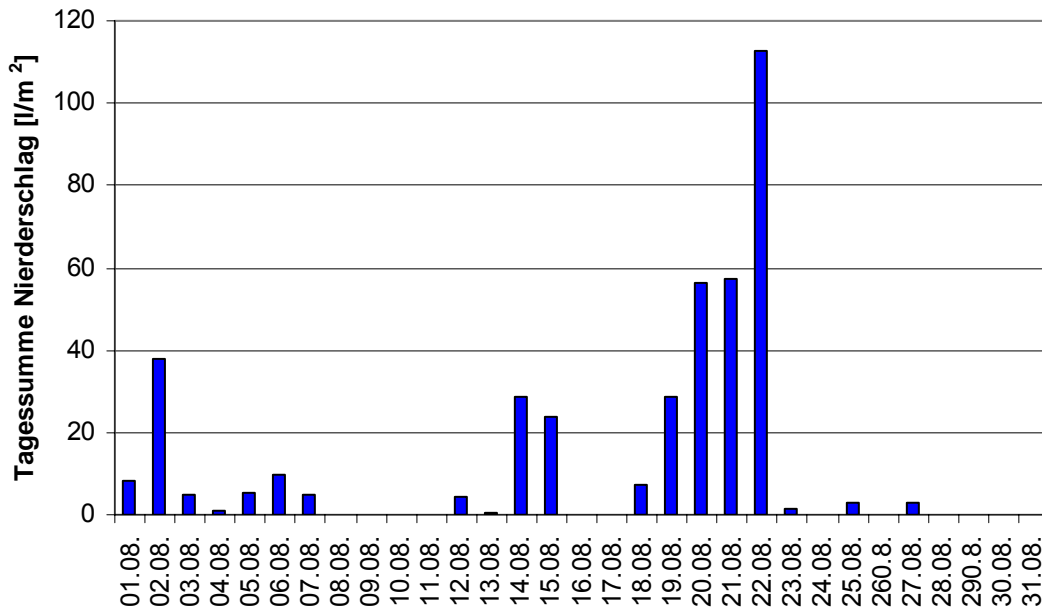


Abbildung 2.8: Niederschlagsverteilung Tagessumme in Flüeli im August 2005. (Quelle: MeteoSchweiz)

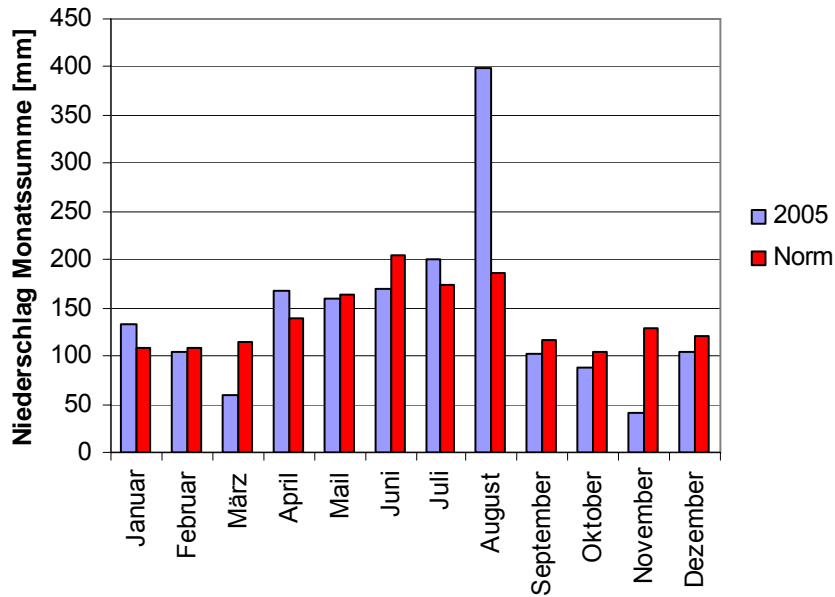
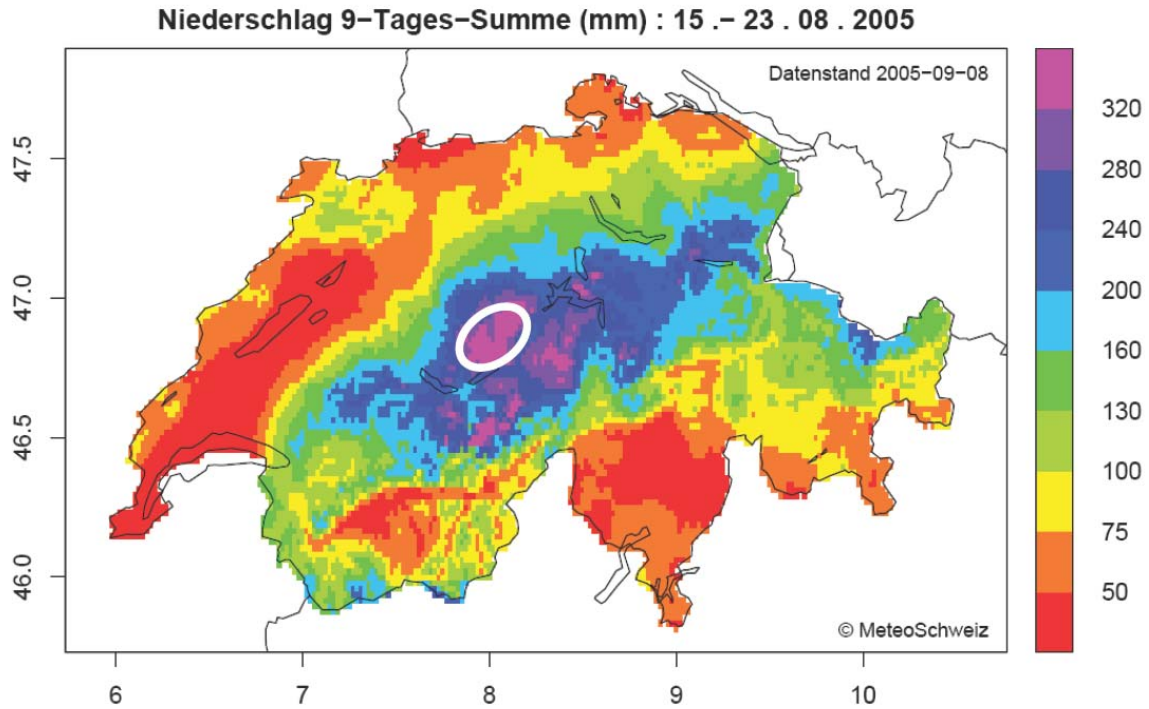


Abbildung 2.9: Niederschlag Monatssumme in Flüeli, die Werte von 2005 im Vergleich mit den Normwerten. (Quelle: MeteoSchweiz)



**Abbildung 2.10:** Niederschlagssumme (in  $l/m^2$ ) für die 9 Tage 15. - 23. August 2005. Exakte Periode: 15.8. 8:00 bis 24.8. 8:00. Die Analyse wurde aus Messungen an 372 Stationen der MeteoSchweiz und 42 IMIS-Stationen des SLF gerechnet (Datenstand 8.9.05). Der Kreis markiert die Region Entlebuch. (Quelle: [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch) (8.9.2005))





## 3 Material und Methoden

### 3.1 Vorgehen

Für die Beantwortung der in der Einleitung gestellten Fragen musste ein speziell dafür angepasstes Vorgehen gewählt werden (Tabelle 3.1). Genauere Erläuterungen zu den einzelnen Methoden folgen in den Abschnitten 3.2 bis 3.9.

Zu Beginn der Untersuchungen mussten Informationen über die auf landwirtschaftlichem Kulturland feststellbaren Anzeichen von Nutzungsaufgabe sowie das Vorkommen von Gehölzen erhoben werden. Dazu wurde im Feld die Vegetation folgendermassen kartiert: Baum- und Strauchvegetation (Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelbäumen sowie zwischen Junggehölzen (Verbuschung), ausgewachsenen Gehölzen (Verwaldung) und ausgewachsenen Einzelgehölzen), Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe (ohne Gehölzaufkommen), Flächen mit Nutzungsaufgabe (mit Gehölzaufkommen), Weideflächen und Mähwiesen (Schritt 1 in Tabelle 3.1).

Mittels Interviews mit Landwirten aus dem Untersuchungsgebiet wurden Informationen zusammengetragen über die praktische Erfahrung der Landwirte im Zusammenhang mit dem Effekt von Nutzungsaufgabe und Gehölzen auf die Hangstabilität. Es wurde der Frage nachgegangen, ob auch gezielt Bäume zur Stabilisierung der Hänge gepflanzt wurden.

In einem GIS (Geographisches Informationssystem) wurden anschliessend die Rutschungen, die sich während dem Starkniederschlagsereignis vom 19.-23. August 2005 im Untersuchungsgebiet Flühli ereigneten, den kartierten Flächenkategorien zugeordnet. Dazu wurden die Kartierungskarten im GIS digitalisiert und georeferenziert (Schritt 2 in Tabelle 3.1).

Anschliessend wurden die Daten ausgewertet. Dazu wurde zu Beginn die Rutschaktivität (Anzahl Rutschungen pro Flächeneinheit:  $R/ha$ ) in den einzelnen Flächenkategorien berechnet (Schritt 3 in Tabelle 3.1). Für jede Flächenkategorie wurde einerseits die Fläche [ha] berechnet und andererseits die Anzahl Rutschungen [R] ausgezählt, um daraus die Rutschaktivität [ $R/ha$ ] zu errechnen. Ein Vergleich der Rutschaktivitäten [ $R/ha$ ] der einzelnen Flächenkategorien erlaubt es, eine Aussage darüber zu machen, in welchen Flächenkategorien sich im Vergleich zur durchschnittlichen Rutschaktivität des gesamten Untersuchungsgebietes verhältnismässig mehr oder weniger Rutschungen ereignet haben. Dieser Vergleich ist ohne die Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren der Hangstabilität wenig aussagekräftig. Deshalb wurde der Entstehungsort der Rutschungen genauer angeschaut. Berücksichtigt wurden dabei die Neigung, die Geländeform sowie das Fest- und Lockergestein am Entstehungsort der Rutschungen (Schritt 3 in Tabelle 3.1). Im Folgenden wird die Untersuchung dieser drei Einflussfaktoren kurz erläutert.

Tabelle 3.1: Vorgehen bei der Untersuchung des Einflusses von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität.

Schritt 1: Feldarbeit	
	<p>Kartierung der Gehölzvorkommen auf dem Freiland.</p> <p>Kartierung der Nutzung des Freilandes.</p> <p>Interviews mit Landwirten aus dem Untersuchungsgebiet</p>
Schritt 2: Flächenzuteilung im GIS	
	<p>Zuordnung der während der Starkniederschläge im August 2005 entstandenen Rutschungen zu den Flächenkategorien</p>
Schritt 3: Auswertung	
	Rutschaktivität
	<p>Bestimmen der Rutschaktivität (Anzahl Rutschungen pro Flächeneinheit: R/ha) in den einzelnen Flächenkategorien. Die Rutschaktivität zeigt auf, wie viele Rutschungen sich pro Flächeneinheit der einzelnen Flächenkategorien ereignet haben und erlaubt einen Vergleich zwischen den einzelnen Flächenkategorien.</p>
	Entstehungsort der Rutschungen
	<p>Weitere Faktoren der Hangstabilität werden in die Auswertung mit einbezogen:</p> <p>Neigung: Für jede Flächenkategorie wird untersucht, wie stark die Neigung auf die Rutschaktivität wirkt.</p> <p>Geländeform: Für jede Flächenkategorie wird untersucht, ob bestimmte Geländeformen besonders rutschanfällig sind und daher die Rutschaktivität beeinflussen.</p> <p>Festgestein und Lockergestein: Für jede Flächenkategorie wird untersucht, ob gewisse Arten von Fest- und Lockergestein besonders stark von Rutschungen betroffen sind und daher die Rutschaktivität beeinflussen.</p>
	Ausmass der Rutschungen
	<p>Der Einfluss von Nutzungs- und Gehölzkategorien auf das Ausmass der Rutschungen wird untersucht.</p>
	Interviews
	<p>Verarbeitung der Interviews</p>

Neigung: Um einen Eindruck zu erhalten, wie steil die Flächenkategorien sind und wie stark sie sich diesbezüglich voneinander unterscheiden, wurde einerseits die neigungsabhängige Flächenverteilung der einzelnen Flächenkategorien angeschaut. Andererseits wurde untersucht, wie stark sich die

Neigung in den einzelnen Flächenkategorien auf die Rutschaktivität auswirkt, um sie diesbezüglich miteinander vergleichen zu können. Dies erlaubt eine Abschätzung, inwiefern die Rutschaktivitäten durch die Neigung und inwiefern durch die Nutzung bzw. die Gehölze beeinflusst werden.

**Geländeform:** Um eine Aussage darüber zu machen, ob im Untersuchungsgebiet an gewissen Geländeformen vermehrt Rutschungen auftraten und die Geländeform daher eine wichtige Rolle spielt bei der Auslösung einer Rutschung, wurde für jede Geländeform die Anzahl Rutschungen ausgezählt. Dies erlaubt eine Abschätzung, inwiefern die Rutschaktivitäten durch die Geländeform und inwiefern durch die Nutzung bzw. die Gehölze beeinflusst werden.

**Festgestein und Lockergestein:** Um den Einfluss des Untergrundes auf die Rutschaktivität zu bestimmen, wurde für jede Art von Untergrund die Anzahl Rutschungen ausgezählt. Dies erlaubt eine Abschätzung, inwiefern die Rutschaktivitäten durch den Untergrund und inwiefern durch die Nutzung bzw. die Gehölze beeinflusst werden.

Zusätzlich wurde der Einfluss von Nutzungs- und Gehölzkategorien auf das Ausmass der Rutschungen untersucht (Schritt 3 in Tabelle 3.1). Dabei wurden für jede Flächenkategorie die mittleren Werte für die Länge, die Breite, die Mächtigkeit und das Volumen der Rutschungen berechnet. Anschliessend wurden die Flächenkategorien bezüglich dem Ausmass der Rutschungen verglichen. Zusätzlich wurde auch die Neigung als Einflussfaktor auf das Ausmass von Rutschungen mit einbezogen. Dadurch lässt sich eine Aussage machen, inwiefern die Nutzungsart oder das Gehölzvorkommen einen Einfluss haben auf das Ausmass der Rutschungen.

Die durchgeführten Interviews wurden transkribiert und verarbeitet.

### *3.2 Grundlagedaten*

Neben der Kartierung im Untersuchungsgebiet konnten die bei den Rutschungen erhobenen Daten der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL verwendet werden. Bei den Rutschungen handelt es sich ausschliesslich um jene, die sich während dem Starkniederschlagsereignis vom 19.-23. August 2005 ereignet haben. Das für die Datenerhebung bei den Rutschungen verwendete Aufnahmeformular mit Anleitung und Kommentaren ist auch in Rickli et al. (2003) zu finden.

Neben den Felddaten wurden für das Untersuchungsgebiet flächenhafte Daten verwendet und in einem geographischen Informationssystem bearbeitet:

- Pixelkarte 1:25'000 der Landestopographie Schweiz, GEOLIB WSL.

- Digitales Höhenmodell DHM 25 (25m - Raster) der Landestopographie Schweiz, GEOLIB WSL.

### 3.3 Kartierungen von Gehölzen und Nutzung

Die schweizerische Landeskarte 1:25 000, Ausgabe 2001, diente als Grundlagenkarte für die Kartierungen. Diese Karte bestimmt, was als Waldfläche bzw. als Freilandfläche angenommen wurde. Die Freilandfläche wurde kartiert, die Waldfläche unberücksichtigt gelassen.

Tabelle 3.2: Definition der Flächenkategorien für die Kartierung.

---

#### Nutzungskategorien

---

- *Mähwiese*: Mähwiese, nur im Frühjahr und Herbst beweidet.
- *Weidefläche*: Ganzjährige Weide.
- *Anzeichen der Nutzungsaufgabe*: Vorkommen von Altgras, Anrissstellen, Baumkeimlingen. Ohne Junggehölze.
- *Nutzungsaufgabe*: Flächen, die ganz eindeutig nicht mehr genutzt werden (Verbuschung, Verwaldung). Unterscheiden sich von Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe durch das Aufkommen von Gehölzen.

---

#### Gehölzkategorien

---

- *Buschnadel (Verbuschung mit Nadelgehölzen)*: Vorkommen von jungen Nadelgehölzen, mindestens 20 cm hoch, mindestens 3 Stück pro Are.
  - *Buschlaub (Verbuschung mit Laubgehölzen)*: Vorkommen von jungen Laubgehölzen, mindestens 20 cm hoch, mindestens 3 Stück pro Are.
  - *Waldnadel (Verwaldung mit Nadelgehölzen)*: Vorkommen von ausgewachsenen Nadelbäumen, mindestens 10 m hoch, neue Waldfläche oder Hecke.
  - *Waldlaub (Verwaldung mit Laubgehölzen)*: Vorkommen von ausgewachsenen Laubgehölzen, mindestens 10m (Laubbaum) bzw. 2m (Strauch) hoch, neue Waldfläche oder Hecke.
  - *Einzelnadel (Einzel stehendes Nadelgehölz)*: Ausgewachsenes Nadelgehölz, mindestens 10m hoch, das frei auf einer Fläche steht und weder zu einer Waldfläche noch zu einer Hecke gehört.
  - *Einzellaub (Einzel stehendes Laubgehölz)*: Ausgewachsenes Laubgehölz, mindestens 10m (Laubbaum) bzw. 2m (Strauch) hoch, das frei auf einer Fläche steht und weder zu einer Waldfläche noch zu einer Hecke gehört.
- 

Einerseits war es ein Anliegen, auch jüngste Verwaldungen, also neu entstandene Waldflächen, kartieren zu können. Daher war es notwendig, eine Karte älteren Datums als Kartierungsgrundlage zu wählen. Andererseits durfte die Karte nicht zu alt sein, um nur die jüngsten Veränderungen des Freilandes zu erfassen, aber auch, um die Orientierung bei der Kartierung nicht zu schwierig zu machen. Die Wahl der schweizerischen Landeskarte 1:25 000,

Ausgabe 2001, erschien dabei als sinnvoller Kompromiss zwischen diesen Ansprüchen.

Die Kartierungen wurden während 4 Tagen vom 16. - 20. Oktober 2006 während Begehungen im Untersuchungsgebiet aufgrund sichtbarer Merkmale durchgeführt. Die Kartierung wurde gemäss Flächenkategorien, die in Tabelle 3.2 definiert werden, ausgeführt. In Kapitel 4 werden Fotos gezeigt (Abbildungen 4.1 bis 4.5), die für die verschiedenen Gehölkategorien je ein Beispiel aus dem Untersuchungsgebiet darstellen.

### *3.4 Zuordnung der Rutschungen zu den Flächenkategorien*

Die Zuteilung der Rutschungen, die sich während des Starkniederschlagsereignisses vom 19.-23. August 2005 ereigneten, zu den Flächenkategorien erfolgte im ArcGIS. Dazu ist zu beachten, dass sowohl die von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL mit GPS gemessene Position, als auch die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Kartierungen mit einem Fehler behaftet sein können.

Unberücksichtigt bleiben bei der Datenverarbeitung im GIS spezielle Situationen, Besonderheiten im Zusammenhang mit dem Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland und der Hangstabilität, die bei der Begehung im Feld aber sofort auffallen. Damit solche Fälle auch in die Arbeit mit einbezogen werden können, werden einige Beispiele in Kapitel 4 (Abbildungen 4.7 bis 4.10) gezeigt.

Alle Fotos wurden mit einer digitalen Fotokamera von Sony (DSC-W30) im Untersuchungsgebiet Flüfli gemacht.

### *3.5 Berechnung der Rutschaktivität*

Die Kartierungen wurden in einem GIS digitalisiert und die Flächen der einzelnen Flächenkategorien sowie des Waldes berechnet. Schwierigkeiten bereitete die Flächenberechnung für die einzeln stehenden Gehölze. Es ist schwierig zu sagen, wie weit die Wirkung von einzeln stehenden Gehölzen reicht. Bezüglich Hangstabilität ist es mit grosser Wahrscheinlichkeit der Wurzelraum von Gehölzen, der diesen Einflussbereich bestimmt. Da die Fläche, die der Wurzelraum von einzelnen Bäumen einnimmt, nicht leicht abschätzbar ist, musste eine Annahme getroffen werden. Für jedes einzeln stehende Gehölz wurde eine Fläche angenommen, die ungefähr der Fläche des Kreises des Kartensymbols für Einzelbäume entspricht. Die Fläche des Kartensymbols für Einzelbäume beträgt ungefähr  $100\text{m}^2$ . Es wird von der Annahme ausgegangen, dass dies dem Einflussbereich des Wurzelraumes von Einzelbäumen entspricht. Abbildung 4.8 stellt beispielhaft dar, dass bei einer Fichte die Fläche des Wurzelraumes bedeutend grösser ist als die Fläche des Kronenraumes. Der Radius des Wurzelraumes beträgt zwischen 5 und 6 Metern (Abbildung 4.8).

Allerdings müssen Resultate, die auf dieser Annahme basieren, kritisch betrachtet werden.

Zusätzlich wurden im GIS die Gehölzkategorien mit den Nutzungskategorien in Verbindung gesetzt, um genauere Informationen darüber zu erhalten, auf welchen Nutzflächen welche Gehölze vorkommen. Dabei wurden Kategorien gemäss Tabelle 3.3 gebildet. Auch von diesen Kategorien wurde die Fläche berechnet.

Tabelle 3.3: Flächekategorien, die aus der Verbindung von Gehölzkategorien und Nutzungskategorien entstanden.

---

#### Zusätzliche Flächenkategorien für eine detailliertere Betrachtung

---

- *Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Mähwiese.*
- *Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Weidefläche.*
- *Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*
- *Verbuschung mit Laubgehölzen auf Mähwiese.*
- *Verbuschung mit Laubgehölzen auf Weidefläche.*
- *Verbuschung mit Laubgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*
- *Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Mähwiese.*
- *Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Weidefläche.*
- *Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*
- *Verwaldung mit Laubgehölzen auf Mähwiese.*
- *Verwaldung mit Laubgehölzen auf Weidefläche.*
- *Verwaldung mit Laubgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*
- *Einzelstehendes Nadelgehölz auf Mähwiese.*
- *Einzelstehendes Nadelgehölz auf Weidefläche.*
- *Einzelstehendes Nadelgehölz auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*
- *Einzelstehendes Laubgehölz auf Mähwiese.*
- *Einzelstehendes Laubgehölz auf Weidefläche.*
- *Einzelstehendes Laubgehölz auf Flächen mit Nutzungsaufgabe.*

---

Für jede Flächenkategorie (Tabelle 3.1 und 3.2) wurde im GIS die Anzahl Rutschungen gezählt und daraus die jeweilige Rutschaktivität (Anzahl Rutschungen pro Hektare [R/ha]) berechnet. Ein Vergleich der Rutschaktivitäten der verschiedenen Flächenkategorien wurde damit möglich gemacht. Eine statistische Auswertung im klassischen Sinne ist leider nicht möglich, da die Stichprobenzahl zu gering ist. Die hier verwendete Methode stammt von Rickli (2001, 2003). Mit der Methode kann ausgesagt werden, in welchen Flächenkategorien sich im Vergleich zur durchschnittlichen

Rutschaktivität des Untersuchungsgebietes mehr oder weniger Rutschungen ereignet haben. Diese Aussage basiert nicht auf statistischer Signifikanz, sondern muss als unsicherer Trend betrachtet werden.

### *3.6 Abschätzung des Einflusses vom Entstehungsort der Rutschungen*

Neben dem Einfluss der Vegetation ist für die Hangstabilität der Entstehungsort der Rutschungen von Bedeutung. Faktoren wie Neigung und Geländemorphologie spielen dabei eine entscheidende Rolle (vgl. Baeza and Corominas, 2001). Von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL wird ausserdem der Einfluss von Fest- und Lockergestein als wichtig erachtet.

#### 3.6.1 Neigung

Das Untersuchungsgebiet Flühli wird im GIS in Hangneigungsklassen eingeteilt: 0-2°, 2-4°, ... , 46-48°, 48-50°. Für jede Hangneigungsklasse wurden mit einem GIS für den Wald und das Freiland sowie für die Nutz- und Gehölzkategorien die Fläche [ha] bestimmt. Die Rutschungen wurden mittels der von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL gemessenen Rutschneigung den Hangneigungsklassen und deren Flächen zugeordnet. Für jede Hangneigungskategorie konnte so die Anzahl Rutschungen [R] ausgezählt werden. Daraus wurde die Rutschaktivität [R/ha] berechnet. Damit kann aufgezeigt werden, wie steil die einzelnen Flächenkategorien durchschnittlich sind und wie unterschiedlich in den einzelnen Flächenkategorien die neigungsabhängige Flächenverteilung aussieht. Ausserdem erkennt man in den einzelnen Flächenkategorien den Einfluss der Neigung auf die Rutschaktivität. Damit lässt sich abschätzen, inwiefern die Rutschaktivitäten der einzelnen Flächenkategorien auf die Neigung und inwiefern auf die Nutzung bzw. die Gehölze zurückzuführen sind. Eine statistische Auswertung im klassischen Sinne ist leider nicht möglich, da die Stichprobenzahl zu gering ist, aber es lässt sich durchaus eine Aussage über einen sichtbaren Trend machen. Die hier verwendete Methode stammt von Rickli (2001, 2003).

Es muss festgehalten werden, dass die mit dem DHM25 ermittelten Neigungen bei den Rutschungen im Durchschnitt markant tiefer waren als die im Gelände gemessenen Werte (Abbildung 3.1). Gründe dafür sind das kleinräumige Relief, das im digitalen Höhenmodell zu ungenau erfasst wird, die Position der Rutschungen, die mit Fehlern behaftet sein kann, sowie die Rasterweite des digitalen Höhenmodells und die damit zusammenhängenden Interpolationseffekte (Rickli et al., 2003).

Aus diesen Gründen müssen auch die Flächenanteile pro Hangneigungsklasse, die mit ArcGIS berechnet wurden, mit Vorsicht interpretiert werden.

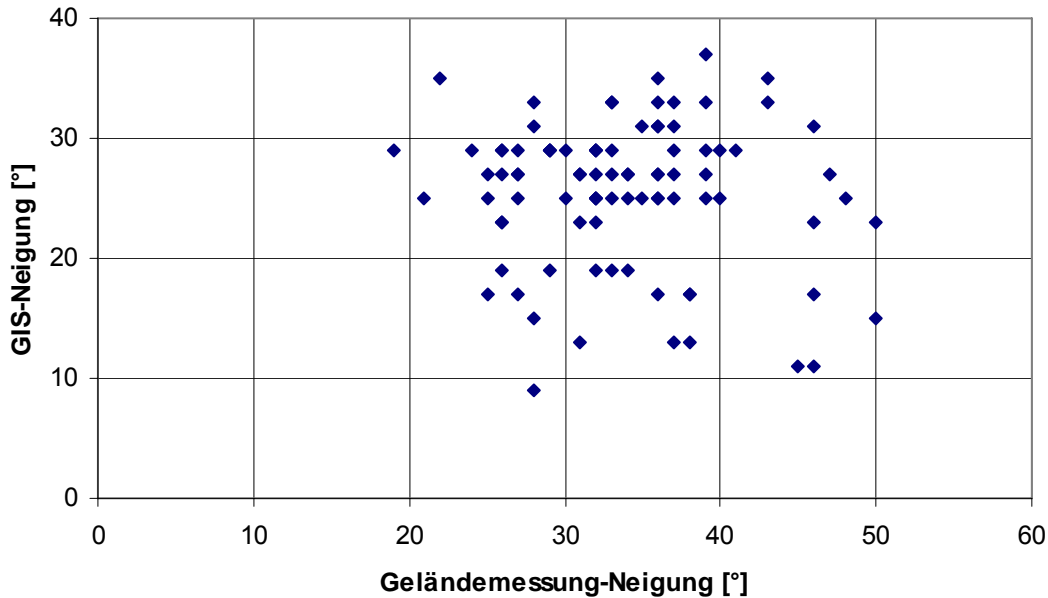


Abbildung 3.1: Vergleich zwischen den im Gelände gemessenen und im GIS mit dem digitalen Höhenmodell DHM25 (Landestopographie) berechneten Hangneigungen bei den Rutschungen im Untersuchungsgebiet Flühli.

### 3.6.2 Geländeform

Die Forschungseinheit „Gebirghydrologie und Wildbäche“ der WSL führte Erhebungen zur Geländeform bei den Rutschungen durch. Dabei wurden den Rutschungen die in Abbildung 3.2 aufgeführten Geländeformen zugeordnet.

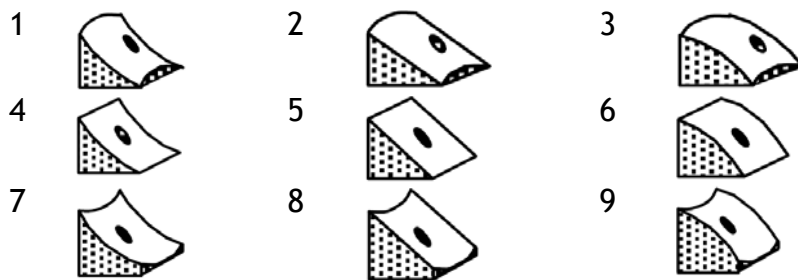


Abbildung 3.2: Geländeformen, denen die Rutschungen zugeordnet wurden.

Durch die Zuordnung der Rutschungen zu den Geländeformen soll eine Aussage darüber gemacht werden, ob bestimmte Stellen aufgrund der Geländemorphologie besonders anfällig sind für Rutschungen. Dies erlaubt eine



Abschätzung, inwiefern die Rutschaktivitäten durch die Geländeform mit beeinflusst werden.

### **3.6.3 Festgestein und Lockergestein**

Es soll abgeschätzt werden, wie stark der Einfluss von Fest- und Lockergestein auf die Rutschaktivität ist.

#### **Festgestein**

Durch die Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL wurde bei jeder Rutschung das Festgestein zu den im Untersuchungsgebiet Flühli vorkommenden Gesteinen zugeordnet: Nagelfluh, Sandstein, Mergel und entsprechende Wechsellagerungen. Zusätzlich wurde die Neigung der Gesteinsschichten (Fallwinkel) bestimmt.

Von jeder Festgesteinsart wurde die Anzahl Rutschungen bestimmt, bei denen die Verlagerungsprozesse während dem Starkniederschlagsereignis im August 2005 das entsprechende Festgestein freigesetzt hatten. Es wurde zwischen Wald und Freiland, bzw. zwischen den Nutzungsarten des Freilandes und den Gehölzkategorien unterschieden. Unter Berücksichtigung der an den entsprechenden Rutschungen vorherrschenden Neigungen des Hanges und der Gesteinsschichten wurde abgeschätzt, welche Gesteinsschichten besonders rutschanfällig sind, und bei welchen Gesteinsschichten der Einfluss der Vegetation grösser sein kann als derjenige des Festgesteins.

#### **Lockergestein**

Durch die Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL wurde bei jeder Rutschung im Bereich der Gleitfläche bzw. möglichst tief das Lockergestein beurteilt. Dazu wurden folgende Klassen verwendet: Humus, Gehängeschutt, Gehängelehm, Moräne. Die Feldklassifikation erfolgte nach SN 670 005 (Rickli et al., 2003).

Für jede Lockergesteinsklasse wurde die Anzahl Rutschungen bestimmt. Es wurde zwischen Wald und Freiland, bzw. zwischen den Nutzungsarten des Freilandes und den Gehölzkategorien unterschieden. Damit wurde abgeschätzt, welche Lockergesteinsklassen besonders rutschanfällig sind, und inwiefern bei welchen der Einfluss der Vegetation grösser sein kann.

### ***3.7 Abschätzung des Einflusses von Gehölzpflanzen und Nutzungsaufgabe auf das Ausmass der Rutschungen***

Es wurde nach einem Zusammenhang zwischen der Nutzung bzw. dem Gehölzvorkommen und dem Ausmass der Rutschungen gesucht. Durch die Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL wurden Länge und Breite an der jeweils längsten bzw. breitesten Stelle der Rutschung mit

einem Meterstab auf einen halben Meter genau ermittelt. Die maximale Mächtigkeit gibt die maximale Tiefe der Rutschung an, gemessen mit einem Meterstab an der tiefsten Stelle senkrecht zur Gleitfläche. Die Rutschfläche wurde ermittelt durch die Multiplikation einer der Rutschform entsprechenden mittleren Länge und Breite. Multipliziert mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit, welche aus der Gesamtheit der in einer Skizze eingetragenen Mächtigkeiten abgeschätzt wurde, ergibt dies eine Schätzung für das abgerutschte Volumen.

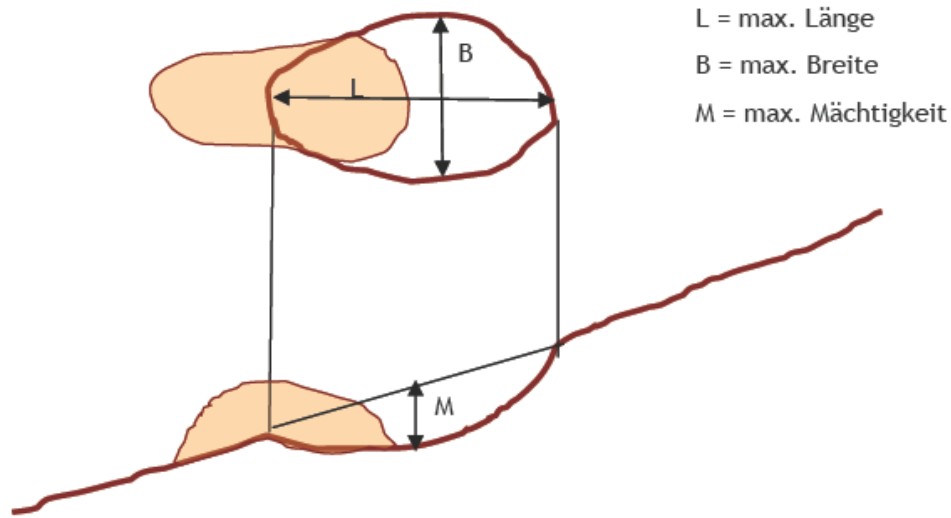


Abbildung 3.3: Vermessung der Rutschungen.

Für die Auswertung wurden die Rutschungen gemäss ihrem Volumen in Volumenklassen eingeteilt:  $0 \leq 50 \text{ m}^3$ ,  $50 \leq 100 \text{ m}^3$ , ...  $450 \leq 500 \text{ m}^3$ ,  $> 500 \text{ m}^3$ . Für jede Volumenklasse wurde die Anzahl Rutschungen ausgezählt, um eine Aussage über die Häufigkeit von Kleinrutschungen, Grossrutschungen und durchschnittlichen Rutschungen machen zu können. Als Kleinrutschungen werden in dieser Arbeit Rutschungen mit einem Volumen  $\leq 50 \text{ m}^3$  definiert, als Grossrutschungen Rutschungen mit einem Volumen  $> 500 \text{ m}^3$ . Unterschieden wird zusätzlich zwischen Wald und Freiland, zwischen den Nutzungskategorien und zwischen den Gehölzkategorien.

Um Hinweise darauf zu bekommen, weshalb sich die Volumina unterscheiden, wird genauer auf die Länge, die Breite sowie die Mächtigkeit der Rutschungen eingegangen. Berechnet wurden der Median, das 75%- und das 25%-Quantil sowie die maximalen und minimalen Werte, wobei zwischen Wald und Freiland, zwischen den Nutzungskategorien und zwischen den Gehölzkategorien unterschieden wird.

Um eine Aussage über die Abhängigkeit des Volumens von der Neigung der Rutschung machen zu können, wird das Rutschvolumen der von der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL gemessenen Hangneigung gegenübergestellt.

### *3.8 Erhebung über die praktische Erfahrung von Landwirten aus dem Untersuchungsgebiet zum Thema*

Mittels Interviews mit Landwirten aus dem Untersuchungsgebiet soll in dieser Diplomarbeit etwas über die praktische Erfahrung der Landwirte im Zusammenhang mit dem Effekt von Gehölzen auf die Hangstabilität herausgefunden werden und der Frage nachgegangen, ob auch gezielt Bäume zur Stabilisierung der Hänge gepflanzt wurden.

Die befragten Landwirte mussten Bewirtschafter von landwirtschaftlichen Flächen im Untersuchungsgebiet sein. Es wurden drei Landwirte befragt, die Flächen in drei unterschiedlichen Höhenlagen bewirtschaften, da sich die Nutzung und damit auch die Art der Gehölzvegetation mit der Höhenlage ändert. Aus jeder Höhenlage wurde zufällig ein Bauer ausgewählt, mit dem das Interview durchgeführt wurde.

Die Befragten Landwirte werden in dieser Arbeit durch ihr Bewirtschaftungsgebiet unterschieden: Äpler Bösarni, Bauer Lamm, Bauer Düehlboden. Die Interviewerin wird mit J.K. bezeichnet.

Die Interviewpartner wurden telefonisch kontaktiert, um einen Termin für das Interview festzulegen. Alle Interviews wurden zu Hause bei den Interviewpartnern durchgeführt.

Die Interviews wurden mit einem MP3-Player aufgezeichnet. Um die Aufzeichnungen verfügbar zu machen, wurden sie transkribiert. Die Transkription erfolgte wörtlich, wobei Mundart in die Schriftsprache übersetzt wurde. Es wurden nur zwei Transkriptionsregeln angewendet (Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: Angewandte Transkriptionsregeln.

Zeichen	Bedeutung
[...]	Der Interviewpartner schweift ab in ein Thema, das hier nicht von Interesse ist
(=...)	Übersetzung eines Dialektwortes in die Schriftsprache

In einer Interviewanalyse wurden wichtige Inhalte aus dem Material herausgefiltert und zusammengefasst.

Alle Landwirte wurden über ihre praktischen Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Effekt von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität befragt. Die Interviewfragen sind in Tabelle 3.5 aufgelistet.

Tabelle 3.5: Interviewfragen über die praktischen Erfahrungen der Landwirte im Zusammenhang mit dem Effekt von Nutzungsaufgabe und Gehölzen im Freiland auf die Hangstabilität.

---

### Interviewfragen an alle befragten Landwirte

---

Haben Sie Bäume oder Sträucher auf Ihren Wiesen?

Meinen Sie, Bäume und Sträucher tragen dazu bei, Rutschungen zu verhindern?

Haben Sie schon Bäume oder Sträucher extra gepflanzt mit der Absicht, Rutschungen zu verhindern?

Hat man früher Bäume und Sträucher gepflanzt, um Rutschungen zu verhindern?

Welche Bäume und Sträucher hat man gepflanzt?

Hat man die Bäume und Sträucher irgendwie gepflegt? Geschnitten? Geschneitelt?

Gab es auch Kopfbäume?

Gibt es weniger Rutschungen, wenn es Bäume hat? Zum Beispiel im Wald?

Wenn es Bäume hat auf den Wiesen, gibt es weniger Rutschungen?

Wenn eine Wiese nicht mehr so gepflegt wird und Sträucher aufkommen und Farn, gibt es dann weniger Rutschungen?

Wenn dann Wald aufkommt, gibt es dort mehr oder weniger Rutschungen?

---

Zusätzlich zu den in Tabelle 3.5 aufgelisteten Interviewfragen wurde mit dem Bewirtschafter des Gebietes „Lämmli“ (Bauer Lamm) ein Gespräch über das Gebiet „Lämmli“ (Abbildung 3.4) geführt. Der Grund dafür liegt in der speziellen Vegetation im „Lämmli“, es handelt sich um eine Weidefläche mit einigen grossen einzeln stehenden Eschen (Abbildung 3.5). Eine solche Gruppierung von einzeln stehenden Eschen kommt in anderen Teilen des Untersuchungsgebietes nicht vor. Deshalb kamen während den Begehungen die Fragen auf, ob der Bewirtschafter diese Bäume absichtlich und mit einem Zusammenhang mit der Hangstabilität dort wachsen lässt, oder wie es zu diesem speziellen Gehölzvorkommen kam. Die Fragen, die dem Bewirtschafter des „Lämmli“ während dem Gespräch gestellt wurden, sind in Tabelle 3.6 aufgeführt.

Tabelle 3.6: Interviewfragen über die praktischen Erfahrungen des Bewirtschafters des „Lämmli“ im Zusammenhang mit den Einzelbäumen auf der Weidefläche des „Lämmli“.

### Interviewfragen an Bauer Lamm, Bewirtschafter des „Lämmli“

Wer bewirtschaftet das Lämmli?

Dort oben hat es ja noch so grosse Eschen. Meinen Sie, die haben einen Einfluss auf Rutschungen?

Dann wäre es besser, wenn die Sträucher noch jung sind und noch nicht so schwer sind, dann haben sie einen guten Einfluss und es gibt weniger Rutschungen. Und wenn sie dann zu gross sind und schwer, dann rutscht es?

Untersuchungsgebiet Flüfli

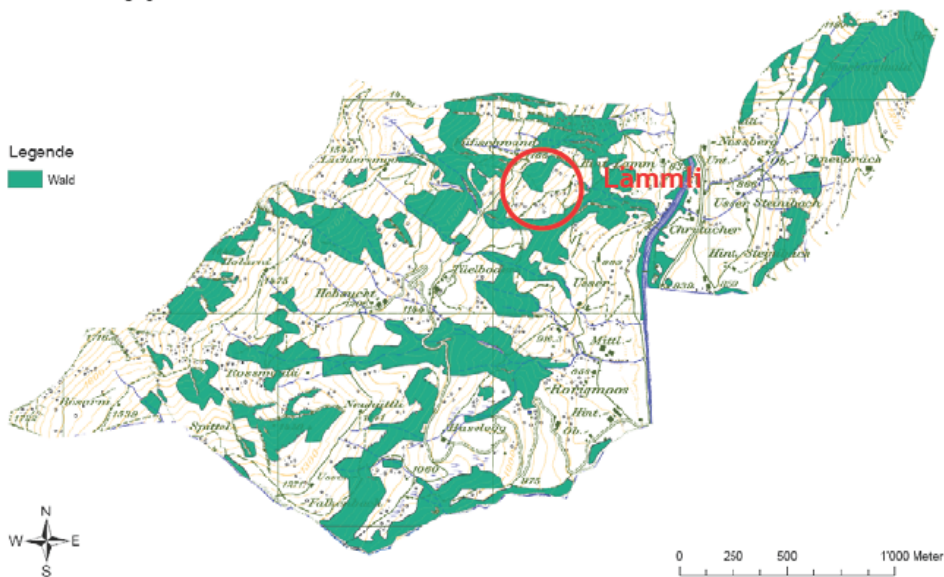


Abbildung 3.4: Lage des „Lämmli“ (roter Kreis) im Untersuchungsgebiet Flüfli.



Abbildung 3.5: Einzeln stehende Laubbäume (Eschen) im „Lämmli“. (Bild J.Krummenacher)



## 4 Ergebnisse

Fotos verdeutlichen den wahrscheinlichen Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität im Zusammenhang mit Rutschungen. Im Folgenden werden einerseits Beispiele von Gehölzpflanzen und Nutzungsaufgabe im Freiland und andererseits deren Einfluss auf die Hangstabilität bezüglich Rutschungen dargestellt.



Abbildung 4.1: Verbuschung mit Nadelbäumen (Fichten) auf der Weidefläche bei der Alp Bösarni. Langes Altgras deutet auf Nutzungsreduktion hin. (Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.2: Verbuschung mit Laubbäumen (Erlen) auf der Weidefläche in Füfischwand. Zusammen mit altem Adlerfarn deutet dies auf eine Reduktion der Pflegearbeiten hin. (Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.3: Verwaltung mit Nadelbäumen (Fichten) auf der Weidefläche bei der Alp Spittel. (Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.4: Verwaltung mit Laubbäumen (Erlen) bei der Haselegg. Langes Altgras mit Staudenvegetation deutet auf Nutzungsaufgabe hin. (Bild J.Krummenacher)

Abbildung 4.1 und 4.2 zeigen beispielhaft Verbuschung mit Nadel- und Laubbäumen (Kategorien Buschnadel und Buschlaub, vgl. Tabelle 3.1). Solche aufkommenden Jungbäume deuten auf reduzierte Pflegearbeiten hin, sie wurden durch die Landwirte nicht aus der Weidefläche entfernt.

Abbildung 4.3 und 4.4 stellen Verwaldung mit Nadel- und Laubbäumen dar (Kategorien Waldnadel und Waldlaub, vgl. Tabelle 3.1). Bei fortgeschrittener Verwaldung wurde die Nutzung ganz aufgegeben. Auf Weideflächen hat das Vieh zum Teil noch Zugang.



Abbildung 4.5: Einzelstehende Nadelbäume (Fichte) auf der Weidefläche bei der Habsucht. (Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.6: Einzelstehender Laubbaum (Bergahorn) auf der Weidefläche in Usserfalkenbach. (Bild J.Krummenacher)

Abbildung 4.5 und 4.6 zeigen beispielhaft einzeln stehende Nadel- und Laubbäume (Kategorien Einzelnadel und Einzellaub, vgl. Tabelle 3.1). Bei solchen Gehölzen handelt es nicht um Verbuschung und Verwaldung. Es kommt die Frage auf, ob die Bäume immer zufällig aufkamen, oder zum Teil auch bewusst gepflanzt wurden. Dieser Frage wird im Kapitel 4.5 nachgegangen.

Die Abbildungen 4.7 bis 4.10 stellen den möglichen Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität dar.

Abbildung 4.7 stellt eine deutliche Anrissstelle dar. In der Umgebung kommen junge Fichten und langes Altgras vor. Möglicherweise führte eine Reduktion der Pflegearbeiten dazu, dass der Schnee und das Altgras bzw. die Fichten zusammenfroren. Schneekriechen könnte in diesem Fall den Boden aufgerissen haben, was in der Zukunft möglicherweise Rutschungen begünstigen kann.

Abbildung 4.8 zeigt die Anrissstelle der grössten Rutschung im Untersuchungsgebiet Flühli vom August 2005. Die Rutschung ereignete sich bei der Alp Spittel und umfasste ein Rutschvolumen von  $2800\text{m}^3$ . Sehr deutlich ist der Wurzelteller der Fichten zu erkennen, die ungefähr 5 bis 6 Meter von der Anrissstelle entfernt stehen. Es ist offensichtlich, dass die Wurzeln den Boden stark zusammenhalten. Abbildung 4.9 zeigt die gleiche Rutschung aus einiger Entfernung. Es kommt die Frage auf, ob die Anrissstelle ohne das Vorhandensein der Bäume weiter oben verlaufen wäre und das Rutschvolumen vielleicht noch grösser gewesen wäre. Würde der Wald jedoch weiter herunter



reichen, ist fraglich, ob die flachen Wurzeln der Fichten eine so grosse Rutschung hätten verhindern können.

Abbildung 4.10 stellt eine Rutschung in der Habsucht dar. Die Geländeform weist darauf hin, dass es an dieser Stelle bereits früher Rutschungen gab. Möglicherweise konnte schon die einzeln stehende Fichte eine grössere Rutschung verhindern. Es kommt aber auch die Frage auf, ob gezielt gepflanzte Bäume Rutschungen an dieser Stelle in der Zukunft verhindern könnten.



Abbildung 4.7: Anrissstelle in Ussefalkenbach. Daneben junge Fichten und langes Altgras.  
(Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.8: Rutschung auf der Alp Spittel. Der flache Wurzelteller der Fichten reicht ziemlich weit und ist deutlich sichtbar.  
(Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.9: Rutschung auf der Alp Spittel aus einiger Entfernung.  
(Bild J.Krummenacher)



Abbildung 4.10: Rutschung in der Habsucht.  
(Bild J.Krummenacher)

## 4.1 Verbreitung von Gehölzen und Nutzungsarten im Freiland

Im Untersuchungsgebietes Flühli wurden auf den Freilandflächen die Verbreitung von Gehölzen und Nutzungsarten kartiert. Die Abbildungen 4.11 und 4.12 stellen das Ergebnis dieser Kartierungen dar (Vergrössert in Anhang I). Durch die Kartierungen ist deutlich zu erkennen, dass sich die Mähwiesen eher in den tieferen, weniger steilen Gebieten befinden. Im Gegensatz dazu erstrecken sich die Weideflächen über die steileren Gebiete in höheren Lagen. Flächen mit Nutzungsaufgabe bzw. Anzeichen der Nutzungsaufgabe sind vermehrt in mittlerer Höhe zu finden, aber auch in tieferen Lagen (Abbildung 4.11).

Untersuchungsgebiet Flühli - Nutzungskartierung

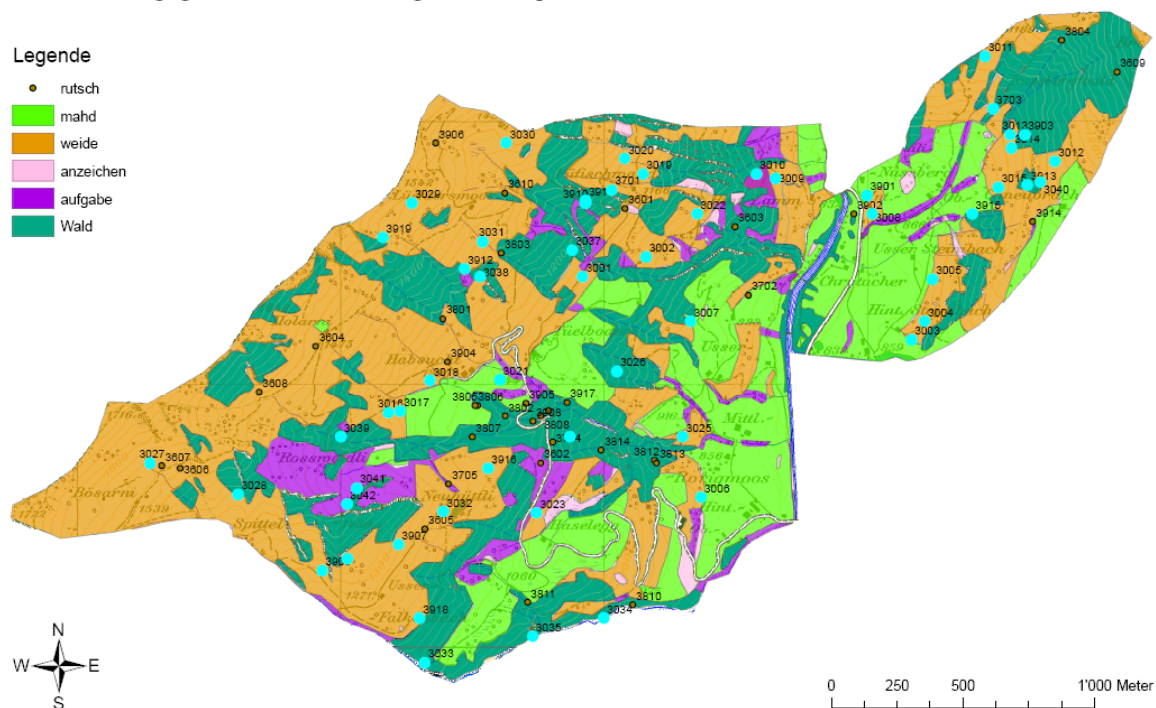


Abbildung 4.11: Nutzungskartierung im Untersuchungsgebiet Flühli. Kartengrundlage: Schweizerische Landeskarte 1:25 000, Ausgabe 2001. Erläuterungen zur Legende in Tabelle 3.1. Blau markierte Rutschungen sind gültige Rutschungen, d.h. nicht durch Wasserabfluss auf Strassen oder Gerinneprozesse ausgelöste Rutschungen.

Bezüglich der Gehölzvorkommen auf den Freilandflächen ist deutlich zu erkennen, dass in höheren Lagen hauptsächlich Nadelgehölze aufkommen, in tieferen Lagen dagegen eher Laubgehölze. Letztere sind vor allem in Form von Hecken anzutreffen, dargestellt als rote Streifen (Abbildung 4.12).

Bei einem Vergleich der Kartierung der Gehölzvorkommen mit derjenigen der Nutzungsarten (Abbildung 4.11 und 4.12) erkennt man, dass viele Gehölze auf den Weideflächen oder auf Flächen mit Nutzungsaufgabe vorkommen. Auf

den Mähwiesen kommen keine Gehölze auf, ausser einzeln stehende Bäume oder aber Hecken entlang von Nutzungsgrenzen.

Untersuchungsgebiet Flühli - Gehölkartierung

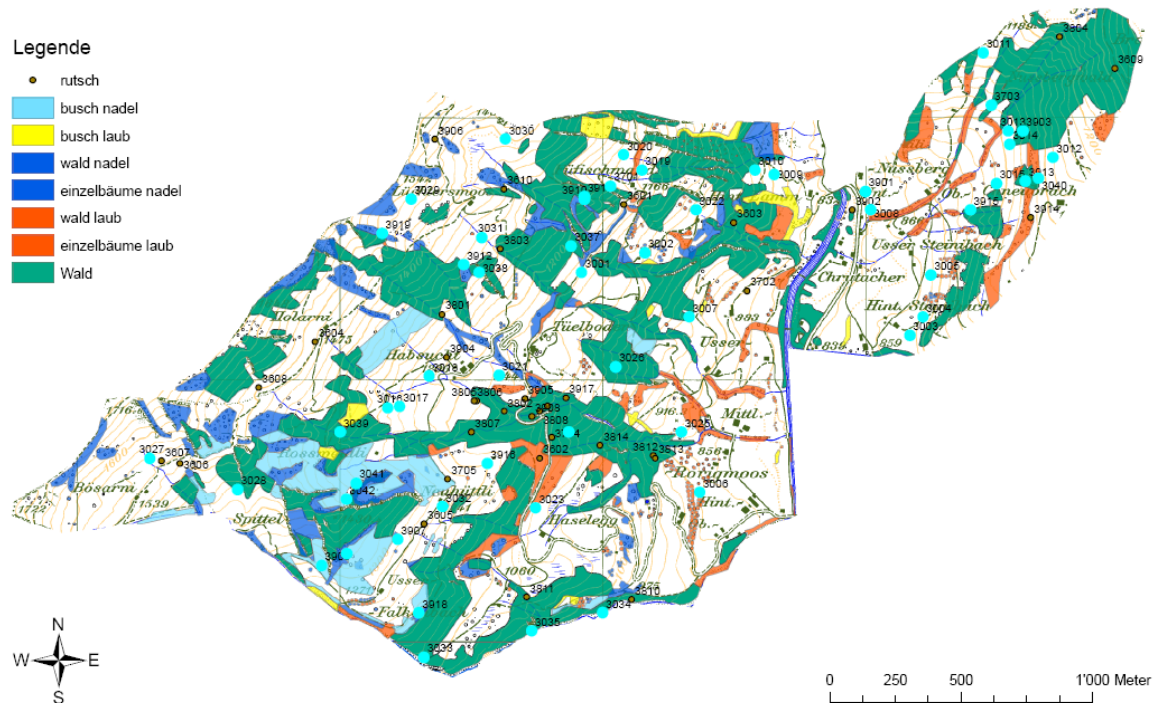


Abbildung 4.12: Gehölkartierung im Untersuchungsgebiet Flühli. Kartengrundlage: Schweizerische Landeskarte 1:25 000, Ausgabe 2001. Erläuterungen zur Legende in Tabelle 3.1. Blau markierte Rutschungen sind gültige Rutschungen, d.h. nicht durch Wasserabfluss auf Strassen oder Gerinneprozesse ausgelöste Rutschungen.

## 4.2 Rutschaktivitäten

Das Untersuchungsgebiet Flühli hat eine Fläche von insgesamt 506 Hektaren (Tabelle 4.1). Das Gebiet weist eine mittlere Hangneigung von  $23^\circ$  auf und erstreckt sich über einen Höhenbereich von ungefähr 800 bis 1700 m ü. M.. Innerhalb des Untersuchungsgebietes entstanden während des Starkniederschlagsereignisses vom 19. bis 23. August 2005 90 Rutschungen, 34 davon wurden gemäss Einschätzungen der Forschungseinheit „Gebirgshydrologie und Wildbäche“ der WSL hauptsächlich durch Wasserabfluss auf Strassen oder Gerinneprozesse ausgelöst und werden hier im Folgenden nicht berücksichtigt (vgl. Abbildungen 4.11 und 4.12: gültige Rutschungen sind blau markiert). Bei 56 gültigen Rutschungen entspricht dies einer durchschnittlichen Rutschaktivität von 0.11 R/ha (Tabelle 4.1). Mit anderen Worten bedeutet eine Rutschaktivität von 0.11 R/ha, dass auf einer Fläche von 9 Hektaren im Durchschnitt eine Rutschung auftrat.

#### 4.2.1 Rutschaktivitäten in den einzelnen Nutzungskategorien

Betrachtet man die Flächenverteilung der einzelnen Nutzungskategorien genauer, erkennt man, dass 28% des Untersuchungsgebietes bewaldet sind. Die Weideflächen nehmen 43% des Untersuchungsgebietes ein, Mähwiesen 22%. 7% werden nicht mehr genutzt (vgl. Abbildung 4.11 und Tabelle 4.1).

Bezüglich der Rutschungen sieht die Verteilung etwas anders aus. 27% der Rutschungen befinden sich im Wald, 64% auf Weideland, 4% auf Mähwiesen und 5% auf nicht mehr genutztem Gebiet (vgl. Abbildung 4.12 und Tabelle 4.1).

Tabelle 4.1: Nutzungskategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie der daraus berechneten Rutschaktivität.

Nutzungskategorien	Fläche [ha]	Anzahl Rutschungen [R]	Rutschaktivität [R/ha]
Mähwiese	109.5	2	0.02
Weidefläche	210.3	36	0.17
Anzeichen der Nutzungsaufgabe	5.3	0	0
Nutzungsaufgabe	29.3	3	0.10
Wald	140.6	15	0.11
Freiland Total	354.4	41	0.11
Total	505.9	56	0.11

Die durchschnittliche Rutschaktivität im Untersuchungsgebiet beträgt 0.11 R/ha (Tabelle 4.1). Dabei waren die Weideflächen am stärksten von Hangprozessen betroffen (0.17 R/ha). An zweiter Stelle stehen der Wald (0.11 R/ha) und die nicht mehr genutzten Gebiete (0.10 R/ha). Vergleichsweise wenig Rutschungen ereigneten sich auf den Mähwiesen (0.02 R/ha), auf Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe traten keine Rutschungen auf. Dabei muss jedoch auf die unterschiedlichen Neigungsverhältnisse hingewiesen werden (Tabelle 4.4). Die Neigung des Waldes ist über das ganze Untersuchungsgebiet mit 27.6° am grössten, gefolgt von derjenigen der Weideflächen mit 26.0°. Die Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe und die Flächen mit Nutzungsaufgabe befinden sich mit einer Neigung von 21.4° bzw. 23.2° im durchschnittlichen Bereich des Untersuchungsgebietes. Unterdurchschnittlich gering ist die Neigung der Mähwiesen mit 15.9°.

#### 4.2.2 Rutschaktivitäten in den einzelnen Gehölzkategorien

Die gesamte Freilandfläche nimmt im Untersuchungsgebiet Flühli 354 ha ein (siehe Tabelle 4.1). Auf dem Gebiet der Freilandfläche kommen jedoch auf 75.5 ha Gehölze auf (Tabelle 4.2). Von den 41 Rutschungen im Freiland traten 5 auf Flächen mit Gehölzvorkommen auf (Tabelle 4.2). Dies bedeutet, dass nur 12% der Freilandrutschungen in Gebieten mit aufkommenden Gehölzen auftraten, obwohl auf 21% der Freilandfläche Gehölze vorkommen.

Auf den Flächen mit Gehölzaufkommen traten nur in folgenden zwei Kategorien Rutschungen auf: „Verbuschung mit Nadelgehölzen“ und „Verwaldung mit Nadelgehölzen“. Sie weisen mit 0.10 R/ha bzw. 0.12 R/ha durchschnittliche Rutschaktivitäten auf (Tabelle 4.2). Auf den Flächen der restlichen vier Kategorien (Laubgehölzkategorien und Einzelbäume) traten keine Rutschungen auf. Die durchschnittliche Rutschaktivität der Flächen mit Gehölzaufkommen (0.07 R/ha) ist kleiner als die durchschnittliche Rutschaktivität des Untersuchungsgebietes (0.11 R/ha) (vgl. Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Gehölzkategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie der daraus berechneten Rutschaktivität.

Gehölzkategorien	Fläche [ha]	Anzahl Rutschungen [R]	Rutschaktivität [R/ha]
Verbuschung mit Nadelgehölzen	19.7	2	0.10
Verbuschung mit Laubgehölzen	5.2	0	0
Verwaldung mit Nadelgehölzen	25.1	3	0.12
Verwaldung mit Laubgehölzen	22.2	0	0
Einzel stehende Nadelgehölze	0.8	0	0
Einzel stehende Laubgehölze	2.5	0	0
<b>Nadelgehölze Total</b>	<b>45.6</b>	<b>5</b>	<b>0.11</b>
<b>Laubgehölze Total</b>	<b>29.9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Total</b>	<b>75.5</b>	<b>5</b>	<b>0.07</b>

Auch hier muss wieder auf die Neigungsverhältnisse hingewiesen werden (Tabelle 4.4). Die Flächen mit Verbuschung bzw. Verwaldung mit Nadelgehölzen weisen mit 26.6° bzw. 26.1° eine relativ grosse Neigung auf. Demgegenüber weisen die anderen Gehölzkategorien leicht geringere

Neigungen auf, die sich im durchschnittlichen Bereich befinden („Verbuschung mit Laubgehölzen“: 24.6°; „Verwaldung mit Laubgehölzen“: 22.5°; „Einzeln stehende Nadelgehölze“: 24.9°; „Einzeln stehende Laubgehölze“: 24.4°).

#### 4.2.3 Rutschaktivitäten in den einzelnen Gehölzkategorien in Abhängigkeit von der Nutzungskategorie

Im Folgenden wird auf die Rutschaktivität in den verschiedenen Gehölzkategorien unter Berücksichtigung der Nutzungskategorien eingegangen.

Vom gesamten Gehölzvorkommen auf der Freilandfläche kommen 3% auf den Mähwiesen auf (2.1ha, Tabelle 4.3). Gehölze etablieren sich hauptsächlich auf der Weidefläche (59%, 44.4ha) und auf Flächen mit Nutzungsaufgabe (38%, 29ha) (Tabelle 4.3).

Auf 2% von den 109.5ha Mähwiesen (Tabelle 4.1 und Tabelle 4.3) kommen Gehölze vor. Gehölze auf Mähwiesen sind hauptsächlich einzeln stehende Laubgehölze (0.6ha), aber auch Verwaldung mit Laubgehölzen und Nadelgehölzen (0.6ha bzw. 0.5ha). Weniger häufig gibt es Verbuschung mit Laubgehölzen (0.4ha). Bei den Gehölzen auf der Mähwiese traten keine Rutschungen auf. Die Rutschungen der Mähwiesen traten ausschliesslich auf gehölzfreiem Gebiet auf (Tabelle 4.3). Vergleicht man die Karte der Gehölzkartierung mit derjenigen der Nutzungskartierung, sind einige Muster herauszulesen (Abbildungen 4.1 und 4.2). Die auf den Mähwiesen vorkommenden Gehölze sind wahrscheinlich Obstbäume, aber auch Hecken entlang von Fliessgewässern und Geländekanten.

Auf 21% der 210.3ha Weidefläche kommen Gehölze auf. Es handelt sich hauptsächlich um Verwaldung und Verbuschung mit Nadelgehölzen (16.5ha bzw. 12.3ha), aber auch um Verwaldung und Verbuschung mit Laubgehölzen (9.9ha bzw. 3.4ha). Einzeln stehende Gehölze sind geringer vertreten (Nadelgehölze mit 0.8 ha und Laubgehölze mit 1.6ha). 4 der 36 Rutschungen auf der Weidefläche (11%) traten auf Flächen mit Gehölzvorkommen auf. Davon traten je 2 in den Kategorien „Verbuschung mit Nadelgehölzen“ (0.17 R/ha) und „Verwaldung mit Nadelgehölzen“ auf (0.12 R/ha) (Tabelle 4.3). Die Rutschaktivität in der Kategorie „Verbuschung mit Nadelgehölzen“ ist dabei höher als in der Kategorie „Verwaldung mit Nadelgehölzen“ (vgl. Tabelle 4.1 und Tabelle 4.3). Vergleicht man die Karte der Gehölzkartierung mit derjenigen der Nutzungskartierung (Abbildungen 4.11 und 4.12), erkennt man, dass die Gehölze auf den Weideflächen hauptsächlich Verwaldung und Verbuschung mit Nadelgehölzen darstellen, insbesondere auf den Alpweiden. Auch Hecken an den Grenzen von Weiden auf dem Talgrund sind anzutreffen. Da die Weideflächen eher auf steilen Gebieten liegen, sind die vorkommenden Einzelbäume nur mit geringer Wahrscheinlichkeit Obstbäume. Es gibt jedoch viele einzeln stehende Fichten, aber auch Bergahorn und Eschen.

Tabelle 4.3: Gehölzvorkommen auf den verschiedenen Nutzkategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie die daraus berechneten Rutschaktivitäten.

Flächenkategorien	Fläche [ha]	Anzahl Rutschungen [R]	Rutschaktivität [R/ha]
Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Mähwiese	0.0	0	0
Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Weidefläche	12.3	2	0.17
Verbuschung mit Nadelgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe	7.4	0	0
Verbuschung mit Laubgehölzen auf Mähwiese	0.4	0	0
Verbuschung mit Laubgehölzen auf Weidefläche	3.4	0	0
Verbuschung mit Laubgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe	1.4	0	0
Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Mähwiese	0.5	0	0
Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Weidefläche	16.5	2	0.12
Verwaldung mit Nadelgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe	8.2	1	0.12
Verwaldung mit Laubgehölzen auf Mähwiese	0.6	0	0
Verwaldung mit Laubgehölzen auf Weidefläche	9.9	0	0
Verwaldung mit Laubgehölzen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe	11.7	0	0
Einzelstehendes Nadelgehölz auf Mähwiese	0.0	0	0
Einzelstehendes Nadelgehölz auf Weidefläche	0.8	0	0
Einzelstehendes Nadelgehölz auf Fläche mit Nutzungsaufgabe	0.0	0	0
Einzelstehendes Laubgehölz auf Mähwiese	0.6	0	0
Einzelstehendes Laubgehölz auf Weidefläche	1.6	0	0
Einzelstehendes Laubgehölz auf Fläche mit Nutzungsaufgabe	0.2	0	0
<b>Total</b>	<b>75.5</b>	<b>5</b>	<b>0.07</b>

Flächen mit Nutzungsaufgabe sind stark am verbuschen und verwalden. Am häufigsten ist die Verwaldung mit Laubgehölzen und Nadelgehölzen (11.7ha bzw. 8.2ha). Auch die Verbuschung mit Nadelgehölzen ist häufig anzutreffen (7.4ha). Weniger oft gibt es Verbuschung mit Laubgehölzen (1.4ha) oder einzeln stehende Bäume (0.2ha mit Laubbäumen). Auf Flächen mit Nutzungsaufgabe ereignete sich eine Rutschung in der Gehölzkategorie „Verwaldung mit Nadelgehölzen“. Der Wert 0.12 R/ha befindet sich im durchschnittlichen Bereich des Untersuchungsgebietes (vgl. Tabelle 4.1 und Tabelle 4.3). Vergleicht man die Karte der Gehölzkartierung mit derjenigen der Nutzungskartierung (Abbildungen 4.11 und 4.12), erkennt man, dass Flächen mit Nutzungsaufgabe vollständig am verbuschen und verwalden sind. 20 Hektaren sind im Vergleich zur Waldfläche der Schweizerischen Landeskarte, Ausgabe 2001, verwaldet, 9 Hektaren verbuscht.

Zusammengefasst ereigneten sich Rutschungen bei Gehölzvorkommen am häufigsten bei „Verbuschung mit Nadelgehölzen“ auf Weideflächen (0.17 R/ha). Rutschungen gingen auch nieder bei „Verwaldung mit Nadelgehölzen“ auf Weideflächen und auf Flächen mit Nutzungsaufgabe (je 0.12 R/ha). Auf allen anderen Flächen mit Gehölzvorkommen traten keine Rutschungen auf (Tabelle 4.3).

### *4.3 Einfluss des Entstehungsortes der Rutschungen*

#### 4.3.1 Neigung

Die Daten zu diesem Unterkapitel sind im Anhang II einsichtlich.

Die durchschnittliche Neigung des Untersuchungsgebietes Flühli beträgt 23°. Im Vergleich dazu sind die Waldflächen steiler, die Freilandflächen weniger steil (Tabelle 4.4). Wird die Freilandfläche genauer betrachtet, kann man feststellen, dass die Weideflächen besonders steil sind mit 26.0°. Die Flächen mit Nutzungsaufgabe (oder mit Anzeichen davon) sind durchschnittlich geneigt, Mähwiesen sind eher in den flacheren Gebieten mit 15.9°. Bei den Flächen mit aufkommenden Gehölzen im Freiland sind die Kategorien „Verbuschung mit Nadelbäumen“ und „Verwaldung mit Nadelbäumen“ eher steil mit 26.6° bzw. 26.1°. Die übrigen Gehölzkategorien weisen Werte auf, die der durchschnittlichen Neigung des Gebietes entsprechen (Tabelle 4.4).



Tabelle 4.4: Durchschnittliche Neigung der einzelnen Flächenkategorien.

Nutzungskategorien	Durchschnittliche Neigung	Gehölzkategorien	Durchschnittliche Neigung
Wald	27.6°	Verbuschung mit Nadelbäumen	26.6°
Freiland	21.6°	Verwaldung mit Nadelbäumen	26.1°
Mähwiese	15.9°	Verbuschung mit Laubbäumen	24.6°
Weidefläche	26.0°	Verwaldung mit Laubbäumen	22.5°
Anzeichen der Nutzungsaufgabe	21.4°	Einzel stehende Nadelbäume	24.9°
Nutzungsaufgabe	23.2°	Einzel stehende Laubbäume	24.4°

### a) Wald und Freiland

Vergleicht man die Flächenverteilung von Wald und Freiland in Abhängigkeit der Neigung, ist erkennbar, dass sich der Wald durchschnittlich auf etwas steileren Flächen befindet als das Freiland (Abbildung 4.13). So beträgt die durchschnittliche Neigung des Waldes 27.6°, die des Freilandes 21.6° (vgl. Tabelle 4.4).

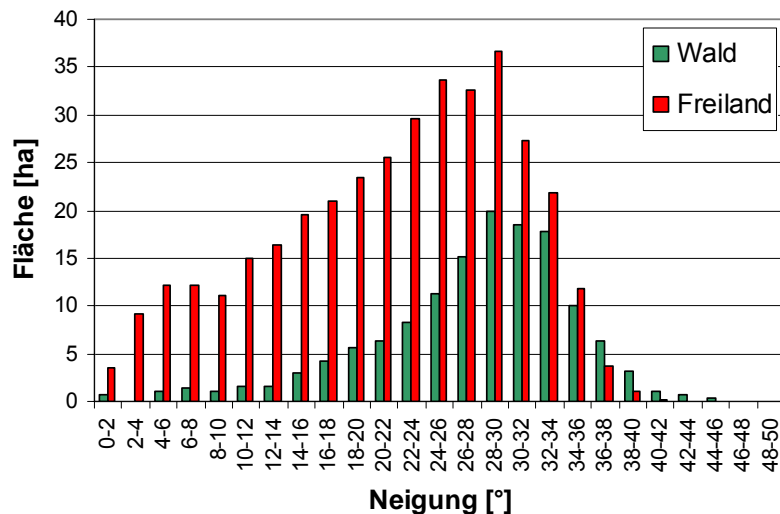


Abbildung 4.13: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Wald und Freiland.

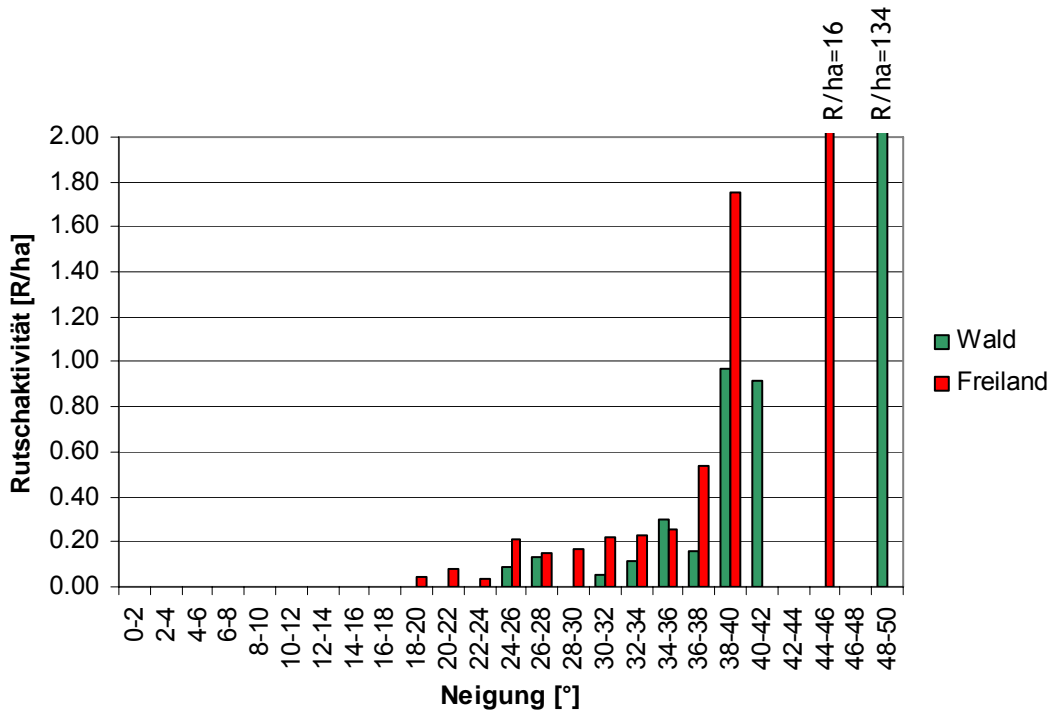


Abbildung 4.14: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Wald und Freiland.

Sowohl im Wald als auch im Freiland gibt es einen starken Zusammenhang zwischen Hangneigung und Rutschaktivität. Die Rutschaktivität des Freilandes liegt bei beinahe jeder Neigungsklasse über derjenigen des Waldes (Abbildung 1.14).

## b) Nutzungskategorien

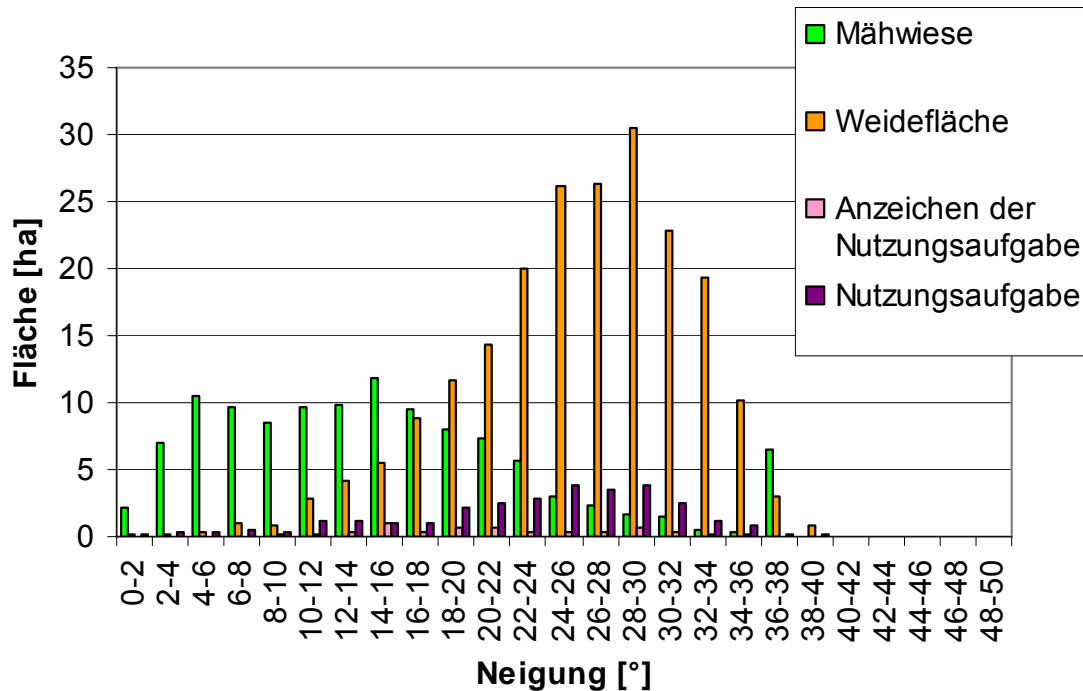


Abbildung 4.15: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Mähwiese, Weideflächen, Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe und Flächen mit Nutzungsaufgabe.

Vergleicht man die Flächenverteilung von Mähwiese, Weidefläche, Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe und Flächen mit Nutzungsaufgabe in Abhängigkeit der Neigung, ist deutlich erkennbar, dass sich die Mähwiesen durchschnittlich auf den am wenigsten geneigten Flächen befinden (Abbildung 4.15). Die durchschnittliche Neigung der Mähwiesen beträgt  $15.9^\circ$  (vgl. Tabelle 4.4). Die Weideflächen befinden sich auf eher steilen Flächen. Ihre durchschnittliche Neigung beträgt  $26.0^\circ$  (vgl. Tabelle 4.4). Die Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe (durchschnittliche Neigung:  $21.4^\circ$ , vgl. Tabelle 4.4) und die Flächen mit Nutzungsaufgabe (durchschnittliche Neigung:  $23.2^\circ$ , vgl. Tabelle 4.4) befinden sich auch in durchschnittlich steilen Gebieten.

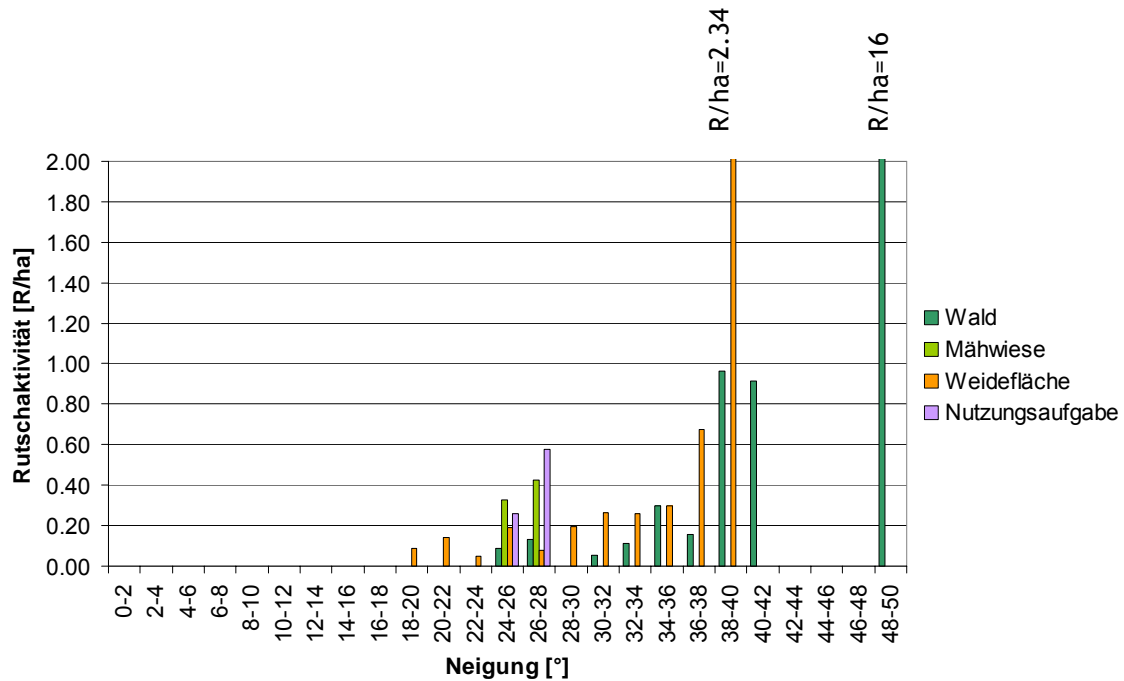


Abbildung 4.16: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Mähwiese, Weideflächen und Flächen mit Nutzungsaufgabe.

Betrachtet man den Einfluss der Hangneigung auf die Rutschaktivität in den Nutzungskategorien Mähwiese, Weidefläche, Flächen mit Nutzungsaufgabe und im Wald (Abbildung 4.16), ist einerseits wieder die starke Abhängigkeit der Rutschaktivität von der Neigung erkenntlich, andererseits aber auch, dass bei gleicher Neigung die Rutschaktivitäten von Mähwiese und Flächen mit Nutzungsaufgabe über derjenigen der Weidefläche liegen. Es ist ein Trend ersichtlich, dass die Rutschaktivität der Weidefläche bei gleicher Neigung grösser ist als diejenige der Waldfläche. Schaut man den Neigungsausschnitt 18-32° genauer an, ist ersichtlich, dass Mähwiesen und Flächen mit Nutzungsaufgabe eine höhere Rutschaktivität aufweisen als die Weidefläche oder der Wald.

## c) Gehölzkategorien

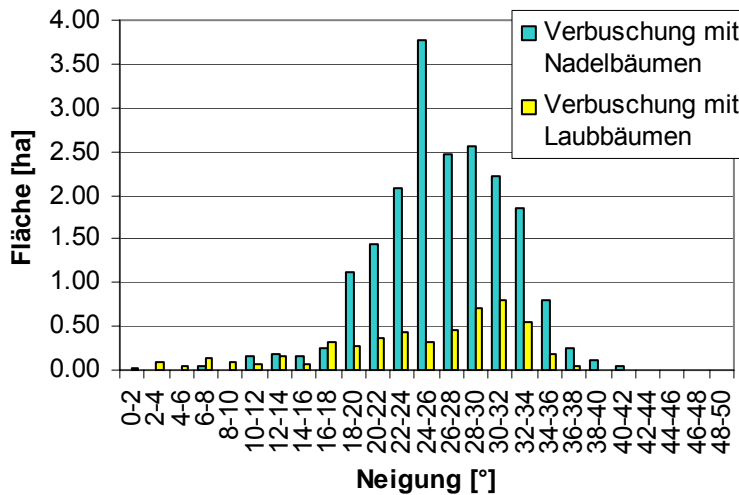


Abbildung 4.17: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Verbuschung mit Nadel- und Laubbäumen.

Vergleicht man die Flächenverteilung von den Gehölzkategorien „Verbuschung mit Nadelbäumen“ und „Verbuschung mit Laubbäumen“, ist kein deutlicher Unterschied erkennbar (Abbildung 4.18). Die durchschnittliche Neigung der Flächen mit „Verbuschung mit Nadelbäumen“ beträgt  $26.6^\circ$ , diejenige der Flächen mit „Verbuschung mit Laubbäumen“  $24.6^\circ$  (vgl. Tabelle 4.4). Der grösste Flächenanteil nimmt die Fläche mit „Verbuschung mit Laubbäumen“ jedoch in der Neigungsklasse  $30-32^\circ$  ein (Abbildung 4.18).

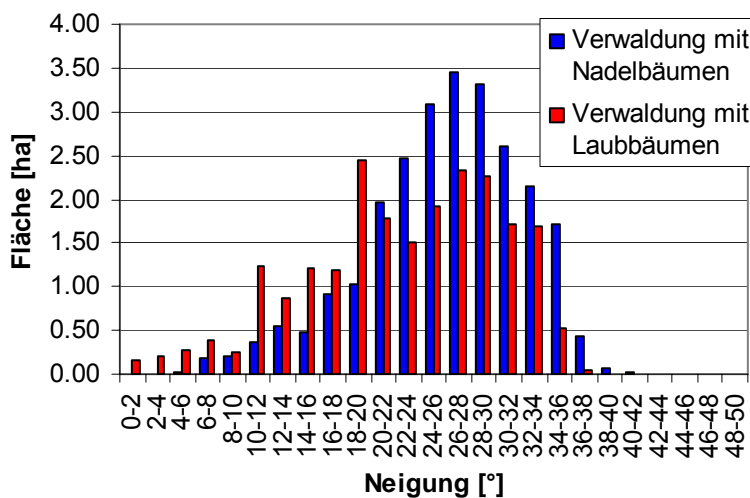


Abbildung 4.18: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Verwaltung mit Nadel- und Laubbäumen.

Vergleicht man die Flächenverteilung von den Gehölzkategorien „Verwaldung mit Nadelbäumen“ und „Verwaldung mit Laubbäumen“, ist kein deutlicher Unterschied erkennbar (Abbildung 4.19). Die durchschnittliche Neigung der Flächen mit „Verwaldung mit Nadelbäumen“ beträgt  $26.1^\circ$ , diejenige der Flächen mit „Verwaldung mit Laubbäumen“  $22.5^\circ$  (vgl. Tabelle 4.4). Die Flächen mit „Verwaldung mit Laubbäumen“ nimmt jedoch auch bei der Neigungsklasse  $26-28^\circ$  eine grosse Fläche ein (Abbildung 4.19).

Die Flächen mit Verbuschung befinden sich durchschnittlich in leicht flacheren Gebieten als Flächen, die bereits verwaldet sind (vgl. Abbildung 4.18 und Abbildung 4.19).

Vergleicht man die Flächenverteilung von einzeln stehenden Nadel- und Laubbäumen, ist ein Unterschied nur schwierig auszumachen (Abbildung 4.20). Die durchschnittliche Neigung von einzeln stehenden Nadelbäumen beträgt  $24.9^\circ$ , diejenige von einzeln stehenden Laubbäumen  $24.4^\circ$  (Tabelle 4.4).

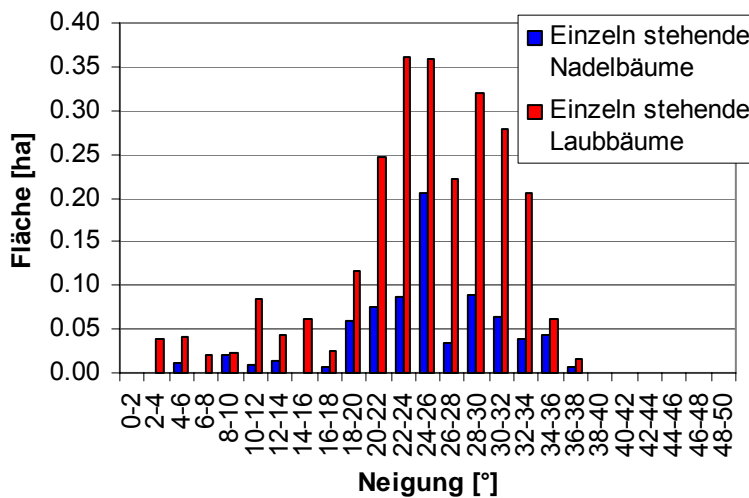


Abbildung 4.19: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach einzeln stehenden Nadel- und Laubbäumen.

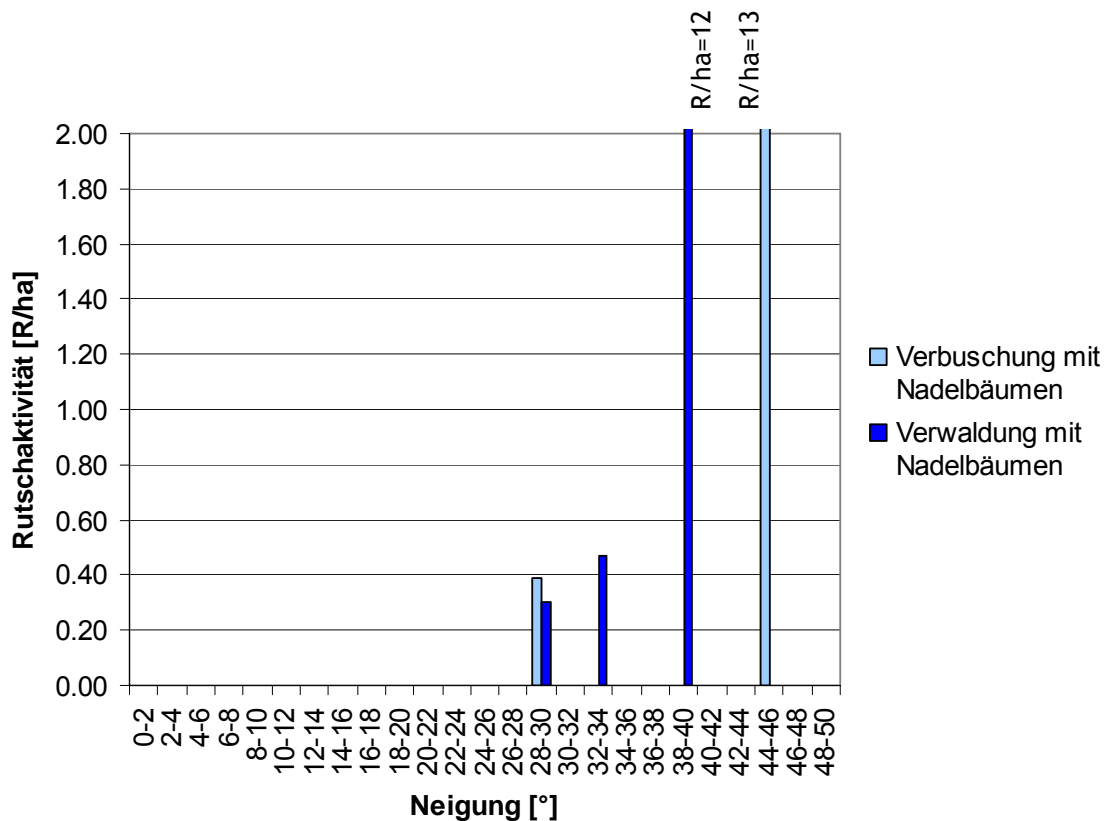











Abbildung 4.20: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen.

Auch auf Flächen mit Verbuschung oder Verwaldung mit Nadelbäumen gibt es eine deutliche Abhängigkeit der Rutschaktivität von der Neigung (Abbildung 4.21). Im Vergleich zur Flächenverteilung dieser Gehölzkategorien in Abhängigkeit der Neigung (Abbildung 4.19) wird deutlich, dass die Rutschungen nur bei grossen Neigungen auftraten, obwohl mindestens die Hälfte der Flächen mit Verbuschung oder Verwaldung mit Nadelbäumen bei geringeren Neigungen vorzufinden sind.

#### 4.3.2 Geländeform

Bei den oberflächennahen Rutschungen im Untersuchungsgebiet Flühli überwiegen Geländeformen ohne Wölbung (74% in der Hangfalllinie und 42% im Querprofil). Im Querprofil sind aber Geländeformen, die nach innen gewölbt sind, relativ häufig (35%) (Tabelle 4.5).

Tabelle 4.5: Anteil Rutschungen (%) in Abhängigkeit von der Geländeform.

	In Hangfalllinie nach innen gewölbt (6%)	In Hangfalllinie ohne Wölbung (74%)	In Hangfalllinie nach aussen gewölbt (20%)
Im Querprofil nach aussen gewölbt (23%)	 1%	 11%	 11%
Im Querprofil ohne Wölbung (42%)	 1%	 34%	 7%
Im Querprofil nach innen gewölbt (35%)	 4%	 29%	 2%

Zusätzlich wurde unterschieden zwischen Wald und Freiland sowie zwischen den einzelnen Nutzungsarten und Gehölzvorkommen:

Sowohl im Wald als auch im Freiland traten Rutschungen häufig auf Geländeformen mit Hangfalllinie ohne Wölbung auf. Im Freiland traten jedoch auch einige Rutschungen auf Geländeformen auf, die sowohl in der Hangfalllinie als auch im Querprofil nach aussen gewölbt sind (Abbildung 4.22).

Da sich die meisten Freilandrutschungen im Weideland ereigneten, lässt sich hauptsächlich über letzteres eine Aussage machen. Rutschungen traten häufig auf Geländeformen mit Hangfalllinie ohne Wölbung auf, aber auch einige auf Geländeformen, die sowohl in der Hangfalllinie als auch im Querprofil nach aussen gewölbt sind (Abbildung 4.23).

Auf Flächen mit Gehölzvorkommen ereigneten sich drei Rutschungen auf Geländeformen mit Hangfalllinie ohne Wölbung, davon 2 auch mit Querprofil ohne Wölbung und eine mit nach aussen gewölbtem Querprofil. 2 weitere Rutschungen ereigneten sich auf Geländeformen mit nach innen und nach aussen gewölbter Hangfalllinie, davon eine mit nach innen und eine mit nach aussen gewölbtem Querprofil (Abbildung 4.24).



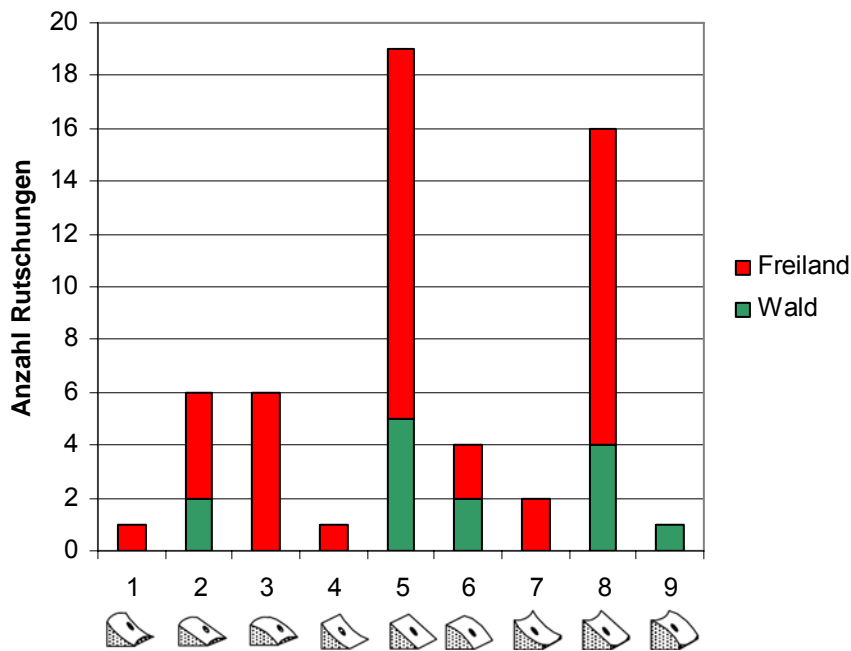


Abbildung 4.21: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach Wald und Freiland.

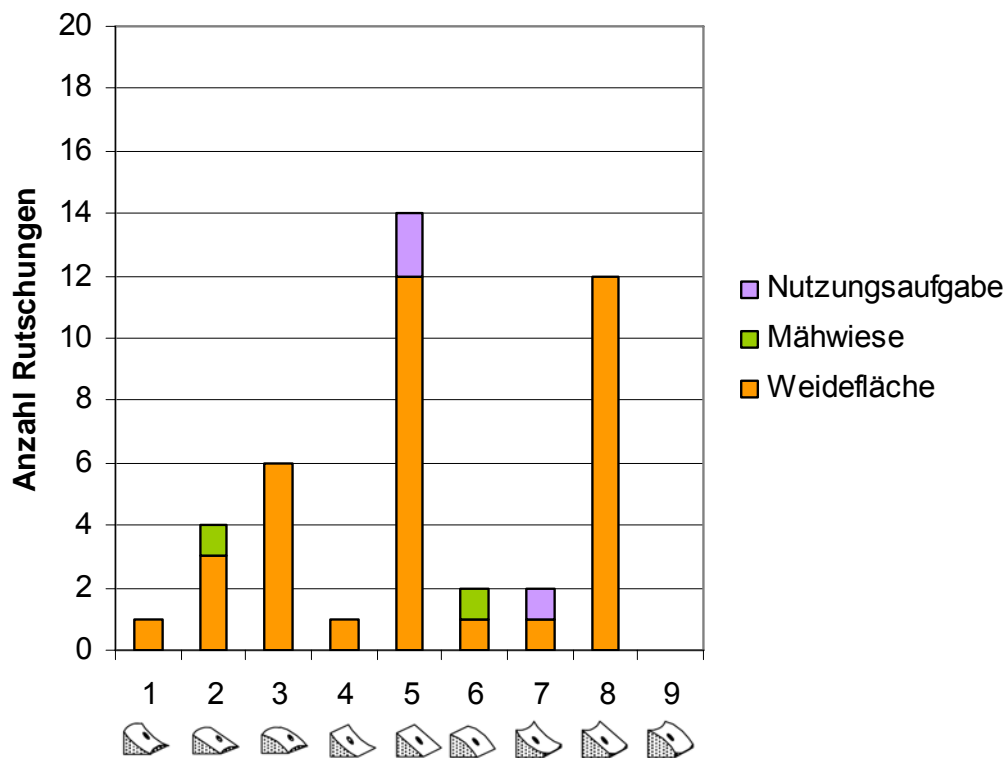


Abbildung 4.22: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach der Nutzung des Freilandes.

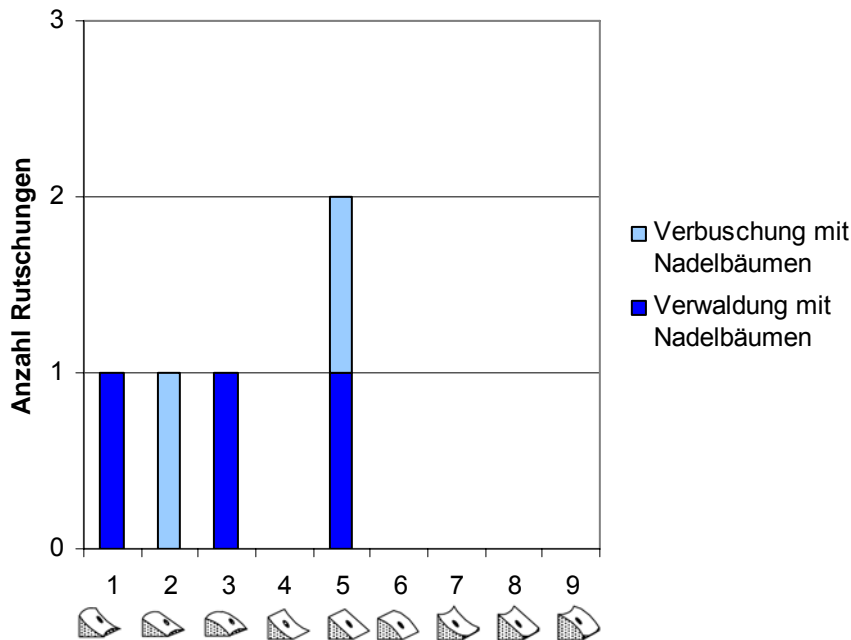


Abbildung 4.23: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach Gehölzkatgorien.

### 4.3.3 Festgestein und Lockergestein

#### a) Festgestein

Der Fels ist im Untersuchungsgebiet Flüfli grösstenteils von Lockergestein und Vegetation bedeckt. Von 13 der 56 untersuchten Rutschungen liegen keine Daten bezüglich des Festgesteins vor, da die Rutschungen entweder bereits verbaut waren und das Festgestein nicht mehr zugänglich war, oder aber weil die Daten bei Kleinrutschungen nicht aufgenommen wurden. Bei 22 Rutschungen wurde das Festgestein durch die Verlagerungsprozesse freigelegt und konnte bestimmt werden (Tabelle 4.6). Am häufigsten waren Wechsellagerungen von Sandstein und Mergel von Rutschungen betroffen. In Anbetracht der vergleichsweise geringen durchschnittlichen Hangneigung, dafür aber einer eher hohen Neigung der Gesteinsschichten kommt es auch auf der Nagelfluh häufig zu Rutschungen. Weniger betroffen sind Sandstein und Mergel, oder Wechsellagerungen von Sandstein und Nagelfluh bzw. Sandstein, Mergel und Nagelfluh (vgl. Tabelle 4.6).

Tabelle 4.6: Anzahl Rutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).

Festgesteinsart	Anzahl Rutschungen	Lokale Hangneigung	Neigung der Gesteinsschichten
Sandstein	3	28°	37° (n=3)
Nagelfluh	5	29°	37° (n=2)
Mergel	2	33°	50° (n=1)
Wechselagerungen von Sandstein und Mergel	8	32°	35° (n=7)
Wechselagerungen von Sandstein und Nagelfluh	3	30°	36° (n=3)
Wechselagerungen von Sandstein, Nagelfluh und Mergel	1	33°	34° (n=1)

Tabelle 4.7: Anzahl Waldrutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).

Festgesteinsart	Anzahl Rutschungen	Lokale Hangneigung	Neigung der Gesteinsschichten
Sandstein	0	-	-
Nagelfluh	2	39°	-
Mergel	0	-	-
Wechselagerungen von Sandstein und Mergel	2	32°	38° (n=1)
Wechselagerungen von Sandstein und Nagelfluh	1	36°	32° (n=1)
Wechselagerungen von Sandstein, Nagelfluh und Mergel	1	33°	34° (n=1)

Unterscheidet man zwischen Wald und Freiland, ist wiederum deutlich zu erkennen, dass sich die meisten Rutschungen im Freiland ereigneten (vgl. Tabellen 4.6, 4.7 und 4.8). Im Wald ereigneten sich keine Rutschungen auf

reinem Sandstein oder Mergel, aber 2 auf Nagelfluh und 4 auf Wechsellagerungen (Tabelle 4.7). Die Rutschungen auf Nagelfluh im Wald ereigneten sich in deutlich steilerem Gebiet als die Rutschungen auf Nagelfluh im Freiland, ebenso die Waldrutschung auf einer Wechsellagerung von Sandstein und Nagelfluh, allerdings ist da die Neigung der Gesteinsschichten eher gering. Trotz der höheren Neigung der Gesteinsschichten im Wald, ereigneten sich bei Wechsellagerungen von Sandstein und Mergel bei vergleichbarer Hangneigung deutlich weniger Rutschungen (vgl. Tabellen 4.7 und 4.8).

Bezüglich Nutzungskategorien des Freilandes lässt sich nur wenig sagen, da über die Rutschungen in den Mähwiesen keine Daten vorhanden waren, und auf den Flächen mit Nutzungsaufgabe nur von einer Rutschung, die sich bei einer Hangneigung von  $28^\circ$  und einer Neigung der Gesteinsschichten von  $20^\circ$  ereignete. Daher entsprechen die Daten für die Weideflächen weitgehend denjenigen des Freilandes.

Tabelle 4.8: Anzahl Freilandrutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).

Festgesteinsart	Anzahl Rutschungen	Lokale Hangneigung	Neigung der Gesteinsschichten
Sandstein	3	$28^\circ$	$37^\circ$ (n=3)
Nagelfluh	3	$22^\circ$	$37^\circ$ (n=2)
Mergel	2	$33^\circ$	$50^\circ$ (n=1)
Wechsellagerungen von Sandstein und Mergel	6	$32^\circ$	$34^\circ$ (n=6)
Wechsellagerungen von Sandstein und Nagelfluh	2	$27^\circ$	$38^\circ$ (n=2)
Wechsellagerungen von Sandstein, Nagelfluh und Mergel	0	-	-

Durch den Vergleich zwischen Wald und Freiland zeigt sich, dass die Waldvegetation insbesondere auf Sandstein, Mergel und den Wechsellagerungen einen Unterschied bewirkt, bei der Nagelfluh jedoch nicht.

Auf Freilandflächen mit Gehölzvorkommen sind nur Daten zu einer Rutschung vorhanden. Es handelt sich dabei um eine Rutschung mit Verbuschung mit Nadelgehölzen, die sich auf Weideland befinden. Die Hangneigung beträgt dort  $29^\circ$ , die Neigung der Gesteinsschichten (Wechsellagerungen von Sandstein und Mergel)  $39^\circ$ .

## b) Lockergestein

Von insgesamt 43 Rutschungen sind Daten über das Lockergestein vorhanden.

*Gehängeschutt:* In 35 Rutschungen (81%) wurde Gehängeschutt beobachtet, 9 davon im Wald, die anderen 26 auf dem Freiland (24 auf der Weidefläche und 2 auf Flächen mit Nutzungsaufgabe) (Abbildung 4.24). Gehängeschutt besteht aus tonig-siltigen Kiesen mit grossem Feinanteil, teilweise mit Steinen und Blöcken, jedoch stets mit einem geringen Anteil von Grob- und Mittelsand (Rickli, 2001).

*Gehängelehm:* In 3 Rutschungen (7%) wurde Gehängelehm beobachtet, alle auf Weideflächen (Abbildung 4.24). Beim Gehängelehm fehlen verglichen mit dem Gehängeschutt die groben Gesteinskomponenten und es handelt sich um tonige Silte (Rickli, 2001).

*Moränenmaterial:* In 5 Rutschungen (12%) wurde Moränenmaterial beobachtet, davon eine im Wald, die anderen 4 auf dem Freiland (3 auf der Weidefläche und eine auf einer Mähwiese) (Abbildung 4.24). Moränenmaterial besteht aus siltigen Kiesen mit einem verglichen mit dem Gehängeschutt geringeren Feinanteil, dafür aber stets mit einem deutlichen Sandgehalt, sowie Steinen und teilweise Blöcken (Rickli, 2001).

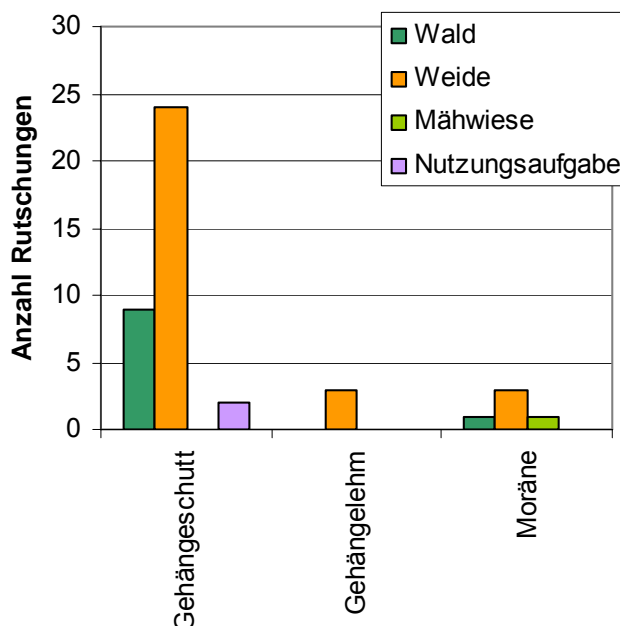


Abbildung 4.24: Anzahl Rutschungen pro Lockergesteinsklassen, unterschieden nach Wald und Nutzungsarten des Freilandes.

#### 4.4 Einfluss von Gehölzpflanzen und Nutzungsaufgabe auf das Ausmass der Rutschungen

Nach den Abbildungen 4.25, 4.26 und 4.27 sind viele kleine und wenig grosse Rutschungen entstanden.

Von den gesamthaft 56 Rutschungen sind 17 (30%) Kleinrutschungen ( $\leq 50\text{m}^3$ ) und 7 (13%) Grossrutschungen ( $>500\text{m}^3$ ) (vgl. Abbildung 4.24). Werden Wald- und Freilandrutschungen getrennt betrachtet, sind von den 15 Waldrutschungen 5 (33%) Kleinrutschungen und 2 (13%) Grossrutschungen, und von den 41 Freilandrutschungen 12 (29%) Kleinrutschungen und 5 (12%) Grossrutschungen (vgl. Abbildung 4.25). Werden die Freilandrutschungen getrennt nach ihrer Nutzung angeschaut, sind von den 36 Rutschungen auf der Weidefläche 8 (22%) Kleinrutschungen und 5 (14%) Grossrutschungen, und von den 2 Rutschungen auf den Mähwiesen eine (50%) bzw. von den drei Rutschungen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe alle drei (100%) Kleinrutschungen (vgl. Abbildung 4.26). Bei den Gehölzkategorien ist von den zwei Rutschungen auf Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen eine eine Kleinrutschung, von den drei Rutschungen auf Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen sind alle drei Rutschungen Kleinrutschungen (vgl. Abbildung 4.27).

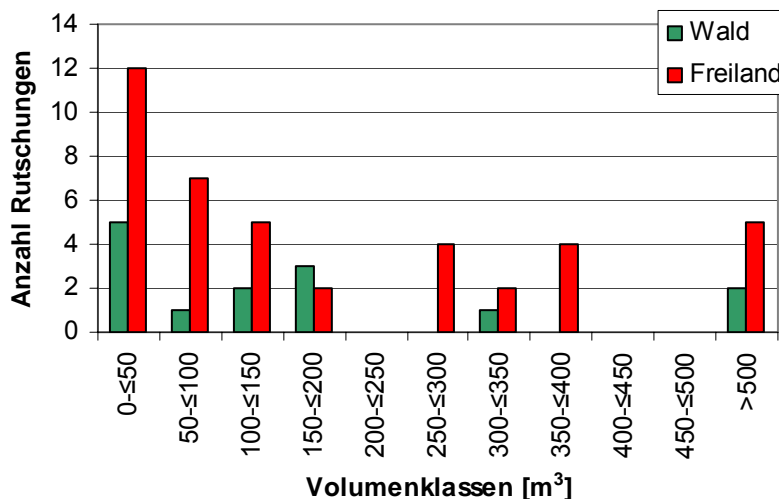


Abbildung 4.25: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Wald und Freiland.

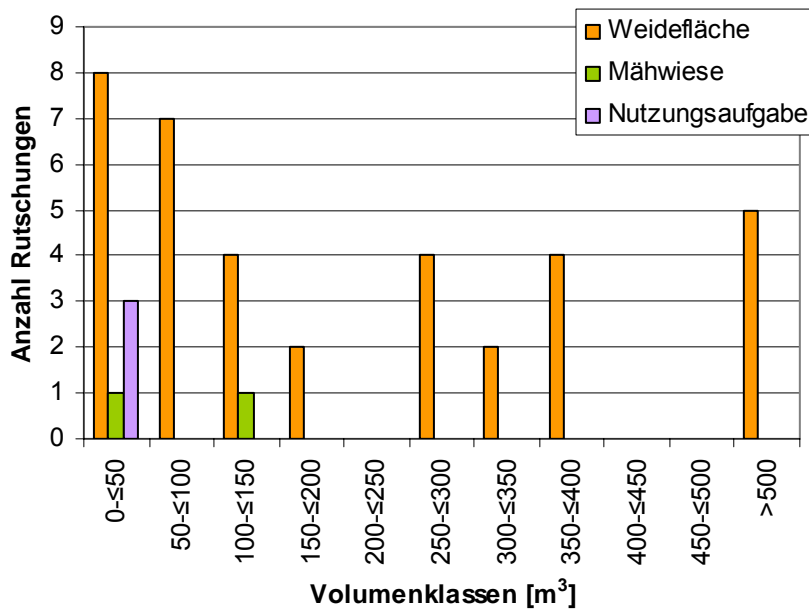


Abbildung 4.26: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Weidefläche, Mähwiese und Flächen mit Nutzungsaufgabe.

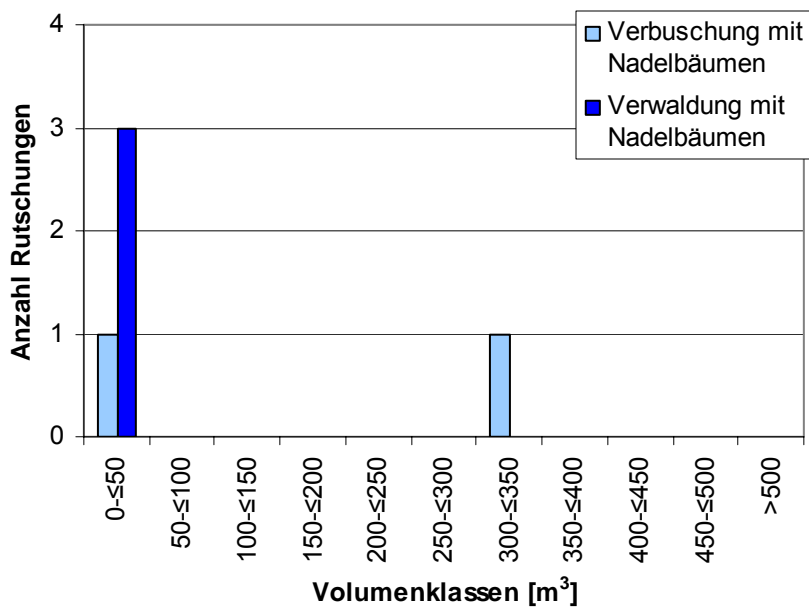


Abbildung 4.27: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen.

Grosse Rutschungen entstanden hauptsächlich im Freiland (Abbildung 4.25). Betrachtet man die Rutschungen im Freiland genauer (Abbildung 4.26), kann festgestellt werden, dass Rutschungen auf Mähwiesen und auf Flächen mit

Nutzungsaufgabe ein kleines Volumen einnehmen, während auf den Weideflächen 15 von 36 Rutschungen (42%) ein grösseres Volumen einnehmen als  $250\text{m}^3$ . Die mit Abstand grösste Rutschung trat auf der Weidefläche auf und weist ein Volumen von  $2800\text{m}^3$  auf.

Auf Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen gab es eine kleine und eine mittelgrosse Rutschung (Abbildung 4.27). Auf Flächen mit Verwaltung mit Nadelgehölzen gab es 3 kleine Rutschungen.

Zusammengefasst sind die Werte eher schief verteilt als normal verteilt. Deshalb werden nachfolgend zur Beschreibung der Werteverteilung nicht Mittelwert und Standardabweichung, sondern Median und 25%- bzw. 75%-Quantile angegeben.

Tabelle 4.9: Abmessungen der Rutschungen im Wald und im Freiland (n = Anzahl Werte).

		Median	75%-Quantil	Max	Min	25%-Quantil
Wald	Länge (m, n=15)	20.0	30.0	48.0	6.0	11.0
	Breite (m, n=15)	11.5	14.8	17.0	4.0	7.8
	Mächtigkeit (m, n=14)	1.0	1.0	3.0	0.3	1.0
	Volumen ( $\text{m}^3$ , n=14)	120.0	155.0	960.0	4.0	16.0
Freiland	Länge (m, n=41)	18.0	24.0	64.0	5.0	10.0
	Breite (m, n=41)	12.0	16.0	35.0	4.0	9.0
	Mächtigkeit (m, n=41)	1.0	2.0	3.0	0.3	1.0
	Volumen ( $\text{m}^3$ , n=41)	136.0	330.0	2800.0	4.0	47.0

Der mittlere Wert für die Länge aller Rutschungen beträgt ca. 19m, für die Breite um 12m, die Mächtigkeit 1m und für das Volumen  $134\text{m}^3$ . In Tabelle 4.9 sind die Werte getrennt nach Wald- und Freilandrutschungen aufgeführt. Waldrutschungen sind etwas länger als Freilandrutschungen, dafür etwas weniger breit. Waldrutschungen und Freilandrutschungen sind beide gleich tiefgründig, aber das Volumen der Freilandrutschungen ist grösser als jenes der Waldrutschungen.

In Tabelle 4.10 sind die Werte getrennt nach Weidefläche, Mähwiese und Flächen mit Nutzungsaufgabe dargestellt. Rutschungen in Weideflächen sind länger als Rutschungen in Mähwiesen oder Flächen mit Nutzungsaufgabe und breiter als Rutschungen in Mähwiesen. Auf allen drei Nutzungskategorien sind die Rutschungen gleich tiefgründig. Das Rutschvolumen ist in den Weideflächen überdurchschnittlich gross. Rutschungen in den Mähwiesen sind kleiner als der mittlere Wert für das Freiland (vgl. Tabelle 4.9), in den Flächen mit Nutzungsaufgabe ist das Rutschvolumen sehr klein.



In Tabelle 4.11 sind die Werte der Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen aufgeführt. Während die Rutschungen in den Flächen mit Verbuschung mit Nadelbäumen durchschnittlich lang und breit, aber überdurchschnittlich tiefgründig sind und ein relativ grosses Volumen einnehmen, sind die Rutschungen in den Flächen mit Verwaldung mit Nadelbäumen unterdurchschnittlich lang und breit, weniger tiefgründig und haben ein viel geringeres Rutschvolumen als eine Rutschung mit mittleren Werten.

Tabelle 4.10: Abmessungen der Rutschungen in den Weideflächen, Mähwiesen und Flächen mit Nutzungsaufgaben (n = Anzahl Werte).

		Median	75%-Quantil	Max	Min	25%-Quantil
Weidefläche	Länge (m, n=36)	19.0	25.3	64.0	5.0	12.8
	Breite (m, n=36)	12.0	17.0	35.0	4.0	9.0
	Mächtigkeit (m, n=36)	1.0	2.0	3.0	0.3	1.0
	Volumen (m <sup>3</sup> , n=36)	162.5	354.8	2800.0	4.0	55.3
Mähwiese	Länge (m, n=2)	12.0	15.5	19.0	5.0	8.5
	Breite (m, n=2)	9.0	10.5	12.0	6.0	7.5
	Mächtigkeit (m, n=2)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Volumen (m, n=2)	80.5	116.8	153.0	8.0	44.3
Flächen mit Nutzungsaufgabe	Länge (m, n=3)	11.0	13.0	15.0	10.0	10.5
	Breite (m, n=3)	11.0	12.5	14.0	4.0	7.5
	Mächtigkeit (m, n=3)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	Volumen (m <sup>3</sup> , n=3)	47.0	48.5	50.0	14.0	30.5

Tabelle 4.11: Abmessungen der Rutschungen in Gebieten mit Verwaldung und Verbuschung mit Nadelbäumen (n = Anzahl Werte).

		Median	75%- Quantil	Max	Min	25%- Quantil
Verbuschung mit Nadelbäumen	Länge (m, n=2)	18	24	30	5	11
	Breite (m, n=2)	11	14	16	6	9
	Mächtigkeit (m, n=2)	2	1.75	2.0	1.0	1.25
	Volumen (m <sup>3</sup> , n=2)	184	265.25	347	20	101.75
Verwaldung mit Nadelbäumen	Länge (m, n=3)	6.0	8	10	5	5.5
	Breite (m, n=3)	4.0	4	4	4	4
	Mächtigkeit (m, n=3)	0.3	0.65	1.0	0.3	0.3
	Volumen (m <sup>3</sup> , n=3)	4.0	9	14	4	4

Auch für das Rutschvolumen ist es wichtig, den Einfluss der Neigung abzuschätzen. Sowohl im Wald als auch im Freiland wurden im flachen Gelände grössere Rutschungen beobachtet als im steileren Gelände (Abbildung 4.28).

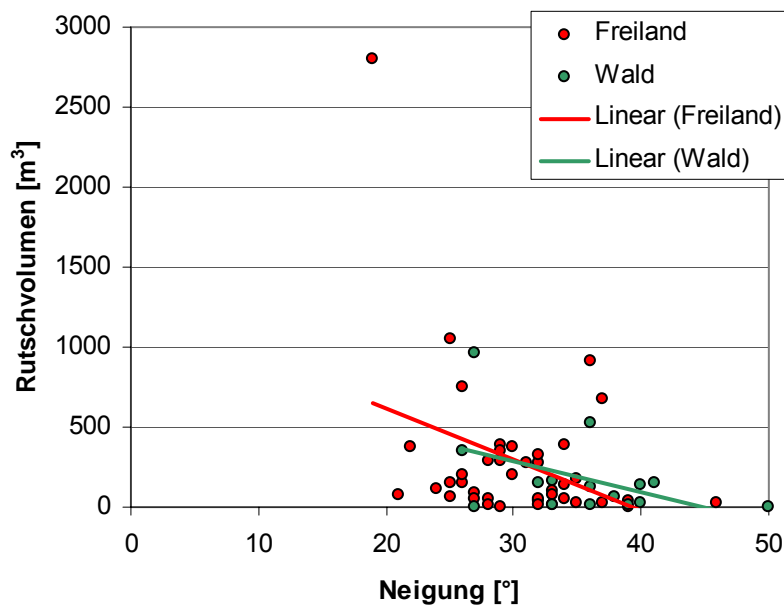


Abbildung 4.28: Einfluss der Neigung auf das Rutschvolumen, unterschieden zwischen Wald und Freiland. Die eingefügten Geraden zeigen einen Trend auf.

#### **4.5 Erfahrungen der Landwirte aus dem Untersuchungsgebiet zum Thema**

Die Erfahrungswerte der Landwirte geben einen Hinweis darüber, ob und inwiefern Gehölze Rutschungen verhindern können, aber auch wie sie den Einfluss der Nutzungsaufgabe bezüglich der Hangstabilität einschätzen.

Die transkribierten Interviews befinden sich in Anhang III.

Alle drei befragten Landwirte haben Bäume oder Sträucher auf den von ihnen bewirtschafteten Freilandflächen. Sie sind sich einig darin, dass diese aufgrund ihrer Wurzeln dazu beitragen, Rutschungen zu verhindern. Allerdings müssen die Bäume gemäss Älpler Bösarni und Bauer Düehlboden in einer gewissen Dichte stehen, um Wirkung zu zeigen: „Der Wald saugt natürlich schon Wasser auf, oder. Aber so vereinzelt Bäume, das Hilft nichts“ (Älpler Bösarni). Bauer Lamm unterscheidet auch Flachwurzler und Pfahlwurzler, wobei er Bäumen mit einer Pfahlwurzel eine grössere Wirkung auf die Hangstabilität zuschreibt. Älpler Bösarni merkt an, dass in höheren Lagen aufgrund der grossen Schneemengen im Winter insbesondere junge und einzeln stehende Gehölze Rutschungen fördern, da sie vom Schnee nieder gedrückt werden und den Boden aufreissen: „Wenn die Grotzen (= junge Fichten) in der Weide oben eine gewisse Grösse haben, und es eine gewisse Menge Schnee gibt, dann drückt der Schnee die um. Und dann zerrt es ein Loch auf“. Deshalb sei es wichtig, die Weideflächen zu pflegen, indem solche Gehölze entfernt würden: „Die Grotzli (= junge Fichten) reisse ich aus. Jedes Mal 40 bis 50, so viele ich kann. Wenn sie zu gross werden, mag man sie nicht mehr ausreissen. Dann schneide ich sie ab, wenn ich Zeit habe.“ (Älpler Bösarni).

Alle drei befragten Landwirte glauben, dass es beispielsweise bei Wegböschungen Sinn macht, Gehölze zu pflanzen. Eschen und Weiden werden von Älpler Bösarni genannt („Esche und Weide, die wurzeln gut.“), wobei er aber darauf hinweist, dass dies nicht für höhere Lagen gilt. Bauer Düehlboden merkt an, man könne auch Gehölze pflanzen, die genutzt werden können, wie beispielsweise Kirschbäume.

Auf die Frage, ob früher Bäume und Sträucher gepflanzt wurden, um Rutschungen zu verhindern, wussten die Landwirte keine Antwort. Nur Bauer Düehlboden meinte, Marchgrenzen wären früher vermehrt mit Hecken bepflanzt gewesen, die eine gewisse Wirkung hatten. Bauer Lamm und Bauer Düehlboden sind sich einig, dass solche Gehölze weder gepflegt noch geschnitten werden müssen, ausser sie stören.

Alle drei Landwirte sind sich einig, dass sich eine Nutzungsaufgabe negativ auf die Hangstabilität auswirkt: „Jesses, das wäre ja verrückt, wenn die Grotzli alle wachsen würden! Solch schöne Liegenschaften! Das ginge alles kaputt!“ (Älpler Bösarni). Bauer Düehlboden nennt als Grund das vermehrte Rutschen des Schnees, wodurch der Boden aufgerissen wird. Einig sind sich die Landwirte

auch darin, dass mit dem Aufkommen von Wald die Hänge wieder stabiler werden.

#### „Lämmli“

Die einzeln stehenden Bäume im „Lämmli“ sind aufgekommen, da die Fläche während einiger Jahre nicht mehr genügend bewirtschaftet und gepflegt wurde. Bauer Lamm, der die Fläche jetzt bewirtschaftet, ist der Meinung, dass es besser wäre, die grossen Eschen zu fällen, da sie sich negativ auf den Boden auswirken: „Um die Bäume herum ist der Boden dann schon weniger fest, oder. Vom Schatten her und allem. Es gibt dann fast so ein bisschen Waldboden, oder.“

---

## 5 Diskussion

### 5.1 Allgemeines

Pflanzen werden seit langem zur Bekämpfung von Erosion und für die Stabilisierung von Rutschungen eingesetzt, auch heutzutage finden sie bei ingenieurbioologischen Massnahmen Anwendung (Böll, 1997). Der Einfluss der Vegetation, auch im Zusammenhang mit Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland, lässt sich jedoch nur schwer in Zahlen fassen. Die Schwierigkeit besteht insbesondere darin, dass die Hangstabilität noch von weiteren Faktoren beeinflusst wird. Bevor auf den Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität eingegangen wird, soll hier diskutiert werden, wie stark der Einfluss zusätzlicher Faktoren bezüglich oberflächennaher Rutschungen im Untersuchungsgebiet Flühli ist.

#### Neigung

Die Ergebnisse zeigen, dass die Hangneigung einen wichtigen Einfluss auf das Vorkommen von Rutschungen ausübt (Abbildungen 4.14 und 4.16). Aufgrund bodenmechanischer Überlegungen ist die Zunahme der Rutschaktivität mit zunehmender Hangneigung verständlich. Bei gleichen Untersuchungen durch Rickli (2001) nahm jedoch die Rutschaktivität nach Überschreiten einer gewissen Neigung wieder ab. Dieses Phänomen wurde von Rickli mit der Abnahme der Lockergesteinsmächtigkeit mit zunehmender Hangneigung erklärt. Ein Grund, warum in der vorliegenden Untersuchung die Rutschaktivität bei grossen Hangneigungen nicht wieder abnimmt, ist unter anderem das für diese Berechnungen benötigte digitale Höhenmodell DHM25. Die mit dem DHM25 ermittelten Neigungen waren im Durchschnitt markant tiefer als die im Gelände gemessenen Werte (Abbildung 3.1). Daher ergibt sich für die neigungsabhängige Flächenverteilung, für die das DHM25 benötigt wurde, eine Verschiebung gegen kleinere Neigungen. Da daraus die Rutschaktivitäten berechnet werden, überträgt sich dieser Fehler. Da die Flächen insbesondere für grosse Neigungen zu klein berechnet werden, fallen die Rutschaktivitäten entsprechend grösser aus. Dies könnte ein Grund sein, warum in dieser Untersuchung die Rutschaktivitäten bei grossen Neigungen nicht abnehmen.

Die Neigung wirkt sich zudem auch auf das Vorkommen von Wald und Freiland aus, bzw. im Freiland auf die Nutzungsart (vgl. Abbildung 4.13 und 4.15). Der Wald stockt hauptsächlich in den steileren Hangpartien und in den Gerinnhängen. Die Mähwiesen sind in flacheren Gebieten anzutreffen als die Weideflächen.

Fazit: Es konnte ein deutlicher Einfluss der Neigung auf die Hangstabilität bezüglich oberflächennaher Rutschungen festgestellt werden.

### Geländeform

Gemäss den vorliegenden Ergebnissen traten bei zwei Geländeformen Rutschungen besonders häufig auf. 34% der Rutschungen ereigneten sich auf Geländeformen ohne Wölbung in der Hangfalllinie und ohne Wölbung im Querprofil, 29% der Rutschungen ereigneten sich auf Geländeformen ohne Wölbung in der Hangfalllinie mit nach innen geneigtem Querprofil (Tabelle 4.5 und Abbildungen 4.21 und 4.22). Die Rutschungen traten also hauptsächlich in den Hängen ohne Wölbung auf, oder aber in Hängen mit Rinnenlage. Damit scheinen diese Geländetypen besonders gefährdet zu sein bezüglich der Entstehung oberflächennaher Rutschungen. In Hängen ohne Wölbung kann davon ausgegangen werden, dass die Geomorphologie nur einen geringen Einfluss hat auf die Rutschauslösung und andere Faktoren massgebend sind. In Hängen mit Rinnenlage führte wohl der vermehrte Zufluss von Wasser zu einer erhöhten Wasserkonzentration, womit die Geländeform die Auslösung einer Rutschung beeinflussen kann. Um den Einfluss der Geländeform quantifizieren zu können, müssten jedoch Kenntnisse erarbeitet werden über das flächenmässige Vorkommen der verschiedenen Geländeformen im Untersuchungsgebiet. Das für diese Arbeit verwendete digitale Höhenmodell DHM25 ist für diese Zwecke nicht genügend genau.

Vergleicht man das Resultat mit ähnlichen Untersuchungen, sind einige Übereinstimmungen zu finden, aber auch Gegensätze. Die als Folge des Unwetters in Sachseln aufgetretenen Rutschungen im August 1997 ereigneten sich hauptsächlich in Hängen ohne Wölbung (Rickli, 2001). Die bei den Unwettern im Napfgebiet im Juli 2002 ausgelösten Rutschungen traten dagegen am häufigsten in Rinnenlagen und am zweithäufigsten an Terrassenkanten auf (Rickli et al., 2003). Bei den Unwettern im Appenzell vom August und September 2002 traten die meisten Rutschungen an Terrassenkanten auf, häufig auch in Rinnenlagen (Rickli et al., 2003).

Bezüglich Geländeform deuten Beobachtungen darauf hin, dass Anzeichen alter Rutschbewegungen einen guten Hinweis geben bei der Beurteilung und Erkennung potentiell gefährdeter Gebiete (Abbildung 4.10). Darauf weisen auch Rickli et al. (2003) hin.

Offenbar ist es gebietsabhängig, ob die Geländeform wichtig ist für die Entstehung von oberflächennahen Rutschungen oder nicht. Weitere Untersuchungen dazu sind notwendig.

Fazit: Es konnte in Rinnenlagen ein leichter Einfluss der Geländeform auf die Hangstabilität bezüglich oberflächennaher Rutschungen festgestellt werden. Das Resultat konnte jedoch nicht quantifiziert werden.

## Gestein

*Festgestein:* Gemäss den vorliegenden Ergebnissen übt das Festgestein keinen massgebenden Einfluss auf die Entstehung von Rutschungen aus. Zwar treten Rutschungen auf Nagelfluh tendenziell etwas häufiger auf, sowohl im Wald als auch im Freiland (Tabellen 4.6, 4.7 und 4.8). Aber dieser Hinweis ist aufgrund sehr kleiner Datensätze unsicher. Zusätzliche aufwändige Feldarbeiten wären nötig, um ein genügend grosses Datenset zu erhalten. Ausserdem wären für die Quantifizierung der Ergebnisse Kenntnisse über das flächenhafte Vorkommen des Festgesteins im Untersuchungsgebiet erforderlich.

*Lockergestein:* 81% der Rutschungen traten auf Gehängeschutt auf (Abbildung 4.24). Damit scheint dieser Lockergesteinstyp besonders gefährdet zu sein bezüglich der Entstehung von oberflächennahen Rutschungen. Um den Einfluss des Lockergesteins quantifizieren zu können, müssten jedoch Kenntnisse erarbeitet werden über das flächenhafte Vorkommen von Lockergesteinstypen. Eine Moräne kommt entlang der Beichlen auf halber Höhe vor, flächenhaft gesehen ein eher geringer Anteil. Über die Verteilung von Gehängelehm und Gehängeschutt kann keine Aussage gemacht werden.

Fazit: Über das Festgestein kann keine Aussage gemacht werden. Rutschungen traten am häufigsten bei Gehängeschutt auf. Dieses Resultat konnte aber nicht quantifiziert werden und ist unsicher.

## 5.2 Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität

Im Folgenden sollen die in der Einleitung gestellten Fragen beantwortet und diskutiert werden. Es soll eine Aussage darüber gemacht werden, ob und inwiefern gewisse Sukzessionsstadien nach der Nutzungsaufgabe von landwirtschaftlichem Kulturland oder auch einzeln stehende Gehölze im Freiland besonders instabil sind bezüglich oberflächennaher Rutschungen.

### 5.2.1 Landwirtschaftliche Nutzungskategorien

Im Untersuchungsgebiet Flüfli entstanden im Freilandgebiet durchschnittlich 0.11 Rutschungen pro Hektare (Tabelle 4.1). Betrachtet man die einzelnen Nutzungskategorien genauer, fällt auf, dass die Rutschaktivität

auf der Weidefläche mit 0.17 R/ha deutlich grösser ist als diejenige der Mähwiese mit 0.02 R/ha (Tabelle 4.1). Auf den ersten Blick scheinen die Rutschungen demnach hauptsächlich auf dem Weidegebiet aufzutreten. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Weideflächen deutlich höhere Hangneigungen (durchschnittliche Neigung:  $26.0^\circ$ ) aufweisen als die Mähwiesen (durchschnittliche Neigung:  $15.9^\circ$ ) (Tabelle 4.4). Ein Grund für das vermehrte Auftreten von Rutschungen auf dem Weidegebiet liegt demnach in den grösseren Hangneigungen der Weideflächen. In einer Untersuchung der Rutschungen vom August 1997 in Sachseln wurde ein ähnliches Resultat gefunden (Rickli, 2001), zusätzlich wurde die Nutzungsintensität der Weideflächen betrachtet und gezeigt, dass sich eine zu starke Bestossung negativ auf die Hangstabilität auswirkt.

Nach den vorliegenden Daten sind auf der Weidefläche durchschnittlich doppelt so grosse Rutschungen entstanden wie auf den Mähwiesen (Tabelle 4.10, Abbildung 4.26). Diese Aussage ist jedoch sehr unsicher, da sich auf den Mähwiesen nur 2 gültige Rutschungen ereigneten, die für den Vergleich herangezogen werden können. Dennoch ist das Resultat ein Hinweis, der erstaunt, da grundsätzlich in steileren Gebieten eher kleinere Rutschungen beobachtet wurden (Abbildung 4.28). Ein möglicher Grund für diesen Widerspruch kann daher durchaus in der unterschiedlichen Nutzung gesehen werden. Zu diesen Zusammenhängen liegen keine anderen Untersuchungen vor.

Über den Einfluss von Geländeform und Gestein auf die Rutschaktivitäten in den landwirtschaftlichen Nutzungskategorien kann keine Aussage gemacht werden.

Fazit: Auf der Weidefläche ereigneten sich mehr Rutschungen als auf den Mähwiesen. Der Grund für die unterschiedliche Rutschaktivität liegt hauptsächlich in der Hangneigung.

### 5.2.2 Einzel stehende Gehölze auf landwirtschaftlich genutzten Flächen

Bei einzeln stehenden Gehölzen traten keine Rutschungen auf (Tabelle 4.2). Allerdings nahmen die einzeln stehenden Nadel- und Laubgehölze auch nur sehr geringe Flächen (0.8 bzw. 2.5ha) ein (Tabelle 4.2). Die Flächen sind damit eindeutig zu klein, um eine Aussage zu machen. Die befragten Landwirte glauben nicht an eine Wirkung von einzeln stehenden Gehölzen, auch nicht der Bewirtschafter des „Lämmli“, der die auf dieser Weide einzeln stehenden Eschen nicht mit einer Absicht gepflanzt hat, sondern in ihnen eher negative Einflüsse auf die Hangstabilität vermutet. In der traditionellen Landwirtschaft Österreichs pflanzte man zur Stabilisierung Eschen und Berg-Ahorn, aber die Bäume mussten relativ eng zusammenstehen, um eine Wirkung zu erzielen



(Machatschek, 2002). Wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Thema wurden nicht gefunden.

Fazit: Über den Effekt einzeln stehender Gehölze kann keine Aussage gemacht werden.

### 5.2.3 Sukzessionsstadien nach Nutzungsaufgabe landwirtschaftlicher Flächen

#### Nutzungsaufgabe allgemein

Auf Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe traten keine Rutschungen auf (0 R/ha) (Tabelle 4.1). Allerdings nahm die Fläche mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe nur 5.3ha ein (Tabelle 4.1), was nur 1% des gesamten Untersuchungsgebietes darstellt. Um wirklich eine Aussage machen zu können, ob Flächen, die erst seit kurzer Zeit nicht mehr genutzt werden, stabiler oder instabiler bezüglich oberflächennahen Rutschungen sind, müsste ein grösseres Gebiet betrachtet werden.

Auf Flächen mit Nutzungsaufgabe betrug die Rutschaktivität 0.10 R/ha (Tabelle 4.1). Auch diese Fläche ist mit 29.3ha ziemlich klein (5% des Untersuchungsgebietes), um eine gesicherte Aussage machen zu können. Dennoch gibt dieses Resultat einen Hinweis. Vergleicht man die Rutschaktivität der Flächen mit Nutzungsaufgabe mit denjenigen der Mähwiese (0.02 R/ha) und der Weidefläche (0.17 R/ha) (Tabelle 4.1), sieht es auf den ersten Blick so aus, als würden sich weniger Rutschungen ereignen als auf der Weidefläche, aber mehr als auf den Mähwiesen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Weideflächen höhere Hangneigungen (durchschnittliche Neigung:  $26.0^\circ$ ) aufweisen als die Flächen mit Nutzungsaufgabe (durchschnittliche Neigung:  $23.2^\circ$ ), letztere wiederum grössere Hangneigungen haben als Mähwiesen (durchschnittliche Neigung:  $15.9^\circ$ ) (Tabelle 4.4). Ein Grund für das vermehrte bzw. geringere Auftreten von Rutschungen auf dem Weidegebiet bzw. auf den Mähwiesen im Vergleich zu den Flächen mit Nutzungsaufgabe liegt demnach in den unterschiedlichen Hangneigungen.

Die befragten Landwirte meinten, Nutzungsaufgabe wirke sich sehr negativ auf die Hangstabilität aus (Kapitel 4.5). In einer ähnlichen Untersuchung in Sachseln war die Rutschaktivität der vergandenden Gebiete vergleichbar mit derjenigen extensiv genutzter Weiden, aber die vergandenden Gebiete waren durchschnittlich leicht stärker geneigt (Rickli, 2001). In dieser Diplomarbeit konnte kein negativer Einfluss der Flächen mit Nutzungsaufgabe auf die Hangstabilität festgestellt werden.

Rutschungen auf Flächen mit Nutzungsaufgabe sind durchschnittlich halb so gross wie Rutschungen auf Mähwiesen und machen nur einen Viertel des

Volumens von Rutschungen auf der Weidefläche aus (Tabelle 4.10). Diese Aussage ist jedoch sehr unsicher, da auf den schon viel zu kleinen Flächen mit Nutzungsaufgabe nur 3 gültige Rutschungen auftraten, die für den Vergleich heran gezogen werden können. Ähnliche Untersuchungen liegen nicht vor.

Über den Einfluss von Geländeform und Gestein auf die Rutschaktivitäten auf den Flächen mit Nutzungsaufgaben kann keine Aussage gemacht werden.

### Sukzessionsstadien

Im Folgenden werden die Flächen mit Nutzungsaufgabe genauer betrachtet, indem sie in zwei Sukzessionsstadien aufgeteilt werden: Verbuschung und Verwaldung (vgl. Abbildung 1.4).

### Verbuschung

Im Sukzessionsstadium Verbuschung (vgl. Abbildung 1.4) wird unterschieden zwischen Nadel- und Laubgehölzen. In den Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen (19.7ha) ereigneten sich 2 Rutschungen, woraus sich eine Rutschaktivität von 0.10 R/ha ergibt (Tabelle 4.2). In den Flächen mit Verbuschung mit Laubgehölzen (5.2ha) ereigneten sich keine Rutschungen (Tabelle 4.2). Aufgrund der geringen Flächen dieser beiden Kategorien lässt sich keine gültige Aussage machen. Dennoch gibt dieses Resultat einen Hinweis. Vergleicht man die Rutschaktivität der Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen mit denjenigen der Weidefläche und der Mähwiesen, erkennt man, dass die Weideflächen (0.17 R/ha) eine grössere und die Mähwiesen (0.02 R/ha) eine geringere Rutschaktivität aufweisen als die Fläche mit Verbuschung mit Nadelgehölzen (Tabellen 4.1 und 4.2). Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass sich die Weideflächen (durchschnittliche Neigung:  $26.0^\circ$ ) auf steileren und die Mähwiesen (durchschnittliche Neigung:  $15.9^\circ$ ) auf flacheren Gebieten befinden als die Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen (durchschnittliche Neigung:  $26.6^\circ$ ) (Tabelle 4.4). Der Grund für die unterschiedliche Rutschaktivität liegt demnach in der verschiedenen Hangneigung.

Die befragten Landwirte meinten, Nutzungsaufgabe wirke sich sehr negativ auf die Hangstabilität aus (Kapitel 4.5). Auch in Spanien wurde eine Untersuchung durchgeführt, in der gezeigt wurde, dass nach Nutzungsaufgabe die Rutschaktivität kurzfristig erhöht war, und erst mit der Etablierung von Wald wieder sank (Cammeraat et al., 2005). In dieser Arbeit konnte kein negativer Effekt der Verbuschungsflächen auf die Hangstabilität festgestellt werden.

Nach den vorliegenden Daten sind die Rutschungen in Flächen mit Verbuschung mit Nadelgehölzen durchschnittlich gross (Tabelle 4.11 und Abbildung 4.27), aber sie weisen eine grössere Mächtigkeit auf als andere Rutschungen (Tabelle 4.8). Diese Aussage ist jedoch sehr unsicher, da sie auf

den Daten von zwei Rutschungen beruht. Trotzdem kann es als Hinweis aufgefasst werden. Es stellt sich die Frage, ob die grössere Mächtigkeit der Rutschungen auf die Vegetation zurückzuführen ist. Gemäss Sidle et al. (2006) verleihen Gehölze dem oberflächennahen Bodenmaterial eine signifikante Kohäsionskraft. Die grössere Bodenfestigkeit führt zu einer tieferen Gleitzone der Rutschung (Ekanayake and Phillips, 2002), was die grössere Mächtigkeit der Rutschungen erklären könnte. Der Zusammenhang müsste allerdings genauer untersucht werden, um Erklärungen dafür zu finden.

Über den Einfluss von Geländeform und Gestein auf die Rutschaktivitäten in den Verbuschungsflächen kann keine Aussage gemacht werden.

## Verwaldung

Im Sukzessionsstadium Verwaldung (vgl. Abbildung 1.4) wird unterschieden zwischen Nadel- und Laubgehölzen. In den Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen (25.1ha) ereigneten sich 3 Rutschungen, woraus sich eine Rutschaktivität von 0.12 R/ha ergibt (Tabelle 4.2). In den Flächen mit Verwaldung mit Laubgehölzen (22.2ha) ereigneten sich keine Rutschungen (Tabelle 4.2). Aufgrund der geringen Flächen dieser beiden Kategorien lässt sich keine gültige Aussage machen. Dennoch gibt dieses Resultat einen Hinweis. Vergleicht man die Rutschaktivität der Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen mit denjenigen der Weideflächen und der Mähwiesen, erkennt man, dass die Weideflächen (0.17 R/ha) eine grössere und die Mähwiesen (0.02 R/ha) eine geringere Rutschaktivität aufweisen als die Fläche mit Verwaldung mit Nadelgehölzen (Tabellen 4.1 und 4.2). Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass sich die Weideflächen (durchschnittliche Neigung: 26.0°) auf ähnlich steilen und die Mähwiesen (durchschnittliche Neigung: 15.9°) auf flacheren Gebieten befinden als die Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen (durchschnittliche Neigung: 26.1°) (Tabelle 4.4). Der Grund für die unterschiedliche Rutschaktivität zwischen Mähwiesen und Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen liegt demnach in der verschiedenen Hangneigung. Da die Weideflächen aber ähnlich geneigt sind wie die Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen, liegt der Grund für die unterschiedliche Rutschaktivität nicht in der Hangneigung, sondern womöglich im positiven Einfluss der Verwaldung mit Nadelgehölzen.

Die befragten Landwirte bestätigen, dass die Hänge mit der Etablierung von Wald wieder stabiler werden (Kapitel 4.5). Auch die in Spanien gemachte Untersuchung zeigt, dass sich die Rutschaktivität bei Nutzungsaufgabe kurzfristig erhöht, und erst mit der Etablierung von Wald wieder sinkt (Cammeraat et al., 2005).

Über die Flächen mit Verwaldung mit Laubgehölzen kann keine Aussage gemacht werden.

Nach den vorliegenden Daten sind die Rutschungen in den Flächen mit Verwaldung mit Nadelgehölzen klein (Tabelle 4.11 und Abbildung 4.27), was vermutlich auf die eher grosse Hangneigung bei den Rutschungen (durchschnittlich  $26.1^\circ$ ) zurückzuführen ist (Abbildung 4.28). Es gibt hierzu keine anderen Forschungsarbeiten, mit denen dies hätte verglichen werden können.

Über den Einfluss von Geländeform und Gestein auf die Rutschaktivitäten in Verwaldungsflächen kann keine Aussage gemacht werden.

Fazit: Es kann keine Aussage über den Einfluss die Verbuschung mit Nadelgehölzen auf die Hangstabilität gemacht werden. Verwaldung mit Nadelgehölzen stabilisiert allerdings die Hänge bezüglich oberflächennaher Rutschungen im Vergleich mit den Weideflächen. Dieses Resultat ist jedoch sehr unsicher.

#### 5.2.4 Wald

Im Wald entstanden wie im Freiland pro Hektare 0.11 Rutschungen (Tabelle 4.1). Damit scheint auf den ersten Blick kein Einfluss des Waldes auf die Hangstabilität zu bestehen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass im Waldareal andere Hangneigungen vorherrschen als im Freiland. Während der Wald auf den steileren Hangpartien und in den Gerinnehängen stockt (durchschnittliche Neigung:  $27.6^\circ$ , Tabelle 4.4), liegt ein grosser Anteil des Freilandes auf den flacheren Hangpartien und im unteren, flacheren Bereich des Untersuchungsgebietes (durchschnittliche Hangneigung:  $21.6^\circ$ , Tabelle 4.4).

Bei gleich stark geneigten Flächen von Wald und Freiland sieht das Bild jedoch anders aus. Bei vergleichbaren Neigungsverhältnissen kann gezeigt werden, dass sich im Wald deutlich weniger Rutschungen ereigneten als im Freiland (Abbildung 4.14). Dieses Ergebnis wurde durch die befragten Bauern bestätigt (Kapitel 4.5). Auch bei Untersuchungen in Sachseln konnte gezeigt werden, dass die Rutschaktivität im Wald deutlich geringer ist als im Freiland (Rickli, 2001). Als Erklärung wird dafür häufig der Grund genannt, dass tief wurzelnde Bäume und Büsche dem oberflächennahen Bodenmaterial eine signifikante Kohäsionskraft verleihen und den präferentiellen Abfluss des Wassers erleichtern (Sidle et al., 2006). Die grössere Bodenfestigkeit führt zu einer tieferen Gleitzzone der Rutschung, was die Schwelle der Rutschauslösung erhöht (Ekanayake and Phillips, 2002).

Vergleicht man den Wald mit den landwirtschaftlichen Nutzflächen, zeigt sich, dass auf den Weideflächen die Rutschaktivität mit 0.17 R/ha grösser war als im Wald (0.11 R/ha), auf den Mähwiesen (0.10 R/ha) etwa gleich (Tabelle 4.1). Auf den ersten Blick scheinen also Rutschungen hauptsächlich auf den

Weideflächen aufzutreten, weniger aber im Wald und den Mähwiesen. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass die Neigung im Wald ungefähr derjenigen der Weidefläche entspricht (durchschnittliche Neigung Wald bzw. Weidefläche:  $27.6^\circ$  bzw.  $26.0^\circ$ ), die Mähwiesen deutlich flacher sind (durchschnittliche Neigung:  $15.9^\circ$ ) (Tabelle 4.4).

Bei vergleichbaren Neigungsverhältnissen kann gezeigt werden, dass sich im Wald deutlich weniger Rutschungen ereigneten als auf den Weideflächen (Abbildung 4.14). Als Grund dafür werden häufig die Baumwurzeln genannt (vgl. Abbildung 4.8), die dem oberflächlichen Bodenmaterial eine signifikante Kohäsionskraft verleihen und den präferentiellen Abfluss des Wassers erleichtern (Sidle et al., 2006).

Nach den vorliegenden Daten sind innerhalb des Waldes gleich grosse Rutschungen entstanden wie auf den Weideflächen (Tabellen 4.9 und 4.19), aber grössere als auf den Mähwiesen (Tabelle 4.10). Erstes widerspricht den Erkenntnissen von anderen Untersuchungen, die besagen dass im Wald eher grössere Rutschungen auftreten als im Freiland (Rickli, 2001; Sidle et al., 2006). Das vorliegende Ergebnis kann dadurch erklärt werden, dass der Wald auf steileren Gebieten anzutreffen ist als das Freiland, und dass auf steileren Gebieten die Rutschungen im Allgemeinen kleiner werden (Abbildung 4.28).

Vergleicht man den Wald mit den nicht mehr genutzten Flächen, zeigt sich, dass auf den Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen die Rutschaktivitäten mit 0.10 R/ha bzw. 0.12 R/ha ungefähr derjenigen des Waldes (0.11 R/ha) entsprechen (Tabellen 4.1 und 4.2). Auf den Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Laubbäumen ereigneten sich keine Rutschungen (Tabelle 4.2). Der Wald ist auf etwa ähnlich oder ganz leicht steileren Hängen anzutreffen als die Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen (vgl. Abbildungen 4.13, 4.17 und 4.18). Daher sind der Wald und die Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen etwa gleich stark von Rutschungen betroffen. Diese Aussage ist jedoch sehr unsicher, da der Datensatz sehr klein ist: auf den Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen traten nur 2 bzw. 3 gültige Rutschungen auf.

Generell traten Rutschungen sowohl im Wald als auch im Freiland am häufigsten auf Geländeformen ohne Wölbung auf, oder aber in Hängen mit Rinnenlage. Im Gegensatz zum Freiland (Weideflächen) traten im Wald keine Rutschungen auf Geländeformen mit Wölbung im Querprofil und Hangfalllinie auf (Abbildungen 4.21 und 4.22). Der Grund für Rutschungen an Terrassenkanten des Freilandes liegt womöglich darin, dass Wasser, welches entlang von undurchlässigen Bodenschichten fliesst, an den Terrassenkanten nicht mehr ungehindert weiter fließen kann und dadurch hohe Wasserdrücke verursacht. Der Wald kann Rutschungen möglicherweise durch Wasseraufnahme oder durch die Förderung des Abflusses verhindern (vgl. Tabelle 2.1).

Im Wald gab es Rutschungen nur auf Nagelfluh oder Wechsellagerungen (Abbildung 4.7). Der Grund liegt möglicherweise darin, dass Nagelfluh eine grössere Festigkeit und weniger Spalten aufweist als Sandstein und Mergel, und die Wurzeln der Bäume daher in die Nagelfluh nicht eindringen können, bei Sandstein und Mergel jedoch zum Teil vermutlich schon. Dadurch ist die Armierungswirkung der Wurzeln zwischen Locker- und Festgestein bei Nagelfluh nicht gewährleistet und der Hang anfälliger auf Rutschungen (vgl. Abbildung 2.2).

Fazit: Es gibt eine Tendenz, dass sich bei vergleichbaren Neigungsverhältnissen im Wald weniger Rutschungen ereigneten als auf dem Weideland, aber etwa gleich viele wie auf Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen. Letzteres Resultat ist jedoch unsicher.

### *5.3 Diskussion der Methoden*

Die Methode mit den Rutschaktivitäten von Rickli (2001, 2003) funktioniert nur bei genügend grossen Flächen. Die Flächenkategorien sollten mindesten eine Grösse von 50 Hektaren haben, um ein aussagekräftiges Resultat zu liefern. Da das Untersuchungsgebiet Flühli nur 506 Hektaren gross ist, und der grösste Teil des Gebietes von Wald und Weideflächen sowie Mähwiesen dominiert wird, sind die Flächen mit Nutzungsaufgabe und Gehölzvorkommen auf dem Freiland eher klein. Um ein aussagekräftiges Resultat über den Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität zu erhalten, müsste ein viel grösseres Untersuchungsgebiet erforscht werden. Dies hätte aber den Rahmen einer Diplomarbeit gesprengt. Um Zeit zu sparen, hätten statt Kartierungen Luftbilder eines grösseren Gebietes analysiert werden können. Dann wäre es aber zu zeitlichen Problemen mit den notwendigen Datenerhebungen an der Rutschungen gekommen, die sehr aufwändig sind.

Um einen Zusammenhang zwischen der Rutschaktivität und der Neigung abzuschätzen, wurden Neigungsklassen diskutiert. Gerade in Fällen von Flächenkategorien, auf denen nur wenige Rutschungen auftraten, war die Rutschaktivität der Fläche einer bestimmten Neigungsklasse sehr stark von der Definition der Neigungsklasse abhängig, egal wie gross die jeweilige Flächenkategorie ist. Beispielsweise ist der Vergleich der Rutschaktivitäten von Mähwiese und Nutzungsaufgabe in Abhängigkeit der Neigungsklassen zum Scheitern verurteilt, da das Resultat viel zu stark durch die Definition der Neigungsklassen beeinflusst wird. Gemäss Abbildung 4.16 ist die Rutschaktivität der Flächen mit Nutzungsaufgabe bei vergleichbaren Neigungsverhältnissen grösser als diejenige des Waldes, und gemäss Abbildung 4.20 sind auch die Rutschaktivitäten der Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen bei vergleichbaren Neigungsverhältnissen grösser als diejenigen des Waldes. Vergleicht man aber Abbildung 4.16 mit Abbildung 4.15, erkennt

man, dass bei den Neigungsklassen 24-26° und 26-28° die Flächen der Mähwiese und der Flächen mit Nutzungsaufgabe sehr klein sind. Da sich eine bzw. zwei Rutschungen auf Mähwiese und Flächen mit Nutzungsaufgabe in dieser Neigungskategorie ereigneten, führt dies zu einer sehr hohen Rutschaktivität. Dieses Resultat wird stark von der Wahl der Neigungsklassen beeinflusst. Hätte man grössere Neigungsklassen gebildet, würde dieses Resultat stark relativiert. Die Wahl der Neigungsklassen führte also zusammen mit einer geringen Anzahl Rutschungen dazu, dass in Abbildung 4.16 und 4.20 für die Mähwiese und die Flächen mit Nutzungsaufgabe bzw. die Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen zu grosse Rutschaktivitäten berechnet wurden, die so ungünstig sind. Sie flossen dem entsprechend nicht in die Diskussion der Ergebnisse ein.

Die Flächenverteilung in Abhängigkeit der Neigung (Abbildungen 4.13, 4.15, 4.17, 4.18 und 4.19) wurde mit dem digitalen Höhenmodell DHM25 in einem GIS berechnet. Die mit dem DHM25 ermittelten Neigungen waren im Durchschnitt markant tiefer als die im Gelände gemessenen Werte (Abbildung 3.1). Für aussagekräftigere Untersuchungen wäre ein genaueres Höhenmodell wünschenswert.

Bezüglich des Interviews mit den Bauern des Untersuchungsgebietes über ihre Erfahrungen mit dem Einfluss von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität trat das Problem auf, dass die Landwirte sehr unsicher waren. Die Interviewerin stellte fest, dass die Bauern nicht unbedingt aus Erfahrung sprachen wie erhofft, sondern sich eigentlich zuvor nicht mit dem Thema auseinandergesetzt hatten. Im Interview über die einzeln stehenden Eschen im „Lämmli“ sah sich die Interviewerin gezwungen, aufgrund mangelnder Information eine Suggestivfrage zu stellen. Die beeinflusste das Interview beträchtlich. Daher sind die Aussagen mit grosser Vorsicht zu interpretieren.





## 6 Schlussfolgerung

Es konnte ein deutlicher Einfluss der Neigung auf die Hangstabilität bezüglich oberflächennaher Rutschungen festgestellt werden. In Rinnenlagen beeinflusste die Geländeform zusätzlich die Hangstabilität, auch bei Gehängeschutt waren vermehrt Rutschungen aufgetreten.

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren und aufgrund kleiner Datensätze, war es schwierig, die in der Einleitung gestellten Fragen zu beantworten. Bezüglich Nutzungsaufgabe gibt es einige Hinweise. Flächen mit Verbuschung und Verwaldung mit Nadelgehölzen wirken tendenziell ähnlich stabilisierend auf die Hänge wie der Wald. Die Weideflächen sind anfälliger für Rutschungen als der Wald. Bezüglich einzeln stehender Gehölze im Freiland kann keine Aussage gemacht werden. In dieser Arbeit wurden jedoch Hinweise gefunden, dass sich Nutzungsaufgabe mit Gehölzaufkommen tendenziell stabilisierend auf die Hänge bezüglich oberflächennaher Rutschungen auswirkt, und der Wald als Schlussvegetation eindeutig eine stabilisierende Wirkung hat.

### *6.1 Schlussfolgerung für die Praxis*

Massnahmen, die bei der Beherrschung von Hochwassern und Überschwemmungen Wirkung zeigen, sind im Bereich von Schlammlawinen, Murgängen und Erdrutschen nicht anwendbar. Das Geschiebe, das das Wasser mitführt, verursacht grosse Schäden. Vorbeugungsmassnahmen sind in jedem Fall kostengünstiger als Wiederherstellungsmassnahmen (Rebetez, 2006). Daher hat die Praxis ein ausserordentliches Interesse an Gesamtzusammenhängen und an der Umsetzung der Ergebnisse von Forschungsarbeiten, die Vegetationswirkungen auf Rutschungen untersuchen.

Liegt in der Nutzungsaufgabe und der damit verbundenen Verwaldung ein kostengünstiges Potential für die Rutschprävention? Die Möglichkeit, dass Verwaldung als Folge von Nutzungsaufgabe stabilisierend auf die Hänge wirkt, soll kein Grund sein zur grossflächigen Förderung von Nutzungsaufgabe zur Rutschprävention. Schliesslich verdankt die Kulturlandschaft der Berggebiete einen erheblichen Teil ihrer einzigartigen Schönheit dem reizvollen Wechsel von Wald und offenem Land. Dies sollte allein schon wegen dem Tourismus so bleiben. Allerdings kann kleinräumig abgeschätzt werden, für welchen Ort allenfalls Nutzungsaufgabe und Verwaldung als Rutschprävention sinnvoll gefördert werden könnten. Dabei wird vor allem an sehr steile Weideflächen mit Rinnenlage oder Flächen mit Anzeichen alter Rutschungen gedacht, wo eine mögliche zukünftige Rutschung eine Gefahr darstellt.

Als Alternative zur Verwaldung solcher Gebiete müsste noch untersucht werden, inwiefern das gezielte Einpflanzen von Gehölzen Rutschungen verhindern könnte. Interessant wären auch Informationen über den Einfluss der

Schneitelung, mit der die Krone klein gehalten werden könnte damit die landwirtschaftliche Nutzung nicht aufgegeben werden müsste.

## *6.2 Methodisch wissenschaftliche Schlussfolgerung*

In dieser Arbeit ergab sich ein Hinweis, dass sich Nutzungsaufgabe mit Gehölzaufkommen stabilisierend auf die Hänge auswirken kann. Dies müsste in einem grösseren Gebiet eingehender untersucht werden, denn es widerspricht der gängigen Meinung. Es wäre interessant, das gesamte Entlebuch anzuschauen. Dafür ist jedoch mit einem sehr grossen Aufwand zu rechnen. Ein Grossprojekt an Stelle vieler kleiner Projekte lohnt sich in diesem Zusammenhang besser, denn erst damit lassen sich sichere Aussagen machen, die dann in der Praxis umgesetzt werden können.

Zusätzlich würden Stabilisierungsversuche mit Gehölzen, deren Krone durch Schneitelung klein gehalten wird, sehr interessante und nützliche Ergebnisse liefern, die für die Praxis von Interesse wären.

## 7 Literatur

- Ammann, M., 2006. Schutzwirkung abgestorbener Bäume. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf: 228 pp.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 1251-1263.
- Bätzig, W., 1991. Die Alpen: Entstehung und Gefährdung einer europäischen Kulturlandschaft. Beck, München.
- BFS, 2005. Die Landwirtschaft der Schweiz 2005, Bundesamt für Statistik BFS, Neuchâtel.
- BFS, 2006. Forstwirtschaft in der Schweiz. Taschenstatistik 2006, Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel.
- Bischetti, G.B. et al., 2005. Root strength and root area ratio of forest species in Lombardy (Northern Italy). *Plant and Soil*, 278: 11-22.
- Böll, A., 1997. Wildbach und Hangverbau. *Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft*. 343: 123 pp.
- Borga, M., Fontana, G.D., Gregoretti, C. and Marchi, L., 2002. Assessment of shallow landsliding by using a physically based model of hillslope stability. *Hydrological Processes*, 16: 2833-2851.
- Cammeraat, E., van Beek, R. and A., K., 2005. Vegetation succession and its consequences for slope stability in SE Spain. *Plant and Soil*, 278: 135-147.
- Ekanayake, J.C. and Phillips, C.J., 2002. Slope stability thresholds for vegetated hillslopes: a composite model. *Canadian Geotechnical Journal*, 39: 849-862.
- Ganssen, R. and Hädrich, F., 1965. Atlas zur Bodenkunde. Bibliographisches Institut, Mannheim.
- Gasser, W. and Zöbisch, M.A., 1988. Erdbeben und Massnahmen der Hangsicherung. Selbstverlag des Verbandes der Tropenlandwirte Witzenhausen, Kassel.
- Genet, M. et al., 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and Soil*, 278: 1-9.
- Greenway, D.R., 1987. Vegetation and slope stability. In: Rickli, C., 2001. *Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997*, Birmensdorf, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 pp.
- Hofstetter, H., 2001. Landschaftswandel im Entlebuch - Der Wald als Lebensgrundlage. Druckerei Schüpflheim AG, Schüpflheim.

- Küng, W., 2000. Der Bergstruz an der Beichlen 1980 - Menschen in Angst und Betroffenheit. Entlebucher Brattig. Verlag: Kunstverein Amt Entlebuch, Schüpfheim.
- Lafolie, F., Bruckler, L. and Tardieu, F., 1991. Modeling Root Water Potential and Soil-Root Water Transport: I. Model Presentation. Soil Science Society of America Journal, 55: 1203-1212.
- Lamb, T.S.K. and Premchitt, J., 1990. Rainfall-runoff on slopes 1984-1988. In: Wilkinson, P.L., Anderson, M.G. and Lloyd, D.M., 2002. An integrated hydrological model for rain-induced landslide prediction. Earth Surface Processes and Landforms, 27: 1285-1297.
- Machatschek, M., 2002. Laubgeschichten: Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur. Böhlau Verlag, Wien, Köln, Weimar.
- Mattia, C., Bischetti, G.B. and Gentile, F., 2005. Biotechnical characteristics of root systems of typical Mediterranean species. Plant and Soil, 278: 23-32.
- McNaughton, K.G. and Jarvis, P.G., 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In: Sidle, R.C. et al., 2006. Erosion processes in steep terrain - Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. Forest Ecology and Management, 224: 199-225.
- MeteoSchweiz, 2006. Starkniederschlagsereignis August 2005. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 211: 63 pp.
- Rebetez, M., 2006. Helvetien im Treibhaus - Der weltweite Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Schweiz. Haupt, Bern.
- Rickli, C., 2001. Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Birmensdorf, Bern, 97 pp.
- Rickli, C., Bucher, H. and Böll, A., 2003. Oberflächennahe Rutschungen, ausgelöst durch die Unwetter vom 15.-16.7.2002 im Napfgebiet und vom 31.8.-1.9.2002 im Gebiet Appenzell - Projektbericht zuhanden des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Birmensdorf.
- Rickli, C., Zimmerli, P. and Böll, A., 2001. Effects of Vegetation on Shallow Landslides - an Analysis of the Events of August 1997 in Sachseln, Switzerland, Kühne, M. (Ed.) Proceedings of International Conference on Landslides, Davos, pp. 575-584.
- Röthlisberger, G., 1998. Unwetterschäden in der Schweiz. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 346: 51 pp.

- Schluenegger, F., 2006. Geologie und Geomorphologie des Entlebuch - eine kleine Landschaftsgeschichte. Entlebucher Brattig. Verlag: Kunstverein Amt Entlebuch, Schüpheim.
- Schmidt, K.M. et al., 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Canadian Geotechnical Journal*, 38: 995-1024.
- Side, R.C., Noguchig, S., Tsuboyama, Y. and Laursen, K., 2001. A conceptual model of preferential flow systems in forested hillslopes: evidence of selforganisation. *Hydrological Processes*, 15: 1675-1692.
- Side, R.C. et al., 2006. Erosion processes in steep terrain - Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management*, 224: 199-225.
- Stuber, M. and Bürgi, M., 2001. Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800-1950. Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152(12): 490-508.
- Surber, E., Amiet, R. and Kobert, H., 1973. Das Brachlandproblem in der Schweiz. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Bern, 112: 1-138.
- Tsukamoto, Y. and Kusabe, O., 1984. Vegetative Influences on debris slide occurrences on steep slopes. In: Rickli, C.R., 2001. *Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997*. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Birmensdorf, Bern, 97 pp.
- Wang, H.B. and Sassa, K., 2006. Rainfall-induced landslide hazard assessment using artificial neural networks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 235-247.
- Wilkinson, P.L., Anderson, M.G. and Lloyd, D.M., 2002. An integrated hydrological model for rain-induced landslide prediction. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 1285-1297.

#### Internet:

Gemeinde Flühli (2006): <http://www.fluehli.ch/portrait/portrait.htm> [Stand: 11.2006]



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Soll-Zustandes des Waldes zur Erfüllung der minimalen Stabilitätsanforderungen für Wälder auf Rutschflächen .....	9
Tabelle 2.1: Hydrologische und mechanische Wirkungen von Gehölzen, zusammengefasst. +:stabilisierende Wirkung; -:destabilisierende Wirkung.....	18
Tabelle 3.1: Vorgehen bei der Untersuchung des Einflusses von Nutzungsaufgabe und Gehölzpflanzen im Freiland auf die Hangstabilität. ....	28
Tabelle 3.2: Definition der Flächenkategorien für die Kartierung. ....	30
Tabelle 3.3: Flächenkategorien, die aus der Verbindung von Gehölzkategorien und Nutzungskategorien entstanden.....	32
Tabelle 3.4: Angewandte Transkriptionsregeln. ....	37
Tabelle 3.5: Interviewfragen über die praktischen Erfahrungen der Landwirte im Zusammenhang mit dem Effekt von Nutzungsaufgabe und Gehölzen im Freiland auf die Hangstabilität. ....	38
Tabelle 3.6: Interviewfragen über die praktischen Erfahrungen des Bewirtschafters des „Lämmli“ im Zusammenhang mit den Einzelbäumen auf der Weidefläche des „Lämmli“. ....	39
Tabelle 4.1: Nutzungskategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie der daraus berechneten Rutschaktivität.....	46
Tabelle 4.2: Gehölzkategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie der daraus berechneten Rutschaktivität.....	47
Tabelle 4.3: Gehölzvorkommen auf den verschiedenen Nutzkategorien: Fläche und Anzahl Rutschungen sowie die daraus berechneten Rutschaktivitäten. ....	49
Tabelle 4.4: Durchschnittliche Neigung der einzelnen Flächenkategorien. ....	51
Tabelle 4.5: Anteil Rutschungen (%) in Abhängigkeit von der Geländeform. ....	58
Tabelle 4.6: Anzahl Rutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).....	61
Tabelle 4.7: Anzahl Waldrutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).....	61
Tabelle 4.8: Anzahl Freilandrutschungen pro Festgesteinsart sowie Angaben zur Hangneigung und Neigung der Gesteinsschichten (die Neigung der Gesteinsschichten war nicht in jeder Rutschung bestimmbar, n: Anzahl Rutschungen bei denen die Neigung der Gesteinsschichten bestimmt werden konnte).....	62
Tabelle 4.9: Abmessungen der Rutschungen im Wald und im Freiland (n = Anzahl Werte). ....	66
Tabelle 4.10: Abmessungen der Rutschungen in den Weideflächen, Mähwiesen und Flächen mit Nutzungsaufgaben (n = Anzahl Werte). ....	67
Tabelle 4.11: Abmessungen der Rutschungen in Gebieten mit Verwaltung und Verbuschung mit Nadelbäumen (n = Anzahl Werte).....	68





## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Naturkatastrophe in Flühli. Die Liegenschaft Säuschachen nach dem Unwetter am 3. Juli 1903. (Quelle: Hofstetter, 2001).....	7
Abbildung 1.2: Kopfbäume (hier Weiden). Sie wurden in der traditionellen Landwirtschaft oft zur Hangstabilisierung eingesetzt. Durch das Schnaiteln wird das Gewicht der Bäume relativ gering gehalten, trotzdem wirken die Wurzeln stabilisierend auf den Boden. (Bild-Quelle: www.roland-wittenberg.de).....	11
Abbildung 1.3: Nutzungsaufgabe bei einer Kopfesche. Das Krongewicht nimmt zu. In einem instabilen Hang kann die Baumstatik aus dem Gleichgewicht geraten und der Gewichtsdruck auf den Boden nimmt zu. (Bild-Quelle: www.jakobspilger.lvr.de).....	11
Abbildung 1.4: Sukzessionsstadien beim Übergang von landwirtschaftlich genutztem Land zum Wald. ....	12
Abbildung 2.1: Interaktionen zwischen Gehölz und Hang während eines Starkniederschlagsereignisses. (Quelle: Wilkinson et al., 2002 , verändert) .....	15
Abbildung 2.2: Armierenden Wirkung von Gehölzwurzeln in Abhängigkeit vom Bodenaufbau. (nach Tsukamoto and Kusabe, 1984, zitiert in Rickli, 2001).....	17
Abbildung 2.3: Lage des Untersuchungsgebietes Flühli im Entlebuch. (Quelle: <a href="http://lrg.ethz.ch">http://lrg.ethz.ch</a> , verändert) .....	19
Abbildung 2.4: Untersuchungsgebiet Flühli. ....	19
Abbildung 2.5: Niederschlag Monatssumme in Flühli, Normwerte. (Quelle: MeteoSchweiz).....	20
Abbildung 2.6: Temperatur Monatsmittel von umliegenden Messstationen, Normwerte. (Quelle: MeteoSchweiz) .....	20
Abbildung 2.7: Aufgeschobene Molasse im Untersuchungsgebiet. Im Untersuchungsgebiet (rot eingekreist) dominieren die Beichlen-Nagelfluh, Hower Sandstein, Grisiger Mergel und Flühli-Nagelfluh. (Quelle: Schluenegger, 2006) .....	21
Abbildung 2.8: Niederschlagsverteilung Tagessumme in Flühli im August 2005. (Quelle: MeteoSchweiz) .....	24
Abbildung 2.9: Niederschlag Monatssumme in Flühli, die Werte von 2005 im Vergleich mit den Normwerten. (Quelle: MeteoSchweiz) .....	24
Abbildung 2.10: Niederschlagssumme (in l/m <sup>2</sup> ) für die 9 Tage 15. - 23. August 2005. Exakte Periode: 15.8. 8:00 bis 24.8. 8:00. Die Analyse wurde aus Messungen an 372 Stationen der MeteoSchweiz und 42 IMIS-Stationen des SLF gerechnet (Datenstand 8.9.05). Der Kreis markiert die Region Entlebuch. (Quelle: <a href="http://www.meteoschweiz.ch">www.meteoschweiz.ch</a> (8.9.2005)).....	25
Abbildung 3.1: Vergleich zwischen den im Gelände gemessenen und im GIS mit dem digitalen Höhenmodell DHM25 (Landestopographie) berechneten Hangneigungen bei den Rutschungen im Untersuchungsgebiet Flühli. ....	34
Abbildung 3.2: Geländeformen, denen die Rutschungen zugeordnet wurden. ....	34
Abbildung 3.3: Vermessung der Rutschungen. ....	36
Abbildung 3.4: Lage des „Lämmli“ (roter Kreis) im Untersuchungsgebiet Flühli. ....	39
Abbildung 3.5: Einzeln stehende Laubbäume (Eschen) im „Lämmli“. (Bild J.Krummenacher) ..	39
Abbildung 4.1: Verbuschung mit Nadelbäumen (Fichten) auf der Weidefläche bei der Alp Bösarni. Langes Altgras deutet auf Nutzungsreduktion hin. ....	41
Abbildung 4.2: Verbuschung mit Laubbäumen (Erlen) auf der Weidefläche in Füfischwand. Zusammen mit altem Adlerfarn deutet dies auf eine Reduktion der Pflegearbeiten hin. (Bild J.Krummenacher).....	41

Abbildung 4.3: Verwaldung mit Nadelbäumen (Fichten) auf der Weidefläche bei der Alp Spittel. (Bild J.Krummenacher) .....	41
Abbildung 4.4: Verwaldung mit Laubbäumen (Erlen) bei der Haselegg. Langes Altgras mit Staudenvegetation deutet auf Nutzungs-aufgabe hin. (Bild J.Krummenacher)	41
Abbildung 4.5: Einzelstehende Nadelbäume (Fichte) auf der Weidefläche bei der Habsucht. (Bild J.Krummenacher) .....	42
Abbildung 4.6: Einzelstehender Laubbaum (Bergahorn) auf der Weidefläche in Usserfaltenbach. (Bild J.Krummenacher) .....	42
Abbildung 4.7: Anrissstelle in Usserfaltenbach. Daneben junge Fichten und langes Altgras. ...	43
Abbildung 4.8: Rutschung auf der Alp Spittel. Der flache Wurzelteller der Fichten reicht ziemlich weit und ist deutlich sichtbar. (Bild J.Krummenacher) .....	43
Abbildung 4.9: Rutschung auf der Alp Spittel aus einiger Entfernung. ....	43
Abbildung 4.10: Rutschung in der Habsucht. ....	43
Abbildung 4.11: Nutzungskartierung im Untersuchungsgebiet Flühli. Kartengrundlage: Schweizerische Landeskarte 1:25 000, Ausgabe 2001. Erläuterungen zur Legende in Tebelle 3.1. Blau markierte Rutschungen sind gültige Rutschungen, d.h. nicht durch Wasserabfluss auf Strassen oder Gerinneprozesse ausgelöste Rutschungen. ....	44
Abbildung 4.12: Gehölzkartierung im Untersuchungsgebiet Flühli. Kartengrundlage: Schweizerische Landeskarte 1:25 000, Ausgabe 2001. Erläuterungen zur Legende in Tabelle 3.1. Blau markierte Rutschungen sind gültige Rutschungen, d.h. nicht durch Wasserabfluss auf Strassen oder Gerinneprozesse ausgelöste Rutschungen. ....	45
Abbildung 4.13: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Wald und Freiland. ....	51
Abbildung 4.14: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Wald und Freiland. ....	52
Abbildung 4.15: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Mähwiese, Weideflächen, Flächen mit Anzeichen der Nutzungsaufgabe und Flächen mit Nutzungsaufgabe. ....	53
Abbildung 4.16: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Mähwiese, Weideflächen und Flächen mit Nutzungsaufgabe. ....	54
Abbildung 4.17: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Verbuschung mit Nadel- und Laubbäumen.....	55
Abbildung 4.18: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach Verwaldung mit Nadel- und Laubbäumen.....	55
Abbildung 4.19: Neigungsabhängige Flächenverteilung, unterschieden nach einzeln stehenden Nadel- und Laubbäumen.....	56
Abbildung 4.20: Einfluss der Hangneigung [°] auf die Rutschaktivität [R/ha], unterschieden nach Verbuschung und Verwaldung mit Nadelbäumen. ....	57
Abbildung 4.21: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach Wald und Freiland. ....	59
Abbildung 4.22: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach der Nutzung des Freilandes. ....	59
Abbildung 4.23: Anzahl Rutschungen in Abhängigkeit von der Geländeform, unterschieden nach Gehölzkategorien. ....	60
Abbildung 4.24: Anzahl Rutschungen pro Lockergesteinsklassen, unterschieden nach Wald und Nutzungsarten des Freilandes. ....	63
Abbildung 4.25: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Wald und Freiland. ....	64

Abbildung 4.26: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Weidefläche, Mähwiese und Flächen mit Nutzungsaufgabe. .... 65

Abbildung 4.27: Anzahl Rutschungen pro Volumenklasse, unterschieden nach Verbuschung und Verwaltung mit Nadelbäumen. .... 65

Abbildung 4.28: Einfluss der Neigung auf das Rutschvolumen, unterschieden zwischen Wald und Freiland. Die eingefügten Geraden zeigen einen Trend auf. .... 68



## Anhang

Anhang I: Kartierungen

Nutzungskategorien

Gehölzkategorien

Anhang II: Daten Neigungsabhängigkeit der Rutschaktivität

a) Wald und Freiland

b) Nutzungskategorien

c) Gehölzkategorien

Anhang III: Transkription der Interviews



## Anhang I: Kartierungen

Nutzungskategorien  
Gehölzkategorien







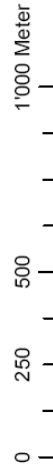
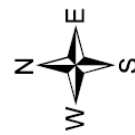
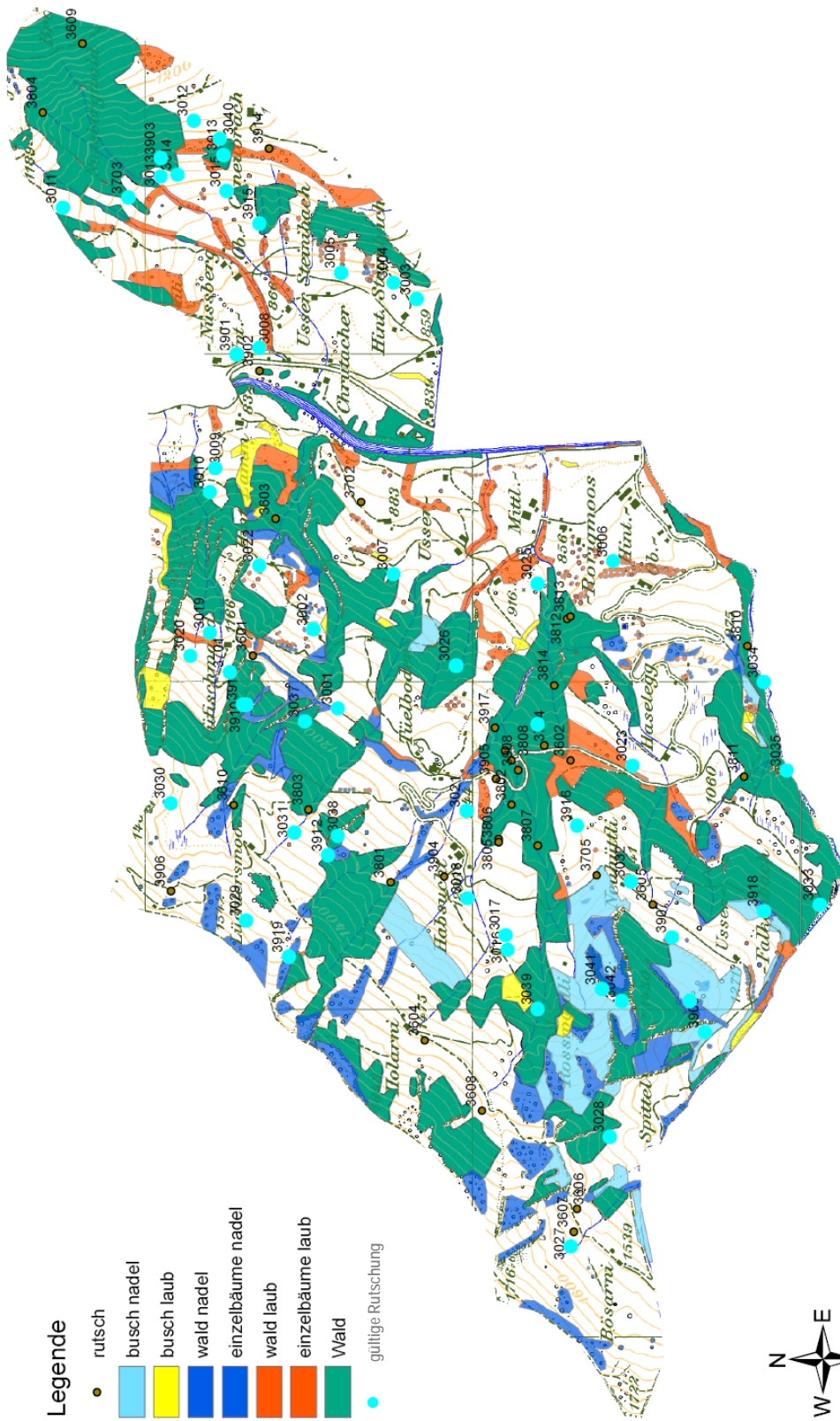


# Gehölzkategorien

## Untersuchungsgebiet Fühli - Gehölzkartierung

### Legende

- rutsch
- busch nadel
- busch laub
- wald nadel
- einzelbäume nadel
- wald laub
- einzelbäume laub
- Wald
- gültige Rutschung





**Anhang II:      Daten Neigungsabhängigkeit der  
Rutschaktivität**

Wald und Freiland  
Nutzungskategorien  
Gehölzkategorien



## Wald und Freiland

Neigung	Wald			Freiland		
	ha	R	R/ha	ha	R	R/ha
0-2	0.69	0	0.00	3.49	0	0.00
2-4	0.00	0	0.00	9.19	0	0.00
4-6	1.01	0	0.00	12.18	0	0.00
6-8	1.36	0	0.00	12.21	0	0.00
8-10	0.98	0	0.00	11.08	0	0.00
10-12	1.50	0	0.00	14.94	0	0.00
12-14	1.64	0	0.00	16.36	0	0.00
14-16	3.08	0	0.00	19.60	0	0.00
16-18	4.22	0	0.00	20.91	0	0.00
18-20	5.63	0	0.00	23.43	1	0.04
20-22	6.37	0	0.00	25.63	2	0.08
22-24	8.34	0	0.00	29.60	1	0.03
24-26	11.26	1	0.09	33.74	7	0.21
26-28	15.11	2	0.13	32.58	5	0.15
28-30	19.96	0	0.00	36.60	6	0.16
30-32	18.43	1	0.05	27.38	6	0.22
32-34	17.73	2	0.11	21.83	5	0.23
34-36	10.03	3	0.30	11.78	3	0.25
36-38	6.42	1	0.16	3.71	2	0.54
38-40	3.11	3	0.96	1.14	2	1.75
40-42	1.10	1	0.91	0.22	0	0.00
42-44	0.73	0	0.00	0.02	0	0.00
44-46	0.31	0	0.00	0.01	1	133.84
46-48	0.06	0	0.00	0.00	0	0.00
48-50	0.06	1	16.00	0.00	0	0.00
Durchschnittsneigung: 27.6°			Durchschnittsneigung: 21.6°			





## Nutzungskategorien

Neigung	Mahd		Weide		Anzeichen der Nutzungsaufgabe		Nutzungsaufgabe	
	ha	R	ha	R	ha	R	ha	R
0-2	2.16	0	0.13	0	0.07	0	0.14	0
2-4	7.01	0	0.19	0	0.00	0	0.41	0
4-6	10.55	0	0.28	0	0.04	0	0.29	0
6-8	9.68	0	0.94	0	0.08	0	0.43	0
8-10	8.46	0	0.88	0	0.10	0	0.40	0
10-12	9.67	0	2.79	0	0.15	0	1.18	0
12-14	9.90	0	4.15	0	0.29	0	1.10	0
14-16	11.76	0	5.55	0	1.06	0	1.06	0
16-18	9.56	0	8.88	0	0.41	0	1.06	0
18-20	7.98	0	11.64	1	0.69	0	2.13	0
20-22	7.25	0	14.35	2	0.64	0	2.49	0
22-24	5.60	0	20.00	1	0.39	0	2.80	0
24-26	3.05	1	26.17	5	0.38	0	3.84	1
26-28	2.36	1	26.31	2	0.30	0	3.46	2
28-30	1.61	0	30.48	6	0.71	0	3.79	0
30-32	1.42	0	22.80	6	0.28	0	2.44	0
32-34	0.50	0	19.33	5	0.15	0	1.21	0
34-36	0.33	0	10.11	3	0.16	0	0.78	0
36-38	6.42	0	2.96	2	0.05	0	0.16	0
38-40	0.00	0	0.85	2	0.06	0	0.10	0
40-42	0.00	0	0.07	0	0.04	0	0.01	0
42-44	0.00	0	0.00	0	0.02	0	0.00	0
44-46	0.00	0	0.00	1	0.00	0	0.00	0
46-48	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
48-50	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	Durchschnittsneigung: 15.9°		Durchschnittsneigung: 26.0°		Durchschnittsneigung: 21.4°		Durchschnittsneigung: 23.2°	



## Gehölzkategorien

Neigung	buschnadel		buschlaub		waldnadel		waldlaub	
	ha	R	ha	R	ha	R	ha	R
0-2	0.00	0	0.03	0	0.00	0	0.16	0
2-4	0.00	0	0.08	0	0.00	0	0.21	0
4-6	0.00	0	0.05	0	0.03	0	0.28	0
6-8	0.04	0	0.13	0	0.18	0	0.40	0
8-10	0.01	0	0.09	0	0.20	0	0.25	0
10-12	0.15	0	0.07	0	0.36	0	1.24	0
12-14	0.19	0	0.16	0	0.55	0	0.87	0
14-16	0.17	0	0.07	0	0.48	0	1.21	0
16-18	0.24	0	0.33	0	0.92	0	1.19	0
18-20	1.11	0	0.27	0	1.02	0	2.44	0
20-22	1.43	0	0.37	0	1.96	0	1.79	0
22-24	2.09	0	0.43	0	2.48	0	1.52	0
24-26	3.78	0	0.31	0	3.10	0	1.93	0
26-28	2.47	0	0.46	0	3.46	0	2.33	0
28-30	2.57	1	0.70	0	3.31	1	2.26	0
30-32	2.21	0	0.80	0	2.60	0	1.72	0
32-34	1.84	0	0.54	0	2.14	1	1.70	0
34-36	0.81	0	0.18	0	1.72	0	0.52	0
36-38	0.24	0	0.05	0	0.42	0	0.05	0
38-40	0.12	0	0.00	0	0.08	1	0.00	0
40-42	0.05	0	0.00	0	0.02	0	0.00	0
42-44	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
44-46	0.08	1	0.00	0	0.00	0	0.00	0
46-48	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
48-50	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
	Durchschnittsneigung: 26.6°		Durchschnittsneigung: 24.6°		Durchschnittsneigung: 26.1°		Durchschnittsneigung: 22.5°	



## Anhang III: Transkription der Interviews



## Transkription der Interviews

*J.K.: „Haben Sie Bäume oder Sträucher auf Ihren Wiesen?“*

Älpler Bösarni: „Ja ja.“

Bauer Lamm: „Ja ja.“

Bauer Düehlboden: „Ja ja.“

*J.K.: „Meinen Sie, Bäume und Sträucher tragen dazu bei, Rutschungen zu verhindern?“*

Älpler Bösarni: „Ich möchte sagen das ist fast das Gegenteil. Wenn die Grotzli in der Weide oben eine gewisse Grösse haben, und es eine gewisse Menge Schnee gibt, dann drückt der Schnee die um. Und dann zerrt es ein Loch auf. Oder. Der Wald saugt natürlich schon Wasser auf, das ist schon klar, oder. Aber eben, so vereinzelt Bäume, das hilft nichts. Der Schnee drückt die einfach um, und dann gibt das ein Loch, und einen krummen Baum, und es geht einfach alles kaputt. Die Grotzli reisse ich aus. Jedes Mal 40 bis 50, so viele ich kann. Wenn sie zu gross werden, mag man sie nicht mehr ausreissen. Dann schneide ich sie ab, wenn ich Zeit habe. Weisst du, der Schnee im Winter. Der drückt sie nieder. Und dann rutscht der Schnee und das reisst den Boden auf. Aber die Grotzli wachsen wie verrückt. Ich mag schon fast nicht mehr nach. Man wird auch immer älter. Jesses, das wäre ja verrückt, wenn die alle wachsen würden! Solch schöne Liegenschaften! Das ginge alles kaputt!“

Bauer Lamm: „Ja, oder, weil, von den Wurzeln her. Die Flachwurzler gehen ja tief in den Boden. Die Rottanne ist eher ein Flachwurzler, oder. Es gibt auch einen Schutz, oder, aber von dem her ist dann der Ahorn und die, die Pfahlwurzel. Eschen auch, oder. Die geht in den Boden, oder. Die Pfahlwurzel. Die halten schon dar.“

Bauer Düehlboden: „Doch schon, die Wurzeln die sie machen, die verhindern Rutschungen. Diese Bäume machen ziemlich weit raus Wurzeln. Das hilft schon ein bisschen. Ja, sie müssen natürlich ein bisschen dicht ineinander gepflanzt sein. Nicht nur alle 100m ein Baum.“

*J.K.: „Haben Sie schon Bäume oder Sträucher extra gepflanzt mit der Absicht, Rutschungen zu verhindern?“*

Älpler Bösarni: „Ja, bei den Wegpörtern. Esche und Weide, die wurzeln gut. Aber bei mir oben geht das nicht mit dem Schnee! Das reisst alles aus. [...] Unten geht das schon, aber hier oben nicht!“

---

Bauer Lamm: „Ja nicht unbedingt. Ja, man hat auch schon so was gesetzt, auch aus diesem Grund. Damit es ein bisschen verwachst und zusammen hält, oder.“

Bauer Düehlboden: „Ja... zum Beispiel ein Wegport. Auch schon gelegentlich, damit das nicht rutscht, damit es ein bisschen Wurzeln gibt.“

*J.K.: „Hat man früher Bäume und Sträucher gepflanzt, um Rutschungen zu verhindern?“*

Bauer Düehlboden: „Sie haben... ja... ganz früher haben sie eigentlich die Marchgrenzen, da haben sie Hecken gepflanzt, die gerade die Grenze gebildet haben. Das ist ja früher bei uns auch an vielen Orten so gewesen. Mit der Zeit haben sie das weg genommen. Die haben sicher genützt. Die haben sicher genützt. Das nützt immer. So etwas. Wenn der Boden Wurzeln drin hat. Doch doch.“

*J.K.: „Welche Bäume und Sträucher hat man denn gepflanzt?“*

Bauer Lamm: „Ja, etwa Weiden, oder noch etwas Eschen auch noch, wenn sie kommen. Das andere ergibt sich dann schon etwa.“

Bauer Düehlboden: „Gut, ich kann das nicht genau sagen. Sie haben, glaub ich schon gesagt, dass gewisse Bäume mehr Wurzeln machen. Aber... viel hat man dann auch noch auf den Nutzen geschaut. Was man will. Ob man Kirschen will zum ablesen, oder ob irgend... ja, man hat auf beides geschaut. Auf den Nutzen von dem was man erntet, und dass es nicht rutscht.“

*J.K.: „Hat man die Bäume und Sträucher irgendwie gepflegt? Geschnitten? Geschneitelt?“*

Bauer Lamm: „Nein nein, die muss man nicht schneiden. Von dem her, die lässt man wachsen wie sie sind. Ausser sie kommen krumm, dann muss man sie ein bisschen.“

Bauer Düehlboden: „Nein, geschnitten hat man eigentlich nicht gross. Etwa das was störte, hat man abgeschnitten. Zum Beispiel wenn Äste in einen Weg hinein hingen. Etwa die, die gestört haben, hat man abgeschnitten. Aber extra einen Pflegeschnitt hat man, glaube ich, nicht gemacht.“

*J.K.: „Gab es auch Kopfbäume?“*

Bauer Düehlboden: „Nein, bei uns nicht. Ich weiss auf jeden Fall nichts. Nein.“

---



*J.K.: „Gibt es weniger Rutschungen, wenn es Bäume hat? Zum Beispiel im Wald?“*

Bauer Düehlboden: „Ja sicher!“

*J.K.: „Wenn es Bäume hat auf den Wiesen, gibt es weniger Rutschungen?“*

Bauer Düehlboden: „Gut, ein einzelner Baum nützt auch dort, wo er gerade ist. Oder, du kannst schon einen einzelnen Baum an einem bestimmten Ort pflanzen, wo du weisst, dass es rutscht. Das hilft schon ein bisschen. Aber wenn eine ganze Seite gefährdet ist, dann musst du mehr pflanzen, nicht nur einen Baum.“

*J.K.: „Wenn eine Wiese nicht mehr so gepflegt wird und Sträucher aufkommen und Farn, gibt es dann weniger Rutschungen?“*

Bauer Düehlboden: „Ja das ist eben das schlimme. Wenn es nicht mehr bewirtschaftet wird, ist es das Gras, das dann nicht mehr geschnitten wird. Dann wird es schlipfrig, dann kann es gerne einen Schneerutsch geben. Ja, und in den Weiden, da sind es ja die Kuhtritte, die den Schnee ein bisschen halten. Die gibt es dann auch nicht mehr. Bewirtschaftung ist noch wichtig, damit es nicht rutscht. Der Schnee selber macht keinen Erdrutsch. Aber es kann das, was darunter ist, gefährden. Oder wenn dann der Schnee Bäume wegreisst, können die nicht mehr Erdrutsche verhindern.“

Bauer Lamm: „Ja, es ist schon besser, wenn man sie ein bisschen bewirtschaftet, sonst vermehren die sich einfach viel mehr, oder. Wenn jetzt das Gras nicht mehr geschnitten wird, oder, wenn in einer Weide nicht mehr geweidet wird, dann kommt etwas rein. Es ist einfach auch nicht... ja.. Alles lässt man nicht aufwachsen, sagt man. Der Schnee hat schon auch Einfluss, oder. Wenn es an einem Ort in einem steilen Port ist, dann rutscht es nicht, wenn dann Holz dahinter ist das dar hält.“

*J.K.: „Wenn dann Wald aufkommt, gibt es dort mehr oder weniger Rutschungen?“*

Bauer Düehlboden: „Ja ja, dann gibt es dann wieder weniger Rutschungen. ... Oder wenn dann der Wald nicht mehr bewirtschaftet wird. Wenn es dann so weit kommt, dass dann die grossen Tannen wieder umfallen und so Zeug, dann kann es dann auch wieder Rutschen.“

Über das „Lämmli“

*J.K.: „Wer bewirtschaftet das „Lämmli“?“*

Bauer Lamm: „Also bewirtschaften tue ich das, das ist meins, das habe ich in Pacht. Das habe ich erst circa 5 Jahre. Vorher ist dort eine Familie oben gewesen, und das ist dann ja der eigentliche Besitzer, der ist ja Bauer, der ist

---

ja dann verunglückt. Und dann ist das dort dann... ja, alles einfach ein bisschen verblieben, sie haben dann nicht mehr zum Zeugs geschaut, und dann haben sie Schafe rein getan. Und bei den Schafen ist es einfach so, so lange sie frisches Gras haben, bleiben sie, und wenn es älter wird, gehen sie fort. Sie haben einfach nichts geräumt, sie haben einfach nur geweidet. Das sieht man dort ja, oder.“

*J.K.: „Eben, dort oben hat es ja auch noch so grosse Eschen. Meinen Sie, die haben einen Einfluss auf Rutschungen?“*

Bauer Lamm: „Ja, die sollte man dann schon schneiden. Also fällen. Das wäre schon besser. Vom Aufwuchs her ist der Boden dort schon ein bisschen an der oberen Grenze, oder. Man sieht es ja, es ist einfach ein paar Jahre nichts gemacht worden, und wenn das Zeugs einfach mal ein bisschen die Oberhand hat, dann ist es einfach nachher so, oder, dann mag man dem Zeugs dann nicht mehr so nach.“

*J.K.: „Dann wäre es besser, wenn die Sträucher noch jung sind und noch nicht so schwer sind, dann haben sie einen guten Einfluss und es gibt weniger Rutschungen. Und wenn sie dann zu gross sind und schwer, dann rutscht es?“*

Bauer Lamm: „Ja, das ist dann einfach auch wieder, wenn die dann gross und schwer sind, nicht dass es dann mehr rutscht von dem her, aber es ist einfach so ein bisschen... ja, es wird dann nachher, der Boden ist dann schon weniger fest, oder. Um die Bäume herum. Wenn es an einem Ort in einem Port ist, vom Schatten her und allem. Es gibt dann fast so ein bisschen Waldboden, oder. Das ist einfach auch... Oder, im Herbst kommt dann das Laub runter, oder.“

CD PDF-Datei dieser Diplomarbeit

---