

EINFLUSS DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BEWIRTSCHAFTUNG AUF ALPINE NATURGEFAHREN

EINE ZUSAMMENFASSENDE BETRACHTUNG

Andreas Zischg¹, Romano Costa², Christian Flury³ und Andreas Schild⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Eingebettet in die Gesamtstrategie der nationalen Plattform Naturgefahren PLANAT wurde die mögliche Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Hinblick auf eine Anpassungsstrategie zur Gefahrenminderung und -vermeidung untersucht. Die 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. Die Studie hat gezeigt, dass vor allem Massnahmen zur Verbesserung des Wasserrückhalts im Boden einen relevanten Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz leisten können.

Keywords: Landwirtschaft, Oberflächenabfluss, Hochwasserrückhalt, Erosion, Naturgefahren, Integrales Risikomanagement.

ABSTRACT

Within the implementation of the general strategy for integrated risk management of the Swiss platform on natural hazards, the influences of the agricultural land use practices to natural hazards have been analysed. The analyses based on a literature review. In general, agriculture is not able to trigger or to prevent natural hazards. But, agriculture could aggravate or attenuate an existing disposition for natural hazard. Depending on the situation, the adaptation of the agricultural land use to the requirements of natural hazard prevention is contributing to attenuate floods, erosion, shallow landslides and snow-gliding. Mostly relevant in terms of flood prevention are agricultural techniques that increase infiltration capacity and water retention capacity of soils. These adaptation measures could contribute to extend the options for action in integrated risk management.

Keywords: Agriculture, surface runoff, retention, erosion, integrated risk management.

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 (Alpweiden) leisten situations- und standortbezogen einen wichtigen Beitrag zur

¹ Andreas Zischg. Abenis AG, Quaderstrasse 7, 7000 Chur, Schweiz (e-mail: a.zischg@abenis.ch)

² Romano Costa. Abenis AG, Schweiz

³ Christian Flury. Flury & Giuliani GmbH, Schweiz

⁴ Andreas Schild. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern, Schweiz

Verminderung von Risikosituationen. Umgekehrt beeinflussen die Art und Intensität der Bewirtschaftung und die Produktionstechnik die Naturgefahren. Dabei besteht eine wesentliche Standortabhängigkeit, welche den Einfluss einzelner Bewirtschaftungsformen und damit die Gefahrensituation verschärft oder mindert.

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. Angeregt und unterstützt vom Bundesamt für Landwirtschaft hat die PLANAT ein Projekt lanciert mit dem Ziel, einen systematischen Überblick über den Stand der Erkenntnisse und eine Synthese über die gesicherten Aussagen, Unsicherheiten und Wissenslücken zu erarbeiten. Auf Basis einer Literaturrecherche sollte der Wissensstand über die Beeinflussung der Naturgefahren durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung zusammengefasst und dargestellt werden, Ansatzpunkte zur Gefahren- und Schadenreduktion durch die Anpassung der land- und alpwirtschaftlichen Nutzung formuliert und zugunsten der Landwirtschaft ausgerichtete Fördermassnahmen sowie Wissenslücken und offene Forschungsfragen aufgezeigt werden. In der Analyse sollten die Aspekte der Multifunktionalität der Landwirtschaft berücksichtigt werden.

METHODIK

Die Auswirkungen der Landwirtschaft auf die Naturgefahren 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, da diese die Art der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bestimmen. Der Themenbereich wurde deshalb einerseits nach dem Aspekt der Standorteigenschaften und andererseits nach agronomischen und agrarökonomischen Aspekten betrachtet. Die Auswirkungen auf Intensität und Häufigkeit von Naturgefahren wurden als Produkt dieser Aspekte betrachtet. Mit dieser Vorgehensweise liessen sich die Einflussgrössen einzeln und in ihrem Zusammenwirken herauskristallisieren. Gleichzeitig konnten 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 konnte die vorliegende Thematik von zwei Seiten betrachtet werden, sowohl von naturwissenschaftlich-technischer Seite mit Schwerpunkt auf die Naturgefahrenprozesse als auch von agrarwirtschaftlicher Seite mit Schwerpunkt auf die Fördermassnahmen und deren Wirkung auf die landwirtschaftliche Bewirtschaftung und damit wiederum auf die Naturgefahrenprozesse. Die ganzheitliche Betrachtung und deren Ergebnisse wird in Zischg et al. (2011) beschrieben, in vorliegender Arbeit wird nur auf die naturwissenschaftlichen Aspekte eingegangen.

Die Einflüsse der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform auf die Häufigkeit und Intensität wurden anhand des Modells der Zusammensetzung eines gefährlichen Prozesses 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. 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 und Schneegleiten betrachtet.

AUSWIRKUNGEN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN BEWIRTSCHAFTUNG

Im Folgenden werden die wichtigsten Einflussfaktoren der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren beschrieben. Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden nach den folgenden Prozesstypen zusammengefasst: Oberflächenabfluss, Erosion, flachgründige Rutschung und Schneegleiten. Aufgrund der vorgeschriebenen Dokumentlänge werden hier nur die wichtigsten Zitate wiedergegeben. Eine ausführliche Auflistung der analysierten Literatur findet sich in Zischg et al. (2011).

Oberflächenabfluss

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. Dieser Faktor kann wesentlich von der Landwirtschaft durch die Art der Bewirtschaftung beeinflusst werden. Die wichtigsten Bewirtschaftungsfaktoren, die den Wasserrückhalt in der Fläche beeinflussen können, sind die Art der Vegetationsbedeckung und deren zeitliche Abfolge auf Ackerbauflächen, die Bodenverdichtung, das Makroporenvolumen und die Gestaltung der Oberfläche durch Strukturelemente.

Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung kann v.a. über die Beeinflussung der **Infiltrationskapazität** den Oberflächenabfluss steuern. 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 Niederschlagsereignisses zu speichern, fließt bei anderen ein Grossteil des Niederschlags nach erfolgter Sättigung ab. Wird durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung die Infiltrationskapazität oder das Porenvolumen verringert, kann die vorhandene Wasserspeicherkapazität nicht ausgenutzt werden.

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. 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). 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. Der **Bodenbedeckungsgrad** in Kombination mit der Art der Bodenbearbeitung ist ein weiterer Faktor für die Abflusssentstehung. 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. Die Infiltrationskapazität des Bodens ist ausserdem wesentlich von der **Anzahl und Grösse der Makroporen** beeinflusst (Scherrer 1997). 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). 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. Aufgrund der Durchwurzelung hat die Bodenbedeckung auch Auswirkungen auf das Wasserspeichervermögen. Graslandflächen haben im Allgemeinen eine wesentlich höhere Infiltrationskapazität und sind weniger anfällig für Verschlammung und Verdichtung als Ackerflächen. 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 (z.B. Mulchsaat- oder Direktsaatverfahren im Ackerbau) 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 weiters durch die Vermeidung von Bodenverdichtung durch die Beweidung, durch die Anpassung der Befahrung bei nassen Böden und durch die Beibehaltung der Vielfalt an Landschaftsstrukturen und Gliederung der Hangbereiche durch Strukturelemente erreicht werden. Schadenpotenzial an Hangfussbereichen, das von Überschwemmung durch Oberflächenabfluss betroffen ist, kann mit Hilfe von lokalen Auffang- und Versickerungsbecken im Landwirtschaftsgebiet vor Überflutungsschäden geschützt werden. Bei Kanalisierung oder Konzentration des Oberflächenabflusses 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.

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. Bewirtschaftungsformen, bei denen der Boden nur teilweise bedeckt ist und welche die Bodenoberfläche stark modifizieren, können zur Konzentration des Oberflächenabflusses führen. Die Konzentration des Oberflächenabflusses in Tiefenlinien führt örtlich zu hohen Fliessgeschwindigkeiten und bildet Ansatzpunkte für die Wassererosion.

Das Potenzial für eine Verbesserung der Infiltrationskapazität durch Anpassungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung im Ackerbau (bodenschonende und konservierende Anbaumethoden) liegt in einer Grössenordnung zwischen 5 bis 75% der Niederschlagssumme, im Mittel bei 30% (Akkermann 2004, Weiss 2009). Nach 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. 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. Für eine qualitative Übersicht zu den gefahrenfördernden und gefahrenhemmenden Faktoren siehe Tab. 1. Quantitative Angaben sind in Zischg et al. (2011) zu finden.

Tab. 1 Gefahrenfördernde und gefahrenhemmende Faktoren in Bezug auf Oberflächenabfluss

Tab. 1 Factors of agricultural land use practices influencing surface runoff

Einflussfaktor Bewirtschaftung/Infrastruktur	Wirkung
Ackerbau: Lange vegetationsfreie Periode, Bodenverdichtung durch Maschinen und durch Befahren, Verschlammung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen, Zerstörung der Bodenstruktur und Verringerung Aggregatstabilität	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Oberflächenabfluss ↑ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss
Ackerbau: Konservierende Bodenbearbeitung wie Mulchsaat, Direktsaat, temporäre Untersaat, Zwischenfrüchte zur Gründung, Mulchauflage zu Zeiten hoher Abflussbereitschaft (Winterhalbjahr), Vermeidung von vegetationsfreien Perioden ohne Bodenbedeckung	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Aggregatstabilität ↓ Verschlammungsanfälligkeit ↓ Oberflächenabfluss (bis zu 50%) ↓ Scheitelabflüsse und Abflussvolumen aus Gebiet
Ackerbau: Erhöhung Geländerauigkeit, Anlage von Leitlinien und Versickerungsmöglichkeiten, Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, gemeinsame Anbauplanung, Querbewirtschaftung und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge, permanente Begrünung von sensiblen Geländebereichen wie Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Oberflächenabfluss ↓ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss ↑ Versickerungsvermögen ↓ Abflussvolumen aus Gebiet
Graslandwirtschaft: Bodenverdichtung durch Beweidung, Veränderung der Vegetationszusammensetzung durch Nutzungsaufgabe oder Intensivierung	<ul style="list-style-type: none"> ↑ Oberflächenabfluss ↑ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss
Graslandwirtschaft: Weidemanagement, Weidepflege, ggf. langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen	<ul style="list-style-type: none"> ↓ Oberflächenabfluss ↓ Erosion

Erosion und flachgründige Rutschungen

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 durch Oberflächenabfluss vermeiden und verringern, bei standortangepasster Bewirtschaftung aber wesentlich verstärken. Der wichtigste Faktor der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung neben den oben erwähnten Faktoren zur Beeinflussung des Oberflächenabflusses 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. Extensiv genutzte Bergwiesen haben eine sehr hohe Durchwurzelungsdichte und sind im Allgemeinen weniger anfällig auf Erosion als Ackerbauflächen. Nach einer Intensivierung und Erhöhung der Düngung wird häufig eine Zunahme der Erosion und von flachgründigen Rutschungen (Bodenhautrutschungen) betrachtet (Troxler 2007, Tasser et al. 2001, Hellebart 2006, Schmidlin 2008). 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. 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. Ähnliches gilt für die Disposition für flachgründige Rutschungen. 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, die Umwandlung von Mähwiesen in Beweidung und die Zufuhr von Tränkewasser ohne geregelten Ablauf können zu einer Zunahme der

Rutschungsanfälligkeit führen. 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. Für eine qualitative Übersicht zu den gefahrenfördernden und gefahrenhemmenden Faktoren siehe Tab. 2. Quantitative Angaben sind in Zischg et al. (2011) zu finden.

Tab. 2 Gefahrenfördernde und gefahrenhemmende Faktoren in Bezug auf Erosion und flachgründige Rutschungen

Tab. 2 Factors of agricultural land use practices influencing erosion and shallow landslides

Einflussfaktor Bewirtschaftung/Infrastruktur	Wirkung
Ackerbau: Lange vegetationsfreie Periode, Verschlammung der Bodenoberfläche bei Niederschlagsereignissen, Zerstörung der Bodenstruktur und Verringerung Aggregatstabilität durch maschinelle Bewirtschaftung,	↓ Bodenstabilität ↑ Erosionsanfälligkeit
Ackerbau: Grosse zusammenhängende Parzellen in Hanglagen, Feldfluren ohne abflussbremsende Felldraine, Hecken, Feldgehölze und Hangstufen, Bearbeitung in Gefällrichtung	↑ Erosionsanfälligkeit
Ackerbau: Erhöhung Geländerauigkeit, Anlage von Leitlinien und Versickerungsmöglichkeiten, Ackerrand- und Grünstreifen, Schlagteilung, gemeinsame Anbauplanung, Querbewirtschaftung und Querdammhäufelung, Begrenzung der erosiven Hanglänge, Permanente Begrünung von sensiblen Geländebereichen wie Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen. Anlage von Fanggräben und Versickerungsbereichen	↓ Geschwindigkeit Oberflächenabfluss ↓ Erosion ↑ Versickerungsvermögen
Ackerbau: Erhöhung und Verlängerung Vegetationsbedeckung durch Untersaat und konservierende Anbaumethoden, Anpassung Kulturartenwahl, Fruchtfolgegestaltung, Zwischenfruchtanbau, Belassen von Ernterückständen, Vermeidung von vegetationsfreien Perioden	↓ Verschlammungsanfälligkeit ↓ Bodenabtrag ↓ Erosion
Ackerbau, Weinbau: Erhalt bestehender Schutzanlagen, Terrassen, Raine und hangquerender Wege, Begrenzung der erosiven Hanglänge	↓ Erosion ↓ Rutschungsanfälligkeit
Graslandwirtschaft: Beweidung von stark geneigten Flächen mit schweren Tieren, Überweidung, Bildung von Lägerstellen und Trittwegen, Schädigung der Grasnarbe durch Frass und Tritt, Entmischung der natürlichen Artenzusammensetzung bei der Vegetation, Beweidung von Flächen mit geringem Deckungsgrad der Grasvegetation, Mangelnde/fehlende Behirtung und Weidepflege, nicht standortangepasste Beweidungsformen (Verteilung, Anzahl Weidegänge), Düngung von steilen Flächen, erosionsgefährdeten Flächen, Umwandlung von Mähwiesen in Beweidung, Nutzungsaufgabe	↑ Erosion ↑ Rutschungsanfälligkeit
Graslandwirtschaft: Regelmässige Beweidung, Weidemanagement, Weidepflege, ggf. langjährige Auszäunung von sensiblen Hangmulden, Tiefenlinien, bevorzugten Abflussbahnen, Mischbeweidung mit verschiedenen Tierarten, ggf. Nachmahd zur Verhinderung von Langrasenteppichen, Regelmässiger Wechsel von Zufütterungsplätzen und Tränken, Kontrolle und Begleitung der Sukzessionsprozesse nach Nutzungsaufgabe	↓ Oberflächenabfluss ↓ Erosion ↓ Rutschungsanfälligkeit

Schneegleiten

Im Gegensatz zu den Lawinen kann die Landwirtschaft das Vorkommen und die Intensität von Schneegleiten beeinflussen. Eine der entscheidenden Bedingungen für das Zustandekommen des Schneegleitens ist das Vorhandensein einer verhältnismässig glatten Bodenoberfläche oder Vegetationsdecke. Mit der Abnahme der Oberflächenrauigkeit durch Planierungen, Geländeeinebnungen oder nach einer Aufgabe einer regelmässigen Beweidung oder Mahd wird eine Zunahme der Gleitgeschwindigkeit beobachtet (Tasser et al. 2005). 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) haben eine Erhöhung der Gleitwege von über 500% nach einer Bewirtschaftungsaufgabe von Weiden oder

Mähwiesen festgestellt. 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 Trittsuren ist die Oberflächenrauigkeit erhöht, auf diesen Flächen ist das Schneegleiten deutlich vermindert. Eine zweite wichtige Bedingung für das Auftreten von Schneegleiten ist die Bildung einer Nassschnee-Grenzschicht oder eines Wasserfilms an der Basis der Schneedecke. 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 Nassschneesichten 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. 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. 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.

VERKETTUNG VON FAKTOREN UND INDIREKTE WIRKUNGEN

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass die landwirtschaftliche Bewirtschaftung selten direkte Auswirkungen auf die Naturgefahren haben. Die einzelnen Faktoren können auch nicht isoliert betrachtet werden, zwischen ihnen bestehen vielfältige Abhängigkeiten und Wechselwirkungen. Dabei müssen v.a. die Standorteigenschaften und die Lage der jeweiligen Flächen zum Gerinne berücksichtigt werden. Als Betrachtungsebene für eine zusammenfassende Darstellung der Wirkungsketten ergeben sich im Wesentlichen die folgenden Standorttypen:

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

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.

Über die landwirtschaftliche Bewirtschaftung werden die Pflanzensammensetzung 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 (siehe Fig. 1). 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 Abtragungsempfindlichkeit erhöhen und damit zu einer Ausdehnung der Flächen durch Erosion führen. Schäden an der Grasnarbe können ausserdem Ansatzpunkte für Bodenrutschungen bilden.

In **Wildbacheinzugsgebieten** mit einem höheren Flächenanteil von landwirtschaftlichen Nutzflächen im Vergleich zu Wald spielt der Oberflächenabfluss generell eine Rolle für den Spitzenabfluss. 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 (Fig. 2). 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 Gefahr von Murgängen kann durch die Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung deshalb nicht direkt beeinflusst werden.

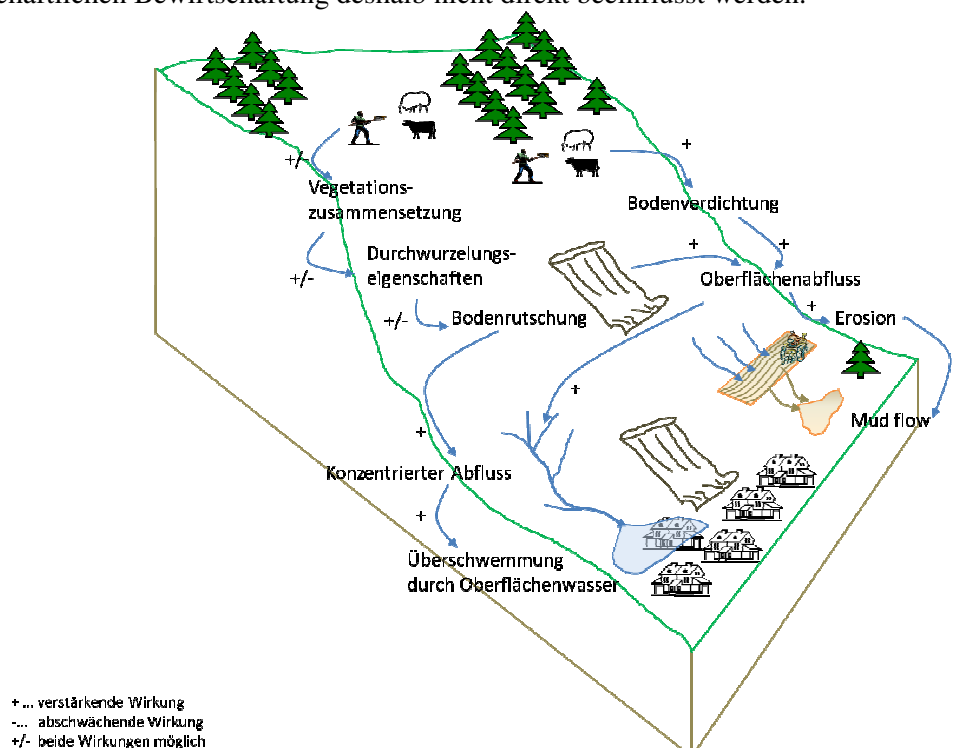


Fig. 1 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Hang- und Hangfussbereichen

Fig. 1 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in slope areas

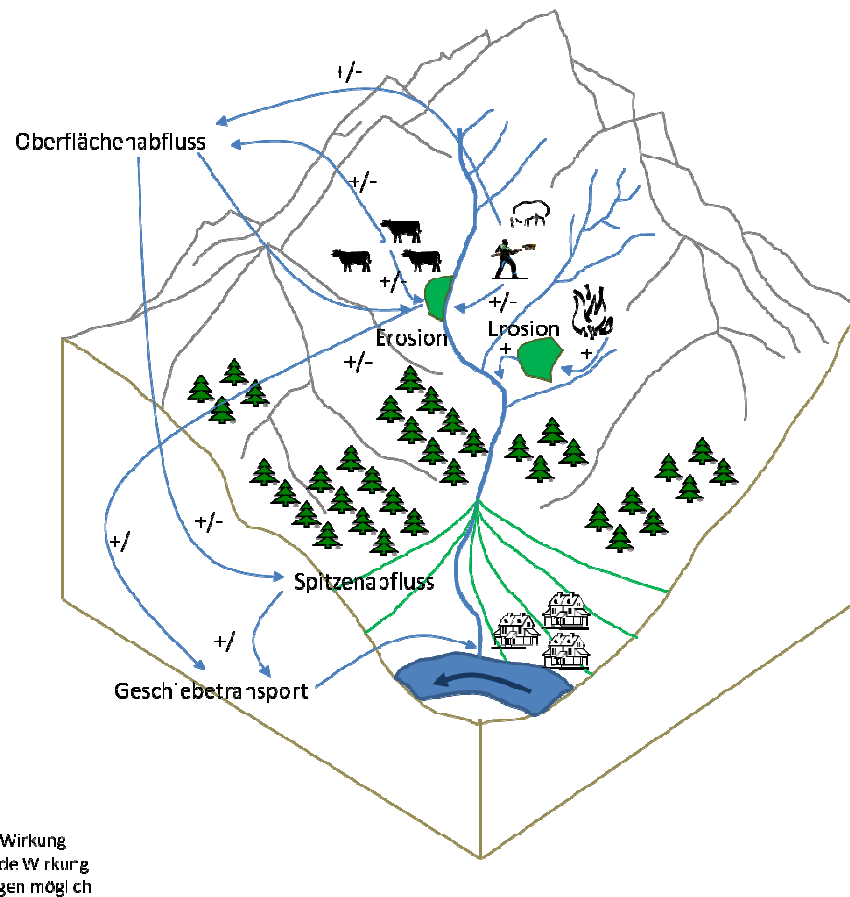


Fig. 2 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten
Fig. 2 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in torrent catchments

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. 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 Spitzenaflusses 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 Bodenrauhigkeit und durch die Schaffung von Versickerungsmöglichkeiten im mikrotopographischen 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. Der Abfluss in **Flüssen** bei Niederschlagsereignissen ist die Summe aller Abflussvorgänge im oberhalb liegenden Einzugsgebiet (Fig. 3). Die Art und Form der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung kann in Einzugsgebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen die Abflussspitze und das Abflussvolumen während Hochwasserereignissen beeinflussen.

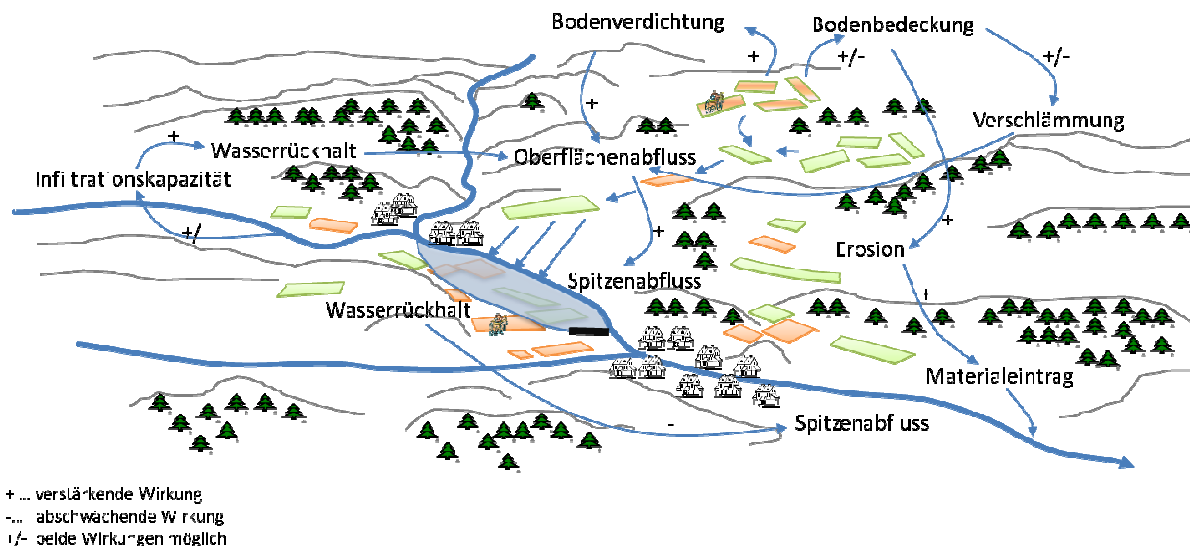


Fig. 3 Einflussfaktoren und Wechselwirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in grossräumigen Flusseinzugsgebieten im Mittelland und im Alpenvorland
Fig. 3 Factors of agricultural land use practices influencing natural hazards in river basins

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die 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. Eine nicht dem Standort angepasste landwirtschaftliche Bewirtschaftung oder unsensibel angelegte Infrastrukturanlagen können 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.

Die Landwirtschaft kann 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. Zu einem wesentlichen Teil tragen die bestehenden landwirtschaftlichen Fördersysteme bereits heute zu einer naturgefahren-angepassten landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bei.

Vor allem Massnahmen zur Verbesserung der Infiltrationskapazität und des Wasserrückhalts im Boden können die Handlungsoptionen des vorbeugenden Hochwasserschutzes wesentlich erweitern. 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 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.

Als Fazit in Bezug auf die landwirtschaftliche Infrastruktur kann erwähnt werden, dass die Instrumente des modernen Meliorationswesens, der Gesamtmelioration, der Entwässerungs- oder Wasserableitungskonzepte und des modernen Landmanagement 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.

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.

AUSBLICK

Die Förderung von gefahrenvermeidenden und -vermindernden Bewirtschaftungsformen fügt sich in die Strategie „Nachhaltige Landwirtschaft und Ernährung 2025“ ein, insbesondere in die Schwerpunkte nachhaltige Ressourcennutzung und Förderung der Attraktivität des ländlichen Raumes. Ein offensichtlich enger Bezug besteht zur Klimastrategie Landwirtschaft, welche zur Zeit vom Bundesamt für Landwirtschaft entwickelt wird. Eine besondere Bedeutung erhält dabei die bodenschonende und gefügefördernde Bewirtschaftung. Gesunde, erosionsresistente und speicherfähige Böden in genügender Quantität sind Voraussetzung für eine nachhaltige landwirtschaftliche Produktion und Ernährung. Die Resultate der Untersuchung zeigen auch, welchen Einfluss landwirtschaftliche Bewirtschaftung und Infrastrukturen auf den Wasserhaushalt eines ganzen Einzugsgebiets haben. Es liegt daher auf der Hand, dass im Rahmen des integralen Einzugsgebietsmanagements auch die quantitativen Aspekte der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bezüglich Wasserressourcen, Gewässer und Wasserinfrastrukturen berücksichtigt werden.

LITERATUR

- Akkermann M. (2004). Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss. Dissertation. Univ. Hannover.
- Hellebart S. (2006). Almwirtschaft und Schutzfunktion. ALP Austria, Klagenfurt.
- Konz N., Baenninger D., Konz M., Nearing M., Alewell C. (2010). Process identification of soil erosion in steep mountain regions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 675–686
- Leitinger G., Höller P., Tasser E., Walde J., Tappeiner U. (2008). Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling* 211[3-4], 363-374.
- Newesely C., Tasser E., Spadinger P., Cernusca A. (2000). Effects of land-use changes on snow gliding processes in alpine ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 1: 61-67.
- PLANAT (2004). Sicherheit vor Naturgefahren. Vision und Strategie. Bern.
- Scherrer S. (1997). Abflussbildung bei Starkniederschlägen. Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge. *VAW Mitteilungen* 147. Zürich.
- Schmidlin J. (2008). Direktzahlungen für die Schweizer Landwirtschaft; Ungelöste Probleme in den Bereichen Umwelt, Natur und Landschaft. *Pro Natura*.
- Schmidt W., Zimmerling O., Nitzsche O., Krück S. (2001). Conservation Tillage - a new strategy in flood control. In: J. Marsalek, E. Watt, E. Zeman, H. Sieker (eds). *Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls*. Nato Science Series, pp. 287-293.
- 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).
- Tasser E., Mader M., Tappeiner U. (2005). Auswirkungen von Bewirtschaftungsänderungen auf die Blaiknabildung im Gebirge. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 72: 25.
- Tasser E., Tappeiner U., Cernusca A. (2001). Südtirols Almen im Wandel - Ökologische Folgen von Landnutzungsänderungen. *Athesia, Bozen*.
- Troxler J. (2007). Schonende Graslandnutzung im Berggebiet mit minimaler Bodenerosion. *Bodenerosion in den Alpen*, 13.9.2007.

- Weiss A. (2009). Beitrag unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bewirtschaftungsformen der Landwirtschaft zur Reduzierung des Hochwasserabflusses. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen; Heft 17.
- Zimmermann M., Mani P., Gamma P. (1997). Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Zürich.
- Zischg A., Flury C., Costa R., Huber B., Berger S. (2011). Auswirkungen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf die Naturgefahren. Schlussbericht Einzelprojekt B 11, PLANAT Aktionsplan 2009-2011. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern.
(http://www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/planat_pdf/alle/R1362d.pdf)