



# Strategie Naturgefahren Schweiz

Umsetzung des Aktionsplans PLANAT  
2005 - 2008 / 2009 - 2011

Projekt B 11

## Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
Plate-forme nationale «Dangers naturels»  
Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»  
National Platform for Natural Hazards

Schlussbericht  
17. März 2011





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

**Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT**  
**Plate-forme nationale «Dangers naturels»**  
**Piattaforma nazionale «Pericoli naturali»**  
**National Platform for Natural Hazards**

# **Strategie Naturgefahren Schweiz**

**Umsetzung des Aktionsplanes PLANAT  
2005-2008 / 2009-2011**

Projekt B 11

## **Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren**

**Schlussbericht  
17. März 2011**

## Impressum

### Auftraggeber

Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT  
c/o Abteilung Gefahrenprävention  
Bundesamt für Umwelt BAFU  
3003 Bern  
Telefon: 031 324 17 81 Fax: 031 324 19 10  
[planat@bafu.admin.ch](mailto:planat@bafu.admin.ch) [www.planat.ch](http://www.planat.ch)

Bundesamt für Landwirtschaft BLW  
Mattenhofstrasse 5  
3003 Bern  
Telefon: 031 322 26 58 Fax: 031 323 02 63  
[www.blw.admin.ch](http://www.blw.admin.ch)

### Projektsteuerung (Gesamtprojekt)

Andreas Götz, BAFU, Präsident PLANAT (Leitung)  
Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU, PLANAT  
Dr. Pierre Ecoffey, ECAB, PLANAT  
Willy Eyer, Amt für Wald, Wild und Fischerei Kanton Freiburg, PLANAT  
Dr. Hans Rudolf Keusen, Geotest AG, PLANAT

### Projektbetreuung Projekt B 11

Dr. Thomas Egli, Egli Engineering AG (Leitung Gesamtprojekt)  
Andreas Schild, Bundesamt für Landwirtschaft (Auftraggeber)

### Projektleitung Projekt B 11

Andreas Zischg, Abenis AG

### Begleitung Projekt B 11

Evelyn Coleman Brantschen, Kt. BE  
Andreas Schild, BLW  
Arthur Sandri, BAFU  
Barbara Stäheli, AGRIDEA  
Peter Weiskopf, ART

### Auftragnehmer Projekt B 11

Abenis AG, Chur  
Flury & Giuliani GmbH, Zürich

### Autoren Projekt B 11

Andreas Zischg  
Christian Flury  
Romano Costa  
Barbara Huber  
Sybille Berger

### Zitiervorschlag

Zischg Andreas, Flury Christian, Costa Romano, Huber Barbara, Berger Sybille, 2011: Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 154 S.

### Hinweis

Die Reproduktion der Texte und Grafiken mit Quellenangabe und Belegexemplar an die Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT ist erwünscht.

# Vorwort

Angeregt durch die Motion Danioth (1999) hat der Bundesrat der Nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT den Auftrag erteilt, eine übergeordnete und vernetzte Strategie zur Verbesserung der Sicherheit vor Naturereignissen auszuarbeiten. Der Bundesrat betonte, dass der Schutz vor Naturgefahren nicht nur für die Bevölkerung im Alpenraum zu gewährleisten sei, sondern für die Bevölkerung in der ganzen Schweiz. Zudem wolle er im Sinn eines umfassenden Risikomanagements einen gesamtschweizerisch vergleichbaren Sicherheitsstandard erreichen. Ziel ist dabei der Schutz des Menschen und seiner natürlichen Lebensgrundlagen sowie der Schutz von erheblichen Sachwerten.

Bisher hat die PLANAT in einer ersten Etappe eine übergeordnete und vernetzte Strategie für die Sicherheit von Naturgefahren\*<sup>1</sup> erarbeitet. Die von der PLANAT erarbeitete Strategie entspricht der vom Bundesrat verfolgten Politik der Nachhaltigkeit und den in der Strategie des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verankerten Grundsätzen der einheitlichen Sicherheitsphilosophie. In der zweiten Etappe hat die PLANAT die heutige Situation im Bereich Naturgefahren analysiert\*<sup>2</sup> und einen Aktionsplan mit Massnahmen vorgeschlagen, welche 2005 bis 2011 in einer dritten Etappe umgesetzt werden.

Im Rahmen dieses Aktionsplans wurden im Projekt B11 die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren untersucht. Die durchgeführte Literaturrecherche hat gezeigt, dass die Landwirtschaft einige Möglichkeiten hat, die Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren zu verringern oder zu erhöhen. Die Beiträge zur Gefahrenprävention reichen von der Optimierung des Hochwasserrückhalts im Boden und auf der Fläche, der Vermeidung von Erosion und Rutschungen bis hin zur Verminderung von Schneegleiten. Eine nicht dem Standort angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann aber auch zu einer Verschärfung einer bestehenden Naturgefahrensituation führen. Insbesondere eine mögliche Verkettung von verschiedenen Prozessen führt zu einer Erhöhung einer bestehenden Disposition für Naturgefahren.

Der vorliegende Bericht fasst den aktuellen Wissensstand über die Thematik zusammen und bildet damit eine Grundlage für die weitere Ergänzung der methodischen Grundlagen und der Handlungsoptionen im integralen Risikomanagement.

Andreas Götz  
Präsident PLANAT  
Ittigen, März 2011

## **Publikationen:**

\*<sup>1</sup> PLANAT (2004): Sicherheit vor Naturgefahren - Vision und Strategie.

\*<sup>2</sup> PLANAT (2005): Strategie Naturgefahren Schweiz (2005). Synthesebericht



# Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>Summary</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>10</b>
1.1 Ziele.....	10
1.2 Vorgehensweise.....	11
<b>2 Entwicklung der Landwirtschaft und der Fördermassnahmen zugunsten der Landwirtschaft</b> .....	<b>15</b>
2.1 Strukturentwicklung .....	15
2.1.1 Entwicklung der Betriebszahl.....	15
2.1.2 Entwicklung der Flächennutzung und der Tierhaltung .....	16
2.2 Entwicklung der Direktzahlungen zugunsten der Landwirtschaft.....	18
2.2.1 Übersicht über die allgemeinen Direktzahlungen.....	18
2.2.2 Übersicht über die ökologischen Direktzahlungen .....	19
2.2.3 Übersicht über den ökologischen Leistungsnachweis .....	20
2.2.4 Entwicklung der allgemeinen Direktzahlungen.....	21
2.2.5 Entwicklung der ökologischen Direktzahlungen .....	22
2.2.6 Entwicklung der Beteiligung an den Direktzahlungsprogrammen.....	23
2.2.7 Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems .....	24
2.3 Weitere Förderinstrumente sowie im Kontext der Naturgefahren wichtige Schutzinstrumente.....	26
2.3.1 Programme zur nachhaltigen Ressourcennutzung .....	26
2.3.2 Strukturverbesserungsmassnahmen .....	26

<b>3</b>	<b>Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren .....</b>	<b>29</b>
3.1	Oberflächenabfluss .....	29
3.1.1	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung .....	37
3.1.2	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur .....	49
3.1.3	Fazit .....	54
3.2	Erosion .....	57
3.2.1	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung .....	59
3.2.2	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur .....	67
3.2.3	Fazit .....	68
3.3	Flachgründige Rutschungen.....	69
3.3.1	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung .....	70
3.3.2	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur .....	72
3.4	Schneegleiten und Schneelawinen .....	72
3.4.1	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung .....	73
3.4.2	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur .....	75
3.5	Flurbrand.....	76
3.5.1	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung .....	77
3.5.2	Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur .....	77
<b>4</b>	<b>Verketzung von Faktoren und indirekte Wirkungen.....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>Landwirtschaftliche Flächen für Hochwasserrückhalt und Notentlastung.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>Folgen von Bewirtschaftungsänderungen .....</b>	<b>87</b>
6.1	Änderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung.....	87
6.2	Änderungen in der landwirtschaftlichen Infrastruktur.....	94
6.3	Massnahmen zur Verhinderung von negativen Folgen von Bewirtschaftungsänderungen..	94
<b>7</b>	<b>Einfluss der Förderinstrumente auf die Naturgefahren .....</b>	<b>96</b>
7.1	Allgemeine Einschätzung zur Wirkung des Förderinstrumentariums .....	96
7.2	Wirkung der Direktzahlungen und des ökologischen Leistungsnachweises .....	98
7.2.1	Allgemeine Einordnung der Wirkung.....	98
7.2.2	Wirkung im Ackerbau.....	98
7.2.3	Wirkung in der Graslandnutzung: Mähwiesen und Mähweiden .....	100
7.2.4	Wirkung in der Sömmerung .....	101
7.3	Wirkung der Strukturverbesserungsmassnahmen .....	103
7.4	Fazit zur Wirkung der Förderinstrumente auf die Naturgefahren .....	104



<b>8</b>	<b>Offene Fragen .....</b>	<b>106</b>
<b>9</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>110</b>
9.1	Folgerungen zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren.....	110
9.2	Folgerungen zur Ausrichtung der zugunsten der Landwirtschaft ausgerichteten Fördermassnahmen .....	114
9.3	Folgerungen zum Forschungsbedarf.....	115
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>117</b>
<b>11</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>127</b>
<b>12</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>130</b>
	Anhang 1: Faktenblätter.....	130
	Anhang 2: Zusammenstellung ausgewählter Grundlagen zu den Bodeneigenschaften.....	148
	Anhang 3: Zusammenfassender Vergleich von Oberflächenabflusskoeffizienten unter ausgewählten Standortsbedingungen und Bewirtschaftungsarten.....	151
	Anhang 4: Beschreibung der Literaturdatenbank.....	154

## Zusammenfassung

Die PLANAT hat vor bald 10 Jahren mit ihrem Leitsatz „Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur“ einen Paradigmenwechsel eingeleitet und dazu einen ganzheitlichen Umgang mit Gefahren und Risiken, einen Risikodialog und ein integrales Risikomanagement gefordert. Neben der Gleichwertigkeit der Massnahmen im Risikokreislauf geht es darum, organisatorische und raumplanerische, baulich-technische und biologische Schutzmassnahmen aufeinander abzustimmen. Bis anhin ist dabei die Rolle der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und Infrastrukturen als Teil der Gefahrenprävention noch wenig wahrgenommen worden.

Im vorliegenden Projekt wurde nun erstmals systematisch, eingebettet in die Gesamtstrategie der PLANAT, die mögliche Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Hinblick auf eine Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung und -vermeidung untersucht. Die vertiefte Literaturrecherche hat gezeigt, dass Naturgefahrenereignisse durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht verhindert werden können, die Landwirtschaft aber einige Möglichkeiten hat, die Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren zu verringern oder zu erhöhen. Die Landwirtschaft kann situationsbezogen zur vorbeugenden Gefahrenminderung und Schadenreduktion beitragen und leistet bereits heute einen Beitrag dazu. Die Beiträge zur Gefahrenprävention reichen von der Optimierung des Hochwasserrückhalts in der Fläche, der Vermeidung von Erosion und Rutschungen bis hin zur Verminderung von Schneegleiten.

### **Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung**

Die Studie hat gezeigt, dass vor allem Massnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhalts im Boden die Handlungsoptionen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wesentlich erweitern können. Sowohl durch eine Veränderung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung als auch durch die Anpassung der landwirtschaftlichen Strukturen (Anlage von Strukturelementen und Disposition von Infrastrukturmassnahmen) kann das Volumen wie auch die Spitze des Hochwasserabflusses in Flüssen während Niederschlagsereignissen in spezifischen Fällen um bis zu 10 - 15% reduziert werden. Bodenschonende und konservierende Bodenbearbeitungsverfahren und die Vermeidung von Bodenverdichtung erhalten die natürliche Wasserspeicherkapazität des Bodens und führen damit zu einer Verringerung des Oberflächenabflusses. In bestimmten Fällen lassen sich Hochwasserrisiken durch gezielte Notfallentlastungen in Überflutungsräume oder Flutkorridoren vermindern. In diesen Fällen kann die Landwirtschaft durch die Bereitschaft, Flächen für diesen Zweck im Hochwasserfall zur Verfügung zu stellen und mit dem Instrument der Gesamtmelioration gezielt zuzuteilen, zur Gefahrenprävention beitragen. Eine nicht dem Standort angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftung oder unsensibel angelegte Infrastrukturanlagen können aber auch zu einer Verschärfung einer bestehenden Naturgefahrensituation führen. Insbesondere eine mögliche Verkettung von verschiedenen Prozessen führt zu einer Erhöhung einer bestehenden Disposition zu Naturgefahren. Zu erwähnen sind hierbei die Verstärkung von Erosionsprozessen durch Schneegleiten oder die Zunahme von Erosion mit der Zunahme des Oberflächenabflusses.

## **Wirkungen des heutigen Förderinstrumentariums**

Für die Beurteilung der Wirkung des Förderinstrumentariums auf die Naturgefahren ist festzuhalten, dass sich die Auflagen und Anreize im heutigen Direktzahlungssystem an agronomischen Kriterien resp. an den agrarpolitischen Zielen orientieren. Entsprechend sind die Auflagen und die verschiedenen Direktzahlungen nicht explizit auf die Faktoren ausgerichtet, welche die Naturgefahren hemmen resp. fördern. Dennoch decken sie einen grossen Teil der relevanten Einflussfaktoren ab und das heutige Direktzahlungssystem trägt allgemein zur Naturgefahrenprävention bei. Zentral ist dabei, dass die Auflagen über die Bindung aller Direktzahlungen an den Ökologischen Leistungsnachweis mit Ausnahme des Sömmerungsgebiets praktisch flächendeckend gelten. Konkret wirken sich verschiedene Bewirtschaftungsauflagen des Ökologischen Leistungsnachweis wie z.B. die Anforderungen eines geeigneten Bodenschutzes, der Erosionsverminderung oder der geregelten Fruchtfolge hemmend auf den Oberflächenabfluss und die Erosion aus. Ebenfalls von Bedeutung sind die Beiträge für abflussbremsende Strukturelemente wie Ackerschonstreifen, Säume auf Ackerland oder Hecken und Gehölze. Im Zusammenhang mit den Naturgefahren Erosion, flachgründige Rutschungen, Schneegleiten und Naturbrand wirken sich vor allem die Anreize zur Flächenbewirtschaftung (Flächen- und Hangbeiträge, Sömmerungsbeiträge) hemmend auf die Naturgefahren aus, indem sie der Vergandung und Verbuschung von Grenzertragsflächen entgegenwirken. Die Bewirtschaftung solcher Flächen hängt zudem massgeblich von der Erschliessung ab, welche über die Strukturverbesserungsmassnahmen gefördert wird. In der Graslandnutzung kritischer zu beurteilen sind die tierbezogenen Direktzahlungen, welche zwar ein Anreiz zur Haltung von Raufutter verzehrenden Tieren und damit zur Flächenbewirtschaftung sind, gleichzeitig aber auch die Gefahr einer Intensivierung der Flächennutzung mit sich bringen. Mit der zunehmenden Mechanisierung nehmen die schädlichen Bodenverdichtungen auch im Grasland zu.

## **Empfehlungen**

Mit Bezug zu den Naturgefahren und den fördernden Faktoren bestehen im heutigen Direktzahlungssystem drei zentrale Lücken: 1. Die Auflagen und Anreize sind weitgehend standortunspezifisch; die Naturgefahren haben jedoch meist einen direkten Standortbezug. 2. Die Beteiligung der Betriebe an den Programmen ist freiwillig und die Betriebe entscheiden selber, welche Flächen sie in die Programme einbringen. 3. Bei den Sömmerungsbeiträgen fehlt eine explizite Bindung an die genutzte Fläche und damit ein direkter Hebel zur Sicherung der flächendeckenden Bewirtschaftung der Alpweiden. Möglichkeiten für einen stärkeren Einbezug der Naturgefahrenprävention in das landwirtschaftliche Förderinstrumentarium bestehen neben der Bindung der Sömmerungsbeiträge an die beweidete Fläche mit der geplanten Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems und einem Ausbau der heute bereits bestehenden Ressourcenprogramme. Während bei der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems primär negative Einflüsse auf die potenziellen standortsspezifischen Gefahrenprozesse durch standortspezifische Auflagen und Anreize zu vermeiden sind, können über die Ressourcenprogramme zur nachhaltigen Nutzung des Bodens oder neu zur Naturgefahrenprävention spezifische Anreize für freiwillige Bewirtschaftungsmassnahmen und für bodenschonende oder konservierende Anbaumethoden gegeben werden, welche sich positiv auf die Naturgefahrensituation und -prävention auswirken.

## Summary

The Platform on Natural Hazards in Switzerland PLANAT initiated a change of paradigm in natural hazard management by formulating the guiding principle "Change from hazard prevention to a risk culture". This change of paradigm requires an integrated approach when dealing with natural hazards and risks. The concept of integral risk management aims at coordinating different types of risk management measures and combining the most efficient ones to provide sustainable solutions for risk problems.

In accordance with the strategy defined by PLANAT, this project analysed the influences of agricultural practices on natural hazards and the existing knowledge about the topic was compiled systematically. The literature review revealed that agriculture does not inhibit the triggering of natural hazards. However, agricultural activities do have the potential to aggravate or attenuate an existing disposition for natural hazards. Depending on the existing situation, agriculture could, and already does, contribute to risk prevention. The possible contributions range from the optimization of water retention in the basins, protection against erosion and landslides to the minimization of snow slides.

### **Influences of agricultural practice on natural hazards**

The literature review indicated that, in particular, measures for increasing the water retention capacity of soils is most suited for extending the options and tools for flood prevention practice. Adaption of agricultural cultivation practices to comply with the specific natural conditions on the farmland, or modification of agricultural infrastructures, could lead to a reduction of about 10 – 15% in the volume and peak of flood discharges. No-till farming practices and the strict avoidance of soil compaction on farmland and grassland contributes noticeably to the minimization of surface runoff and the increase of water retention capacity. In some cases, flood risks could be reduced by installing flood retention basins or flood corridors, whereby agriculture contributes to risk reduction by providing the required areas and allowing a multi-purpose and multi-functional use of cultivated land. Furthermore, the instruments of land management provide techniques and strategies for reducing surface runoff and erosion on a local scale. On the other hand, agricultural practices that are not adapted to local environmental conditions or agricultural infrastructure located in critical areas could aggravate an existing disposition for the triggering of natural hazards. Feedbacks between different processes and process chains often lead to an increase in the intensity or frequency of natural hazards, e.g. an increase of erosion processes due to snow slides or an increase of surface runoff.

## Effects of present support tools for agriculture

When assessing the effect of support tools on natural hazards, it must be borne in mind that the regulations and incentives of the current direct payment system in the Swiss agricultural policy are governed by agronomic criteria, resp., by agro-political targets. Therefore, the regulations and the various direct payments are not allocated explicitly to factors which inhibit, resp., generate natural hazards. Nevertheless, they cover a large part of the relevant influencing factors and the current direct payment system does contribute to the prevention of natural hazards. A central point is that all direct payments are linked to the PEP (Proof of ecological performance) and therefore, with the exception of those areas used for summering, the regulations are valid practically on a nationwide basis. The various land-use regulations of the PEP, such as the requirements for appropriate soil conservation measures, erosion reduction or regular crop rotation contribute substantially to the inhibition of surface runoff and erosion. The payments for structural elements which inhibit runoff such as conservation headlands, forelands or hedges and woodland are likewise of importance. Incentives for land management (payments for surface utilization, payments for sloping terrain in upland and mountain areas, payments for transhumance of grazing animals) play a significant role in connection with the prevention of natural hazards such as erosion, ground slides in relatively flat regions, snow slides and natural fires in that they prevent overgrowth and bush encroachment on marginal land. In addition, the utilization of these areas depends to a large extent on their degree of site development which is promoted by means of structural improvement measures. In the case of grassland, animal-related direct payments must be assessed more critically since while they encourage the keeping of grazing livestock, and thus the management of the land, there is nevertheless the danger of an intensification of land-use. The increased degree of mechanisation also leads to detrimental soil compaction in grassland.

## Recommendations

With regard to natural hazards and the factors which contribute to them, the current direct payment system exhibits three major flaws: 1. The regulations and incentives are, in the main, not specific to the location; however, natural hazards are usually directly related to the location. 2. Participation of farms in the programs is voluntary and the decision regarding the areas which are to be included in the programs is taken at farm level. 3. In the case of payments for summering livestock, there is no specific link relating to the area used for grazing and therefore there is no direct leverage to ensure overall utilization of the alpine pastures. There are opportunities to link the prevention of natural hazards more strongly to the agricultural support tools. In addition to a link-up between summering payments and the area grazed, these opportunities are to be found in the further development being planned for the direct payment system and an extension of the currently existing resource program. In the first instance, the further development of the direct payment system aims primarily at preventing negative impacts on location-specific potential hazard processes by means of location-specific regulations and incentives. In addition, the resource program could promote sustainable land-use or provide new incentives specifically designed to enhance the prevention of natural hazards by means of voluntary management measures and for cultivation methods which conserve the soil and thus have a favourable effect on natural hazard situations and prevention.

# 1 Einleitung

Im Rahmen des integralen Risikomanagements sind neben den bekannten technischen Präventionsmassnahmen auch flächenwirtschaftliche Massnahmen zur Risikoreduktion in Betracht zu ziehen und im Rahmen einer Nutzen-Kosten-Analyse anderen Massnahmen gegenüberzustellen. Die von der Landwirtschaft bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Sömmerungsweiden leisten situations- und standortbezogen einen wichtigen Beitrag zur Verminderung von Risikosituationen. Umgekehrt beeinflussen die Art und Intensität der Bewirtschaftung und die Produktionstechnik die Naturgefahren direkt. Dabei besteht eine wesentliche Standortabhängigkeit, welche den Einfluss einzelner Bewirtschaftungsformen und damit die Gefahrensituation verschärft oder mindert.

## 1.1 Ziele

Die Plattform Naturgefahren PLANAT erarbeitete 2003 eine Strategie zum Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz (PLANAT 2004). Die Ziele dieser Strategie sind die Gewährleistung eines akzeptierten Sicherheitsniveaus nach einheitlichen Kriterien, die Reduktion vorhandener und die Vermeidung neuer Risiken. Die Mittel zur Reduktion der Risiken sollen effektiv und effizient eingesetzt werden. Die Umsetzung der Strategie orientiert sich nicht an einer reinen Gefahrenabwehr, sondern an einem integralen Risikomanagement. Auf der Grundlage der erarbeiteten Strategie verfolgt die PLANAT die Umsetzung von Massnahmen zur Erreichung der festgesetzten Ziele mittels eines Aktionsplanes, welcher die Verankerung des Grundsatzes der Risikokultur und damit eine Abkehr von der reinen Gefahrenabwehr verfolgt. Der Aktionsplan zielt darauf ab, das integrale Risikomanagement zu fördern, die Grundlagen und Instrumente anzupassen und zu ergänzen, die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zu klären sowie den Risikodialog zu fördern und ein Controlling auf strategischer Ebene zu entwickeln.

Eingebettet in die Gesamtstrategie der PLANAT und in den Aktionsplan soll die Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und die landwirtschaftliche Infrastruktur untersucht werden. Im Hinblick auf die Formulierung einer Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung soll analysiert werden, inwiefern die Landwirtschaft präventiv zur Risikoreduktion beitragen kann. Das Oberziel des Projektes besteht in der Evaluation der möglichen Beeinflussung der Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren durch die Landwirtschaft im Hinblick auf eine Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung, bezogen auf das gesamte Einflussgebiet der Landwirtschaft in der Schweiz. Projektziele sind die Darstellung des Wissensstandes, das Formulieren von Ansatzpunkten zur Gefahren- und Schadenreduktion durch die Anpassung der land- und alpwirtschaftlichen Nutzung und der zugunsten der Landwirtschaft ausgerichteten Fördermassnahmen sowie das Aufzeigen von Wissenslücken und offenen Forschungsfragen.

Im Kontext der Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren sind die Aspekte der Multifunktionalität der Landwirtschaft zu berücksichtigen. Gemäss Artikel 104 der Bundesverfassung sorgt der Bund dafür, dass die Landwirtschaft durch eine nachhaltige und auf den Markt ausgerichtete Produktion einen wesentlichen Beitrag leistet zur sicheren Versorgung der Be-

völkerung, zur Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen und zur Pflege der Kulturlandschaft und zur dezentralen Besiedlung des Landes. Die sogenannten gemeinwirtschaftlichen Leistungen werden mit den allgemeinen Direktzahlungen gefördert. Im Vordergrund stehen dabei Ziele wie die flächen-deckende Nutzung und Pflege des Kulturlandes, wobei die Bewirtschaftungerschwernisse im Berg- und Hügelgebiet durch spezifische Zahlungen abgegolten werden. Ergänzend zu den allgemeinen Direktzahlungen geben die ökologischen Direktzahlungen einen Anreiz zur Erbringung von freiwilligen Leistungen, welchen über den ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) hinausgehen.

Der vorliegende Bericht ist als Grundlagenbericht zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren zu verstehen. Er ist kein Handbuch für die landwirtschaftliche Beratung und Praxis und gibt keine agrarpolitischen Empfehlungen.

## 1.2 Vorgehensweise

Naturgefahren, welche einen Bezug zur landwirtschaftlichen Nutzung haben, sind nicht nur im Kontext der Bewirtschaftung, sondern auch in Verbindung zu den landwirtschaftlichen Strukturen, zu den jeweiligen Standorteigenschaften und zu den bestehenden agrarpolitischen Massnahmen zu analysieren. Basis für die Vorgehensweise bei der Literaturrecherche und -auswertung bildete das konzeptionelle Analysemodell, welches auf die verschiedenen Naturgefahren übertragen wird. Dieses Modell gibt die Struktur für die Literaturrecherche und die Aufbereitung der gesammelten Grundlagen und Erkenntnisse vor. Der Themenbereich wurde dabei einerseits nach dem Aspekt der Standorteigenschaften und andererseits nach agronomischen und agrarökonomischen Aspekten betrachtet. Die Auswirkungen auf Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren werden als Produkt dieser Aspekte betrachtet. Mit dieser Vorgehensweise lassen sich die Einflussgrössen einzeln und in ihrem Zusammenwirken herauskristallisieren. Gleichzeitig können die hemmenden und fördernden Faktoren für die Naturgefahren in Verbindung zur Bewirtschaftung und zu den landwirtschaftlichen Strukturen gebracht werden; diese sind das Ergebnis der Entscheidungen der landwirtschaftlichen Akteure, welche durch die wirtschaftlichen und agrarpolitischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden.

Mit Hilfe dieser Struktur kann die vorliegende Thematik von zwei Seiten betrachtet werden, sowohl von naturwissenschaftlich-technischer Seite mit Schwerpunkt auf den Naturgefahrenprozessen als auch von agrarwirtschaftlicher Seite mit Schwerpunkt auf den Fördermassnahmen und deren Wirkung auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und damit auf die Naturgefahrenprozesse.

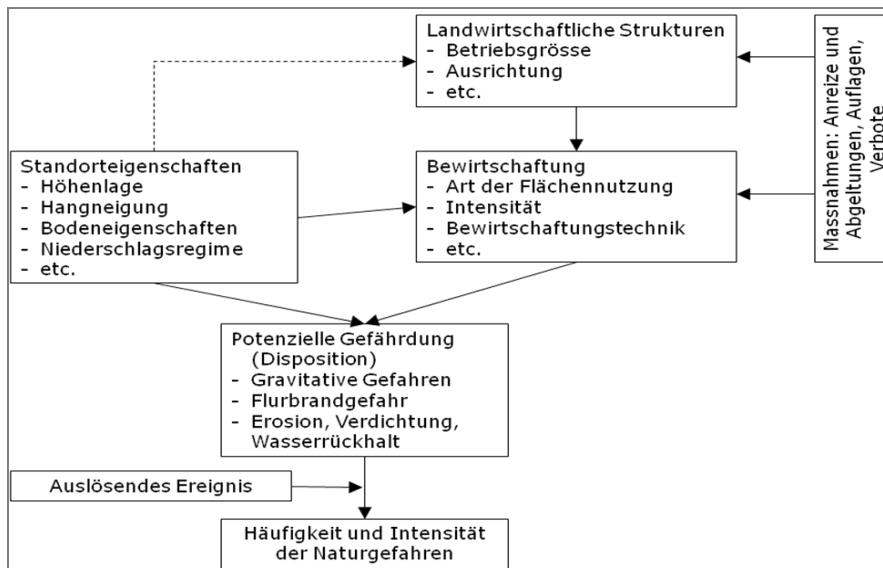


Abbildung 1: Konzeptionelles Analysemodell.

Das Analysemodell erleichtert ausserdem die Abgrenzung des Untersuchungsrahmens. Hier werden die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform auf die Häufigkeit und Intensität anhand des Modells der Zusammensetzung einer Gefährdung seitens einer Naturgefahr aus Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis betrachtet (Zimmermann et al. 1998). Das auslösende Ereignis, häufig ein Niederschlagsereignis, wird in dieser Studie als nicht direkt beeinflussbar behandelt. Ebenso sind die natürlichen Standorteigenschaften von der Landwirtschaft nicht bzw. nur über sehr lange Zeiträume über die Modifikation von Bodeneigenschaften, der Vegetation und der Geländeoberfläche oder über strukturelle Massnahmen beeinflussbar. Im Wesentlichen konzentrieren sich die Einflussmöglichkeiten der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Beeinflussung der variablen Disposition und der Grunddisposition für Naturgefahrenprozesse. In der Untersuchung wurden dabei die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsformen Graslandwirtschaft (unterteilt in Wiese und Weide), Ackerbau, Obst- und Weinbau auf die Prozesse Oberflächenabfluss, Erosion durch Wasser, flachgründige Rutschungen, Schneegleiten und Flurbrand betrachtet.

Die Vorgehensweise wurde im Projekt in drei Arbeitsschritte gegliedert:

#### Arbeitsschritt A: Sammeln und Sichten vorhandener Untersuchungen

Erster Schritt des Auftrags war die Erhebung und Sichtung der relevanten Literatur. Startpunkt der Literaturrecherche war eine unternehmensinterne Literaturdatenbank zum Thema, die auftragsspezifisch erweitert wurde. Schwerpunkt der Literaturrecherche bildete der deutschsprachige Raum. Bei unzufrieden stellender Datenlage wurde die Literaturrecherche themenspezifisch auf den angelsächsischen, französischen und italienischen Raum ausgeweitet.

Für die Suche der nicht veröffentlichten Literatur wie Projektberichte und strategische Dokumente wurde mit ausgewählten Institutionen direkt Kontakt aufgenommen und gegebenenfalls wichtige



Dokumente direkt erhoben. Die gesammelten Dokumente wurden systematisch in die Literaturdatenbank aufgenommen, mit Schlagworten und einem Link zum digitalen Dokument versehen.

### **Arbeitsschritt B: Systematische Zusammenstellung der Massnahmen land- und alpwirtschaftlicher Bewirtschaftung mit Einfluss auf die Häufigkeit und Intensität von gravitativen Naturgefahren, Flurbrandgefahr und der Gefahr von Bodenerosion**

In diesem Arbeitsschritt wurden die gesammelten Unterlagen nach dem entwickelten Analysemodell systematisch ausgewertet und zusammengefasst. Die Zusammenstellung der verschiedenen Bewirtschaftungsmassnahmen enthält die Wirkung der einzelnen Bewirtschaftungsart und Massnahmen auf die Naturgefahren und räumliche Aussagen, wo die Massnahmen für das Schadenpotenzial relevant sind und wie gross der Einfluss auf die Naturgefahren ist. Neben den Wirkungen von Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Naturgefahrensituation wurden in einer weiteren Übersicht die Wirkungen von Flächenaufgaben und von Bewirtschaftungsverzichten bzw. Anpassung der Bewirtschaftungsarten systematisch zusammengestellt. In diesem Punkt wurde insbesondere die zeitliche Komponente berücksichtigt. In der Zeit zwischen der Nutzungsaufgabe bis zur endgültigen Sukzessionsstufe bzw. bis zur Wiederherstellung des ursprünglichen Waldzustandes ändern sich die Auswirkungen der Transition laufend. Hier wird aufgezeigt, wie eingegriffen werden kann, um lang andauernde Übergangssituationen mit möglichen negativen Auswirkungen zu verkürzen oder irreversible Entwicklungen zu verhindern.

Zudem wurden die landwirtschaftlichen und untergeordnet die naturschutzrechtlichen, gewässerschutzrechtlichen und raumplanerischen Förderinstrumente bzw. Auflagen im Hinblick auf mögliche Zielkonflikte und Synergien mit dem Ziel der integralen Naturgefahrenprävention beleuchtet. Schwerpunkt bei den landwirtschaftlichen Förderinstrumenten sind die Direktzahlungen und die Strukturverbesserungsmassnahmen. In diesem Arbeitsschritt wurde zudem eine Zusammenfassung über die Ansätze zur Kompensation von Grundbesitzern oder Bewirtschaftern für die Zur-Verfügung-Stellung von Landwirtschaftsgrund für Entlastungskorridore und Flutpolder und über Nutzungsaufgaben bzw. Bewirtschaftungsanpassungen erarbeitet. Auf Basis dieser Analyse wurde auf die mögliche Verwendung von bestehenden Förderinstrumenten hingewiesen.

Durch die Analyse der Auflagen, Vorschriften und Förderinstrumente wurde deren Einfluss auf gefahrenhemmende und gefahrenfördernde Faktoren kritisch beleuchtet. Es wird aufgezeigt, welche Vorschriften und Förderungsprogramme in den verschiedenen Standortseigenschaften die Bewirtschaftungsform, Bewirtschaftungsintensität und -technik und damit indirekt die Naturgefahrensituation beeinflussen.

### **Arbeitsschritt C: Dokumentation der Resultate und Zusammenstellung der offenen Fragen**

Der Schlussbericht wurde mit den erkannten Handlungsfeldern zur Einbindung der Landwirtschaft in die Gefahrenprävention, mit den offenen Fragen und mit Empfehlungen zur weiteren Vorgehens-

weise in diesem Themenbereich ergänzt. Die Beiträge der Begleitgruppe und der beigezogenen Experten wurden in den Bericht eingearbeitet.

### Einbezug von Fachexperten

Die Faktenblätter, welche die Ergebnisse der Literaturrecherche kurz zusammenfassen, wurden an mehrere Experten aus verschiedenen Fachbereichen für ein Review versandt. Die Kommentare der Reviewer wurden in die Endversion eingearbeitet.

## 2 Entwicklung der Landwirtschaft und der Fördermassnahmen zugunsten der Landwirtschaft

Im folgenden Kapitel werden die Strukturentwicklung und die Fördermassnahmen zugunsten der Landwirtschaft kurz dargestellt. Bei letzteren liegt der Schwerpunkt auf den Direktzahlungen und den Strukturverbesserungsmassnahmen. Das Kapitel bildet die Grundlage für die Diskussion der Wirkung der Fördermassnahmen auf die Naturgefahren und für die qualitative Einordnung der wichtigsten Veränderungen in der Flächennutzung und deren Einfluss auf die Naturgefahrensituation.

### 2.1 Strukturentwicklung

In diesem Teilkapitel wird die allgemeine Strukturentwicklung der Landwirtschaft in den letzten Jahren und spezifisch die Entwicklung der Flächennutzung und der Tierhaltung beschrieben. Nach Rieder (1998) wird die Strukturentwicklung in der Landwirtschaft durch das Preis- und Kostenniveau, durch die Direktzahlungen und Strukturverbesserungsmassnahmen sowie die regionalen Arbeitsmärkte beeinflusst. Während sich der Begriff des Strukturwandels in einem engeren Sinne auf die Entwicklung der Zahl der Landwirtschaftsbetriebe beschränkt, beinhaltet er in einer umfassenden Betrachtung die Entwicklung des Einsatzes des Faktors Arbeit, Boden und Kapital und die Entwicklung der Faktoreinsatzverhältnisse wie auch Veränderungen in der Art und im Ausmass der landwirtschaftlichen Produktion und damit der Flächennutzung und der Tierhaltung.

#### 2.1.1 Entwicklung der Betriebszahl

Mit dem Strukturwandel in der Landwirtschaft verringerte sich die Zahl der Betriebe in der Vergangenheit bei einer gleichzeitigen Zunahme der bewirtschafteten Fläche pro Betrieb kontinuierlich. Mit einem Rückgang von 21% auf 26'708 Betriebe ist die Talregion in den letzten zehn Jahren relativ stärker vom Strukturwandel betroffen als die Hügel- und Bergregion mit einem Rückgang von 16% auf 16'468 Betriebe resp. 17% auf 16'858 Betriebe. Sowohl in der Tal- wie auch in der Bergregion nimmt die bewirtschaftete Fläche pro Betrieb um rund 22%, in der Hügelregion um 17% zu. Im Mittel bewirtschafteten die Betriebe in der Talregion im Jahr 2009 18.7 ha Nutzfläche, in der Hügel- und Bergregion waren die Betriebe mit 16.6 ha und 16.8 ha etwas kleiner.

Mit der steigenden Betriebsgrösse haben arbeitsexensive Bewirtschaftungsverfahren und Tierhaltungssysteme in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Zudem werden laufende rationellere Bewirtschaftungs- und Erntesysteme eingesetzt. Ein Hauptgrund liegt darin, dass pro Arbeitskraft laufend mehr Fläche bewirtschaftet wird. Im Berggebiet haben diese Anpassungen zur Folge, dass die steilen Flächen vermehrt beweidet werden, während die Gunstlagen vollmechanisiert bewirtschaftet werden. In der Tierhaltung haben viele Betriebe aufgrund des sinkenden Milchpreises die Milchproduktion aufgegeben und auf die Mutterkuhhaltung umgestellt. Die Mutterkühe sind im Allgemeinen während der ganzen Vegetationsperiode auf der Weide.

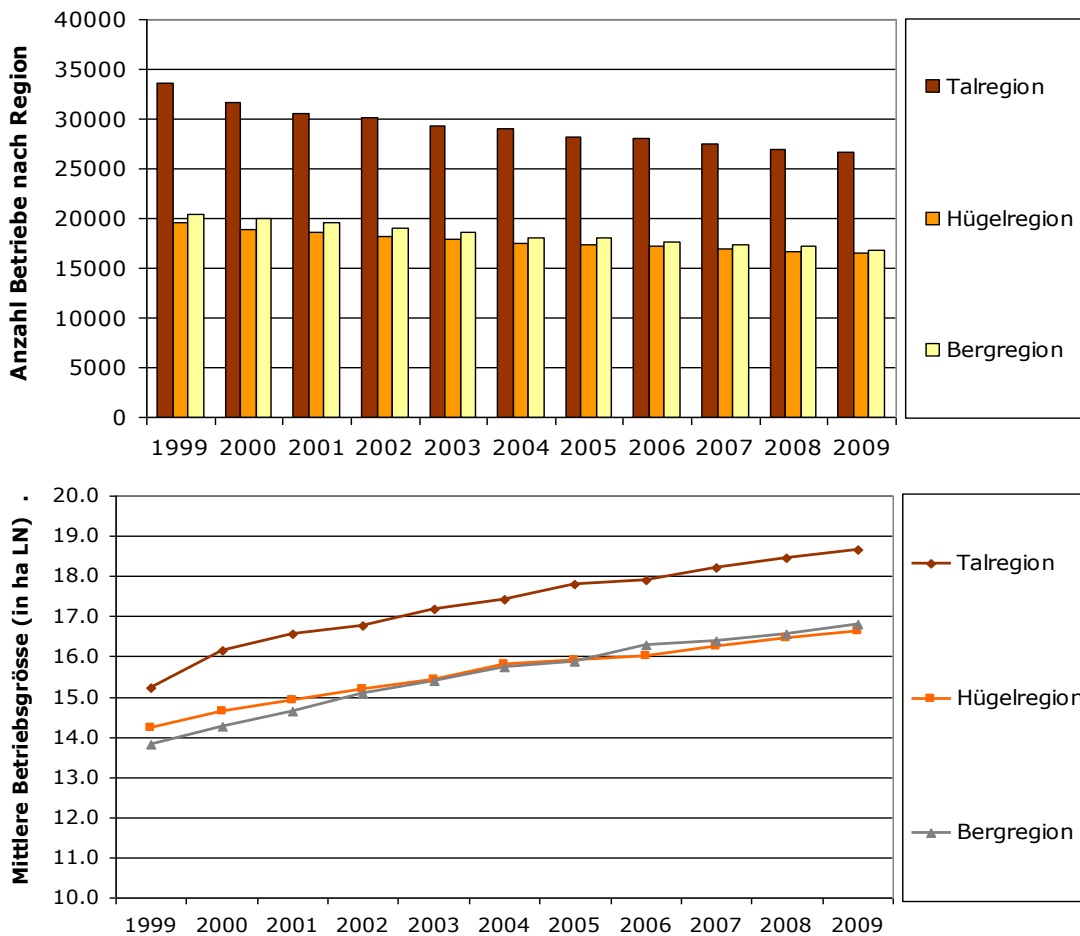


Abbildung 2: Entwicklung der Betriebszahl. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

### 2.1.2 Entwicklung der Flächennutzung und der Tierhaltung

Als Folge der Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen und der Waldfläche hat die landwirtschaftliche Nutzfläche innerhalb der letzten 10 Jahre um 1.5% abgenommen. Die Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsflächen und insbesondere der Industrie- und Gewerbeareale erfolgt dabei zu einem bedeutenden Teil auf bisherigen Ackerflächen; zwei Fünftel der zwischen 1982 bis 2006 neu gebauten Siedlungsflächen stehen auf Ackerland (BfS 2010). Der Anstieg der Waldfläche ist dagegen grösstenteils das Ergebnis einer ökonomisch motivierten Bewirtschaftungsaufgabe von vormals landwirtschaftlich genutzten Flächen und Sömmerungsweiden (Baur 2006, Flury et al. 2005).

Insgesamt hat sich die von der Landwirtschaft genutzte Ackerfläche (AF) zwischen 1999 und 2009 um 1.5% auf noch 406'789 ha reduziert. Seit 1999 wird auf den ackerfähigen Böden jedoch laufend mehr Fläche als Kunstwiese bewirtschaftet (+12%); im Jahr 2009 belegten die Kunstwiesen 129'813 ha. Von dieser Entwicklung tangiert werden vor allem die offene Ackerfläche (oAF) mit einer Abnahme um 6% auf 275'401 ha, gefolgt von den intensiven Obstkulturen mit einer Abnahme von 5% auf 7'413 ha. Im Jahr 2009 wird auf knapp einem Drittel des offenen Ackerlands Brotgetreide angebaut, wobei die Anbaufläche seit 1999 um 11% auf 86'692 ha abgenommen hat. Das Futtergetreide mit einem Anteil von 24% an der offenen Ackerfläche hat um 22% abgenommen; im Jahr 2009 wurden 66'150 ha Fut-

tergetreide angebaut. Eine Zunahme um rund 15% auf 46'126 ha verzeichnet Silo- und Grünmais mit einem Anteil an der offenen Ackerfläche von 17%. Bei den Hackfrüchten zeigt sich eine gegenläufige Entwicklung, indem die Zuckerrübenfläche um rund 16% ausgeweitet und die Anbaufläche der Kartoffeln um 18% eingeschränkt wurde. Insgesamt ist die Hackfruchtfläche mit gut 31'000 ha in den letzten 10 Jahren jedoch unverändert geblieben. Der Anbau von Raps hat 2007 von etwa 16'000 ha sprunghaft auf 21'434 ha zugenommen und beansprucht einen Anteil von knapp 8% an der offenen Ackerfläche.

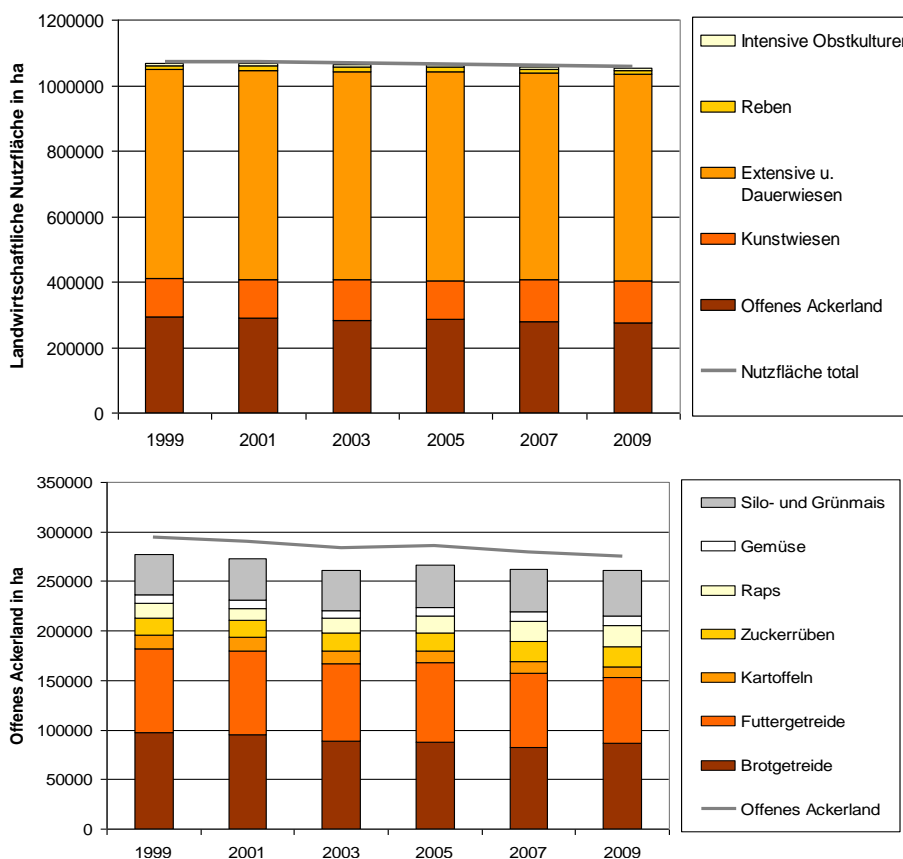


Abbildung 3: Entwicklung der Flächennutzung. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

Zusätzlich zu den Verschiebungen bei den Kulturen hat sich auch die Bodenbearbeitung verändert. Seit Mitte der 1980er Jahre hat speziell die Direktsaatfläche von wenigen Hektaren auf rund 12'000 ha im Jahre 2006 zugenommen (Ledermann und Schneider 2008). Heute dürften rund 15'000 ha in Direktsaat und weitere 4'000 ha in Streifenfrässaat bewirtschaftet werden, wobei regional grosse Unterschiede bestehen. Der Anteil der Mulchsaaten dürfte gesamtschweizerisch bei rund 40% liegen; bei Winterweizen werden ca. 30% der Fläche pfluglos angebaut, bei den Kunstpflanzen etwa 80% (Weidmann 2009).

In den letzten 10 Jahren hat der Tierbestand um 1.5% zugenommen (gemessen in Grossvieheinheiten GVE). Vor allem seit 2005 ist eine jährliche Zunahme festzustellen, welche sich auf die steigenden Rindviehbestände zurückführen lässt. Im Vergleich zu 1999 liegt der Bestand 2009 aber um 1.4% tiefer. Die Schafbestände nehmen insgesamt um 7% auf 43'822 GVE, die Ziegenbestände um 38% auf

11'186 GVE. Beide Tiergattungen verzeichnen im gesamten Zeitraum einen kontinuierlichen Zuwachs.

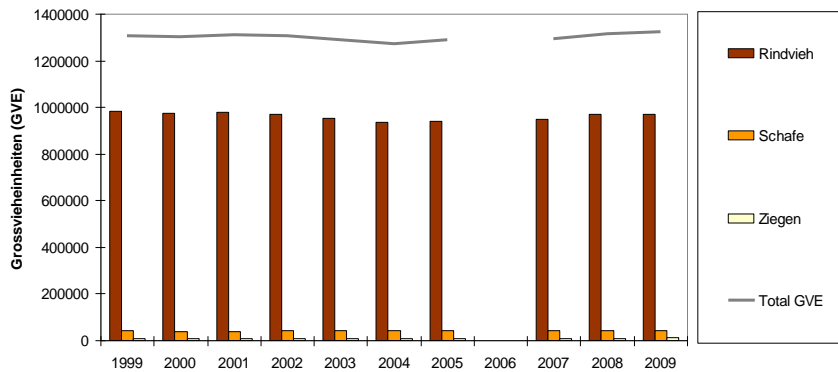


Abbildung 4: Entwicklung der Tierhaltung. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

## 2.2 Entwicklung der Direktzahlungen zugunsten der Landwirtschaft

Auf den 1. Januar 1999 traten die meisten Verordnungen zum neuen Landwirtschaftsgesetz in Kraft. Seither werden die Direktzahlungen in allgemeine und ökologische Direktzahlungen eingeteilt. Mit Ausnahme der Sömmerungsbeiträge sind alle Direktzahlungen an die Erbringung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) gebunden.

In diesem Teilkapitel werden die verschiedenen Direktzahlungsprogramme kurz beschrieben. Zudem werden die Entwicklung der ausgezahlten Fördermittel und die Beteiligung der Betriebe an den Programmen dargestellt, wobei der Schwerpunkt auf den im Kontext Flächennutzung und Naturgefahren relevanten Entwicklungen liegt.

### 2.2.1 Übersicht über die allgemeinen Direktzahlungen

Die allgemeinen Direktzahlungen nach Art. 72 bis 75 LwG (SR 910.1) umfassen die Flächenbeiträge, die Beiträge für Raufutter verzehrende Nutztiere, die Hangbeiträge und die Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen. Mit diesen Beiträgen werden die gemeinwirtschaftlichen Leistungen der Landwirtschaft gefördert. Die Beiträge sind sowohl flächen- als auch tiergebunden.

- **Flächenbeiträge:** Die für alle Betriebe einheitlichen Flächenbeiträge fördern die gemeinwirtschaftlichen Leistungen wie Schutz und Pflege der Kulturlandschaft und Gesunderhaltung der Lebensgrundlagen. Zur Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion wird für offenes Ackerland und Dauerkulturen ein Zusatzbeitrag ausgerichtet.

- Beiträge für Raufutter verzehrende Nutztiere: Die RGVE-Beiträge werden für Tiere ausgerichtet, die auf einem Betrieb gehalten werden. Im Vordergrund steht die Bewirtschaftung des Graslands.
- In der Hügel- und Bergregion erhalten die Bewirtschafter und Bewirtschafterinnen zusätzlich Hangbeiträge. Mit diesen Beiträgen werden die Erschwernisse der Flächenbewirtschaftung in den Hang- und Steillagen ausgeglichen. Ziel der Hangbeiträge für Reben ist, den Rebbau in Steil- und Terrassenlagen zu erhalten und zu stützen.
- Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen: Mit den nach Zonen differenzierten Beiträgen werden ebenfalls die Bewirtschaftungserschwernisse im Hügel- und Berggebiet ausgeglichen. Mit der Massnahme werden aber auch soziale, strukturelle und siedlungspolitische Ziele verfolgt.

### 2.2.2 Übersicht über die ökologischen Direktzahlungen

Die ökologischen Direktzahlungen nach Art. 76 bis 77 sowie Art. 77a LwG (SR 910.1) umfassen die Öko-, Etho-, Öko-Qualitäts-, Sömmerungs- und die Beiträge zur Förderung einer nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen. Diese Beiträge geben einen Anreiz für freiwillige Leistungen, die über den ÖLN hinausgehen. Ziele sind die Förderung der Artenvielfalt, die Reduktion der Nitrat- und Phosphorbelastung von Gewässern, die Reduktion des Einsatzes von Produktionsmitteln, die Förderung der besonders tierfreundlichen Nutztierhaltung und die nachhaltige Nutzung des Sömmerungsgebiets. Im Kontext der Naturgefahren sind primär die flächengebundenen Beiträge wichtig:

- Beiträge für den Ökoeffizienten: Förderung von besonders naturnahen und umweltfreundlichen Produktionsformen und deren Ausdehnung. Ökoeffizientenbeiträge werden für extensiv genutzte Wiesen, wenig intensiv genutzte Wiesen, Streueflächen, Hecken, Feld- und Ufergehölze, Bunt- und Rotationsbrachen, Ackerschonstreifen und Säume auf Ackerland sowie für Hochstamm-Feldobstbäume ausgerichtet.
- Sömmerungsbeiträge: Sicherung einer nachhaltigen und flächendeckenden Bewirtschaftung der Sömmerungsgebiete in den Alpen, Voralpen und im Jura. Die Beiträge werden unter der Bedingung gewährt, dass die Betriebe vorschriftsgemäss und umweltschonend bewirtschaftet werden. Im Gegensatz zu den übrigen Direktzahlungen sind die Sömmerungsbeiträge mit Ausnahme der Einhaltung des Normalbesatzes nicht an weitere ökologische Auflagen gebunden. Einzig Sömmerungsbetriebe, welche den Tierbesatz erhöhen wollen oder ökologische Probleme haben, müssen einen Bewirtschaftungsplan einreichen, dessen Einhaltung gemäss Art. 2 VKIL (SR 910.15) mindestens alle 12 Jahre überprüft wird. Unter anderem gibt der Plan an, welche Flächen beweidbar sind und welche nicht beweidet werden können, welche Flächen mit welchen Tieren beweidet werden sollen oder welche Massnahmen allenfalls zur Verhinderung der Verbuschung oder Vergandung angezeigt sind. Umgekehrt kann der Normalbesatz zur Behebung ökologischer Schäden herabgesetzt werden oder wenn sich die Weidefläche des Sömmerungsbetriebs, insbesondere durch Verwaldung oder Verbuschung, wesentlich reduziert hat.

- **Öko-Qualitätsbeiträge:** Um die natürliche Artenvielfalt zu erhalten und zu fördern, unterstützt der Bund ökologische Ausgleichsflächen (öAF) von besonderer biologischer Qualität sowie die Vernetzung von öAF mit Finanzhilfen. Die Öko-Qualitätsverordnung basiert auf ergebnisorientierten Anreizen und wandelt sich damit für die Landwirtschaft zu einem zielorientierten Produktionszweig. Die Teilnahme an den Programmen der ÖQV ist freiwillig. Mit den Öko-Qualitätsbeiträgen wird auch die Bewirtschaftung der Trockenwiesen und -weiden TWW gefördert, soweit diese gemäss Art. 4 DZV direktzahlungsberechtigt sind und damit in der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegen. Dagegen wird der Unterhalt von TWW-Flächen, die von nicht direktzahlungsberechtigten Bewirtschaftern bewirtschaftet werden oder die ausserhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegen, über Beiträge gemäss Artikel 18 NHV (SR 451.1) gefördert (BAFU 2010).

### 2.2.3 Übersicht über den ökologischen Leistungsnachweis

Die Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) sowie die Einhaltung der für die landwirtschaftliche Produktion massgeblichen Bestimmungen der Gewässerschutz-, der Umweltschutz- und der Tierschutzgesetzgebung sind gemäss Art. 70 LwG eine Voraussetzung für alle Direktzahlungen (ohne Sömmerungsbeiträge). Das Direktzahlungssystem kombiniert Anreize mit Bewirtschaftungsaufgaben. Zusätzlich müssen die Betriebe strukturelle Kriterien erfüllen, damit sie für die allgemeinen Direktzahlungen und die Ökobeiträge beitragsberechtigt sind (z.B. minimaler Standard-Arbeitsbedarf, Ausbildung, Alter). Der ÖLN umfasst folgende Anforderungen (Art. 5 bis 16 sowie Anhang der Direktzahlungsverordnung DZV, SR 910.13):

- **Tiergerechte Haltung der Nutztiere:** Einhaltung der Tierschutzverordnung.
- **Ausgeglichene Düngerbilanz:** Der Stickstoff- und Phosphorhaushalt wird anhand der Nährstoffbilanz beurteilt und muss ausgeglichen sein. Durch die Nährstoffbilanz wird der Nährstoffeinsatz auf der gesamtbetrieblichen Ebene auf den Bedarf der Kulturen beschränkt.
- **Angemessener Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen:** Die ökologischen Ausgleichsflächen müssen mindestens 3.5% der mit Spezialkulturen belegten landwirtschaftlichen Nutzfläche und mindestens 7% der übrigen Nutzfläche des Betriebs ausmachen.
- **Geregelte Fruchtfolge bei mehr als 3 ha offener Ackerfläche:** Mit einer optimalen Fruchtfolge wird eine möglichst lange Bedeckung des Bodens, eine optimale Nutzung der Nährstoffe und der Vermeidung von Krankheiten und Schädlingen angestrebt.
- **Geeigneter Bodenschutz bei mehr als 3 ha offener Ackerfläche in der Talzone bis und mit Bergzone I:** Ziel des Bodenschutzes ist eine vermehrte Bodenbedeckung, um Erosion und Stoffausträge zu vermeiden.
- **Auswahl und gezielte Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.**
- **Erosionsverhinderung:** Zusätzlich zu den Anforderungen an die Bodenbedeckung dürfen auf den Parzellen keine regelmässig beobachtbaren Bodenabträge auftreten. Sollte dies der Fall sein, müssen Bewirtschaftende geeignete Massnahmen ergreifen oder einen mehrjährigen Bewirtschaftungsplan erstellen, um Erosion zu verhindern.



Betriebe mit Direktzahlungen müssen die Auflagen nicht nur umsetzen, sondern gegenüber den Kantonen auch den Nachweis erbringen, dass sie alle Auflagen des ÖLN erbringen. Bei Nichteinhalten der Vorgaben werden die Beiträge gekürzt. Gemäss Art. 2 VKIL (SR 910.15) werden die Auflagen der Direktzahlungsverordnung (ökologischer Leistungsnachweis, Öko- und Ethobeiträge) mindestens alle vier Jahre kontrolliert. Seit dem 1. Januar 2010 werden jährlich mindestens 2 Prozent der Betriebe risikobasiert überprüft.

#### 2.2.4 Entwicklung der allgemeinen Direktzahlungen

Für die allgemeinen Direktzahlungen richtete der Bund im Jahr 2009 total 2.2 Mia. Fr. aus, rund 400 Mio. Fr. oder 23% mehr als 1999. Ein erster markanter Anstieg erfolgt 2001, ein zweiter 2009. Der Anstieg im Jahr 2009 ist auf die Erhöhung der Beitragsansätze für Raufutter verzehrende Nutztiere sowie für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen im Rahmen der Umsetzung der Agrarpolitik AP 2011 zurückzuführen (BLW 2010).

Der grösste Anteil der allgemeinen Direktzahlungen entfällt auf die Flächenbeiträge, gefolgt von den Beiträgen für die Haltung Raufutter verzehrender Nutztiere, den Beiträgen für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen und den Hangbeiträgen. Die Flächenbeiträge sind seit 2007 als Folge der reduzierten Ansätze rückläufig. Bis 2006 liegt ihr Anteil an den allgemeinen Direktzahlungen bei rund 2/3, sinkt dann aber bis 2009 auf 56% (1.2 Mia. Fr.). Die Anteile der RGVE-Beiträge und der Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen liegen bis 2006 bei jeweils 14% - 15%. 2007 änderte der Bund die Bemessungsgrundlage für die RGVE-Beiträge und erhöht ausserdem 2009 den RGVE-Beitragssatz. Damit steigen die RGVE-Beiträge bis 2009 auf 0.5 Mia. Fr. und ihr Anteil an den allgemeinen Direktzahlungen auf über 23%. Die Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen steigen ebenfalls und liegen 2009 bei 0.35 Mia. Fr., der Anteil an den allgemeinen Direktzahlungen erhöht sich auf 16%. Die Hangbeiträge sind absolut als auch anteilmässig leicht rückläufig und sinken im Vergleich zu 1999 mit einem Anteil von 6% um 1.2% auf 103 Mio. Fr. Der Grund dafür liegt in einer rückläufigen Bewirtschaftung von Hang- und Steillagen (-5%). Die Erhöhung der Flächen- und Hangbeiträge im Jahr 2010 dürfte einen Einfluss auf die weitere Entwicklung der allgemeinen Direktzahlungen haben. Der Anteil der allgemeinen Direktzahlungen an den Direktzahlungen insgesamt (2.8 Mia. Fr im Jahr 2009) sinkt im betrachteten Zeitraum kontinuierlich von 85% auf 80% zugunsten der ökologischen Direktzahlungen.

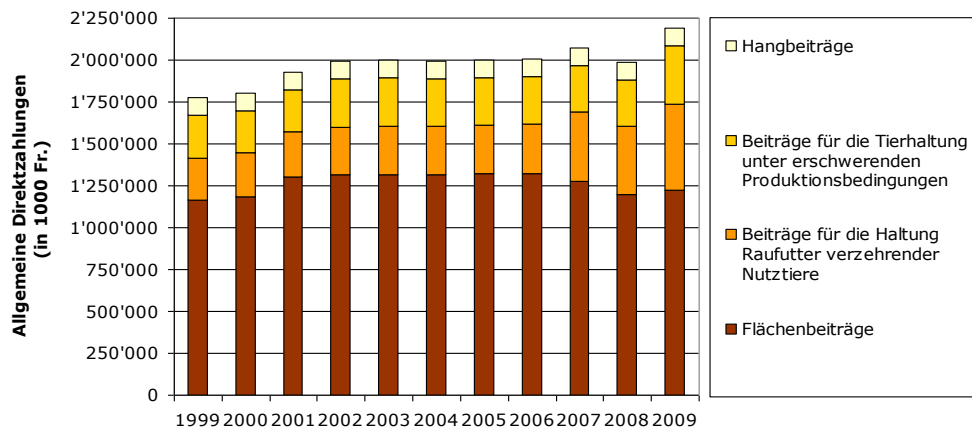


Abbildung 5: Entwicklung der allgemeinen Direktzahlungen. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

### 2.2.5 Entwicklung der ökologischen Direktzahlungen

Die ökologischen Leistungen der Landwirte wurden 2009 vom Bund mit 555 Mio. Fr. gefördert, mit rund 230 Mio. Fr. oder 70% mehr als 1999. Von diesem Anstieg nicht betroffen sind die Extensobeiträge, die seit 1999 kontinuierlich zurückgehen und die Beiträge für den ökologischen Ausgleich, die seit 2008 rückläufig sind. Anteilsmässig am höchsten waren 2009 die Beiträge für die Tierhaltung mit Regelmässigem Auslauf im Freien (RAUS) mit 29% (163 Mio. Fr.), gefolgt vom ökologische Ausgleich mit einem Anteil von 22% (123 Mio. Fr.) und den Sömmerungsbeiträgen mit 18% (98 Mio. Fr.). Innerhalb der letzten 10 Jahre haben letztere zwei Massnahmen anteilmässig zunehmend an Bedeutung verloren. Die Anteile für die biologische Qualität und Vernetzung sowie die Tierhaltung in besonders tierfreundlichen Stallhaltungssystemen (BTS) liegen 2009 bei je etwa 10%, wobei sich deren Anteile laufend erhöht haben. Die Anteile für Extensio und den biologischen Landbau liegen 2009 bei etwa 5%; diese Beiträge verlieren anteilmässig an Bedeutung. Der Anteil der ökologischen Direktzahlungen im Vergleich zu den Direktzahlungen insgesamt (2.8 Mia. Fr im Jahr 2009) steigt im betrachteten Zeitraum kontinuierlich von 15.5% auf 20% zulasten der allgemeinen Direktzahlungen.

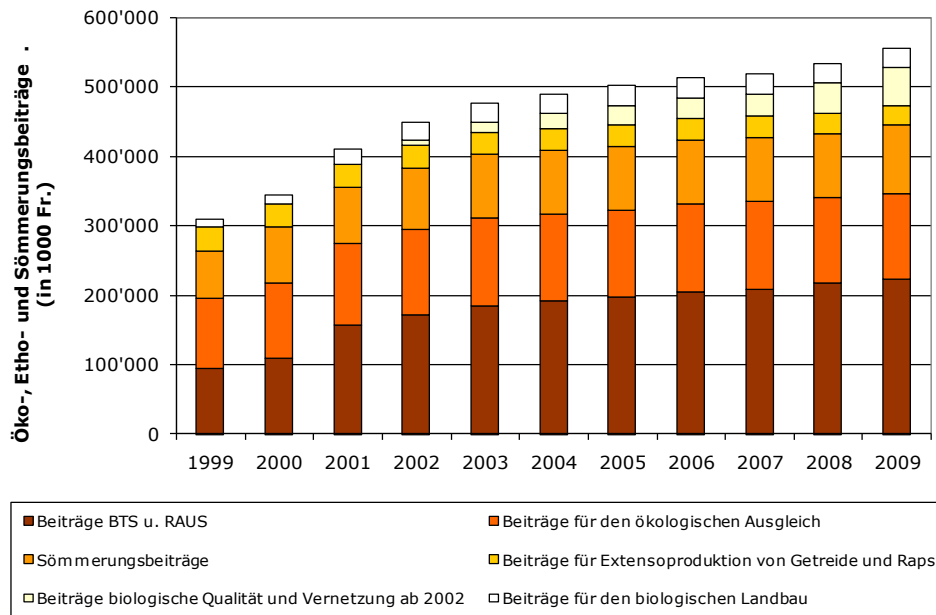


Abbildung 6: Entwicklung der ökologischen Direktzahlungen. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

## 2.2.6 Entwicklung der Beteiligung an den Direktzahlungsprogrammen

Die Zahl der direktzahlungsberechtigten Betriebe verringert sich als Folge des Strukturwandels von 1999 bis 2009 um 13% auf noch 52'539 Betriebe. Dieser Rückgang schlägt sich auch in der Beteiligung der übrigen Massnahmen der allgemeinen Direktzahlungen nieder.

Die landwirtschaftliche Nutzfläche mit Flächenbeiträgen erfährt in den letzten 10 Jahren nur geringfügige jährliche Veränderungen und bewegt sich jeweils um die 1.02 – 1.03 Mio. ha. Auf rund 22% der Fläche werden im betrachteten Zeitraum zusätzlich Hangbeiträge ausgerichtet. Die Zahl der Normalstösse mit Sömmerungsbeiträgen bewegt sich in den letzten Jahren stabil zwischen 313'000 – 315'000 Normalstössen. Im Gegensatz zu der sich verringern Zahl der Betriebe im ökologischen Ausgleich erfährt die Ökoausgleichsfläche in den letzten Jahren keine grossen Veränderungen und bewegt sich bei rund 120'000 ha. Die hohe Beteiligung der Betriebe am 2001 in Kraft getretenen Öko-Qualitätsprogramm schlägt sich auch flächenmässig nieder; 2009 werden für ca. 66'000 ha Beiträge für biologische Qualität und Vernetzung ausgerichtet. Die Bio-Flächen sind wie auch die Biobetriebe rückläufig mit einer Reduktion um jährlich 1% - 2%. 2009 beträgt die Biofläche 110'000 ha. Die Extensio-Flächen haben innerhalb der letzten 10 Jahre um 17% auf 73000 ha abgenommen

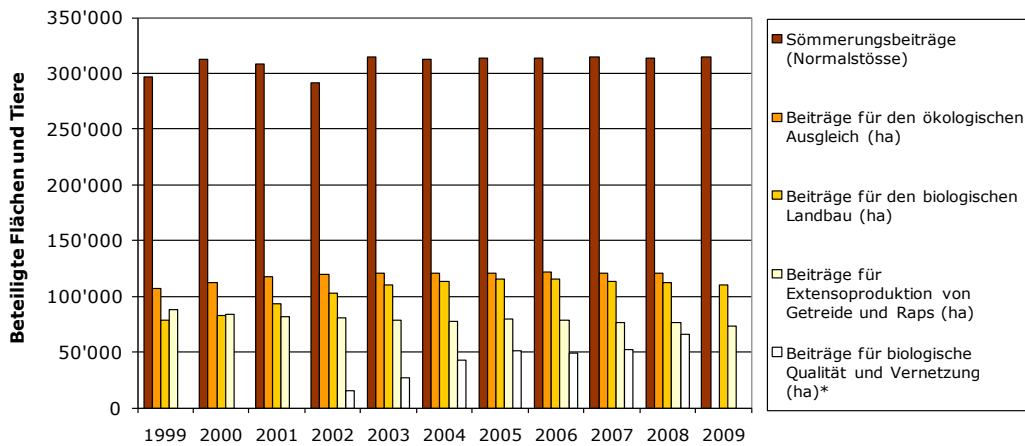


Abbildung 7: Entwicklung der Flächen. Bem.: \*Summe der drei Flächenkategorien Biologische Qualität, Vernetzung sowie Biologische Qualität u. Vernetzung, die gemäss der Öko-Qualitätsverordnung von 2001 Beiträge erhalten. Quelle: BLW Agrarberichte 2002 bis 2010, SBV Statistische Erhebungen 2000 bis 2009.

Rund die Hälfte der ökologischen Ausgleichsflächen entfallen 2009 auf die extensiv genutzten Wiesen, 20% auf die wenig intensiv genutzten Wiesen. Innerhalb der letzten 10 Jahre hat die Fläche der ersteren um drei Viertel auf 60'856 ha zugenommen. Die wenig intensiv genutzten Wiesen hingegen verzeichnen einen Rückgang um 36% auf 25'860 ha. Die übrigen Massnahmen gewinnen jährlich an Fläche dazu sind anteilmässig aber von untergeordneter Bedeutung wie etwa die Ackerschonstreifen mit 30 - 50 ha oder die 2008 neu eingeführten Säume auf Ackerflächen mit 35 ha.

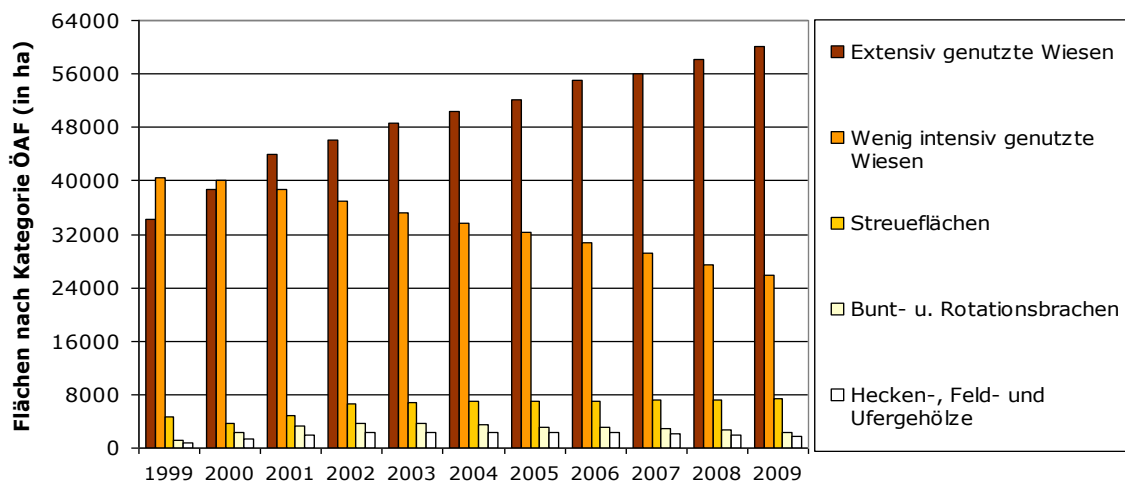


Abbildung 8: Entwicklung der ökologischen Ausgleichsflächen.

### 2.2.7 Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems

Während das Direktzahlungssystem in den letzten agrarpolitischen Reformen weitgehend unverändert blieb, liegt mit dem Konzept zur Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems (WDZ) ein Entwurf zu einer konzeptionellen Weiterentwicklung vor. Die Direktzahlungen sollen künftig konsequent auf die von der Bevölkerung gewünschten gemeinwirtschaftlichen Leistungen der Landwirtschaft

ausgerichtet werden. Durch den Einsatz von zielgerichteten Instrumenten sollen sich die Wirksamkeit und die Effizienz des Direktzahlungssystems verbessern. Das Konzept WZ greift zudem die regionalen Unterschiede bei den gesellschaftlichen Erwartungen auf, indem neben der Abstufung über die Erschwerniszonen und die Hangneigung vereinzelt auch regionale Ziele und Instrumente vorgesehen sind (z.B. im Bereich Landschaftsqualität).

Im Konzept WZ sind fünf permanente Instrumente zur Förderung der gemeinwirtschaftlichen Leistungen vorgesehen: 1. Kulturlandschaftsbeiträge, 2. Versorgungssicherheitsbeiträge, 3. Biodiversitätsbeiträge, 4. Landschaftsqualitätsbeiträge und 5. Produktionssystembeiträge. Die Einkommenssicherung der Landwirtschaftsbetriebe soll durch personengebundene, sozial motivierte Anpassungsbeiträge und über die Höhe der permanenten Direktzahlungen erreicht werden. Die Einführung der Anpassungsbeiträge ermöglicht eine klare Unterscheidung zwischen den leistungsbezogenen Direktzahlungen und Zahlungen zur Sicherstellung einer sozialverträglichen Entwicklung. Für die dezentrale Besiedlung sollen die Kantone mit besiedlungsgefährdeten Gebieten eigene Ziele festlegen.

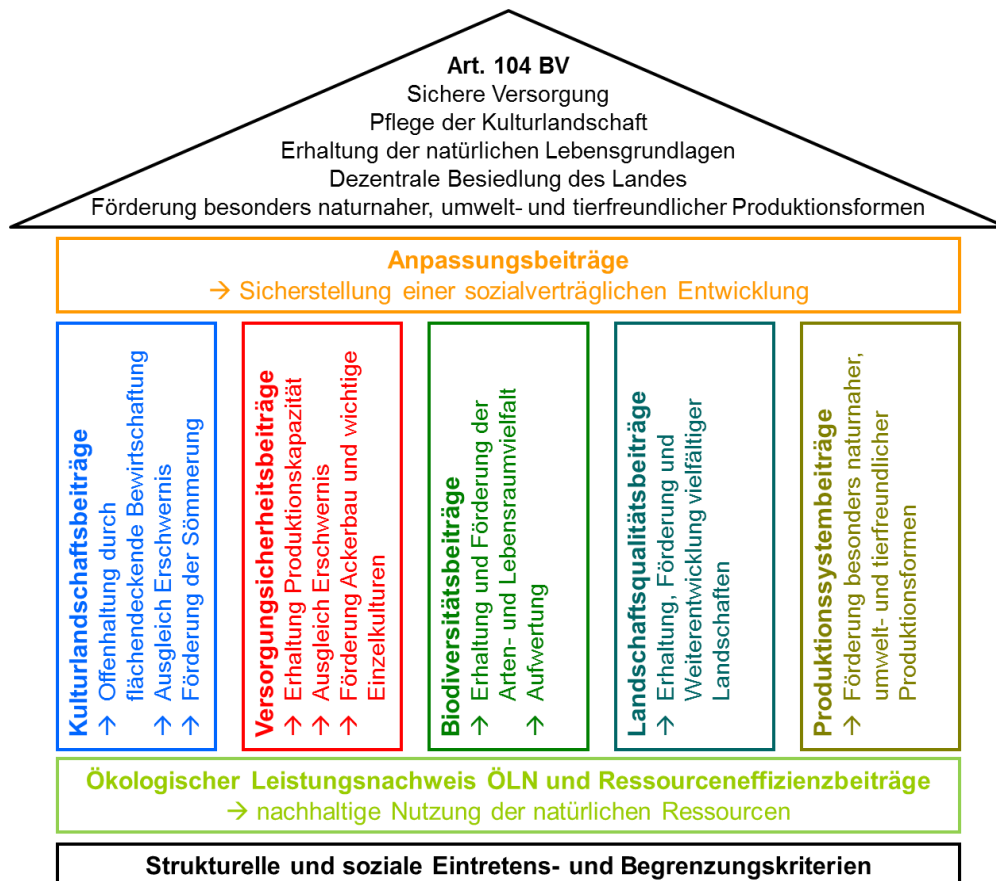


Abbildung 9: Konzept zur Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems

Die Direktzahlungen werden auch im weiterentwickelten System an die Erbringung des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) gebunden sein. Der bisherige ÖLN soll dabei weitgehend unverändert weitergeführt werden. Anpassungen sind jedoch bei den Massnahmen im Bereich der Bodenerosion und Bodenbedeckung geplant. Bei der Bodenerosion sollen die Massnahmen anhand von Risikokar-

ten, welche insbesondere die Topografie, die Niederschläge und die Bodeneigenschaften berücksichtigen, auf problematische Gebiete konzentriert werden. Ergänzend sollen zur Schliessung von Ziellücken im Umweltbereich und zur Förderung einer nachhaltigen Ressourcennutzung ressourcenschonende Techniken und betriebliche Innovationen befristet mit Ressourceneffizienzbeiträgen gefördert werden.

## **2.3 Weitere Förderinstrumente sowie im Kontext der Naturgefahren wichtige Schutzinstrumente.**

Neben den Direktzahlungen bestehen weitere Förderinstrumente, welche die landwirtschaftliche Flächennutzung beeinflussen und damit in einem Zusammenhang zu den Naturgefahren stehen.

### **2.3.1 Programme zur nachhaltigen Ressourcennutzung**

Der Bund fördert nach Art. 77a und b LwG die Verbesserung der Nutzung von natürlichen Ressourcen in der Landwirtschaft mit Beiträgen. Im Vordergrund steht eine Steigerung der Effizienz beim Ressourceneinsatz. Dabei bestehen drei Zielbereiche:

- Für die landwirtschaftliche Produktion benötigte Ressourcen wie Stickstoff, Phosphor und Energie;
- Optimierung des Pflanzenschutzes;
- Verstärkter Schutz und nachhaltigere Nutzung des Bodens, der biologischen Vielfalt in der Landwirtschaft und der Landschaft.

Während die Einhaltung der gesetzlichen Auflagen und des ÖLN bei den Direktzahlungen eine Voraussetzung ist, müssen die Massnahmen der Ressourcenprogramme über diese Anforderungen hinausgehen. Mit den ausgerichteten Beiträgen wird die Einführung neuer Techniken und Organisationsformen sowie von strukturellen Anpassungen unterstützt, welche Verbesserungen in den Zielbereichen bringen. Nach der Einführung sollen die Massnahmen ohne Unterstützung des Bundes weitergeführt werden. Die Teilnahme an den Massnahmen ist freiwillig.

### **2.3.2 Strukturverbesserungsmassnahmen**

Mit den Massnahmen im Bereich der Strukturverbesserungen werden die Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse im ländlichen Raum verbessert. Dies betrifft insbesondere das Berggebiet und die Randregionen. Als Investitionshilfen stehen mit den à fonds perdu-Beiträgen und den Investitionskrediten in Form von zinslosen Darlehen zwei Instrumente zur Verfügung. Die Investitionshilfen werden für einzelbetriebliche Massnahmen wie landwirtschaftliche Gebäude und für gemeinschaftliche Massnahmen gewährt. Bei den gemeinschaftlichen Massnahmen stehen im Zusammenhang mit den Naturgefahren die Bodenverbesserungen und die Strukturverbesserungen für Sömmerungsbetriebe

(mit mehr als 50 Normalstössen) im Vordergrund. Als umfassende gemeinschaftliche Massnahmen gelten Landumlegungen mit Infrastrukturmassnahmen.

Bei den Bodenverbesserungen werden für folgende im Kontext der Naturgefahren wichtige Massnahmen Beiträge gewährt (nach Art. 14 der Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft SVV, SR 913.1):

- Landumlegungen, Pachtlandarrondierungen und weitere Massnahmen zur Verbesserung der Bewirtschaftungsstruktur;
- Erschliessungsanlagen wie Wege, Seilbahnen und ähnliche Transportanlagen, wobei der Wegebau im Vordergrund steht;
- Massnahmen zur Erhaltung und Verbesserung von Struktur und Wasserhaushalt des Bodens wie Drainagen, Bodenlockerung oder Be- und Entwässerungsanlagen;
- Wiederherstellung nach Elementarschäden und Sicherung von landwirtschaftlichen Bauten und Anlagen sowie Kulturland;
- Naturnaher Rückbau von Kleingewässern im Zusammenhang mit den bereits genannten Massnahmen;
- Periodische Wiederinstandstellung z.B. für die Erschliessungsanlagen oder Anlagen zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserhaushaltes des Bodens.

Gesamtmeliorationen als umfassende gemeinschaftliche Massnahmen weisen den grössten Handlungsspielraum auf, weil im Rahmen der multifunktional ausgerichteten Projekte verschiedene Massnahmen miteinander kombiniert werden können. Gleichzeitig werden im Rahmen von Gesamtmeliorationen fundierte Grundlagen wie Entwässerungs- und Erosionskonzepte erarbeitet, welche im Kontext der Naturgefahrenprävention wichtig sind. Aus landwirtschaftlicher Sicht eröffnet eine umfassend Melioration auch die Möglichkeit, neben der Flächen- und Pachtlandarrondierung die Betriebsstandorte zu überprüfen und allenfalls Betriebe aus- oder umzusiedeln.

Allgemein handelt es sich bei den Strukturverbesserungsmassnahmen um eine Verbundaufgabe zwischen Bund und Kantonen. Die Gewährung eines Bundesbeitrages setzt eine kantonale Finanzhilfe voraus, wobei die Finanzierung durch den Bund eine rechtskräftige Bewilligung des Projektes durch den Kanton bedingt. Bevor der Kanton das entsprechende Beitragsgesuch beim Bund einreicht, muss er zum Projekt beim Bundesamt für Landwirtschaft eine Stellungnahme einholen.

Zwischen 1999 und 2009 hat der Bund jährlich Beiträge an Projekte für Bodenverbesserungen und landwirtschaftliche Gebäude von 76 Mio. Fr. bis 111 Mio. Fr. ausgerichtet. Im Mittel liegen die jährlichen Beiträge bei 89.4 Mio. Fr. Die Gesamtkosten der mit Beiträgen unterstützten Projekte beliefen sich pro Jahr auf 386 Mio. Fr. Bei Bodenverbesserungen werden über die Bundesbeiträge 31% der Gesamtkosten finanziert, bei den landwirtschaftlichen Gebäuden liegt der Finanzierungsanteil des Bundes bei 15%.

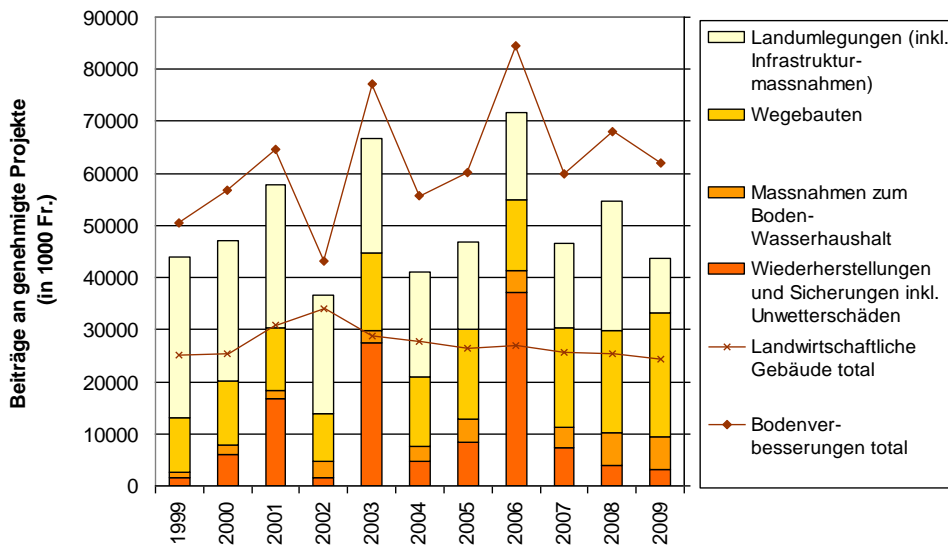


Abbildung 10: Beiträge des Bundes an genehmigte Projekte. Die Spitzen bei den Bodenverbesserungen in den Jahren 2001, 2003 und 2006 sind bedingt durch die Wiederherstellung der Unwetterereignisse 2000, 2002 und insbesondere 2005. Quelle: BLW Agrarberichte 2000 bis 2010.

Die Beiträge des Bundes an genehmigte Projektes für Bodenverbesserungen und landwirtschaftliche Hochbauten beliefen sich im Jahr 2009 auf 86.2 Mio. Fr. Anteilsmässig am wichtigsten sind mit einem Volumen von 23.9 Mio. Fr. (28%) resp. 21.5 Mio. Fr. (25%) die Beiträge an Wegebauten und an Ökonomiegebäude. Auf die Gesamtmeliorationen und Wasserversorgungen entfielen Beiträge von 10.4 Mio. Fr. bzw. 10.1 Mio. Fr., was einem Anteil von jeweils 12% an den totalen Beiträgen entspricht.

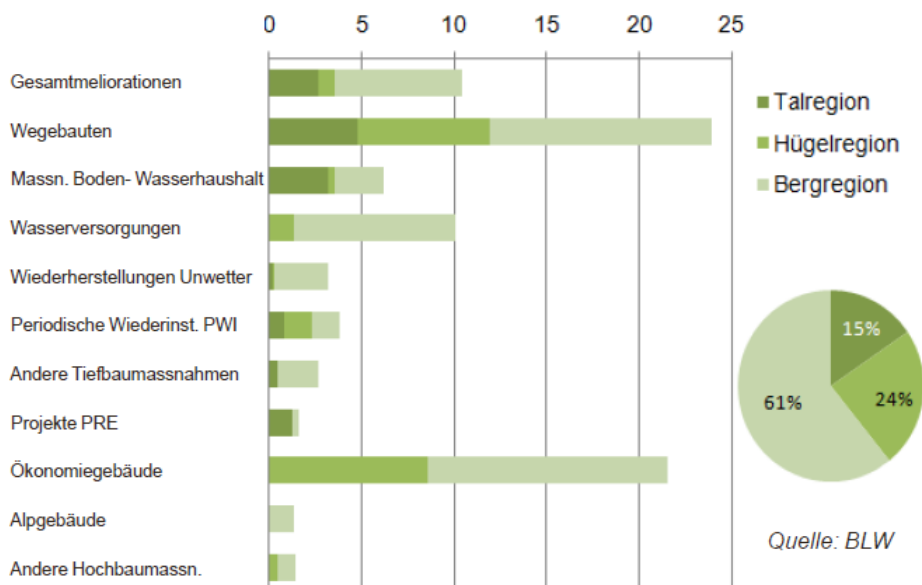


Abbildung 11: Genehmigte Beiträge des Bundes 2009 für Strukturverbesserungsmassnahmen (in Mio. Fr.). Quelle: Informationen Ländliche Entwicklung 2010, suissemelio und BLW 2010.



## 3 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren

Im folgenden Kapitel werden die Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren beschrieben. Die Beschreibungen basieren auf der Analyse der gesammelten Literatur über das Thema. Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden nach den folgenden Prozesstypen zusammengefasst: Oberflächenabfluss, Erosion, flachgründige Rutschung, Schneegleiten, Flurbrand. In diesen Kapiteln wird nach den folgenden Bewirtschaftungsformen unterschieden: Ackerbau, Mähwiese, Weide, Obstbau/Weinbau.

### 3.1 Oberflächenabfluss

In diesem Kapitel werden die Hauptfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung beschrieben, die Abflussmengen und Abflussspitzen in Gewässern während und nach Niederschlagsereignissen und damit Überschwemmungsereignisse beeinflussen können. Neben den Beiträgen zum Abfluss in Fließgewässern werden auch Oberflächenabflussprozesse in Hangbereichen beschrieben.

Die Bildung von Oberflächenabfluss ist ein Resultat von verschiedenen Prozessen. Oberflächenabfluss ist der Teil des Niederschlags, der nicht durch Interzeption an der Vegetationsdecke zurückgehalten und nicht in den Boden eindringen und versickern kann. Der Anteil des Niederschlags, der in den Boden eindringt und damit nicht zum Oberflächenabfluss beiträgt ist von der Infiltrationskapazität und vom Speichervermögen des Bodens abhängig. Die Abflussbildungsprozesse werden von vielen Autoren beschrieben (z. B. Beven & Kirkby 1979, Scherrer 1997, Schmocker-Fackel 2004, u.v.a.). Einen detaillierten Beurteilungsschlüssel zur Bestimmung der dominanten Abflussprozesse und zur Identifikation der hochwasserrelevanten Flächen gibt Scherrer (2006).

Voraussetzung für die Bildung von Oberflächenabfluss ist eine ausreichende Menge an Niederschlag und die Benetzung der Bodenoberfläche. Die Niederschlagsintensität muss dabei grösser als die Infiltrationskapazität des Bodens sein (Horton'sche Abflussprozesse) oder der Bodenwasserspeicher ist gesättigt (gesättigter Abfluss). Dies ist zumeist bei schwach durchlässigen und undurchlässigen Böden der Fall. Oberflächenabfluss kann sich in verschiedenen Formen manifestieren. Nach Scherrer (1997) entsteht "Absolute Hortonian Overland Flow" bei hohen Niederschlagsintensitäten, die auf wenig durchlässigen Boden treffen. In diesen Fällen kann bereits kurz nach Niederschlagsbeginn kaum mehr Wasser in den Boden eindringen. Bei geringerer Niederschlagsintensität und höherer Infiltrationskapazität kann der Boden zu Beginn des Niederschlagsereignisses noch Wasser aufnehmen. Bei zunehmender Bodenfeuchte im Verlauf des Niederschlagsereignisses nimmt die Infiltrationsrate ab, es entsteht "Delayed Hortonian Overland Flow". Bei zeitweilig vorhandenen Infiltrationshemmnissen entsteht temporär Oberflächenabfluss. Dieser wird nach Scherrer (1997) als "Temporary Overland Flow" bezeichnet. Ist nach einem Niederschlagsereignis die Speicherkapazität des Bodens erschöpft, fließt jeder Niederschlag unabhängig von der Niederschlagsintensität oberflächlich ab. Dieser Oberflächenabfluss wird als "Saturation Overland Flow" bezeichnet. Tritt das in den Boden eingedrungene

Wasser nach kurzer Zeit wieder an die Oberfläche, trägt es als "Return Flow" wieder zum Oberflächenabfluss bei. Abbildung 12 zeigt die Abflusstypen schematisch auf. Unter dem vorliegenden Themenschwerpunkt als Spezialfall zu bezeichnende Abflussprozesse sind Schneeschmelze oder Niederschlag auf gefrorenem Boden. Diese Abflussprozesse können durch die Landwirtschaft nicht wesentlich beeinflusst werden und finden hier deshalb keine Erwähnung.

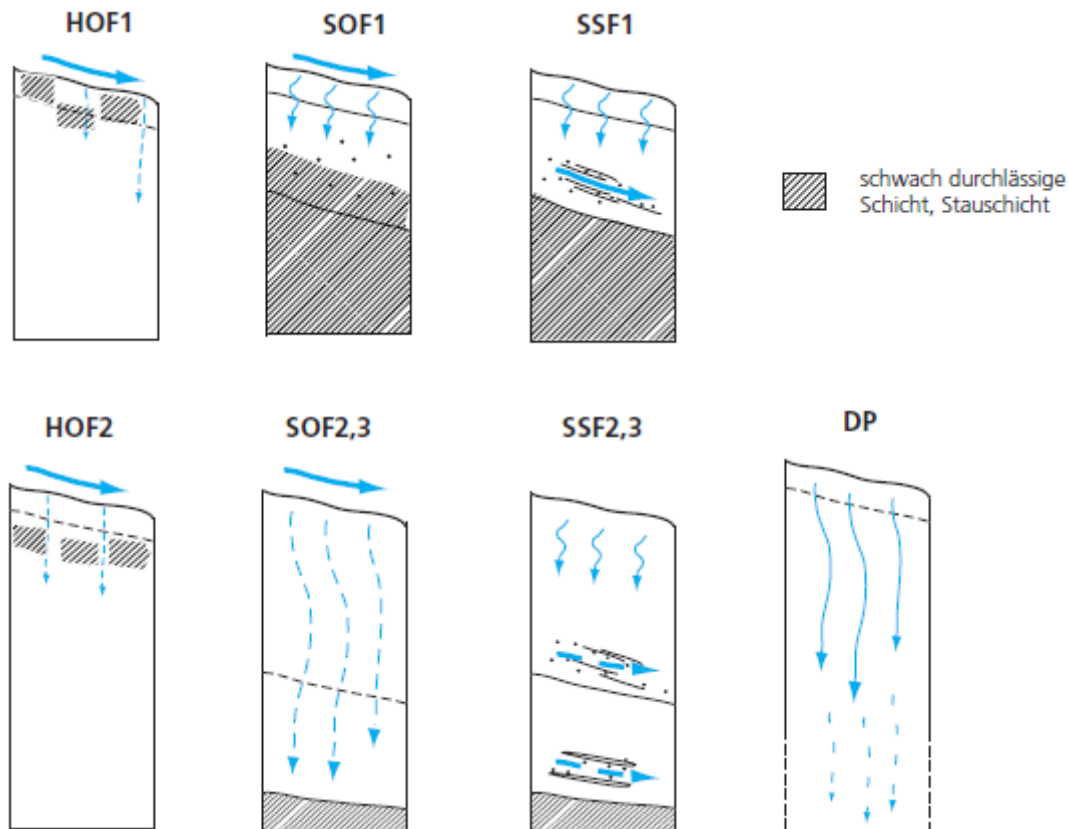


Abbildung 12: Abflussprozesse und Reaktionsweisen bei Starkregen. HOF 1 ... Hortonian Overland Flow, HOF 2 ... Delayed Hortonian Overland Flow, SOF ... Saturation Overland Flow, SSF ... Subsurface Flow, DP ... Deep Percolation. Quelle: BWG (2003).

Die Abflusskoeffizienten der verschiedenen Abflusstypen variieren erheblich (siehe Abb. 13). Entsprechend beeinflussen die verschiedenen Abflusstypen und ihre Verteilung auf den Flächen innerhalb des hydrologischen Einzugsgebiets den Abfluss im Gerinne sehr stark.

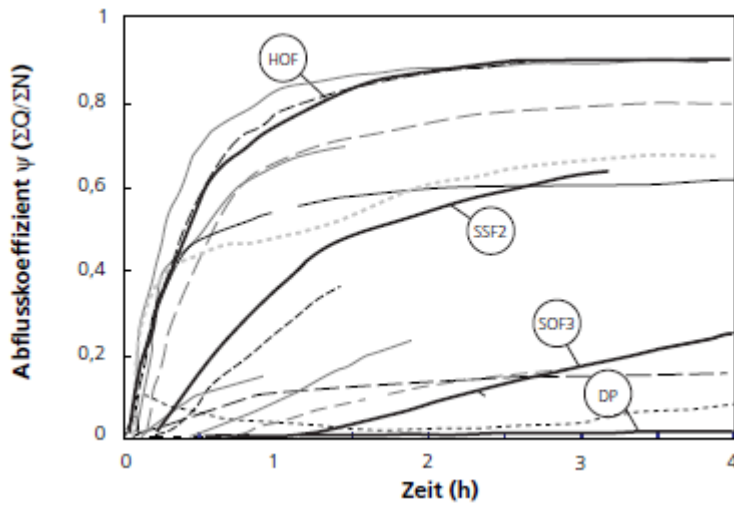
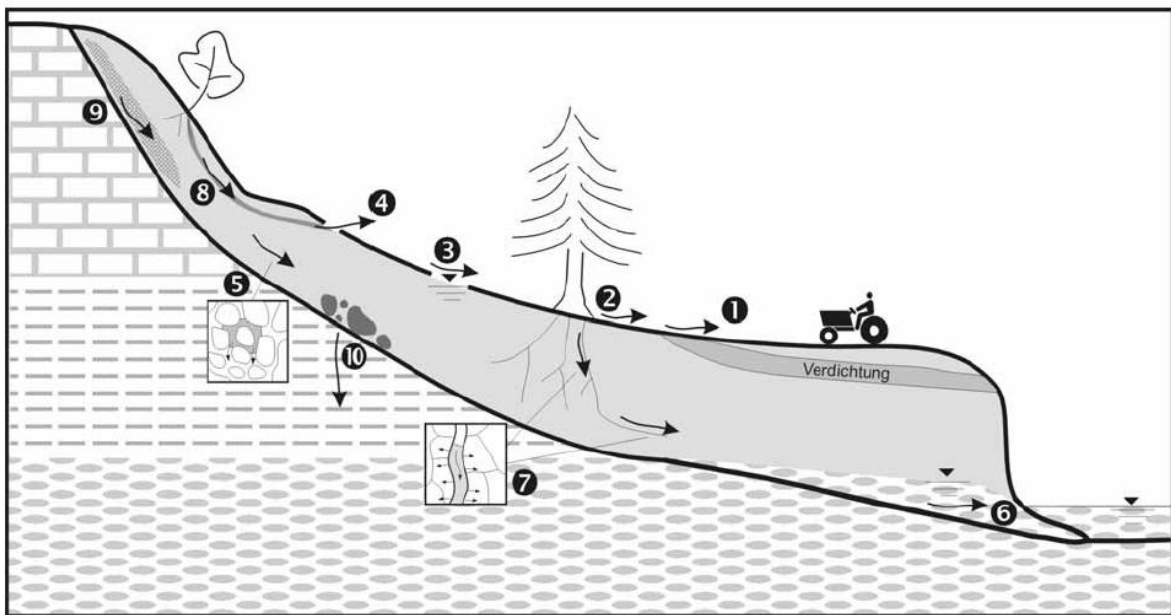


Abbildung 13: Verlauf des Abflusskoeffizienten (Verhältnis zwischen Abfluss und Niederschlag) auf verschiedenen Hangstandorten. Quelle: BWG (2003).

Abbildung 14 zeigt das Auftreten der Abflusstypen an einem Beispiel eines Hangquerschnittes.



- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| ① Absolute Hortonian Overland Flow                                   | ⑥ Groundwater Flow              |
| ② Delayed Hortonian Overland Flow, Temporary Hortonian Overland Flow | ⑦ Macropore Flow                |
| ③ Saturated Overland Flow  | ⑧ Pipe Flow                     |
| ④ Return Flow  | ⑨ Flow in high permeable Layers |
| ⑤ Matrix Flow  | ⑩ Deep Percolation              |

Abbildung 14: Abflussprozesse dargestellt an einem Hangausschnitt (aus Dobmann 2009, nach Scherrer 1997).

Neben der Intensität des Niederschlagsereignisses ist der Oberflächenabfluss im Wesentlichen von der Infiltrationskapazität gesteuert. Diese wiederum ist abhängig vom Bodenaufbau, der Lagerungsdichte sowie von den Fließwegen in Makroporen, Röhren und hochdurchlässigen Schichten. Je höher

der Grobkornanteil ( $> 2$  mm), umso rascher erfolgt die Infiltration. Je höher der Feinkornanteil, insbesondere der Anteil an Schluff (0.063 mm bis 0.002 mm) und Ton ( $< 0.002$  mm) umso langsamer laufen die Versickerungsprozesse in der Bodenmatrix ab. Die Lagerung beeinflusst die Versickerungsgeschwindigkeit. Bei lockerer Lagerung ist eine rasche Versickerung in die Tiefe möglich. Bei dichter Lagerung nimmt der Anteil an rasch dränenden Poren ab.

Wasser, das in den Boden eindringt, kann entweder in der Bodenmatrix gebunden werden oder sickert in die tieferen Bodenschichten bis zu einem Grundwasserkörper oder einem Stauhorizont. Die Bewegung innerhalb der Bodenmatrix kann kapillar bei einer Porengröße von kleiner als 10  $\mu\text{m}$  oder nichtkapillar in Makroporen (0.01 mm – 10 mm), Röhren bzw. Wurmgänge ( $> 10$  mm) oder hochdurchlässigen Schichten erfolgen (Scherrer 1997). Das Wasser, das sich kapillar durch Mikroporen bewegt, wird als "Matrix Flow" bezeichnet. Die Fließgeschwindigkeit ist unmittelbar von der Porosität und mittelbar von der Körnung des Bodens abhängig. Wasser, das sich durch Makroporen und Röhren bewegt, wird als "Macropore Flow" bzw. als "Pipe Flow" bezeichnet. Vertikales Fließen dieser Art bewirkt eine hohe Infiltrationskapazität, einen hohen lateralen Fluss in Makroporen und bevorzugten Fließwegen und kann zum Hochwasserabfluss in Gewässern beitragen. Weiters wird die Fließgeschwindigkeit innerhalb der Bodenmatrix von der Beschaffenheit der Makroporen wie Durchmesser, Kontinuität und Interaktion mit der umgebenden Matrix sowie der Bodenfeuchte beeinflusst. Sie kann bis zu 2 cm/s betragen. Einmal in den Boden eingedrungenes Wasser kann entlang von bevorzugten Fließwegen als Bodenabfluss zum Abfluss von Fließgewässern beitragen oder an anderen Stellen wieder an die Oberfläche geraten und zum Oberflächenabfluss beitragen.

Für die Bildung von Hochwasserabflüssen ist v.a. der Oberflächenabfluss von Interesse. Dieser steht in Wechselwirkungen zu Infiltrationskapazität und Speicherfähigkeit. Um die Bildung von Oberflächenabfluss zu untersuchen und v.a. zu quantifizieren, wurden umfangreiche Studien mit Beregnungsversuchen durchgeführt (z.B. Akkermann 2004, Bunza 1984, Bunza 1989, Bunza et al. 1996, Markart et al. 2004, Scherrer 1997, Schmocker-Fackel et al. 2007). Schmocker-Fackel et al. (2007) haben ein Verfahren zur Bestimmung der dominanten Abflussprozesse erarbeitet. In BWG (2003) ist ebenso ein Schlüssel zur Bewertung der dominanten Abflussprozesse beschrieben.

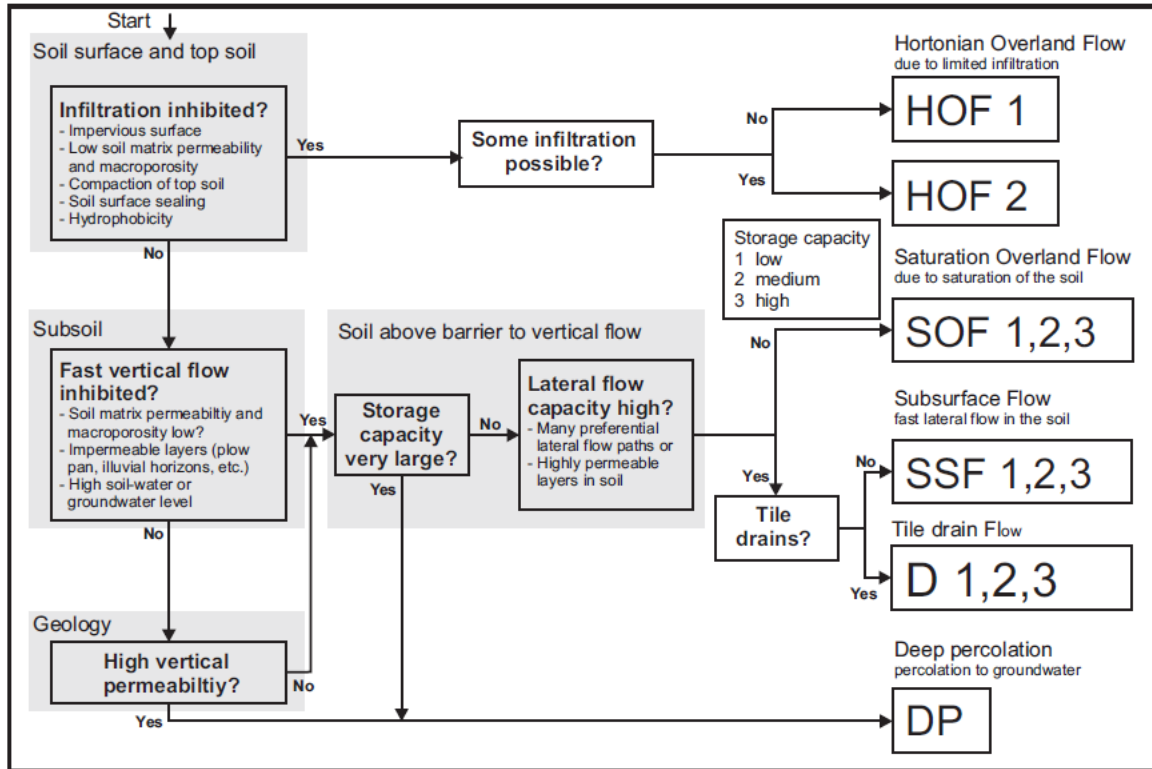


Abbildung 15: Verfahren zur Bestimmung der dominanten Abflussprozesse. Quelle: Schmocker-Fackel et al. (2007).

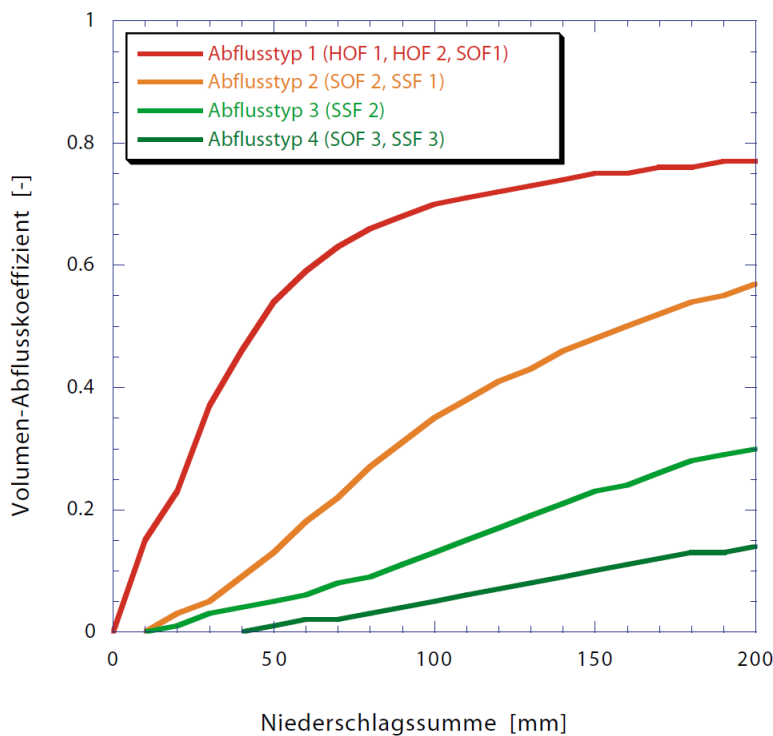


Abbildung 16: Abflussreaktionskurven der dominanten Abflussprozesse. Quelle: Scherrer (2006).

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann v.a. über die Beeinflussung der **Infiltrationskapazität** den Oberflächenabfluss steuern. Ein von der Landwirtschaft beeinflussbarer Faktor ist der Bedeckungsgrad des Bodens mit Vegetation. Von diesem Faktor hängt ab, ob durch Verschlammungsprozesse auf unbedeckten oder gering bedeckten Böden die Infiltrationseigenschaft massgeblich herabgesetzt werden kann. Weitere beeinflussbare Faktoren sind die Lagerungsdichte und die Matrixdurchlässigkeit des Bodens. Durch Bodenverdichtung kann es ebenfalls zu einer massgebenden Verringerung der Infiltrationskapazität kommen. Ein weiterer Faktor, der die Infiltrationskapazität beeinflusst, ist die Makroporosität. Diese ergibt sich aus Regenwurmröhren, strukturellen Fließbahnen oder Gängen von Pflanzenwurzeln. Damit kann dieser Faktor ebenso von der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung beeinflusst werden. Die Infiltrationskapazität kann weiters durch die wasserabstossende Wirkung von oberflächennahem Wurzelfilz oder Vegetationsfilz vermindert werden. Die genannten Faktoren befinden sich in Wechselwirkungen.

Neben der Infiltrationskapazität ist die **Wasserspeicherfähigkeit** in absoluten Werten wesentlich für den Gebietsabfluss. Ist die Speicherkapazität eines Bodens erschöpft, fließt das Wasser trotz hoher Infiltrationskapazität oberflächlich ab. Der potenzielle Bodenwasserspeicher während eines Niederschlagsereignisses entspricht etwa dem Gesamtporenvolumen und ist abhängig von der Bodenmächtigkeit. Diese Grösse wird durch die Substrateigenschaften, die Lagerungsart, die Gefügebildung und die biologische Aktivität bestimmt (Akkermann 2004). Während ein mächtiger Boden mit günstigem Aufbau in der Lage ist, sämtliches Wasser eines extremen Niederschlagsereignisses zu speichern, fließt bei anderen ein Grossteil des Niederschlags nach erfolgter Sättigung ab. Wird durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung die Infiltrationskapazität verringert, kann die vorhandene Wasserspeicherkapazität nicht ausgenutzt werden.

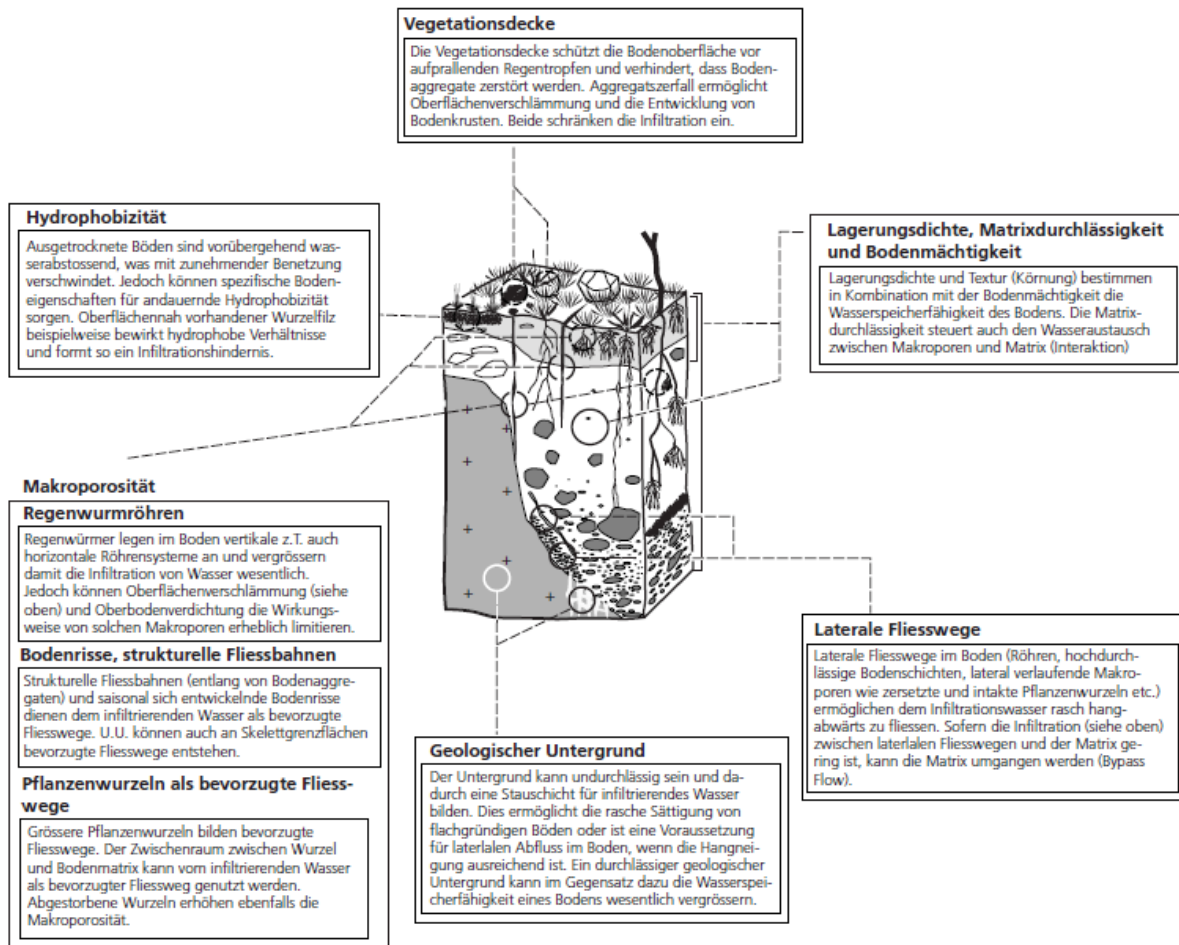


Abbildung 17: Faktoren, die die Infiltrationskapazität von Boden massgeblich beeinflussen. Quelle: BWG (2003).

Auf den folgenden Seiten wird auf die oben genannten Faktoren noch detailliert eingegangen. Die Darlegungen basieren im Wesentlichen auf den Arbeiten von Akkermann (2004), Weiss (2009), Naef et al. (2002), Baden Württemberg-Ministerium Ländlicher Raum (2002), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006) und Scherrer (1997, 2006).

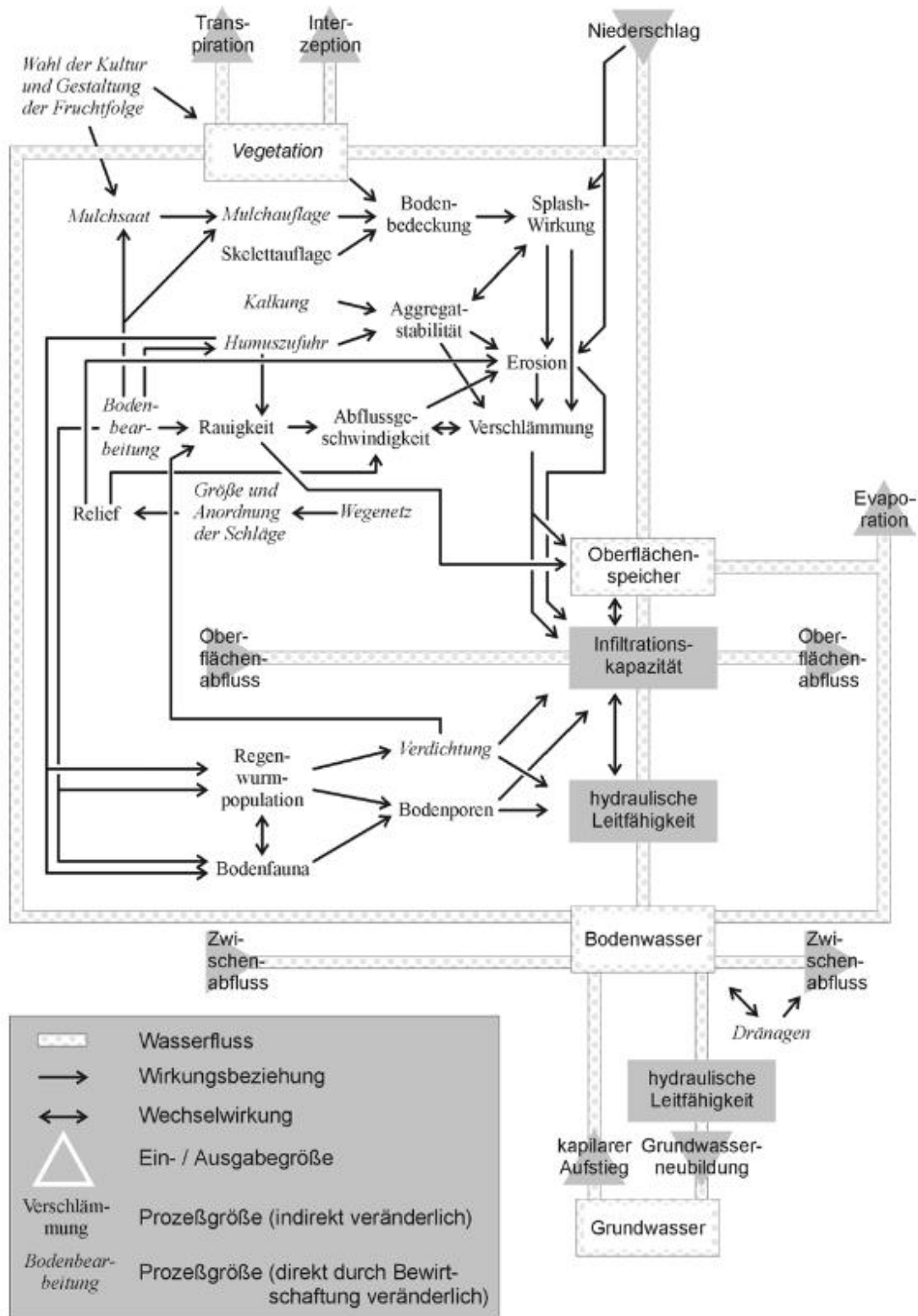


Abbildung 18: Prozesse der Abflussentstehung auf landwirtschaftlichen Flächen und Wechselwirkungen der Einflussfaktoren. Quelle: Akkermann (2004).



Mit diesen Grundlagen und mit Hilfe von Boden- und Substratkarten können die Flächen mit unterschiedlicher Abflussbereitschaft in den Einzugsgebieten ermittelt werden. Die Abflussreaktion der Einzugsgebiete hängt vom Flächenanteil und der räumlichen Lage der verschiedenen reagierenden Teilflächen zum Gewässernetz ab. Die Lage der Teilflächen zum Gewässernetz bestimmt den Zeitpunkt der Hochwasserwelle, zu dem der jeweilige Standort zum Hochwasserabfluss beiträgt. Für die Bestimmung dieser beitragenden Flächen haben sich mehrere Ansätze ausgebildet, die mit zunehmendem Detaillierungsgrad der digitalen Geländemodelle verbreitet eingesetzt werden (Frey 2009). Oberflächenabfluss auf landwirtschaftlichen Flächen mit einer direkten hydraulischen Konnektivität zum Gewässernetz haben einen höheren bzw. direkten Einfluss auf die Hochwasserentstehung als weit vom Gewässernetz entfernte Flächen. Mit zunehmender Dauer des Niederschlagsereignisses nimmt der Einfluss dieser beitragenden Flächen ab.

### 3.1.1 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Eine **Bedeckung des Bodens durch Vegetation** erhöht die Interzeption des Niederschlags, schützt den Boden vor der kinetischen Energie der Regentropfen, erhöht die Rauigkeit der Bodenoberfläche und erhöht die Evapotranspiration. Ausser für letzteres sind die Wirkungen einer Skelettauflage und Mulchauflage ähnlich. Für diese Faktoren kann die Landwirtschaft über die Wahl der Kulturpflanze und die Gestaltung der Fruchtfolge Einfluss auf den Oberflächenabfluss nehmen. Dieser Einfluss gründet auf der absoluten Höhe und des zeitlichen Verlaufs des Bodenbedeckungsgrades durch die Wahl der Kulturpflanze und durch die Wahl der Fruchtfolge (Akkermann 2004). Bei Niederschlägen geringerer Intensität und Dauer ist der Einfluss der Vegetation im Allgemeinen höher als bei Niederschlägen hoher Intensität. In diesem Fall spielen die bodenphysikalischen Eigenschaften des Standorts die Hauptrolle in der Abflussgenerierung.

Ein Teil des Niederschlags bleibt als **Interzeption** an der Vegetationsbedeckung haften und wird vorübergehend gespeichert. Der so zwischengespeicherte Niederschlagsanteil kann entweder verdunstet oder wird zeitverzögert der Bodenoberfläche zugeführt. Dieser Effekt wirkt sich im Allgemeinen abflussvermindernd aus. Der Beitrag an die Abflussverminderung liegt zwischen 1 bis 6 mm in Niederschlagsäquivalenten. In landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen die Werte bei ca. 1.5 mm auf Wiesen, bis 3 mm bei Gemüse und bis 3.5 mm bei Kartoffeln (Weiss 2009).

Die **Wahl der Kulturpflanze** bestimmt zum Teil die Art der Bodenbearbeitung und das Ernteverfahren und damit die Bodenbelastung. Das Infiltrationsverhalten eines Ackerbodens ist zudem von der Vorfrucht bestimmt. Manche Kulturpflanzen wie beispielsweise Winterraps fördern die Entstehung von senkrechten Makroporen auf Basis der in der Unterkrume vorhandenen Rapswurzelröhren (Akkermann 2004). Im Vergleich zu einer Vorfrucht Zuckerrübe wurde auf einem Feld mit Winterweizen nach einer Vorfrucht Winterraps eine vollständige Infiltration des Niederschlagswassers beobachtet. Nach der Vorfrucht Zuckerrübe konnten nur ca. 56% des Niederschlagswassers in den Boden infiltrieren (Akkermann 2004, Sieker 2002). Die Wahl der Fruchtfolge hat ausserdem Einfluss auf die Aggregatstabilität des Bodens und damit auf den Verschlammungseffekt. Nach dieser Reihenfolge verbessern Hackfrüchte, Getreide, Klee, Raps, Gräser und Klee gras als Vorfrucht in der Fruchtfolge zunehmend die Aggregatstabilität (Sekera 1951, zit. in Akkermann 2004). Der Wasserentzug durch die Kulturpflanze hat Auswirkungen auf die Bildung von Schrumpfungsrissen.

Der **Bodenbedeckungsgrad** in Kombination mit der Art der Bodenbearbeitung ist ein weiterer Faktor für die Abflusentstehung. Mostaghima et al. (1987, zit. in Akkermann 2004) zeigten auf, dass bei Beregnungsintensitäten von 50 mm/h und einer Beregnungsdauer von 1 h durch konservierende Bodenbearbeitung auf Flächen mit einem Bestockungsgrad von 750 kg/ha im Vergleich zu gepflügten Flächen eine Abnahme des Abflusses von 100% auf 34% erreicht werden kann. Bei Flächen mit einem Bestockungsgrad von 1500 kg/ha konnte eine Abnahme des Oberflächenabflusses von 52% auf 2% des Niederschlags erreicht werden. Im Mittel betrug die Abflussreduktion durch den Verzicht auf das Pflügen rund 52%.

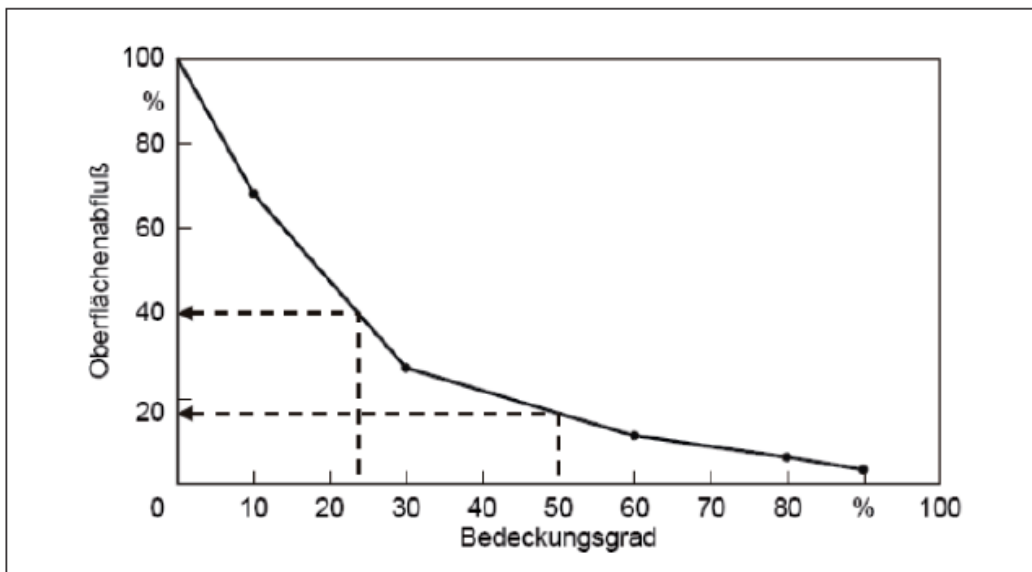


Abbildung 19: Einfluss des Bodenbedeckungsgrades auf den Oberflächenabfluss. Quelle: Wagner et al. (2009).

Die Länge der Bodenbedeckung im Jahresverlauf kann durch den Anbau von Zwischenfrüchten, Futter- oder Gründüngungspflanzen sowie von Fruchtarten, die über den Winter abfrieren, verlängert werden. Die zeitliche Verlängerung der Bodenbedeckung wirkt sich positiv auf die Aggregatstabilität und die Infiltrationskapazität aus (Akkermann 2004). Aufgrund der Durchwurzelung hat die Bodenbedeckung auch Auswirkungen auf das Wasserspeichervermögen.

Die folgenden Massnahmen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung in Bezug zur Wahl der Kulturpflanze und Gestaltung der Fruchtfolge können den Oberflächenabfluss reduzieren (Akkermann 2004, Sieker 2002):

- Verbesserung der ganzjährigen Bodenbedeckung durch entsprechende Gestaltung der Fruchtfolge;
- Anbau von Zwischenfrüchten und Gründüngung.

Die Vegetationsdecke hat in bestimmten Fällen einen Einfluss auf die räumliche Verteilung des Niederschlags. Bei landwirtschaftlichen Kulturen mit ausragenden Blättern kann es vorkommen, dass das Wasser von den Blättern zum Stamm fließt und dem Pflanzenstängel entlang zum Boden fließt. An der Stelle, wo die Pflanze aus dem Boden ragt, kommt es damit zu einer erhöhten Konzentration an Niederschlagswasser (Akkermann 2004). An diesen Punkten übertrifft die effektive Intensität die

Niederschlagsintensität um bis zu 200%. Diese Konzentration der Niederschläge auf bestimmte Stellen hat zur Folge, dass dort die Niederschlagsintensität die Infiltrationskapazität deutlich übersteigen kann und es damit zur Bildung von Oberflächenabfluss kommen kann. Dieser Effekt kann zur Bildung eines Wasserfilms führen, der aber auch den Boden vor der Splash-Wirkung der Regentropfen schützen kann.

Graslandflächen haben im Allgemeinen eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität und sind weniger anfällig für Verschlammung und Verdichtung als Ackerflächen. Aber auch auf Graslandflächen weisen die Oberflächenabflusskoeffizienten eine hohe Variabilität auf. Aufgrund der Standortvoraussetzungen können Oberflächenabflussraten zwischen 2 und mehr als 90% beobachtet werden (Scherrer et al. 2007). Hohe Oberflächenabflüsse sind auf intensiv genutzten Graslandflächen mit einem dichten Wurzelfilz zu beobachten (Scherrer 2006). Extensiv genutztes Grasland hat eine höhere Infiltrationskapazität. Alpine Borstgrasrasen können hydrophobe Eigenschaften aufweisen und hohe Oberflächenabflüsse generieren (Markart et al. 2004, Scherrer 2006).

Eine über das ganze Jahr hindurch hohe Bodenbedeckung schützt den Boden vor der **Verschlammung** der Bodenoberfläche. Fallen die Regentropfen eines intensiven Niederschlagsereignisses auf die unbedeckte Bodenoberfläche, so zerstören die Regentropfen die Bodenaggregate. Damit wird die Bodenrauigkeit verringert und die Verschlammung der Bodenoberfläche gefördert. Verschlammungen sind fast undurchlässige Schluff- und Tonschichten an der Bodenoberfläche mit einer Mächtigkeit von wenigen Millimetern bis mehreren Zentimetern (Akkermann 2004). Aufgrund der natürlichen Verdichtung durch die Aufprallenergie der Regentropfen weisen diese Schichten eine höhere Lagerungsdichte und eine stark verminderte Porosität auf. Die Poren an der Bodenoberfläche werden verstopft. Das Feinmaterial kann ausserdem in tiefere Schichten gelangen und dort das Porenvolumen durch Einwaschung von Feinmaterial reduzieren. Damit führt das Phänomen zu einer drastischen Reduktion der Infiltrationskapazität. McIntre (1958, zit. in Akkermann) stellte eine Abnahme der hydraulischen Leitfähigkeit um den Faktor 200 – 2000 im Vergleich zu unverschlammten Böden fest. Verschlammte Böden wirken wie ein Deckel und verhindern das Eindringen des Niederschlags in den Boden. Der Niederschlag fliesst fast vollständig oberflächlich ab.

Der Prozess der Verschlammung der Bodenoberfläche ist nur auf Böden mit geringem Bodenbedeckungsgrad relevant. Dies sind im Allgemeinen ackerbaulich genutzte Flächen mit zeitweisem Fehlen der Vegetationsbedeckung. Faktoren, die die Verschlammung der Bodenoberfläche fördern sind eine lange vegetationsfreie Periode ohne Bodenbedeckung oder Ackerkulturen mit spätem Bestandesschluss und langfristig offener Bodenfläche resp. später Ernte ohne bodenbedeckende Folgekultur während der Winterperiode. Unbewachsene, intensiv bearbeitete Böden mit feinem Saatbeet weisen die stärkste Verschlammungsneigung auf. Im Gegensatz zu frisch bearbeiteten und noch nicht verschlammten Böden, an denen meist der gesamte Niederschlag versickern kann, versickert auf verschlammten Böden wie z.B. im April nur mehr 38% des Niederschlags (Akkermann 2004). Von den Hauptbodenartengruppen (Klassen der Feinerdekörnung) weisen lehmiger Schluff eine starke und schluffiger Sand, toniger Lehm, Lehm, lehmiger Sand, Sand und sandiger Lehm eine schwache Verschlammungsneigung auf (Sieker 2002).

Da die Verschlammung erheblich zur Verringerung der Infiltrationskapazität beiträgt, sind alle Massnahmen zur Erhöhung des Bodenbedeckungsgrades wirksam für die Verringerung dieses Phänomens.

Die höchste Wirkung gegen eine Verschlammung des Bodens hat, neben dem Pflanzenbestand der Ackerbaukulturen selbst, eine bodennahe Streuschicht.

Folgende **Massnahmen** der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung können das Phänomen der Verschlammung vermindern:

- Wahl der Kulturpflanze, Zwischenfruchtanbau und Gestaltung der Fruchtfolge;
- Mulchauflage
- Konservierende Bodenbearbeitung
- Erhaltung der Aggregatstabilität durch ausgeglichene Versorgung mit organischer Substanz und günstigem Karbonatgehalt

Eine angepasste Bewirtschaftung im Ackerbau kann wesentlich zur Verbesserung der hydrologischen Eigenschaften des Bodens beitragen. Besonders Sommerhackfrüchte und Mais bedingen eine lange Periode mit geringem Bodenbedeckungsgrad bzw. haben nur eine kurze Zeit innerhalb der Vegetationszeit mit einem hohen Bodenbedeckungsgrad. Die Gestaltung der Fruchtfolge hat wesentlichen Einfluss auf die Lebensbedingungen der Bodenorganismen und die biologische Aktivität. Ein Wechsel von Halm- und Blattfrüchten kann dem Aufbau einer monokulturspezifischen Population der Bodenflora entgegenwirken und damit die biologische Aktivität des Bodens fördern.

Eine Mulchauflage hat zwei wesentliche Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss. Eine höhere Mulchbedeckung bewirkt direkt einen Schutz des Bodens vor dem Aufschlagen der Regentropfen und damit einen Schutz vor der Verschlammung. Eine Mulchauflage bewirkt ausserdem eine Anreicherung von organischer Substanz in der obersten Bodenschicht und damit eine Steigerung der biologischen Aktivität durch die Verbesserung der Nahrungsgrundlage für die Bodenfauna. Indirekt bewirkt eine Mulchauflage damit die Bildung von Makroaggregaten und eine Erhöhung der Aggregatstabilität der Bodenoberfläche (Sieker 2002). Durch die höhere biologische Aktivität entstehen mehr Makroporen. Damit wird indirekt die Infiltrationskapazität verbessert. Eine detaillierte Zusammenstellung der wissenschaftlichen Studien zu diesem Thema geben Schmidt (o.J.) und Schmidt et al. (2002).

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann die Infiltrationskapazität durch **Bodenverdichtung** markant reduzieren. Unter Bodenverdichtung wird die Verdichtung der Bodenteilchen unter einwirkenden Druckkräften wie beispielsweise durch die mechanischen Belastungen des Bewirtschaftungsverkehrs während Bodenbearbeitungs-, Transport und Erntearbeiten (Akkermann 2004, ART 2010, Weisskopf 2007) oder durch Beweidung (Batey 2009) verstanden. Die Bodenverdichtung hat zur Folge, dass erstens Niederschlagswasser nicht mehr in den Boden eindringen kann und zweitens dass das Porenvolumen und damit die potenzielle Wasserspeicherkapazität verringert wird. Bodenverdichtungen können in der obersten Bodenschicht als auch in tieferen Schichten wie beispielsweise an der Pflugsohle verursacht werden, v.a. bei Befahren von nassem Boden durch schwere Maschinen. In beiden Fällen führt dies zu einer erheblichen Verringerung der Infiltrationsrate (Akkermann 2007). Die Bodenverdichtung führt ausserdem zur Abnahme der biologischen Aktivität und damit zu einer Abnahme des Makroporenvolumens. Für eine umfassende Literaturübersicht zu diesem Thema wird auf den Review-Artikel von Batey (2009) verwiesen. Die Bodenverdichtung an der Pflugsohle und in tieferen Bodenschichten kann nicht oder nur mit grossem Aufwand rückgängig gemacht werden (Müller 1983). Die Regenerationszeit beträgt bis zu 30 Jahren.

Die Sensibilität der Böden gegenüber mechanischen Belastungen ist sehr unterschiedlich und ist einer hohen zeitlichen Variabilität unterworfen. Je höher die Aggregatstabilität des Oberbodens, der Anteil an organischem Material und Kalziumkarbonat, desto geringer ist die Anfälligkeit des Bodens gegenüber Bodenverdichtung. Jones et al. (2003) haben ein Verfahren zur Bewertung der Anfälligkeit gegenüber Verdichtung erarbeitet. Sandige Böden mit hohem Grobsandanteil sind nur ab einer bestimmten Bodenfeuchte anfällig für Bodenverdichtung. Feinsandige und schluffige Böden sind zumeist geringdurchlässig, langandauernd feucht und deshalb mehrmals im Jahr anfällig für Bodenverdichtung. Die höchste Anfälligkeit haben lehmige Böden, Podsole, Pseudogleye und organische Böden (Schmocker-Fackel 2004) mit geringer Aggregatstabilität. Debeljak et al. (2009) haben ein Verfahren zur räumlichen Abgrenzung der gegenüber Bodenverdichtung sensiblen Böden erarbeitet. Kalkreiche Böden und Rendzinen sind relativ unempfindlich gegenüber der Bodenverdichtung durch mechanische Belastung. Eine weitere detaillierte Übersicht über die Bestimmung von sensiblen Böden und v.a. über die feuchteabhängige Belastbarkeit geben Feldwisch (2001) und Weisskopf (2007). Eine Übersicht über die Sensibilität der Bodenarten gegenüber mechanischen Belastungen befindet sich in Anhang A2.

Direkte Auswirkungen auf die Bodenverdichtung hat das Befahren der Böden im sehr feuchten bis nassen Zustand (Batey 2009). Für die Wirkung ist der Auflastdruck auf den Boden massgebend. Nach Ehlers (2003, zit. in Akkermann 2004) vermindert sich die hydraulische Leitfähigkeit im Bereich der Krumbasis schon nach einer einzigen Befahrung mit einer Radlast von 5 t von ca. 50 cm/d auf 10 cm/d. Häufig ist mit einer Schädigung des Gefüges auch eine Scherung verbunden, die die Abkappung der vertikalen Makroporen und Wurmgänge und damit eine weitere Reduktion der Infiltrationskapazität der Böden zur Folge hat (Weisskopf 2007). Akkermann (2004) zitiert eine Abnahme des Porenvolumens bis auf einem Viertel des Ausgangszustandes an der Bodenoberfläche von Fahrspuren im Vergleich zu weniger befahrenen Flächen in einem Maisfeld. Für eine anschauliche Darstellung der Wirkungsweise der mechanischen Belastung auf die Böden wird auf Weisskopf (2007) und ART (2010) verwiesen. Vergleichende Untersuchungen der Infiltrationskapazität auf verdichteten und unverdichteten Böden ergaben Unterschiede bis zu 100%.

Die Bodenverdichtung in Fahrspuren oder häufig befahrenen Bereichen der Nutzflächen führt zu einer Konzentration des Oberflächenwassers in diesen Bereichen und bildet damit einen Ausgangspunkt für die Bodenerosion durch Wasser. Dies ist insbesondere im Rebbau und Obstbau der Fall. Die Wahl der Kulturart spielt eine indirekte Rolle für die Bodenverdichtung, weil sie die Nutzungsintensität, die Anbautechnik, die Mechanisierung und die Arbeitsorganisation und damit die Befahrungshäufigkeit und die Bodenbelastung bestimmt. Getreide bewirkt im Wesentlichen eine geringere Bodenverdichtung, da die Ernte oberhalb der Bodenoberfläche und zumeist in trockenen Perioden im Sommer erfolgt. Erntevorgänge, die die Kulturpflanze aus dem Boden ziehen und die hohes Gewicht beim Abtransport verursachen sowie Erntevorgänge spät im Jahresverlauf erhöhen das Verdichtungsrisiko.

Auf Weiden wird die Bodenverdichtung durch die Weidetiere verursacht. Vor allem lehmige und feinkörnige Böden sowie Böden mit hoher Lagerungsdichte sind anfällig gegenüber der Bodenverdichtung durch Beweidung. An steilen Standorten wird das Phänomen durch die Scherung verstärkt. Die Bodenverdichtung durch für den Standort zu schwere Tiere und durch die Beweidung während

feuchter oder nasser Bodenverhältnisse kann den Oberflächenabfluss um bis zu 80% im Vergleich zu nicht verdichteten Weideböden erhöhen (Markart et al. 2004, Hellebart 2006).

Auf Mähwiesen erfolgt die Befahrung der Flächen in der Regel bei trockenem Zustand. Das Phänomen der Bodenverdichtung ist hier selten. Intensive Graslandnutzung durch Silieren und Eingrasen sowie durch häufige Gülleausbringung kann in gewissen Gebieten sehr bodenbelastend wirken. Bei der Silage werden Mähwiesen auch im feuchten Zustand befahren, das Transportgewicht ist bei Grossballenpressen und grossen Ladewagen deutlich höher als bei Heuladern. Die zunehmende Grösse der Erntemaschinen auf Mähwiesen und im Futterbau und die Befahrung der Flächen bei feuchtem Bodenzustand bewirken eine Zunahme des Phänomens der Bodenverdichtung auf bisher nicht verdichteten Böden (Batey 2009). In Obstplantagen und in Rebbergen gelten grundsätzlich dieselben Voraussetzungen wie auf Grasland. Dort kommen erschwerend die Konzentration auf die räumliche Fixierung der Fahrspuren durch die vorgegebenen Baumreihen, hohe Radauflasten und die Befahrung in nassem Zustand hinzu.

**Massnahmen** der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung gegen die Bodenverdichtung haben einen direkten Einfluss auf den Oberflächenabfluss. In erster Linie ist vorsorgliches Vermeiden von Bodenverdichtung wichtig. Dies kann einerseits durch Erhöhung der Belastbarkeit des Bodens mittels Kalkung und Humuszufuhr und andererseits durch konsequente Vermeidung und Minimierung von Bodenbelastung über der Belastungsgrenze erfolgen (Akkermann 2004, ART 2010). Folgende Massnahmen können der Bodenverdichtung im Ackerbau entgegensteuern:

- Sicherstellung einer möglichst ganzjährigen Bodenbedeckung durch die Wahl der Kulturart und der Fruchtfolge, durch das Belassen von Pflanzenresten der Vor- oder Zwischenfrucht auf oder nahe der Bodenoberfläche
- Verzicht auf Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug
- Anwendung von bodenschonenden Verfahren wie Mulchsaat, Streifenfrässaat, Direktsaat
- Bodenlockerung nur oberflächlich, bei trockenen Bodenbedingungen
- Reduktion der Intensität des mechanischen Eingriffs durch die Bodenbearbeitung nach Art, Tiefe und Häufigkeit
- Befahren nur bei trockenen Böden
- Verringerung der Radlasten und des Kontaktflächendruckes auf den Boden durch die Wahl der Bereifung, durch Reduktion der Anzahl an Überfahrten mittels Geräten, die mehrere Bearbeitungsgänge in einer Befahrung durchführen, durch Verringerung der Anzahl an Arbeitsgängen, durch Begrenzung von dynamischen Effekten wie Schlupf
- Vermeidung von Pflugsohlenbildung z.B. durch Onland-Pflügen, durch Rücksichtnahme auf den Bodenfeuchtezustand und durch eine angepasste Pflugeinstellung
- Trennung von Strassen- und Feldtransport, damit der Reifeninnendruck jeweils angepasst werden kann

Die oben genannten Massnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtung gelten mit Ausnahme der Pflugverfahren auch für Graslandflächen, Dauerkulturen und Obstanbauflächen. Zu den Möglichkeiten einer schonenden Bodenbearbeitung geben Akkermann (2004), Weiss (2009), und ART (2010) einen detaillierten Überblick.

Besonderes Augenmerk sollte auf den Schutz vor **Bodenverdichtungen im Unterboden** gelegt werden, da diese irreversibel bzw. nur zu einem Teil reversibel sind. Die natürliche Regenerationszeit beträgt über 70 Jahre. Massnahmen zur Bodenauflockerung sind nur bei Bodenverdichtung im Oberboden möglich bzw. unter vertretbarem Aufwand möglich. In diesem Fall können sie eine zusätzliche Wasserspeicherkapazität von  $50 \text{ l/m}^2$  generieren. Durch Vermeidung der Bodenverdichtung an der Pflugsohle kann zusätzlich zu den Effekten der Vermeidung der Verdichtung im Oberboden ein zusätzliches Speichervolumen von  $3 \text{ l/m}^2$  geschaffen bzw. erhalten werden (Akkermann 2004). Erfahrungen mit Tiefenlockerungen zeigten, dass die anschliessende Bewirtschaftungsform die Wirkung dieser Massnahmen stark beeinflussen kann.

Massnahmen zum Schutz vor Bodenverdichtungen wirken sich nicht nur auf den Erhalt der Durchlässigkeit des Bodens aus, sondern vermindern ausserdem die Verschlammungstendenz und die Bodenerosion. Ausserdem sind verdichtete Böden schlechter durchwurzelbar. Dies wirkt sich auf die Anfälligkeit der Kulturpflanzen für Krankheiten (Börner 1990, zit. in Akkermann 2004), auf die Nährstoffaufnahme und auf den Ertrag aus. Zudem steigen nach Bodenverdichtungen die Produktionskosten durch einen erhöhten Zugkraftbedarf und einen erhöhten Verschleiss der Bearbeitungsgeräte (Akkermann 2004). Die Verminderung des Porenvolumens verursacht eine Verminderung des Wasserspeichervermögens und bewirkt deshalb einen erhöhten Bedarf an Bewässerung während Trockenperioden. Damit verschlechtert sich auch die Resistenz in Trockenperioden.

Neben den oben genannten Massnahmen zur Schonung des Bodens bei der Bodenbearbeitung mit dem Pflug gibt es die bodenschonenden bzw. konservierenden Bodenbearbeitungsformen. Die konservierende Bodenbearbeitung zielt auf den Erhalt der optimalen Bodenstruktur, der Ertragsfähigkeit und der verschiedenen Bodenfunktionen ab. Im Gegensatz zur Bodenbearbeitung mit dem Pflug wird bei konservierenden Verfahren auf die wendende Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug verzichtet. Es wird ausserdem darauf geachtet, dass die Intensität des mechanischen Eingriffs verringert und die Bodenruhe verlängert wird. Eine Bodenlockerung erfolgt nur nichtwendend und oberflächlich bei ausreichend trockenen Bodenbedingungen. Somit wird der Erhalt der Bodenstabilität gewährleistet und eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung erreicht. Pflanzenreste der Vor- oder Zwischenfrucht werden auf der Oberfläche belassen. Dies führt praktisch zu einer Verhinderung vor Verschlammung.

Bei der konservierenden Bodenbearbeitung unterscheidet man hauptsächlich zwei Arten. Als Mulchsaat wird die Aussaat in die Pflanzenreste der Vor- und/oder Zwischenfrucht verstanden, die flach eingearbeitet oder an der Oberfläche belassen worden sind. Die Direktsaat wird als eine Bestellung des Bodens ohne jegliche Bodenbearbeitung definiert. Die Direktsaat zielt auf eine ständige Vegetationsbedeckung ab und schliesst damit die Bodenerosion weitgehend aus und schützt den Boden vor Verschlammungen (Akkermann 2004, Feldwisch 2001). Durch den Verzicht auf das Pflügen wird die Bodenverdichtung wesentlich reduziert. Der Anteil an Poren sowie die Infiltrationskapazität werden aufrecht erhalten. Die konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bieten deshalb erhebliche Vorteile aus Sicht des präventiven Hochwasserschutzes.

In der Graslandwirtschaft können folgende Massnahmen zur Vermeidung von Bodenverdichtung und damit zur Reduzierung des Oberflächenabflusses beitragen:

- Vermeidung von Bodenverdichtungen durch die Wahl der Tierart nach Gewicht und Bodenbelastung
- Anpassung des Weidemanagements an die Standortverhältnisse wie Schlageinteilung, Wahl der Tierrasse und Tierzahl, Wahl des Beweidungszeitpunkts, der Beweidungsdauer und der Ruhezeit, sowie Vermeidung einer Beweidung von verdichtungsempfindlichen Böden
- Regelmässige Weidepflege und Nachsaat zur Vermeidung von unbedeckten Flächen
- Langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien und bevorzugten Abflussbahnen
- Standortgerechte Positionierung von Tränken und Zufütterungsplätzen
- Vermeidung und Verringerung von Bodenverdichtung aufgrund maschineller Bearbeitung auf sensiblen Böden durch eine Reduktion der Anzahl von Überfahrten, durch die Reduktion von Radlasten und des Kontaktflächendrucks, durch die Berücksichtigung der feuchteabhängigen Verdichtungsempfindlichkeit, durch Vermeidung einer Befahrung bei feuchtem Boden. Insbesondere die zunehmende Intensivierung von Grasland durch Silage ist auf sensiblen Böden als kritisch zu betrachten.

Die Infiltrationskapazität des Bodens ist ausserdem wesentlich von der **Anzahl und Grösse der Makroporen** beeinflusst (Scherrer 1997, Akkermann 2004, Schmidt et al. 2001). Als Makroporen werden Poren bezeichnet, in denen der Fluss des Wassers im Gegensatz zum Fluss in Mikroporen nicht oder nur unwesentlich von der Saugspannung beeinflusst wird. Da die Wasserbewegung rein durch die Schwerkraft bestimmt wird, ist die Sickergeschwindigkeit innerhalb von Makroporen sehr hoch. Deshalb führt eine hohe Dichte an Makroporen zu einer hohen Infiltrationsrate, bzw. die Infiltration des Niederschlags in den Boden wird hauptsächlich über die Makroporen gesteuert. Die Eindringtiefe wird wesentlich von der Bodenstruktur beeinflusst. Je höher der Grobskelettanteil (> 2 mm), umso rascher erfolgt die Infiltration.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in Ackerbauflächen hat einen erheblichen Einfluss auf das Vorhandensein und auf die Dichte der Makroporen im Boden und damit auf die Infiltrationsleistung (Schmidt et al. 2001). Alle Massnahmen, die darauf abzielen, die Makroporen an der Oberfläche offen zu halten, sind geeignet für den Erhalt der Infiltrationskapazität. Dies erfolgt zumeist in Zusammenhang mit der Erhöhung der Aggregatstabilität wie das Verhindern von Verschlammungen und das Vermeiden von Bodenverdichtung.

Durch eine Auflockerung des Bodens beispielsweise durch Pflügen können Makroporen entstehen, die aber im Laufe der Vegetationszeit wieder zerstört werden (Akkermann 2004). Auf die Bildung von Makroporen kann nur indirekt über die Verbesserung der Lebensbedingungen der makroporenbildenden Fauna und v.a. der Regenwürmer Einfluss genommen werden (Akkermann 2004).

Folgende **Massnahmen** können den Erhalt und die Bildung von Makroporen fördern:

- Konservierende Bodenbearbeitung
- Vermeidung von Pestiziden, die toxisch für Regenwürmer sind
- Aufbringen von organischem Dünger
- Vermeidung von Verschlammung und Bodenverdichtung



Die Bodenbearbeitung mit dem Pflug ist für die Lebensbedingungen der Regenwürmer nicht förderlich. Im Vergleich zur Bodenbearbeitung mit dem Pflug weisen mit Direktsaat bewirtschaftete Ackerflächen eine wesentlich höhere Dichte an Regenwürmern auf. Dies aufgrund des verbesserten Nahrungsangebotes durch die verbleibenden Pflanzenreste und aufgrund der pfluglosen bzw. fehlenden Bodenbearbeitung. Verschiedene Pestizide weisen eine Toxizität gegenüber Regenwürmern auf (Edwards 1980, Lee 1985, zit. in Akkermann 2004). Das Aufbringen von organischem Dünger wirkt sich positiv auf die Regenwurmpopulationen aus (Glasstetter 1991, zit. in Akkermann 2004). Zu hohe Güllemengen können die Regenwurmpopulationen auch schädigen (Curry 1976, zit. in Akkermann 2004). Die Bodenverdichtung durch mechanische Belastung bedeutet ein Erschwernis für die makroporenbildende Fauna und ist dementsprechend zu vermeiden. Eine Wechselwirkung ergibt sich ausserdem zwischen einer hohen Geländerauigkeit und den Makroporen. Durch eine hohe Oberflächenrauigkeit hervorgerufene Wasserspeicher im Mikroskalenbereich ergeben sich viele Möglichkeiten einer Einsickerung in den Boden über die Makroporen. Aufgrund der hohen Dichte an Regenwurmbesatz ( $200/m^2$ ) auf Flächen mit Direktsaat im Vergleich zu mit Pflug bearbeiteten Flächen ( $21/m^2$ ) kann die Versickerungsleistung mehr als doppelt so hoch sein. Es bestehen aber Abhängigkeiten vom Bodentyp.

Akkermann (2004) und Schmidt (o.J.) haben auf Basis von Literaturstudien die wichtigsten Eigenschaften der verschiedenen Böden im Hinblick auf eine Sensibilität gegenüber Verdichtung und einer möglichen Verbesserung durch den Wechsel der Bewirtschaftungsform zusammengetragen. Bei einem Auenpseudogley konnten im Vergleich zwischen konservierender und konventioneller Bodenbearbeitungsmethoden (Bodenbearbeitung mit dem Pflug) keine wesentlichen Unterschiede im Infiltrationsverhalten festgestellt werden. Auf Tonböden, auf denen bei Austrocknen Schrumpfrisse entstehen, wird der Niederschlag durch diese in die Tiefe geleitet. Im Vergleich zu gepflügten Böden entstehen auf mit Direktsaat bewirtschafteten Böden weniger Schrumpfrisse, weil die Bodenfeuchte aufgrund der Bodenaufgabe durch die geringere Evapotranspiration nach einem Niederschlagsereignis nicht rasch reduziert wird. Die Erhöhung des Makroporenanteils durch einen erhöhten Regenwurmbesatz gleicht das Fehlen der Schrumpfrisse weitgehend aus (Tebrügge & Abelsova 1999). Auf Tschernosem-Parabraunerden konnten bei Vergleichsmessungen deutliche Unterschiede zwischen der Pflug- und der Direktsaat-Variante festgestellt werden. Bei der Direktsaat-Variante konnte eine Infiltrationskapazität von 19 mm/h, bei der Pflug-Variante nur 8.5 mm/h gemessen werden. Dies ist v.a. auf den höheren Makroporenanteil zurückzuführen. Auf Vergleichsmessungen bei Beregnungsversuchen auf schluffigen Lehm Böden konnte eine Abflussreduktion bei konservierend bearbeiteten Böden von 57 bis 99% festgestellt werden (Akkermann 2004, Schmidt et al. 2001). Im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung ist auf nicht-gepflügten Flächen bereits nach zwei Minuten nach Niederschlagsbeginn eine deutlich höhere Infiltrationsrate nachzuweisen.

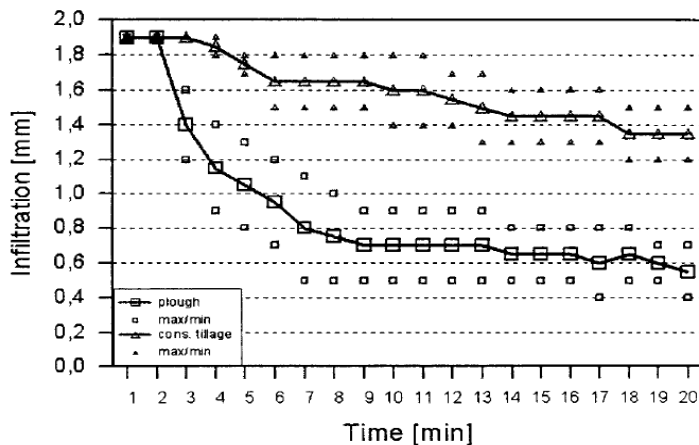


Abbildung 20: Infiltrationsverlauf von Beregnungsversuchen auf gepflügtem und ungepflügtem Ackerland: Beregnungsintensität: 114 mm/h, Beregnungsdauer: 20 Minuten, Substrat: sandiger Lehm. Quelle: Schmidt et al. (2001).

Ausserdem ist die Wasseraufnahmekapazität deutlich erhöht (Akkermann 2004). In absoluten Zahlen macht dies eine Verminderung des Oberflächenabflusses von 2.5 bis 16 l/m<sup>2</sup>, im Mittel von 12 l/m<sup>2</sup> aus. Bei einer mehrjährigen Umstellung von konventioneller auf konservierende Bodenbearbeitung infiltrieren im Mittel mindestens 12% (11.1 bis 18.7%) mehr vom simulierten Niederschlag (Akkermann 2004, Sieker 2002, Feldwisch 2001, Weiss 2009).

Eine detaillierte Gegenüberstellung der Wirkung einer Umstellung auf bodenschonende Bewirtschaftung auf verschiedenen Bodenarten gibt Schmidt (o.J.).

Substrat	Anfangsbodenfeuchte	Art der Bodenbearbeitung	Infiltration	Oberflächenabfluss	Oberflächenabfluss	Oberflächenabflussreduzierung	
			[% vom R]	[% vom R]	[mm]	[mm]	[%]
sandiger Lehm	tro	konv	55,4	44,6	18,7	15,4	36,7
		kons <sup>1</sup>	92,1	7,9	3,3		
	feu	konv	32,9	67,1	28,2	16	38
		kons <sup>1</sup>	70,9	29,1	12,2		
Lehm	tro	konv	94,0	6,0	2,5	2,5	5,9
		kons <sup>2</sup>	99,9	0,1	0,0		
	feu	konv	63,8	36,2	15,2	14,1	33,6
		kons <sup>2</sup>	97,4	2,6	1,1		

Tabelle 1: Auswirkungen verschiedener Bodenbearbeitungsmethoden bei künstlicher Beregnung auf den Oberflächenabfluss. Regenintensität: 42 mm/h, Beregnungsdauer: 1 h, tro ... Regensimulation auf trockenem Boden, feu ... Regensimulation auf feuchtem Boden, 1 ... Mulchbedeckung 60%, 2 ... Mulchbedeckung 10%. Quelle: Schmidt et al. (2001). In der zitierten Arbeit werden Bodenbearbeitungsverfahren mit dem Pflug als konventionelle Bodenbearbeitung bezeichnet, Direktsaat, Streifenfrässaat und Mulchsaat als konservierende Bodenbearbeitung.

Nach Akkermann (2004) ist die Abflussreduktion durch bodenschonende Bewirtschaftung auf Ackerflächen bei Niederschlagsereignissen mit einer langen Wiederkehrperiode absolut gesehen höher als bei Niederschlagsereignissen mit einer Wiederkehrperiode von wenigen Jahren. Relativ gesehen ist der Beitrag zur Abflussreduktion bei häufigen Niederschlagsereignissen grösser. Für eine ausführliche

Beschreibung der Auswirkungen der Umstellung der Bewirtschaftungsform auf Flächen mit unterschiedlichem Bodentyp wird auf Akkermann (2004) verwiesen.

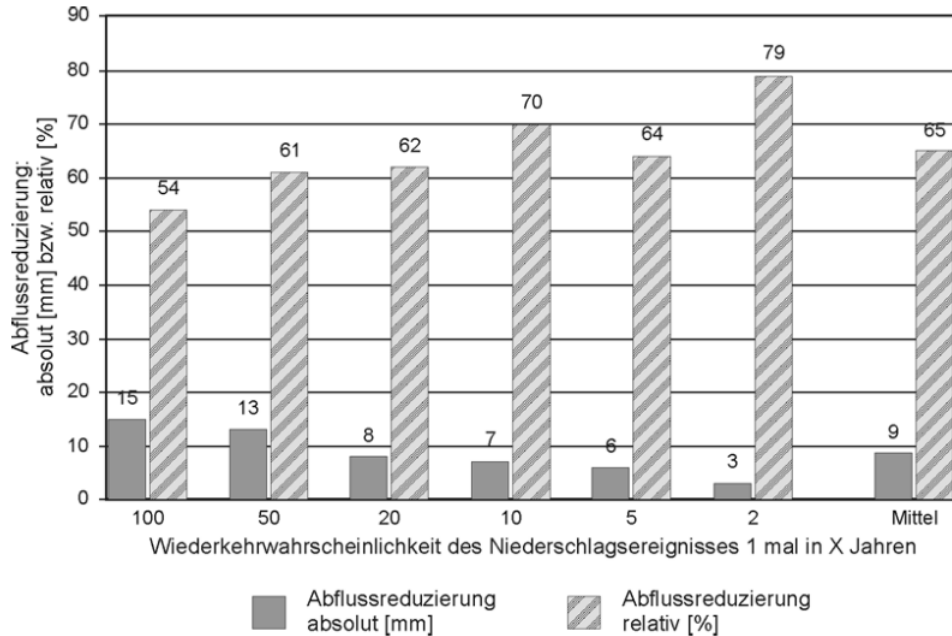


Abbildung 21: Vergleich der absoluten und relativen Oberflächenabflussreduktion durch Umstellung von konventioneller auf konservierende Bodenbearbeitung bei unterschiedlichen Niederschlagshäufigkeiten. Quelle: Akkermann (2004).

Graslandflächen haben meist einen hohen Makroporenanteil, da der Boden nicht durch Pflügen gestört wird.

Die Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses wird im Wesentlichen durch die **Oberflächenrauigkeit** bestimmt. Eine hohe Oberflächenrauigkeit im kleinskaligen Bereich bewirkt, dass mehr Kleinspeicher an der Bodenoberfläche vorhanden sind, an denen erstens die Versickerung gefördert wird und zweitens das Niederschlagswasser für eine Zeit zurückgehalten wird. Damit wird der Beitrag an die Hochwasserspitze in Einzugsgebieten vermindert. Eine generelle Erhöhung der Oberflächenabflussgeschwindigkeit verringert die Geschwindigkeit des Anstiegs der Hochwasserwelle.

Die Bodenrauigkeit wird durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung stark beeinflusst (Duran-Zuazo & Plegezuelo 2008). Wesentliche Faktoren für die Rauigkeit sind die Art der Vegetationsbedeckung, die Grösse der Bodenpartikel, eine Mulchauflage und das durch die Bewirtschaftungsform resultierende Mikrorelief (Akkermann 2004). Unbedeckter Boden weist im Durchschnitt die geringsten Rauigkeiten auf. Die Rauigkeiten können mittels des Werts von Mannings  $n$  angegeben werden (Akkermann 2004). Die grösste Rauigkeit ist bei dichten und gleichförmigen Vegetationsdecken wie dichten Grasbeständen zu beobachten. Bei Vegetationsformen, die den Boden nur teilweise bedecken und bei einer modifizierten Bodenoberfläche kann es zur Konzentration des Oberflächenabflusses kommen. Dies führt örtlich zu hohen Fließgeschwindigkeiten und bildet Ansatzpunkte für die Wassererosion. Weiss (2009) berechnete eine Reduktion des Scheitelabflusses um ca. 1.7% (HQ0.5) bis 2.2% (HQ100) durch kleinräumige Massnahmen zur Erhöhung der Geländerauigkeit.

Ein weiterer Effekt ist die Form der ackerbaulichen Bewirtschaftung auf geneigten Flächen. Nach Regional Office of Carinthia for the protection of the water economy, department 18 - water management (2008) bewirkt eine höhenlinienparallele Bewirtschaftung mit dem Pflug der Ackerbauflächen eine deutliche Erhöhung der Infiltrationskapazität und Reduktion des Oberflächenabflusses um bis zu 20% im Vergleich zu einer hangsenkrechten Bewirtschaftung.

Geländerauigkeiten im grossskaligen Bereich führen ebenso zu den hier erwähnten Wirkungen. Eine Unterbrechung der Hanglagen in Bereiche mit unterschiedlicher Vegetation wie beispielsweise durch Grünstreifen, Hecken und Waldstreifen führt zu einer erheblichen Bremsung des Oberflächenabflusses aus den Ackerflächen und zu Möglichkeiten für die Versickerung. Weitergehende Ausführungen hierzu sind im Kapitel zu den strukturellen Einflussfaktoren zu finden.

Landnutzung oder Bedeckung	Mannings n	Landnutzung oder Bedeckung	Mannings n	
Beton oder Asphalt	0,010-0,013	<b>tiefgegrubberter Boden mit Pflanzenrückständen</b>		
Kiesoberfläche	0,012-0,030		0,6 t/ha	0,006-0,170
<b>unbedeckter Boden</b>			0,6-2,5 t/ha	0,070-0,340
Rauigkeitshöhe < 25 mm	0,010-0,030	2,5-7,5 t/ha	0,190-0,470	
Rauigkeitshöhe 25-50 mm	0,014-0,033	<b>mit Scheibenegge bearb. Boden mit Pflanzenrückständen</b>		
Rauigkeitshöhe 50-100 mm	0,023-0,038		0,6 t/ha	0,008-0,410
Rauigkeitshöhe > 100 mm	0,045-0,049		0,6-2,5 t/ha	0,100-0,250
			2,5-7,5 t/ha	0,140-0,530
<b>Gräser / Weiden</b>		<b>Direktsaat mit Pflanzenrückständen</b>		
Bermudagrass – spärlich bis gute Bedeckung	0,015-0,200			
Bermudagrass – dichte Bedeckung	0,300-0,480		0,6 t/ha	0,030-0,070
andere dichte, sodenbildende Gräser	0,390-0,630		0,6-2,5 t/ha	0,100-0,130
dichte Büschelgräser	0,150		2,5-7,5 t/ha	0,160-0,470
natürliche Bergweide	0,100-0,320	<b>unbedeckter Boden</b>		
gemähte Bergweide	0,020-0,240		gepflügt	0,020-0,100
<b>Weizenstrohmulch</b>		bearb. mit Kultivator	0,050-0,130	
2,5 t/ha	0,050-0,060	<b>gehäckseltes Maisstroh</b>		
5,0 t/ha	0,075-0,150		2,5 t/ha	0,012-0,050
7,5 t/ha	0,100-0,200		5,0 t/ha	0,020-0,075
10,0 t/ha	0,130-0,250		10 t/ha	0,023-0,130

Abbildung 22: Oberflächenrauigkeitswerte nach Manning bei verschiedenen Landnutzungen und Bodenbedeckungen. Quelle: Akkermann (2004).

Eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses auf unbedeckten Böden durch eine Erhöhung der Geländerauigkeit bewirkt ausserdem eine Verminderung der Schleppspannung an

der Bodenoberfläche und damit eine Verringerung der Bodenerosion (Akkermannn 2004). Der Bodenverlust durch Wassererosion nimmt hierbei mit zunehmender Rauigkeit ab. Durch Verringerung der Bodenerosion wird auch die Verschlammung der Bodenoberfläche verringert und damit die Infiltrationskapazität gesteigert.

Die folgenden Massnahmen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung im Ackerbau können zur Erhöhung der Geländerauigkeit beitragen:

- Eine möglichst ganzjährige erhöhte Bodenbedeckung durch Vegetation und Mulchauflage durch Festlegung der Landnutzung (Ackerland-Wiese) sowie durch die Wahl der Kulturpflanze
- Gestaltung der Fruchtfolge mit Zwischenfruchtanbau
- Anpassung der Bodenbearbeitung mit Ziel einer dauerhaft stabilen Rauigkeit der Bodenoberfläche
- Höhenlinienparallele Bearbeitung auf geneigten Ackerflächen

Die Wirkungen der hier genannten Massnahmen sind bereits in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben.

Die hier beschriebenen Einflussfaktoren wie Ausräumung von Strukturelementen, Vergrösserung von Flächen, Bodenverdichtung etc. haben im Wesentlichen auch für Obstbauflächen und Rebanlagen Gültigkeit.

### 3.1.2 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Die Landwirtschaft kann neben der Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auch über strukturelle Massnahmen eine gegebene Gefahrensituation beeinflussen. Mittels Geländeingriffen werden die topographische Situation und die Eigenschaften der Böden verändert. Mittels Drainagen wird der Wasserhaushalt und das Abflussverhalten im Niederschlagsfall verändert. Mit Meliorationen und bewusstem Anlegen von Entwässerungsanlagen, Muldenspeichern, Retentionsbecken und sonstigen Strukturelementen kann ein bedeutender Beitrag zur Gefahrenprävention geleistet werden. Im Folgenden werden einige Beispiele dazu beschrieben.

#### Geländemodifikationen

Planien und das Ausräumen von Landschaftselementen verursachen eine deutliche Herabsetzung der Geländerauigkeit. Das Fehlen von kleinen Wasserspeichern an mikroskaligen Geländeunebenheiten bewirkt eine Abnahme der Gelegenheiten für Infiltration und Versickerung, eine Abnahme der hydraulischen Rauigkeit und damit eine Zunahme der Fliessgeschwindigkeit. Das Ausgleichen von Geländeunebenheiten bewirkt eine Vergrösserung der Fläche zur Akkumulation von Oberflächenabfluss. Auf ausgedehnten zusammenhängenden Flächen fliesst ein grösserer Teil des Wassers oberflächlich ab. Der Abfluss erfolgt mit höherer Geschwindigkeit. In den Geländebereichen, in denen sich das Wasser konzentrieren kann, ist mit erhöhtem Abfluss und damit zusammenhängender Erosion zu

rechnen. Mit den Geländemodifikationen hängen oftmals Bodenverdichtungen im Unterboden aufgrund des Befahrens mit schweren Baugeräten zusammen.

Grossräumige Geländeanpassungen werden heute nicht mehr durchgeführt. Die Wirkungsweise ist hier trotzdem angeführt um die Wirkungsweise der Summe aller kleinräumigen Geländeanpassungen ansatzweise darzustellen.

### Weganlagen

Weganlagen führen im Allgemeinen zu einer Versiegelung der Flächen und damit zu einer Erhöhung des Oberflächenabflusses. Im Normalfall sind Weganlagen sehr gut entwässert, die Abfuhr des Oberflächenwassers ist im Allgemeinen gut gelöst, häufig führen aber verstopfte Einlaufschächte zu grossen Schäden. Schlecht instand gehaltene Entwässerungen der Weganlagen führen zu einer Konzentration des Oberflächenwassers auf der versiegelten Fläche. Beim Abfliessen des Wassers vom Weg in umliegende Hangbereiche kann es zu Anrissen von Rutschungen führen.

Die Neuanlage von Weganlagen kann auch derart gestaltet werden, dass sie geneigte Hänge möglichst höhenlinienparallel quert und Möglichkeiten für die Anlage von kleinräumigen Versickerungsmulden und Speichermulden schafft. Dies unterbricht den Oberflächenabfluss oder gliedert Hangbereiche in kleinere Einheiten, so geschaffene Zwischenspeicher verzögern den Abfluss. Die Auswirkungen auf die Hangstabilität sind aber in jedem Fall zu betrachten und gegebenenfalls den genannten Effekten vorzuziehen.

### Drainagen und Wasserableitungen

Unter Drainagen und Wasserableitungen werden hier alle technischen Massnahmen zur Entwässerung und zur Regelung des Bodenwasserhaushaltes der landwirtschaftlich genutzten Flächen verstanden. Der Bau von Drainagevorrichtungen ist in vielen Fällen die Basis für die landwirtschaftliche Nutzung. Die Ziele von Drainagen sind die Verbesserung der Durchlüftung der Böden und der Durchwurzelbarkeit, die Verbesserung der Befahrbarkeit und der Bearbeitbarkeit. Akkermann (2004) gibt einen Überblick über die wissenschaftliche Diskussion über die Wirkung von Drainagen hinsichtlich der Hochwassergefährdung. Die in dieser Studie zitierten Aussagen sind z.T. widersprüchlich, wobei die Mehrzahl der Studien bei drainierten Flächen einen erhöhten Gesamtabfluss zum Vorfluter feststellte.

In einigen Fällen wird aufgezeigt, dass Drainagen hochwasserreduzierend wirken, da durch sie der Bodenwasserspeicher nach einem Niederschlagsereignis entleert und somit die Wasserspeicherkapazität für ein darauffolgendes Niederschlagsereignis verstärkt wird. V.a. Mineralböden mit hohen Grundwasserständen können nach der Drainage eine erhöhte Wasserspeicherkapazität aufweisen, da der Bodenspeicher im Verlauf des Niederschlagsereignisses erst später komplett ausgeschöpft wird (Akkermann 2004). Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung dieser grundwasserbeeinflussten Mineralböden in ehemaligen Auengebieten hat aber den Effekt einer Verminderung der Retentionsleistung durch die Bewirtschaftung, dieser Effekt überwiegt in den meisten Fällen im Vergleich zu den positiven Eigenschaften der Drainage.

In anderen Fällen hingegen wird erwähnt, dass Drainagen das in den Boden infiltrierte Niederschlagswasser rasch dem Vorfluter zuführen und damit der Hochwasserabfluss verstärkt wird (Akermann 2004, Tessier 1991). Dieser Effekt hängt mit der hydraulischen Leitfähigkeit des Bodens zusammen. Bei hoher Durchlässigkeit des Bodens kann der hier genannte Effekt gegeben sein. In diesem Fall kann der Gesamtabfluss einer drainierten Fläche grösser sein als ohne Drainage. Akermann (2004) zitiert Studien, die eine Erhöhung der Scheitelabflüsse um ca. 20% und eine Verkürzung der Anlaufzeiten der Hochwasserwellen um bis zu drei Stunden oder 25% bei drainierten Flächen feststellten. Bei geringer Durchlässigkeit der Böden ist die Infiltrationskapazität gering, der Effekt einer hochwasserbeschleunigenden Wirkung ebenso. Heggli (1954) zeigte anhand von Messungen am Drainagesystem im St. Galler Rheintal auf, dass Drainagen in Torfgebieten das überschüssige Sickerwasser von Niederschlägen stark verzögert und zeitlich sehr ausgedehnt abführen. Diese Verzögerung erfolgt ausschliesslich im Boden und nicht im Drainagesystem selbst. In diesen Gebieten senken Drainagen den Grundwasserspiegel und schaffen damit zusätzliche Pufferzonen, welche Niederschläge speichern und allmählich an die Drainleitungen weitergeben (Heggli 1954).

Die Wirkung von Drainagen auf den Hochwasserabfluss kann deshalb nur im Einzelfall unter der Betrachtung der Standortbedingungen wie Boden- und Grundwasserverhältnisse, der Lage der Drainagen zum Vorfluter und der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung der drainierten Fläche selbst beurteilt werden (Tessier 1991). Ausserdem sind der zeitliche Ablauf des Niederschlagsereignisses und die Niederschlagsgeschichte vor dem Ereignis bei drainierten Flächen von besonderer Bedeutung. Bei Niederschlagsereignissen mit einer Intensität, die das Fassungs- und Ableitungsvermögen des Drainagesystems übersteigen, haben letztere nur einen unerheblichen Einfluss.

In den meisten Fällen ist die Erhöhung des Oberflächenabflusses durch die Landnutzungsänderung – die durch die Drainage ermöglicht wurde – grösser als der Effekt einer Beschleunigung des Abflusses durch die Drainage. Im Falle der Umwidmung von Grasland in Ackerbauflächen in den Überschwemmungsgebieten von Flüssen steigt der Oberflächenabfluss deutlich an, deshalb sind die indirekten Wirkungen der Drainagen bedeutender als deren direkte Auswirkungen.

Als Sonderfall hier wird die Drainage von Rutschungen betrachtet. Die Wirkung dieser Infrastrukturmassnahmen ist nicht primär nur auf die Ziele der Landwirtschaft ausgerichtet. Für dieses Thema wird auf das Kapitel zu den flachgründigen Rutschungen verwiesen.

Beim Unterhalt oder bei der Sanierung von bestehenden Drainagesystemen sind die Wirkung und der Beitrag zum Hochwasserabfluss zu berücksichtigen. In besonderen Fällen ist der Einsatz und der Einbau von Drosselorganen am Auslass von Drainagen bzw. vor dem Mündungspunkt in den Vorfluter zu prüfen. Kombinierte Drainage wie Rohrdrainage, Maulwurfdrainage und Bodenlockerung eröffnen weitere Möglichkeiten zur Beeinflussung des hydrologischen Verhaltens des entsprechenden Gebiets.

Ein Spezialfall sind die hangparallelen Bewässerungskanäle wie die Suonen im Wallis und die Ouals im Münstertal. Durch ihre fast hangparallele Linienführung fassen sie grossräumig Oberflächenabfluss aus Hangbereichen und leiten das Wasser in die Landwirtschaftsflächen.

### Muldenspeicher, Sammler, Feldspeicher und Retentionsbecken

Neben den Drainagen gibt es weitere strukturelle Möglichkeiten zur Beeinflussung des Gebietsabflusses und des Hochwasserrückhalts wie beispielsweise durch die Anlage von dezentralen Kleinanlagen zur Muldenspeicherung und Rückhaltebecken für den kleinräumigen Hochwasserrückhalt und für die Förderung der Versickerung. Für den grossräumigen Wasserrückhalt wird auf Kapitel 5 verwiesen. Durch Ausnutzung von topographischen Gegebenheiten und durch die Anlage von Mulden zur Sammlung des Oberflächenabflusses kann die Abflussspitze aus Landwirtschaftsflächen sehr wirksam vermindert werden. Der Beitrag dieser Kleinmassnahmen reicht in spezifischen Fällen von der Reduktion der Gesamtabflüsse im Einzugsgebiet um bis zu 20% bis zu einer Verminderung der Abflussspitze um bis zu 70%. Vor allem in sensiblen Bereichen, wie beispielsweise Siedlungsbereichen unterhalb von ausgedehnten landwirtschaftlichen Flächen in Hanglage können diese Kleinmassnahmen wirksam und kosteneffizient zur Vermeidung von Schäden durch Oberflächenabfluss beitragen.



**Abbildung 23: Beispiel eines Rückhaltedammes für die Speicherung von Oberflächenabfluss in Mulden und zur Förderung der Infiltration. Quelle: Freistaat Sachsen (2002).**

Die Anlage von Becken für die Förderung der Versickerung ist auf Gleyen, Pseudogleyen, Ranker und Rendzinen über Festgestein nicht wirksam. Einen Leitfaden für die Anlage von Versickerungsmulden und ähnlichen Massnahmen haben Burghardt et al. (1998) zusammengestellt.

Die Anlage von Fanggräben und Ableitung des Oberflächenabflusses in das Abwassersystem ist eine weitere Möglichkeit für den Schutz von Siedlungen vor Oberflächenabfluss aus benachbarten Landwirtschaftsflächen. Im Gegensatz zu den Mulden bietet diese Massnahme keine Möglichkeit für die Versickerung des Niederschlags. Die Ableitung des Oberflächenwassers in das Abwassersystem oder in das Grabensystem trägt zu einer raschen Weiterleitung des Wassers in den Vorfluter bei, die zeitliche Verzögerung des Abflusses ist in diesem Fall nicht wirksam. Eine Abführung des Oberflächenwassers aus Hangbereichen erfolgt deshalb idealerweise nur indirekt über Gräben in den Vorfluter.





Abbildung 24: Auffangbecken für den Oberflächenabfluss. Quelle: Freistaat Sachsen (2002).



Abbildung 25: Damm für den Schutz vor Oberflächenabfluss. Quelle: Freistaat Sachsen (2002).

### Terrassen

Nach den obigen Ausführungen wirkt die Anlage von Geländeterrassen durch die Erhöhung der Oberflächenrauigkeit im Sinne einer Abminderung der Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses und einer zeitlichen Verzögerung des Beitrags an den Spitzenabfluss nach Niederschlagsereignissen. An den Terrassen selbst werden Möglichkeiten zur Versickerung geschaffen. Die Reduktion der Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses bewirkt eine Abnahme der Schleppspannung im Vergleich zum ursprünglich geneigten Hang, dadurch wird die Erosion bzw. der Bodenabtrag verringert.

### Grösse der zusammenhängenden homogenen Flächen

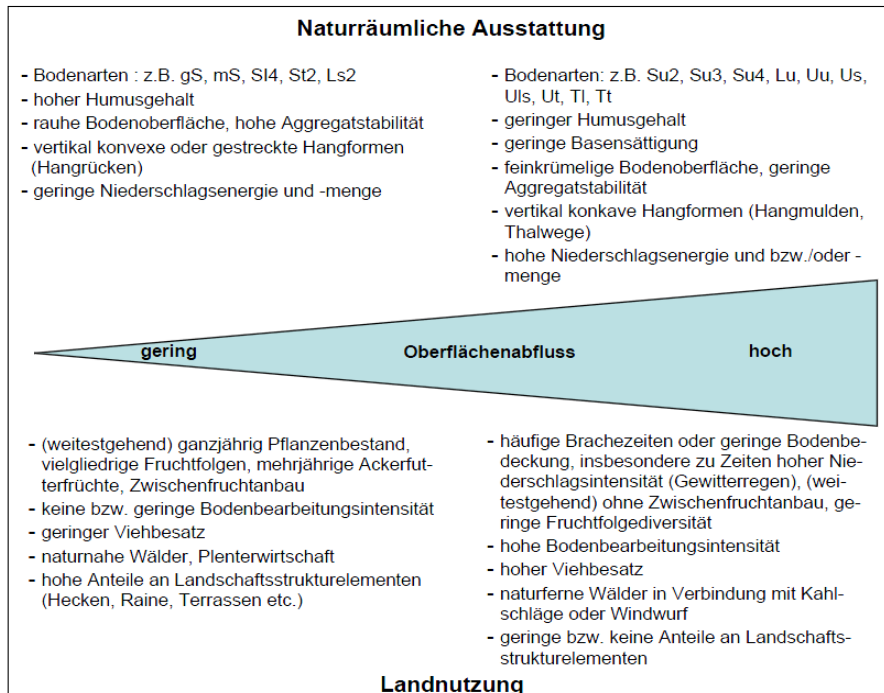
Die Grösse der zusammenhängenden Flächen ist ein weiterer Faktor, der durch die landwirtschaftliche Infrastruktur beeinflusst werden kann. In ausgedehnten zusammenhängenden Flächen kumuliert sich der Oberflächenabfluss. Flächen, die reich an Strukturelementen wie Ackerrandstreifen, Grün-

streifen, Baumgruppen, Waldstreifen und Hecken sind, unterbrechen und bremsen das oberflächlich abfliessende Wasser deutlich.

### 3.1.3 Fazit

Wie in den vorangegangenen Absätzen aufgezeigt, ist das Feld der möglichen Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den Oberflächenabfluss weit und die gegenseitigen Wechselwirkungen sind komplex. Das Wirkungsgefüge hängt ausserdem mit der Wahl des Betrachtungsmaassstabes zusammen. Während die Spannweite des Ausmasses von möglichen Massnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses sehr gross ist, gleichen sich die verschiedenen Effekte auf der mesoskaligen Ebene aus. Die gesichtete Literatur zeigte sowohl die vollständige Versickerung von extremen Niederschlägen als auch das beinahe vollständige oberflächliche Abfliessen des Niederschlags auf landwirtschaftlichen Flächen auf.

Wesentlich bei der Beurteilung der Wirkung von Massnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses ist die Berücksichtigung standortsbedingter Ausgangsbedingungen. Die gesichtete Literatur zeigt eine grosse Vielfalt an beobachteten Prozessabläufen auf. Die Landwirtschaft kann durch eine unangepasste Bewirtschaftung die standortsgebundene Infiltrationskapazität massgeblich reduzieren. Durch die Bodenverdichtung kann die Infiltrationskapazität im schlimmsten Fall beinahe auf ein Niveau versiegelter Flächen vermindert werden. Ein derartiges Infiltrationshindernis führt dazu, dass die Wasserspeicherkapazität, auch von mächtigen Böden, nicht ausgenutzt werden kann. Eine grosse Rolle für den Prozess der Infiltration spielt ausserdem der Anteil an Makroporen. Dieser Faktor weist eine hohe räumliche Variabilität auf und ist aus Bodenkarten nur bedingt ableitbar. Auch wenn im Allgemeinen ein hohes Potential für die Verbesserung der Infiltrations- und Retentionskapazität durch Anpassungen der Bewirtschaftungsform aufgezeigt wurde, sind bei ungünstigen Ausgangssituationen keine Verbesserungen im Hinblick auf den Hochwasserrückhalt möglich. Zu beachten ist ferner, dass die Wasserspeicherkapazität und die Infiltrationskapazität der Böden jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen sind und daher nicht in jedem Fall wirksam sein können. Die Wirkungen zur Erhöhung der Infiltrationskapazität sind durch den absoluten Wert der Wasserspeicherkapazität des jeweiligen Bodenstandortes limitiert, d.h. auf Landwirtschaftsflächen mit flachgründigen Böden und geringer Wasserspeicherkapazität haben die Massnahmen zur Erhaltung und Erhöhung der Infiltrationskapazität nur einen geringen Einfluss auf die Hochwasserentstehung, da nach Auffüllung des Porenvolumens Sättigungsabfluss entsteht.



**Abbildung 26: Faktoren der naturräumlichen Ausstattung und der Landnutzung für die Höhe des Oberflächenabflusses.**  
Quelle: DVWK.

Das Potenzial für eine Verbesserung der Infiltrationskapazität durch Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Ackerbau liegt in einer Größenordnung zwischen 5 bis 75% der Niederschlagssumme, im Mittel bei 30% (Akkermann 2004, Weiss 2009). Auch wenn die Unsicherheit in der Beurteilung des Zwischenabflusses und des lateralen Makroporenflusses in geneigten Hängen gross ist und die durch die Massnahmen erreichten Verbesserungen in der Infiltrationskapazität nicht zu 100% für den Hochwasserschutz wirksam werden, zeigen die gesichteten Studien einen unbestreitbaren Beitrag zur Verringerung von Hochwasserspitzen auf. Nach den Reviews von Akkermann (2004), Sieker (2002) und Weiss (2009) liegt dieser mögliche Beitrag von Massnahmen im Ackerbau zur Verringerung des Abflussvolumens und der Abflussspitze bei Hochwasser auf der Ebene der untersuchten Flusseinzugsgebiete bei mindestens 7.5 bis 12%. Die Effekte auf die Reduktion des Abflussvolumens als auch der Abflussspitze sind bei allen Intensitäten und Wiederkehrperioden des Niederschlags zu erwarten. Ausnahmen bilden nur Einzugsgebiete mit einem hohen Flächenanteil an flachgründigen Böden ohne nennenswerte Speicherkapazität und Einzugsgebiete mit einem geringen Flächenanteil an Ackerbauflächen (Rieger et al. 2010). Nach LAWA (2000) liegt die Größenordnung der Hochwasserabminderung des Spitzenabflusses im Oberrhein durch die kumulative Wirkung aller möglichen Massnahmen im Einzugsgebiet zwischen 80 und 100 cm des Pegels des Rheins an der Mainmündung.

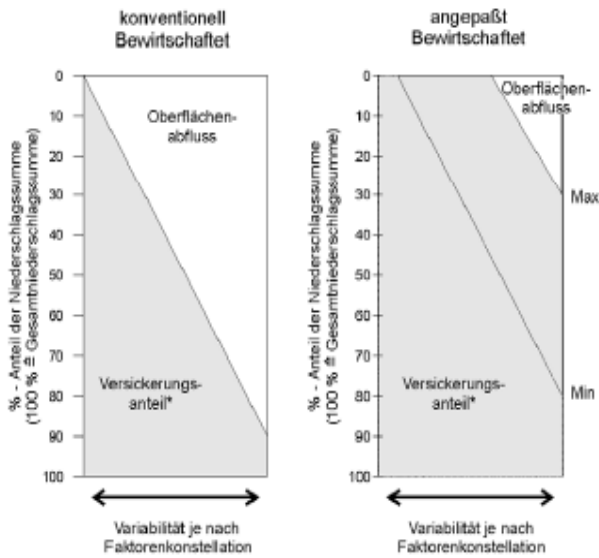


Abbildung 27: Einfluss einer angepassten Bewirtschaftung auf den Versickerungsanteil in der Betrachtungsebene der Einzelparzelle. Quelle: Akkermann (2004).

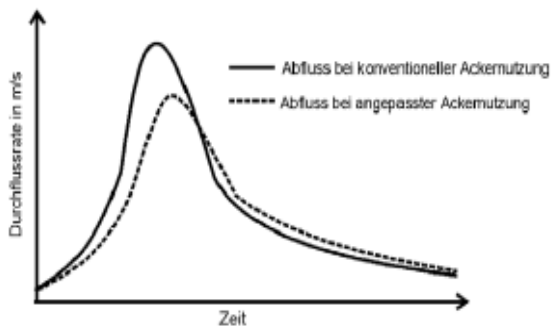


Abbildung 28: Einfluss einer angepassten Bewirtschaftung auf den Gebietsabfluss in der Betrachtungsebene von Flusseinzugsgebieten. Quelle: Akkermann (2004).

Extensiv genutzte Graslandflächen haben im Allgemeinen eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität als Ackerflächen und sind weniger anfällig für Verschlammung und Verdichtung. In besonders sensiblen Ackerflächen ist deshalb eine Umstellung in Graslandwirtschaft zu prüfen. Ausnahmen hierzu stellen intensiv genutzte Graslandflächen dar.

Im Sömmerungsgebiet und in alpinen Weiden ist darauf zu achten, dass eine sachgemäße Weidepflege (Neueinsaat bei Bodenverwundungen, Düngung, etc.) bei Bedarf durchgeführt wird. Damit kann die Versickerungsrate erhöht und somit der Oberflächenwasserabfluss verringert werden. Auf Mähwiesen sind Narbenschäden durch Erntegeräte laufend auszubessern.

Die Arbeit zeigt auf, dass der wichtigste Beitrag der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an die Hochwasserprävention in der Erhaltung der standortsbezogenen Speicherkapazität des Bodens liegt. Der Beitrag der Landwirtschaft liegt somit in der Erhaltung der standortsbezogenen maximal möglichen Infiltrationskapazität und damit in der Ausnützung des standortsbezogenen vorhandenen Was-

serspeichervermögens bei einem Niederschlagsereignis. Dies liegt auf Ackerböden im Durchschnitt bei  $140 - 320 \text{ l/m}^2$  bei einer Gründigkeit von 1 m. Eine volle Ausnützung dieser Grösse erlaubt die Reduktion des Oberflächenabflusses eines Niederschlagsereignisses in dieser Grössenordnung.

Zusammenfassend kann die Wirkung der hier beschriebenen Massnahmen wie folgt beschrieben werden: Auf der Ebene einer einzelnen Parzelle kann der Versickerungsanteil auf Kosten des Oberflächenabflusses durch angepasste Bewirtschaftung erheblich gesteigert werden. Auf der Ebene eines Flusseinzugsgebietes können sowohl die Anstiegsrate der Hochwasserwelle als auch Abflussvolumen und Spitzenabfluss verringert werden.

Als Fazit in Bezug auf die landwirtschaftliche Infrastruktur kann erwähnt werden, dass die Instrumente des modernen Meliorationswesens, der Gesamtmelioration, der Entwässerungs- oder Wasserablenkungskonzepte und des modernen Landmanagement sehr wirksame Handlungsoptionen zur Steuerung des hydrologischen Verhaltens der Flächen und damit ein Potenzial für die Reduktion des Beitrags an der Hochwasserentstehung darstellen. Die Nutzung dieser Instrumente erlaubt die Verfolgung mehrerer Ziele, sowohl aus Sicht der Landwirtschaft als auch aus Sicht der Naturgefahrenprävention.

## 3.2 Erosion

Bodenerosion ist der Abtrag von Boden durch erosive Medien oder durch Bodenbearbeitung und ist Teil des natürlichen Landschaftsbildungsprozesses. Beim Prozess der Bodenerosion werden einzelne Teilchen aus dem Bodenverband herausgelöst, die Partikel werden durch die Medien Wasser oder Wind transportiert und abgelagert, wenn nicht mehr genügend Energie für den Transport vorhanden ist. Erosion findet in kleinem Masse laufend statt, erst wenn der Prozess eine gewisse Intensität erreicht hat, wird er zu einem Problem für die Landwirtschaft.

Der Schwerpunkt in dieser Arbeit wird auf die Erosion durch Wasser gelegt, und zwar auf eine Grössenordnung des Prozesses, die entweder direkt zu Schäden durch Ablagerung des abgetragenen Bodenmaterials an Gebäuden oder Infrastrukturanlagen ausserhalb der Landwirtschaftsflächen oder zu einer Erhöhung der Geschiebelieferung in Wildbacheinzugsgebieten führt. Der durch die Bewirtschaftung selbst resultierende Bodenabtrag wird hier nicht betrachtet. Winderosion wird hier ebenso nicht behandelt.

Wassererosion kann als Regentropfenerosion (splash erosion), als flächenmässige Erosion (interrill erosion) oder als Rillenerosion erfolgen. Bei der Regentropfenerosion werden die Bodenaggregate beim Auftreffen der Regentropfen auf die Bodenoberfläche zerstört und Bodenteilchen losgelöst. Diese werden dann durch den Oberflächenabfluss abtransportiert. Dies führt wiederum zur Erosion in der Fläche. Die auf den Boden einwirkende kinetische Energie der Regentropfen führt zur Zerstörung der Aggregate und zur Verschlammung der Bodenoberfläche. Die Grösse der flächenhaften Erosion hängt von der Menge des Oberflächenabflusses, von der Hangneigung, von Eigenschaften des Regens und des Bodens (Bodenart, Oberflächenbeschaffenheit, u.a.) ab. Flächenmässige Erosion tritt nur am Hangbeginn auf und geht mit zunehmender Hanglänge und bei konzentriertem Wasserab-

fluss in Rillenerosion über. Mit zunehmender Hanglänge erhöht sich der Oberflächenabfluss, dessen Geschwindigkeit und damit dessen Schleppkraft. Durch diese so erhöhte Energie kommt es zur Ablösung von Bodenteilchen und zur sukzessiven Eintiefung. Die Bildung von Erosionsrillen wird durch die Konzentration des Abflusses in vorgegebenen Hangstrukturen gefördert.

Für detaillierte Beschreibungen des Prozessablaufs wird auf die entsprechende Literatur verwiesen (z.B. Hebel & Klik 2000, Akkermann 2004, Prasuhn o.J.). Die Situation in der Schweiz wurde detailliert untersucht und beschrieben (Ledermann et al. 2008, Ledermann et al. 2010, Mosimann et al. 1991 sowie 1999, Konz et al. 2001, Prasuhn 2011). Es gibt eine detaillierte Karte der potenziellen Erosionsgefährdung der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (Gisler et al. 2010) und in den 1980er Jahren wurde die Thematik im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramm NFP 22 "Nutzung des Bodens in der Schweiz" detailliert untersucht. Des Weiteren gibt es bereits einige Richtlinien und Merkblätter zur Vermeidung von Bodenerosion im Ackerbau sowie im Sömmerungsgebiet (z.B. AGRI-DEA 2009).

Die Erosionsgefährdung eines Standortes hängt einerseits von der Art und Stärke der Erosionsfaktoren und andererseits von der Widerstandskraft des Bodens ab (Hegel & Klik 2001). Die Widerstandsfähigkeit gegen Erosionsprozesse wird sowohl durch verschiedene physikalische und chemische Bodeneigenschaften (Textur, Struktur, etc.) als auch durch die Art der Nutzung (Feldenteilung, Bewirtschaftung, Kulturen etc.) und die Aktivität der Bodenfauna bestimmt. Die Erosivität des abfließenden Wassers hängt von dessen Fliesseigenschaften ab. Diese wird einerseits von der Wassermenge und andererseits von der Oberflächenrauigkeit beeinflusst. Die wesentlichen natürlichen Einflussfaktoren, die von der Landwirtschaft nicht beeinflusst werden können, sind die klimatischen und hydrologischen Faktoren wie die Intensität, die Dauer und der jeweilige Zeitpunkt der Niederschlagsereignisse und die topographischen Eigenschaften des Standorts wie die Neigung, die Geländeform, die Hanglänge und die Exposition. Weitere nicht beeinflussbare Faktoren sind geologische und bodenkundliche Faktoren. Die Erodierbarkeit von Böden wird hauptsächlich durch Körnung und Humusgehalt beeinflusst (Weiss 2009). Böden mit einem hohen Anteil an Schluff und Feinsand sowie humusarme Böden sind besonders erosionsanfällig. Die Geländeform als wichtigster Faktor kann durch die Landwirtschaft nur unwesentlich beeinflusst werden. Die für die Erosion bedeutende Hanglänge kann zwar durch Landschaftsstrukturen unterbrochen, aber nicht grossräumig verändert werden. Topographische Begebenheiten wie Mulden, Tiefenlinien und Senken kanalisieren den Oberflächenabfluss und bilden somit kritische Ansatzpunkte für Erosion. Diese Faktoren können nur kleinräumig durch die Landwirtschaft gestaltet werden wie beispielsweise durch die Bearbeitungsrichtung oder durch Weganlagen. Die Vegetation und die Bodenbedeckung hingegen können von der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung gesteuert werden. Erosion tritt im Wesentlichen ab Hangneigungen von ca. 4% und bei Hanglängen von über 50 m (Hebel & Klik 2001) und bevorzugt auf sandigen Lehmen, lehmigen Sanden sowie schluffigen Böden auf. In Einzelfällen können auch unterhalb dieser angegebenen Schwellenwerte Erosionsprozesse auftreten.

Ob die im Nachfolgenden aufgezeigten Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung tatsächlich für die Naturgefahren relevant sind, hängt auch von der Lage des jeweiligen Standorts zu einem Gewässer (Konnektivität) oder zu Siedlungen bzw. zu Infrastrukturen ab. Während z.B. direkt an Wildbachgerinne angrenzende Erosionsherde relevant für das Geschiebepotenzial sein können,

sind z.B. Erosionsprozesse aus Ackerbauflächen Ausgangspunkt für "mud flows" und damit für Schäden im Siedlungsbereich. Andererseits spielen Erosionsprozesse in entlegenen Seitentälern im Berggebiet, die keine Konnektivität zum Gerinne haben, keine Rolle für Naturgefahren aus Sicht des Schadenpotenzials. Dies gilt für alle Bewirtschaftungsarten.

### 3.2.1 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Bei Bodenerosion wird Bodenmaterial weggespült. Nach Sutter (2007) geht es bei diesen nachteiligen Auswirkungen nicht nur um den Verlust von wertvollem Humus und einer Verminderung des Ertrages, sondern auch um Sekundärschäden wie Gewässerbelastung, Landschaftsveränderung und Sachbeschädigung. Weitere Folgen sind eine erschwerte Bewirtschaftung der Parzelle, eine Verminderung des Wurzelraumes, die Verschlechterung des Bodenwasser- und Bodenlufthaushaltes, der Austrag oder die konzentrierte Ansammlung von Nährstoffen und organischer Substanz, der Austrag und die Umverteilung von Dünger oder Pflanzenschutzmitteln sowie eine räumliche Variabilität der Bodenqualität innerhalb der Parzelle (Hebel & Klik 2001). Nach Ledermann et al. (2010) gelangt im Durchschnitt mehr als 50% des abgetragenen Bodenmaterials außerhalb der Parzelle zur Ablagerung. In Kombination mit einer Konzentration des Oberflächenabflusses und Erosion kann es zur Entstehung von "mud flows" kommen, die zur Beschädigung von Sachwerten führen können. Nach Prasuhn (o.J.) gelangen ca. 20% des abgetragenen Bodenmaterials in die Gewässer.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung erfolgt auf Flächen mit den unterschiedlichsten standortsgebundenen Voraussetzungen. Wesentlich sind v.a. die topographischen Bedingungen. Die wichtigsten der standortsgebundenen Faktoren werden sehr detailliert durch die Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2x2-Meter-Raster (ERK2) abgebildet (Gisler et al. 2010). Diese Karte bestimmt das potenzielle Erosionsrisiko bei unbedecktem Boden und entspricht deshalb am ehesten den Ackerbauflächen.

Im **Ackerbau** ist der Boden zu bestimmten Zeiten unbedeckt bzw. weist einen geringen Bodenbedeckungsgrad auf. Damit ist der Boden direkt der kinetischen Energie der Regentropfen und bei entsprechenden topographischen Voraussetzungen der Schleppekraft des Oberflächenabflusses ausgesetzt. Die Bodenerosion hängt in diesem Fall mit der Höhe und Fliessgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses zusammen. Aus diesem Grund wirken sich alle im vorhergehenden Kapitel aufgezeigten Massnahmen zur Verminderung des Oberflächenabflusses, zur Erhöhung der Infiltrationskapazität, zur Erhöhung der Geländerauigkeit und zur Erhöhung der Aggregatstabilität auf die Verminderung der Erosion aus. Sie werden hier deshalb nicht nochmals aufgeführt. Die folgende Abbildung zeigt die Effekte der in Kapitel 3.1 aufgezeigten Massnahmen auf den Bodenabtrag.

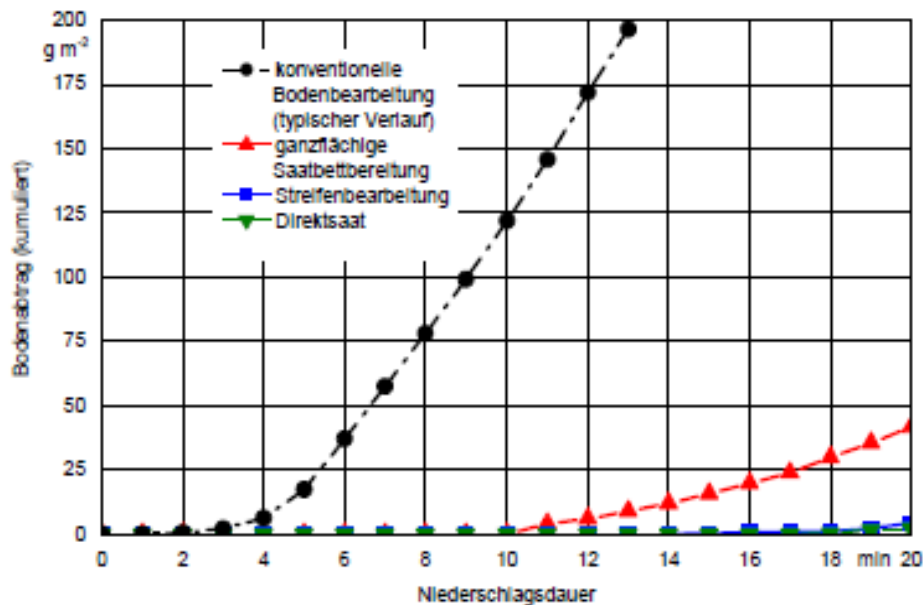


Abbildung 29: Kumulativer Bodenabtrag auf unterschiedlich bearbeiteter bzw. direkt bestellter Ackerfläche. Regensimulationsversuch mit Beregnungsintensität von 1.9 mm/Minute, Körnermais, Lösshügelland. Quelle: Weiss (2009).

Ausserdem sind die gesetzlichen Grundlagen zur Vermeidung von Erosion teilweise durch die Bodenschutz- und Gewässerschutzgesetze gegeben. Allerdings ist das Wissen um die Möglichkeiten zur Vermeidung von Erosion bei den Bewirtschaftern nicht immer gegeben. Die Erosion wird durch die Art der Bodenbedeckung und damit die Wahl der Kulturfrucht beeinflusst. Ledermann et al. (2008) zeigen beobachtete Werte für den Bodenabtrag in verschiedenen Gebieten. In Flächen mit Wintergetreide wurde der höchste Bodenabtrag beobachtet.

**Extensiv bewirtschaftete Mähwiesen** sind im Allgemeinen weniger anfällig auf Erosion als Ackerbauflächen. Extensiv genutzte Bergwiesen haben eine sehr hohe Durchwurzelungsdichte und sind resistent gegen Erosion. Verschiedene Autoren berichten von einer Zunahme der Erosion nach einer Intensivierung und Erhöhung der Düngung (Troxler 2007, Tasser et al. 2001, Hellebart 2006). Nach Schmidlin (2008) „verbreiten sich aus arbeitswirtschaftlichen Gründen auch im Berggebiet die Vollgüllesysteme. Durch den Nährstoffeintrag erfolgt eine Veränderung der Vegetationszusammensetzung, die Auswirkungen auf die Stabilität der Grasnarbe hat. Das Ausbringen von stickstoffreicher Gülle in Hang- und Steillagen führt zu instabilen Pflanzenbeständen“.

Nach Troxler (2007) gelten für ein gutes Zusammenspiel zwischen Nutzung und Düngung, respektive für einen erfolgreichen Futterbau mit stabilen Pflanzenbeständen folgende Regeln:

- Anpassung der Nutzungshäufigkeit an die Naturfaktoren und den Pflanzenbestand, d.h. Berücksichtigung der Standortansprüche von Wiesentypen und Pflanzenarten
- Abstimmung der Düngung auf den Nährstoffbedarf der vorhandenen Futterpflanzen

Bodenerosion in Mähwiesen kann durch folgende Massnahmen minimiert werden (Troxler 2007):

- Einsatz von hangtauglichen, rasenschonenden Maschinen



- Gleichgewicht von Nutzung und Düngung
- Optimaler Einsatz der Hofdünger

Die Erosion im **Sömmerungsgebiet** beginnt häufig mit kleinen Bodenschürfungen oder Narbenversatzschäden, entstanden durch Schneegleiten bzw. Schneeschurf (Konz et al. 2010) und Lawinen oder infolge der Bewirtschaftung. Eine sogenannte „Blaike“ ist „eine durch das Abrutschen der Rasenvegetation einschliesslich ihres Wurzelhorizontes entstandene vegetationsfreie Fläche von wenigen bis zu einigen Hundert Quadratmetern Grösse“ (Spatz 1999). Die Abgrenzung der Erosionsprozesse von den flachgründigen Bodenrutschungen ist naturgemäss schwierig.

Die Bildung von Narbenversatzschäden wird in Hellebart (2006) folgendermassen beschrieben: „Durch eine Änderung im Weidebetrieb, sei es durch Aufhören der Beweidung oder durch Überbestossung mit starker Selektion der Futterpflanzen, kommt es zu einer Veränderung der Pflanzengesellschaften. Durch die hochwüchsigen, starren Pflanzengesellschaften kommt es durch Schneeschurf zu Rissbildungen in den Böden. Niederschlagswasser dringt in die Zugrisse ein, spült den Feinanteil aus und es bildet sich unterhalb der Wurzelschicht eine Gleitschicht aus. Der Porenwasserdruck im Boden erhöht sich und Rasenschollen können entlang der Gleitschicht wegrutschen. Somit entstehen Blaiken“. Hingegen führt eine Herabsetzung der Besatzstärke zu geringeren Trittschäden und geringerer Bodenverdichtung. Eine Herabsetzung verlangt aber nach einer besseren Weideunterteilung, um eine Verbrachung zu vermeiden (Troxler 2007, Tasser et al. 2001).

Durch die ständige Beweidung von steilen Alpflächen können „Trittwege“ entstehen. Nach Tasser et al. (2001) können dadurch die Hänge stabiler werden, nur bei jungen Weideflächen komme es bei starken Trittschäden an der Vegetation vermehrt zu Translationsrutschungen. Aufgrund ihrer Untersuchungen führe eine Brachlegung grundsätzlich zu einer Erhöhung der Erosionsgefährdung und eine Beweidung oder Mahd verringere das Erosionsrisiko signifikant. Neben Tasser et al. (2001) haben auch Schauer (1975), Stehrer (1988) und Rickli & Bucher (2003) beobachtet, dass bei nachlassender Mähwirtschaft oder bei Aufgabe der Weidewirtschaft die Denudationsvorgänge stark zunehmen. Feuchte Witterungsverhältnisse oder die Beweidung feuchter Standorte führen zur Bodenabtragung in Form von Narbenversatzschäden.

Nachfolgende Abbildung zeigt ein Beispiel, wie die Verteilung von natürlichen und anthropogenen Erosionsformen aussehen kann, wobei beim Untersuchungsgebiet „Waltner Mähder“ (Südtirol) die anthropogen verursachten Erosionsphänomene in Bezug zu den natürlichen etwa 18% ausmachen (Tasser et al. 2001). Über die Hälfte der kartierten Erosionsflächen wurde durch den Strassenbau verursacht. Auffällig bei den natürlichen Erosionsformen ist, dass fast Dreiviertel auf Schnee- und Lawinenschurf zurückzuführen ist (Südlage des Studiengebiets).

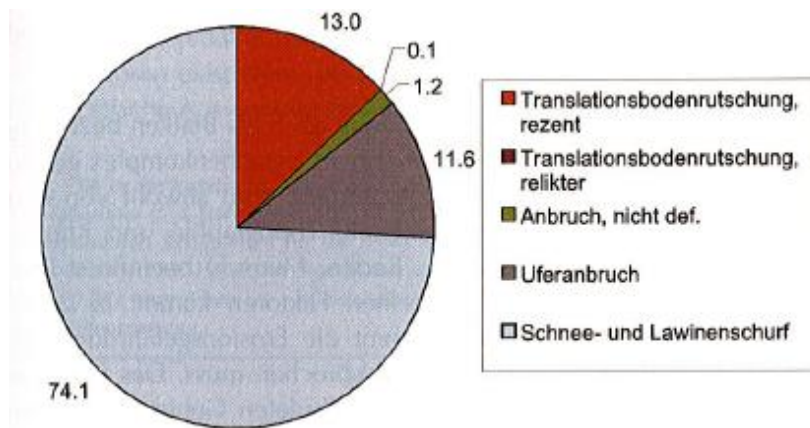


Abbildung 30: Anteil der unterschiedlichen Erosionsformen der Gruppe der Lockergesteinserosionen im Untersuchungsgebiet „Waltner Mähder“ (Tasser et al. 2001).

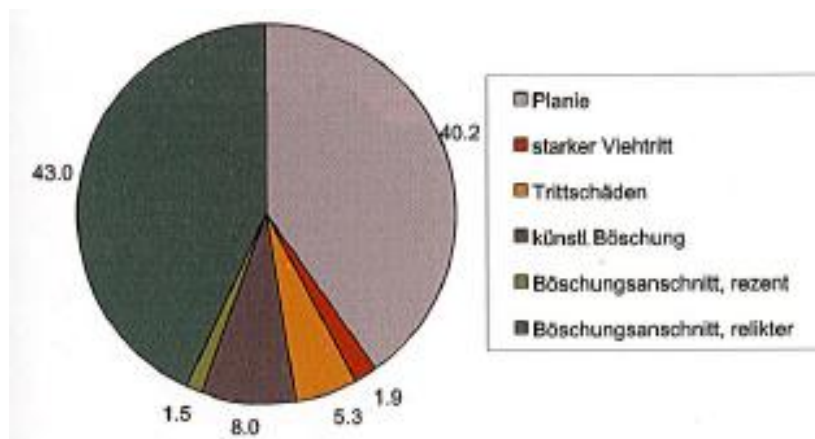


Abbildung 31: Relative Flächengrößen der anthropogenen Erosionsformen im Untersuchungsgebiet „Waltner Mähder“ (Tasser et al. 2001).

Ein wesentlicher Faktor zur Beeinflussung der Erosion im Sömmerungsgebiet ist die Beweidung. Die Beweidung kann zu Folgendem führen:

- Entmischung der natürlichen Artenzusammensetzung (Abnahme von trittempfindlichen Pflanzen, Zunahme von Pflanzen mit Stacheln oder schlecht schmeckenden oder giftigen Pflanzen)
- Veränderung der Durchwurzelung und der Bodeneigenschaften
- Verletzungen der Grasnarbe durch Frass und Tritt
- offene Flächen bei Trittwegen und Lagerstellen
- sekundäre Vernässungen (Trittlöcher)
- Erosion, oberflächliche Rutschungen

Im Sömmerungsgebiet weisen die Böden oft eine geringe Bodenmächtigkeit und Nährstoffversorgung aus. Da diese Böden die Produktionsgrundlage der Alpwirtschaft bilden, sind sie qualitativ und quantitativ möglichst umfassend zu erhalten (AGRIDEA 2009). Durch Erosion können Humus und Nährstoffe ausgewaschen werden und die Mächtigkeit und Wasserspeicherkapazität des Bodens können abnehmen. Es ist darauf zu achten, dass die alpwirtschaftliche Nutzung oder deren Veränderung die Bodenerosion nicht begünstigt (AGRIDEA 2009).

Folgende Bewirtschaftungsformen gelten allgemein als problematisch (AGRIDEA 2009):

- Zu schwere Tiere in steilen Hanglagen
- Die Wahl eines ungeeigneten Weidesystems
- Zu langer Aufenthalt in einer Weidekoppel
- Zu kurze Pause zwischen zwei Nutzungen
- Keine standortangepasste Düngung (zu hoher Einsatz von stickstoffhaltigen Hofdüngern)
- Die Beweidung sensibler Pflanzengesellschaften und nicht geschlossener Pflanzendecken
- Der freie Weidegang mit Schafen an der Vegetationsgrenze

Die Wahl der Tierart kann einen weiteren Faktor darstellen. Aufgrund ihres Gewichts, ihrem Frassverhalten und dem unterschiedlichen Verhalten der Tierarten hat das Weidevieh unterschiedliche Auswirkungen auf die Vegetation und die Stabilität der Böden (siehe Tabelle 3). So ist nach Troxler (2007) der Klauendruck einer Kuh ungefähr 3 – 5mal grösser als beim Schaf. Ein höheres Tiergewicht führt zu vermehrten Narbenschäden und Erosion (Legner et al. 2006). Schafe wandern mehr als Kühe, dies führt zu vermehrter Wegbildung. Stadler (2004, 2009, o.J.) weist auf Folgen von Übernutzung (bei Schaf-, Rinder- und Kuhalpen) und Fehlern bei der Beweidung hin und gibt Empfehlungen bezüglich Sömmerungsbeitragsverordnung ab.

Tabelle 2: Auswirkungen des Fress- und Weideverhaltens der Tierarten auf die Vegetation und die Stabilität der Böden. Quelle: BAFU (2010), Sutter (2007), verändert.

	Rindvieh	Pferde	Schafe	Ziegen
<b>Selektivität des Frasses</b>	gering, da büschelweises Abreissen mit der Zunge	relativ selektiv	sehr selektiv bei den üblichen Rassen, weniger selektiv bei Robustrassen	selektiv, mit Bevorzugung von Sträuchern
<b>Verbisstiefe</b>	hoch	sehr tief	Tief bis sehr tief	tief
<b>Verhalten auf Weide</b>	Lägerstellen auf flachen und stallnahen Bereichen in einer sonst coupiereten Fläche	Abkoten zum Teil konzentriert auf bestimmte Bereiche	bevorzugt höchste und möglichst nord-exponierte Lagen. Horizontal zäunen, um Übernutzung im oberen Teil zu verhindern	keine systematische Nutzung von Kräutern und Gräsern
<b>Einfluss auf Vegetation, Erosionsgefahr, etc.</b>	An steilen Lagen: Trittwege verunmöglichen spätere Mähnutzung; Erosionsgefahr	Hohes Gewicht und tiefer Biss fördern Erosionsgefahr und Artenverarmung, narbenzerstörende Trittwirkung	nur wo gut entwickelte, geschlossene Vegetation vorhanden und keine Erosionsgefahr besteht (Stadler 2004). Artenvielfalt ist durch zu intensive Beweidung schnell gefährdet	v.a. für verbuschende Flächen; Mischweiden. Arbeitsaufwändig, da starke Zäune nötig sind
<b>Weidgang bis max. Neigung (Sutter 2007)</b>	Kühe 40%, Rinder 60%	60%	80%	80%
<b>Empfehlungen für die Nutzung artenreicher Weiden</b>	im Allgemeinen gut geeignet; eher leichtere Rassen, Rinder und Robustrassen bevorzugen (Erosion); eher Fleisch- als Milchproduktion	Höchstens leicht geneigte Flächen; eher leichtere Tiere; keine Hochleistungstiere; falls möglich zwischendurch mit Rindern beweidern	Robustrassen bevorzugen; auch für steile Flächen geeignet; Weidegang wegen selektivem Fressverhalten kontrollieren	geeignet für steile Flächen; Brachen: Pioniernutzungen für verbuschte, verunkrautete Flächen; längerfristig Weidenutzung mit einer anderen Art planen

Kriterien, die bei der Auswahl des Weideviehs zu beachten sind (Schmid et al. 2002, BAFU 2010, Sutter 2007):

- Frassverhalten (Selektion, Verbisstiefe und Einfluss auf die Vegetation)
- Verhalten auf der Weide (abhängig von Art, Rasse und Alter)
- Robustheit, Kältetoleranz

- Genügsamkeit bezüglich der Futterqualität
- Gewicht

Nach Hiltbrunner et al. (2007) ist die alpine Vegetation gut auf eine bescheidene mechanische Belastung von Wiederkäuern angepasst. Simulierter Schaftritt in Steillagen beeinflusst nur leicht den Oberflächenabfluss und den Verlust von Sedimenten (Hiltbrunner 2007, Meusburger & Alewell 2008). Nach Stadler (2004) und Löhmannsröben (1998) halten sich Schafe meist im oberen Bereich einer Weide auf, machen sogenannte „Erosionsmuscheln“ (Lägerstellen) und weiden gerne in Gelände mit wenig entwickelter Vegetation. Aus diesen Gründen empfehlen sie, nur Gebiete als Schafweiden zu nutzen, die nicht über 80% steil sind und eine gut entwickelte, geschlossene Vegetation aufweisen und keine natürlichen Erosionsgefährdung erkennen lassen.

Troxler (2007) empfiehlt Mischweiden im Berggebiet (Rind – Schaf, Rind – Ziege). Die Vorteile seien ein homogeneres Beweiden des Aufwuchses, bessere Pflanzenbestände, eine Erleichterung der Weideführung, eine Verringerung des Parasitendruckes und eine Verbesserung der Leistung pro Tier und Fläche. Um eine Über- oder Unternutzung der Alpweiden zu verhindern ist eine auf den Standort ausgerichtete Besatzstärke notwendig (Anzahl GVE-Tage pro Vegetationsperiode; die Besatzstärke ist die Grundlage für die Berechnung der Sömmerungsbeiträge). Nach Stadler (2009) ist die Höhe des Besatzes der Schafalpen von der Nettoweidefläche abhängig. Die konsequente Ausscheidung dieser Flächen – respektive die Konzentration der Weidefläche auf die für die Schafalpen geeigneten, guten Standorte – ist für eine angepasste Bestossung wichtig. Eine gute Weidetechnik reduziert die Erosion. Nach Troxler (2007) ist die Umtriebsweide (Unterteilung der Weidefläche in mehrere Koppeln (Schläge), von denen eine nach der anderen den Tieren während einer bestimmten Zeit zur Verfügung gestellt wird) das optimale Weidesystem für das Berggebiet, sie weist folgende Vorteile auf:

- Kurze Besatzzeit – lange Ruhezeit
- Geringe Trittschäden
- Gute Pflanzendynamik
- Geschlossene Narbendichte
- Bestmögliche Exkrementenverteilung

Im Gegensatz dazu bleiben bei der Standweide (Weide ohne Unterteilung) die Tiere während der gesamten Vegetationszeit auf der gleichen Fläche, die Gefahr der sektoriellen Über- (Narbenauflockerung) und Unternutzung (Verbrachung) der Vegetation ist grösser und übernutzte Stellen (Trittwege, Lägerstellen) nehmen zu. Ein Vorteil der Standweide sind die Verringerung des Arbeitsaufwandes und die grossflächige Nutzung bei sehr frühem Weidebeginn respektiv bei nasser Witterung (Troxler, 2007).

Bei Schafen wäre die Hütehaltung ideal (ständige Behirtung). Gemäss Verordnung über Sömmerungsbeiträge (SöBV) werden mit Standweide, Umtriebsweide und ständiger Behirtung drei verschiedene Weidesysteme für Schafe unterschieden. Nach Schmidlin (2008) hat der Schafbestand in der Schweiz in den letzten 20 Jahren um über 60 Prozent zugenommen. Diese Tendenz könnte sich aufgrund der Rahmenbedingungen fortsetzen. Trotzdem wurden im Vergleich zum Jahre 2000 in den

Jahren 2006 bis 2009 ca. 11% weniger Schafe gesömmert. Eine ständige Behirtung der Schafe auf Alpweiden war früher weit verbreitet. Im Jahr 2009 wurden etwa 35 Prozent der Schafe ständig behirtet, 23 Prozent auf Umtriebsweiden und 43 Prozent auf Standweiden gesömmert. Der Anteil der ständig behirteten Schafe hat insbesondere von 2004 bis 2009 deutlich zugenommen, nachdem in den letzten Jahrzehnten die ständige Behirtung bei der Schafsömmernung in den Hochalpen aus Kostengründen zugunsten des freien Weidegangs (Standweide) zurückgegangen war. Eine schlechte oder gar keine Weideführung kann schwerwiegende Schäden an der Vegetation hervorrufen, einerseits infolge eines zu hohen Weidedrucks auf den hochgelegenen Weidepartien und andererseits ist das Problem der Verbuschung und Verwaldung von tiefer gelegenen Alpflächen durch Unterbeweidung nicht gelöst. Wichtig bei der Weidetechnik ist auch der Zeitpunkt (Beginn, Ende), die Dauer und der Zyklus der Beweidung.

Bezüglich der Situation der Heimweiden schreibt Schmidlin (2008), dass in den vergangenen Jahrzehnten der Arbeitskräftebesatz je Flächeneinheit auf den Betrieben stark abgenommen hat. Insbesondere bei nasser Witterung blieben früher die Tiere im Stall. Das Gras auf steilen Flächen wurde gemäht und heimgeführt. Damit wurden die steilen Weiden geschont. Infolge der Verknappung der Arbeitskräfte werden die Tiere heute häufiger geweidet. Im Berggebiet werden die befahrbaren Grundstücke für die Gewinnung von Winterfutter geschnitten. Die steilen Flächen werden vermehrt beweidet. Gleichzeitig haben viele Betriebe aufgrund des sinkenden Milchpreises die Milchproduktion aufgegeben. Viele davon haben auf Mutterkuhhaltung umgestellt. Die Mutterkühe sind im Allgemeinen während der Vegetationsperiode auf der Weide. Die Beweidung von steilen Parzellen während und nach grösseren Niederschlägen mit schweren Tieren führen in einer ersten Phase zu Trittschäden und in späteren Phasen zu Hangrutschen. Standweiden führen zu Narbenauflockerungen, Wegbildungen, gegebenenfalls zu Verbuschung und Verunkrautung oder längerfristig zur Verwaldung. Auch Portionenweiden mit ungenügender Futterzuteilung können die Bodenstruktur zerstören und zu Bodenabtrag führen. Eine Weidepflege beinhaltet eine regelmässige Entbuschung, Narbenpflege und Problempflanzenbekämpfung.

Die wichtigsten Grundsätze zur Erosionsvermeidung im Sömmernungsgebiet und auf Weiden sind im Merkblatt „Bodenerosion im Sömmernungsgebiet“ der AGRIDEA (2009) zusammengefasst. Hier werden diese nochmals aufgezeigt, in Klammern werden jeweils weitere Autoren genannt:

- Kein Weidegang bei nassem Boden
- Weidegang mit Kühen bis max. 40% Neigung, mit Rindern (und Pferden) bis max. 60% Neigung, mit Schafen und Ziegen bis max. 80% Neigung (Schwarzelmüller 1989)
- Standortsbedingte Anpassung der Besatzstärke, Tierart und Tiertyp
- Erreichung eines Gleichgewichts zwischen Nutzung und Düngung
- Keine Düngung erosionsanfälliger Hänge mit stickstoffreicher Gülle (verringert Festigkeit der Grasnarbe und verändert deren botanische Zusammensetzung)
- kein freier Weidegang (Standweide) mit Schafen in Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung oder kurzer Vegetationszeit
- Auszäunen erosionsanfälliger Hangpartien

- Förderung von Mischweiden (Schaf-Rind-Ziegen-Pferd)
- Förderung der ständigen Behirtung auf Schafalpen, Alpzusammenlegungen
- Sicherstellung einer regelmässigen Weidepflege (z.B. Ausbessern von Narbenschäden, Koppelung, Mulchen, Problempflanzenbekämpfung).

Auf Umtriebsweiden sind folgende Grundsätze zusätzlich zu beachten (AGRIDEA 2009):

- Kurze Besatzzeit (1-2 Wochen Weidegang)
- Lange Ruhezeit, d.h. mind. 5-8 Wochen Ruhezeit für den Wiederaufwuchs)
- Rückzug der Tiere in trittfeste Weidekoppeln bei Schlechtwettereinbruch.

Der **Rebbau** ohne Grasbedeckung in den Zwischenzeilen hat eine schlechte Schutzwirkung bezüglich Bodenerosion (Hebel & Klik 2001). Wie beim Ackerbau nimmt die Erosionsgefahr im Rebbau ohne Bodenbedeckung in den Zwischenzeilen mit der Neigung der Parzelle und deren Hanglänge zu und kann durch ein ganzjähriges Begrünen der Zwischenzeilen vermindert werden (Feldwisch, 2001). Die Terrassierung von steilen Rebbergen führt zu einer Abnahme der erosiven Hanglänge und der Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses und daher zu einer Abnahme der Erosion. Eine Terrassierung gibt zumeist die Bewirtschaftungsrichtung vor, diese erfolgt quer zum Hang. Die Entfernung von Terrassen und die Anlegung von Rebbergen mit einer Bewirtschaftung in Hangrichtung fördert die Erosionsbereitschaft. Im **Obstbau** gelten ähnliche Voraussetzungen.

### 3.2.2 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Die landwirtschaftliche Infrastruktur kann bei standortunangepasster Lage erosionsfördernd wirken, sie kann aber auch wesentlich zur Erosionsvermeidung beitragen. Bei der Planung und Durchführung von Meliorationen und beim Bau von landwirtschaftlicher Infrastruktur ist der Erosionsschutz ein wesentliches Planungsziel. Das moderne Meliorationswesen und das Landmanagement stellen wirksame Instrumente zur Erosionsbekämpfung dar. Die landwirtschaftliche Infrastruktur kann sowohl im Ackerbau als auch im Grasland und im Obst- und Weinbau durch die Begrenzung der erosiven Hanglänge, durch die standortangepasste Anlage von Erschliessungswegen, durch die Instandhaltung von Terrassen und Entwässerungsanlagen und durch die Förderung der Strukturvielfalt wesentlich zur Erosionsverminderung beitragen. In der Vergangenheit führte aber der landwirtschaftliche Wegebau häufig zur Verstärkung oder zur Auslösung von Erosion. Insbesondere defekte Entwässerungssysteme des ländlichen Wegenetzes führten häufig zu Erosion auf angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen. Nach Hellebart (2006) können die Erosionsschäden durch den Alpwegebau durch landschaftsangepasste Linienführung, durch Meidung geologisch sensibler Zonen, durch sofortige Begrünung der Böschungen, durch naturnahe Rekultivierungen und durch schadlose Abfuhr der Oberflächenwässer vermindert werden. Weitere Hinweise werden in den Kapiteln 3.2.3 und 6 gegeben.

Bezüglich der Weidelenkung ist bei der Installation von Wassertränken, fahrbaren Melkständen und Unterständen auf die Vegetation und die Erosionsgefährdung Rücksicht zu nehmen, da der Weidedruck und die Trittwirkung um diese Wasserstellen deutlich höher ist als auf der übrigen Weide.

Für Massnahmen im Hinblick auf die landwirtschaftliche Infrastruktur geben Hellebart (2006), Legner et al. (2006) oder Troxler (2007) den folgenden Überblick:

- Beim Bau von Erschliessungswegen soll konsequent der aktuelle Wissensstand zur Vermeidung von Auswirkungen auf Oberflächenabfluss und Erosion eingehalten werden.
- Bei Be- / Entwässerungen müssen die Gräben und Drainagen erhalten bleiben und in ihrer Funktionstüchtigkeit periodisch überprüft werden.
- Die Mist- bzw. Güllebehälter und deren Leitungen sind in einer ausreichenden Grösse zu dimensionieren.
- Bei den Alpgebäuden sind die Dachwässer zur Versickerung zu bringen oder schadlos in einen Vorfluter einzuleiten.
- Die Ableitung der Oberflächenwässer von Parkplätzen oder Hofräumen muss drucklos in einen Vorfluter erfolgen. Damit nicht so viel Oberflächenwasser anfällt, sollen die Plätze möglichst klein gehalten werden.
- Die Anwesenheit des Alppersonals ermöglicht eine laufende Kontrolle und Sanierung von kleinen Erosionsherden.

### 3.2.3 Fazit

Erosionsprozesse sind im Wesentlichen durch die klimatischen, geologischen, pedologischen und topographischen Standortbedingungen vorgegeben. Die Landwirtschaft kann durch die Anpassung und Berücksichtigung der Standortbedingungen in der Bewirtschaftung Erosionsprozesse vermeiden und verringern, bei standortunangepasster Bewirtschaftung aber wesentlich verstärken. Wichtigster Faktor der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung ist eine dauernde und ausreichende Bodenbedeckung. In Ackerbauflächen, wo dies zumindest temporär nicht gewährleistet werden kann, ist besonders auf die topographischen Bedingungen zu achten. Liegen Ackerbauflächen in erosionsgefährdeten Gebieten, so kann die Landwirtschaft mit Massnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses, zur Erhaltung der Aggregatstabilität des Bodens, mit einer Anpassung der Bewirtschaftungsform und -richtung oder mit der Wahl der Kulturart die Erosionsgefahr verringern. Im Sömmerungsgebiet ist eine standortangepasste Beweidung wichtig. Eine extensive Nutzung, die Wahl der Tierart, ein dem Standort entsprechendes Weidemanagement und eine regelmässige Beweidung und Weidepflege sind die ausschlaggebenden Faktoren für den Erosionsschutz im Sömmerungsgebiet.

Die landwirtschaftliche Infrastruktur kann sowohl im Ackerbau als auch im Grasland und im Obst- und Weinbau durch die Begrenzung der erosiven Hanglänge, durch die standortangepasste Anlage von Erschliessungswegen, durch die Instandhaltung von Terrassen und Entwässerungsanlagen und durch die Förderung der Strukturvielfalt wesentlich zur Erosionsverminderung beitragen. Wie im



Kapitel zum Oberflächenabfluss aufgezeigt, kann der Erhalt der Strukturvielfalt wesentlich zur Förderung der Versickerung und zur Abbremsung des Oberflächenabflusses beitragen. Strukturelemente wie Terrassen, Hecken, Waldpartien und Säume, insbesondere in steileren Hangbereichen oder Tiefenlinien tragen damit zum Erosionsschutz bei. Das moderne Meliorationswesen und das Landmanagement stellen wirksame Instrumente zur Erosionsbekämpfung dar.

### 3.3 Flachgründige Rutschungen

In der vorliegenden Arbeit werden hauptsächlich flachgründige Rutschungen behandelt, weil die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf mittel- und tiefgründige Rutschungen sehr beschränkt sind. Flachgründige Rutschungen sind definiert als Rutschungen mit einer Mächtigkeit von bis zu 2 m und können als kontinuierliche oder als spontane Prozesse auftreten. Es werden hier hauptsächlich Bodenrutschungen betrachtet, die Mächtigkeit in diesem Fall beträgt höchstens die durchwurzelte Tiefe.

Spontane Rutschungen können sich durch Verflüssigung des Materials zu Hangmuren entwickeln. Bei Einmündung in ein Fließgewässer kann eine Rutschung einen Murgang auslösen. In der vorliegenden Arbeit wird nur das Abgleiten eines Rutschkörpers en bloc behandelt, das Abtragen des Bodens durch Erosion wird im vorhergehenden Kapitel behandelt. Rutschungen werden von den Erosionsphänomenen zusätzlich über eine Mindestgröße der betroffenen Fläche von 25 m<sup>2</sup> abgegrenzt. Im Nordalpenraum werden flachgründige Rutschungen im Landwirtschaftsgebiet auch als Blaiken oder Translationsbodenrutschungen bezeichnet (Bunza 1984).

Für eine Auflistung der Einflussfaktoren gibt die Analyse von dokumentierten Ereignissen Aufschluss (z.B. Rickli et al. 2008). Die Grunddisposition wird von den vorgegebenen Standortfaktoren Exposition, Hangneigung, Hanggeometrie, Geologie, Bodentiefe, Verlauf der Sickerlinie und die Scherfestigkeit beeinflusst. Die variable Disposition für flachgründige Rutschungen wird von mehreren Faktoren beeinflusst. Im Wesentlichen wird die Stabilität von Hangbereichen von der Balance zwischen hydrologischen und bodenmechanischen Effekten beeinflusst. Neben den Bodeneigenschaften, der Geologie und Topographie bildet das Wasser eine entscheidende Rolle. Es erzeugt hydrostatische Drücke in Poren, Klüften und Spalten. Veränderungen im Kräftegleichgewicht zwischen stabilisierenden und destabilisierenden Faktoren infolge physikalischer oder chemischer Prozesse beeinflussen die Aktivität von Rutschungen. Eine spontane Rutschung wird meist durch einen plötzlichen Verlust der Scherfestigkeit im Falle von Kohäsionsverlust, Reduktion des Reibungswinkels oder Zunahme des Porenwasserdruckes ausgelöst (Bollinger et al. 2004). Kausal sind spontane Rutschungen durch die Materialeigenschaften (innere Reibung, Kohäsion) und/oder Wasserdruck (Porenwasser, Strömungsdruck) bedingt. Auslösendes Ereignis ist meist ein Niederschlagsereignis, die Schneeschmelze oder eine Zufuhr an Wasser in einen Hangbereich.

### 3.3.1 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann über die Beeinflussung der Vegetation und des Bodens die Disposition von flachgründigen Rutschungen beeinflussen. Es existiert relativ wenig Literatur zum unmittelbaren Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Entstehung flachgründiger Rutschungen wie z.B. während Unwetterereignissen. Das meiste Wissen in diesem Bereich basiert mehr auf Beobachtungen als auf wissenschaftlichen Untersuchungen. Mehr Literatur findet sich zum Einfluss auf die Bodeneigenschaften und auf die Eigenschaften der Vegetation wie Durchwurzelungseigenschaften.

Der Einfluss der Vegetation auf die Disposition von Rutschungen kann sowohl positiv als auch negativ sein. Die Vegetation steuert die Interzeption und Infiltration von Niederschlägen und damit den Oberflächenabfluss. Je mehr Wasser oberflächlich abfließt, umso weniger kann in den Hang eindringen und zum Aufbau eines hohen Porenwasserdruckes beitragen. Dieser Effekt dauert nur über eine gewisse Zeit des Niederschlagsereignisses an. Die Vegetation hat ausserdem Einflüsse auf die Evotranspiration und damit über das Ausmass des Bodenwassergehaltes kurz vor einem Niederschlagsereignis. Unterhalb der Bodenoberfläche hat die Vegetation Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und auf die mechanische Stabilität. Die Wurzeln haben Einfluss auf den Bodenaufbau wie Porosität und Aggregatstabilität. Die Art der Vegetation und damit die Durchwurzelungsdichte und die Wurzeltiefe haben Einfluss auf die Gründigkeit von Rutschungen (Frei 2009, Tasser et al. 2003, Rickli & Bucher 2003). Im Freiland reicht der Einflussbereich des Hauptwurzelsraums bis in eine Tiefe von max. 1 m (Rickli & Bucher 2003). Umgekehrt widerspiegelt die Vegetationszusammensetzung die klimatischen, topographischen, hydrologischen und pedologischen Standortbedingungen wieder.

Die Wirkung der Vegetation auf oberflächennahe Rutschungen wurde insbesondere am Beispiel der Unwetterereignisse im Jahre 1997 in Sachseln, Kanton Obwalden (Rickli et al. 2001) und der Ereignisse im Jahre 2002 im Napf-Gebiet und im Appenzell untersucht (Rickli & Bucher 2003). Die Untersuchungen in Sachseln ergaben eine verhältnismässig grössere Anzahl an Rutschungen auf stärker bewirtschafteten Alpgeländen als in bewaldeten Gebieten. Rutschungen im Wald wiesen im Durchschnitt die höheren Hangneigungen und kleinere Flächen auf. Innerhalb der Landnutzungskategorie „Freiland“ wurde auf Weiden die höhere Anzahl an Rutschungen als auf Mähwiesen beobachtet. Die Neigungsverhältnisse der Rutschungen auf Weiden waren etwas grösser als auf Mähwiesen, dies entspricht der Verteilung der durchschnittlichen Neigungsverhältnisse dieser beiden Nutzungskategorien. Beweidete Flächen sind im Durchschnitt steiler als Mähwiesen. 95% der in diesen beiden Unwetterereignissen dokumentierten Rutschungen im Freiland zeigten durchwegs Zeigerpflanzen mit frischen bis feuchten Standorteigenschaften auf. Rutschungen auf vernässten Standorten wurden wenige beobachtet. Vielfach treten flachgründige Rutschungen an Bewirtschaftungsgrenzen auf (z.B. am Übergang von Wald zu beweideter Fläche oder Wiesland oder von Wiesland zu beweideter Fläche). In der Regel sind die Änderungen in der Bewirtschaftung mit Neigungsänderungen verbunden, eine eindeutige Beurteilung der Einflussfaktoren ist darum schwierig.

Eine unterschiedliche Wirkungsweise von Wald- und Freilandvegetation konnte mit diesen Analysen nicht klar quantifiziert werden, in einigen Aspekten weist die Waldvegetation deutlichere Eigenschaften in Bezug zur Verringerung der Rutschungsdisposition im Vergleich zur Freilandvegetation auf (Rickli & Bucher 2003, Rickli et al. 2004). Die Auswertungen zeigten, dass Rutschungen im Wald im

Durchschnitt eine um 2 bis 5° höhere Hangneigung aufweisen (Rickli et al. 2008). Zwischen den unterschiedlichen Bewirtschaftungsformen Weide oder Wiese konnten keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Ausmasse oder Neigungsverhältnisse festgestellt werden, flachgründige Rutschungen sind aber in beweideten Flächen häufiger zu beobachten (Rickli et al. 2008). Intensiv genutzte und beweidete Alpweiden waren während der Unwetterereignisse von 1997 in Sachseln stärker betroffen als extensiv genutzte (Rickli 2001). Drei Viertel der in den Ereignissen von 1997, 2002 und 2005 dokumentierten Rutschungen befanden sich in vorwiegend beweideten Flächen (Rickli et al. 2008). Rickli & Bucher (2003) beobachteten häufig Anrisse von Rutschungen entlang von Viehtrittwegen. Rickli et al. (2008) gehen davon aus, dass Trittbermen das Einsickern des Wassers in den Boden erleichtern. Inwiefern sich die Beweidung und die damit verbundenen Bodenverdichtung und Veränderungen der Pflanzensammensetzung auf die Hangstabilität auswirken, ist nicht quantifizierbar. Krauer (2004) konnte für die Ereignisse in der Surselva im Jahr 2002 keine klaren Hinweise zum Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf das Vorkommen von flachgründigen Rutschungen aufzeigen.

Verschiedene Autoren beobachteten eine erhöhte Anfälligkeit von intensiv genutztem Grasland für Rutschungen. Die Erfahrungen zeigten auch unterschiedliche Auswirkungen der verschiedenen Düngerarten auf. Durch nicht angepasste Düngung, Bodenverdichtung aufgrund des Viehtritts und durch das Frassverhalten von Weidevieh kommt es auf Weideflächen zur Veränderung der Pflanzensammensetzung und damit zu Änderungen der Durchwurzelungseigenschaften (Wyl 1987, BAFU 2006, Krauer 2004, Hellebart 2006, Schauer 1975, Tasser et al. 2001, 2003). Teilweise wird von einem Abgleiten des Oberbodens am Wurzelhorizont berichtet. Nach BAFU (2010) weisen nährstoffarme Wiesen und Weiden weniger Rutschungen auf, da auf diesen Flächen zugfestere, verholztere und dichtere Wurzeln und eine dauernde Bodenbedeckung zu erwarten sind, die Feinwurzeln eine höhere Trockenresistenz aufweisen und Schwundrisse weniger häufig sind. Die für Rutschungen charakteristischen Vegetationseinheiten zeigt Schauer (1996) auf. Tasser et al. (2001) zeigen eine statistisch signifikante Erhöhung an Rutschungen mit einer durchschnittlichen Anbruchtiefe von 25-35 cm auf Flächen mit einer geringen Durchwurzelungsdichte in dieser Tiefenstufe auf. Die Durchwurzelungsdichte und deren Verteilung werden nach Tasser et al. (2001) über die Bodeneigenschaften und über die Vegetationszusammensetzung und somit von der Bewirtschaftung beeinflusst. Neben der Durchwurzelungsdichte muss auch die Wurzelausformung betrachtet werden, die im Wesentlichen von den Standortbedingungen bestimmt wird.

Tasser et al. (2001, 2003) beobachteten, dass Rutschungsflächen auf Wiesen und Weiden häufig einen geringeren Bodenbedeckungsgrad der Gräser, eine geringere Wurzellänge pro Flächeneinheit und einen höheren Deckungsgrad an Zwergsträuchern aufweisen. Tasser et al (2001) zeigen auf, dass auf jungen Weiden, d.h. auf Mähwiesen, die neu beweidet werden, Rutschungen und Trittschäden vermehrt auftreten. Negative Auswirkungen auf die Hangstabilität haben hingegen ein unregelmäßiger Weidebetrieb auf grossflächigen, unterbestossenen Alpen (Schauer 1975) und die Gewichtszunahme der Weidetiere (Blechschild 1990).

Ausgangspunkte von Rutschungen sind häufig Stellen mit Verletzungen der Grasnarbe durch Erosion oder Schneeschurf oder Trittstellen.

### 3.3.2 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Strukturelle Massnahmen der Landwirtschaft können über die Modifikation der Geländeoberfläche, des Bodens und über Entwässerungsmassnahmen Einfluss auf die Disposition für Rutschungen nehmen. Ein wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit der Nutzung sind nicht standortgemäss angelegte Bewirtschaftungswege, entlang deren Einflussbereiches flachgründige Rutschungen entstehen können. Mögliche nachteilige Auswirkungen der Erschliessungen bestehen darin, dass die künstlichen Böschungen zu steil ausgebildet wurden, dass das Strassenwasser unsorgfältig in den unterliegenden Hang abgeleitet wird, dass Entwässerungssysteme und Strassendurchlässe versagen mit der Folge, dass das Bachwasser entlang der Strasse fliesst und irgendwo konzentriert in den Hang eingeleitet wird und dass Bodenmaterial von anderen Rutschungen auf der Strasse abgelagert und dadurch wiederum Strassenwasser konzentriert in den Hang eingeleitet wird (Rickli et al. 2008). Ebenfalls kann es vorkommen, dass Aufschüttungen oder Hanganschnitte den Hangwasserzug beeinflussen. Bei den Unwetterereignissen von 2005 wurden zwischen 5 und 18% aller Rutschungen entlang von Strassen ausgelöst (Rickli et al. 2008). Ebenso sind nicht mehr funktionierende Entwässerungsanlagen oder alte Hangverbauungen oftmals Ursprung von flachgründigen Rutschungen. Bei technischem Versagen von Bewässerungsanlagen können grosse Mengen an Wasser ausfliessen. In Hanglagen kann dieses zur Auslösung von Rutschungen führen. Ein Defekt an einem Steuerungsventil einer Bewässerungsanlage verursachte beispielsweise im Jahr 2010 in Südtirol die Auslösung einer Rutschung, die zum Entgleisen eines Zuges und zu mehreren Todesfällen führte.

Terrassenanlagen wie sie im Rebbau üblich sind, haben im Hinblick auf flachgründige Rutschungen eine stabilisierende Wirkung. Diese Wirkung von Terrassen basiert auf der Beschränkung der erosiven Hanglänge. Inwieweit Terrassenanlagen aber tiefgründige Rutschungen beeinflussen können, ist ungeklärt.

Umgekehrt können umsichtig und an die Standortbedingungen angepasste Anlagen oder integrale Bewässerungs- und Wasserableitungskonzepte wesentlich zur Vermeidung und Verhinderung von flachgründigen Rutschungen beitragen. Beispiele hierfür sind die hangparallel angelegten offenen Bewässerungsanlagen (Suonen), die auch zur Sammlung und Ableitung von Oberflächenabfluss dienen oder Weganlagen oder sonstige Strukturelemente, die den Oberflächenabfluss steuern.

## 3.4 Schneegleiten und Schneelawinen

Unter Lawine wird eine schnelle Massenbewegung des Schnees mit einem Volumen von mehr als 100 m<sup>3</sup> und einer Länge von mehr als 50 m verstanden (European Avalanche Warning Services). Rasche Massenbewegungen des Schnees mit einer Grössenordnung unter diesen Schwellenwerten werden als Schneerutsche bezeichnet.

Im Gegensatz zu den schnellen Massenbewegungen führt das Schneegleiten zu einer langsamen Hangabwärtsbewegung der Schneedecke. Dieser Vorgang wird im Allgemeinen durch glatten oder feuchten Untergrund wie langhalmiges Gras, Felsplatten oder hangwasserzügige Geländeabschnitte

begünstigt. Die Bewegungsrate reicht von einigen Millimetern bis einigen Metern pro Tag. Dabei können in der Schneedecke Gleitschneerisse (sog. Fischmäuler) entstehen. In manchen Fällen kann eine starke Gleitbewegung in ein rasches Abgleiten der Schneedecke als Lawine übergehen. In diesem Fall spricht man von Gleitschneerutsch oder einer Gleitschneelawine. Lawinen können eine hohe kinetische Energie aufweisen und gefährden Personen, Gebäude und Infrastruktur. Schneegleitprozesse können in bestimmten Situationen einen hohen Druck auf Gebäude oder Infrastruktur aufbauen und zur Zerstörung der exponierten Objekte führen.

Im Folgenden werden die Möglichkeiten der Beeinflussung von Lawinen und Schneegleitprozessen durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Infrastruktur zusammenfassend beschrieben.

### **3.4.1 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung**

Wie bei den im Vorhergehenden beschriebenen Prozessen müssen die standortsbedingten und klimatologischen Voraussetzungen für die Disposition von Lawinen gegeben sein. Die Landwirtschaft kann die vorgegebene Disposition verstärken oder abschwächen.

Die Disposition für Lawinen wird im Wesentlichen durch die Beschaffenheit der Oberfläche und deren Rauigkeit bestimmt. Geländeunebenheiten oder Vegetation mit einer Höhe grösser als die Schneemächtigkeit wie beispielsweise Wald unterbrechen die Schneedecke, stören den Schneedeckenaufbau, beeinflussen den Energiehaushalt und beugen dem Aufbau grossflächiger Spannungen innerhalb der Schneedecke vor. Diese Voraussetzungen sind bei der landwirtschaftlichen Nutzung meist nicht gegeben. In der Literatur konnten keine bzw. nur wenige Hinweise auf die Beeinflussung von Schneelawinen durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung gefunden werden. Ausnahme bilden lediglich Schneerutsche und Schneelawinen, die aus Schneegleiten hervorgegangen sind. Die Unterschiede in der Oberflächenrauigkeit zwischen den verschiedenen Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft sind gering, deshalb können hier keine wesentlichen Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung aufgezeigt werden. Ein bescheidener Beitrag zur Erhöhung der Disposition für Lawinen liegt in der Aufgabe von Wiesen und Weiden (Leitinger 2003, Leitinger et al. 2004, 2008). Nach der Nutzungsaufgabe können sich in bestimmten Fällen ausgedehnte Zwergstrauchheiden entwickeln, die bei gegebenen topographischen Voraussetzungen zu einer Erhöhung der aufbauenden Metamorphose in den tiefen Schichten der Schneedecke (Schwimmschnee) und damit zur Bildung von Schwachstellen in der Schneedecke führen (Aichinger 1981). Der Einfluss dieses Phänomens auf die Bildung von grossen Lawinen ist begrenzt. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang nur, dass die Landwirtschaftsflächen im Vergleich zu Wald das Anreissen von Lawinen begünstigen (In der Gand 1968, Leitinger et al. 2003, 2008).

Im Gegensatz zu den Lawinen kann die Landwirtschaft das Vorkommen und die Intensität von Schneegleiten beeinflussen. Die Geschwindigkeit bei Schneegleitphänomenen ist abhängig von der Hangneigung, der Schubspannung, der Schnee- und Gleitflächentemperatur, vom Gewicht der Schneedecke sowie vom Feuchtegehalt der Gleitfläche (In der Gand 1968). Schneegleiten tritt deshalb häufig auf südexponierten steilen Hangbereichen mit homogenen Neigungsverhältnissen auf. Eine der entscheidenden Bedingungen für das Zustandekommen des Schneegleitens ist das Vorhandensein einer verhältnismässig glatten Bodenoberfläche oder Vegetationsdecke. Verschiedene Autoren

(Hellebart 2006, Lackinger 1987, Legner 2006, Leitinger et al. 2008, Neweseley et al. 2000, Schwarzmüller 1989, Spadinger 2000, Tasser et al. 2005) berichten über eine Zunahme der Gleitgeschwindigkeit nach einer Abnahme der Oberflächenrauigkeit durch Planierungen, Geländeeinebnungen und nach einer Aufgabe einer regelmässigen Beweidung oder Mahd. Das Aufgeben der Mahd und der Beweidung führt zum Aufkommen von langhalmigen Grasbeständen, die sich auf den Boden legen und damit wie eine glatte Gleitfläche für die Schneedecke wirken. Tasser et al. (2001) und Legner (2006) haben eine Erhöhung der Gleitwege von über 500% nach einer Bewirtschaftungsaufgabe von Weiden oder Mähwiesen festgestellt.

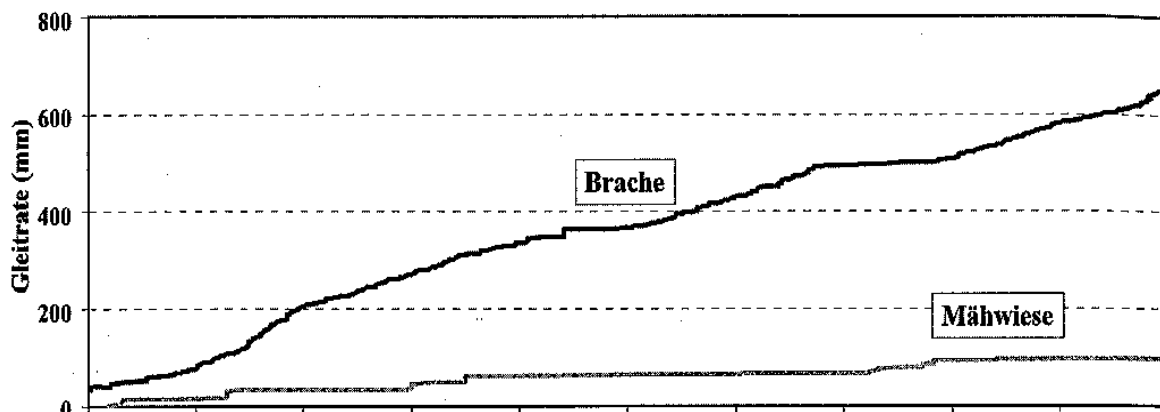


Abbildung 32: Schneegleitwege im Vergleich zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Landwirtschaftsflächen. Quelle: Tasser et al. (2001).

Die Erhöhung der Gleitrate führt zu einer Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Gleitschneerutschen und Gleitschneelawinen (Leitinger et al. 2003, Neweseley et al. 2000). Auf beweideten Hängen mit deutlichem Viehtritt und höhenlinienparallelen Trittschritten ist die Oberflächenrauigkeit erhöht, auf diesen Flächen ist das Schneegleiten deutlich vermindert (Tasser et al. 2005, Legner 2006).

Eine zweite wichtige Bedingung für das Auftreten von Schneegleiten ist die Bildung einer Nassschnee-Grenzschicht oder eines Wasserfilms an der Basis der Schneedecke (In der Gand 1968). Eine Zunahme des Wassergehalts in der Schneedecke oder an der Bodenoberfläche führt zum Übergang von trockener Gleitreibung zu nasser Gleitreibung und damit zu einer sprunghaften Zunahme der Gleitrate. Die Bildung von Nassschneeschichten durch Schmelzprozesse kann durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht beeinflusst werden, diese sind im Wesentlichen ein Resultat der Witterung. Ein dichter Wurzelfilz und ein dichter Grasfilz an der Bodenoberfläche verringert unter ungünstigen Umständen die Einsickerung des Schmelzwassers aus der Schneedecke und fördert damit das Schneegleiten.

Das Aufkommen von horstbildenden Grasbeständen und starrwüchsigen Pflanzengesellschaften auf Wiesen und Weiden kann bei geringen Schneemächtigkeiten das Schneegleiten verringern, bei grossen Schneemächtigkeiten kann es sein, dass diese in die Schneedecke einfrieren und bei Schneegleiten aus dem Boden gerissen werden. Damit werden die Ausgangspunkte für Erosionsphänomene geschaffen (Tasser et al. 2005). Die intensive Düngung auf Flächen mit topographisch bedingter Disposition für Schneegleiten führt zu einer Reduktion der Durchwurzelungsdichte und -tiefe und damit

zu einer Verringerung der stabilisierenden Durchwurzelung von Grasbeständen. Dies fördert das Aufreissen der Bodenbedeckung durch Schneegleiten (Schneeschorf).

Schneegleiten kommt häufig auch bei hofnahen Mähwiesen vor. In diesen Fällen und bei aussergewöhnlichen nivometeorologischen Verhältnissen kann dies zu einer Beschädigung von Gebäuden und bei spontanem Abreissen der Schneedecke zur Verschüttung von Personen führen. Insbesondere das ländliche Wegenetz ist den Gleitschneerutschen ausgesetzt. Für das ländliche Wegenetz spielt das Schneegleiten häufig eine grosse Rolle bei der Instandhaltung. Zischg (2009) hat die Bedeutung dieser Prozesse für das Schadenpotenzial in einem Pilotgebiet aufgezeigt. Aus den zitierten Ausführungen können folgende Massnahmen abgeleitet werden, mit denen die landwirtschaftliche Bewirtschaftung die Disposition für Lawinen und Schneegleitprozesse vermindern kann:

- Eine regelmässige Beweidung von Dauerweiden mindert das Aufkommen von starrwüchsigen Zwergsträuchern und damit das Einfrieren der Vegetation sowie das Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten und damit eine Bildung von Narbenschäden
- Auf Weiden kann eine Nachmahd im Herbst das Einfrieren der Vegetation sowie das Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten verhindern.
- Eine naturbedingt gegebene hohe Geländerauigkeit ist beizubehalten, Planierungen in Geländebereichen mit topographisch und klimatisch gegebener Disposition für Schneegleiten sind zu vermeiden
- Eine regelmässige Pflege oder Mahd der Grasnarbe verringert die Angriffspunkte für Schneeschorf.

### 3.4.2 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Hangterrassierungen und sonstige Unterbrechungen von stark geneigten Hängen wie Baumreihen, Trockenmauern oder Erschliessungswege führen zu einer Unterbrechung der Schneedecke und ihrer Schwachschichten sowie zu einer Verzahnung der Schneedecke mit der Oberfläche (In der Gand 1968). Jede Art von Strukturelementen, die zu einer deutlichen Unterbrechung der Gleichmässigkeit von Hangbereichen führen, wie beispielsweise Hangterrassierungen oder entsprechend angelegte Weganlagen haben eine ähnliche Funktion wie Berme für den Gleitschneeschutz und bewirken deshalb eine Abnahme der Gleitgeschwindigkeit und des Gleitweges.

In diesem Sinne sind die Erhaltung der Strukturvielfalt und der Strukturelemente sowie die strikte Ausnutzung der Möglichkeiten des Landmanagements der wesentlichste Beitrag der Landwirtschaft zur Kontrolle des Schneegleitens und der Lawinengefahr.

### 3.5 Flurbrand

Als Flurbrand wird hier ein Brand der Biomasse auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen verstanden. Voraussetzungen für das Entstehen von Flurbrand ist das Vorhandensein von ausreichend brennbarem Material, das Vorhandensein von genügend Sauerstoff, die Entstehung von brennbaren Gasen und eine auslösende Energie zur Zündung des Feuers (FAO 2002). Unabdingbare Voraussetzung für die Entstehung von Feuer ist ein geringer Wassergehalt des brennbaren Materials. Dies bedingt ein entsprechend trockenes und warmes Klima, das die Evotranspiration fördert. Ausgedehnte Trockenheitsperioden fördern die Austrocknung der Biomasse.

Ein Flurbrand kann natürliche oder anthropogene Ursachen haben. Zu den natürlichen Ursachen gehören die Entzündung von brennbarem Material durch besondere Umweltbedingungen oder Blitzschlag (1-5% aller Fälle, FAO 1999, Valesse 2008). Nur in Österreich sind natürliche Ursachen häufiger (Valesse 2008). Verschiedene Autoren berichten von einer Zunahme der Häufigkeit einer Auslösung von Wald- und Flurbränden durch Blitzschlag (Conedera et al. 2006, Schumacher 2004, Gossow et al. 2008, Keeley et al. 1999). In den meisten der Fälle (95%) ist die Auslösung von Flurbrand durch absichtliches oder unabsichtliches Zünden bedingt. Letzteres kann beispielsweise durch offenes Feuer im Freien, durch weggeworfene Zigarettenstummel, durch Funkenschläge von Maschinen, elektrischen Leitungen oder Zügen oder durch militärische Übungen im Gelände erfolgen. Seit das frühere kontrollierte Abbrennen von Weideflächen und v.a. das Abbrennen von Pflanzenrückständen auf dem offenen Feld auf der Alpensüdseite verboten wurde, nahm die Häufigkeit von Flurbrand ab. Eine Übersicht über die zeitliche Entwicklung von Wald- und Flurbränden geben Conedera et al. (2009), Conedera & Krebs (2007) und Telesca et al. (2010). Eine statistische Auswertung der Häufigkeit von Flurbrand auf verschiedenen Landnutzungsarten in Sardinien zeigte, dass Flurbrände weniger häufig als Waldbrände sind (Pintus o.J.). Bei den landwirtschaftlichen Nutzungstypen fällt auf, dass auf Wiesen und Weiden und v.a. auf Schafweiden die höchste Anzahl an Flurbränden beobachtet wurden, gefolgt von holzigen Dauerkulturen (Pintus o.J.). Mit Ziegen beweidete Flächen haben eine geringere Häufigkeit.

Flurbrand ist zumeist ein sehr lokales Phänomen und auf kleine Flächen begrenzt. Das Phänomen kann eine direkte Bedrohung von Personen oder Sachwerten verursachen, es kann aber auch zu Waldbränden und damit zu einer wesentlichen Ausbreitung des Feuers führen. Flurbrand zerstört die Bodenbedeckung und fördert damit Oberflächenabfluss und Erosionsprozesse (Cerdea & Robichaud 2009, Larsen et al. 2009, Marxer 2003, Providoli et al. 2002) und in alpiner Topographie Wildbachprozesse. Mit dem Oberflächenabfluss und der Erosion gehen viele Nährstoffe verloren, so dass nach einer vorübergehenden Erhöhung des pH-Wertes durch die Asche auch mit Fertilitätseinbußen zu rechnen ist (Conedera 2009). Durch diese Faktoren kann es zu einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung kommen. Nach Flurbränden ist das vermehrte Aufkommen von Adlerfarn, Ginster und Fiederzwenke zu erwarten. Diese Pflanzen führen zu einer Zunahme des brennbaren Materials auf der Fläche und erhöhen wiederum die Brandgefahr (Marxer 2003). Im mediterranen Raum berichten Moreira & Russo (2007) auch von positiven Effekten von Bränden kleineren Ausmasses auf die Biodiversität.



### 3.5.1 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

Im Gegensatz zu den Waldbränden ist Flurbrand wenig wissenschaftlich untersucht. Vor allem quantitative Angaben zu den Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung fehlen.

Die Landwirtschaft kann das Auslösen von Flurbrand nicht verhindern sondern nur den Brand indirekt beeinflussen. Der Anbau von stark wasserhaltigen Pflanzen oder Pflanzen, die auch bei Trockenheit einen Wassergehalt enthalten reduziert die Brandgefahr. Abgestorbene Pflanzenreste oder ein dichter Grasfilz können stark austrocknen und brennbares Material bereitstellen (Bernaldez 1991). Dies fördert damit sowohl die Entstehung als auch die Ausbreitung von Flurbrand. Generell ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Feuer auf landwirtschaftlichen Flächen geringer als im Wald.

Durch eine regelmässige Bewirtschaftung v.a. in trockenen Gebieten kann die Landwirtschaft das Ausmass von Flurbränden durch die Verhinderung von Akkumulation leicht brennbarer Substanz auf dem Feld verringern. Eine Nutzungsaufgabe führt in den meisten Fällen zu einer Zunahme von brennbarer Substanz auf der Fläche (Moreira & Russo 2007). Die Verbrachung ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Flurbrandgefahr. Es gibt Beispiele, in denen Gemeinden ein Bewirtschaftungsgebot zur Verringerung der Flurbrandgefährdung veranlassen.

### 3.5.2 Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Über Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Infrastruktur auf die Disposition für Flurbrand konnten keine Hinweise in der Literatur gefunden werden. Einige indirekte Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur können aber aus den oben beschriebenen Eigenschaften abgeleitet werden. Eine entsprechende Erschliessung von peripheren Landwirtschaftsflächen mit einem Wegenetz vermindert wesentlich die Vergandung und kann damit positiv zur Vermeidung von Flurbrand beitragen. Erschliessungswege erlauben einen Zugang zu den Brandflächen, auch zu Waldbrandflächen und bewirken somit eine Zeiteinsparung bei der Brandkontrolle und Brandlöschung. Wasserspeicher und die Infrastruktur für die landwirtschaftliche Bewässerung dienen zum Bereitstellen von Löschwasser, sie sind damit multifunktionelle Einrichtungen.

## 4 Verkettung von Faktoren und indirekte Wirkungen

Die aufgezeigten Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren (Kapitel 3 und Anhang 1) können nicht isoliert betrachtet werden. Zwischen ihnen bestehen vielfältige Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. In diesem Kapitel werden diese Wechselwirkungen zwischen den Faktoren und indirekte Wirkungen auf die Naturgefahren zusammengefasst. Die Aussagen basieren auf den oben beschriebenen Sachverhalten, auf eine wiederholte Zitierung wird hier deshalb verzichtet. Die Zusammenfassung erfolgt unter dem Aspekt des Auftrags aus der Sicht des risikobasierten Entscheidens und damit aus der Sicht des Schadenpotenzials. Für eine zusammenfassende Darstellung der Wirkungsketten ergeben sich im Wesentlichen die folgenden Standorttypen:

- a) Alpine Wildbacheinzugsgebiete und Wildbacheinzugsgebiete im Alpenvorland mit von Hochwasser- und Wildbachprozessen bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen
- b) Hangbereiche mit durch Massenbewegungsgefahren bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen, entweder im Hangbereich selbst oder am Hangfuss lokalisiert
- c) Grossräumige Einzugsgebiete von Flüssen mit durch Hochwassergefahren bedrohten Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen

### a) Wildbacheinzugsgebiete

In Wildbacheinzugsgebieten mit einem höheren Flächenanteil von landwirtschaftlichen Nutzflächen im Vergleich zu Wald spielt der Oberflächenabfluss generell eine Rolle für den Spitzenabfluss. In Einzugsgebieten mit einem Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche von bis zu 20-30% an der Gesamtfläche spielt die Beeinflussung der Hochwasserabflüsse durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nur eine geringe Rolle. Ein hoher Oberflächenabfluss führt im Allgemeinen zu einer höheren Transportkapazität und zu einer höheren Sohlen- und Seitenerosion.

In zentralalpinen steilen Wildbacheinzugsgebieten kann die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Wesentlichen nur sehr lokal und standortspezifisch die Gefährdung von Siedlungen und Infrastrukturen durch Wildbachprozesse beeinflussen, wie beispielsweise die boden- und vegetationsschonende Beweidung in Bacheinhängen. In beweideten, stark geneigten Bacheinhängen kann es bei ungünstiger geologischer und geomorphologischer Ausstattung durch Ableiten von Tränkwasser oder durch intensive Beweidung mit für den Standort zu schweren Tieren zur Initiierung von Erosionsprozessen und zur Freilegung der Bodenoberfläche kommen. Durch die fehlende Pflanzendecke kann sich die erodierte Fläche zu Gully-Erosion weiterentwickeln, damit wird die Seitenerosion durch den Wildbach erleichtert. Kommt es zu ausgedehnten Erosionsformen und flachgründigen Rutschungen im bachnahen Bereich, können diese zu einem erhöhten Geschiebeeintrag während eines Niederschlagsereignisses führen. Im Vergleich zu den möglichen Abtrags- und Erosionsraten im Bachbett von steilen Wildbacheinzugsgebieten selbst sind die Volumina dieser Phänomene geringer. Die Ge-

fahr von Murgängen kann durch die Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung deshalb nicht direkt beeinflusst werden.

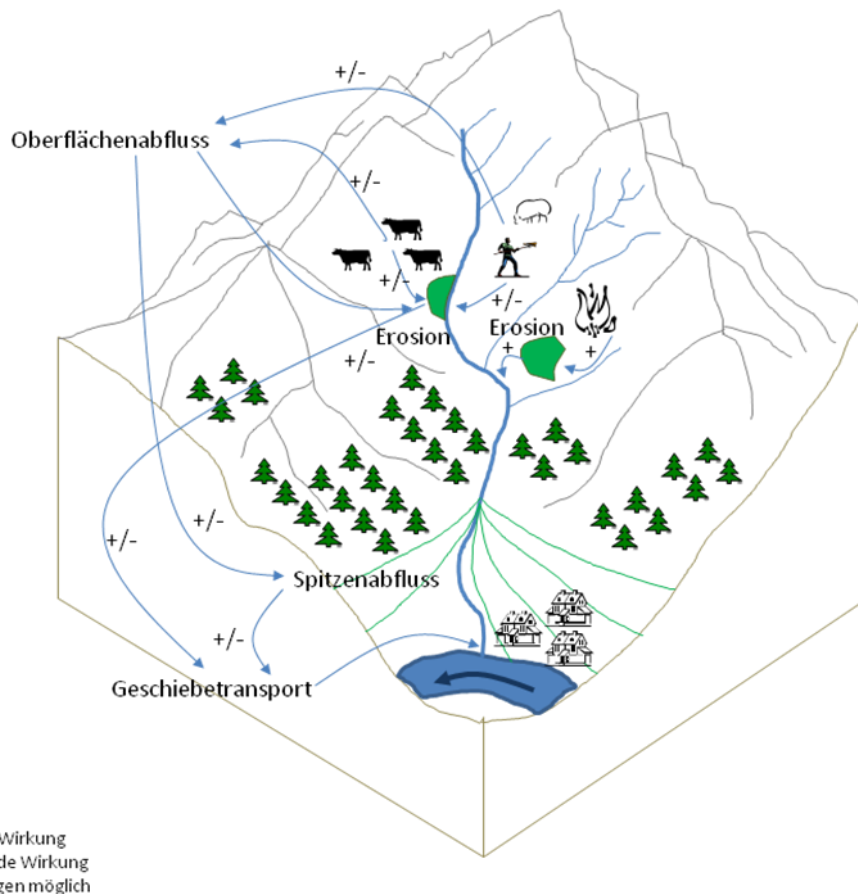


Abbildung 33: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten.

Im zentralalpinen Bereich beeinflussen in den subalpinen Höhenlagen die Winderosion und das Schneegleiten die Erosion. Schneegleiten kann bei Festfrieren der Schneedecke an langhalmigen Grasbeständen und starrwüchsigen Zwergsträuchern das Aufreißen der Vegetationsbedeckung verursachen. Diese Vegetationsnarben bilden den Ansatzpunkt für die Infiltration von Oberflächenwasser und die Bildung von flachgründigen Rutschungen. Eine Zunahme der Fläche mit fehlender Bodenbedeckung führt zu einer Erhöhung des Oberflächenabflusses. Dies führt wiederum zur Zunahme der Erosion. Zwischen diesen Faktoren besteht ein positiver Rückkoppelungseffekt. Eine Zunahme des Spitzenabflusses im Einzugsgebiet führt zu einer Zunahme der Geschiebetransportkapazität und damit möglicherweise zu einer Erhöhung der Gefahr durch Hochwasser mit Geschiebeführung oder durch Murgänge.

Inwieweit hangparallele Trittschäden durch die Beweidung eher den Oberflächenabfluss durch die Erhöhung der Bodenrauigkeit und durch die Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten im mikro-

pographischen Bereich mindert, den Oberflächenabfluss durch Bodenverdichtung erhöht oder Erosion und flachgründige Rutschungen fördert, ist nicht abschliessend untersucht.

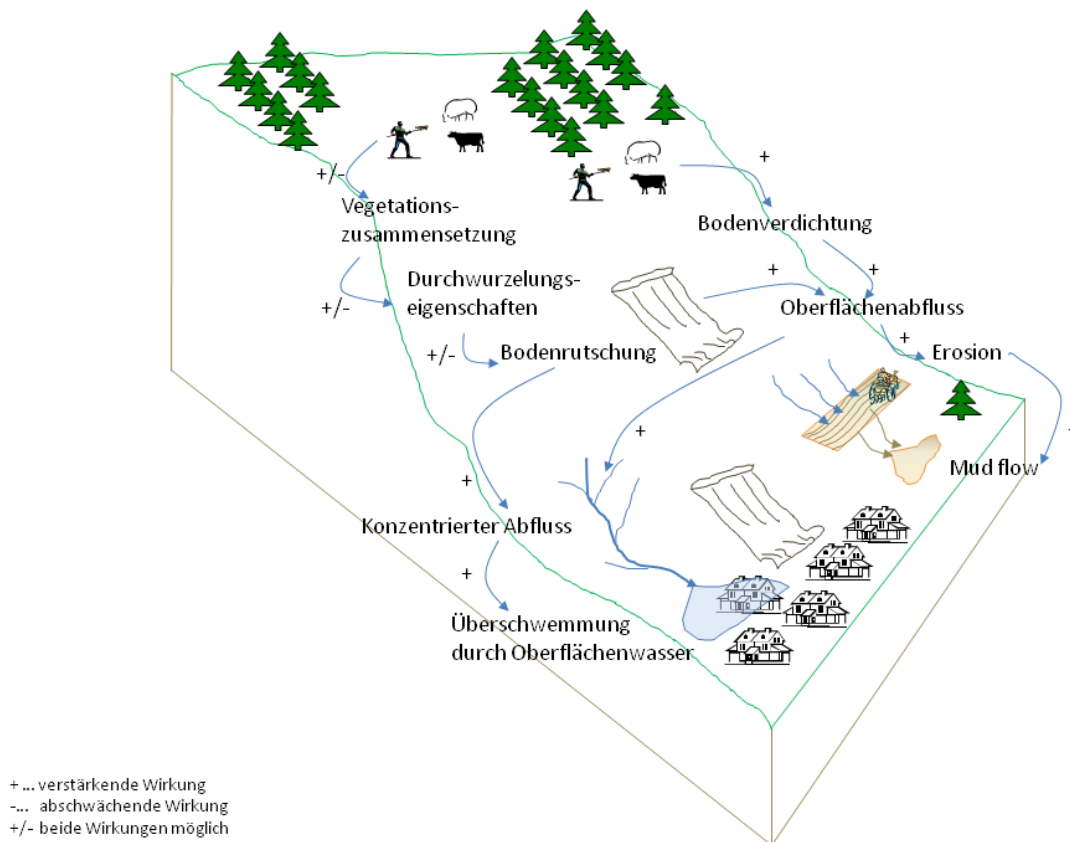
Das Auftreten von Flurbrand kann ebenso zu Erosionsphänomenen führen, die in gerinnenahen Flächen die leichtere Erodierbarkeit der Bacheinhänge oder die Bereitstellung von Geschiebepotenzial für den Wildbach zur Folge haben.

Während die zentralalpinen Wildbacheinzugsgebiete häufig auf einem hohen Flächenanteil mit Wald bestockt sind, weisen die voralpinen Wildbacheinzugsgebiete öfters einen relativ hohen Anteil an Landwirtschaftsflächen auf. Deshalb ist hier generell der Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den Oberflächenabfluss und Spitzenabfluss grösser. Ansonsten sind die Wechselwirkungen und indirekten Folgen ähnlich wie in den alpinen Wildbacheinzugsgebieten.

Bei allen der oben erwähnten Prozesse muss standortbedingt eine Grunddisposition für das Auftreten derselben vorhanden sein, die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann das Ablaufen der Prozesse nur beeinflussen. Eine Ausnahme bildet nur das grossflächige Roden von Wald, das aber aufgrund der Gesetzeslage nicht möglich ist. Es wird hier nochmals darauf hingewiesen, dass v.a. die Standorteigenschaften und die Lage der jeweiligen Flächen zum Wildbachgerinne die Prozesseigenenschaft beeinflussen. Aus diesem Grund kann die Beeinflussung von Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht generalisierend für alle Einzugsgebiete beschrieben werden.

## **b) Hang- und Hangfussbereiche**

Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann an Hang- und Hangfussbereichen sowohl über Oberflächenabflussprozesse, über Erosionsprozesse, über flachgründige Bodenrutschungen als auch über Schneegleiten die betrachteten Naturgefahren beeinflussen.



**Abbildung 34: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Hang- und Hangfussbereichen.**

Über die landwirtschaftliche Bewirtschaftung werden die Pflanzenszusammensetzung und damit die Durchwurzelungseigenschaften der Pflanzendecke und der Bodenbedeckungsgrad beeinflusst. Bei Verarmung der Artenvielfalt vereinheitlicht sich der Wurzelhorizont, es können flachgründige Bodenrutschungen entstehen. Diese können sich bei dafür geeigneten Hangformen zu Hangmuren entwickeln. Rutschungen und Hangmuren stellen durch ihr abruptes und unvorhersehbares Auftreten ein Gefährdungspotential für Personen dar. Ausserdem können Hangmuren und „mud flows“ zu erheblichen Schäden im Siedlungsbereich und zu einer Unterbrechung von Strassen führen.

Positive Rückkoppelungseffekte ergeben sich auch zwischen Schneegleiten und Erosion. Durch das Aufreissen der Grasnarbe nimmt der Bodenbedeckungsgrad ab, es kommt zu einer Zunahme des Oberflächenabflusses. Der Oberflächenabfluss auf diesen durch Schneeschurf freigelegten Böden kann die Abtragungsbereitschaft erhöhen und damit zu einer Ausdehnung der Flächen durch Erosion führen. Schäden an der Grasnarbe können ausserdem Ansatzpunkte für Bodenrutschungen bilden. Unkontrollierte Brände auf landwirtschaftlichen Flächen können zur Verstärkung der Erosion führen.

### c) Grossräumige Flusseinzugsgebiete in Mittellandlagen und im Alpenvorland

Der Abfluss in Flüssen bei Niederschlagsereignissen ist die Summe aller Abflussvorgänge im oberhalb liegenden Einzugsgebiet. Die Böden bilden wichtige Speicher von Niederschlägen. Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann in Einzugsgebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen die Abflussspitze und das Abflussvolumen während Hochwasserereignissen steuern. Wesentliche Bewirtschaftungsfaktoren für die Beeinflussung des Wasserrückhalts in der Fläche sind die Art der Vegetationsbedeckung und deren zeitliche Abfolge auf Ackerbauflächen, die Bodenverdichtung, das Makroporenvolumen und die Gestaltung der Oberflächen durch Strukturelemente.

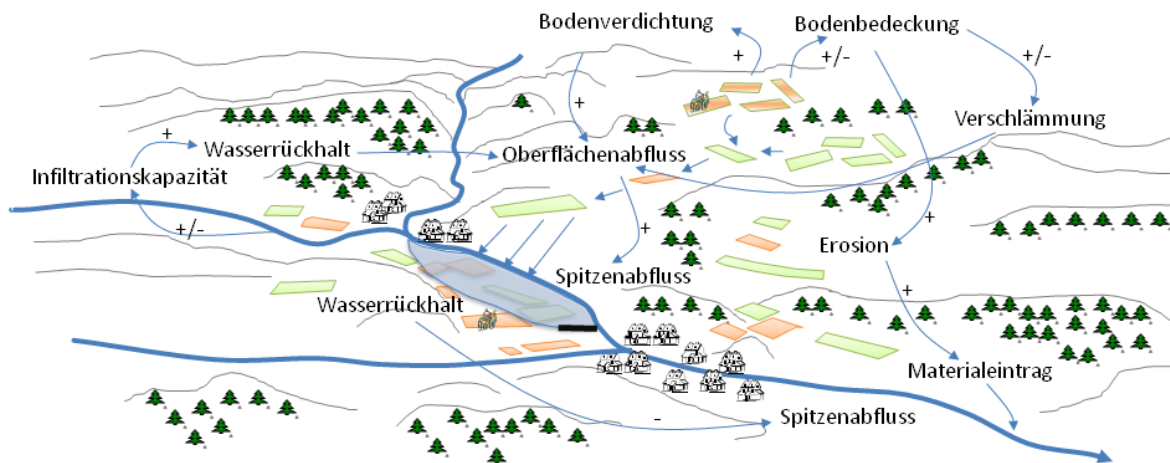


Abbildung 35: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in grossräumigen Flusseinzugsgebieten im Mittelland und im Alpenvorland.

## 5 Landwirtschaftliche Flächen für Hochwasserrückhalt und Notentlastung

Ein wichtiger Aspekt der Beeinflussung von Naturgefahren durch die Landwirtschaft ist die grossräumige Bereitstellung von Flächen für den Hochwasserrückhalt oder für Hochwasserüberflutungs- bzw. Entlastungskorridore. Bei Hochwasserrückhalt und Hochwasserentlastung handelt es sich um zwei verschiedene Funktionen. Bei Hochwasserentlastungskorridoren werden in den meisten Fällen Flächen für eine mögliche Flutung reserviert, auf denen bereits heute eine Überflutung stattfinden kann und auf denen kein oder nur ein geringes Schadenpotenzial vorhanden ist bzw. entfernt werden kann. Falls keine Bauwerke zur Ausleitung von Wasser auf diese Flächen errichtet werden, findet auf diesen Flächen keine Erhöhung der Prozessintensität statt. Im Gegensatz zu den Hochwasserentlastungskorridoren wird bei der Einrichtung von Flächen für den grossräumigen Wasserrückhalt darauf abgezielt, dass entweder eine standortgebene hohe Speicherfähigkeit der Böden erhalten bleibt oder dass Flächen im Hochwasserfall gezielt geflutet werden, um das Wasser bis nach Ablauf der Hochwasserwelle in diesen Flächen zurückzuhalten. Der letzte Fall bedarf an baulichen Anpassungen des Geländes und führt zu einer Erhöhung der Prozessintensität und Eintrittswahrscheinlichkeit. Zusätzlich zu diesen beiden Formen ist ausserdem zu erwähnen, dass Flächen für die Dynamik und für den Energieabbau des Hochwasserabflusses benötigt werden.

Um die im Alpenraum angewandten Ansätze für die Nutzung von Landwirtschaftsflächen für diese Zwecke zu erfassen, wurde eine Befragung von Experten aus verschiedenen Teilen des Alpenraums durchgeführt.

In Österreich werden wichtige Abflusskorridore und Retentionsflächen mit rot-gelben Gefahrenzonen belegt. Diese Gefahrenzonen haben den gleichen raumplanerischen Status wie die Gefahrenzonen selbst und werden von Bebauung freigehalten (BMLFUW 2006). Schäden an der Landwirtschaft werden nach Ereignisfall durch den Katastrophenfonds abgegolten. Für spezifische Fälle werden privatrechtliche Verträge mit Landwirten abgeschlossen (mündl. Mitt. S. Schober). Es existiert keine Form einer periodischen Abgeltung der Leistungen. Für Hochwasserschutzmaßnahmen ist in der Regel eine wasserrechtliche Bewilligung einzuholen, wobei neben anderen öffentlichen Interessen insbesondere auch die Erhaltung eines guten ökologischen Zustandes des Gewässers zu beachten ist. Mit der WRG-Novelle 2003 wurden die Ziele der EU-Wasserrahmenrichtlinie, das heißt Erreichung eines guten Gewässerzustandes und Verschlechterungsverbot, in das österreichische Wasserrecht umgesetzt. Zusätzlich ist in Hochwasserabflussgebieten für die Errichtung und Abänderung bestehender Anlagen und Gebäude eine wasserrechtliche Bewilligung einzuholen. Nach §38 WRG sind Hochwasserabflussgebiete von weiterer Bebauung bzw. höherwertiger Nutzung freizuhalten. Daher werden Hochwasserschutzmaßnahmen für ungenutztes Bauland in der Roten Zone nicht aus Bundesmitteln gefördert, ebenso Maßnahmen zum Schutz von Bauten im Abflussraum eines 30-jährigen Hochwasserereignisses. Hiervon sind Bauten, die vor dem 01.07.1990 behördlich genehmigt wurden, ausgenommen. Die Nichtbeachtung der gesetzlichen Vorgaben kann Auswirkungen auf die Zuerkennung von Entschädigungen aus den Mitteln des Katastrophenfonds zur Folge haben.

In Bayern werden bei der Reaktivierung von Flutpoldern und Überflutungsflächen mit den Landwirten Vereinbarungen abgeschlossen. Diese Vereinbarung wird im Grundbuch eingetragen. Als Gegenleistung für diese Dienstbarkeit gibt es eine Entschädigung, die mittels einer Mustervereinbarung geregelt wird. In der Regel beträgt diese Gegenleistung pauschal 20% des Verkehrswertes mit maximalen Werten je Kulturart. Die durch die massnahmenbedingte Flutung verursachten Schäden an land- und forstwirtschaftlichen Kulturen werden nach einer einheitlich gültigen Erstattungsregelung erstattet (Mitt. A. Loipersberger). Bei Vorländern, die bereits zum Überflutungsbereich gehören, können Nutzungsbeschränkungen erlassen werden wie z.B. ein Verbot des Maisanbaus. Nutzungsaufgaben müssen im Einzelfall begründet werden. Diese Nutzungsaufgaben sind im geltenden Gesetz vorgesehen, Entschädigungen für diese Art von Auflagen gibt es in der Regel nicht. Zur Umsetzung dieser Forderung wurde im Donautal vom Freistaat Bayern das Flächenmanagement für einen geregelten Tausch und Erwerb von Grundstücken erfolgreich umgesetzt (Mitt. A. Loipersberger).

Im Fürstentum Liechtenstein werden mit Landwirten, die Flächen für den Hochwasserrückhalt und für die Notentlastung zur Verfügung stellen, privatrechtliche Verträge abgeschlossen. Es existiert keine Form einer periodische Abgeltung der Leistungen (mündl. Mitt. S. Wohlwend).

In Italien wird aktuell über die Nutzung von Flächen in Überflutungsgebieten und über den Ausgleich zwischen Oberlieger durch Unterlieger diskutiert. Ein direkter finanzieller Ausgleich für Hochwasserrückhalt im Oberlauf von Einzugsgebieten ist rechtlich nicht möglich, da die Mittel für Hochwasserschutz für denselben zweckbestimmt sind und damit nicht für Massnahmen zur Regionalentwicklung (wie z.B. für die Förderung der Landwirtschaft oder den Bau eines Schulhauses) eingesetzt werden können (Mitt. G. Giannella). Die Einrichtung von Hochwasserrückhaltebecken oder Notfallentlastungskorridoren ist aus diesem Grund sehr schwierig. Einige aktuelle Beispiele sind die heftig umstrittenen Rückhaltebecken am Tagliamento und am Torrente Muson. Die Region Veneto hat im Jahre 2007 ein Regionalgesetz zur Ablösung von Nutzungsaufgaben für den Hochwasserschutz und einen Kriterienkatalog für die Gewährleistung von Gegenleistungen beschlossen (legge regionale 16 agosto 2007 n. 20). Gegenleistungen für die Bereitstellung von landwirtschaftlichen Flächen für den Hochwasserrückhalt oder für Entlastungskorridore werden aus Ertragsminderung und Wertminderung berechnet und können bis zu zwei Drittel der Enteignungskosten betragen. Die Region Veneto hat ausserdem das Prinzip der „Hydraulischen Invarianz“ gesetzlich festgeschrieben, d.h. jeder bauliche oder flächenbeanspruchende Eingriff in die Landschaft darf das Abflussregime im Hochwasserfall für Unterlieger nicht negativ beeinflussen. Negative Auswirkungen von unvermeidbaren Eingriffen auf Unterlieger müssen durch Kompensationsmassnahmen ausgeglichen werden. In Südtirol werden Gefahrenzonenpläne flächendeckend erstellt (ausserhalb des Siedlungsgebietes mit geringerem Detaillierungsgrad). Gefahrenzonenpläne werden über die Bauleitplanung direkt rechtsverbindlich, die Gefahrenzonenpläne sind hierarchisch höher gestellt als der Flächenwidmungsplan bzw. der kommunale Nutzungsplan. Bestehende Überflutungsflächen werden somit raumplanerisch vor Verbauung freigehalten. Schäden an der Landwirtschaft werden durch den Notfallfonds teilfinanziert. Neu geschaffene Retentions- und Überflutungsflächen werden mittels privatrechtlicher Verträge (Vertragsraumordnung) ausgehandelt, es sind periodische Ausgleichszahlungen für entgangenen Nutzungsverlust und Einhaltung von Nutzungsaufgaben vorgesehen (Richtwerte nach der Gesetzesvorlage für Nutzungsaufgaben bei Trinkwasserschutzzonen). In der Region Aosta wurden die möglichen Überflutungsflächen flächendeckend kartiert und in Gefahrenzonen festgelegt. Diese Flächen werden



auf Basis der Gefahrenkarten vor jeglicher Verbauung freigehalten. Eine Abgeltung von Nutzungsauf-lagen ist nicht vorgesehen (mündl. Mitteilung M. Vagliasindi).

In Frankreich ermöglicht ein Gesetz (n° 2003-699 du 30.07.2003, Art. 48-54) die Einrichtung von tem-porären Wasserrückhalteflächen und Flutkorridoren. Bedingung für die Einrichtung dieser Flächen ist das Einverständnis der Grundeigentümer sowie eine Vereinbarung zwischen der Agrarwirtschafts-kammer und der Wassereinzugsgebietsbehörde (mündl. Mitt. C. Peisser). Die für diesen Zweck zur Verfügung gestellten Flächen werden durch Dekret des Präfekten abgegrenzt und so rechtswirksam gemacht. Die Flächen werden mit Servituten belegt, die Landwirte werden für die Nutzungsauf-lagen entschädigt. Die Entschädigung der Nutzungsauf-lagen wird mit der öffentlichen Institution, die die Einrichtung der Flutkorridore initiiert, vertraglich vereinbart und richtet sich nach den generellen örtlichen Bestimmungen für Enteignungen und Nutzungsauf-lagen. Die entstandenen Schäden wer-den durch die öffentliche Hand vergütet. In der Regel ist dies die Institution, die die Einrichtung die-ser Flächen initiiert hat. Nach der Festlegung der Flächen wird der Gefahrenzonenplan entsprechend angepasst, eine Bebauung dieser Flächen ist nicht mehr möglich.

In der Schweiz werden bereits seit längerem Retentionsbecken und Hochwasserüberflutungskorrido-re geplant und errichtet. Beispiele hierfür sind in mehreren Kantonen zu finden. Ein Beispiel für ein Rückhaltebecken auf landwirtschaftlich genutztem Grund sind die Hochwasserrückhaltebecken Drachtenloch und Eichmatt bei Beromünster an der Wyna (AG). Letzteres dient dem Schutz von Be-romünster, Menziken und Reinach (Lienert 2006). Dabei wurde eine anfangs des letzten Jahrhun-derts meliorierte Geländesenke explizit als Flutungsmulde wiederbenutzt. Bei mittlerer Wasserfüh-rung ist die Senke durch Drainagevorrichtungen entwässert, bei Hochwasser wird sie geflutet und bewirkt so einen Wasserrückhalt. Durch die Drainage trocknet die geflutete Fläche rasch wieder ab, die landwirtschaftliche Nutzung im Retentionsraum ist weiterhin sichergestellt. Ein ähnliches Beispiel ist das Rückhaltebecken Lochbach bei Endingen (AG). Die Bewirtschafter werden im Ereignisfall voll entschädigt (Lienert 2006). An der Suhre bei Muhen (AG) wurde ein Hochwasserüberflutungskorridor realisiert, der bei einem Erreichen der Gerinnekapazität der Suhre überflutet wird. Die Ausuferung erfolgt kontrolliert mittels eines Entlastungsbauwerks (Müller 2004). Im Kanton Nidwalden wurden mehrere Hochwasserüberflutungskorridore realisiert. Das wohl bekannteste Beispiel ist die Hoch-wasserentlastung an der Engelberger Aa, die ihre Funktionsfähigkeit während des Hochwasserereig-nisses im Jahre 2005 belegt hat. Grundsätzlich sind für Landwirtschaftsflächen geringere Schutzziele vorgesehen. Erfolgt durch die Einrichtung eines Hochwasserüberflutungskorridors eine Verbesserung des Schutzzieles, profitiert davon auch die Landwirtschaft. In diesem Fall sind keine besonderen Ver-einbarungen zur Vergütung von Schäden im Ereignisfall vorgesehen. Erfolgt die Überflutung aber kontrolliert durch ein Ausleitungs- oder Entlastungsbauwerk, so gilt der allgemeine rechtliche Grund-satz eines Lastenausgleichs. Im Planungsverfahren dieser Entlastungskorridore kann die Landwirt-schaft mindestens über das Einspracheverfahren Einfluss auf das Projekt ausüben. Ergibt das Projekt eine Verschlechterung für die Landwirtschaft, ist im Kanton Nidwalden ein Ausgleich zwischen Land-wirtschaft und Nutzniessern der Hochwasserschutzmassnahme über den Hilfsfond der kantonalen Gebäudeversicherung vorgesehen (mündl. Mitt. J. Eberli). Die Landwirtschaftsflächen mit Anspruch auf Lastenausgleich werden in einem eigens vorgesehenen Kataster eingetragen. Schäden an den Landwirtschaftsflächen in Hochwasserentlastungskorridoren werden bis zu 90% vergütet, aber nur bis zu einem Ereignis mit einer Wiederkehrperiode von 300 Jahren. Auch in anderen Kantonen gibt es

Auflagen für die landwirtschaftliche Nutzung in Überschwemmungsgebieten oder Dienstbarkeiten im Falle einer Erhöhung der Frequenz oder Intensität der Hochwasserereignisse in Landwirtschaftsflächen durch Entlastungsbauwerke (bei Wiederkehrperioden bis zu 20 Jahren). Generell gilt die Vergütung im Schadenfall, periodische Vergütungen im Sinne von Servituten sind nicht vorgesehen. Im Ereignisfall wird durch einen Experten die Höhe der Entschädigung des Ertragsausfalles festgelegt (Mitt. O. Overney). In Hochwasserüberflutungs- und Entlastungskorridoren mit einer höheren Wiederkehrperiode werden keine Auflagen für die landwirtschaftliche Nutzung gemacht (ausser der Errichtung von Gebäuden). Das Schutzziel wird entsprechend der Landnutzung angepasst.

Die beschriebenen Beispiele verhinderten jeweils gravierende Eingriffe in die innerörtliche Gestaltung des Gerinnes und erlaubt teilweise die Aufwertung der Gewässer.

## 6 Folgen von Bewirtschaftungsänderungen

Eine Bewirtschaftungsänderung liegt vor, wenn die Flächennutzung intensiviert, extensiviert, aufgegeben (Nutzungsaufgabe, brachgelegte Flächen) oder die Nutzungsform geändert wird (z.B. forstwirtschaftliche Nutzung durch Aufforstung oder durch natürliches Aufkommen des Waldes). Für diese Bewirtschaftungsänderungen sind verschiedene Faktoren verantwortlich. Verallgemeinernd kann gesagt werden, dass vor allem arbeitsintensive oder weit abgelegene und/oder schlecht erschlossene Flächen extensiv genutzt, extensiviert oder brachgelegt werden (Stöckl 1997, Tasser et al. 2001) und die flachen, leicht erreichbaren und maschinell nutzbaren Flächen intensiviert oder resp. intensiv genutzt werden (Hellebart 2006, Alewell 2007).

### 6.1 Änderungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung

In den Tallagen spielen hauptsächlich Nutzungsintensivierungen und das Ausräumen der Strukturelemente in der Landschaft eine Rolle. Die Folgen einer Umwandlung von Grasland in **Ackerland** können aus den vorhergehenden Kapiteln abgeleitet werden. In diesem Fall sind hauptsächlich die direkten Auswirkungen auf den Oberflächenabfluss und die Erosionsbereitschaft zu erwähnen, die auf der Entfernung der geschlossenen Grasbedeckung und auf die Verringerung der Geländerauigkeit zurückzuführen sind. Neben den Auswirkungen auf die Erosion sind die vielfältigen Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften zu erwähnen. Für den Oberflächenabfluss relevant sind insbesondere die Zunahme von Verschlammung nach der Entfernung der Grasnarbe und die Zunahme der Bodenverdichtung aufgrund der Notwendigkeit des Befahrens der Flächen mit schwerem Gerät und aufgrund von bodenwendenden Verfahren. Die Auswirkungen einer Umwandlung von Grasland in Ackerland können bei ungünstigen Standortfaktoren und nicht angepasster Bewirtschaftungsform zu einer nahezu kompletten Versiegelung der Oberfläche durch eine drastische Abnahme der Infiltrationskapazität führen. Eine unter Graslandnutzung sehr wirksame Retentionswirkung kann nach dieser Bewirtschaftungsänderung entfallen.

**Mähwiesen** werden in der Schweiz immer häufiger siliert statt „geheut“. Dies hat ein starkes flächiges Befahren der Flächen mit schweren Maschinen zur Folge, z.T. auch bei feuchtem Boden. Diese Umstellung der Bewirtschaftung hat direkte Auswirkungen auf Bodenverdichtungen und bewirkt damit eine Reduktion des Infiltrationsvermögens und eine Zunahme des Oberflächenabflusses. Schlecht erschlossene Gebiete werden zunehmend extensiv bewirtschaftet, während gleichzeitig in hofnahen Flächen die Düngung intensiviert wird. Die Aufgabe einer intensiven Düngung hat einen positiven Einfluss auf die Rutschanfälligkeit. Untersuchungen in der Innerschweiz (BAFU 2010) belegen, dass nährstoffarme Flächen aus folgenden Gründen weniger Erdbeben aufweisen:

- Zugfestere, verholztere und dichtere Wurzeln
- Erhöhte Trockenresistenz, weshalb die Feinwurzeln Trockenperioden überleben
- Gleichbleibende Bodenbedeckung auch nach Trockenperiode

- Geringe Schwundrisse.

Die Folgen einer Zunahme der Düngung sind in den vorangegangenen Kapiteln zu Erosion und flachgründigen Rutschungen beschrieben. Angaben bezüglich des Zusammenspiels zwischen Nutzung und Düngung zeigt Troxler (2007) auf.

Die Nutzung der Mähwiesen im alpinen Raum hat sich in den letzten Jahren stark verändert: Einerseits wurden in der Vergangenheit laufend Flächen aufgegeben, andererseits werden produktive, hofnahe Flächen teilweise zu intensiv bewirtschaftet, auch auf Betrieben mit gesamtbetrieblich geringem Tierbesatz (Schmidlin 2008). Ein wesentlicher Faktor für Nutzungsaufgaben ist die Erschließung und die Distanz von den Heimbetrieben. Je schlechter erschlossen die abgelegenen Flächen sind, desto eher werden diese extensiviert oder brachgelegt oder Mähwiesen in Weiden umgewandelt (Pezzatti 2001).

Bei Bewirtschaftungsänderungen im **Sömmerungsgebiet** stehen im Wesentlichen Nutzungsaufgaben und Vergandung im Vordergrund der gesichteten Literatur. Quantitative Untersuchungen im zentralen Alpenraum zeigen auf, dass in alpinen Gebieten v.a. Flächen in Steillagen und abgelegenen Gebieten aufgegeben werden (Tasser & Tappeiner 2002).

Die Änderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung spiegeln sich auch in den Änderungen der Tierart und der Besatzstärke auf den Sömmerungsalpen und Dauerweiden wieder. Die Entwicklung der gesömmerten Tiere lässt sich direkt aus der allgemeinen Strukturentwicklung der Landwirtschaft ableiten (Flury et al. 2005). Bedeutend ist dabei vor allem die Verschiebung von der arbeitsintensiven Milchkuhhaltung für die Kälbermast hin zur Mutterkuhhaltung. Als Gründe für den Rückgang der Milchkuhhaltung fallen der sinkende Milchpreis und der gestiegene Anreiz zur Milchproduktion auf dem Heimbetrieb im Sommer ins Gewicht. Darum werden Alpen ohne Käseproduktion weniger mit Milchkühen bestossen. Umgekehrt bedürfen Mutterkuh- und Jungviehalpen eines geringeren Aufwandes an Behirtung und Weideregulung. In einigen Fällen wurden Rinderalpen in Schafalpen umgewandelt. Nach Hiltbrunner (2007) steht dabei bei einer generell rückläufigen Bestossung der Alpen vor allem die Umwandlung von Milchkuhalpen in Mutterkuhalpen und Jungviehalpen im Vordergrund. Insgesamt hat die Bestossung von 2000 bis 2008 auf den Schweizer Alpen von rund 307'000 auf 294'000 Normalstösse abgenommen.

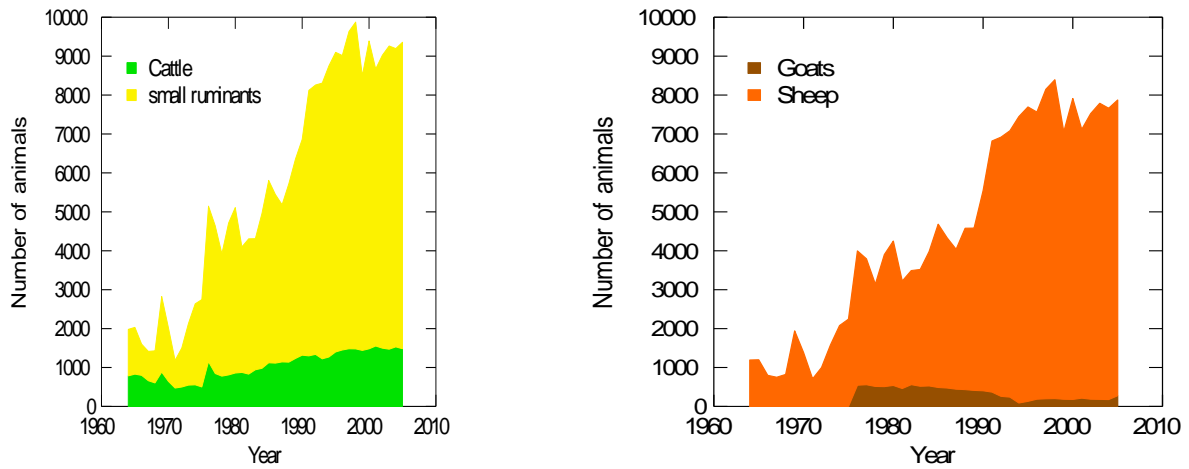


Abbildung 36: Gesömmerte Tiere im Urserental (Talarchiv Andermatt, aus Hiltbrunner 2007).

Höhere Tiergewichte bergen die Gefahr der Überdüngung und Verunkrautung der Alpweiden und erhöhen die Erosionsgefahr (Tschöll 2005). Meusbürger & Allewell (2008) zeigten einen statistischen Zusammenhang zwischen der Bestossungsdichte und der Anzahl an Rutschungen auf.

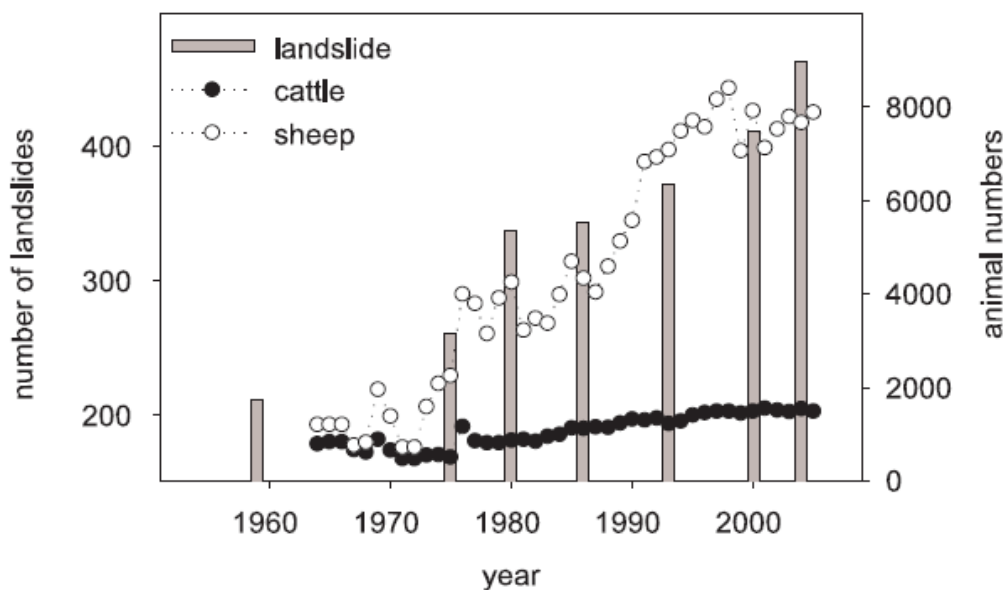


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen der Bestossungsdichte und der Anzahl von Rutschungen. Quelle: Meusbürger & Alewell (2008).

Der Mangel an Alppersonal sowie der Rückgang der Alpbestösser haben zur Folge, dass Alpflächen nicht ausreichend gepflegt werden. Der Rückgang des Personals auf Alpen führt auch zu mangelnder Kontrolle der Gefahrenpotentiale.

Seit geraumer Zeit muss bei Um- oder Neubauten im Sömmungsgebiet der flüssige Teil der Hofdünger aufgefangen werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit des Baus einer Güllegrube, die meist mit einem Vollgüllesystem kombiniert wird. In vielen Fällen wird kein Mist mehr produziert.

Dies hat zur Folge, dass einerseits mehr Nährstoffe im Gebiet vorhanden sind und diese mit einer Verschlauchungsanlage in schnell wirksamer Form eher in der Nähe des Hofs ausgebracht werden. Im Gegensatz dazu konnte Mist besser verteilt werden und gab die Nährstoffe langsamer ab. Diese Intensivierung in der direkten Umgebung der Alp- und Hofgebäude und die Ausmagerung von peripheren Flächen hat relevante Auswirkungen auf den Pflanzenbestand, v.a. auf Trockenwiesen- und –weiden.

Die genannten Faktoren führten in den letzten Jahrzehnten zur **Vergandung** von Landwirtschaftsflächen und zu einem Einwachsen des Waldes. Beispiele bezüglich der Zunahme von brachgelegten Flächen zeigen Tasser et al. (2007) auf. Etwa im gleichen Zeitraum, seit 1860, hat sich die Waldfläche der Schweiz um mindestens ein Drittel vergrössert (Brändli 2000), wobei bei dieser vorsichtigen Schätzung Gebüschwälder, Schneisen, Böschungen, aufgelöste Bestockungen etc. nicht integriert sind. So stieg der Anteil der bewaldeten Flächen in der Schweiz von 18% im Jahre 1855 auf 31% im Jahre 1997 an (BfS 2001). Der Anstieg bewaldeter Flächen erfolgte in den letzten 12 Jahren vor allem in den Alpen (5 – 10%) (BfS 2001) und auf Kosten der Landwirtschaftsflächen. Nach Brändli (2000) sind für Standorte mit überdurchschnittlicher Wiederbewaldung kennzeichnend:

- verbuschte bzw. bestockte landwirtschaftliche oder unproduktive Flächen,
- Gebiete der heutigen Waldgrenze,
- Höhenlagen > 1400m,
- Geländeneigungen > 40%,
- sehr skelettreiche, flachgründige Böden bzw.
- sehr geringe Wasser- und Nährstoffspeichervermögen.

Tasser et al. (2007) haben zusätzlich die Waldzunahme entlang eines Nord-Süd-Transektes quer über die Alpen nach Höhenstufen unterschieden. Sie haben aufgezeigt, dass vor allem in höheren Lagen Flächen einwachsen, meist auf Kosten der Sömmerungsgebiete und steiler Hanglagen. Nutzungsintensivierung, Aufforstung, Überbauung und Bewirtschaftungsaufgabe haben seit 1945 90% der Trockenstandorte zum Verschwinden gebracht (BAFU 2010, AGRIDEA 2006).

Bei der Vergandung können keine allgemein gültigen Aussagen bezüglich der Auswirkungen auf die Gefährdungssituation gemacht werden, da es stark darauf ankommt, wie die Sukzessionsabläufe vor sich gehen. Tasser et al. (2007) folgert auf Grund der Untersuchungen in Südtirol, dass sowohl Intensivierungen als auch Brachlegungen das Erosionsrisiko erhöhen. Gründe dafür sind die einhergehende Veränderung der Vegetationszusammensetzung und der Vegetationsbedeckung, die Veränderung der Durchwurzelung, die Veränderung des Bodenchemismus und der Bodenstruktur. Bei Brachlegungen sind diese Folgen zeitlich befristet, bis der aufkommende Wald als Endsukzession eine stabile Struktur aufweist. Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass im Untersuchungsgebiet in Südtirol bei der sukzessionsbedingten Vegetationsveränderung unterhalb der Baumgrenze Entwicklungen von ehemaligen, nicht gedüngten Mähwiesenbeständen über Zwergstrauchheiden (Heidekraut, Rostblättrige Alpenrose) zu Jungwald (Fichte, Lärche) erfolgen. In der Schweiz dürfte dies aber in weiten Teilen nicht gleich verlaufen. In vielen Berggebieten kommt bei einem Einwachsen von Sömmerungsweiden nicht Wald auf, sondern ausgedehnte Erlenbestände (in der Nordschweiz die Grünerle (*Alnus viridis*),

in den Südalpen nach E. Landolt *Alnus brembana*, eine morphologisch ähnliche Art, welche sich durch die Rodung von Waldflächen und durch die Beweidung ebenfalls weit ausbreiten konnte). Über die Sukzession von Alpweiden in der Schweiz wird im PRIMALP Projekt (Maag et al. 2001) geschrieben, dass Standorte, welche gut mit Nährstoffen und Wasser versorgt sind, zunächst von langgrasigen, grasreichen Pflanzenbeständen dominiert werden, die bald von Grünerlen überwachsen werden. Waldbäume könnten sich häufig erst nach Jahren in den geschlossenen Grünerlenbeständen durchsetzen. Die Frage ist, ob es sich hier nicht eher um mindestens Jahrzehnte (bis ev. Jahrhunderte) handelt, wie das nachfolgende Beispiel Urserental (UR) zeigt. So verunmöglichen Erlenbestände für lange Zeit ein Aufkommen von Wald. Welche Wirkung die Grünerlen auf Abfluss, Erosion, Schneegleitgefahr und Rutschungen haben, ist nicht definitiv geklärt. Bei Untersuchungen im Urserental (UR), wo seit 1959 die Grünerlenbestände um etwa einen Drittel zugenommen haben, konnten nach Meusburger der Uni Basel in jungen Grünerlenbeständen nur wenig Rutschungen gefunden werden (weniger als in älteren Grünerlenbeständen).

Im Gegensatz dazu kommt im Untersuchungsgebiet von Tasser relativ schnell geschlossener Wald auf. Bezüglich Erosion werden nach Hiltbrunner (2007) die für Weiden typischen Pflanzenarten durch die Grünerle verdrängt, so dass sich keine feste Grasnarbe mehr ausbilden kann, was die Erosion begünstigen könnte. Hiltbrunner (2007) vermutet zudem, dass sich mit dem Vormarsch der Grünerlen auch die hydrologischen Verhältnisse ändern. Nach Meusburger et al. (2008) wirken die neu aufkommenden Grünerlenbestände nicht destabilisierend. Tasser et al. (2004) zeigen auf, dass in Flächen mit Grünerlen eher mehr Rutschungen auftreten als in Weideflächen. Die biegsamen Grünerlen bieten ausserdem ähnlich wie Legföhren keinen Schutz vor Lawinen (Frehner et al. 2005). Zudem ist dort die Bildung von Schwimmschnee ausgeprägt. Sind die Bestände grossflächig ausgebildet, so können die Lawinen im Vergleich zum Freiland etwas weniger häufiger aber grösser sein.

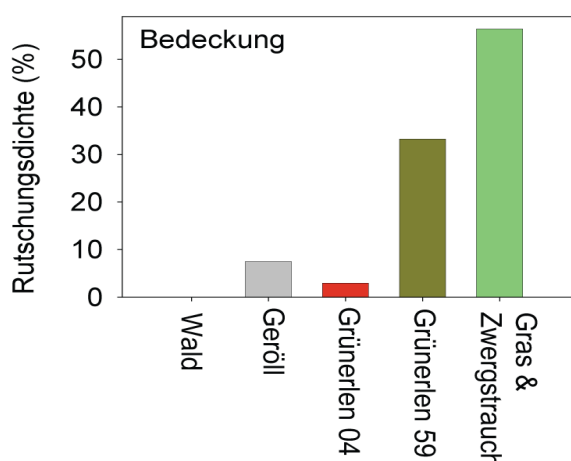


Abbildung 38: Rutschungsdichte nach Vegetationsbedeckung. Quelle: Meusburger et al. (2008).

Krauer (2004) konnte für die Ereignisse in der Surselva keine klaren Hinweise zum Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf das Vorkommen von flachgründigen Rutschungen herleiten. Auch die verschiedenen Sukzessionsabläufe in der Südschweiz sind vermutlich nicht gleichzusetzen mit denje-

nigen im Untersuchungsgebiet von Tasser (2001). So kommen beispielsweise im Tessin oder Misox auf einwachsenden Flächen oft Adlerfarn und Ginster auf, beides Pflanzen, welche die Flurbrandgefahr durch die Akkumulation von brennbarem Material stark erhöhen. Flurbrand hat wiederum indirekte Auswirkungen, wie die Erhöhung der Erosionsbereitschaft, die Erhöhung des Abflusses und die Veränderung der Vegetationszusammensetzung (neben Adlerfarn und Ginster auch vermehrtes Aufkommen von Fiederzwenke, ebenfalls eine Pflanze, welche die Brandgefahr erneut erhöht).

Allen Nutzungsänderungen folgt eine Veränderung der Vegetationszusammensetzung (z.B. Tasser et al. 2001, Tasser & Tappeiner 2007, Hiltbrunner & Alewell 2008). Dadurch ändert sich die Durchwurzelungsdichte und -tiefe und die anfallende Streumenge. Nach Tasser et al. (2001) ist die Erosionsgefährdung bei Brachen nach 15-20 Jahren am höchsten. Danach nimmt sie wieder ab und ist nach 40-60 Jahren wieder gering. Zudem liegt das Erosionsrisiko nach Tasser et al. (2001) bei der Brache um 35 - 40% höher als bei den anderen Bewirtschaftungsformen. Dabei spielt nach Tasser & Tappeiner (2007) jedoch nicht die Landnutzung selbst die entscheidende Rolle, sondern Prozesse, die dadurch in der Vegetation und im Boden ausgelöst werden. So konnte für die Gefährdung für Translationsbodenrutschungen nachgewiesen werden, dass gerade die nutzungsbedingte Durchwurzelung der Böden ein wesentlicher Faktor ist. Nimmt die Durchwurzelung zu, so nimmt das Erosionsrisiko ab. Die Durchwurzelungsintensität ist dabei auf extensiv genutzten Flächen und jungen Brachen am höchsten.

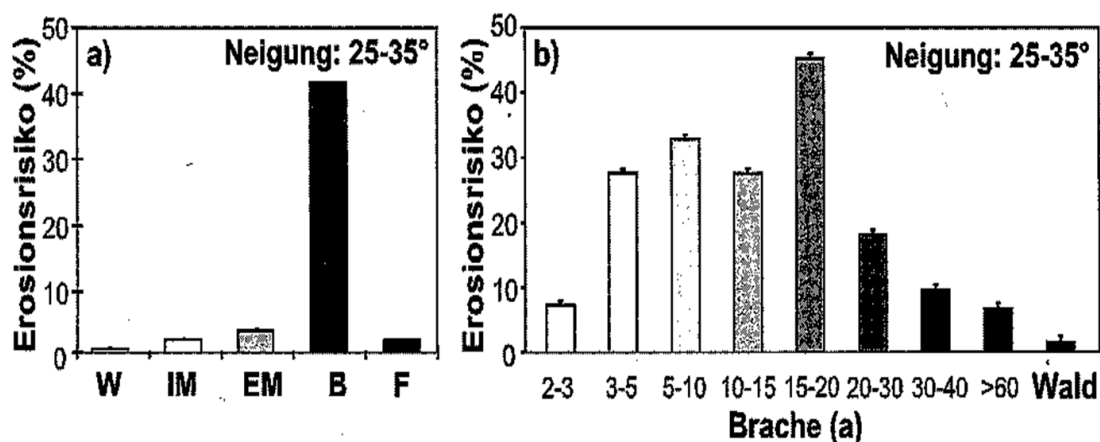


Abbildung 39: a) Erosionsrisiko (Mittelwert +/- einfache Standardabweichung des Mittelwertes) der unterschiedlich bewirtschafteten Flächen. b) Veränderung des Erosionsrisikos (Mittelwert +/- einfache Standardabweichung des Mittelwertes) im Laufe der Brachedauer im Untersuchungsgebiet Passeiertal. (W = Weide; IM = intensiv genutzte Mähwiese; EM = extensiv genutzte Mähwiese; B = Brache; F = Fichtenwald, Altbestand). Quelle: Tasser et al. (2001).

Nach Tasser & Tappeiner (2007) weisen die Böden der untersuchten Landnutzungstypen alle sehr ähnliche bodenphysikalische Eigenschaften auf. Es gibt, so die bisherigen Untersuchungen, nur geringe Unterschiede in der Aggregatstabilität im A-Horizont. Diese wirken sich jedoch merklich auf die Wasserspeicherefähigkeit und die Infiltration aus. Es kommt zu einer Abnahme derselben vom intensiv genutzten Grasland zu extensiv genutzten Flächen, auf der anderen Seite nimmt die Wasserspeicherefähigkeit und Infiltration auf Brachflächen und Waldflächen wiederum zu (Cernusca et al. 1999). Diese Unterschiede wirken sich aber insgesamt nicht signifikant auf den Bodenwasserhaushalt aus. Deutliche Unterschiede ergeben sich jedoch bei der Evapotranspiration der untersuchten Landnutzungstypen: Wälder und Mähwiesen geben deutlich mehr Wasser an die Atmosphäre ab als etwa



Weiden und Brachflächen. Die Abgabe liegt zwischen 38-58% des Niederschlags. Der Rest versickert oder fließt zu einem geringen Teil oberflächlich ab und speist damit die Bäche (Tasser et al. 2001). Modellierungen des Gebietswasserhaushaltes von Kleinstzugsgebieten zeigen die daraus resultierenden Folgen: Bei einer gänzlichen Brachlegung der bisher genutzten Flächen und einer anschließenden Wiederbewaldung derselben wäre z.B. mit einer Reduktion des Gebietsabflusses von 7-52% zu rechnen.

Nach Paldele (1994) kann von brachgefallenen alpwirtschaftlichen Nutzflächen eine Lawinengefahr ausgehen. Auf den brachgefallenen Flächen wachsen langhalmige, zum Teil langsam verrottende Pflanzenarten nach. Diese werden vom Schnee auf den Boden gedrückt und ergeben eine ideale Gleitfläche. Auf den Lawinenschneisen erfolgt im Sommer meist ein starker Oberflächenwasserabfluss. Reißt die Lawine die Grasnarbe auf, setzt Massenschurf ein.

Tasser et al. (2001) verglich die Gleitraten von verschiedenen Bewirtschaftungsformen mit den Brachen und kam zum Schluss, dass das Schneegleiten bei einer brachliegenden Fläche nach 20-40 Jahren am höchsten ist. Nach 40 Jahren nimmt im Untersuchungsgebiet in Südtirol mit dem Einwandern der Alpenrose und der Etablierung von einzelnen, größeren Jungbäumen die Gleitrate wieder ab.

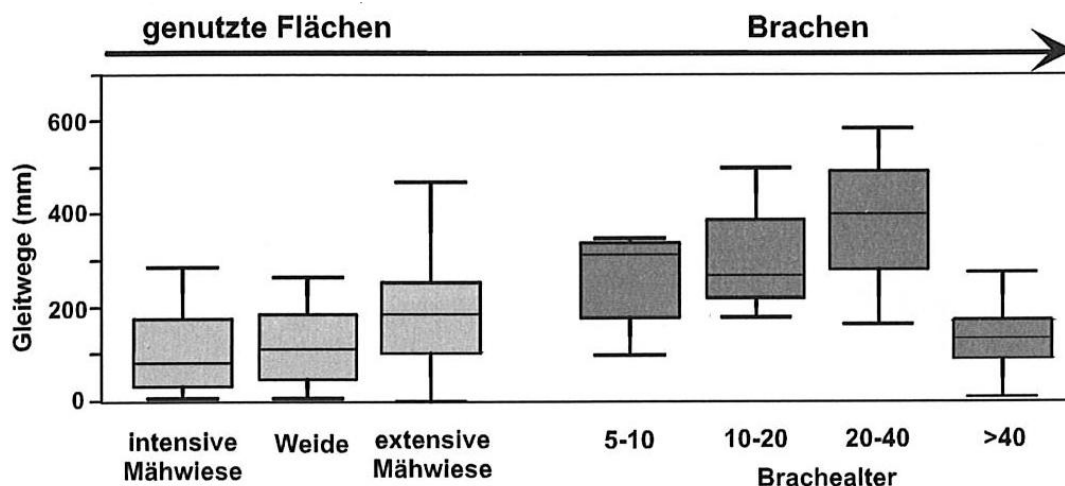


Abbildung 40: Abhängigkeit der Gleitraten von den einzelnen Bewirtschaftungsformen und vom Brachealter einer Fläche. Quelle: Tasser et al. (2001).

Einen weiteren Beitrag zu Veränderungen des Flächenanteils von Landwirtschaftsflächen leistet die Inanspruchnahme durch die **Bebauung**. Diese einer Bebauung überführten Flächen befinden sich in der Regel im Talgebiet auf besten Ackerböden und werden in der Regel versiegelt. Dies führt entweder zu einer Abnahme der Ackerbauflächen oder zu einer Verdrängung des Ackerbaus in Hanglagen und in diesem Fall zu einer Zunahme der Erosion.

## 6.2 Änderungen in der landwirtschaftlichen Infrastruktur

Wie bereits erwähnt, hängt die Brachlegung oft mit der Erschliessung zusammen. Gut erreichbare, mässig geneigte Flächen, welche maschinell bewirtschaftet werden können, sind einem Intensivierungsdruck ausgesetzt, schlecht erschlossene, steile ehemals gemähte Hangbereiche werden heute eher beweidet oder die Bewirtschaftung wird eingestellt. Die Erschliessung von Flächen ist damit insbesondere im Berggebiet eine Grundvoraussetzung für die Bewirtschaftung und wirkt sich durch die Verhinderung der Verbrachung und Vergandung positiv auf die Naturgefahrdisposition aus.

Padele (1994) erwähnt, dass bei aufgegebenen Sömmerungsgebieten Entwässerungsgräben verfallen. Bei langanhaltendem Regen und bei Schneeschmelze können die Entwässerungen nicht mehr für Entlastungen sorgen, es kommt in diesem Fall zu starken Vernässungen. Durch steigenden Wassergehalt im Boden erhöht sich der hydrostatische und hydrodynamische Druck, dies beeinflusst die Hangstabilität. Aus diesem Grund sollten Entwässerungssysteme im Alpbereich funktionstüchtig erhalten bleiben. Eine Zunahme der Gefährdung durch Aufgabe der Bewässerung ist zumeist nur vorübergehend von Bedeutung, da eine Aufgabe der Bewässerung in der Regel mit einer Aufgabe der Bewirtschaftung einhergeht. Ein mögliches Problem stellt sich nur bis sich die standortheimische Vegetation wieder angesiedelt hat. Bezüglich der Veränderung des Bodens durch die traditionelle Bewässerung mit Suonen siehe Liniger (1983).

Die oft als Folge des Strukturwandels und der Betriebsvergrößerungen erfolgende Vergrößerung von zusammenhängenden landwirtschaftlichen Flächen durch eine Ausräumung von Strukturelementen führt zu einer Zunahme der erosiven Hanglänge und damit zu einer Zunahme einer linearen Erosion bei Konzentration des Oberflächenabflusses.

## 6.3 Massnahmen zur Verhinderung von negativen Folgen von Bewirtschaftungsänderungen

Die gesichtete Literatur zeigt einige Vorkehrungen und Massnahmen auf, die zur Verhinderung von negativen Folgen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Disposition für Rutschungen, Bodenerosion, Oberflächenabfluss und Schneegleiten beitragen können. Im Folgenden sind die wichtigsten genannt:

- Eine extensive Nutzung von Wiesen und Weiden entspricht den Anforderungen von Seiten der Gefahrenprävention. Solche Nutzungsformen sollten soweit als möglich aufrechterhalten werden.
- Alle Massnahmen zur Verhinderung der Verbrachung auf Wiesen und Weiden bewirken eine Verhinderung der Zunahme der Disposition für Erosion, flachgründige Rutschungen und Schneegleiten.
- Die unbeaufsichtigte Brachlegung von Flächen mit schwierigen Standortvoraussetzungen sollte v.a. in Wildbacheinzugsgebieten mit Gefährdungspotenzial für Siedlungen verhin-

dert werden, da dies über viele Jahre hinweg instabile Sukzessionsstadien mit einer Reihe negativer Folgeerscheinungen mit sich bringt.

- Auf steilen Flächen, auf denen die Nutzung aufgelassen wird, sollte die Sukzession der Vegetation begleitet werden. In potentiellen Waldgebieten erfolgt dies durch eine Förderung der Wiederbewaldung. Die Zeitspanne der ökologisch instabilen Sukzessionsstadien wird damit verkürzt, durch extreme Niederschlagsereignisse ausgelöste Schwellenprozesse können minimiert werden.
- Die Folgen von Vegetationsänderungen nach Nutzungsaufgaben sollten periodisch überwacht werden.
- Steile und instabile Hänge sollten nicht intensiver genutzt werden, besonders dann nicht, wenn dafür neue Erschließungswege notwendig werden.
- Durch Sicherstellung eines regelmäßigen Weidebetriebs, einer kontrollierter Weideführung mit Behirtung oder Koppelung und durch entsprechende Alppflege wie bspw. Narbenverbesserungen, etc. kann die Erosionsanfälligkeit stark vermindert werden.
- Eine Umwandlung von Graslandflächen in Ackerbauflächen auf Flächen mit einem hohen Wasserspeichervermögen und einer hohen Relevanz für den Hochwasserrückhalt ist zu vermeiden.
- Die aktuelle Entwicklung einer zunehmenden Mechanisierung auf Mähwiesen und deren Auswirkungen auf die Bodentextur und im Hinblick auf Bodenverdichtungen sind laufend zu beobachten. Bei einer Feststellung von erheblichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, ist diesem Trend entgegenzuwirken.
- Im Sinne eines präventiven Hochwasserschutzes ist in Einzugsgebieten mit einem hohen Anteil an Landwirtschaftsflächen das weitere Entfernen von Landschaftstrukturelementen zu vermeiden oder deren Anlage zu fördern, um die Oberflächenrauigkeit hoch und damit die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses niedrig zu halten.
- Die Flächen mit potenziell hoher Infiltrationskapazität und hohem Wasserspeichervermögen sind vor Versiegelung zu schützen.

## 7 Einfluss der Förderinstrumente auf die Naturgefahren

In diesem Kapitel wird das Förderinstrumentarium zugunsten der Landwirtschaft mit den Prozessen und den fördernden und hemmenden Einflussfaktoren der Naturgefahren zusammengeführt und der Einfluss der verschiedenen Instrumente mit den entsprechenden Auflagen und Anreizen auf die Naturgefahren diskutiert. Der Schwerpunkt liegt auf den Direktzahlungen und den Strukturverbesserungsmassnahmen der Landwirtschaft. Aufbauend auf einer allgemeinen Einschätzung zum Einfluss des Förderinstrumentariums werden die wichtigsten Wirkungen der Massnahmen auf die Teilprozesse dargestellt und diskutiert, wobei diese nach den Bewirtschaftungssystemen Ackerbau, Mähwiesen und -weiden in der landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie Sömmerungsweiden gegliedert werden. Neben der Wirkung werden mit Blick auf die Naturgefahren jeweils auch die Lücken im Förderinstrumentarium aufgezeigt.

Die Ausführungen zum Einfluss der Förderinstrumente beziehen sich auf das heutige Instrumentarium der Direktzahlungen und Strukturverbesserungsmassnahmen. Entsprechend werden die im Konzept zur Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems vorgesehenen Änderungen nicht berücksichtigt.

### 7.1 Allgemeine Einschätzung zur Wirkung des Förderinstrumentariums

Die Wirkung der verschiedenen Förderinstrumente und speziell der Direktzahlungen hängt im Zeitverlauf neben der Ausrichtung und Auflagen der Zahlungen sowie der Beitragshöhe von weiteren Faktoren ab:

- Preisentwicklung allgemein, relative Preisentwicklung der landwirtschaftlichen Produkte: Bei allgemein sinkenden Preisen für landwirtschaftliche Produkte ist bei unveränderten Kosten eine Extensivierung zu erwarten, indem die spezielle Intensität (z.B. Düngereinsatz) reduziert wird. Unterschiedliche Preisentwicklungen der verschiedenen Produkte können zudem die relative Konkurrenzkraft zwischen den Betriebszweigen verschieben, z.B. zwischen verschiedenen Ackerkulturen, aber auch zwischen dem Ackerbau und der Tierhaltung.
- Entwicklung der Direkt- und der Strukturkosten: Steigende Preise für Produktionsmittel wie z.B. Dünger oder Pflanzenschutzmittel führen bei unveränderten oder sinkenden Produktpreisen zu einer Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion und tragen über einen effizienten Ressourceneinsatz gleichzeitig zu einer ressourcenschonenden Produktion bei. Gleichzeitig gewinnen die ökologischen Ausgleichsflächen an Konkurrenzkraft. Im Umfeld sinkender Produktpreise und leicht steigenden Kosten für die Produktionsmittel hat deren Einsatz seit Ende der 90er Jahre tendenziell abgenommen. Einzige Ausnahme ist die Entwicklung des Kraftfutterverbrauchs, welcher als Folge sinkender Preise in den letzten drei Jahren markant zugenommen hat.

Bei den Strukturkosten stehen neben den Maschinen- und Gebäudekosten vor allem die Kosten der Familienarbeitskräfte im Vordergrund. Als Folge des Strukturwandels ist die Zahl der Arbeitskräfte in den letzten Jahren stetig gesunken; bei einer praktisch unveränderten totalen landwirtschaftlichen Nutzfläche sinken dank der Kostendegression auch die Struktur- und Arbeitskosten je Flächeneinheit.

Die Verbindung dieser Faktoren zu den Naturgefahren besteht über die Flächennutzung und deren Veränderung. Diese sind als Teil der allgemeinen Strukturentwicklung in der Landwirtschaft zu betrachten:

- Entwicklung der landwirtschaftlichen Strukturen: Die mit dem Strukturwandel einhergehenden Betriebsvergrößerungen sowie die stetig zunehmende bewirtschaftete Fläche pro Arbeitskraft begünstigt den Einsatz von arbeitsextensiven und kapitalintensiven Produktions- und Bewirtschaftungsverfahren, indem der knappe Faktor Arbeit durch Kapital (insbesondere Maschinen) substituiert wird. Umgekehrt gefährdet die zunehmende Knappheit der verfügbaren Arbeitskapazitäten insbesondere im Berggebiet die traditionelle Schnittnutzung von arbeitsintensiven Flächen. Diese werden nur noch beweidet oder ganz aufgegeben. Gleichzeitig fehlen die zur Pflege und Instandhaltung der Sömmerungsweiden notwendigen Arbeitskräfte. Demgegenüber besteht in den Gunstlagen die Gefahr, dass mit dem Ziel einer rationalen Bewirtschaftung zunehmend Flächen in grösseren Nutzungseinheiten zusammengeführt werden; mit grösseren Ackerschlägen erhöht sich die erosive Hanglänge und damit das Erosionsrisiko (Prasuhn 2009). Werden zur Bildung von grösseren Parzellen abflussbremsende Strukturelemente wie z.B. Hecken oder Ackerrand- und Grünstreifen entfernt, erhöht sich die Disposition für den Oberflächenabfluss.
- Entwicklung der Flächennutzung und der Tierhaltung: Neben allfälligen Verschiebungen in der Konkurrenzkraft der einzelnen Ackerkulturen untereinander wirkt sich die Konkurrenzfähigkeit der Tierhaltung gegenüber dem Ackerbau massgeblich auf die Flächennutzung aus. So sind die in Kapitel 2.1 dargestellten Veränderungen im Ackerbau, mit einem rückläufigen Anbau von Getreide und Hackfrüchten und einer Ausdehnung der Kunstwiesen und der Silo- und Grünmaisflächen, die direkte Folge einer sinkenden Konkurrenzkraft der Ackerkulturen gegenüber der Tierhaltung und damit der Graslandnutzung. Diese Verschiebung schlägt sich in einer Ausweitung der für die Tierhaltung beanspruchten Ackerfläche nieder.
- In Kombination mit den oben angesprochenen Veränderungen der Nutzungseinheiten erhöht die als Folge des Strukturwandels und des zunehmenden Drucks zur Rationalisierung fortschreitende Mechanisierung in der Landwirtschaft und der Einsatz schwerer Zug- und Erntemaschinen die Gefährdung der Böden durch Bodenverdichtung. Der Einsatz grösser dimensionierter Bereifungen verhindert die Gefahr dauerhafter Verdichtungen landwirtschaftlicher Böden kaum.

Letztendlich hängt die Wirkung der landwirtschaftlichen Förderinstrumente von der Beteiligung der Betriebe an den verschiedenen Programmen ab. Neben den bereits angesprochenen allgemeinen Rahmenbedingungen sind die Höhe der finanziellen Anreize in Relation zu den Kosten der Beteiligung, die arbeits- und produktionstechnische Kompatibilität der Programme mit den Betriebsverhältnissen sowie Merkmale des Betriebsleiters oder dessen Einstellung und Innovationsbereitschaft

zu nennen (vgl. auch Mann 2005). Bei der Anwendung von bodenschonenden Bewirtschaftungsverfahren spielen z.B. neben ökonomischen und ökologischen Kriterien auch soziale und ästhetische Aspekte eine Rolle (Schneider 2008, zitiert in Fry 2009).

## 7.2 Wirkung der Direktzahlungen und des ökologischen Leistungsnachweises

### 7.2.1 Allgemeine Einordnung der Wirkung

Im Sinne einer allgemeinen, qualitativen Beurteilung der Wirkung des Förderinstrumentariums auf die Naturgefahren ist festzuhalten, dass sich die Auflagen und Anreize im heutigen Direktzahlungssystem an agronomischen Kriterien resp. an den agrarpolitischen und agrarökologischen Zielen orientieren. Entsprechend sind die Auflagen und die verschiedenen Direktzahlungen nicht explizit auf die Faktoren ausgerichtet, welche die Naturgefahren hemmen. Dennoch decken die auf die bestehenden Ziele der nachhaltigen Ressourcennutzung und der flächendeckenden Bewirtschaftung ausgerichteten Auflagen und Anreize einen bedeutenden Teil der relevanten Einflussfaktoren ab. Entsprechend trägt das bestehende Direktzahlungssystem bereits heute zur Naturgefahrenprävention bei. Die Wirkung der Auflagen und Anreize hängt massgeblich von den jeweiligen Standorteigenschaften ab. Im heutigen Direktzahlungssystem bestehen praktisch keine standortspezifischen Auflagen (vgl. unten).

Für die allgemeine Einordnung ist zentral, dass die Auflagen über die Bindung aller Direktzahlungen an den ökologischen Leistungsnachweis mit Ausnahme des Sömmerungsgebiets praktisch flächendeckend gelten. So wurden im Jahr 2009 insgesamt 97% der landwirtschaftlichen Nutzfläche von Betrieben bewirtschaftet, die den ökologischen Leistungsnachweis erfüllen. Der Anteil der nach den Kriterien des biologischen Landbaus bewirtschafteten Fläche lag 2009 bei gut 10%. Trotz der praktisch flächendeckenden gegebenen Erfüllung des ökologischen Leistungsnachweises ist festzuhalten, dass sich die Auflagen und Anreize im Direktzahlungssystem, wie auch bei weiteren Förderinstrumenten, gegenseitig verstärken, gleichzeitig aber auch gegenläufige Anreize resultieren können. Dies gilt nicht nur für die Naturgefahrenprävention, sondern auch für die agrarpolitischen und agrarökologischen Ziele untereinander.

### 7.2.2 Wirkung im Ackerbau

Die für den Ackerbau geltenden Auflagen und Anreize im Direktzahlungssystem haben vielfältige Wirkungen auf die für den Oberflächenabfluss und Erosion wichtigen Einflussfaktoren. Für eine Gesamtbeurteilung sind aber nicht nur die Einzelwirkungen auf die Disposition für die Naturgefahren zu beachten, sondern vielmehr auch die im Zeitverlauf veränderte ackerbauliche Nutzung (vgl. Kapitel 2). Im Kontext der Naturgefahren sind als wichtigste Wirkungen zu nennen:

- Auflagen im ÖLN zum geeigneten Bodenschutz und zur Erosionsverhinderung: Zentral sind die Sicherung eines geschlossenen Pflanzenbestandes oder einer Mulchauflage zu Zeiten hoher Abflussbereitschaft (Winterhalbjahr) sowie die Vermeidung von Perioden ohne Bodenbedeckung. Der Anreiz zum Einsatz arbeitsextensiver und kostengünstiger Produktionsverfahren (z.B. Minimalbodenbearbeitung, pfluglose Bearbeitung) reduziert die Gefahr einer Verschlammung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen sowie einer Zerstörung der Bodenstruktur und einer Verringerung der Aggregatstabilität. Mit der Einführung des bis 2003 gültigen Bodenschutzindex sind die Brachen im Winter generell zurückgegangen und die Bodenverbesserung wurde verbessert. Fundierte Aussagen zu den Auswirkungen der Auflagen im Bodenschutz, welche im Jahr 2004 den Bodenschutzindex abgelöst haben, fehlen zurzeit.
- ÖLN-Auflage zur geregelten Fruchtfolge: Die Evaluation der agrarökologischen Massnahmen hat gezeigt, dass die Anforderung einer geregelten Fruchtfolge einen – im Vergleich zum Bodenschutz allerdings geringeren – Effekt auf den Bodenschutz und damit auf die Erosion hat (Flury 2005). Zudem dürfte mit der Auflage ein indirekter Anreiz bestehen, konservierende Bodenbearbeitungsverfahren einzusetzen oder Zwischenfrüchte zur Gründüngung anzubauen, weil Mais mit Untersaat, Mais als Mulch-, Streifenfrüsaat oder Direktsaat nach Gründüngung, Zwischenfutterbau oder Kunstwiese in der Fruchtfolge einen höheren Anteil einnehmen können als konventionell angebauter Mais (vgl. Weisungen und Erläuterungen 2010 zur DZV). Neben der Verbesserung der Bodenbedeckung durch eine entsprechende Gestaltung der Fruchtfolge kann insbesondere auch der Anbau von Zwischenfrüchten und Gründüngung den Oberflächenabfluss reduzieren. Die Sicherung einer ganzjährigen Bodenbedeckung kann wie auch der Einsatz bodenschonender Verfahren zudem der Bodenverdichtung entgegensteuern.
- Beiträge für Ackerschonstreifen und Säume auf Ackerland, für Bunt- und Rotationsbrachen sowie für Hecken, Feld- und Ufergehölze: Die Förderung von abflussbremsenden Feldrainen, Hecken, Feld- und Ufergehölzen sowie von Ackerrand- und Grünstreifen wirkt sich mindernd auf den Oberflächenabfluss aus.
- Anbaubeiträge für Ackerkulturen: Die mit dem Ziel einer sinnvollen Bereicherung der Fruchtfolge ausgerichteten Beiträge für Ölsaaten, Körnerleguminosen, Faserpflanzen und Saatgut von Kartoffeln, Mais und Futterpflanzen wirken sich potenziell negativ auf die Bodenbedeckung und damit auf den Oberflächenabfluss und die Erosion aus. Mit den Beiträgen ist die Produktion auch an „ungünstigeren“ Standorten wirtschaftlich, die ohne Beiträge für den Kunst- oder Naturfutterbau genutzt würden. Bei anfälligen Böden besteht die Gefahr einer Bodenverdichtung und einer Veränderung der Bodenstruktur durch maschinelle Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung, insbesondere durch das Befahren während Nässeperioden.

Als weiterer wichtiger Hebel ist der ökonomische Druck zur Anwendung arbeitsextensiver und kostengünstiger Anbauverfahren zu nennen. Zudem ist der Ackerbau insgesamt seit Ende der neunziger Jahre rückläufig; wie in Kapitel 2 dargestellt, ist die offene Ackerfläche in den letzten zehn Jahren um rund 6% zurückgegangen. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass der Ackerbau im Umfeld einer fort-

schreitenden Marktöffnung gegenüber dem Futterbau und der Tierhaltung weiter an Konkurrenz-kraft verliert.

Als wichtigste Lücken im heutigen Instrumentarium sind zu nennen:

- Die ÖLN-Auflagen und Anreize orientieren sich wie bereits angesprochen primär an agronomischen Kriterien. Im Kontext der Naturgefahren fehlen speziell ein Standortbezug der meist flächendeckenden und nicht standortspezifischen Auflagen und Anreize und damit eine Verbindung zum Anspruch einer standortgerechten Landwirtschaft.
- Im heutigen System fehlen direkte Anreize zum Einsatz von bodenschonenden Bewirtschaftungsverfahren (ausserhalb der Ressourcenprogramme) zur Vermeidung der Bodenverdichtung, zur Anpassung der Bewirtschaftung und der Kulturarten an Bodenverhältnisse und Topographie oder zur Umwandlung von Ackerland bei besonders ungünstigen Verhältnissen in Grasland. Heute werden weniger als 20000 ha Ackerfläche in Direkt- oder Streifenfrüsaat bewirtschaftet, der Anteil der Mulchsaaten von Winterweizen und Kunstwiesen dürfte bei rund 40% liegen.
- Die regionalen Ressourcenprogramme nach Art. 77a und b LwG, welche spezifische Massnahmen für eine nachhaltigere Nutzung des Bodens unterstützen, laufen erst an. Die Mehrheit der im Jahr 2008 erstmals gestarteten Programme konzentrieren sich auf eine Reduktion der Ammoniakemissionen. Mit dem Ziel des Gewässer- und des Bodenschutzes haben einzelne Kantone jedoch schon früher Bodenschutz- oder Erosionsschutzprogramme initiiert (z.B. Bern, Solothurn oder Basel-Landschaft).

### 7.2.3 Wirkung in der Graslandnutzung: Mähwiesen und Mähweiden

Wichtigste Hebel im Instrumentarium der Direktzahlungen in Bezug auf den Oberflächenabfluss, die Erosion, auf flachgründige Rutschungen sowie Schneegleiten auf Mähwiesen sind:

- Anreize zur Flächenbewirtschaftung im Direktzahlungssystem: Die Flächenbeiträge sichern eine flächendeckende Nutzung und Pflege des Kulturlandes, wobei die Bewirtschaftungser-schwernisse in der Hügel- und Bergregion durch zusätzliche Zahlungen abgegolten werden. Die Bewirtschaftung der Flächen verhindert eine Vergandung und Verbuschung und damit eine Destabilisierung der Vegetationszusammensetzung bis zum Aufkommen der Waldvegetation.
- Tierbezogene Beiträge (Beiträge für raufutterverzehrende Tiere und Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen): Die Beiträge sind ein Anreiz zur Erhöhung der Tierbestände, was sich einerseits positiv auf die flächendeckende Bewirtschaftung – insbesondere im Berggebiet – auswirkt. Andererseits besteht über eine Aufstockung der Tierbestände die Gefahr einer Intensivierung der Flächennutzung, was sich negativ auf die Pflanzenbestände auswirkt und bei fehlender Narbenpflege potenziell die Erosion sowie flachgründige Rutschungen fördert.
- ÖLN-Auflage einer ausgeglichenen Nährstoffbilanz: Die Nährstoffbilanz limitiert die Düngung auf Betriebsebene und vermindert damit potenziell Erosion und flachgründige Rutschungen.



Auf Ebene der Parzellen besteht grundsätzlich die Aufzeichnungspflicht bzgl. der relevanten Betriebsabläufe, eine explizite, über die gute landwirtschaftliche Praxis hinausgehende Limitierung der Düngung besteht nicht.

- Bindung der Hangbeiträge an Schnittnutzung: Die Hangbeiträge fördern die Schnittnutzung in Hang- und Steillagen und schaffen einen Anreiz, traditionell gemähte Wiesen nicht zu beweiden oder aufzulassen. Die periodische Mahd reduziert den Oberflächenabfluss sowie die Gefahr von flachgründigen Rutschungen und von Schneegleiten.
- Düngungsverbot resp. -einschränkung für extensive und wenig intensive Wiesen: Eine Einschränkung der Düngung in Hang- und Steillagen reduziert die Erosionsgefahr sowie die Gefahr von flachgründigen Rutschungen. Da speziell im Berggebiet ein grosser Anteil der extensiven und wenig intensiven Weiden in Hang- und Steillagen zu finden sind, kombiniert sich die Wirkung der Auflage mit den Beiträgen für extensive und wenig intensive Weiden und mit den Hangbeiträgen.

Weitere Hebel, welche die Naturgefahren beeinflussen, sind die fortschreitende Mechanisierung und der Einsatz von schweren Erntemaschinen in der Graslandnutzung. Die mechanisierte Flächennutzung ist direkt an die Erschliessung der Flächen gebunden; nicht erschlossene Grenzertragsflächen werden zunehmend aufgegeben.

Die Wirkung der Förderinstrumente auf den Mähweiden entspricht grundsätzlich derjenigen auf Mähwiesen. Dies erklärt sich primär damit, dass im heutigen Instrumentarium spezifische Auflagen und Anreize für Mäh- und Dauerweiden fehlen. Indirekt verhindert vor allem die Bindung der Hangbeiträge an die Schnittnutzung, dass Hang- und Steillagen nur noch beweidet werden, was sich potenziell auf die Erosion sowie auf flachgründige Rutschungen auswirkt. Auf Flächen, für die Hangbeiträge ausgerichtet werden, ist eine Weidenutzung nur als Herbstweide zugelassen.

Im heutigen Instrumentarium bestehen im Kontext der Naturgefahren verschiedene Lücken. Als wichtigste Lücke ist der fehlende Standortbezug der Auflagen zu nennen, welcher die Art und Intensität der Bewirtschaftung limitieren würde. Auf Flächen, welche von der Landwirtschaft nicht mehr bewirtschaftet werden, fehlt einerseits eine Kontrolle der Nutzungsaufgabe und andererseits eine gezielte Förderung der Wiederbewaldung. Letzteres ist speziell für Standorte bedeutend, welche eine Disposition für Erosion aufweisen.

#### 7.2.4 Wirkung in der Sömmerung

Für die Einordnung der Wirkung der Auflagen und Anreize im Bereich der Sömmerung ist festzuhalten, dass die Entwicklung der Sömmerung und damit die Bewirtschaftung der Alpweiden eng mit der allgemeinen Strukturentwicklung in der Landwirtschaft verbunden sind. Wichtigste Hebel im Instrumentarium sind:

- Sömmerungsbeiträge: Die Beiträge sind so bemessen, dass sich der Schutz und die Pflege der Sömmerungsweiden wirtschaftlich lohnen, wobei die am Markt erzielbaren Mehrerlöse ebenfalls berücksichtigt werden. Die Beiträge sind ein Anreiz zur Sömmerung von Tieren, tragen allgemein zur Bewirtschaftung und Pflege der Sömmerungsweiden bei und verhindern so

die Nutzungsaufgabe. Die Normalstösse, welche auf der Ebene der einzelnen Alpen den zulässigen Viehbesatz regeln, werden nach den Grundsätzen einer nachhaltigen Nutzung festgelegt. Ein expliziter Flächenbezug der Sömmerungsbeiträge und damit ein direkter Anreiz für die Alpbewirtschaftenden zur (flächendeckenden) Bewirtschaftung der Alpweiden fehlen hingegen.

- Sömmerungsbeiträge für Schafe sind nach Weidesystem abgestuft: Durch die abgestuften Beiträge besteht ein Anreiz zur Behirtung der Schafe und fördern damit einen geregelten Weidebetrieb auf der ganzen zu beweidenden Fläche.
- Bewirtschaftungsplan für Sömmerungsbetriebe: Der Plan umfasst flächenspezifische Angaben zur Art der Beweidung, zu Bestossungszahlen, zur Dauer und zum Weidesystem, zu Massnahmen zur Verhinderung der Verbuschung und Vergandung sowie Angaben zu den beweidbaren und den nicht zu beweidenden Flächen. Die Auflagen sollen eine standortangepasste Beweidungsform der Alpweiden in einem geregelten Weidebetrieb sichern, was allgemein die Erosionsgefahr sowie die Gefahr des Oberflächenabflusses und von flachgründigen Rutschungen reduziert. Die Massnahmen zur Verhinderung der Verbuschung oder Vergandung verhindern potenziell die Nutzungsaufgabe, was neben der Gefahr des Oberflächenabflusses vor allem auch das Schneegleiten reduziert.

Als weitere Hebel sind die rückläufige Bestossung der Alpen, der fortschreitende Strukturwandel in der Landwirtschaft und die sinkende Zahl der Arbeitskräfte zu nennen. Letzteres reduziert die Kapazitäten zur Pflege der Alpweiden. Die rückläufige Bestossung ist insofern von Bedeutung, als sich die Nutzung der Alpweiden zunehmend auf die besten Standorte reduziert, welche zudem oft intensiv genutzt werden. Umgekehrt werden marginale und abgelegene Weiden mit tieferen Tierbeständen nicht mehr bestossen, was zu deren Vergandung und damit zu einer verschärften Naturgefahrensituation führt.

Wichtige Lücken im Instrumentarium bzgl. der Naturgefahren sind:

- Die Sömmerungsbeiträge sind über die zugewiesenen Normalstösse zwar indirekt an die Fläche gebunden, nicht aber an die effektiv beweidete Fläche. Entsprechend fehlen ein expliziter Anreiz oder Auflagen zur Bewirtschaftung der ganzen Sömmerungsflächen. Ohne Flächenbindung der Beiträge ist auch in Zukunft mit einer Aufgabe von Alpweiden zu rechnen, wie dies bereits bisher der Fall war.
- Die Auflagen im Bewirtschaftungsplan orientieren sich wie die Anforderungen im ökologischen Leistungsnachweis grösstenteils an agronomischen Überlegungen. Entsprechend fehlt ein Bezug zu den Naturgefahren.

### 7.3 Wirkung der Strukturverbesserungsmassnahmen

Eine Beurteilung der Wirkungen der auf die Verbesserung der Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse im ländlichen Raum ausgerichteten Strukturverbesserungsmassnahmen im Kontext der Naturgefahren ist insofern schwierig, als diese im Gegensatz zu den Direktzahlungen jeweils einen direkten regionalen oder objektbezogenen Bezug haben und daher im jeweiligen Kontext beurteilt werden müssen. Im Vergleich zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren sind die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur zudem weniger systematisch untersucht. Aufbauend auf den im Kapitel 3 diskutierten Zusammenhängen lassen sich dennoch die folgenden, allgemeinen Aussagen zur Wirkung der Massnahmen ableiten:

- Richtigerweise kommt der Erarbeitung von fundierten Erosions- und Entwässerungskonzepten in Gesamtmeliorationen und im Landmanagement bereits heute eine hohe Bedeutung zu. Integrale Be- und Entwässerungskonzepte können wesentlich zur Vermeidung und Verhinderung von Erosion oder flachgründigen Rutschungen beitragen; bisher werden die Anforderungen eines umfassenden Naturgefahren- und Risikomanagements aber nur implizit berücksichtigt.
- Grundlegend für die Sicherung der flächendeckenden Bewirtschaftung – insbesondere im Berggebiet – und damit zur Verhinderung der Erosion, der flachgründigen Rutschungen sowie des Flurbrands ist die Förderung von Erschliessungsanlagen sowie von Massnahmen zur Verbesserung der Bewirtschaftungs- und Betriebsstrukturen. Zur Verhinderung von Schäden durch Flurbrand sind auch die Wasserversorgungsanlagen wichtig.
- Im Rahmen von Gesamtmelioration besteht die Möglichkeit einer umfassenden Berücksichtigung der Naturgefahren, der Schaffung technischer Schutzmassnahmen wie z.B. Rückhaltebecken oder Muldenspeicher sowie der Förderung der Strukturvielfalt. Diese Massnahmen wirken sich direkt auf die Naturgefahrenedisposition aus oder leisten einen Beitrag zur Schadensprävention resp. -reduktion. Umgekehrt können sich Massnahmen zur Förderung einer rationellen Flächennutzung (wie z.B. Flächenarrondierungen zur Schaffung grösserer Bewirtschaftungseinheiten oder kleinräumige Geländemodifikationen) negativ auf die Disposition für den Oberflächenabfluss oder das Erosionsrisiko auswirken.
- Die Infrastrukturmassnahmen wirken sich meist auch auf die Art und die Intensität der Flächennutzung aus, was wiederum die Naturgefahrensituation beeinflusst.
- Im Kontext der Naturgefahren sind die Instandhaltung und der regelmässige Unterhalt der mittels Strukturmassnahmen geschaffenen Infrastrukturen zentral. Als Beispiel ist die Offenhaltung der Entwässerungssysteme zu nennen.

Übergeordnet ist festzuhalten, dass die Berücksichtigung der Naturgefahren und des Risikomanagements bei der Planung und Realisierung von einzelnen Infrastrukturprojekten, ebenso wie von Gesamtmeliorationen, ein wichtiger Hebel zur Beeinflussung der Naturgefahren ist. Einerseits können sich nicht standortgemäss angelegte Infrastrukturwerke wie z.B. Bewirtschaftungswege negativ auf die Naturgefahren auswirken. Andererseits kann sich aber auch ein Verzicht auf die Schaffung der notwendigen Infrastrukturen oder - wie bereits angesprochen - der Verzicht auf Wiederinstandstel-

lungen das Gefahrenrisiko erhöhen. Entsprechend ist der aktuelle Wissensstand zur Vermeidung von negativen Auswirkungen auf Oberflächenabfluss, Erosion oder flachgründige Rutschungen im Rahmen von Infrastrukturprojekten konsequent aufzugreifen.

## 7.4 Fazit zur Wirkung der Förderinstrumente auf die Naturgefahren

Die Einschätzungen zum Einfluss der Förderinstrumente auf die Naturgefahren sind qualitativer Art und basieren auf den wichtigsten Wirkungszusammenhängen zwischen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und Naturgefahren. Die Wirkung des heutigen Förderinstrumentariums auf die Naturgefahren lässt sich anhand der folgenden Aussagen einordnen:

- Die Auflagen und Anreize im heutigen Direktzahlungssystem und insbesondere im ökologischen Leistungsnachweis orientieren sich an agronomischen Kriterien resp. an den agrarpolitischen Zielen und den Zielen zur Agrarökologie. Entsprechend sind die Auflagen und die verschiedenen Förderinstrumente bisher nicht explizit auf die die Naturgefahren hemmenden resp. fördernden Faktoren ausgerichtet. Dennoch decken die bestehenden Förderinstrumente mit den entsprechenden Auflagen und Anreizen einen bedeutenden Teil der relevanten Einflussfaktoren ab und das heutige Direktzahlungssystem trägt allgemein zur Naturgefahrenprävention bei.
- Die Wirkung der Auflagen und Anreize des Direktzahlungssystems hängt von weiteren Faktoren wie der Entwicklung der Preise für landwirtschaftliche Produkte und Produktionsmittel sowie von der allgemeinen Strukturentwicklung in der Landwirtschaft ab. Diese Faktoren können die Wirkung auf die mit den Massnahmen angestrebten Ziele und auf die Naturgefahren verstärken, aber auch überdecken. Ebenso können sich die Auflagen und Anreize der einzelnen Massnahmen gegenseitig verstärken oder gegenläufige Wirkungen haben.
- Im heutigen System setzen die Auflagen und die Anreize weitgehend auf der Betriebsebene an und sind standortunspezifisch. Diese Lücke ist insofern von Bedeutung, als die Naturgefahren meist einen direkten Standortbezug haben. Gleichzeitig ist die Beteiligung der Betriebe an den Direktzahlungsprogrammen freiwillig und die Betriebe entscheiden selber, welche Flächen sie in die verschiedenen Programme einbringen. Letzteres gilt auch für die Auflagen im Ökologischen Leistungsnachweis, welche meist auf der Ebene des Gesamtbetriebs formuliert sind und damit entsprechende Spielräume zur innerbetrieblichen Optimierung zulassen.
- Im Sömmerungsgebiet fehlt eine explizite Bindung der Sömmerungsbeiträge an die genutzte Fläche. Entsprechend fehlt ein direkter Hebel zur Sicherung der flächendeckenden Bewirtschaftung der Alpweiden.

Die derzeit laufende Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems eröffnet die Möglichkeit, die Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung in der Ausgestaltung der Anreize und Auflagen aufzugreifen und das Förderinstrumentarium entsprechend anzupassen. Die geplante Berücksichtigung der Topografie, der Niederschläge und der Bodeneigenschaften und

die Konzentration der Massnahmen zur Erosionsverhinderung auf Problemgebiete geht in die Richtung des zur Naturgefahrenprävention wichtigen Standortbezugs. Ebenso besteht mit der geplanten Förderung einer nachhaltigen Ressourcennutzung durch ressourcenschonende Techniken und betriebliche Innovationen mittels befristeter Ressourceneffizienzbeiträge ein Hebel zur Beeinflussung der Naturgefahren über die landwirtschaftliche Bewirtschaftung. Ein wichtiger Fokus müsste auf der Förderung bodenschonender oder konservierender Anbaumethoden liegen, welche sich positiv auf die Naturgefahrensituation und -prävention auswirken. Trotz dieser (punktuellen) Anpassungen ist aufbauend auf einer Kosten-Nutzen-Analyse eine grundlegende Berücksichtigung der Anforderungen der Naturgefahrenprävention in der Landwirtschaft voranzutreiben.

## 8 Offene Fragen

Die Sichtung und Auswertung der zum Thema „Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren“ vorhandenen Literatur hat viele der eingangs gestellten Fragen beantwortet. Einige Fragen konnten durch die Literaturrecherche jedoch nicht beantwortet werden. Diese werden hier nochmals aufgezeigt und diskutiert. An erster Stelle stehen die offenen Fragen zum heutigen Stand der Berücksichtigung der Beeinflussung von Naturgefahren in der landwirtschaftlichen Praxis und zur Quantifizierung der Wirkungen von Massnahmen auf die Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren.

Eine quantitative Analyse des Beitrags der Landwirtschaft an die Naturgefahrenprävention und der Hebelwirkungen von Förderinstrumenten kann nur durchgeführt werden, wenn der Ausgangszustand der Landwirtschaftsflächen bekannt ist. Es fehlen aber nicht nur flächendeckende Angaben zur räumlichen Verbreitung des Phänomens der Bodenverdichtung und standortbezogene Angaben der aktuellen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Vielmehr sind die für besprochenen Prozesse zentralen Bodendaten zurzeit nicht oder nur in unzureichender Qualität resp. geeignetem Massstab und Auflösung vorhanden (z.B. Bodeneignungskarte) oder nur schwer zugänglich. Allgemein stellen sich folgende Fragen:

- Detaillierte Information über die Böden in der Schweiz ist nur in wenigen Gebieten vorhanden. Flächendeckende und standardisierte Bodendaten sind unzureichend vorhanden. Um eine grossräumige Analyse der Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren durchführen zu können, sind die Grundlagendaten zu den Böden auszubauen resp. die in den Kantonen erhobenen Daten digital bereitzustellen.
- Von welchem Ausgangszustand der Böden gehen wir heute aus? In welchem Ausmass sind die landwirtschaftlich genutzten Böden in der Schweiz von Bodenverdichtung betroffen?
- Wie kann die räumliche Verbreitung der Bodenverdichtung über grosse Flächen festgestellt werden? Es bräuchte eine zeitsparende und pragmatische Methode zur Kartierung und Analyse des Phänomens der Bodenverdichtung.
- Welche Erfahrungen wurden mit Tiefenlockerungen zur nachträglichen Sanierung von Bodenverdichtungen gemacht? Welchen Zustand hat der Boden heute auf Flächen, die vor Jahren gelockert wurden?
- Inwieweit wird den Anforderungen an eine boden- und gefügeschonende Bewirtschaftung und Befahrung der Böden in der Schweiz heute bereits entsprochen? In welchem Ausmass werden die aufgezeigten Aspekte einer gefahrenmindernden Bewirtschaftungsform in der Praxis berücksichtigt?

Die Einflussfaktoren und Auswirkungen der Bodenverdichtung im Ackerbau sind vergleichsweise detailliert untersucht. Für einige Bewirtschaftungsformen wie beispielsweise die Kunstwiesen, der

Obstbau und mit schwerem Gerät gemähte Wiesen gibt es dagegen relativ wenig Angaben über das Phänomen der Bodenverdichtung.

Generell wurde das Thema in der Literatur zumeist unter dem Gesichtspunkt einzelner Disziplinen bearbeitet. In den allerwenigsten Fällen wurde ein Bezug zum Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf ausgewählte Naturgefahren und dem zu erwartenden Schaden hergestellt. Damit fehlen im Grossteil der gesichteten Literatur konkrete Aussagen im Hinblick auf die Relevanz für die Naturgefahrenprävention, v.a. quantitativer Art. Entsprechend fehlt eine Antwort auf die folgende Frage:

- Was bringen die vorgestellten Massnahmen zur Anpassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an die Anforderungen der Gefahrenprävention in Bezug auf die Grössenordnung der Schadens- und Risikoreduktion?

Um die Wirkung der aufgezeigten möglichen Beiträge der Landwirtschaft zur Gefahrenprävention in das integrale Risikomanagement insgesamt einordnen zu können, muss die Wirkung der einzelnen Massnahmen zur Gefahrenminderung im Sinne einer Nutzen-Kosten-Analyse aufgezeigt werden. Dies könnte beispielsweise mittels einer vergleichenden Risikoanalyse unter Berücksichtigung der quantitativen Wirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Bezug auf die Verhinderung eines Schadens dargelegt werden.

Erst die quantitative Analyse der Wirkungen von Massnahmen in geeigneten Pilotgebieten auf eine Erhöhung oder Verminderung des monetären Risikos in der Betrachtungsebene eines Hanges, eines Wildbacheinzugsgebietes oder eines Flusseinzugsgebietes erlaubt eine Abschätzung der Effektivität und Effizienz dieser Massnahmen und ihres Beitrages zur Naturgefahrenprävention. Eine quantitative oder zumindest semi-quantitative Bewertung des möglichen Beitrags der Landwirtschaft in der Gefahrenprävention könnte beispielsweise über eine Simulation des gut dokumentierten Hochwasserereignisses von 2005 unter der Annahme eines "best case" (bodenschonende Bewirtschaftung aller Ackerflächen im Einzugsgebiet) bzw. eines "worst case" (weit verbreitete Bodenverdichtung in Ackerflächen und auf Grasland) der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und einem Vergleich mit dem tatsächlichen Ereignis erfolgen. Die Simulationsmodelle für hydrologische Analysen und für die Naturgefahrenbeurteilung sowie die bestehenden Modelle zur Berechnung der Schäden von Überschwemmungsereignissen müssten für diese Fragestellung aber wesentlich erweitert werden. In diesem Sinne könnte z.B. folgende Frage in den Raum gestellt werden:

- Welche Schäden wären beim Hochwasserereignis 2005 an einer ausgewählten Stelle nicht aufgetreten, wenn auf den landwirtschaftlichen Flächen die Bewirtschaftung auf die Anforderungen der Naturgefahrenprävention ausgerichtet gewesen wäre?

Die Ausführungen zeigen, dass die landwirtschaftliche Bewirtschaftung einen erheblichen Beitrag zum Wasserrückhalt in Einzugsgebieten im unmittelbaren örtlichen Zusammenhang hat. Um die grossräumige Effektivität und damit die ökonomisch-ökologische Effizienz abschätzen zu können, fehlen bislang jedoch Instrumente und Datengrundlagen zur Übertragung der örtlichen Wirkungen auf die Ebene der Flusseinzugsgebiete. Um zu verstehen, auf welche Weise grosse Hochwasser in einem Gebiet entstehen, sind gebietspezifische Kenntnisse der dominanten Abflussprozesse nötig.

Es ist zu prüfen, ob mittels der aufgezeigten Wirkungsketten und auf Basis der heute verfügbaren Daten ein Informationssystem für die quantitative Abschätzung der Wirkungen der hier aufgezeigten Massnahmen entwickelt werden kann. Die Direktsaatfläche in der Schweiz beträgt derzeit ca. 3% der gesamten ackerbaulich genutzten Fläche (Ledermann & Schneider 2008), es besteht deshalb noch ein beträchtliches Potential für einen Beitrag an den Hochwasserrückhalt durch die Landwirtschaft.

Ein wichtiger Aspekt der Beeinflussung von Naturgefahren durch die Landwirtschaft ist neben der Erhaltung des Speicherpotenzials in den Böden die Bereitstellung von Flächen für den Hochwasserrückhalt oder für Entlastungskorridore. Die Analysen zeigten auf, dass die Praxis bei der Einrichtung, Sicherstellung und Vergütung dieser Leistungen im Alpenraum sehr unterschiedlich ist. Es stellt sich hierbei die Frage nach dem besten Ansatz zur Unterstützung der Sicherstellung von Flächen für den Hochwasserrückhalt oder für Entlastungskorridore. In diesem Sinn ist die Frage zu beantworten, ob für dieses Ziel eher raumplanerische Instrumente oder Auflagen und Anreizsysteme für die Landbewirtschaftler geeignet sind. Es kann auch die Frage in den Raum gestellt werden, ob und wie Schäden in der Landwirtschaft bei Inanspruchnahme von schadenreduzierenden Entlastungskorridoren im Ereignisfall entschädigt werden können. Zum Teil sind die Nutzniesser von Entlastungskorridoren die Gebäudeversicherungen; es ist zu diskutieren inwiefern das erwähnte Beispiel der Vergütung von Schäden in der Landwirtschaft in Hochwasserentlastungskorridoren durch den Hilfsfond der Gebäudeversicherung auch in anderen Gebiete angewandt werden kann. Zur Erhaltung der Speicherfunktion der Böden sind dagegen geeignete Bewirtschaftungsformen zu fördern.

Die zitierten Studien zeigen auch die Schwierigkeiten, die Mehrkosten und möglichen Hindernisse für eine Einführung und konsequente Anwendung der bodenschonenden und konservierenden Anbaumethoden auf. Die Umsetzung konservierender Bodenbearbeitungs- und Bestelltechniken und die Vermeidung von Bodenverdichtung haben neben den positiven Auswirkungen auf die Bodenverdichtung auch einen betriebswirtschaftlichen Vorteil durch tiefere Bearbeitungskosten. Neben wirtschaftlichen, agronomischen und politischen Aspekten, beeinflussen auch sozio-kulturelle, ästhetische und ökologische Faktoren den Entscheid, bodenschonende Anbauverfahren einzusetzen (Ledermann und Schneider 2008).

- Welchen betriebswirtschaftlichen Mehrwert kann die Umstellung auf eine pfluglose Bearbeitung oder umfassender auf gefügeschonende Bodenbearbeitungs- und Bestelltechniken im Ackerbau bringen?
- Wie kann die Akzeptanz einer bodenschonenden Bewirtschaftung in der Praxis gefördert werden? Die begonnenen Arbeiten zur Akzeptanz von verschiedenen Bewirtschaftungsmassnahmen bei den Landwirten (Schneider et al. 2010) sind weiter zu vertiefen und Sensibilisierungskampagnen sind zu initiieren.
- Welche Probleme können sich aus einer verbreiteten Anwendung von bodenschonenden Bewirtschaftungsverfahren wie z.B. Direktsaatverfahren ergeben? Gibt es Zielkonflikte mit anderen Vorgaben?
- Wie kann man Bodenverdichtungen rückgängig machen bzw. wie kann die Regenerationszeit der Böden nach erfolgten Schadverdichtungen verringert werden? Wie entwickeln sich die Böden langfristig nach erfolgter Tiefenlockerung?



Die Aussagen zu den Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf Flurbrand, flachgründige Rutschungen und auf Schneegleiten basieren hauptsächlich auf Beobachtungen und der Auswertung von dokumentierten Ereignissen. Bei der Analyse von dokumentierten Rutschungen fehlte bisher eine spezielle Betrachtung der Bewirtschaftungsart und der Bewirtschaftungsintensität auf der betroffenen Parzelle. Insofern ist zu überprüfen, ob durch eine detailliertere Auswertung der bekannten Ereignisse eine Vertiefung der Kenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und den Prozessen möglich wäre.

Die ausgewertete Literatur zu den Folgen von Nutzungsänderungen oder Nutzungsaufgaben für Naturgefahren sind auf wenige Studiengebiete konzentriert. Voraussetzung für eine genauere Bewertung der Folgen von Nutzungsaufgaben wäre die Beantwortung der folgenden Fragen:

- Sind die in dieser Studie dargelegten Folgen von Nutzungsaufgaben auf alle Gebiete des Schweizer Alpenraums übertragbar?
- Gibt es gebietsspezifische Unterschiede, die eine Verallgemeinerung der hier aufgezeigten Sukzessionsabfolgen nach Nutzungsaufgaben limitieren?
- Gibt es standorts- und gebietsspezifische Eigenheiten, die eine natürliche Wiederbewaldung in aufgelassenen Landwirtschaftsflächen unterhalb der potenziellen Waldgrenze verhindern?

Die heutigen landwirtschaftlichen Förderinstrumente nehmen keinen Bezug zu einer möglichen Beeinflussung der Naturgefahren durch die Bewirtschaftung. Es stellt sich die Frage, wie der Standortsbezug und die Anforderungen der Gefahrenprävention in das Förderinstrumentarium aufgenommen werden können. Die Weiterentwicklung eines Anreizsystems für Berücksichtigung der Anforderungen der Naturgefahrenprävention in der Landwirtschaft ist voranzutreiben; in erster Linie stehen dabei die kritischen Einzugsgebiete im Vordergrund. Die im Rahmen der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems geplante Konzentration der Massnahmen auf problematische Gebiete (vgl. Kapitel 2.2.7) entspricht für die Bodenerosion dieser Stossrichtung.

Im Vergleich zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren sind die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Infrastruktur weniger systematisch untersucht. Die modernen Planungsinstrumente für Meliorationen, Entwässerungskonzepte und Land Management zeigen wertvolle Handlungsoptionen für die Naturgefahrenprävention auf. Es ist nach einem Weg zu suchen, wie dieses Potenzial im Naturgefahren- und Risikomanagement ausgeschöpft werden kann.

## 9 Schlussfolgerungen

Im vorliegenden Projekt wurde eingebettet in die Gesamtstrategie der PLANAT und in den Aktionsplan die mögliche Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Hinblick auf eine Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung untersucht. Projektziel war die Darstellung des Wissensstandes, das Formulieren von Ansatzpunkten zur Gefahren- und Schadenreduktion durch die Anpassung der land- und alpwirtschaftlichen Nutzung und der zugunsten der Landwirtschaft ausgerichteten Fördermassnahmen sowie das Aufzeigen von Wissenslücken und offenen Forschungsfragen.

Aus den Erkenntnissen des Projektes werden in diesem Kapitel die nachfolgenden Schlussfolgerungen zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren abgeleitet, es werden jedoch keine (politischen) Empfehlungen zur Umsetzung des Aktionsplans der PLANAT oder zur Anpassung der zugunsten der Landwirtschaft ausgerichteten Fördermassnahmen gemacht.

### 9.1 Folgerungen zu den Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren

In der Arbeit konnte aufgezeigt werden, dass Naturgefahrenereignisse durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung nicht verhindert werden können. Die Landwirtschaft hat aber einige Möglichkeiten, die Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren zu verringern. Bei standortunangepasster Bewirtschaftung kann die Landwirtschaft eine bestehende Gefahrensituation erhöhen. Umgekehrt kann die Landwirtschaft situationsbezogen aber auch zur vorbeugenden Gefahrenminderung und Schadenreduktion beitragen und leistet bereits heute einen Beitrag dazu. Die Beiträge zur Gefahrenprävention reichen von der Optimierung des Hochwasserrückhalts in der Fläche, der Vermeidung von Erosion und Rutschungen bis hin zur Verminderung von Schneegleiten oder der Gefahr von Flurbränden. Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung hat aber auch gegenteilige, die Naturgefahren fördernde Wirkungen.

Der Abfluss in Flüssen bei Niederschlagsereignissen ist die Summe aller Abflussvorgänge im oberhalb liegenden Einzugsgebiet. Die Böden bilden wichtige Speicher von Niederschlägen. Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann in Einzugsgebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen die Abflussspitze und das Abflussvolumen während Hochwasserereignissen steuern. Wesentliche Bewirtschaftungsfaktoren für die Beeinflussung des Wasserrückhalts in der Fläche sind die Art der Vegetationsbedeckung und deren zeitliche Abfolge auf Ackerbauflächen, die Bodenverdichtung, das Makroporenvolumen und die Gestaltung der Oberflächen durch Strukturelemente. Über die Bodenbearbeitung im Ackerbau, über das Befahren von feuchten Böden mit schwerem Gerät sowohl im Ackerbau als auch im Grasland und über eine intensive Beweidung kann die Bodenverdichtung bei dafür sensiblen Böden zu erhöhtem Oberflächenabfluss führen. Durch die Bodenverdichtung und die Verschlammung auf Ackerflächen können Böden mit naturbedingt hohem Wasserspeichervermögen und hoher Infiltrationskapazität beinahe komplett versiegelt werden.

Durch Umstellung der Bewirtschaftungsform in sensiblen Gebieten auf bodenschonende oder konservierende Bewirtschaftungsformen kann die Infiltrationskapazität und das Speichervermögen erhalten bzw. wesentlich erhöht werden und damit ein Beitrag zur Reduktion des Abflusses in Gewässern geleistet werden. Eine wesentliche Reduktion des Oberflächenabflusses kann durch die Vermeidung von Bodenverdichtung durch die Bewirtschaftung und durch das Befahren und durch die Beibehaltung der Vielfalt an Landschaftsstrukturen und Gliederung der Hangbereiche durch Strukturelemente erreicht werden. Schadenpotenzial an Hangfussbereichen, bei denen Oberflächenabflussprozesse häufig vorkommen, kann mit Hilfe von lokalen Auffang- und Versickerungsbecken vor Überflutungsschäden geschützt werden.

Bei Kanalisierung oder Konzentration des Oberflächenabfluss aus grösseren zusammenhängenden Flächen in Tiefenlinien kann es in Ackerflächen zur Erosion von Boden und am Hangfuss zu lokalen Überschwemmungsereignissen sowie zur Ablagerung des erodierten Materials kommen. Ein geringer Bodenbedeckungsgrad bewirkt bei hohem Oberflächenabfluss einen hohen Bodenabtrag und führt damit zu einer Belastung des Oberflächenabflusses mit erodiertem Bodenmaterial. Abflussereignisse können sich so zu mud flows entwickeln.

Voraussetzung für die Wirksamkeit der hier aufgezeigten Möglichkeiten sind die gegebenen Standortbedingungen. Landwirtschaftlich genutzte Böden können örtlich unterschiedlich einen grossen Teil von Niederschlägen aufnehmen. Eine nicht dem Standort angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann aber zu einer nahezu vollständigen Versiegelung der Flächen führen. Die Wasserspeicherkapazität kann damit nicht mehr ausgenützt werden.

Erosionsprozesse, Schneegleiten und Rutschungen können durch die Landwirtschaft nur auf den Standorten beeinflusst werden, die naturbedingt eine Disposition für die jeweiligen Prozesse aufweisen. Eine unangepasste Bewirtschaftung kann zu einer Verschärfung dieser Prozesse führen. Eine Schlüsselrolle hierbei kommt einer an die standörtlichen Bedingungen angepasste Beweidung sowie dem Erosionsschutz im Sömmerungsgebiet zu.

Ausgehend von den gefahrenfördernden und -hemmenden Faktoren hat die Landwirtschaft kurz zusammengefasst folgende Möglichkeiten für eine Verringerung einer gegebenen standortsbedingten Disposition für Naturgefahren:

- Grundlegend ist eine Ausrichtung aller Bewirtschaftungsmassnahmen auf die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, der Aggregatsstabilität und der Infiltrationskapazität der Böden.
- Eine wichtige Maßnahme ist die Erhaltung einer lang anhaltenden Bodenbedeckung durch Kulturen mit langer Vegetationszeit und hoher Bestandesdichte, durch die Ausgestaltung der Fruchtfolge, durch Zwischenfruchtanbau und Untersaaten und andererseits durch die Vermeidung von spät schließenden Reihenfrüchten wie z.B. konventionell angebauter Mais oder Kartoffeln und Zuckerrüben.
- Bodenschonende und konservierende Bearbeitungsverfahren eröffnen Möglichkeiten für eine Verringerung des Oberflächenabflusses und eine Erhöhung der Wasserspeicherkapazität des Bodens durch eine erhöhte Infiltrationskapazität und Gefügestabilität des Bodens, durch die Vermeidung von Bodenverdichtung sowie durch die Wahl der Kulturart und Fruchtfolge.

- Eine weitere Komponente zur Vermeidung der Bodenschadverdichtung ist die bodenschonende Mechanisierung und eine konsequent auf die standortsgebundenen Bodeneigenschaften ausgerichtete Befahrungsorganisation.
- Über die Wahl der Kultur und die Gestaltung der Landschafts- und Geländestrukturen können die Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses reduziert und Möglichkeiten für die Versickerung von Niederschlag erhalten oder geschaffen werden. Damit kann ein Beitrag an der Reduzierung des Anstiegs der Hochwasserspitze und des Abflussvolumens geleistet werden.
- Die Massnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses und zur Steigerung des Hochwasserrückhaltes bewirken eine Verringerung der Bodenerosion durch Wasser. In diesem Sinne tragen sie auch zur Erhaltung der natürlichen Ertragsbasis der Landwirtschaft bei.
- Auf Graslandflächen kann eine konsequente Anpassung der Bewirtschaftung und Beweidung an die Standortbedingungen einen Beitrag zur Reduktion von Erosion, Rutschungen und Schneegleiten leisten.
- Die Gewährleistung einer kontinuierlichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftung wie regelmäßige Beweidung und Mahd verhindern einen Anstieg der Gleitrate von Schneegleiten.
- Versickerungsmulden in Hanglagen können zu Rutschungen im unteren Hangbereich beitragen. Drainagen zur Entwässerung von Hanglagen im Sinne einer Hangstabilisierungsmassnahme haben zur Folge, dass die Geschwindigkeit des Abflusses erhöht werden kann und damit die Reaktionszeit von Einzugsgebieten punktuell verringert wird.
- In bestimmten Fällen lassen sich Hochwasserrisiken im Unterlauf durch gezielte Notfallentlastungen in Überflutungsräume oder Flutkorridoren vermindern. In diesen Fällen kann die Landwirtschaft durch die Bereitschaft, landwirtschaftlichen Grund für diesen Zweck im Hochwasserfall zur Verfügung zu stellen, zur Gefahrenprävention beitragen.

**Die Massnahmen zur Anpassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an die Naturgefahrensituation sollten in die Konzepte des integralen Risikomanagements, der Multifunktionalität der Landwirtschaft und des integralen Einzugsgebietsmanagements integriert werden. Eine auf die Naturgefahren ausgerichtete Bewirtschaftung müsste sich dabei am Ziel einer standortgerechten Landwirtschaft orientieren.**

Die Studie hat gezeigt, dass Massnahmen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zur Verbesserung des vorbeugenden Wasserrückhalts im Boden die Handlungsoptionen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wesentlich erweitern können. Sowohl durch eine Veränderung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung als auch durch die Anpassung der landwirtschaftlichen Strukturen kann in spezifischen Fällen das Volumen wie auch die Spitze des Hochwasserabflusses in Flüssen während Niederschlagsereignissen wesentlich reduziert werden. Weiters kann durch einen verbesserten Hochwasserrückhalt in der Fläche die Geschwindigkeit des Anstiegs der Hochwasserwelle reduziert werden. Die Ausnützung der Instrumente des modernen Meliorationswesens und das Landmanagements für die Schaffung von Retentionsflächen können die Handlungsoptionen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wesentlich erweitern.

**Das Hauptziel einer an die Ansprüche der Gefahrenprävention ausgerichteten Landwirtschaft muss die Erhaltung der natürlichen Speicherfähigkeit der Böden und die Vermeidung von negativen Einflüssen auf die potenziellen standortsspezifischen Gefahrenprozesse sein.**

Unter diesem Aspekt sollen vor allem bodenschonende Bewirtschaftungsformen im Ackerbau im Hinblick auf ihrer Wirkung auf Hochwasserrückhalt und Erosion und die Massnahmen zum Erosionsschutz in der Graslandwirtschaft als gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft angestrebt und gefördert werden.

Die verfügbaren Grundlagen zeigen auf, dass das Wissen um die mögliche Beeinflussung von Naturgefahren durch die Landwirtschaft wissenschaftlich bisher nicht konsolidiert und in der Praxis wenig verbreitet ist. Die vorliegenden Ausführungen haben das zum Thema vorhandene Wissen zusammengefasst. Der Bericht liefert die Basis für die Aufbereitung des vorhandenen Wissens für die landwirtschaftlichen Berater im Hinblick auf eine Erweiterung des Betrachtungsspektrums und für die Bewirtschafter in Hinblick auf eine Sensibilisierung. Die Erarbeitung einer Vollzugshilfe oder ähnlicher Grundlagen ist wesentlich um die negativen Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahrensituation zu minimieren und die Standortbedingungen besser einschätzen zu können. Die folgenden negativen Einflussfaktoren sollen in Zukunft auf jeden Fall vermieden werden:

- Bodenverdichtung im Ackerbau und im Grasland (Oberflächenabfluss)
- Entfernung von Strukturelementen aus der Landschaft (Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses)
- Konventioneller Ackerbau in Hanglagen in direkter Nachbarschaft von Siedlungen (mud flows)
- Veränderungen der Vegetationszusammensetzung auf Wiesen und Weiden durch Übernutzung, Überweidung, Überdüngung und durch Nutzungsaufgabe (Erosion, flachgründige Rutschungen, Schneegleiten, Flurbrand)
- Fehlende Weidepflege, unangepasstes Weidemanagement im Sömmerungsgebiet

Die Ergebnisse der Literaturstudie zeigten auf, dass sich bei Änderungen der Art der Bewirtschaftung oder bei Nutzungsaufgabe Gefahrensituationen verschärfen können. Durch eine regelmässige Mahd oder Beweidung können das Schneegleiten an Hängen mit einer Disposition für diesen Prozess und die Flurbrandgefahr vermindert werden. Über Prozessketten kann damit auch gegen Erosion und gegen flachgründige Rutschungen vorgebeugt werden. Die Aufgabe von Mähwiesen und Weiden in Wildbacheinzugsgebieten mit erheblichem Gefahrenpotenzial kann zu einer Verschärfung der Situation führen. Die Sukzessionsprozesse sind in diesen Fällen zu beobachten und gegebenenfalls zu begleiten. Die Umstellung von Mähwiesen auf Silierung hat ein flächiges Befahren mit schweren Maschinen zur Folge, z.T. auch bei feuchtem Boden. Diese Umstellung der Bewirtschaftung erhöht die Gefahr von Bodenverdichtungen und bewirkt damit eine Reduktion des Infiltrationsvermögens. Diese Entwicklung ist kritisch zu beobachten.

**Ein wichtiger Hebel zur Gefahrenprävention ist die Sicherung einer flächendeckenden und standortangepassten Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Nutzflächen und Sömmerungsweiden in**

**Hang- und Steillagen, welche ein hohes Schadenspotenzial von Rutschungen und Schneegleiten aufweisen.** Wie beim Oberflächenabfluss und der Erosion kommt auch bei den Rutschungen und beim Schneegleiten dem Standort und der Gefahrendisposition eine hohe Bedeutung zu.

Nicht berücksichtigt wurden hier die allgemeine Entwicklung der Arealnutzung und damit raumplanerische Aspekte, die im Kontext der Naturgefahren ebenfalls relevant sind. Die fortschreitende Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen, welche grösstenteils auf ackerfähigen Böden im Mittelland erfolgt, reduziert einerseits das potenzielle Versickerungsvolumen bei Niederschlagsereignissen. Andererseits fördert die zunehmende Knappheit guter (Acker-) Böden den Druck in Richtung einer standortunangepassten Nutzung auf den übrigen Flächen.

## 9.2 Folgerungen zur Ausrichtung der zugunsten der Landwirtschaft ausgerichteten Fördermassnahmen

Die Auflagen und Anreize im heutigen Direktzahlungssystem und im ökologischen Leistungsnachweis orientieren sich grundsätzlich an agronomischen Kriterien resp. an agrarpolitischen Zielen und nicht direkt am Ziel der Naturgefahrenprävention. Dennoch wirken sich die verschiedenen Direktzahlungsprogramme direkt oder indirekt auf die Naturgefahrensituation aus, indem sie das Ausmass, die Art und die Intensität der landwirtschaftlichen Flächennutzung beeinflussen. Der Vergleich der fördernden und hemmenden Einflussfaktoren der Naturgefahren mit dem heutigen Förderinstrumentarium zeigt, dass sich die bestehenden Auflagen und Anreize im Direktzahlungssystem grundsätzlich positiv auf die Naturgefahrensituation auswirken. Die Wirkung hängt jedoch von weiteren Faktoren wie der Entwicklung der Preise für landwirtschaftliche Produkte und Produktionsmittel sowie von der allgemeinen Strukturentwicklung in der Landwirtschaft ab. Diese Faktoren können die Wirkung auf die Naturgefahren verstärken, aber auch überdecken. Ebenso können sich die Auflagen und Anreize gegenseitig verstärken oder gegenläufig wirken.

**In Betrieben, welche die Auflagen des ökologischen Leistungsnachweises erfüllen, wirken sich eine Vielzahl von Faktoren positiv auf die Anforderungen einer Gefahrenprävention durch die Landwirtschaft aus.** Vor allem die positiven Einflüsse auf die Erhaltung der Infiltrationskapazität und auf die Strukturvielfalt der Landschaft sind hier zu erwähnen. Damit leistet die ökologische Landwirtschaft z.T. bereits heute einen Beitrag an die Gefahrenprävention. Mit der Bindung der Direktzahlungen an die Erbringung des Ökologischen Leistungsnachweises werden die Auflagen einer ökologischen Bewirtschaftung heute praktisch flächendeckend eingehalten. Bei den Anreizen wirken sich vor allem die Förderung der Vernetzung, von Strukturelementen oder der extensiven Bewirtschaftung auf die betrachteten Naturgefahren aus. Mit den allgemeinen Direktzahlungen und den Hangbeiträgen wird gleichzeitig einer Flächenaufgabe und damit der Verbrachung oder Verbuschung entgegengewirkt.

**Mit dem Ziel der Naturgefahrenprävention müsste das Förderinstrumentarium zugunsten der Landwirtschaft durch standortspezifische Auflagen und Anreize ergänzt werden, weil die Naturgefahren meist einen direkten Standortbezug haben.** Neben der Sicherung einer flächendeckenden

Bewirtschaftung liegen die wirksamsten Hebel in einer Einführung eines Flächenbezugs in der Sömmerungsverordnung oder in der Einführung von Auflagen oder Voraussetzungen für die Inanspruchnahme von Direktzahlungen unter Berücksichtigung der standortgegebenen Voraussetzungen zur Disposition von Naturgefahren.

**Möglichkeiten für einen stärkeren Einbezug der Naturgefahrenprävention in das landwirtschaftliche Förderinstrumentarium bestehen mit der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems und einem Ausbau der Ressourcenprogramme.** Während bei der Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems primär negative Einflüsse auf die potenziellen standortsspezifischen Gefahrenprozesse im Vordergrund zu vermeiden sind, können über die bestehenden Ressourcenprogramme zur nachhaltigen Nutzung des Bodens oder neu zur Naturgefahrenprävention spezifische Anreize für freiwillige Bewirtschaftungsmassnahmen und für bodenschonende oder konservierende Anbaumethoden gegeben werden, welche sich positiv auf die Naturgefahrensituation und -prävention auswirken.

**Die aktuellen Entwicklungen in der Landwirtschaft zeigen Trends auf, die zu einer Verschärfung der Gefahrensituation führen können.** Dies ist einerseits auf die zunehmende Mechanisierung und andererseits auf die abnehmende Pflege der Flächen zurückzuführen. Es ist die Einrichtung eines Verfahrens zur laufenden Beobachtung der Entwicklungen der Landwirtschaft und ihrer Auswirkungen auf die Naturgefahrensituation zu empfehlen, um allfälligen unerwünschten Entwicklungen vorbeugen zu können.

### 9.3 Folgerungen zum Forschungsbedarf

Die Auslegeordnung zu den im Kontext Naturgefahren und landwirtschaftliche Bewirtschaftung zeigte verschiedene Forschungslücken und offene Fragen (vgl. auch Kapitel 8) auf. Konkreter Forschungsbedarf besteht in den folgenden Bereichen:

- Um den möglichen Beitrag der Landwirtschaft zur Gefahrenprävention in den Rahmen des integralen Risikomanagements einordnen zu können, braucht es eine Analyse des Nutzens und der Kosten dieser möglichen Beiträge in Bezug auf eine quantitative Reduktion der Risiken. Es sollte an konkreten Beispielen aufgezeigt werden, in welcher Grössenordnung eine Anpassung bestimmter Bewirtschaftungstechniken sowie Massnahmen aus dem modernen Meliorationswesen und dem Landmanagement zur Verminderung von Schäden beitragen können.
- Die Kenntnisse über die Verbreitung von Bodenverdichtung und über Möglichkeiten zur Behebung von Schadverdichtungen sind zu vertiefen.
- Die aufgezeigten Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Prozessen, Bewirtschaftungsarten und Standortbedingungen sind sehr vielfältig und komplex. Es muss eine Möglichkeit gefunden werden, das vorhandene Wissen kompakt und zielgruppengerecht an die wichtigsten Akteure, die Landwirte vermitteln zu können ohne dass zu starke Generalisierungen den Handlungsgrad der Landwirte flächendeckend einschränken. In diesem Sinne ist

die Entwicklung eines Verfahrens notwendig, das im Sinne eines Informationssystems flächendeckend die kritischen Flächen mit hoher Disposition für die verschiedenen Naturgefahren aufzeigt und in denen die Landwirtschaft durch eine Berücksichtigung der Standortbedingungen bzw. durch die Vermeidung von bestimmten Bewirtschaftungsformen einen Beitrag zur Gefahrenprävention liefern kann (Konzept der beitragenden Flächen mit Relevanz für Schadenpotenzial).

Im Zusammenhang mit den laufenden Reformen der Agrarpolitik stehen drei anwendungs- resp. umsetzungsorientierte Projekte im Vordergrund:

- Überprüfung der im Konzept zur Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems vorgesehenen Anpassungen der Anreize und Auflagen auf ihre Wirkung zur Naturgefahrenprävention: Primäres Ziel einer solcher Überprüfung im Rahmen der Vernehmlassung im Sommer 2011 ist es, allfällige negative Wirkungen der geplanten Anpassungen zu erkennen und im Hinblick auf die Erarbeitung der Botschaft an das Parlament einzubringen.
- Weiterentwicklung des landwirtschaftlichen Förderinstrumentariums in Richtung der Naturgefahrenprävention.
- Erarbeitung der Grundlagen für ein Ressourcenprogramm „Naturgefahrenprävention“.



## 10 Literatur

- Affentranger, M., 2007. Wahrnehmung und Bewertung von Erosionsereignissen mit Folgeschäden und der Prozess der Problemlösung. Diplomarbeit. Universität Bern.
- AGRIDEA, 2009. Bodenerosion im Sömmerungsgebiet: Erkennen - vermeiden - beheben. Merkblatt.
- Aichinger, E., 1981. Ein vegetationskundlicher Beitrag zu den Ursachen von Schneebrettlawinen. In: Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten (Editor), Klagenfurt, pp. 189-200.
- Akkermann, M., 2004. Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss. Dissertation. Univ. Hannover.
- Alewell, C., 2007. Bodenerosion in den Alpen - Wissenschaftlicher Workshop.
- ART, 2010. Folgen von Bodenverdichtungen - Merkblatt. ART-Tagung, 19. März 2010.
- Baden Württemberg, M.L.R., 2002. Verringerung von Oberflächenabfluss und Bodenerosion.
- BAFU, 2010. Vollzugshilfe zur Verordnung über den Schutz der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung.
- BAFU and AGRIDEA, 2006. Bewirtschaftung von Trockenwiesen und -weiden. Dossier Trockenwiesen und -weiden. BAFU, Bern.
- Baril, P. Erodibilité des sols et érodabilité des terres : application au plateau vaudois. These EPFL, no 940. Lausanne (1991).
- Batey, T., 2009. Soil compaction and soil management – a review. *Soil Use and Management*, 25: 335-345.
- Baur, P., 2006. Die Rückkehr des Waldes im südlichen Alpenraum der Schweiz: Hintergründe eines Landschaftswandels. *Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie*, 2/06.
- Bernaldez, F.G., 1991. Ecological consequences of the abandonment of traditional land use systems in central Spain.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J., 1979. A physically-based variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Journal*, 24(1): 43-69.
- BfS, 2001. Arealstatistik der Schweiz: Zahlen - Fakten - Analysen. Neuenburg.
- BfS, 2010. Landschaft Schweiz im Wandel: Siedlungswachstum in der Schweiz. BfS Aktuell. Neuchâtel.
- Billen, N., 2007. Landwirtschaftlicher Hochwasserschutz. 10 Steckbriefe für 12 Maßnahmen.
- BLW, 2010. Agrarbericht.
- BMLFUW et al., 2006. ALP Austria. Programm zur Sicherung und Entwicklung der alpinen Kulturlandschaft.

- BMVWL, 2002. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion.
- Bollinger, D., Keusen, H.R., Rovina, H., Wildberger, A., and Wyss, R., 2004. Gefahreinstufung Rutschungen i.w.S.: Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren. Entwurf.
- Brändli, U.-B., 2000. Waldzunahme in der Schweiz - gestern und morgen. Inf.bl. Forsch.bereich Landsch. Nr. 45. WSL.
- Buchweitz, M., Hermann, G., and Trautner, J., 2006. Ökologisches Monitoring zur Kaiserstuhlweiten Integration eines Feuer-Managements in die Böschungspflege. Endbericht Untersuchungszeitraum 2002-2005.
- Bunza, G., 1984. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen. Ver. Ges. Ökol., 12: 101-109.
- Bunza, G., 1989. Oberflächenabfluss und Bodenabtrag in der alpinen Grasheide der hohen Tauern an der Grossglockner-Hochalpenstrasse. Struktur und Funktion von Graslandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern.
- Bunza, G., Jürging, P., Löhmannsröbern, R., Schauer, T., and Ziegler, R., 1996. Abfluss- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten. Schriftreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft 27. München.
- Burghardt, W., Demuth, N., and Meuser, A., 1998. Leitfaden Flächenhafte Niederschlagswasserversickerung. Handlungsempfehlungen für Planer, Ingenieure, Architekten, Bauherren und Behörden. Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz in Zusammenarbeit mit der Univ. GH Essen.
- BWG, 2003. Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe. Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 4.
- Cerda, A. and Robichaud, P.E., 2009. Fire effects on soils and restoration strategies.
- Cernusca, A., Tappeiner, U., and Bayfield, N., 1999. Land-use changes in european mountain ecosystems. Ecomont - Concepts and results. Blackwell, Berlin.
- Conedera, M., 2009. Implementing fire history and fire ecology in fire risk assessment: the study case of Canton Ticino (southern Switzerland). Univ. Karlsruhe.
- Conedera, M., Cesti, G., Pezzatti, G.B., Zumbrunnen, T., and Spinedi, F., 2006. Lightning-induced fires in the Alpine region: An increasing problem. Forest Ecology and Management, 234.
- Conedera, M., and Krebs, P., 2007. La pratica del fuoco pastorale nella Svizzera Sudalpina dal tardi medioevo ai nostri giorni.
- Conedera, M., Tinner, W., Neff, C., Meurer, M., Dickens, A., and Krebs, P., 2009. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation. Quaternary Science review, 28: 435-456.

- Debeljak, M., Kocey, D., Towers, W., Jones, M., Griffiths, B.S., and Hallet, P.D., 2009. Potential of multi-objective models for riskbased mapping of the resilience characteristics of soils: demonstration at a national level. *Soil Use and Management*, 25: 66-77.
- Dobmann, J., 2009. Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Dissertation. Univ. Bern.
- Duran Zuazo, V.H. and Plegezuelo, C.R.R., 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28: 65-86.
- FAO/Cemagref, 2002. Handbook on forest fire protection as a technical guide for the mediterranean basin. Guide technique international Protection des forêts contre l'incendie. Fiches techniques pour les pays du Bassin Méditerranée.
- Feldwisch, N., 2001. Abschlussbericht IRMA II A1/01: Definition "Sensible Niederschlagsflächen und Bachauen"; IRMA II B1/01: Definition "Schonende Bewirtschaftung".
- Flury C. 2005. Agrarökologie und Tierwohl 1994-2005. *Agrarforschung* 12(6), S. 526-531.
- Flury, C., Zraggen, K., Giuliani, G., and Gotsch, N., 2005. Flächen- und Landnutzung in der Schweiz - eine ökonomische Betrachtung. Festschrift zu Ehren von Professor Peter Rieder. pp. 65-82.
- Frehner, M., Wasser, B., and Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, BUWAL. Vollzug Umwelt.
- Frei, M., 2009. Validation of a new approach to determine vegetation effects on superficial soil movements. Dissertation. ETH-Zürich.
- Frey, M., 2009. Prediction of critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters. Dissertation. Zürich.
- Fry P. 2009. Handlungsmotive der Landwirte und Gründe für Umsetzungsschwierigkeiten im Bodenschonenden Ackerbau. Beitrag an der ART-Tagung „Bodenverluste vermindern“, 23. Januar 2009, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Tänikon.
- Gellweiler, I., Lux, N., and Seeling, S., 2005. WaReLa – Wasserrückhalt durch angepasste Landnutzung. *Trierer Forschung. Unijournal Universität Trier.*, Vol. 3.
- Gisler, S., Liniger, H., and Prasuhn V., 2010. Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz im 2x2Meter-Raster (EK2). Technisch-wissenschaftlicher Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft. Bern.
- Graf, C., Böll, A., and Graf, F., 2003. Pflanzen im Einsatz gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen. *WSL, Merkblatt* 37.
- Grubinger, H., 1971. Das kombinierte System der Berghangentwässerung. *Interpraevent* 1971. Tagungsband.
- Hebel, B. and Klik, A., 2000. Bodenerosion auf ackerbaulich genutzten Flächen. Stand März 2000.
- Heggli, H., 1654. Der Einfluss der Niederschläge auf die Drainwasserführung. Ergebnisse der Messanlage Jöhe im Jahre 1954. *Melioration der Rheinebene*. 13. Jahresbericht 1954. pp. 33-39.

- Heikkilä, T.V., Grönqvist, R., and Jurvélius, M., 2007. Wildland fire management: Handbook for trainers. Ministry for Foreign Affairs of Finland, Development Policy Information Unit.
- Hellebart, S., 2006. Almwirtschaft und Schutzfunktion. ALP Austria, Klagenfurt.
- Hiltbrunner, E., 2007. Bodenschutz in Steillagen - die Bedeutung der alpinen Vegetation. Bodenerosion in den Alpen, 13.9.2007.
- Hohwieler, N., Alewell, C., and Prasuhn, V., 2007. Quantitative Erosionsmessung im Urserental. Bodenerosion in den Alpen, 13.9.2007.
- In der Gand, H., 1968. Aufforstungsversuche an einem Gleitschneehang - Ergebnisse der Winteruntersuchungen 1655/56 bis 1961/62. Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 44(3): 233-324.
- IRMA and Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinwald-Pfalz, 2001. Hochwasserrückhalt. Schonende Bewirtschaftung von sensiblen Niederschlagsflächen und Bachauen.
- Jones, R.J.A., Bissonais, Y., Diaz, J.S., Düwel, O., Bazzoffi, P., Prasuhn, V., Yordanov, Y., Strasuss, P., Rydell, B., Berenyi Uveges, J., Loj, G., Lane, M., and Vandekerckhove, L., 2003. EU Soil Thematic Strategy: Technical Working Group on Erosion Work Package 2: Nature and extent of soil erosion in Europe. Interim Report version 3.31, 28 October 2003.
- Keeley, J.E., Fotheringham, C.J., and Morais, M., 1999. Reexamining fire suppression impacts on brushland fire regimes. Science, 284.
- Kohl, A., 2001. Schonende Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Landwirtschaft. Anhang.
- Kohl, A., 2001. Schonende Bewirtschaftung sensibler Niederschlagsflächen und Bachauen in der Landwirtschaft. Materialsammlung.
- Konz, N., Baenninger, D., Konz, M., Nearing, M., and Alewell, C., 2010. Process identification of soil erosion in steep mountain regions. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14: 675-686.
- Krauer, B., 2004. Analyse rutschungsrelevanter Standortparameter in ausgewählten Einzugsgebieten der Surselva. Diplomarbeit. ETH Zürich.
- Lackinger, B., 1987. Über die Stabilität der gleitenden Schneedecke und die Bruchmechanik der Gleitschnee-Lawine. Habilitationsschrift. Univ. Innsbruck.
- Larsen, I.J., MacDonald, L.H., Brown, E., Rough, D., and Welsh, M.J., 2009. Causes of Post-Fire Runoff and Erosion: Water Repellency, Cover, or Soil Sealing? Forest, Range & Wildland soils, 73(4).
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser), 2000. Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmassnahmen. Schwerin.
- Ledermann, T., Herweg, K., Liniger, H.P., Schneider, F., Hurni, H., and Prasuhn, V., 2010. Applying erosion damage mapping to assess and quantify off-site effects of soil erosion in Switzerland. Land Degradation & Development 21[4], 353-366.

- Ledermann, T., Herweg, K., Liniger, H.P., Schneider, F., Hurni, H., and Prasuhn, V., 2008. Erosion damage mapping: Assessing current soil erosion damage in Switzerland. *Advances in GeoEcology* 39, 263-283.
- Ledermann, T. and Schneider, F., 2008. Verbreitung der Direktsaat in der Schweiz. *Agrarforschung*, 15(8): 108-413.
- Legner, F., Hellebart, S., Tasser, E., and Tappeiner, U., 2006. Almwirtschaft und Schutzfunktion. PPT-Präsentation.
- Leitinger, G., 2003. Modellierung von Schneegleitprozessen (Passeiertal, Stubaital). Diplomarbeit. Innsbruck.
- Leitinger, G., Höller, P., Tasser, E., Walde, J., and Tappeiner, U., 2008. Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling* 211[3-4], 363-374.
- Leitinger, G., Tappeiner, U., Tappeiner, G., and Walde, J., 2004. How is snowgliding influenced by vegetation? 3.Tagung „Zoologische und botanische Forschung in Südtirol“. Bozen.
- Lienert, M., 2006. Hochwasserschutz im Siedlungsraum. Hochwasserereignisse im Kanton Aargau. Umwelt Aargau Sondernummer 22 Januar 2006. Kanton Aargau.
- Liniger, H., 1983. Veränderung des Bodens im Aletschgebiet (VS) durch die traditionelle Wiesenbewässerung. Diplomarbeit. Univ. Bern.
- Löhmannsröben, R., 1992. Die Bedeutung der Bodenkartierung für die Beurteilung morpho- und hydrodynamischer Prozesse in Wildbacheinzugsgebieten. *Interpraevent* 1992.
- Maag, S., Nösberger, J., and Lüscher, A., 2001. Mögliche Folgen einer Bewirtschaftungsaufgabe von Wiesen und Weiden im Berggebiet. In: *Ergebnisse des Komponentenprojektes D, Polyprojekt PRIMALP*. ETH Zürich.
- Mann S. 2005. Zur Akzeptanz ausgewählter Ökomassnahmen. *Agrarforschung* 12 (5): 190-195.
- Markart, G., 2003. Einfluss der Bewirtschaftung auf Wasserhaushalt und Abflussverhalten. *Bodenseminar Gumpenstein, Alm- und Waldböden*.
- Markart, G., Kohl, B., Schauer, T., Sotier, B., Bunza, G., and Stern, R., 2004. Eine einfache Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes bei Starkregen. *Interpraevent* 2004.
- Markart, G., Kohl, B., and Zanetti, P., 1996. Einfluss von Bewirtschaftung, Vegetation und Boden auf das Abflussverhalten von Wildbacheinzugsgebieten. *Interpraevent* 1996.
- Marxer, P., 2003. Oberflächenabfluss und Bodenerosion auf Brandflächen des Kastaniengürtels der Südschweiz mit einer Anleitung zur Bewertung der post-fire Erosionsanfälligkeit (BAroKaBr).
- Meusburger, K. and Alewell, C., 2007. Auswirkungen natürlicher und anthropogener Einflüsse auf die Bodenstabilität. *Bodenerosion in den Alpen*, 13.9.2007.
- Meusburger, K. and Alewell, C., 2008. Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8: 509-520.

- Meusburger, K. and Alewell, C., 2009. On the influence of temporal change on the validity of landslide susceptibility maps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9: 1495-1507.
- Michaud, M. and Bougain, O., 2005. Evaluation du coût de mise en place de pratiques agricoles permettant de limiter le ruissellement érosif: l'exemple des exploitations sur le plateau de Neuchâtel. *Ingénieries*, 43(sept.): 33-42.
- Moreira, F. and Russo, D., 2007. Modelling the impact of agricultural abandonment and wildfires on vertebrate diversity in Mediterranean Europe. *22*[10], 1461-1476.
- Morgan, R.P.C., 2005. Soil erosion and conservation.
- Mosimann, T., Maillard, A., Musy, A., Neyroud, J.-A., Rüttimann, M., and Weisskopf, P., 1991. Erosionsbekämpfung in Ackerbaugebieten - Ein Leitfaden für die Bodenerhaltung. - Themenbericht des Nationalen Forschungsprogramms „Nutzung des Bodens in der Schweiz“. Bern.
- Müller, U., 1983. Die Melioration staunasser Böden. Unter besonderer Berücksichtigung der Tieflockerung. Dissertation. ETH Zürich.
- Müller, D., 2004. Hochwasserschutz durch kontrollierte Überflutungen. Fallbeispiel Suhre / Schweiz. Interpraevent 2004.
- Naef, F., Scherrer, S., and Weiler, M., 2002. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. *Journal of Hydrology*, 267: 74-79.
- Newesely, C., Tasser, E., Spadinger, P., and Cernusca, A., 2000. Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 1: 61-67.
- O'Connell, P.E. et al., 2004. Review of impacts of rural land use and management on flood generation. Impact study report.
- O'Connell, P.E. et al., 2004b. Review of impacts of rural land use and management on flood generation. Research plan.
- O'Connell, P.E., Ewen, J., O'Donnell, G., and Quinn, P., 2007. Is there a link between agricultural land-use management and flooding? *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 96-107.
- Paldele, B., 1994. Die aufgelassenen Almen Tirols. *Innsbrucker Geographische Studien*, Band 23. Leopold-Franzens-Univ., Innsbruck.
- Pintus, T.; Studio statistico-econometrico sugli incendi in Sardegna redatto con la collaborazione del Corpo Forestale e di V.A. della Sardegna. Relazione di sintesi.
- Prasuhn, V., 2009. Ausmass des Erosionsrisikos im Mittelland heute und morgen sowie Massnahmenpläne. Beitrag an der ART-Tagung „Bodenverluste vermindern“, 23. Januar 2009, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Tänikon.
- Prasuhn, V.; Mapping of actual soil erosion in Switzerland.
- Prasuhn, V., Liniger, H., Hurni, H., and Friedli, S., 2010. Abschätzung des Bodenfaktors für die Übersichtskarte der Bodenerosionsgefährdung der Schweiz. *Bulletin BGS* 30, 31-36.
- Prasuhn, V., 2011. Soil erosion in the Swiss midlands: Results of a 10-year field survey. *Geomorphology*, 126: 32-41.

- PRIMALP, 2000. Kulturlandschaften im Alpenraum- nachhaltig nutzen und gestalten. Tagung des Polyprojektes PRIMALP der ETH Zürich und des Forums Davos, Kongresszentrum Davos, 31.8. - 2.9.2000.
- Providoli, I., Elsenbeer, H., and Conedera, M., 2002. Post-fire management and splash erosion in a chestnut coppice in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 162: 219-229.
- Regional Office of Carinthia for the protection of the water economy, d.l.w.m., 2008. Rainfall/Runoff Model for small catchment areas in the Lavant Valley for determination of potential future effects through assessment of regional climate change scenario. *ClimChAlp - Climate Change, Impacts and Adaptation Strategies in the Alpine Space*. Project report WP 5 Climate Change and Resulting Natural Hazards. Klagenfurt.
- Rickli, C. and Bucher, H., 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. WSL/BWG.
- Rickli, C., Bucher, H., Böll, A., and Raetzo, H., 2004. Untersuchungen zu oberflächennahen Rutschungen des Jahres 2002 im Napfgebiet und in der Region Appenzell. *Bull. angew. Geol.*, 9/1: 37-49.
- Rickli, C., Kamm, S., and Bucher, H., 2008. Ereignisanalyse Hochwasser 2005: Teilprojekt Flachgründige Rutschungen. Projektbericht. WSL/BAFU.
- 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.
- Rieder, P., 1998. Auswirkungen eines EU-Beitritts auf die schweizerische Agrarpolitik und Landwirtschaft, Schriftenreihe Institut für Agrarwirtschaft ETH Zürich 2/1998. Zürich.
- Rieger, W., Winter, F., and Disse, M. Uncertainties of soil parameterisation in process-based simulation of distributed flood control measures. *Adv. Geosci.* 27, 121-129. 2010. Copernicus Publications.
- Rizzo, D., 1999. La gestione delle sistemazioni idraulico-agrarie come contributo alla tutela del paesaggio agrario terrazzato toscano. Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.
- Schauer, T., 1996. Charakterisierung von Abtragsformen und Beurteilung der Abtragsbereitschaft anhand der Vegetation. *Interpraevent* 1996.
- Schauer, T., 1975. Die Blaikbildung in den Alpen. Schriftenreihe Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 1. München.
- Scherrer, S., 1997. Abflussbildung bei Starkniederschlägen. Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. *VAW Mitteilungen* 147. VAW, ETH Zürich.
- Scherrer, S., 2006. Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Mainz.
- Scherrer, S.N.F., Faeh, A.O., and Cordery, I., 2007. Formation of runoff at the hillslope scale during intense precipitation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 907-922.

- Scheurer, M., 2003. Bodenbelastung und Erosion durch Almwirtschaft und Wintertourismus, Diplomarbeit. Bingen.
- Schmid, G. and Sutter, R., 2007. Alpenbewirtschaftung - Erosionsprobleme und Lösungsansätze. Gemeinsames Projekt AI, GL und SG. Bodenerosion in den Alpen, 13.9.2007.
- Schmid, W., Stäubli, A., and Wiedemeier, P., 2002. Begleitbericht Waldweideliteratur-Datenbank.
- Schmidlin, J., 2008. Direktzahlungen für die Schweizer Landwirtschaft; Ungelöste Probleme in den Bereichen Umwelt, Natur und Landschaft. Pro Natura.
- Schmidt, W., o.J. Literaturübersicht zu Veränderungen von Bodeneigenschaften durch konservierende Bodenbearbeitung. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft .
- Schmidt, W., Zimmerling, O., Nitzsche, O., and Krück, S., 2001. Conservation Tillage - a new strategy in flood control. In: J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman, and H. Sieker (Editors), Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls. Nato Science Series, pp. 287-293.
- Schmocker-Fackel, P., 2004. A Method to Delineate Runoff Processes in a Catchment and its Implications for Runoff Simulations. Dissertation. ETH, Zürich.
- Schmocker-Fackel, P., Naef, F., and Scherrer, S., 2007. Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences, 11 : 891-906.
- Schneider, F., 2008. The quest for sustainable soil cultivation in Swiss agriculture. Dissertation. Bern.
- Schneider, F., Fry, P., Ledermann, T., and Rist, S., 2009. Social Learning Processes in Swiss Soil Protection - The 'From Farmer - To Farmer' Project. Human Ecology 37[4], 475-489.
- Schneider, F., Ledermann, T., Fry, P., and Rist, S., 2010. Soil conservation in Swiss agriculture - Approaching abstract and symbolic meanings in farmers' life -worlds. Land Use Policy 27[2], 332-339.
- Schnug, E. and Haneklaus, S., 2002. Landwirtschaftliche Produktionstechnik und Infiltration von Böden - Beitrag des ökologischen Landbaus zum vorbeugenden Hochwasserschutz. Landbauforschung Völkenrode, 4(52): 197-203.
- Schumacher, S., 2004. The role of large-scale disturbances and climate for the dynamics of forested landscapes in the European Alps. Dissertation. ETH, Zürich.
- Schwarzelmüller, W., 1989. Alpschutz. Univ. für Bodenkultur, Wien.
- Sieker, F., 2002. Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Massnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neisse. DBU Projekt AZ 15877, Endbericht . DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt).
- Spadinger, P., 2000. Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen in Almökosystemen auf Schneegleiten. Diplomarbeit. Univ. Innsbruck.
- Spatz, G., 1999. Almwirtschaft - Ökosystem in labilem Gleichgewicht. Geographische Rundschau 51.
- Stadler, F., 2004. Grundsätzliche Überlegungen zu Bewirtschaftungsplänen. Informationstagung des BUWAL 2004: Schafsommerung im Wandel.



- Stadler, F., o.J.. Kühe im Gebirgswald - ein ökologisches Risiko? BAFU.
- Stadler, F., 2009. Schafalping – Erfahrungen mit der Sömmerungsbeitragsverordnung (Essay). SZF 160 (2009) 10: 290–293.
- Stehrer, J., 1988. Quantitative Untersuchungen zur sozioökonomisch gesteuerten Denudation in der östlichen Osterhorngruppe (Salzburg). Interpraevent 1988.
- Stöckl, A., 1997. Landschaftspflegerische Leistungen der Berglandwirtschaft als Funktion sozialer und ökonomischer Rahmenbedingungen - Fallstudie Hinteres Passeiertal. Diplomarbeit. Univ. Innsbruck.
- Sutter, R., 2007. Erosion im Alpgebiet-Schlussbericht.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2006. Dezentraler Hochwasserschutz. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Heft 11/2006.
- Tasser, E., 2007. Erosion und Landnutzung: Wo ist das Bindeglied? Bodenerosion in den Alpen, 13.9.2007.
- Tasser, E., Mader, M., and Tappeiner, U., 2005. Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Blaikenbildung im Gebirge. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, 72: 25.
- Tasser, E., Mader, M., and Tappeiner, U., 2003. Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. Basic Appl. Ecol., 4: 271-280.
- Tasser, E. and Tappeiner, U., 2002. The impact of land-use changes in time and space on vegetation distribution in mountain areas. Applied Vegetation Science, 5: 173-184.
- Tasser, E. and Tappeiner, U., 2002. Impact of land use changes on mountain vegetation. Applied Vegetation Science, 5: 173-184.
- Tasser, E. and Tappeiner, U., 2007. Wenn der Bauer mäht...Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen. Ländlicher Raum. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Tasser, E., Tappeiner, U., and Cernusca, A., 2001. Südtirols Almen im Wandel - Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen. Athesia, Bozen.
- Teebrügge, F. and Abelsova, J., 1999. Auswirkung der Pflug-Bodenbearbeitung und Direktsaat auf biogene Durchporung und ungesättigte Infiltrationsleistung des Bodens. Landtechnik, 1.
- Telesca, L., Kanevski, M., Tonini, M., Pezzatti, G.B., and Conedera, M., 2010. Temporal patterns of fire sequences observed in Canton of Ticino (southern Switzerland). Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10[4], 723-728.
- Tessier, D., 1991. Influence des travaux d'améliorations foncières sur le régime hydrologique des cours d'eau. Lausanne.
- Tore, C., Fantola, F., Urru, S., and Schirru, P. Vulnerabilità e tutela dell'ecosistema viticolo di montagna.

- Troxler, J., 2007. Schonende Graslandnutzung im Berggebiet mit minimaler Bodenerosion. Bodenerosion in den Alpen, 13.9.2007.
- Valese, E., 2008. Wildland fires in the Alpine Region of Italy: what's old, what's new. What's next? UNECE/FAO int. Forest Fire News No. 38.
- Venevsky, S., Thonicke, K., Sitch, S., and Cramer, W., 2002. Simulating fire regimes in human-dominated ecosystems: Iberian peninsula case study. *Global Change Biology*, 8: 984-998.
- Wagner, K., Janetschek, H., and Neuwirth, J., 2009. Die Wechselwirkungen zwischen Landwirtschaft und Hochwasserrisiko. Ergebnisse des Projektes AWI/162/07, Teilprojekt der Forschungskooperation Flood Risk II des Lebensministeriums.
- Wagner, K., Janetschek, H., and Neuwirth, J., 2009. Landwirtschaft und Hochwasser – Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Wasserrückhalt. *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie* 18[3], 137-146.
- Weidmann, B., 2009. Landwirtschaft unter Druck. LID Dossier Nr. 437 vom 8. September 2009. Landwirtschaftlicher Informationsdienst LID, Bern.
- Weiss, A., 2009. Beitrag unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bewirtschaftungsformen der Landwirtschaft zur Reduzierung des Hochwasserabflusses. *Kasseler Wasserbau-Mitteilungen*; Heft 17.
- Weisskopf, P., 2007. Gefügeschäden im Boden – Ursachen, Wirkungen, gezielte Vorsorgemassnahmen. Vortrag Bioforschungsinfortagung 29./30.11.2007.
- Wyl, B., 1987. Beitrag naturnaher Nutzungsformen zur Stabilisierung von Ökosystemen im Berggebiet, insbesondere zur Verhinderung von Bodenerosion. *Schweiz. Landw. Forschung*, 26(4): 405-464.
- Zimmermann, M., Mani, P., and Gamma, P., 1997. Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich.
- Zischg, A., 2009. Integrales Risikomanagement im Einzugsgebiet von Gebirgsbächen. Pilotgebiet Jaufental, Modul Land- und Forstwirtschaft. Projektbericht zu Handen der Abteilung Wasserschutzbauten, Autonome Provinz Bozen - Südtirol. Bozen.

## 11 Glossar

<b>Abflusskoeffizient</b>	Der Anteil am Niederschlag, der oberflächlich abfließt. Er wird in Prozent angegeben.
<b>Anlaufzeit, Abstraktionszeit</b>	Zeit, die verstreicht, bis Oberflächenabfluss einsetzt.
<b>Besatzstärke</b>	Anzahl GVE-Tage pro Vegetationsperiode (GVE-Tage pro ha und Jahr). Die Besitzstärke ist die Grundlage für die Berechnung der Sömmerungsbeiträge.
<b>Bewirtschaftungsform</b>	Geräteeinsatz, Art und Intensität der Bodenbearbeitung, Einsatz von Düngerarten.
<b>Bodenart</b>	Kennzeichnung des mineralischen Bodenmaterials nach seiner Korngrößenzusammensetzung.
<b>Bodenform</b>	Bodenbildungsbedingungen, gekennzeichnet durch eine Kombination von Bodentyp und Ausgangsmaterial der Bodenbildung (Substrat).
<b>Bodenerosion, Bodenabtrag</b>	Abtrag und Abtransport von Bodenmaterial durch Kräfte des Wassers und des Windes; man unterscheidet Flächen-, Graben-, Furchen-, Rillen- und Tunnelerosion.
<b>Bodentyp</b>	Zusammenfassung von Böden gleichen Entwicklungszustandes, bei denen Prozesse der Pedogenese übereinstimmende Merkmale und damit ähnliche Horizontabfolgen erzeugen.
<b>Bodenverdichtung</b>	Verdichtung des Bodens durch mechanische Belastung.
<b>Grasland</b>	Flächen, die dauernd zum Anbau von Gras oder anderen Grünfutterpflanzen genutzt werden und mindestens 5 Jahre lang nicht Bestandteil der Fruchtfolge des Betriebs sind.
<b>Dauerkulturen</b>	Kulturen ausserhalb des Graslands, die mindestens fünf Jahre auf den Flächen verbleiben, wiederkehrende Erträge liefern und nicht Bestandteil der Fruchtfolge des Betriebs sind. Ausnahme sind die mehrjährigen landwirtschaftlichen Kulturen.
<b>Direktsaat</b>	Verzicht auf jegliche Bodenbearbeitung im Ackerbau, erfordert jedoch vorherige Herbizidbehandlung.
<b>Feinboden</b>	Durch Siebung des Gesamtbodens abgetrennter Masseanteil mit einem Korndurchmesser < 2 mm.
<b>Feldkapazität</b>	Wassermenge, die ein Boden gegen die Schwerkraft zurückhalten kann.
<b>Fruchtfolge</b>	Geplante zeitliche Abfolge verschiedener Kulturen auf einer Ackerfläche oder einem Gemüsebeet.
<b>Grobboden (Bodenskelett)</b>	Durch Siebung des Gesamtbodens abgetrennter Masseanteil mit einem Korndurchmesser von 2 mm und mehr.
<b>Gesamtporenvolumen</b>	Alle Hohlräume eines Bodens, die mit Wasser oder Luft gefüllt sein

	können.
<b>Grossvieheinheit</b>	Eine Milchkuh von 600kg mit einer Milchproduktion von 5000kg pro Jahr entspricht einer GVE, ein über 1-jähriges Schaf 0.17 GVE, eine gemolkene Ziege 0.2 GVE.
<b>Hütehaltung</b>	Die Tiere werden von einem Hirten begleitet und geführt.
<b>Initialabstraktion</b>	Niederschlagsvolumen während der Abstraktionszeit.
<b>Konventionelle Landwirtschaft</b>	Im Ackerbau üblicherweise Verwendung von Pflug zur Komplettwendung der obersten Bodenschicht und Reduktion des Unkrautdruckes, von chemischen Pflanzenschutzmitteln, Wirtschaftsdünger oder Kunstdünger.
<b>Konservierende Landwirtschaft</b>	Reduzierte Bodenbearbeitung, minimale oder pfluglose Bodenbearbeitung. Einsatz von lockernden und/oder mischenden Geräten, Mulchsaat oder Direktsaat.
<b>Kontaktflächendruck</b>	Belastung des Bodens in der Berührungsfläche.
<b>Koppelweide</b>	Mit Zäunen unterteilte Weide.
<b>Korngröße</b>	Analytisch durch Sieb- oder Sedimentierverfahren ermittelter Durchmesser von Feststoffteilchen.
<b>Lagerungsdichte</b>	Empirisch ermittelter Wert für die Bewertung des Bodengefüges; er wird aus der Trockenrohdichte und dem Tonanteil ermittelt.
<b>Mulchsaat</b>	Aussaart in die Pflanzenreststoffe der Vor- und/oder Zwischenfrucht, die flach eingearbeitet oder an der Oberfläche belassen worden sind.
<b>Nutzbare Feldkapazität</b>	Wasseranteil der Feldkapazität, der Pflanzen nutzbar zur Verfügung steht.
<b>Onland-Pflügen</b>	Der ziehende Schlepper fährt nicht in der Pflugfurche, sondern mit allen Reifen auf der Ackeroberfläche.
<b>Pferchen</b>	Vorübergehendes Einsperren von Rindern oder Schafen über Nacht oder während der mittäglichen Ruhezeit auf relativ engem Raum.
<b>Scheitelabfluss, Hochwasserspitze</b>	Maximaler Momentanabfluss einer Hochwasserganglinie.
<b>Speichervermögen</b>	Menge an Wasser, die in den Boden infiltriert und kurzfristig festgehalten werden kann.
<b>Standweide</b>	Weide ohne Unterteilung. Die Tiere bleiben während der gesamten Vegetationszeit auf der gleichen Fläche.
<b>Umtriebsweide</b>	Unterteilung der Weidefläche in mehrere Koppeln (Schläge), von denen eine nach der anderen den Tieren während einer bestimmten Zeit zur Verfügung gestellt wird.
<b>Verdichtung</b>	Einwirkung von Beweidung, maschineller Bewirtschaftung oder von Skipistennutzung auf eine Fläche auf die Dichte des Bodens mit Folgen der Abnahme der Infiltrationskapazität und Wasseraufnahmefähigkeit.
<b>Wassererosion</b>	Durch Niederschlag oder Schmelzwasser ausgelöste Bodenerosion.

**Winderosion**

Durch Wind ausgelöste Bodenerosion.

## 12 Anhang

### Anhang 1: Faktenblätter

# Zusammenfassung der gefahrenbeeinflussenden Faktoren landwirtschaftlicher Bewirtschaftung

Faktenblätter

#### **Bemerkungen zu den Faktenblättern**

- Betrachtete Prozesse: Oberflächenabfluss, Erosion, flachgründige Rutschung, Schneegleiten, Flurbrand. Häufige bis seltene Niederschlagsereignisse mit schwacher und mittlerer Intensität.
- Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse einer Literaturrecherche, für die Bewertung und Einordnung wird auf den Bericht verwiesen.
- Bewertung der Prozessbeeinflussung durch die Landwirtschaft unter Berücksichtigung des Konzepts der Disposition nach Zimmermann et al. (1996).
- Bewertung von gefahrenfördernden und gefahrenhemmenden Einflussfaktoren unter dem Aspekt der Beibehaltung der hauptsächlichen Landnutzungsart (Landwirtschaft) mit Vergleich zw. verschiedenen Bewirtschaftungsarten.
- Die quantitativen Angaben zu den Wirkungen sind als Grössenordnung zu verstehen. Bei grosser Spannweite der gefahrenbeeinflussenden Faktoren wird diese im Endbericht dokumentiert.
- Gliederung nach Bewirtschaftungstypologie: Ackerbau, Mähwiese, Weide, Obstbau/Weinbau.
- Reihung der Faktoren nach Relevanz.

A. Zischg, R. Costa, B. Huber (Abenis AG), C. Flury (Flury & Giuliani GmbH), 18.10.2010

<b>1.1</b>	<b>Faktenblatt Ackerbau / Oberflächenabfluss</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: planar, kollin Wichtigste Standortfaktoren: Topographie, Bodentyp, Bodenmächtigkeit	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑ Lange vegetationsfreie Periode ohne Bodenbedeckung, Ackerkulturen mit spätem Bestandesschluss und langfristig offener Bodenfläche resp. später Ernte ohne bodenbedeckende Folgekultur während der Winterperiode		Geschwindigkeitszunahme Oberflächenabfluss im Vergleich zu Grasland Zunahme Oberflächenabfluss auf bis zu 100% des Niederschlags
↑ Bodenverdichtung durch Maschinen und durch Befahren während Nässeperioden auf dafür sensiblen Böden		Zunahme Oberflächenabfluss bis auf 50% des Niederschlags
↑ In Perioden ohne Vegetationsbedeckung Verschlämmung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen, Zerstörung der Bodenstruktur und Verringerung Aggregatstabilität		Zunahme Oberflächenabfluss im Vergleich zu vegetationsbedecktem Boden
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓ Konservierende Bodenbearbeitung: Mulchsaat, Direktsaat, temporäre Untersaat, Zwischenfrüchte zur Gründüngung		Im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung (in Einzugsgebieten mit hohem Anteil an Ackerbauflächen): <ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhung Aggregatstabilität</li> <li>- Verringerung Verschlammungsanfälligkeit</li> <li>- Reduktion Oberflächenabfluss um mind. 12% bis zu 92%</li> <li>- Reduktion Scheitelabflüsse um 20 bis 54%</li> <li>- Reduktion Abflussvolumen bis 18%</li> </ul>
↓ Geschlossener Pflanzenbestand oder Mulchauflage zu Zeiten hoher Abflussbereitschaft (Winterhalbjahr), Vermeidung von vegetationsfreien Perioden ohne Bodenbedeckung		Im Vergleich zu Flächen mit hohem Bodenbedeckungsgrad: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schutz der Bodenoberfläche vor dem Aufprall der Regentropfen</li> <li>- Verlangsamung Oberflächenabfluss</li> <li>- Verhältnis Bodenbedeckungsgrad / Oberflächenabfluss: 0%: 45%, 25%: 30%, 50%: 0.5%</li> </ul>
↓ Vermeidung von Bodenverdichtung (in Abhängigkeit des Bodentyps), Unterlassung mechanischer Bewirtschaftung zu Zeiten hoher Bodenfeuchte, Bodenlockerung und Boden-		Reduktion Oberflächenabfluss bis 50% im Vergleich zu verdichteten Böden

schonung	
<p>↓ Erhöhung Geländerauigkeit: Anlage von Leitlinien und Versickerungsmöglichkeiten, Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, gemeinsame Anbauplanung, Querbewirtschaftung und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge</p>	<p>Reduktion Oberflächenabfluss um mind. 5% bis zu 98% im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung</p> <p>Reduktion Scheitelabflüsse</p>
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Infrastruktur</b>	<b>Wirkung</b>
<p>↑ grossräumige Planierungen, Ausräumen von Landschaftselementen, „Anlage“ von grossen gleichmässigen Schlägen mit ungünstiger Bearbeitungsrichtung</p>	<p>Zunahme Oberflächenabfluss im Vergleich zu Flächen mit hoher Bodenrauigkeit</p>
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Infrastruktur</b>	<b>Wirkung</b>
<p>↓ Ggf. dezentrale Kleinmassnahmen und Rückhaltebecken (land management) für die Schaffung von Retentionsvolumen in sensiblen Gebieten (Flächen direkt oberhalb Siedlungsgebieten), Ausnutzung der Muldenspeicherung</p>	<p>Verminderung der Abflussspitze lokal zw. 20 und 70% im Vergleich zu Flächen ohne Hindernisse für den Oberflächenabfluss, Reduktion der Gesamtabflüsse im Einzugsgebiet bis 20%</p>
<p>↓ Ggf. permanente Begrünung von sensiblen Geländebereichen wie Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen</p>	<p>Verminderung der Ausbreitung von Flächen mit hoher Abflusskonzentration</p> <p>Reduktion der Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses</p>
<p>↓ Entwässerung nur indirekt über Gräben in den Vorfluter</p>	<p>Erhöhung der Versickerung, Abnahme der Abflussgeschwindigkeit</p>
<b>Bemerkungen</b>	
<p>Erhöhung Oberflächenabfluss steht in direktem Zusammenhang mit Bodenerosion, Bodenabtrag, Auswaschung von Nährstoffen.</p>	
<b>Literaturauswahl</b>	
<p>Akkermann (2004), Billen (2007), O'Connell et al. (2004), DBU (2002), Duran Zuazo &amp; Plegezuolo (2008), Feldwisch (2001), Gellweiler et al. (2005), IRMA (2001), Kohl (2001), Wagner et al. (2009), Weiss (2009), Baden Württemberg, Ministerium Ländlicher Raum (2002), Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2006), Scherrer (1997), Tessier et al. (1993).</p>	



<b>1.2</b>	<b>Faktenblatt Ackerbau / Erosion</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: planar, kollin Wichtigste Standortfaktoren: Topographie (Hangneigung, Hangform), Ton-, Schluff- und Sandgehalt des Bodens, Humusgehalt, Bodentyp, Bodenmächtigkeit	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑ Unzureichende Bodenbedeckung durch Kulturarten mit später Bodenbedeckung, fehlende ganzjährige Vegetationsdecke (z.B. Mais, Kartoffeln, Futter- u. Zuckerrüben)		Zunahme Verschlämmung, Zunahme Erosion im Vergleich zu Kulturen mit ganzjähriger Bodenbedeckung
↑ Ackerbau in Hanglagen, Bearbeitung in Gefällerichtung		Zunahme Erosionsanfälligkeit
↑ Grosse zusammenhängende Parzellen in steilen Hanglagen, Feldfluren ohne abflussbremsende Feldraine, Hecken, Feldgehölze und Hangstufen		Erhöhung Bodenabtrag im Vergleich zu reich strukturierten Flächen
↑ Veränderung Bodenstruktur durch maschinelle Bewirtschaftung und Bodenbearbeitung auf anfälligen Böden, Bearbeitung bei ungünstiger Bodenfeuchte		Abnahme Bodenstabilität und damit Erhöhung der Erosionsanfälligkeit
↑ Intensive Bodenbearbeitung bei anfälligen Böden, mechanische Unkrautbekämpfung		Beschleunigung Humusabbau und Bodenverschlämmung und damit Erhöhung der Erosionsanfälligkeit
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓ Erhöhung und Verlängerung Vegetationsbedeckung durch Untersaat und konservierende Anbaumethoden, Anpassung Kulturartenwahl, Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfruchtanbau, Belassen von Ernterückständen, Vermeidung von vegetationsfreien Perioden		Im Vergleich zu Kulturarten mit langen Perioden ohne Vegetationsbedeckung: - Reduktion Verschlammungseignung - Schutz der Bodenoberfläche vor dem Aufprall der Regentropfen - Reduktion Bodenabtrag bei Erhöhung Vegetationsbedeckungsgrad bis zu 99% im Vergleich zu unbedeckten Boden - Verhältnis Bodenbedeckungsgrad / Bodenabtrag: 0%: ~100%, 30%: 8%, 50%: 3%
↓ Konservierende pfluglose Bodenbearbeitung: Mulchsaat oder Direktsaat (v.a. bei Zuckerrübe, Mais, Sonnenblume), temporäre Untersaat, Bodenlockerung und Bodenschonung, Zwischenfrüchte zur Gründüngung		Erhöhung Oberflächenrauigkeit quer zur Fliessrichtung Reduktion Bodenabtrag bei Mulchsaat um 30%-95% Bremsung Fliessgeschwindigkeit

	Erhöhung Aggregatstabilität
<p>↓ Erhöhung Geländerauigkeit: Anlage von Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, Querbewirtschaftung (Konturnutzung, Querbearbeitung und Streifennutzung) und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge</p>	Im Vergleich zu strukturarmen Flächen Abnahme der Erosion
<p>↓ Anpassung der Kulturart an Bodenverhältnisse und Topographie, Umwandlung von Ackerland in Grasland bei besonders ungünstigen Verhältnissen</p>	Abnahme Erosion
<p>↓ Begrenzung der erosiven Hanglänge auf max. 500 m (bei Neigung und Böden mit Verschlammungsneigung)</p>	Abnahme der Fließgeschwindigkeit und des Abflussvolumens, Abnahme der Erosion
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Infrastruktur</b>	<b>Wirkung</b>
<p>↓ Erhalt bestehender Schutzanlagen, Terrassen, Raine und hangqurender Wege</p>	Abnahme Erosion
<p>↓ Begrenzung der erosiven Hanglänge</p>	Abnahme Erosion
<b>Bemerkungen</b>	
<p>Folgen der Erosion: Bodenabtrag, Verlust an Produktionskapazität, Materialablagerungen an Strassen und Gebäuden, Verringerung Wasserspeicher- und Infiltrationsvermögen, Materialeintrag - insbesondere von Feinpartikeln - in Gewässer, Eintrag von Phosphor in die Gewässer</p>	
<b>Literaturauswahl</b>	
<p>Akkermann (2004), Affentrager (2007), Baril (1991), Duran Zuazo &amp; Plegezuolo (2008), Kohl (2001), Konz et al. (2010), Ledermann et al. (2010), Michaud (2005), Mosimann et al. (1991), Prasuhn (2011), Sobl (2007), Weiss (2009), Baden Württemberg - Ministerium Ländlicher Raum (2002).</p>	

<b>2.1</b>	<b><u>Faktenblatt Dauerweide, Sömmerungsgebiet / Oberflächenabfluss</u></b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: kollin und submontan, bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Topographie, Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Anteil Landwirtschaftsfläche im Einzugsgebiet</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Bodenverdichtung durch Beweidung mit für den Standort zu schweren Tierarten bzw. Tierrassen	Zunahme Oberflächenabfluss bis auf 80% im Vergleich zu standortsangepasster Tierart
↑	Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch Nutzungsaufgabe (Übergangszeit nach Aufgabe der Beweidung bis zum Aufkommen von Waldvegetation)	<p>In einer ca. 5-15jährigen Übergangszeit bis Aufkommen von Wald</p> <p>Zunahme Oberflächenabfluss bis 20% im Vergleich zu regelmässig beweideten und gepflegten Weiden</p>
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓	Weidemanagement zur Vermeidung von Bodenverdichtung (Schlageinteilung, Wahl der Tierrasse, der Tierzahl und den Beweidungszeitpunkt auf Basis der Geländebeziehungen, Bestossungsdichte, keine Beweidung von Spätherbst bis Frühsommer auf Gleye und Auböden, Einhaltung von genügenden Ruhezeiten)	Reduktion Oberflächenabfluss im Vergleich zu standortsunangepasster Beweidung
↓	Fachgerechte Weidepflege	<p>Reduktion Oberflächenabfluss</p> <p>Reduktion Abflussgeschwindigkeit</p>
↓	Ggf. langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, Bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	Verminderung der Ausbreitung von Flächen mit hoher Erosionsanfälligkeit
↓	Standortgerechte Positionierung von Tränken und Zufütterungsplätzen	Verminderung der Ausbreitung von Flächen mit hoher Erosionsanfälligkeit
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Infrastruktur</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Grossflächige Planierungen, Sekundärnutzung als Skipiste	Zunahme Oberflächenabfluss bis 95% im Vergleich zu einer extensiv beweideten Weide
<b>Bemerkungen</b>		
Oberflächenabfluss steht in direktem Zusammenhang mit Bodenerosion und Bodenabtrag. In Wildbächen mit		

erheblichem Anteil an Landwirtschaftsflächen relevant für Spitzenabfluss.

**Literaturauswahl**

Bunza (1989), ), O'Connell et al. (2004), Tasser et al. (2001), Tasser et al. (2005), Hellebart (2006), Markart et al. (1996), Markart et al. (2004), Markart (2003)

<b>2.2</b>	<b>Faktenblatt Dauerweide, Sömmerungsgebiet / Erosion</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: kollin, submontan bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Topographie, Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Anteil Landwirtschaftsfläche im Einzugsgebiet, Natürliche Erosionsanfälligkeit (Winderosion, Schneeschurf), Klimaregion</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
<p>↑ Beweidung von stark geneigten Flächen mit schweren Tieren</p>		<p>Trittschäden erhöhen Erosionsanfälligkeit</p>
<p>↑ Überweidung, Bildung von Lägerstellen und Trittwegen, Schädigung der Grasnarbe durch Frass und Tritt, Entmischung der natürlichen Artenzusammensetzung bei der Vegetation</p>		<p>Bildung von offenen Flächen erhöht Erosionsanfälligkeit</p>
<p>↑ Beweidung von Flächen mit geringem Deckungsgrad der Grasvegetation</p>		<p>Verletzungen der Grasnarbe erhöhen Erosionsanfälligkeit</p>
<p>↑ Mangelnde/fehlende Behirtung und Weidepflege (z.B. keine Ausbesserung von kleineren Bodenverletzungen resp. offenen Flächen)</p>		<p>Bei mangelnder Weidepflege und Behirtung: Zunahme Erosionsanfälligkeit</p>
<p>↑ Nicht standortangepasste Beweidungsformen wie die Wahl des Weidesystems, zu langer Aufenthalt in einer Weidekoppel, zu kurze Pause zwischen zwei Weidegängen, Beweidung von sensiblen Pflanzengesellschaften und nicht geschlossenen Pflanzendecken, freier Weidegang von Schafen an der Vegetationsgrenze</p>		<p>Verletzungen der Grasnarbe, lückenhafte Pflanzenbestände erhöhen Erosionsanfälligkeit</p>
<p>↑ Düngung von steilen Flächen, erosionsgefährdeten Flächen</p>		<p>Veränderung der Vegetationszusammensetzung und damit Beeinträchtigung der Durchwurzelungseigenschaft erhöht Erosionsanfälligkeit</p>
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
<p>↓ Standortgerechtes Weidemanagement (kontrollierte Weideführung und Behirtung, regelmässiger Weidebetrieb, Koppelung, kein Weidegang bei nassem Boden, kurze Besatzzeit – lange Ruhezeit, Vermeidung von Trittschäden, Weidegang mit Kühen bis max. 40% Hangneigung, Weidegang mit Rindern bis max. 60% Hangneigung, Weidegang mit Schafen und Ziegen bis max. 80% Hangneigung, Vermeidung von Überbestossung, Rückzug der Tiere in trittfeste Weidekoppeln bei Schlechtwettereinbruch), Anpassung des Tierbesatzes an den Weideertrag, temporäre Auszäunung gefährdeter Bereiche, Umstellung auf leichtere Tierarten, Vermeidung von Überbestossung)</p>		<p>Verhinderung Erosion</p>
<p>↓ Weidepflege: regelmässige Entbuschung, Narbenpflege</p>		<p>Verhinderung Erosion</p>
<p>↓ Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse nach Nutzungsaufgabe,</p>		<p>Verhinderung Erosion</p>

Förderung der Wiederbewaldung	
↓ Mischbeweidung mit Tierarten, die unterschiedliches Fressverhalten zeigen	Eindämmung selektives Fressverhalten
↓ Regelmässiger Wechsel von Zufütterungsplätzen und Tränken	Verhinderung Erosion
↓ Ggf. Nachmahd zur Verhinderung von Langrasenteppichen	Verhinderung Erosion
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Infrastruktur</b>	<b>Wirkung</b>
↑ Sekundärnutzung als Skipiste, grossflächige Planierungen	Zunahme Bodenabtrag um bis zu Faktor 16 im Vergleich zu extensiven Weiden
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Infrastruktur</b>	<b>Wirkung</b>
↓ Vermeidung von Geländekorrekturen	Verhinderung Erosion
<b>Bemerkungen</b>	
Bildung von oberflächlichen Rutschungen aus Erosionsflächen und Ausweitung der gefährdeten Flächen, lokal Relevanz für Geschiebelieferung in Wildbächen. Weitere Einflüsse siehe Faktenblatt Oberflächenabfluss / Dauerweide, Sömmerungsgebiet	
<b>Literaturauswahl</b>	
AGRIDEA (2009), Hebel (2000), Hellebart (2006), Hohwieler et al. (2007), Kohl (2001), Konz et al. (2010), Meusbürger & Alewell (2008), Tasser et al. (2001), Schmid et al. (2007), Stadler (2004), Sutter (2007), Troxler (2007).	

<b>2.3</b>	<b><u>Faktenblatt Dauerweide, Sömmerungsgebiet / Flachgründige Rutschung</u></b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: kollin, submontan bis subalpin Wichtigste Standortfaktoren: Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Topographie (Hangneigung, Hangform, Profilaufbau), Klimatyp, Schneeschurf	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Ungeregelter Weidebetrieb: Überweidung, nicht standortgerechte Tierartenwahl (Gewicht), Beweidung von steilen Hangbereichen, Beweidung bei feuchten Witterungsverhältnissen, freier Weidegang mit Schafen in Grat- und Hochlagen mit langer Schneebedeckung und kurzer Vegetationsperiode	Zunahme Rutschungsanfälligkeit
↑	Umwandlung von Mähwiesen in Beweidung (bis Zeitpunkt der Stabilisierung, v.a. mit schweren Tierarten)	Zunahme Rutschungsanfälligkeit
↑	Nutzungsaufgabe (Vergandung, Verbrachung, Verstrauchung)	Zunahme Rutschungsanfälligkeit
↑	Narbenschäden durch Viehtritt	Angriffspunkt für Rutschungsphänomene
↑	Zufuhr von Tränkewasser ohne geregelten Ablauf	Angriffspunkt für Rutschungsphänomene
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓	Weidemanagement (kontrollierte Weideführung und Behirtung, regelmässiger Weidebetrieb, Koppelung, Verzicht auf Beweidung während feuchter Perioden, Vermeidung von Trittschäden, Vermeidung von Überbestossung, Kurze Besatzzeit-lange Ruhezeit, Auszäunung erosionsanfälliger Hangpartien)	Vermeidung Angriffspunkte für Rutschungsphänomene
↓	Regelmässige Beweidung, regelmässige Weidepflege	Vermeidung Angriffspunkte für Rutschungsphänomene
↓	Bei Nutzungsaufgabe: Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse, Förderung der Wiederbewaldung	Erhaltung Stabilität
<b>Bemerkungen</b>		
Schneeschurf als Ausgangspunkt für Rutschungen häufig. Ausweitung der gefährdeten Flächen, lokal Relevanz für Geschiebelieferung in Wildbächen. Weitere Faktoren siehe Faktenblatt Erosion / Dauerweide, Sömmerungsgebiet.		
<b>Literaturauswahl</b>		
AGRIDEA (2009), Hebel (2000), Hellebart (2006), Hohwieler et al. (2007), Konz et al. (2010), Meusburger & Alewell (2007, 2008), PRIMALP (2000), Rickli et al. (2008), Rickli et al. (2004), Schauer (1975), Stadler (2004), Sutter (2007), Tasser et al. (2001), Tasser et al. (2005), Troxler (2007), Wyl (1987)		

<b>2.4</b>	<b>Faktenblatt Dauerweide, Sömmerungsgebiet / Schneegleiten</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: submontan bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Topographie (Hangneigung, Exposition SW-S-SO, Schneeablagerungen, Hauptwindrichtung), Vegetationsbedeckung, Durchwurzelungstiefe, Klimaregion</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
<p>↑ Geringe Bodenrauigkeit und Planierungen</p>		<p>Im Vergleich zu strukturreiche Flächen:</p> <p>Zunahme Gleitrate</p>
<p>↑ Nutzungsextensivierung (weniger als eine Mahd alle 5 Jahre), Nutzungsaufgabe, Aufkommen von starrwüchsigen Pflanzengesellschaften und horstbildenden Gräsern</p>		<p>Zunahme Gleitweg um 500% nach Nutzungsaufgabe aufgrund langhalmigem Graswuchs</p> <p>Zunahme Gleitweg durch Verhinderung der Einsickerung des Schmelzwassers aufgrund verdichtetem Wurzel- und Grasfilz</p>
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
<p>↓ Regelmässige Beweidung</p>		<p>Minderung des Einfrierens der Vegetation und Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten und damit verbundene Bildung von Narbenschäden</p>
<p>↓ Hohe Bodenrauigkeit, Viehtritt</p>		<p>Stützung der Schneedecke durch Erhöhung der Geländerauigkeit</p>
<p>↓ Regelmässige Narbenpflege</p>		<p>Verhinderung von Ausbreitung</p>
<p>↓ Ggf. Nachmahd</p>		<p>Minderung des Einfrierens der Vegetation und Herausreissen der Wurzeln bei Schneegleiten und damit verbundene Blaikbildung</p>
<b>Bemerkungen</b>		
<p>Aufreissen der Vegetation durch Schneesurf und Schneegleiten bildet Angriffspunkte für Erosion und Bodenrutschungen. Lokal Bedeutung für Schadenpotential.</p>		
<b>Literaturauswahl</b>		
<p>Hellebart (2006), Lackinger (1987), Legner (2006), Leitinger et al. (2008), Newesely et al. (2000), Spadinger (2000), Tasser et al. (2001), Tasser et al. (2005), Zischg (2009)</p>		



<b>3.1</b>	<b><u>Faktenblatt Mähwiese / Oberflächenabfluss</u></b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: kollin und submontan, bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Topographie, Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Anteil Landwirtschaftsfläche im Einzugsgebiet</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Bodenverdichtung durch Bewirtschaftung (z.B. schwere Erntemaschinen) auf dafür sensiblen Böden	Zunahme Oberflächenabfluss bis auf 80% im Vergleich zu unverdichteten Boden
↑	Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch Nutzungsaufgabe (Übergangszeit, bis zum Aufkommen von Waldvegetation)	Zunahme Oberflächenabfluss bis 20% im Vergleich zu regelmässig gemähten Wiesen. Nach einer Übergangszeit von 5-15 Jahren wieder Absinken des Oberflächenabflusses durch Aufkommen von Wald
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓	Periodische Mahd	Erhöhung Infiltrationsrate im Vergleich zu unregelmässig gemähten Wiesen mit dichten Altgrasbeständen
↓	Vermeidung und Verringerung Bodenverdichtung durch maschinelle Bearbeitung bei sensiblen Böden (Reduktion Anzahl Überfahrten, Reduktion Radlasten und Kontaktflächendruck, Berücksichtigung der feuchteabhängigen Verdichtungsempfindlichkeit, keine Befahrung bei feuchtem Boden)	Vermeidung einer Zunahme des Oberflächenabflusses
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Infrastruktur</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Planierungen, Sekundärnutzung als Skipiste	Zunahme Oberflächenabfluss bis 95%
<b>Bemerkungen</b>		
Erhöhung Oberflächenabfluss steht in direktem Zusammenhang mit Bodenerosion, Bodenabtrag. In Wildbächen mit erheblichem Anteil an Landwirtschaftsflächen relevant für Spitzenabfluss.		
<b>Literaturauswahl</b>		
Bunza (1989), Tasser et al. (2001), Tasser et al. (2005), Hellebart (2006), Markart et al. (1996), Markart et al. (2004), Markart (2003)		

<b>3.2</b>	<b>Faktenblatt Mähwiese / Erosion</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: kollin, submontan bis subalpin Wichtigste Standortfaktoren: Topographie, Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Ursprungsvegetation, Natürliche Erosionsanfälligkeit (Schneeschurf, Winderosion), Klimaregion	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑ Narbenschäden durch Bewirtschaftung (z.B. durch Maschinen)		Angriffspunkt für Erosionsphänomene
↑ Düngung von steilen Flächen		Beeinträchtigung der Durchwurzelung erhöht Erosionsanfälligkeit
↑ Nutzungsextensivierung, Nutzung von traditionell gemähten Wiesen als Weiden, Nutzungsaufgabe		Zunahme der Verletzungen der Grasnarbe und Instabilitäten, erhöhte Erosionsbereitschaft
↑ Umwandlung von Dauergrasland in Ackerbauflächen (Auen und Hanglagen)		Zunahme Erosionsanfälligkeit
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓ Regelmässige Pflege der Grasnarbe und Ausbesserung von kleineren Bodenverletzungen resp. offenen Stellen		Verhinderung Erosion
↓ Bei Nutzungsaufgabe: Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse, Förderung der Wiederbewaldung		Verhinderung Erosion
<b>Bemerkungen</b>		
Schneeschurf und Winderosion häufig als Angriffspunkt für Erosion. Bildung von oberflächlichen Rutschungen aus Erosionsflächen und Ausweitung der gefährdeten Flächen. Weitere Einflüsse siehe Faktenblatt Oberflächenabfluss / Mähwiese		
<b>Literaturauswahl</b>		
AGRIDEA (2009), Hebel (2000), Hellebart (2006), Tasser et al. (2001), Schmid et al. (2007), Stadler (2004), Sutter (2007), Troxler (2007)		

<b>3.3</b>	<b>Faktenblatt Mähwiese / Flachgründige Rutschung</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: kollin, submontan bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Topographie (Hangneigung, Hangform, Profilaufbau), Bodentyp, Bodenmächtigkeit, natürliche Erosionsanfälligkeit (Schneeschorf, Winderosion), Klimaregion</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑ Narbenschäden durch Erntegeräte		Angriffspunkt für Rutschungsphänomene
↑ Düngung von steilen Flächen		Beeinträchtigung der Durchwurzelung und Vegetationszusammensetzung erhöht Rutschungsanfälligkeit
↑ Nutzungsaufgabe (Vergandung, Verbrachung, Verstrauchung)		Zunahme Rutschungsanfälligkeit in Übergangszeit bis Aufkommen von Wald
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓ Regelmässige Mahd, regelmässige Narbenpflege		Vermeidung Angriffspunkte für Rutschungen
↓ Bei Nutzungsaufgabe: Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse, Förderung der Wiederbewaldung		Erhaltung Stabilität
<b>Bemerkungen</b>		
<p>Bildung von oberflächlichen Rutschungen aus Erosionsflächen und Ausweitung der gefährdeten Flächen. Aufreissen der Vegetationsdecke durch Schneeschorf bildet Ausgangspunkt von Rutschungen. Weitere Faktoren siehe Faktenblatt Erosion / Mähwiese</p>		
<b>Literaturauswahl</b>		
<p>AGRIDEA (2009), Hebel (2000), Hellebart (2006), Tasser et al. (2001), Schmid et al. (2007), Stadler (2004), Sutter (2007), Troxler (2007)</p>		

<b>3.4</b>	<b>Faktenblatt Mähwiese / Schneegleiten</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	<p>Höhenstufen: submontan bis subalpin</p> <p>Wichtigste Standortfaktoren: Vegetationsbedeckung, Durchwurzelungstiefe, Topographie (Hangneigung, Exposition SW-S-SO, Schneeablagerungen, Hauptwindrichtung), Klimaregion</p>	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑ Geringe Bodenrauigkeit und Planierungen		Zunahme Gleitrate
↑ Nutzungsaufgabe, Langrasenteppiche in Folge Auflassung, Verstrau- chung		<p>Zunahme Gleitweg um über 500% nach Nutzungsaufgabe aufgrund langhalmigen Graswuchs (100 mm Mähwiese: 600 mm Brache)</p> <p>Zunahme Gleitweg durch Verhinderung der Einsickerung des Schmelzwassers aufgrund verdichtetem Wurzel- und Grasfilz</p>
↑ Narbenschäden durch Bewirtschaftung resp. Erntegeräte		Angriffspunkte für Erosion
↑ Überdüngung		Reduktion Durchwurzelungsdichte und -tiefe, Verringerung der stabilisierenden Durchwurzelung
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓ Regelmässige Mahd		Auf kurz gehaltenen Grasstoppeeln Minderung des Einfrierens der Vegetation und des Herausreissens der Wurzeln bei Schneegleiten und damit verbundene Blaikenbildung
↓ Hohe Bodenrauigkeit, Viehtritt		Stützung der Schneedecke durch Erhöhung der Geländerauigkeit
↓ Regelmässige Narbenpflege		Vermeidung Angriffspunkte für Schneeschurf
↓ Herbstbeweidung von Mähwiesen		Vermeidung Angriffspunkte für Schneeschurf, Verringerung von Schneegleiten im Vergleich zu langhalmigen Grasteppichen
<b>Bemerkungen</b>		
Aufreissen der Vegetation durch Schneeschurf und Schneegleiten bildet Angriffspunkte für Erosion und Bodenrutschungen. Lokal Bedeutung für Schadenpotential.		
<b>Literaturauswahl</b>		

Hellebart (2006), Lackinger (1987), Legner (2006), Leitinger et al. (2008), Newesely et al. (2000), Schwarzelmüller (1989), Spadinger (2000), Tasser et al. (2001), Tasser et al. (2005), Zischg (2009)

<b>4.1</b>	<b>Faktenblatt Weinbau, Obstbau / Oberflächenabfluss-Erosion</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: planar, kollin und submontan Wichtigste Standortfaktoren: Bodentyp, Bodenmächtigkeit, Steingehalt, Topographie (Hangneigung, Hangform)	
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Fehlende Bodenbedeckung	Verschlämmung, Erhöhung Oberflächenabfluss bis auf 95% des Niederschlags
↑	Bodenverdichtung durch hohe Bearbeitungs- und Befahrungsintensität	Zunahme Oberflächenabfluss bis auf 80% des Niederschlags im Vergleich zu unverdichteten Böden
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>
↓	Erhöhung der Bodenbedeckung, Begrünung der Zwischenzeilen	Reduktion Oberflächenabfluss
↓	Vermeidung und Verringerung Bodenverdichtung (Reduktion Anzahl Überfahrten, Reduktion Radlasten und Kontaktflächendruck, Berücksichtigung feuchteabhängiger Verdichtungsempfindlichkeit)	Vermeidung von Zunahme des Oberflächenabflusses
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Infrastruktur</b>		<b>Wirkung</b>
↑	Aufgabe von Terrassenanlagen, grossflächige Planierungen	Erhöhung Oberflächenabfluss, Erhöhung Geschwindigkeit Oberflächenabfluss, Zunahme Erosionsanfälligkeit
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Infrastruktur</b>		<b>Wirkung</b>
↓	Begrenzung der erosiven Hanglänge (Terrassierung, Erhöhung Geländerauigkeit)	Reduktion Erosionsanfälligkeit
↓	Ggf. Begrünungsmassnahmen in sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, Bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	Verminderung der Ausbreitung von Flächen mit hoher Abflusskonzentration
<b>Bemerkungen</b>		
Erhöhung Bodenabtrag und Erosion, Verlust der Bodenfruchtbarkeit, Auswaschung von Nährstoffen, Erschwerung der Bewirtschaftung		
<b>Literaturauswahl</b>		

Feldwisch (2001), Kohl (2001), Rizzo (1999), Schöfer (1981), Weiss (2009), Tore (o.J.)

<b>5.1</b>		<b>Faktenblatt Landwirtschaftsflächen allgemein / Flurbrand</b>	
<b>Standortfaktoren</b>	Höhenstufen: alle Höhenstufen Wichtigste Standortfaktoren: Vegetationstyp, Klimaregion		
<b>Gefahrenfördernde Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>	
↑ Verbrennung von Vegetationsrückständen, Brandrodung		Auslöser für grössere Brände	
↑ Nutzungsaufgabe		Zunahme an brennbarer Substanz	
<b>Gefahrenhemmende Faktoren Bewirtschaftung</b>		<b>Wirkung</b>	
↓ Regelmässige Bewirtschaftung		Verhinderung von Akkumulation leicht brennbarer Substanz	
<b>Bemerkungen</b>			
Natürliche Ursachen von Flurbrand sind nur Blitzeinschläge (ca. für 1% - 5% aller Fälle verantwortlich). Flurbrand zerstört die Bodenbedeckung und fördert damit Oberflächenabfluss und Erosionsprozesse und in alpiner Topographie Wildbachprozesse			
<b>Literaturauswahl</b>			
Buchweitz et al. (2006), FAO/Cemagref (2002), Heikkilä et al. (2007), Marxer (2003), Pintus (o.J.), Telesca et al. (2010), Venevsky et al. (2002), Conedera et al. (2006), Conedera (2009)			

## Anhang 2: Zusammenstellung ausgewählter Grundlagen zu den Bodeneigenschaften

Hier werden einige ausgewählte Grundlagen zur Beschreibung der Bodeneigenschaften im Hinblick auf Sensibilität gegen Bodenverdichtung und Durchlässigkeit angeführt.

Bodenklasse/-typ	Bodenarten	Tiefe cm	Druckbelastbarkeit in kPa bei		
			FK (pF 2,5)	75% FK	50% FK
<b>Auenböden</b> (Vega, Vegagley)	sandig-tonige Lehme	15	115	230	370
		30	175	220	365
	schluffige Lehme, tonige Schluffe, tonige Lehme	15	45	105	200
		30	100	165	250
<b>Ah/C-Böden</b> außer Schwarzerden	mittel- und schwach-schluffige Tone	15	100	110	115
		30	145	145	145
<b>Schwarzerden</b>	tonige Schluffe schluffige Lehme	15	115	140	200
		30	120	160	225
<b>Pelosole</b>	tonige Lehme	15	105	125	125
		30	120	160	225
	schwach schluffige Tone	15	75	90	95
		30	125	130	135
<b>Braunerden</b>	lehmige Sande	15	110	125	160
		30	150	165	185
	sandige Lehme lehmige Schluffe	15	120	135	175
		30	145	180	225
	tonige Schluffe	15	110	135	200
		30	135	160	225
<b>Parabraunerden, Pseudegleye</b>	schluffig-lehmige Sande	15	140	145	180
		30	145	185	250
	sandig-lehmige Schluffe	15	165	175	215
		30	180	205	230
	tonige Schluffe schluffige Lehme	15	80	90	115
		30	190	197	250

Abbildung A2.1: Druckbelastbarkeit ausgewählter Böden in Thüringen. Quelle: BMVWL (2002).



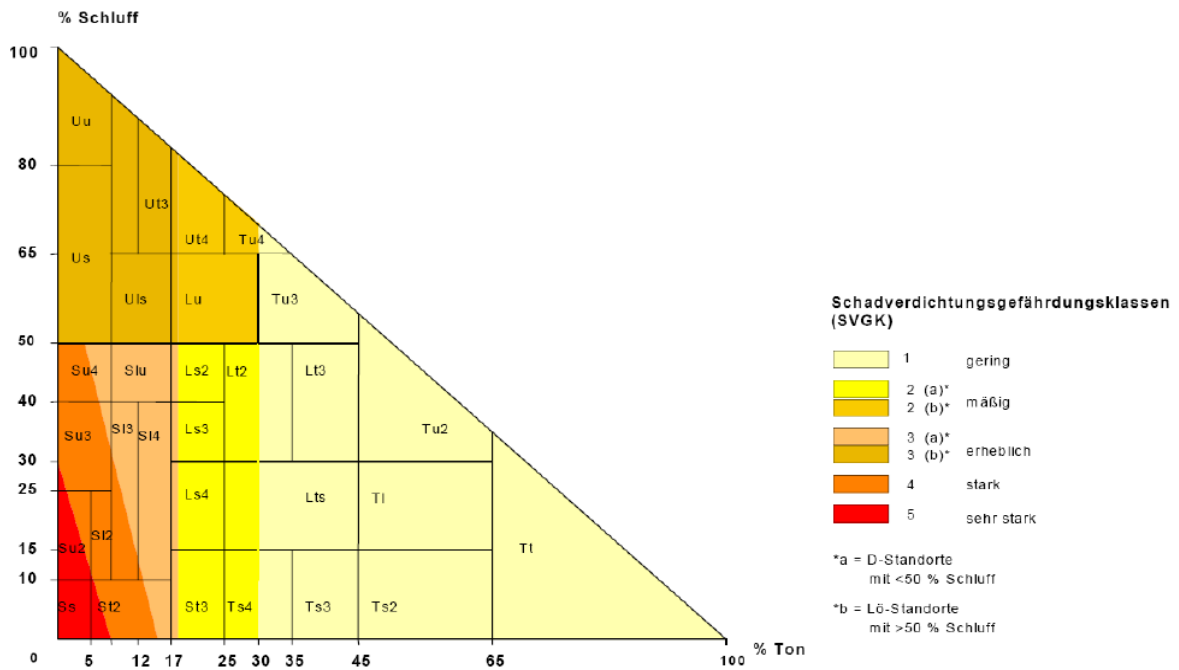


Abbildung A2.2: Sensibilität der verschiedenen Bodenarten gegenüber Bodenverdichtung. Beispiel aus Sachsen-Anhalt, Deutschland. Quelle: Frielinghaus et al. (2001).

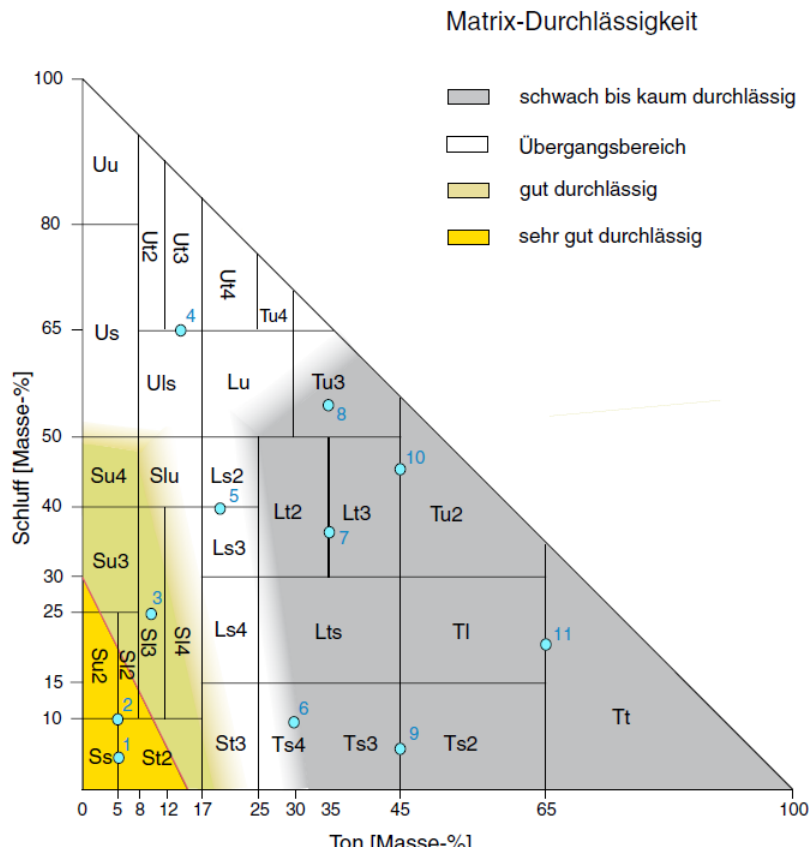


Abbildung A2.3: Bodenartdiagramm der Bodenartenuntergruppen, eingeteilt in 4 Durchlässigkeitsklassen. Quelle: Scherrer (2006).

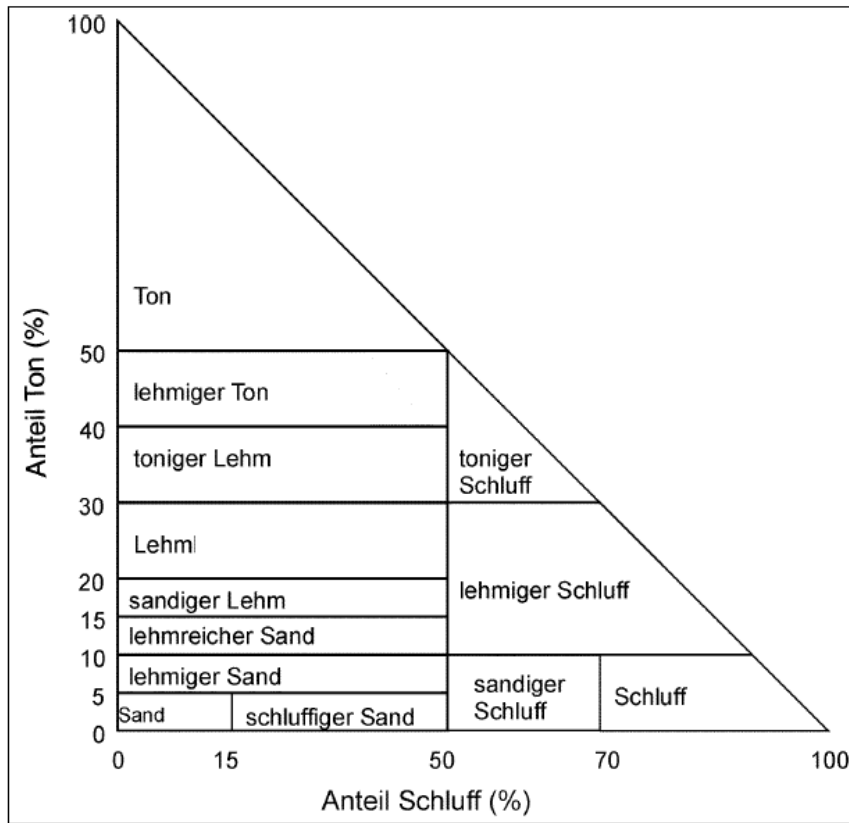


Abbildung A2.4: Klassen der Feinerdekörnung nach dem Klassifikationssystem der Böden in der Schweiz. Quelle: BGS (2010).

### Anhang 3: Zusammenfassender Vergleich von Oberflächenabflusskoeffizienten unter ausgewählten Standortsbedingungen und Bewirtschaftungsarten

Die nachfolgende Tabelle wurde erstellt, um die Vielfalt der Einflussfaktoren auf den Oberflächenabfluss quantitativ zusammenfassen zu können. Der Hauptzweck der Tabelle ist die Analyse der Unterschiede im Oberflächenabfluss bei verschiedenen Bewirtschaftungsformen und Standortbedingungen. Die Tabelle beruht auf der Generalisierung von verschiedenen quantitativen Angaben aus der gesichteten Literatur. Aufgrund der Vielzahl an Formen der Darstellung der Einflussfaktoren, wurde hier versucht, eine Übersicht auf Basis des kleinsten gemeinsamen Nenners zusammenzustellen. Dies sind im Wesentlichen die Textur- und Lagerungsmerkmale des Bodens, die Vegetation und die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung. Die Angaben wurden auf Basis von Beregnungsereignissen unter unterschiedlichsten Rahmenbedingungen gemacht, zumeist mit einer Intensität zwischen 40 und 120 mm/h und einer Dauer zwischen 20 und 120 Minuten. Die hier aufgezeigten Werte sind deshalb nur als annähernde Werte zu interpretieren, die auf spezielle Situationen beruhen. Eine Übertragbarkeit der hier aufgezeigten Werte auf ein bestimmtes Gebiet ist deshalb nur unter kritischer Überprüfung möglich.

**Tabelle A3.1: Zusammenstellung der Werte für den Oberflächenabfluss bei Starkregenereignissen (30-100 mm/h) nach Bodenart, Vegetation und Bewirtschaftung. Quellen: Markart et al. (2004), Scherrer (1997), Dobmann (2009), Weiss (2009), Akkermann (2004), Schmidt et al. (2001), Wagner (2009). Die Werte sind nicht repräsentativ und müssen für jeden Einzelfall bestimmt werden!**

Bodentextur	Lagerung	Vegetation	Bewirtschaftung	Oberflächenabfluss [%]
Grob-Böden	locker	keine Vegetation	unbewirtschaftet	0-50
		alpiner Rasen	Mähwiese, weidefrei	0-10
			Mähwiese mit Kurzweide	10-30
			unbeweidet	0-10
		Büstling Rasen	unbeweidet	30-50
		Besenheide/Erika	unbeweidet	0-10
			beweidet	10-30
		Alpenrosen/Heidelbeere	weidefrei	0-10
			beweidet, kleinflächig Viehvertritt und Erosionsschäden	10-30
		Besenheide/Arnika	unbeweidet	0-10
			beweidet	10-30
		Planien	beweidet oder unbeweidet	>0-30
		Hochstaudenfluren	beweidet	0-10
		Lärchenwiese	unbeweidet	0-10
		Acker	Pflug	50-60
			Konservierende Bodenbearbeitung	0-50
Boden unbedeckt	30-70			
Boden unbedeckt, Verschlämmung	bis 80			
Reihenkultur	bis 65			
Getreide	bis 55			
Grasland	Leguminosen	bis 50		
	Grasland, Mittelwert	20-25		
Grob-Böden mit Feinanteil	locker	keine Vegetation	unbewirtschaftet	30-75
		alpiner Rasen	Mähwiese unbeweidet, Deckungsgrad > 80%	0-10
			Mähwiese mit Herbstweide, periodisches Befahren	30-40
			beweidet	30-50

			unbeweidet	10-30
		Hochstaudenfluren	unbeweidet	10-30
			beweidet	30-50
		Lärchenwiese	Kurzweide	10-30
		Planien	gemäht, keine Beweidung, Skipiste	30-50
		Acker	Boden unbedeckt, konvent.	50-65
			Boden unbedeckt, Verschlämmung	bis 85
			Mulchauflage	bis 55
			konserv. Bodenbearbeitung	10-50
			Reihenkultur	bis 75
			Getreide	bis 70
			Leguminosen	bis 70
		Grasland	Grasland, Mittelwert	20-55

Bodentextur	Lagerung	Vegetation	Bewirtschaftung	Oberflächenabfluss [%]
Fein-Böden	locker	keine Vegetation	unbewirtschaftet	50- >75
		alpiner Rasen	beweidet	40- >75
			unbeweidet	10-40
		Besenheide/Arnika	Beweidung; Skipiste	40-75
		Grauerlen- und Weidegebüsch	beweidet	30-50
		Hochstaudenfluren	beweidet	50-75
			unbeweidet	30-75
		Lärchenwiesen	beweidet	50-75
		Acker	Reihenkultur	bis 75
			Getreide	bis 70
	Leguminosen		bis 70	
	konvent. Bodenbearbeitung		60-80	
	konserv. Bodenbearbeitung		20-50	
	Grasland		Grasland, Mittelwert	250-55
	bindig		alpiner Rasen	Kurzweide
		Mähwiese		50-75
		Alpenrosen/Heidelbeere	Mähwiese, beweidet	50-75
		Grauerlen- und Weidegebüsch	beweidet, mit Feuchtflächen	50-75
		Hochstaudenfluren	beweidet	>75
		Ackerbau	beweidet	>75
			sandiger Lehm, konventionell	45-70
			sandiger Lehm, konservierend, Mulchbedeckung 10-60%	0-30
			Reihenkultur	bis 85
			Getreide	bis 80
	Leguminosen	bis 80		
	Grasland	Grasland, Mittelwert	30-70	
	dicht	alpiner Rasen	beweidet	60-75
			Mähwiese, Deckungsgrad < 70%	60-75
		Bürstling Rasen	intensive Beweidung, Skipiste	>75
			weidefrei	50-75
			beweidet, Zwergstrauchanteil < 25%	>75
		Alpenrosen/Heidelbeere	beweidet	>75
		Planien	beweidet, Viehtritt und Erosionsschäden bis 25% Flächenanteil	40-75
			gemäht, Kurzweide, Skipiste	50-75
		Lärchenweise	beweidet, befahren	>75
			beweidet	50-75
Ackerbau		Reihenkultur	bis 90	
		Getreide	bis 85	
		Leguminosen	bis 85	
		konventionelle Bodenbearbeitung	bis 45	
konservierende Bodenbearbeitung		bis 20		
Grasland		Grasland, Mittelwert	50-80	

Als Grob-Böden werden hier skelettreiche, grobkörnige Böden mit hohem Grobkornanteil (Sand und Kies) bezeichnet. Dies sind reine Sandböden. Ihre Wasserdurchlässigkeit ist im Allgemeinen sehr hoch. Grob-Böden mit Feinanteil sind skelettreiche, grobkörnige bis gemischtkörnige Böden mit hohem Grobkornanteil und einem maximalen Anteil von Ton und Feinschluff von bis zu 20%. Dies sind schwach schluffige, schwach lehmige und schwach tonige Sande.

Lockere Fein-Böden sind gemischt- bis feinkörnige Böden mit Schluff- und Tonanteilen bis 40%. Dies sind im Allgemeinen mittel und stark lehmige Sande, schwach und mittel schluffige Sande, mittel und stark sandiger Lehm.

Bindige Fein-Böden sind gemischt- bis feinkörnige Böden mit Schluff- oder Tonanteilen von über 40%. Die Wasserdurchlässigkeit ist mittel bis gering, das Wasserbindevermögen hoch. Als dichte bzw. verdichtete Fein-Böden werden hier sowohl ehemals lockere Grob-Böden mit Feinanteil als auch Fein-Böden bezeichnet, die durch mechanische Belastung verdichtet wurden.

## Anhang 4: Beschreibung der Literaturdatenbank

Die im Rahmen des Auftrag gesammelte Literatur wurde mittels einer Literaturdatenbank systematisch archiviert. Dazu wurde die kommerzielle Software ProCite, Version 5.0 verwendet ([www.procite.com](http://www.procite.com)). Bei Bedarf kann diese Datei in EndNote importiert werden. Die Literaturdatenbank enthält 552 Zitate relevanter Literatur. Im Bericht ist nur eine Auswahl davon zitiert. Das Literaturverzeichnis des Berichts enthält nur die im Bericht zitierten Dokumente. Für eine weitere Vertiefung bestimmter Aspekte ist deshalb auf die Literaturdatenbank zuzugreifen.

Die Datenbank wurde mit folgender Systematik beschlagwortet:

Grundsätzlich wurden jedem Zitat ein Schlagwort oder mehrere Schlagworte aus dem Themenbereich "Landwirtschaftliche Bewirtschaftung" und ein Schlagwort (bzw. mehrere) aus dem Themenbereich "Naturgefahrenprozess" zugeordnet. Damit kann die Literatursauswahl sehr gezielt nach Themenbereich erfolgen.

Schlagworte aus dem Themenbereich "Landwirtschaftliche Bewirtschaftung" sind die Begriffe Ackerbau, Wiese, Weide, Sömmerungsweide, Obstbau, Reben, Gesetze, Melioration, Nutzungsauffassung, Nutzungsänderung.

Schlagworte aus dem Themenbereich "Naturgefahrenprozesse" sind die Begriffe Oberflächenabfluss, Retention, Überschwemmung, Erosion, Rutschung, Schneegleiten, Lawinen, Sturzprozesse, Flurbrand, Klima.

Die Datenbank ist in der Datei "PLANAT\_Landwirtschaft.pdt" enthalten. Die Literaturdatenbank enthält Verknüpfungen zum Pfad der originalen Datei des jeweiligen Zitats. Alle im Format PDF archivierten Dokumente sind über die Literaturdatenbank referenziert und im Ordner "PDF" auf der beiliegenden DVD gespeichert. Für den Fall, dass die Literaturdatenbank nicht verwendet werden kann, liegt eine Bibliographie über alle Zitate bei (PLANAT\_B11\_Bibliography.rtf).