



## Wiesenbewässerung im Berggebiet

### Autoren

Bettina Marbot  
Manuel Schneider  
Christian Flury

## **Impressum**

Herausgeber: Agroscope, 8356 Ettenhausen und 8046 Zürich  
Auftraggeber: Amt für Strukturverbesserungen, Kanton Wallis,  
1950 Sion  
Titelbild: Wiesenbewässerung im Unterengadin (Manuel  
Schneider, Agroscope)  
Internet: <http://www.agroscope.admin.ch/agrimontana>  
<http://bewaesserung.omeka.net/>  
Auskunft: Manuel Schneider, Tel. +41 44 377 75 98  
manuel.schneider@agroscope.admin.ch  
Christian Flury, Tel. +41 52 368 32 36  
christian.flury@agroscope.admin.ch  
Redaktion: Etel Keller, Agroscope  
Copyright: 2013 Agroscope

# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>Zusammenfassung</b> .....   | <b>7</b>  |
| <b>1. Einleitung und Ziele</b> .....   | <b>9</b>  |
| 1.1. Hintergrund .....   | 9         |
| 1.2. Abgrenzung der Begrifflichkeiten .....  | 10        |
| 1.3. Problemstellung .....   | 11        |
| 1.4. Ziele der Studie und Vorgehen .....   | 12        |
| <b>2. Wiesenbewässerung im Schweizer Alpenraum</b> .....                                       | <b>13</b> |
| 2.1. Niederschläge und niederschlagsarme Gebiete im Alpenraum .....                            | 13        |
| 2.2. Tradition und Geschichte der Bewässerung .....  | 14        |
| 2.2.1. Tradition der Bewässerung im Kanton Wallis .....  | 14        |
| 2.2.2. Tradition der Bewässerung im Kanton Graubünden .....                                    | 14        |
| 2.3. Aktuelle Situation der Wiesenbewässerung .....  | 15        |
| 2.4. Alternativen zur Wiesenbewässerung .....  | 17        |
| 2.5. Einordnung des Wissens zu Bewässerungsflächen und Alternativen .....                      | 18        |
| <b>3. Wiesenbewässerung in der Praxis – Grundlagen für Bewässerungsprojekte</b> .....          | <b>19</b> |
| 3.1. Öffentliche Unterstützung von Bewässerungsprojekten .....                                 | 19        |
| 3.2. Gesetzliche Grundlagen im Kontext der Bewässerung .....                                   | 20        |
| 3.3. Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit .....   | 21        |
| 3.3.1. Bewertung der Bewässerungsbedürftigkeit im Kanton Wallis .....                          | 21        |
| 3.3.2. Bewertung der Bewässerungsbedürftigkeit im Kanton Graubünden .....                      | 22        |
| 3.4. Beurteilung der Bewässerungswürdigkeit .....  | 23        |
| 3.4.1. Eignung der Böden .....   | 23        |
| 3.4.2. Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung .....  | 23        |
| 3.5. Beurteilung der Bewässerungsmachbarkeit .....   | 23        |
| 3.5.1. Bewässerungswasser und Wassernutzungsrechte .....                                       | 23        |
| 3.5.2. Auswirkungen auf Natur und Landschaft .....   | 24        |
| 3.6. Einordnung des Wissens zu den Grundlagen für Wiesenbewässerungen .....                    | 26        |
| <b>4. Betriebsstrukturen und Flächennutzung im Berggebiet</b> .....                            | <b>27</b> |
| 4.1. Betriebsstrukturen und -entwicklung in den bewässerten Gebieten .....                     | 27        |
| 4.2. Flächennutzung im Berggebiet .....  | 29        |
| 4.3. Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung .....  | 31        |
| 4.4. Einordnung des Wissens zu Betriebsstrukturen, Flächennutzung und Wirtschaftlichkeit ..... | 31        |
| <b>5. Wasserangebot und Wassernutzung im Berggebiet</b> .....                                  | <b>33</b> |
| 5.1. Das Wasserangebot im Berggebiet .....   | 33        |
| 5.2. Die Wassernachfrage im Berggebiet .....   | 33        |
| 5.3. Einordnung des Wissens zur Wassernutzung im Berggebiet .....                              | 35        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>6.</b> | <b>Ökosystemleistungen und Wiesenbewässerung</b> .....        | <b>37</b> |
| 6.1.      | Futtermenge und Futterqualität .....                          | 37        |
| 6.1.1.    | Futterquantität .....   | 38        |
| 6.1.2.    | Futterqualität .....  | 38        |
| 6.2.      | Biodiversität .....   | 39        |
| 6.2.1.    | Flora .....   | 39        |
| 6.2.2.    | Fauna .....   | 41        |
| 6.3.      | Offenhaltung .....  | 42        |
| 6.4.      | Bodenschutz .....   | 42        |
| 6.5.      | Kohlenstoff-Speicherung .....                                 | 43        |
| 6.6.      | Einordnung des Wissens zu den Ökosystemleistungen .....       | 44        |
| <b>7.</b> | <b>Synthese</b> .....   | <b>45</b> |
| 7.1.      | Zusammenführung des Wissensstands zur Wiesenbewässerung ..... | 45        |
| 7.2.      | Diskussion und Bewertung der Wissenslücken .....              | 46        |
| 7.3.      | Fazit .....   | 49        |
| <b>8.</b> | <b>Literatur</b> .....  | <b>51</b> |

## Vorwort

Der vorliegende Bericht entstand im Rahmen einer Grundlagenstudie zur Wiesenbewässerung im Berggebiet. Das heute verfügbare Wissen zur Thematik wurde für ein breites Themenfeld aufgearbeitet, wobei naturwissenschaftliche, historische und sozioökonomische Aspekte berücksichtigt wurden. Die Studie ordnet das bestehende Wissen ein und identifiziert Wissenslücken, die mit Blick auf den zunehmenden Bedarf an Bewässerungsinfrastruktur zu schliessen sind. Die Wissenssammlung konzentriert sich dabei auf die Wiesenbewässerung im Schweizer Berggebiet, die Bewässerung von Spezialkulturen ist nicht Gegenstand der Studie. Das Schweizer Berggebiet wird über die vier Bergzonen I, II, III und IV gemäss der Verordnung über den landwirtschaftlichen Produktionskataster und die Ausscheidung von Zonen (SR 912.1) abgegrenzt.

Der öffentlich zugängliche Teil der in der Studie aufgearbeiteten und im vorliegenden Bericht verwendeten Literatur ist unter <http://bewaesserung.omeka.net/> einzusehen.

Zurzeit beschäftigen sich verschiedene Forschungsprojekte mit der Wiesenbewässerung im Berggebiet. Diese Studien werden einige der bestehenden Wissenslücken in naher Zukunft schliessen. Sie sind deshalb im Bericht in *kursiver* Schrift aufgeführt. Es werden aber nur Resultate aufgeführt, die bereits publiziert sind. Vorträge, Poster und mündliche Informationen der Forschenden sind nicht explizit berücksichtigt.

Der Austausch mit verschiedenen Personen war für die Erarbeitung des Wissensstandes zentral. An dieser Stelle bedanken wir uns herzlich bei Richard Zurwerra und Hans-Anton Rubin (Amt für Strukturverbesserungen Kt. VS), Andreas Schild (Bundesamt für Landwirtschaft BLW), Daniel Buschauer (Amt für Landwirtschaft und Geoinformation Kt. GR), Reto Elmer (Plantahof), Men Luppi (Landwirt in Sent), Jürg Fuhrer, Andreas Rösch, Volker Prasuhn, Bernard Jeangros, Marco Meisser und Eric Mosimann (alle Agroscope) sowie Aline Andrey, Jean-Yves Humbert und Flurina Schneider (alle Universität Bern).

Die Ausarbeitung wurde ermöglicht durch einen Studienauftrag des Amtes für Strukturverbesserungen des Kantons Wallis in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landwirtschaft BLW sowie dem Amt für Landwirtschaft und Geoinformation des Kantons Graubünden (ALG). Deren Vertreter Richard Zurwerra (Amt für Strukturverbesserungen Kt. VS), Andreas Schild (BLW) und Daniel Buschauer (ALG) haben das Projekt begleitet.



## Zusammenfassung

Die Wiesenbewässerung hat in den niederschlagsarmen, inneralpinen Trockentälern im Schweizer Berggebiet eine lange Tradition. Die bekanntesten Gebiete mit bewässerten Wiesen befinden sich im Wallis und im Engadin. In diesen Gebieten, aber auch in weiteren Regionen des Alpenraums, kommen unterschiedliche Bewässerungsmethoden zum Einsatz, wobei die Technik des Beregnens heute in allen Bewässerungsgebieten weit verbreitet ist und jene des Berieselns hauptsächlich noch im Wallis ihre Anwendung findet.

Für die öffentliche Hand, die Investitionen in Bewässerungsanlagen subventioniert, stellt sich einerseits die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der von ihr unterstützten Investitionen. Andererseits sind die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auch hinsichtlich Flächennutzung, Ökosystemleistungen und Betriebsstrukturen im Schweizer Alpenraum detailliert zu beurteilen – dies gilt in einem vereinfachten Umfang auch für nicht subventionierte Anlagen. Mit Blick auf die kontroverse Diskussion zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung im Allgemeinen und der Umstellung auf Beregnung im Speziellen stellt sich die grundlegende Frage, wie eine auf die Ertragsicherung ausgerichtete Bewässerung hinsichtlich der Ziele der Agrarpolitik und des Natur- und Heimatschutzes einzuordnen ist.

Im vorliegenden Bericht wird das heute verfügbare Wissen zur Wiesenbewässerung im Schweizer Berggebiet und den damit verbundenen Auswirkungen für ein breites Themenfeld aufgearbeitet, wobei naturwissenschaftliche, historische und sozioökonomische Aspekte berücksichtigt werden. Speziell aufgezeigt wird, welches Wissen zur Wiesenbewässerung im Berggebiet auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen von der Parzelle, über den Betrieb, die Gemeinde und Region bis hin zum Berggebiet als Gesamttraum vorhanden ist und welche Wissenslücken bestehen. Der Bericht bildet die Basis für weiterführende Arbeiten, welche die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Wiesenbewässerung und unterschiedlicher Bewässerungsmethoden im Gesamtkontext der landwirtschaftlichen Strukturentwicklung und Flächennutzung untersuchen sollen. Ziel ist, einen Beitrag zu einer Versachlichung der heute teilweise kontrovers geführten Diskussionen zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung im Berggebiet zu leisten.

In den beiden Kantonen Wallis und Graubünden werden heute gemäss den Angaben der kantonalen Amtsstellen insgesamt zirka 27'000 Hektaren Wiesen bewässert, wovon der grösste Teil der Flächen beregnet wird. Bezüglich der effektiv bewässerten Flächen bestehen aber grosse Unsicherheiten. Als Folge des Klimawandels dürfte mittel- und langfristig der Bedarf zur Bewässerung ansteigen, was Ersatz- und Neuinvestitionen in Bewässerungsanlagen erfordert. Eine fundierte Beurteilung der wirtschaftlichen und strukturellen Auswirkungen der Investitionen in Bewässerungsanlagen ist heute aber nicht möglich, weil im Bereich ihrer Wirtschaftlichkeit und bei den Zusammenhängen zwischen Betriebsstrukturen, Arbeitsbedarf und Wiesenbewässerung Wissenslücken bestehen. Dabei kommt einer mittel- und langfristigen Betrachtung eine grosse Bedeutung zu, weil die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Bewässerungsinfrastrukturen einerseits stark von der landwirtschaftlichen Strukturentwicklung abhängt, andererseits wird die Wirtschaftlichkeit durch die Verfügbarkeit resp. die Kosten des Bewässerungswassers beeinflusst. Die in Zukunft verschärfte Nutzungskonkurrenz um die knappe Ressource Wasser dürfte dazu führen, dass sich die für die Bewässerung verfügbare Wassermenge potenziell reduziert und die Wasserkosten ansteigen. Vor diesem Hintergrund sind auch Alternativen zur Wiesenbewässerung zu prüfen.

Wissen zur Wirkung der Bewässerung und verschiedener Bewässerungstechniken auf die Biodiversität in Bergwiesen ist auf Parzellenebene vorhanden, baut allerdings auf einer geringen Anzahl Beobachtungsflächen auf und langfristige Untersuchungen fehlen beinahe vollständig. Dies führt zu Unsicherheiten in der Interpretation und im Vollzug. Wissen zum Einfluss der Wiesenbewässerung auf die Entwicklung der Flächennutzung der Betriebe fehlt hingegen vollständig. Die landwirtschaftliche Flächennutzung bestimmt das



räumliche Mosaik an Lebensräumen im Berggebiet entscheidend mit und beeinflusst die Biodiversität stark. Neben den direkten Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung der bewässerten Flächen ist darum der Zusammenhang zwischen Bewässerung und Flächennutzung höchst relevant für die Voraussetzungen der Biodiversität in einer Region. Gleichzeitig ist die Wiesenbewässerung in vielen Gebieten eine grundlegende Voraussetzung für die Bewirtschaftung an sich, indem nicht bewässerte Flächen aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben werden und unterhalb der Waldgrenze einwachsen.

Eine weitere, weniger relevante Wissenslücke besteht bezüglich der Bewässerungsbedürftigkeit, aus dem sich der Bedarf an Bewässerungswasser ableitet, und dem Wasserangebot. Auf der Grundlage der bestehenden nationalen Arbeiten könnte die Lücke zur Bewässerungsbedürftigkeit geschlossen werden, wenn die dazu notwendigen Datengrundlagen erarbeitet würden. Mit Blick auf die zunehmende Verknappung der Ressource Wasser stellen sich für Planung und Organisation von Bewässerungsanlagen wichtige Fragen zum Wasserangebot und zur Konkurrenz zwischen verschiedenen Nutzergruppen. Insbesondere bezüglich der künftigen Veränderungen im Klima und in der Energieproduktion bestehen hier bedeutende Unsicherheiten und Wissenslücken. Aufgrund der regional grossen Unterschiede ist es aber effizient, diese Fragen in Verbindung mit Projekten zu weiteren Fragestellungen zu bearbeiten.

Obwohl sich verschiedene abgeschlossene und noch laufende Forschungsprojekte mit Fragen zur Wiesenbewässerung im Berggebiet befassen, ist insgesamt festzuhalten, dass speziell auf den Ebenen Betrieb bis Region eine Einordnung der Wiesenbewässerung in den Gesamtkontext der Berglandwirtschaft fehlt. Im Bereich zwischen Betrieb und Region lässt sich die Landschaftskammer einordnen, definiert als Gebiet mit einheitlichem Landnutzungs mosaik und gleichen pedo-klimatischen Bedingungen. Die ökologischen Auswirkungen der Bewässerung sind auf Parzellenebene teilweise bekannt, dieses Wissen kann jedoch nicht für die Ebene der Landschaftskammer abstrahiert werden. Das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Betriebs- und Arbeitswirtschaft, Bewässerung und Flächennutzung ist für eine Beurteilung der Wiesenbewässerung auf Ebene der Landschaftskammer unumgänglich, fehlt heute jedoch gänzlich.

Im Sinne einer breiteren Einordnung ist abschliessend festzuhalten, dass die Stärken einer multifunktionalen Berglandwirtschaft in einer eng mit der Flächennutzung und der Produktion gekoppelten Ökologie liegen, da in keinem anderen landwirtschaftlich genutzten Gebiet der Schweiz eine so grosse Vielfalt an Lebensräumen und landwirtschaftlichen Strukturen wie im Berggebiet vorliegt. Die durch die natürlichen Rahmenbedingungen limitierte Produktion von Nahrungsmitteln und die Erhaltung der Biodiversität sind beides landwirtschaftliche Leistungen, die mit öffentlichen Mitteln gefördert werden. Da Investitionen in die Wiesenbewässerung unter Umständen Zielkonflikte zwischen Eigenversorgung, dezentraler Besiedlung und Erhaltung der Biodiversität und der Landschaftsvielfalt verstärken können, ist in der Planung der Bewässerungsinfrastruktur die Multifunktionalität der Berglandwirtschaft räumlich umfassend zu berücksichtigen, was unter anderem eine klare Priorisierung der Flächen nach ihrer Hauptfunktion voraussetzt. Diese Priorisierung kann aber nicht nur auf Parzellenebene erfolgen, sondern muss mit Blick auf die Voraussetzungen für die multifunktionalen Leistungen der Berglandwirtschaft die nächst höheren Ebenen der Landschaftskammer oder Region zwingend einbeziehen.



# 1. Einleitung und Ziele

## 1.1. Hintergrund

Die Ausdehnung der Berglandwirtschaft erreichte zu Beginn des 19. Jahrhunderts ihren Höhepunkt. Die Selbstversorgung, die Handarbeit und neben dem Futter- auch der Ackerbau prägten die kleinräumig strukturierte Kulturlandschaft zu dieser Zeit (Stöcklin et al. 2007). Mit dem Vordringen der Industriegesellschaft in den Alpenraum setzte ab 1880 die Abwanderung aus der Berglandwirtschaft ein. Grenzertragsböden und das dezentral vorhandene traditionelle Handwerk und Gewerbe wurden aufgegeben. Die Landwirtschaft nahm Ende des 19. Jahrhunderts einen marktorientierten Charakter an, was zu regionalen Spezialisierungen führte. Im Berggebiet rückte der Futterbau ins Zentrum, im Talgebiet führte die sogenannte Erste Agrarkrise zu einem starken Rückgang des Ackerbaus und einer Ausdehnung der Milch- und Fleischproduktion auf ackerfähigen Böden (Rieder & Anwander Phan-huy 1994). In diese Zeit fallen auch die ersten Entschiede betreffend Förderung der Landwirtschaft durch den Bund. Unter anderem trat 1892 das erste Landwirtschaftsgesetz in Kraft. Im Zeitabschnitt zwischen dem zweiten Weltkrieg und 1960/65 wurde der Ackerbau im Berggebiet aufgrund der eingetretenen Vollmechanisierung in der europäischen Landwirtschaft weitgehend aufgegeben (Bätzing 2003). Heute sind 94 % der Betriebe im Berggebiet auf die Tierproduktion ausgerichtet (BFS 2010). In der Berglandwirtschaft ist die Bewirtschaftung der Wiesen zentral, das Bild der Kulturlandschaft wird dadurch massgeblich geprägt (Bätzing 2003). An die Bewirtschaftung des Graslandes sind verschiedene multifunktionale Leistungen gekoppelt. So ist die Bewirtschaftung der Flächen eine Grundvoraussetzung für die Erbringung von Ökosystemleistungen wie die Erhaltung der Biodiversität (Dietl 1995; Volkart 2008) und der Kulturlandschaft, die durch Verbuschung gefährdet sind (Stöcklin et al. 2007).

In den inneralpinen Trockentälern, wo die Trockenheit das Vegetationswachstum stark beeinflusst, ist die mit dem Ziel der Ertragssicherung angewendete Wiesenbewässerung traditioneller Bestandteil der Bewirtschaftung (Bundi 2000; Papilloud 2000) und in vielen Gebieten auch eine Grundvoraussetzung für die Bewirtschaftung. Die bekanntesten Gebiete mit bewässerten Wiesen sind im Wallis zu finden, wo die Suonen unübersehbar sind und als wichtige, auch touristisch genutzte Kulturgüter erhalten werden (Reynard 2002a). Das Unterengadin, Münstertal und Puschlav weisen ebenfalls inneralpine Klimaeigenschaften auf. In diesen Gebieten ist jedoch keine mit dem Wallis vergleichbare traditionelle Infrastruktur vorzufinden. Auch die Technik der Bewässerung unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Gebieten. Die Technik des Beregnens ist heute in allen Bewässerungsgebieten weit verbreitet, die Technik des Berieselns beschränkt sich hauptsächlich auf das Wallis (Bundi et al. 2009).

Die Entwicklung des Klimas wird künftig einen starken Einfluss auf den Bewässerungsbedarf und die Nachfrage nach Bewässerungsinfrastrukturen haben. In der Schweiz ist damit zu rechnen, dass die jahreszeitlichen Mitteltemperaturen im Laufe des 21. Jahrhunderts ohne Interventionen bezüglich Emissionen von Treibhausgasen zwischen 2,7 bis 4,8 Grad Celsius zunehmen werden. Unter der Annahme, dass die Emissionen um 50 % gesenkt werden, würde die Erwärmung noch 1,2 bis 1,8 Grad Celsius betragen. Die mittlere Niederschlagsmenge im Sommer würde sich laut Modellberechnungen ohne Emissionsreduktion um 18-28 % verringern; wird eine Halbierung der Emissionen berücksichtigt, liegt die Abnahme bei 8-10 %. Der Unsicherheitsbereich liegt bei etwa 1 Grad Celsius für die Temperaturberechnungen und bei 15 % für die Niederschläge. Weiter werden auch Extremereignisse wie intensivere und länger anhaltende Wärmeperioden und Hitzewellen im Sommer häufiger werden (CH2011 2011).

Neben dem Klima prägt die Agrarpolitik die Entwicklung der Berglandwirtschaft massgeblich. Mit der Botschaft zur Agrarpolitik 2014 bis 2017 (AP 14–17) wurden die kurzfristigen Entwicklungsrichtungen und Schwerpunkte definiert. Für die Berggebiete wird die AP 14–17 und die als Kernelement beantragte Wei-

terentwicklung des Direktzahlungssystems grundlegende Änderungen mit sich bringen (Flury et al. 2012). Allgemein hat die Ausrichtung der Direktzahlungen zum Ziel, die offene Kulturlandschaft, die Versorgungssicherheit, die Biodiversität, die Landschaftspflege sowie die naturnahe und tierfreundliche Produktion zu fördern. Ein Hauptelement der Reform des Direktzahlungssystems ist die Umlagerung der tierbezogenen Beiträge in flächengebundene Versorgungssicherheitsbeiträge. Die Bergregion ist von dieser Umlagerung insofern betroffen, als bisher an Bergbetriebe rund 369 Mio. Franken als Beiträge für Raufutter verzehrende Tiere und Beiträge für die Tierhaltung unter erschwerenden Produktionsbedingungen ausgerichtet wurden. Gemäss Botschaft zur AP 2014–17 soll die Graslandnutzung mit Raufutterverzehrern in Zukunft aber mit gleich viel finanziellen Mitteln gefördert werden wie bisher (Mann et al. 2012). Die Umlagerung der tiergebundenen Beiträge wird im Berggebiet zu einem Rückgang der Tierbestände und bei einer leicht geringeren Nutzfläche zu einer Reduktion des Tierbesatzes führen. Der Rückgang der Tierbestände und des Tierbesatzes ermöglicht eine abgestufte Nutzungsintensität und eine Ausweitung der extensiven und wenig intensiv genutzten Wiesen (Flury et al. 2012).

Für die Wiesenbewässerung gibt es neben der Trockenheit noch weitere Beweggründe. Durch die Berieselung werden mineralische Feinstoffe auf den Feldern abgelagert, was zu einem Düngungseffekt führt. Dieser Effekt bleibt auch bei der Umstellung von Berieselung auf Beregnung erhalten, da das gleiche Wasser verwendet wird. Sind die Temperaturen während der Vegetationsperiode sehr tief, kann durch die Bewässerung der Boden erwärmt und allfällige Luftfröste können durch das fliessende Wasser reduziert werden. Zudem ist es möglich, durch Bewässerung die Schneeschmelze zu beschleunigen (Furrer & Freund 1975).

## 1.2. Abgrenzung der Begrifflichkeiten

In der Diskussion zur Wiesenbewässerung werden verschiedene ähnliche Begriffe verwendet, die eine unterschiedliche Bedeutung haben. Als Grundlage für den aufgearbeiteten Wissensstand werden die relevanten Begriffe definiert und abgegrenzt.

Die **Bewässerungsbedürftigkeit** ergibt sich aus der Häufigkeit der Jahre, in denen der Ertrag aufgrund einer ungenügenden Wasserversorgung geschmälert ist. Häufig wird von Bewässerungsbedürftigkeit gesprochen, wenn die Ertragsausfälle über einem Drittel des potentiellen resp. durchschnittlichen Ertrags liegen (Nievergelt 1986; Fuhrer 2010a). Die Bewässerungsbedürftigkeit ist abhängig von der Niederschlagsmenge und der Verteilung der Niederschläge während der Vegetationsperiode (klimatische Parameter) sowie vom Wasserbedarf der angebauten Kulturen, im vorliegenden Bericht von Grasland.

Die **Bewässerungswürdigkeit** ist abhängig von der angebauten Kultur (Wiese) und dem Wasserspeichervermögen des Bodens (pedologische Parameter). Zum Zweck der Ertragssicherung wird in der Praxis Wiesland dann als bewässerungswürdig bezeichnet, wenn der Ertragsausfall durch Trockenheit in jedem dritten Jahr grösser als ein Drittel ist und die Bodenspeicherkapazität ausreichend ist.

Die **Bewässerungsmachbarkeit** bezieht sich auf die für die Bewässerung verfügbare Menge Wasser und dessen Qualität, technische Aspekte der Bewässerungsmöglichkeit (Wasserfassung, Verteiltechnik), wirtschaftliche Aspekte (insbesondere Arbeitsaufwand) sowie Synergien mit anderen Nutzungen und den Auswirkungen auf die Natur, die Landschaft und die Gewässer (BLW 2012).

Unter der **Wasserbeschaffung** verstehen wir Regelungen und Infrastruktur zum Transport von Bewässerungswasser bis zum Eintritt in den Bewässerungsperimeter. Dies kann je nach Gebiet in offenen Gräben (Suonen, Bisses, Wasserleiten), in geschlossenen Leitungssystemen oder mobilen Zuleitungen erfolgen.

Die **Wasserverteilung** bezeichnet die Verteilung des Bewässerungswassers auf der Wiesenparzelle. Dabei werden mit der Berieselung und der Beregnung zwei Hauptsysteme unterschieden.

Bei der **Berieselung** (Synonyme sind traditionelle Bewässerung, Rieselbewässerung oder Wässern) werden die wasserleitenden Gräben mit Steinen oder Metallplatten gestaut, um das Wasser über die Flächen zu verteilen. Traditionellerweise wird diese Arbeit im Wallis zwischen April und September ausgeführt und folgt historischen Abmachungen, welche die Wassermengen, Wasserstunden und den Turnus regeln. Die Oberfläche wird bei der Berieselung aufgrund vorhandener Bodenunebenheiten nicht homogen bewässert, wodurch sich mosaikartige Muster in der Boden- und Vegetationsentwicklung etablieren können. Bei unvorsichtiger oder unkontrollierter Berieselung besteht die Gefahr von Erosion und Rufen (Volkart 2008, Zurwerra 2010).

Die **Beregnung** erfolgt mit Kreis- oder Schwenkregnern, das Wasser gelangt somit wie Regen auf die Oberfläche. Die Regner können ortsfest oder mobil sein. Mit den Beregnungsanlagen werden Beregnungskreise oder -streifen von 30 bis 50 Meter Breite erreicht.

### 1.3. Problemstellung

Der Hitzesommer 2003 machte die Auswirkungen einer ausgeprägten Trockenheit und Hitze für den Futterbau deutlich. Die Ertragsausfälle führten dazu, dass Vieh an anderen Standorten geweidet oder Futter zugekauft werden musste. Weiter wurden Grenzabgaben für den Zukauf von Raufutter aufgehoben und Zölle für Futtergetreide und proteinhaltige Futtermittel reduziert, Biobetriebe durften 40 % anstelle von 10 % konventionelles Raufutter verwenden. Durch die Trockenheit bedingte tiefere Tierbestände wurden in der Berechnung der tiergebundenen Direktzahlungen nur teilweise berücksichtigt, Schnittzeitpunkte für wenig intensive und extensive Wiesen wurden vorgeschoben, der Normalbesatz auf Sömmerungsbetrieben konnte angepasst und auf den Alpen zugekauftes Futter verwendet werden. Über die Betriebshilfe konnten Liquiditätsschwierigkeiten für den Futterzukauf überbrückt und die Milchkontingente vom Berg- ins Talgebiet verlagert sowie fehlende Milchmengen im Folgejahr nachgeliefert werden (BLW 2003). Der Hitzesommer 2003 motivierte aber auch Infrastrukturvorhaben: So wurde zum Beispiel in der Gemeinde Sent eine Bewässerungsanlage in die Gesamtmelioration aufgenommen, nachdem diese zu Beginn der Melioration noch nicht geplant war. Die Gemeinde Ftan beschloss nach dem Hitzesommer, die bewässerte Fläche nach Möglichkeit zu verdoppeln (Fritsch 2004).

Ein Vergleich des Hitzesommers 2003 mit den letzten 50 Jahren zeigt, dass die klimatischen Bedingungen im Hitzesommer eine Ausnahme darstellten und mittelfristig nicht regelmässig mit solchen Ereignissen zu rechnen ist (ProClim 2005). Gegen Ende des gegenwärtigen Jahrhunderts ist jedoch zu erwarten, dass die Bedingungen des Hitzesommers 2003 regelmässig auftreten können (Schär et al. 2004). Eine zunehmende Trockenheit hat aber nicht überall einen Ertragsrückgang zur Folge. Vielmehr können niederschlagsreiche Gebiete wie die Voralpen durch weniger Niederschlag grössere Ernten einfahren. Der Jurasüdfuss oder die inneralpinen Trockentäler leiden dagegen unter höheren Niederschlagsdefiziten (Schorer 2000). Insgesamt wird die Landwirtschaft auch in ursprünglich nicht bewässerten Gebieten vermehrt auf Bewässerung und die dazu notwendige Infrastruktur angewiesen sein (Trnka et al. 2011). Der Bund und die Kantone müssen für das Management der steigenden Nachfrage nach Bewässerungsinfrastruktur über fundierte Entscheidungsgrundlagen verfügen und entsprechendes Wissen vermitteln können (ProClim 2005).

Neben dem Bewässerungsbedarf in der Landwirtschaft wird sich die Wassernutzungskonkurrenz grundsätzlich verändern, wobei das Wasserangebot je nach Grad der Vergletscherung des Einzugsgebietes mittelfristig zu- oder abnehmen wird. Werden die Flüsse grösstenteils über Gletscher gespeist, erhöhen sich die Wasserstände aufgrund der verstärkten Gletscherschmelze. In Gebieten ohne Vergletscherung werden die Jahresabflüsse dagegen deutlich zurückgehen (ProClim 2005). Neben der Nachfrage der Berglandwirtschaft nach Bewässerungswasser verändert sich auch die Wassernutzung anderer Akteure, zum Beispiel der Energiewirtschaft, des Tourismus und der Siedlungswasserwirtschaft.

Die Auswirkungen der Wiesenbewässerung wurden bereits in verschiedenen Projekten untersucht. Zentral sind vor allem Untersuchungen zum Effekt der Bewässerung auf Parzellenebene (z. B. Liniger 1983, Jeangros & Bertola 2001, Riedener et al. 2012). Trotzdem vertreten die verschiedenen Akteure in der Bewässerungsdebatte oft unterschiedliche Meinungen bezüglich der ökologischen Auswirkungen der Wiesenbewässerung und der verschiedenen Bewässerungstechniken (Berieseln oder Beregnen). Auf der Grundlage der bestehenden Untersuchungen können die divergierenden Ansichten zu den Auswirkungen der Bewässerung nicht abschliessend bereinigt werden, da Wissenslücken bestehen. Zudem fehlt eine Einbettung der Wiesenbewässerung in den Gesamtkontext der Strukturentwicklung und Flächennutzung der Berglandwirtschaft.

#### 1.4. Ziele der Studie und Vorgehen

Der vorliegende Bericht soll den Wissensstand zur Wiesenbewässerung im Berggebiet dokumentieren. Speziell aufgezeigt wird, welches Wissen zur Wiesenbewässerung im Berggebiet auf unterschiedlichen Ebenen (Parzelle, Betrieb, Gemeinde, Region, gesamtes Berggebiet) vorhanden ist.

Konkret soll in der vorliegenden Studie der **Wissensstand** zu folgenden Fragen geklärt werden:

- Wo und wie werden Wiesen im Berggebiet bewässert?
- Welche Tradition hat die Wiesenbewässerung in den verschiedenen Gebieten?
- Wie wird die Wiesenbewässerung im Berggebiet organisiert?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen Betriebsstruktur und Bewässerung?
- Wie lässt sich die Wiesenbewässerung in der Wassernutzung im Berggebiet einordnen?
- Wie werden Ökosystemleistungen durch die Wiesenbewässerung beeinflusst?

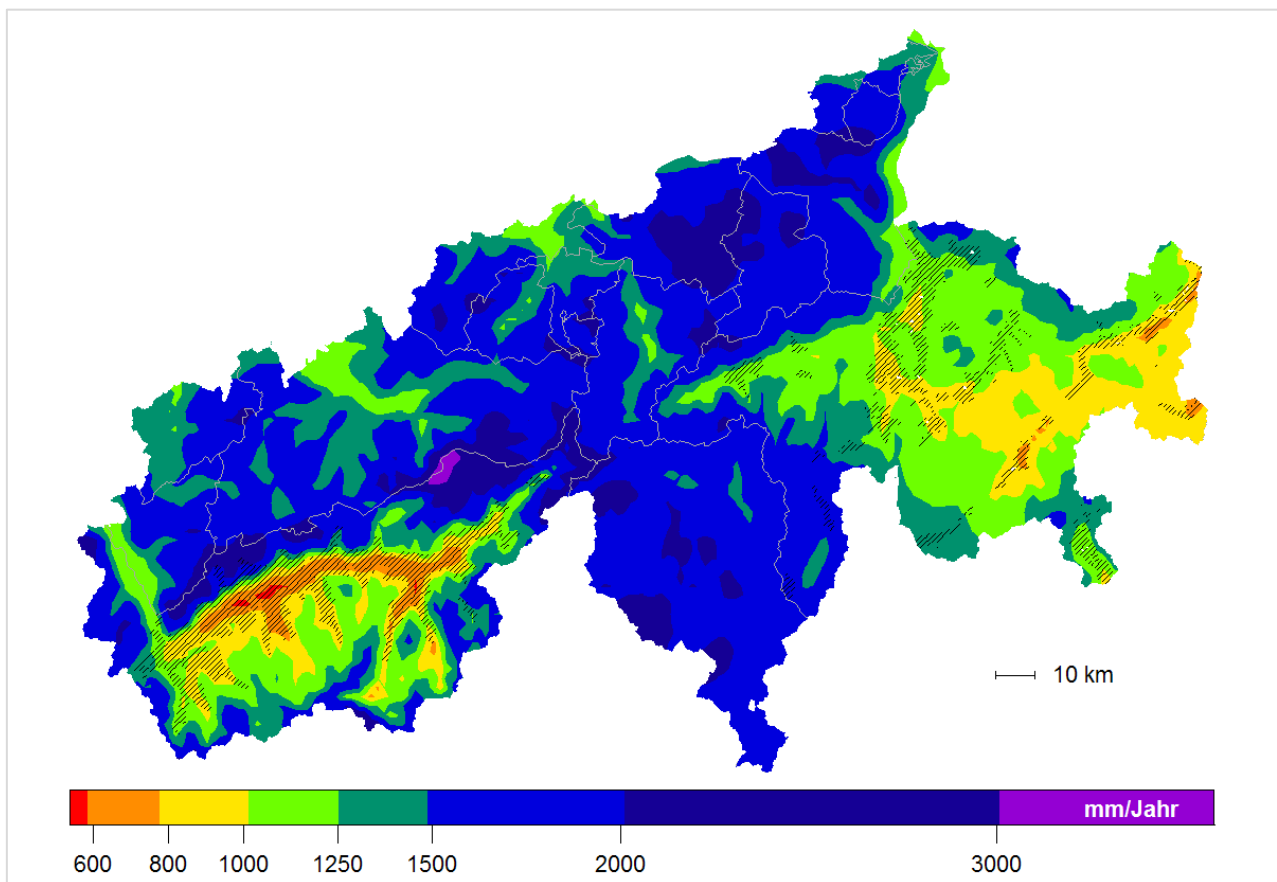
Das Zusammentragen von wissenschaftlicher und grauer Literatur sowie Expertenwissen aus Verwaltung, Beratung und Praxis zur Wiesenbewässerung im Berggebiet bilden die Grundlage dieses Berichts. Dabei wird der Gesamtkontext, in welchem die Wiesenbewässerung stattfindet (Futterbau im Berggebiet, Tradition der Bewässerung, Bewässerungstechnik, Wasserangebot und Wassernutzungskonkurrenz), berücksichtigt. Der Bericht bildet die Basis für weiterführende Arbeiten, welche die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der Bewässerung und unterschiedlicher Bewässerungsmethoden im Gesamtkontext der landwirtschaftlichen Strukturentwicklung und Flächennutzung im Berggebiet umfassend untersuchen sollen. Ziel dieser Arbeiten ist, durch neu erworbenes Wissen einen Beitrag zu einer Versachlichung der heute teilweise verhärtet geführten Diskussionen über die Wiesenbewässerung im Berggebiet zu leisten.

Neben der Aufarbeitung und Dokumentation ist die Einordnung des bestehenden Wissens zur Wiesenbewässerung auf den Ebenen Berggebiet, Region, Gemeinde, Betriebe und Parzelle ein Hauptziel der Arbeit. Diese Einordnung ist für das Verständnis der Bewässerungsthematik wie auch für die Verwendung des Wissens als Entscheidungsgrundlage elementar. Gleichzeitig stärkt sie das Bewusstsein, über welche Auswirkungen der Bewässerung auf welcher Ebene gesprochen wird und welche Bedeutung diese Zusammenhänge für höher oder tiefer liegende Ebenen haben könnte. Der Wissensstand wird in drei Kategorien beurteilt: Wissen vorhanden, Wissen teilweise vorhanden, Wissenslücke. Laufende Forschungsprojekte werden in der Beurteilung ebenfalls berücksichtigt (in *Kursivschrift*). In der Synthese der Grundlagenstufe werden die identifizierten Wissenslücken diskutiert und bezüglich ihrer Relevanz beurteilt.

## 2. Wiesenbewässerung im Schweizer Alpenraum

### 2.1. Niederschläge und niederschlagsarme Gebiete im Alpenraum

Die Schweiz wird aufgrund ihrer Lage in Europa oft als „Wasserschloss Europas“ bezeichnet. Die Alpen liegen unweit des Atlantiks, des Mittelmeers und der Nordsee. Die mit Feuchtigkeit angereicherte Luft wird mit den West- und Südwinden an die Alpen getragen, wo sie steigt und ausregnet. Die Verteilung der Niederschläge ist aufgrund der Topographie regional sehr unterschiedlich (Abbildung 1). Gebiete auf der Nord- und Alpensüdseite und die Luv- und Leelagen weisen verschiedene Niederschlagsklimata auf. Die höchsten Niederschläge fallen am nördlichen Alpenkamm in den Berner und Walliser Alpen sowie im Tessin (Reist & Weingartner 2005).



**Abbildung 1:** Mittlerer Jahresniederschlag für den Zeitraum 1961–2009. Schraffiert ist die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der Gemeinden, in welchen Wiesen bewässert werden. (Quelle: Niederschlagsdaten MeteoSchweiz, Frei et al. 2006; Gemeindegrenzen BFS 2011; landwirtschaftlichen Zonengrenzen BLW).

Die häufigen Niederschläge an den Alpenrändern führen zu einem kühlen Klima und einer geringeren Sonnenscheindauer, was sich in einer abgesenkten Schnee- und Vegetationsgrenze niederschlägt. Gebiete im Niederschlagschatten der Alpenkämme weisen ein gegensätzliches Klima auf; die Jahresniederschläge sind tief, die Sonnenscheindauer hoch und die Vegetations- und Schneegrenzen sind angehoben. Das kontinentale Klima bringt in diesen inneralpinen Gebieten grosse Temperaturunterschiede im Tages- und Jahresverlauf und in Abhängigkeit der Exposition mit sich. Inneralpine Täler mit charakteristischer Niederschlagsarmut und Temperaturextremen sind das Wallis, Aostatal, Veltlin, Engadin und Vinschgau (Bätzing 2003). Somit wird die Wiesenbewässerung im Berggebiet in der Schweiz primär in den Kantonen Wallis und Graubünden praktiziert, auf deren Unterschiede im Folgenden detailliert eingegangen wird.



## 2.2. Tradition und Geschichte der Bewässerung

Kenntnisse zur Tradition und Geschichte der Wiesenbewässerung sind wichtig, um die Thematik im räumlichen und strukturellen Kontext verstehen zu können. Die Kantone Wallis und Graubünden unterscheiden sich bezüglich der Tradition der Bewässerung und untergeordnet der Bewässerungstechnik, der multifunktionalen Leistungen und der Verankerung der Bewässerung in der Gesellschaft stark.

### 2.2.1. Tradition der Bewässerung im Kanton Wallis

Die Geschichte der Suonen und damit der Wiesenbewässerung im Wallis reichen weit zurück. In Urkunden ist der Bau von Suonen bereits im 12. Jahrhundert schriftlich nachgewiesen (Papilloud 2000). Zwischen den Jahren 1200 bis 1800 wechselten sich Phasen eines intensiven Suonenbaus mit stagnierenden Abschnitten ab. Im 19. Jahrhundert stieg die Bevölkerungszahl markant an und der Produktionsschwerpunkt der Landwirtschaft verschob sich immer mehr zur Viehhaltung mit einer Intensivierung des Futterbaus. In der Folge wurden erneut Suonen gebaut. Mit dem Ziel einer Modernisierung wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts im grossen Stil Bau- und Ausbauarbeiten an den Suonen durchgeführt und verschiedene Tunnels gebaut. Seit 1940 nahm der Walliser Viehbestand ab, Wiesen wurden in Intensivkulturen wie Erdbeeren, Reben oder Obstanlagen umgestaltet. Für die Intensivkulturen begann, teilweise auch im Zusammenhang mit der Frostbekämpfung, die Umstellung von der Berieselung auf die Beregnung, ab 1970 erfolgte diese Umstellung auch immer häufiger auf den Naturwiesen. Um 1980 erreichte die Förderung der Wiesenbewässerung ihren Höhepunkt. Zudem begann die touristische Nutzung der Suonen, indem erste Themenwanderwege angepriesen wurden (Papilloud 2000; Reynard 2002a). Aufgrund der rückläufigen Landwirtschaft im 20. Jahrhundert reduzierte sich auch die für die Bewässerung benötigte Wassermenge. Gleichzeitig stieg der Wasserverbrauch der Haushalte und des Tourismus stark an (Reynard 2002a).

Aus landwirtschaftlichen, historischen und kulturellen Gründen werden die offenen Suonen im Wallis weiterhin für die Beschaffung des Bewässerungswassers genutzt und in neue Beregnungsanlagen integriert (Zurwerra 2010). Durch die Wasserverluste entsteht entlang der Suonen ein landschaftsprägender Vegetationsgürtel. Die Bautechnik reicht über Steinverbau bis zu Holzkanälen entlang schroffer Felswände inklusive Brücken und Tunnels (Papilloud 2000). Wurden bis zu den 70er-Jahren Suonen oft mittels Verrohrungen oder betonierter Kanäle saniert, kommen ab den 80er-Jahren wieder traditionelle Baumaterialien wie Tretschbord oder Holzkanäle unter möglicher Offenhaltung der Suonen zum Einsatz. Ist beispielsweise entlang eines Wanderweges die Ästhetik einer Suone wichtig, wird immer noch Holz verwendet (Crook & Jones 1999). Das heutige Suonennetz besteht aus über 300 Wasserkanälen mit einer Gesamtlänge von ungefähr 2000 Kilometern, von denen heute noch etwa 1750 Kilometer genutzt werden (Rodewald 2009).

Bis ins 20. Jahrhundert kannte man im Wallis nur die Technik des Berieselns. Dabei wird Wasser von den Suonen abgeleitet und in Nebenkanälen zu den Parzellen geführt. Über kleinere Abflussrinnen wird das Wasser anschliessend aus den an die Parzellen grenzenden Kanälen auf die Wiesen geleitet. Diese Art der Bewässerung erfordert genaue Kenntnisse der Bedürfnisse der Wiesen sowie eine ständige Präsenz, damit eine flächige Bewässerung möglich ist (Papilloud 2000). Heute wird die Berieselung meist durch die Beregnung ersetzt. Bei der Beregnung wird das Wasser über Regner verteilt, der Wasserbezug erfolgt jedoch analog der Berieselung direkt aus den Suonen.

### 2.2.2. Tradition der Bewässerung im Kanton Graubünden

Die historischen Spuren der Bewässerung sind im Kanton Graubünden nicht wie im Wallis bis heute erhalten geblieben (Furrer & Freund 1975; Stauffer 1989; Bundi 2000; Rodewald 2009). Im Kanton Graubünden war die Wiesenbewässerung ursprünglich in ähnlicher Weise wie im Wallis zu finden. Die Bewässerung kann im rätisch-alpinen Raum vom Frühmittelalter bis anfangs des 20. Jahrhunderts nachgewiesen werden. Wie im Wallis wechselten sich in dieser Zeitspanne Phasen mit rasanter Entwicklung des Bewässerungssystems mit stagnierenden Phasen ab. Für das 13./14. Jahrhundert sind erstmals Bewässerungs-

ganisationen und eine dynamische Entwicklung dokumentiert, im 15. Jahrhundert stagniert die Etablierung des Bewässerungssystems. Mitte des 16. Jahrhunderts, am Ende der mittelalterlichen Wärmeperiode, tritt der Höhepunkt der Flurbewässerung im rätischen Alpenraum ein. Eine abflauende Phase folgte im 17. Jahrhundert, die sich im 19. Jahrhundert durch neu etablierende Technologien in einen Aufschwung wandelte. Mit der durch den Strukturwandel bedingten Abwanderung der Arbeitskräfte aus der Landwirtschaft wurde auch die Bewässerungsinfrastruktur aufgegeben (Bundi 2000).

Trotz der verbreiteten Entwicklung des Bewässerungssystems gibt es im Kanton Graubünden auch Gebiete, in denen sich trotz Trockenheit keine Bewässerungskultur etablierte. Es sind dies die Regionen um die Passstrassen Splügen und San Bernardino sowie Septimer- und Julierpass, wo die Bevölkerung im Strassenbau involviert war und keine Kapazität bestand, dem Bau, Unterhalt und der Verwendung von Bewässerungsinfrastruktur nachzugehen (Bundi 2000).

Im Gegensatz zum Kanton Wallis verschwanden in den Talflächen des Engadins viele ursprüngliche Bewässerungsgräben. Die fortschreitende Mechanisierung in der Landwirtschaft führte dazu, dass immer mehr Gräben für eine bessere Befahrbarkeit der Flächen aufgefüllt wurden (Furrer & Freund 1975). Die Rekonstruktion historischer Bewässerungsgräben ist dadurch stark erschwert (Clavadetscher 2009; Rodewald 2009). Im Rahmen von Gesamtmeliorationen wurden neue Bewässerungsanlagen gebaut, die unabhängig von der traditionellen Bewässerungsinfrastruktur funktionieren. Die Bewässerungsinfrastruktur wird heute durch Rohre (teilweise verlegt) und Regner dominiert. Die Situation im Münstertal ist vergleichbar mit dem Engadin, auch dort sind die alten Bewässerungsgräben praktisch nicht mehr erhalten. Zwischen 2004 und 2008 wurde im Val Müstair die von Furrer und Freund 1973 durchgeführte Kartierung auf ihre Aktualität überprüft (Bundi et al. 2009). Es konnten von den meisten Bewässerungsgräben noch Spuren gefunden werden, eine aktive Nutzung liegt jedoch nicht mehr vor.

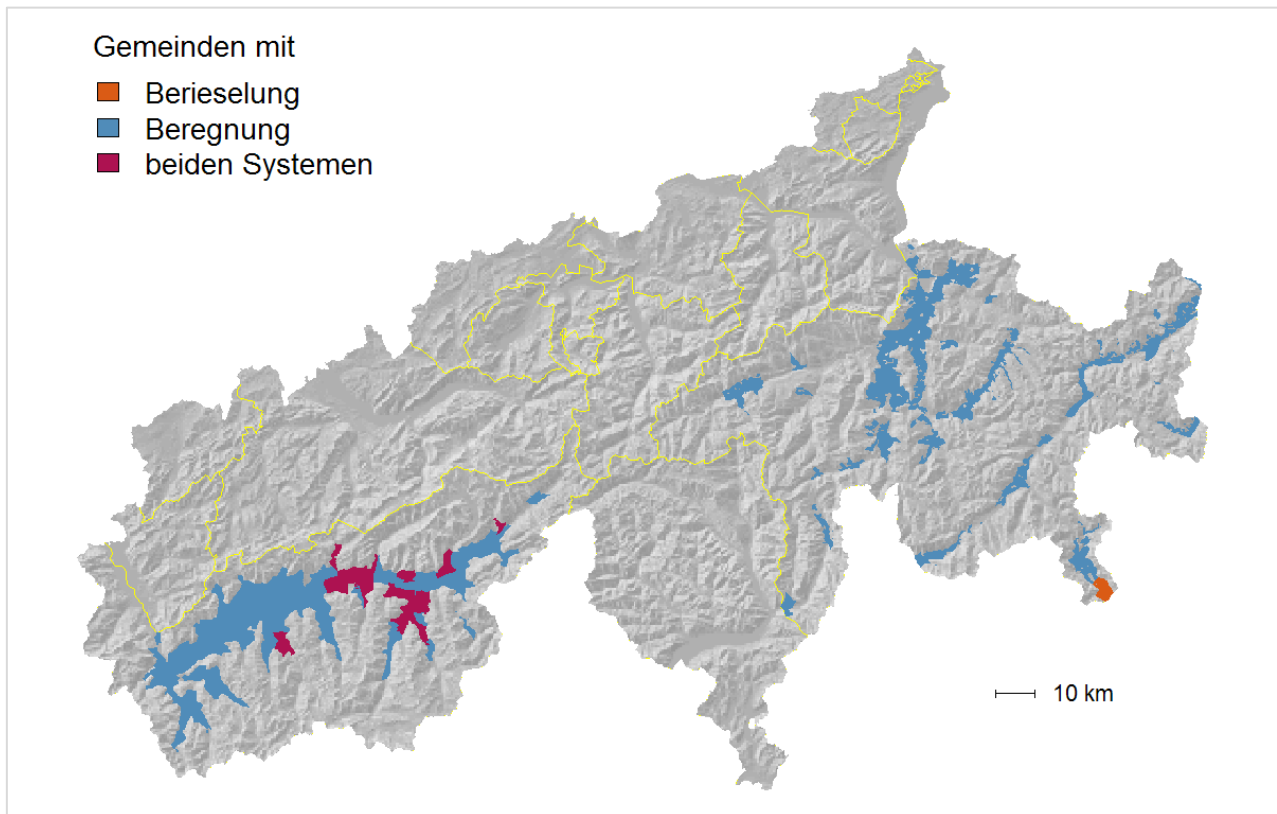
### 2.3. Aktuelle Situation der Wiesenbewässerung

Bezüglich der aktuellen Situation der Wiesenbewässerung und der effektiv bewässerten Flächen bestehen je nach Betrachtungsebene grosse Unsicherheiten. Gleichzeitig bestehen je nach Erhebung grosse Unterschiede, die unter anderem durch die Art der Erhebung (z. B. über einzelbetriebliche Umfragen und Hochrechnung oder über Erhebungen bei den kantonalen Amtsstellen resp. den Gemeinden) und das Erhebungsjahr beeinflusst werden.

Im Wallis sind die bewässerten Wiesen im zentralen Kantonsteil sowie in der Region um Visp zu finden (Reynard 2002a, 2002b). In diesen Gebieten zeigt sich eine ausgeprägte Trockenheit (Abbildung 1). Während der durchschnittliche Jahresniederschlag (1961–1990) für das Entlebuch als Beispiel für ein feuchtes Gebiet in der Schweiz bei 1487 Millimetern liegt, sind es in Sion 598 Millimeter und in Visp 599 Millimeter pro Jahr (MeteoSchweiz 2005). Die Region Chablais südlich des Genfersees und das Goms erhalten schon wieder mehr Niederschläge. Im Untergoms sind die Jahresniederschläge für den Futterbau theoretisch ausreichend, die Verteilung der Niederschläge konzentriert sich jedoch oft auf die Monate März-April und Oktober-November. Um die Sommertrockenheit zu überbrücken, ist daher auch in diesen Gebieten Bewässerungsinfrastruktur vorhanden (Wellig 2000). Im Wallis wurden 2010 gemäss Bundesamt für Statistik (BFS) 10'803 der total 37'455 Hektaren landwirtschaftliche Nutzfläche bewässert, wobei 53% der bewässerten Flächen auf Kunstwiesen und Dauergrasland entfallen (BFS 2012). Die Schätzungen des BFS beruhen auf der Hochrechnung einer Stichprobe der Betriebsstrukturserhebung und sind mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, insbesondere auch weil die Umfrage im Jahr 2010 und damit nicht in einem Trockenheitsjahr durchgeführt wurde. So schätzt das Amt für Strukturverbesserungen des Kantons Wallis die bewässerte Landwirtschaftsfläche im Kanton aktuell auf ungefähr 25'000 Hektaren. In der vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) im Jahr 2006 bei allen Kantonen durchgeführten Umfrage werden im Wallis 25'500 Hektaren regelmässig und 4000 gelegentlich bewässert (BLW 2007). Die Bewässerung erfolgt mehrheitlich durch Beregnung, den Anteil der Berieselung schätzt das BFS auf 16 %.



Im Kanton Graubünden sind ebenfalls typische inneralpine Gebiete mit Bewässerung zu finden, wobei die Bewässerung vor allem im Engadin und im Münstertal verbreitet ist. Das Oberengadin erhält im Vergleich zum Unterengadin durch Südwestwinde häufiger Niederschlag. Aufgrund der Nord-Süd-Biegung des Tals zwischen Zernez und Susch gelangt diese feuchte Luft oft nicht bis ins Unterengadin. Wiesenbewässerung ist deshalb vor allem ab Zernez talabwärts zu finden (Stauffer 1989). Im Kanton Graubünden wurden 2010 gemäss Schätzung des BFS 2633 Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) der total 53'594 Hektar LN bewässert, wobei 80 % der bewässerten Flächen auf das Dauergrasland entfallen (BFS 2012). Gemäss der Umfrage des BLW liegt die Fläche des regelmässig bewässerten Kulturlandes in Graubünden bei 1830 Hektaren (BLW 2007). Die Bewässerung erfolgt mehrheitlich durch Beregnung, den Anteil der Berieselung schätzt das BFS auf 8 % (BFS 2012).



**Abbildung 2:** Übersicht Wiesenbewässerungssysteme im Berggebiet (Quelle: Angaben Kantone VS und GR, Gemeindegrenzen BFS 2011, landwirtschaftliche Zonengrenzen BLW, dhm25 swisstopo).

Das im Schweizer Berggebiet am meisten verbreitete Wiesenbewässerungssystem ist die Beregnung (Abbildung 2). In vielen Gemeinden wird nur beregnet und auch in Gemeinden mit beiden Systemen ist die Beregnung weiter verbreitet als die Berieselung. Die Effizienz der Wassernutzung ist bei der Beregnung 50 bis 60 % höher als bei der Berieselung, weiter reduziert sich der Arbeitsaufwand um einen Faktor sieben bis acht im Vergleich zur Berieselung (Flury 1984; Zurwerra 2010). Die Beregnung kann im Vergleich zur Berieselung in Abhängigkeit der Böden bedarfsgerecht erfolgen, wodurch die Gefahr von Nährstoffauswaschung und Erosion reduziert wird (Zurwerra 2010).

Um eine gerechte Verteilung des Wassers unter allen Nutzern zu erreichen, werden im Wallis und in Graubünden für grössere, gemeinschaftliche Bewässerungsanlagen mit mehreren Nutzern Betriebspläne erstellt, in welchen für jede Parzelle die Bewässerungsfrequenz (Turnus) und die Wassermenge (Durchflussvolumen x Bewässerungsdauer) in Abhängigkeit der Bodeneigenschaften festgelegt ist (z. B. Kindschi 2010). Im Wallis folgen diese Betriebspläne vielfach den traditionellen Regelungen zu Turnus und Menge der Bewässerung.

## 2.4. Alternativen zur Wiesenbewässerung

Nicht in allen trockenen Gebieten wird bewässert. Im Jura ist das Wasser häufig nicht aufgrund des zu geringen Niederschlages für das Pflanzenwachstum limitierend, sondern aufgrund der zu geringen Gründigkeit und der hohen Durchlässigkeit der Böden. Eine Bewässerung ist nicht möglich, da aufgrund des durchlässigen Untergrundes zu wenig Bewässerungswasser vorhanden ist und im Boden nicht gut genug Wasser gespeichert werden kann. In diesen Gebieten muss die Trockenheitsproblematik mit Alternativen zur Bewässerung angegangen werden. Eine Untersuchung der Anpassungsstrategien von Landwirten in den französischen Alpen zeigt, dass die **Erhöhung der Futterreserven, Vergrößerung der bewirtschafteten Fläche** und die **Diversifizierung der Betriebsflächen** neben der Bewässerung mögliche Massnahmen sind, um mit trockenheitsbedingten Ertragseinbussen in der Futterproduktion umzugehen (Dobremez et al. 2011).

Auch die Klimastrategie des Bundes (BLW 2011b) hat zum Ziel, dass „durch eine vorausschauende Anpassung an den Klimawandel es der Schweizer Landwirtschaft gelingen soll, ihre Produktion und die gemeinwirtschaftlichen Leistungen langfristig zu steigern“. Der Bericht nennt für den Bereich Tier- und Pflanzenschutz unter anderem die folgenden für den Futterbau relevanten Handlungsfelder:

- Die **Züchtung und der Anbau robuster, frühreifer und tiefwurzelnder Sorten und Arten**, welche auch unter den erwarteten veränderten Klimabedingungen gedeihen. Auch die Futterpflanzzüchtung leistet hier wichtige Beiträge durch die Verbesserung der Robustheit qualitativ hochwertiger Futtergräser und -kräuter (z. B. Rotklee) und durch die Verbesserung der Futterqualität bei trockenheitsresistenten Futtergräsern und -kräutern (z. B. Rohrschwengel).
- Die **Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produktion und der Raumnutzung** mit dem Ziel, die klimatischen Anbaurisiken und die damit verbundenen Ertragseinbussen zu reduzieren. Im Berggebiet kommt dabei der Nutzung und Erhaltung der Sömmerungsflächen grosse Bedeutung zu, da diese aufgrund der Höhenverteilung der Niederschläge von der Trockenheit weniger betroffen sind und in trockenen Sommern zusätzliches Futter liefern. Eine weitere Möglichkeit ist die Reservehaltung extensiver Flächen für Trockenzeiten, wie dies traditionell bei Feuchtgebieten auf Alpen gehandhabt wurde.
- Ein **der Witterung angepasstes Weidemanagement** mit primärem Weidegang nachts und am frühen Morgen trägt zur Erhaltung der tierischen Leistung auch unter den im Sommer zunehmend zu erwartenden höheren Temperaturen bei. Im Berggebiet ist dies aufgrund der verbreiteten Sömmerung der Tiere nur punktuell notwendig.
- Eine **Verbesserung der Effizienz von Wasserspeicherung und -verteilung** zum Zweck einer besseren Ausnutzung des verfügbaren Bewässerungswassers. Obwohl heute in vielen Berggebieten reichlich Bewässerungswasser verfügbar ist, könnte sich dies in Zukunft ändern (vgl. Kap. 6).
- Die **Nutzung von Prognosemodellen** zur gezielten Anpassung von Bewirtschaftungsmassnahmen und Bewässerungskampagnen. Eine weitere Möglichkeit ist die Absicherung von Trockenheitsrisiken mittels Versicherungen.

*Die Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (ACW) hat das Forschungsprojekt PRESECS gestartet, um die Möglichkeiten der Abschätzung der Futterproduktion unter einem bestimmten Klima während einer Vegetationsperiode mit Methoden der Fernerkundung zu untersuchen. Könnte aufgrund der Vegetationsentwicklung im Frühling eine frühzeitige Prognose der anfallenden Erträge erstellt werden, könnten Massnahmen zur Verhinderung von Futterengpässen frühzeitig geplant werden.*

## 2.5. Einordnung des Wissens zu Bewässerungsflächen und Alternativen

Die **Flächen mit Wiesenbewässerung** können aufgrund der Zusatzerhebungen zur landwirtschaftlichen Betriebszählung (BFS 2012) auf den Ebenen Schweiz und Kanton hochgerechnet werden. Für das Berggebiet, einzelne Regionen oder Gemeinden lässt sich der Datensatz jedoch nicht auflösen und räumlich explizite Angaben zu den bewässerten Flächen fehlen. Auf den Ebenen Parzelle, Betrieb und Gemeinde sind die bewässerten Flächen nur genau bekannt, wenn sie im Rahmen eines Bewilligungsverfahrens für eine Bewässerungsanlage erfasst wurden. Wird die Wiesenbewässerung auf nicht subventionierter Basis betrieben, sind die bewässerten Flächen dem Bewirtschafter zwar bekannt, nicht aber zentral erfasst. Aufgrund dieser unvollständigen Informationen und den je nach Erhebung grossen Unsicherheiten und Unterschieden bezüglich der bewässerten Flächen wird das Wissen zu den Bewässerungsgebieten als unvollständig eingestuft.

Das Wissen zur **Infrastruktur und den angewendeten Bewässerungsmethoden** ist aufgrund verschiedener Untersuchungen und Gebietsübersichten für die Ebenen Schweiz bis Gemeinde vorhanden. Das Wissen zur Bewässerungssituation auf den Betrieben oder Parzellen ist wiederum nur dort bekannt, wo ein Bewässerungsprojekt realisiert und die Bewässerung auf den Betrieben dokumentiert wurde.

Die **Tradition der Bewässerung** ist für den Kanton Wallis gut aufgearbeitet und auch im Kanton Graubünden teilweise dokumentiert. Das Wissen zur Bewässerungsgeschichte auf den Betrieben oder Parzellen ist nur teilweise bekannt.

**Mögliche Alternativen zur Bewässerung** sind in Gebieten wie dem Jura bekannt, wo die Wiesenbewässerung aufgrund der vorherrschenden Bedingungen nie eine Option war. In Gebieten, in denen traditionell bewässert wird, wird das Potential von Alternativen häufig nicht aktiv diskutiert.

| Faktoren                          | Berggebiet | Region | Gemeinde | Betrieb | Parzelle |
|-----------------------------------|------------|--------|----------|---------|----------|
| Flächen mit Wiesenbewässerung     |            |        |          |         |          |
| Flächen nach Bewässerungsmethoden |            |        |          |         |          |
| Tradition der Bewässerung         |            |        |          |         |          |
| Alternativen zur Bewässerung      |            |        |          |         |          |

|                |  |   |
|----------------|--|---|
| <i>Legende</i> |  | Wissen vorhanden                            |
|                |  | Wissen teilweise vorhanden                  |
|                |  | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |
|                |  | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |
|                |  | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |

### 3. Wiesenbewässerung in der Praxis – Grundlagen für Bewässerungsprojekte

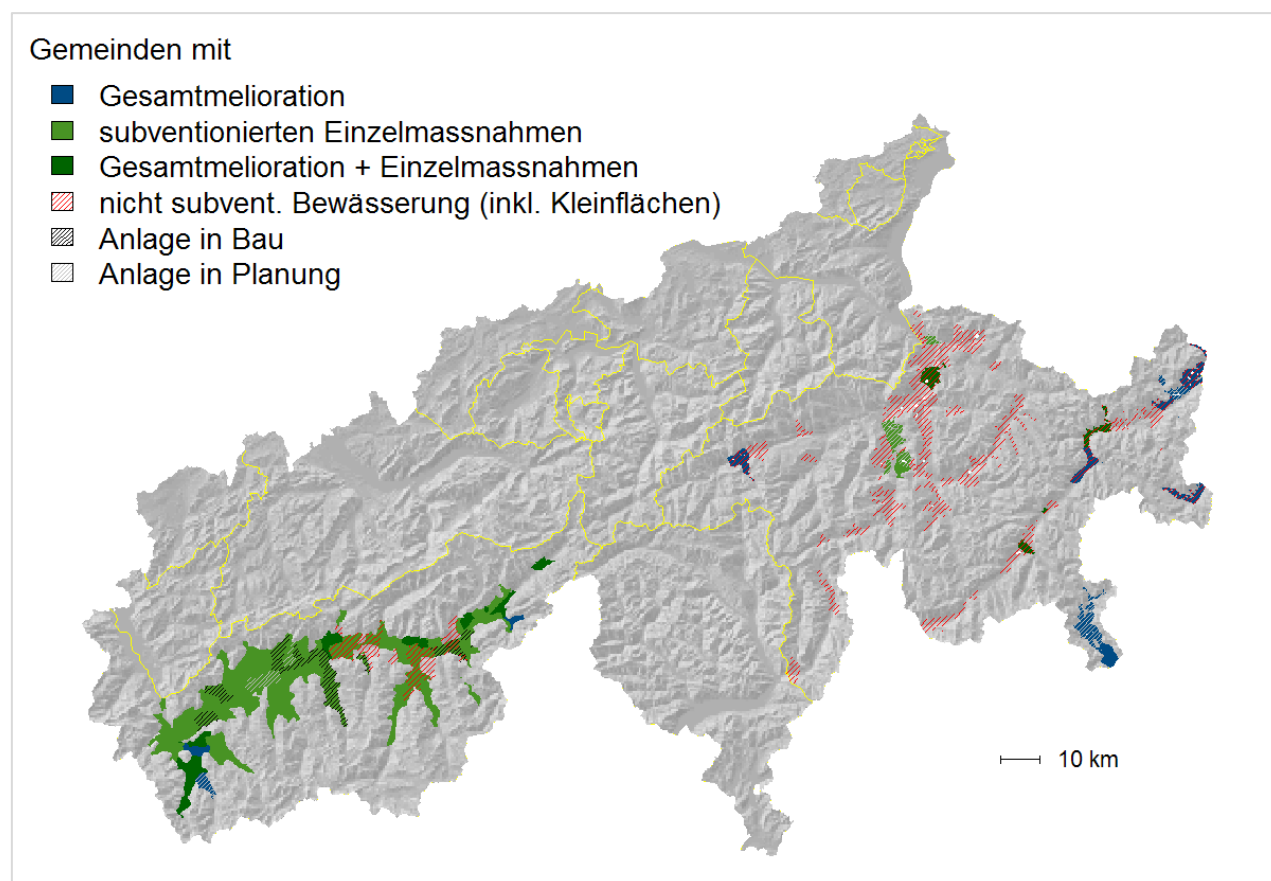
Die Bewässerung von Wiesen setzt in der Regel eine fix installierte Infrastruktur für die Wasserbeschaffung und die Wasserverteilung voraus. Der Bau und die Wiederinstandstellung dieser Infrastruktur wird im Berggebiet in den meisten Fällen über die öffentlichen Strukturverbesserungsmassnahmen unterstützt, kann aber auch auf privater Basis realisiert werden (Abbildung 3). Durch den Bau von Bewässerungsinfrastruktur als öffentlich subventionierte Einzel- oder umfassende Meliorationsmassnahme sollen für die Futterproduktion langfristig günstige Strukturen geschaffen werden (suissemelio 2010). Damit die finanzielle Unterstützung durch den Bund und die Kantone gewährleistet wird, müssen die gesetzlichen Auflagen eingehalten sowie die Wirtschaftlichkeit der Bewässerungsanlage gegeben sein. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die nachfolgenden Ausführungen zu den Grundlagen von Bewässerungsprojekten auf Bewässerungsanlagen resp. -projekte, welche mit Strukturverbesserungsmitteln subventioniert werden.

#### 3.1. Öffentliche Unterstützung von Bewässerungsprojekten

Gemäss dem Leitbild der Konferenz der Amtsstellen für das Meliorationswesen sind „moderne Meliorationen gesamtheitliche Projekte, mit denen unser ländlicher Raum erhalten, gefördert, entwickelt und gestaltet wird“ (suissemelio, 1994). Als einer der Hauptakteure im ländlichen Raum sollen über das Instrument der Gesamtmeliorationen für die Landwirtschaft langfristig wettbewerbsfähige Strukturen geschaffen werden. Massnahmen sind Landumlegungen, um die Bewirtschaftungsstrukturen zu rationalisieren, Erschliessung, Wasser- und Elektrizitätsversorgung, Anlagen für Be- und Entwässerung sowie Aufwertungsmassnahmen für Natur und Landschaft wie die Revitalisierung und Renaturierung von Kleingewässern. In einer Gesamtmelioration werden in einem bestimmten Gebiet verschiedene Strukturverbesserungsmassnahmen in einem Projekt durchgeführt (suissemelio 2010). Heute versucht man, Meliorationsprojekte mit Regionalprojekten oder der Regionalpolitik zu koppeln und überkommunale und regionale Konzepte zu entwickeln.

Der Bau von Bewässerungsanlagen gehört zu den klassischen Meliorationsmassnahmen. Im Kanton Wallis wurden Bewässerungsanlagen im Rahmen von Gesamtmeliorationen in den Regionen Untergoms, Mittelwallis und Entremont gebaut (Abbildung 3). Weitaus häufiger wurde Bewässerungsinfrastruktur im Wallis über Einzelmassnahmen subventioniert (persönliche Mitteilung H.-A. Rubin).

Im Kanton Graubünden wurden Bewässerungsanlagen im Engadin, im Oberland und im Val Müstair als Teil von Gesamtmeliorationen realisiert (Abbildung 3). Das Val Müstair ist ein Beispiel einer gemeindeübergreifenden Gesamtmelioration (Darnuzer 2005). Hauptziel der im ganzen Tal durchgeführten Gesamtmelioration war die Verbesserung der Produktionsbedingungen für die Landwirtschaft, aber auch touristische Einrichtungen resp. Ansprüche und die Förderung der Ferien- und Erholungsmöglichkeiten flossen als Ziele in die Konzeption ein. Um die einzigartigen Landschaften, Biotope, Tier- und Pflanzenwelt zu erhalten, wurde zudem ein umfassendes Natur- und Landschaftsschutzprojekt im Projekt integriert. Für 6,5 Millionen Franken wurde eine Bewässerungsanlage gebaut, dank der 524 Hektaren Land beregnet werden können (Fritsch 2004). Mit einem unterirdischen Leitungsnetz und Hydranten werden nur die für die Bewässerung geeigneten Böden erschlossen. Ein hoher Anteil der Kosten wurde durch den Bund und den Kanton übernommen (Stauffer 1989; Fritsch 2004). Die Melioration dauerte 30 Jahre. Dank diesem langen Zeitraum konnten die entstehenden Kosten besser verteilt werden und die Ausgaben stimulierten die regionale Wirtschaft über die ganze Zeit.



**Abbildung 3:** Realisierung von Wiesenbewässerung im Rahmen von Gesamtmeliorationen, als subventionierte Einzelmassnahme oder kleinräumig auf nicht subventionierter Basis. Die dargestellten Flächen entsprechen der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Gemeinden, in welchen Flächen bewässert werden. Es sind somit nicht die absoluten Bewässerungsflächen abgebildet. (Quelle: Angaben der Kantone VS und GR, Gemeindegrenzen BFS 2011, Landwirtschaftlichen Zonengrenzen BLW, dhm25 swisstopo).

### 3.2. Gesetzliche Grundlagen im Kontext der Bewässerung

Gesetzliche Grundlagen für die Bewässerung regeln die Bewilligung und Förderung von Bewässerungsprojekten, die Erhaltung der Trockenwiesen und die Wassernutzung. Auf Bundesebene regelt das Landwirtschaftsgesetz (SR 910.1) und die Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft (Strukturverbesserungsverordnung, SR 913.1) die Finanzierung von Bewässerungsanlagen. Das Gewässerschutzgesetz (SR 814.20) und die Gewässerschutzverordnung (SR 814.201) sind relevant für die einzuhaltenden Restwassermengen in den für die Entnahme von Bewässerungswasser genutzten Fließgewässern. Das Natur- und Heimatschutzgesetz (SR 451) und die Trockenwiesenverordnung (SR 451.37) regeln den Schutz dieser Lebensräume. Folgende Gesetzestexte betreffen die Wiesenbewässerung als Strukturverbesserungsmassnahme:

#### **Landwirtschaftsgesetz (SR 910.1), 5. Titel Strukturverbesserungen**

Art. 87 Grundsatz. Abs. 1: Der Bund gewährt Beiträge und Investitionskredite, um:

- a. durch die Verbesserung der Betriebsgrundlagen die Produktionskosten zu senken;
- b. die Lebens- und Wirtschaftsverhältnisse im ländlichen Raum, insbesondere im Berggebiet, zu verbessern;
- c. Kulturland sowie landwirtschaftliche Bauten und Anlagen vor Verwüstung oder Zerstörung durch Naturereignisse zu schützen;
- d. zur Verwirklichung ökologischer, tierschützerischer und raumplanerischer Ziele beizutragen;



e. den naturnahen Rückbau von Kleingewässern zu fördern.

Art. 90 Schutz von Objekten nationaler Bedeutung: Bundesinventare der Objekte von nationaler Bedeutung sind bei der Durchführung der vom Bund unterstützten Strukturverbesserungen verbindlich.

### **Strukturverbesserungsverordnung (SR 913.1)**

Art. 14 Bodenverbesserungen. Abs. 1. Beiträge werden gewährt für: Bst. c. Massnahmen zur Erhaltung und Verbesserung von Struktur und Wasserhaushalt.

Abs. 3 Beiträge werden gewährt für die periodische Wiederinstandstellung von Anlagen zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserhaushaltes des Bodens nach Abs. 1 Bst. c;

Art. 15a Beitragsberechtigte Arbeiten für die periodische Wiederinstandstellung Abs. 1 Bst. d (Bewässerungsanlagen): Beitragsberechtigt sind die Instandstellung bzw. Revision von Bauwerken und Anlagen, welche der Wasserbeschaffung dienen (Wasserfassungen, Entsander, Speicheranlagen, Pumpwerke inkl. Pumpen, Druckreduzierung) sowie von offenen Hauptgräben zur Wasserzufuhr („Bisses“, „Suonen“). Nicht beitragsberechtigt sind Arbeiten an den sekundären Verteilanlagen (Nebenleitungen inkl. Hydranten, Sekundärgräben) und an beweglichen Anlageteilen.

### **Weisungen und Erläuterungen zur Strukturverbesserungsverordnung**

Art. 14 Bodenverbesserungen

Abs. 1 Bst. c: Bewässerungen werden zur Ertragssicherung unterstützt bei nachgewiesenen überdurchschnittlichen Ertragseinbussen (quantitativ und/oder qualitativ) in Gebieten mit häufiger Trockenheit während der Vegetationszeit, wie z. B. in den inneralpinen Trockentälern... . Im Rahmen der Gesuchseingabe sind neben den üblichen technischen Unterlagen folgende Aspekte darzustellen und nachzuweisen: Bewässerungsbedürftigkeit (klimatologische Aspekte, Trockenheitsrisiko, vegetationsspezifische Wasserbedarfsberechnung), Bewässerungswürdigkeit (pedologische Aspekte, Markt- und Ertragssituation, Kosten/Nutzen-Betrachtung), Bewässerungsmachbarkeit (Wasservorkommen und -qualität, Wasserfassung und -bezug, Synergien mit anderen Nutzungen, energie- und wassersparende Verteil-Technik, Auswirkung auf Natur, Landschaft und Gewässer).

## **3.3. Beurteilung der Bewässerungsbedürftigkeit**

Für ein Bewässerungsprojekt muss die Bewässerungsbedürftigkeit über klimatologische Aspekte, Trockenheitsrisiko und vegetationsspezifische Wasserbedarfsberechnungen dargelegt werden. Fuhrer und Jasper (2009) berechneten die Bewässerungsbedürftigkeit für die Gesamtschweiz und darauf aufbauend den Bewässerungsbedarf (Fuhrer 2010b), letzteres auch im Vergleich zum Wasserangebot (Fuhrer 2012). Aus diesen Studien können aber keine Aussagen für einzelne Gebiete oder Gemeinden abgeleitet werden, weil dazu lokale Klimadaten und kulturspezifische Parameter im Modell verwendet werden müssten.

Die Kantone Graubünden und Wallis haben die Bewässerungsbedürftigkeit einzeln auf Kantonsebene definiert. Diese Berechnungen dienen als Grundlage in der Bewertung von Bewässerungsprojekten.

### **3.3.1. Bewertung der Bewässerungsbedürftigkeit im Kanton Wallis**

Im Kanton Wallis wurden die bewässerungsbedürftigen Gebiete abgegrenzt, indem basierend auf langjährigen Daten der Walliser Klimastationen unter Einbezug von Höhe und Exposition Wasserbilanzen berechnet wurden (Rubin 1993). Die Bewässerungsbedürftigkeit wurde mit den Resultaten der Bewässerungsversuche Goms (Calame et al. 1992; Troxler et al. 1992) abgeglichen. Über diese Analyse wurden je nach Höhenlage und Exposition Grenzhöhen zur Bewässerungsbedürftigkeit ermittelt. Die Bewässerungsgrenzhöhe liegt an Nordhängen um 1400 m ü. M. und an Südhängen um 1900 m ü. M. mit gebietsweisen An-

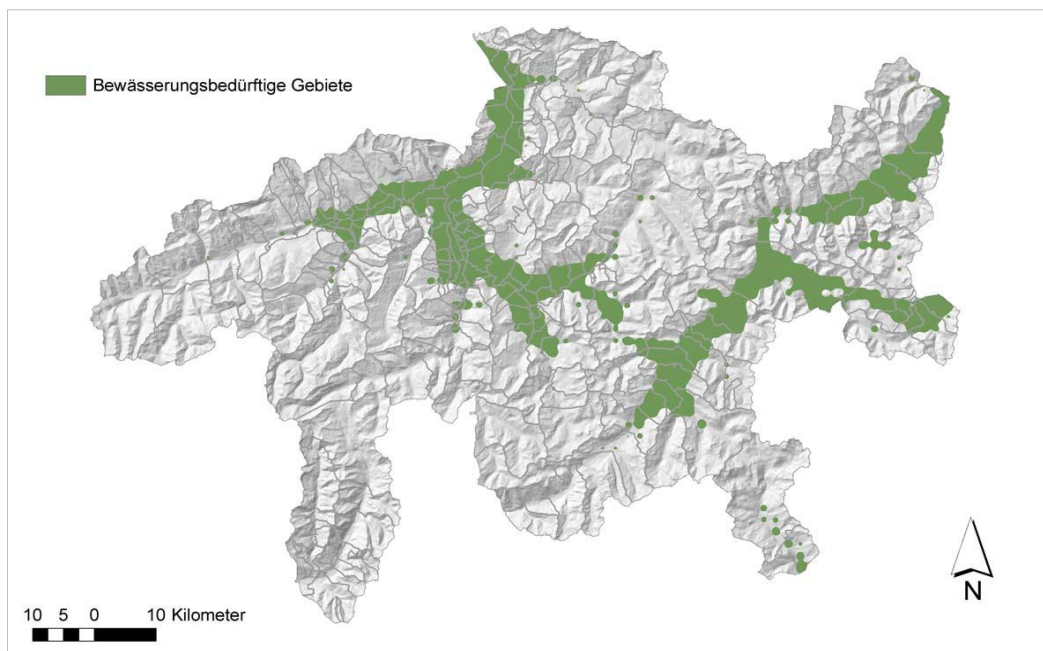
passungen aufgrund der lokalen Klimaverhältnissen (Rubin 1993; Zurwerra 2010). Der Kanton Wallis bewilligt nur Bewässerungsprojekte, welche unterhalb dieser Grenzhöhe liegen.

### 3.3.2. Bewertung der Bewässerungsbedürftigkeit im Kanton Graubünden

Im Kanton Graubünden dient die Studie von Göpfert (2007) als Basis, um die bewässerungsbedürftigen Gebiete im Kanton zu bestimmen. Liegen Anträge für Bewässerungsanlagen ausserhalb dieser Gebiete vor (Abbildung 4), muss der Gesuchsteller die Bewässerungsbedürftigkeit nachweisen.

Die Bewässerungsbedürftigkeit wird über die Evapotranspiration berechnet, welche dem Wasserverbrauch resultierend aus Transpiration der Pflanzen und der Verdunstung von der Bodenoberfläche entspricht. Die Werte der Evapotranspiration sind wiederum Grundlage für die Berechnung der Wasserbilanz. Ist die Summe aus Niederschlag, pflanzenverfügbarem Bodenwasser und Wasserzuschüssen aus Grund- und Hangwasser grösser als die Verdunstung, fällt die Wasserbilanz positiv aus und der Bedarf der Pflanze ist gedeckt. Ein Wasserdefizit kann durch die Bewässerung reduziert werden (Göpfert 2007).

Göpfert (2007) orientiert sich für die Definition eines ertragsschädigenden Wasserdefizits an den Untersuchungen von Nievergelt (1986). Ein ertragsschädigendes Wasserdefizit im Boden trifft dann ein, wenn es in den Monaten Juni bis August grösser ist als das Doppelte des Speichervermögens des Bodens. Für die Analyse wurde ein Wert von 70 mm für ein ertragsschädigendes Wasserdefizit festgelegt, was der Untergrenze des ertragsschädigenden Wasserdefizits eines Bodens mit einer Speicherkapazität von 30 bis 50 mm entspricht. Dies widerspiegelt einen typischen Wert für einen tiefgründigen Boden unter einer intensiv genutzten Wiese, wie sie häufig in bewässerten Flächen zu finden sind. Liegt in mehr als einem Drittel der untersuchten Jahre (1985–2004) das Sommermaximum des Wasserdefizits (kumulierte Wasserbilanz ab Jahresbeginn) über dem Wert von 70 mm, wird die Region als bewässerungsbedürftig bezeichnet (Göpfert 2007; Göpfert et al. 2009).



**Abbildung 4:** Gebiete im Kanton Graubünden, welche in den Berechnungen von Göpfert (2007) als bewässerungsbedürftig bezeichnet wurden.

Die von Göpfert (2007) identifizierten bewässerungsbedürftigen Gebiete (Abbildung 4) decken sich weitgehend mit den Gebieten, in denen heute bewässert wird (Abbildung 3): Neben dem Engadin und Münstertal bestehen im Gebiet von Trun bis Trin in einzelnen Gemeinden Bewässerungsanlagen, welche im Rahmen



von Meliorationen gebaut wurden. Im Churer Rheintal und im Albulatal ist die Bewässerung meist einzelbetrieblich geregelt, im Puschlav wird über eine Bewässerungsanlage im Rahmen einer Melioration diskutiert. Im Domleschg wurde ein Bewässerungsprojekt gestartet (Bauernverein Domleschg 2007; Ingenieurbüro Cavigelli und Partner 2008).

### 3.4. Beurteilung der Bewässerungswürdigkeit

Für eine Beurteilung der Bewässerungswürdigkeit muss die Eignung der Böden für die Bewässerung und die Wirtschaftlichkeit einer Bewässerungsanlage aufgezeigt werden.

#### 3.4.1. Eignung der Böden

Im Kanton Wallis werden die Böden mittels einer vereinfachten Bodenkartierung nach ihrer Gründigkeit (tief-, mittel- und flachgründig) in drei Kategorien eingeteilt. Es werden nur tief- und mittelgründige Böden in den Bewässerungsperimeter aufgenommen. Sind mittelgründige Böden stark geneigt, werden diese aufgrund der Erosionsgefahr aus dem Bewässerungsperimeter ausgeschieden. Verbuschte Flächen werden unabhängig von ihrer Gründigkeit nicht als Bewässerungsfläche berücksichtigt.

Im Kanton Graubünden werden die für die Bewässerung geeigneten Gebiete in einem Perimeter abhängig von ihrer Gründigkeit und Hangneigung ausgeschieden (Bräm 2005; Spinatsch 2008). Die Böden werden aufgrund ihrer Bewässerungseignung in Gruppen eingeteilt: sehr gute Eignung (A), gute Eignung (B), mässig geeignet (C), bedingt geeignet (D), nicht geeignet (trocken/steil) (E), nicht geeignet (Nässe) (F). Bewässert wird in der Regel nur auf Böden der Eignungsklassen A–C, welche eine mittlere bis grosse Wasserspeicherkapazität aufweisen. Je besser die Wasserspeicherfähigkeit der Böden ist, umso länger können die Intervalle zwischen den Gaben sein.

#### 3.4.2. Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung

Wird eine Bewässerungsanlage von der öffentlichen Hand finanziell unterstützt, muss die Wirtschaftlichkeit als Teil der Bewässerungswürdigkeit aufgezeigt werden (vgl. Kapitel 4.3). Im Vollzug der Strukturverbesserungsmassnahmen muss die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsanlagen im Berggebiet aber nicht quantitativ nachgewiesen werden. Vielmehr wird die Wirtschaftlichkeit qualitativ über die Bewässerungsbedürftigkeit und die als Teil der Bewässerungswürdigkeit geprüfte Eignung der Böden abgeleitet.

### 3.5. Beurteilung der Bewässerungsmachbarkeit

Die Bewässerungsmachbarkeit setzt voraus, dass genügend Bewässerungswasser in ausreichender Qualität vorhanden und die Wasserbeschaffung möglich ist, dass Synergien und Konflikte mit anderen Nutzungen abgeklärt wurden, die Verteiltechniken so sparsam wie möglich sind, der Arbeitsaufwand sich in Grenzen hält und die Auswirkungen auf Natur, Landschaft und Gewässer abgeklärt wurden und in einem vertretbaren Rahmen liegen.

#### 3.5.1. Bewässerungswasser und Wassernutzungsrechte

Das Gewässerschutzgesetz (SR 814.20) regelt in den Art. 29–35 die Kriterien für eine Wasserentnahme und die Vorgaben zu den Restwassermengen übergeordnet. Zwischen den Gebieten mit Wiesenbewässerung in der Schweiz gibt es jedoch aufgrund der historischen Wassernutzungsrechte einige Unterschiede in der gegenwärtigen Regelung der Wassernutzung.

Im Kanton Wallis gibt es verschiedene Organisationsformen der Nutzungsrechte, deren Ursprung bis ins Mittelalter zurück reicht (Reynard 2002a, 2004). Eigentümer der Suonen sind Genossenschaften (consor-

tage) oder Gemeinden. Bei der genossenschaftlichen Organisationsform verfügen die einzelnen Mitglieder über Nutzungsrechte, welche abhängig von der von ihnen zu bewässernden Fläche sind. Der Unterhalt der Suonen erfolgt durch die Mitglieder der Genossenschaft. Ist eine Gemeinde Besitzerin von Suonen, ist sie für den Unterhalt der Hauptleitung und für die Verteilung des Wassers zuständig. Die Nutzer müssen für das Wasser Taxen bezahlen sowie die Nebenkanäle auf ihren Parzellen unterhalten. Nur in sehr wenigen Fällen sind die Suonen in Privatbesitz (Reynard 2002a). Die ehehaften Suonenwasserrechte sind im Wallis gegenüber dem Gewässerschutzgesetz garantiert und die Bewässerungsrechte gehen auch gegenüber allen übrigen Wassernutzungen (Elektrizitätsproduktion, Tourismus) vor (Reynard 2002a; Zurwerra 2010). Die Nutzungsrechte sind meist an Flächen und selten an Personen gebunden und zeitlich unlimitiert. Viele Mitglieder von Bewässerungsgenossenschaften beanspruchen ihre Wasserrechte heute nicht, da sie nicht mehr in der Landwirtschaft tätig sind, das Land wiederbewaldet oder überbaut ist. Die Strukturen der Bewässerungsgenossenschaften sind stark beeinflusst durch den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wandel. Ein Teil der Genossenschaften reagiert dynamisch auf die Veränderungen, indem sie Wasser an die Elektrizitätswerke verkaufen und aus dem Erlös den Unterhalt der Bewässerungsinfrastruktur finanzieren. Andere Genossenschaften funktionieren nicht mehr, da kein Nutzungsbedarf mehr vorhanden ist oder die finanzielle Situation keinen Unterhalt der Suonen zulässt. In diesen Fällen wird versucht, die Suonen in die Obhut der Gemeinden zu geben (Reynard 2002a).

Im Kanton Graubünden fehlen im Unterschied zum Wallis solch weit zurückreichende Nutzungsrechte, viel mehr werden die Bewilligungen für die Wasserentnahme grundsätzlich durch den Kanton erteilt (Amt für Natur und Umwelt 2003). Nur Ackerflächen, Spezialkulturen sowie wenig intensiv bis intensiv genutzte Wiesen dürfen bewässert werden. Den Gemeinden kommt ebenfalls eine zentrale Bedeutung zu. Sie können bei anhaltender Trockenheit in einem vereinfachten Verfahren nach Rücksprache mit dem zuständigen Hauptfischereiaufseher zeitlich befristete Entnahmen bewilligen. Sind die Fälle problematisch, muss das Amt für Natur und Umwelt beigezogen werden (Amt für Natur und Umwelt 2003).

*Im Projekt „Water channels“ im NFP 61 „Nachhaltige Wassernutzung“ wird eine Dissertation zur Entwicklung und Nachhaltigkeit der Bewässerungsgenossenschaften (consortages) durchgeführt. Fragestellungen des Forschungsprojektes sind, wie sich die Bewässerungsgenossenschaften unter den sich ändernden Bedingungen (Wassernutzungskonkurrenz, sozioökonomische Veränderungen etc.) entwickelt haben und wie nachhaltig die Organisationsstrukturen sind.*

### **3.5.2. Auswirkungen auf Natur und Landschaft**

Das Natur- und Heimatschutzgesetz sowie das Landwirtschaftsgesetz (Art. 90) geben den Schutz der Objekte von nationaler Bedeutung verbindlich vor. Mit der Trockenwiesenverordnung gilt dieser Schutz seit 2010 auch für die Trockenwiesen und -weiden (TWW) von nationaler Bedeutung. Der Schutz gilt für die Bewirtschaftung wie auch für Strukturverbesserungen. Das Gewässerschutzgesetz schreibt bei Wasserentnahmen ebenfalls den Schutz von Gewässer- und Landschaftsökosystemen vor.

In der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV, SR 814.011) ist festgehalten, dass bei Gesamtmeliorationen mit Bewässerungen oder Entwässerungen von Kulturland von mehr als 20 Hektaren eine Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) durchgeführt werden muss, welche die Auswirkungen auf Natur und Landschaft aufzeigt. In einer UVP werden schützenswerte Gebiete und Objekte wie TWW, Naturschutzgebiete, Bäume und Hecken definiert, welche nicht bewässert werden dürfen (Pronat AG 1991). Für Einzelmassnahmen ist keine UVP vorgeschrieben. In der Praxis wird aber in einem Berichtsverfahren zum Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG) eine Ämterkonsultation durchgeführt, welche inhaltlich einer UVP entspricht. Als Grundlage verlangen die Subventionsbehörden im Rahmen der Bewilligungsverfahren Berichte zur Beurteilung der Umweltbelange, welche inhaltlich einer vereinfachten Prüfung der Umweltverträglichkeit gleichkommen.

**Gewässerschutzgesetz (SR 814.20)**

Art. 33 Erhöhung der Mindestwassermenge.

Abs. 3: Interessen **gegen** die Wasserentnahme sind namentlich:

- a. die Bedeutung der Gewässer als Landschaftselement;
- b. die Bedeutung der Gewässer als Lebensraum für die davon abhängige Tier und Pflanzenwelt, samt deren Artenreichtum, namentlich auch für die Fischfauna, deren Ertragsreichtum und natürliche Fortpflanzung;
- c. die Erhaltung einer Wasserführung, die ausreicht, um die Anforderungen an die Wasserqualität der Gewässer langfristig zu erfüllen;
- d. die Erhaltung eines ausgeglichenen Grundwasserhaushalts, der die künftige Trinkwassergewinnung, die ortsübliche Bodennutzung und eine standortgerechte Vegetation gewährleistet;
- e. die Sicherstellung der landwirtschaftlichen Bewässerung.

**Natur und Heimatschutzgesetz (SR 451)**

Art. 6 Bedeutung des Inventars. Abs. 1: Durch die Aufnahme eines Objektes von nationaler Bedeutung in ein Inventar des Bundes wird dargetan, dass es in besonderem Masse die ungeschmälerte Erhaltung, jedenfalls aber unter Einbezug von Wiederherstellungs- oder angemessenen Ersatzmassnahmen die grösstmögliche Schonung verdient.

**Trockenwiesenverordnung (SR 451.37)**

Art. 6 Schutzziel.

Abs. 1: Die Objekte sind ungeschmälert zu erhalten. Das Schutzziel umfasst insbesondere:

- a. die Erhaltung und Förderung der spezifischen Pflanzen- und Tierwelt sowie ihrer ökologischen Grundlagen;
- b. die Erhaltung der für die Trockenwiesen typischen Eigenart, Struktur und Dynamik;
- c. eine nachhaltig betriebene Land- und Waldwirtschaft.

Der Schutz von TWW-Objekten vor Bewässerung ist in der Trockenwiesenverordnung (SR 451.37) nicht explizit und in den auf der Verordnung aufbauenden resp. diese interpretierenden Quellen nicht konsistent geregelt. Gemäss der Vollzugshilfe zur Trockenwiesenverordnung verändern die Düngung und Bewässerung die Standorteigenschaften auf Trockenwiesen und -weiden derart, dass spezifische Arten verdrängt werden. Deshalb ist die Bewässerung von TWW-Flächen gemäss Vollzugshilfe „in der Regel sowieso nicht mit dem Schutzziel zu vereinbaren“ (Dipner et al. 2010, S. 57) und ist „in TWW-Objekten gemäss Art. 6 Abs. 1 Bst. b TwwV nicht erwünscht“ (Dipner et al. 2010, S. 65). Ausgenommen sind traditionellerweise bewässerte Flächen, auf denen eine Weiterführung der Bewässerung sowie die Erneuerung und der Unterhalt der Bewässerungsanlagen zulässig sind. Im Einzelfall zu prüfen sind die Wiederaufnahme der Bewässerung auf länger nicht mehr bewässerten Flächen oder die Umstellung von Berieselung auf Beregnung.

Gemäss der Volkart (2008) kann in Ausnahmefällen auch das Beibehalten der Beregnung oder die Umstellung von Berieselung auf Beregnung zulässig sein, wenn der trockenwiesentypische Wert der Fläche erhalten bleibt. Widersprechen neue Anlagen zur Beregnung von TWW-Objekten dem Schutzziel, sind sie nicht bewilligungsfähig (Volkart 2008). Die Abgrenzung der Ausnahmefälle von traditionell bewässerten Flächen kann bei Erneuerungen der Anlagen und Umstellungen allerdings äusserst anspruchsvoll sein und entsprechend zu Konflikten führen. Genauere Abgrenzungskriterien wären wünschenswert.

*Im Projekt „Water Channels“ werden die Auswirkungen der Beregnung und der Berieselung auf die Biodiversität auf Parzellenebene untersucht (siehe 6.2.1). Erste Untersuchungen zeigen keine Unterschiede in der Artenzusammensetzung von Pflanzen und Schnecken in je acht berieselten und beregneten Flächen (Riedener et al. 2012). Das Projekt „Grassland Management“ (siehe 6.2.1) untersucht die Auswirkungen*

von Beregnung und Düngung auf Trockenstandorten (Arlettaz et al. 2012). Da es sich um einen faktoriellen Versuch auf bisher unbewässerten Standorten handelt, können die Resultate wertvolle Beiträge zu verfeinerten Abgrenzungskriterien für bewässerungsfähige TWW liefern. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART verfolgt im Unterengadin die Vegetationsentwicklung auf bewässerten und unbewässerten Flächen mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität (Schneider 2011). Die Untersuchungen können ebenfalls zu verfeinerten Abgrenzungskriterien beitragen.

### 3.6. Einordnung des Wissens zu den Grundlagen für Wiesenbewässerungen

Die im Zusammenhang mit der Subventionierung von Infrastrukturprojekten relevanten **gesetzlichen Grundlagen** zur Bewilligung und Förderung von Bewässerungsprojekten, zur Erhaltung der Trockenwiesen und -weiden sowie zur Wassernutzung sind grundsätzlich bekannt und bilden die Grundlage für den Vollzug der Strukturverbesserungsmaßnahmen. Allerdings bestehen im **Vollzug** unterschiedliche Interpretationen zu den Untersuchungen zur Wiesenbewässerung (vgl. auch Kapitel 6) und daraus abgeleitet inkonsistente Abgrenzungen von Ausnahmefällen auf Parzellenebene. Entsprechend ist die grundlegende Frage, unter welchen Bedingungen die Bewässerung mit dem in der Trockenwiesenverordnung verankerten Schutzziel vereinbar ist, als Wissenslücke einzustufen. Laufende Forschungsarbeiten werden aber in einigen Jahren Daten liefern, die Abgrenzungskriterien zu verfeinern.

Der Wissensstand zur **Bewässerungsbedürftigkeit** ist abhängig von der Modellauflösung. Auf Gemeinde- bis Parzellenebene liegen keine Berechnungen zur Bewässerungsbedürftigkeit vor. Über standortspezifische Daten könnten die Modelle aber auch auf diesen Ebenen verwendet werden, was aber nur im Zusammenhang mit konkreten Bewässerungsprojekten sinnvoll ist. Entsprechend ist die Bewässerungsbedürftigkeit auf den Ebenen Gemeinde, Betriebe und Parzelle projektbezogen zu klären, im Fall von realisierten Projekten aber als bekannt einzustufen.

Auch die **Eignung der Böden** und damit die **Bewässerungswürdigkeit** sind nur dann ausgewiesen, wenn im Rahmen einer subventionierten Anlage über eine Bodenkartierung die Beregnungseignung der Böden untersucht wurde. Erfolgt die Bewässerung auf privater und nicht subventionierter Basis, ist die durch den Ersteller der Anlage überprüfte Eignung der Böden ebenfalls ein wichtiges Kriterium. Dieses wird aber nicht explizit festgehalten.

Die bestehenden Wissenslücken zu den **Wassernutzungsrechten** und zur Nachhaltigkeit der Bewässerungsgenossenschaften werden im Rahmen des laufenden Projektes „Water Channels“ im NFP „Nachhaltige Wassernutzung“ bearbeitet.

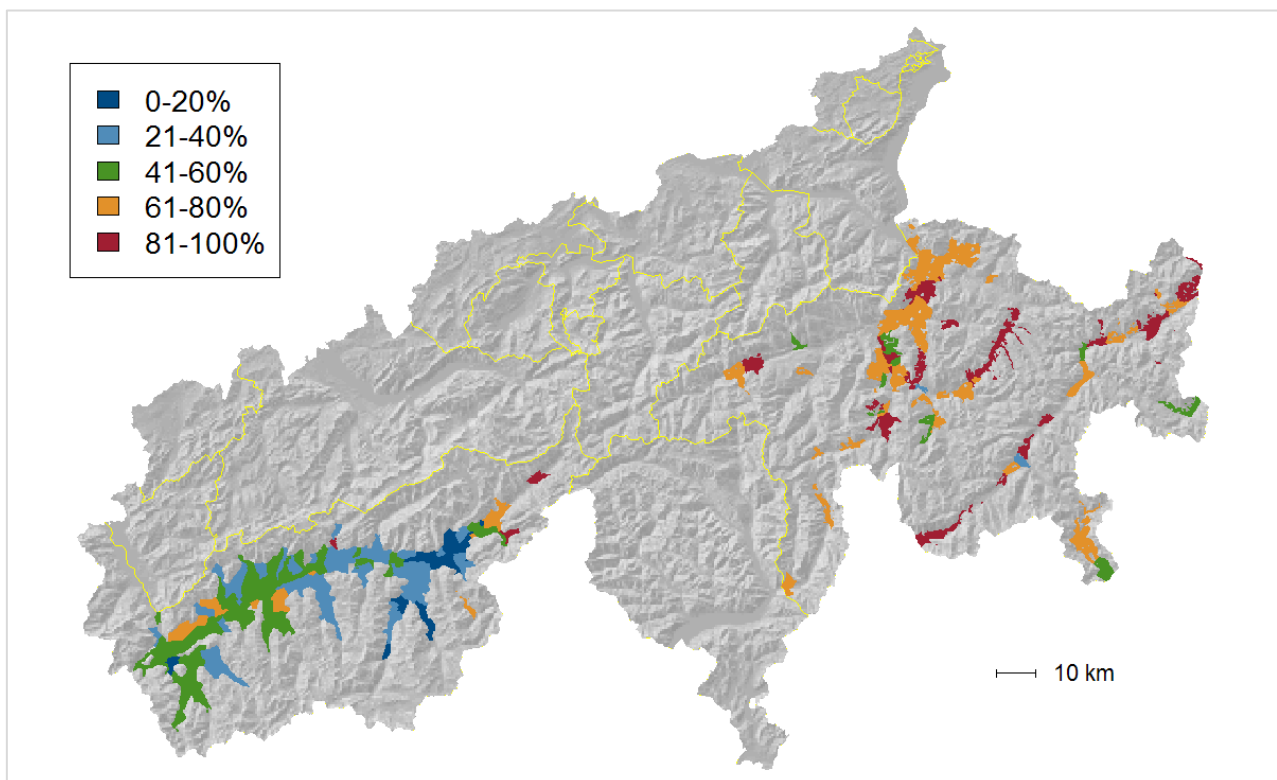
| Faktoren                                     | Berggebiet | Region                                      | Gemeinde | Betrieb | Parzelle |
|--|------------|---|----------|---------|----------|
| Gesetzliche Grundlagen / Vollzug             |            |   |          |         |          |
| Bewässerungsbedürftigkeit                    |            |   |          |         |          |
| Bewässerungswürdigkeit und Eignung der Böden |            |   |          |         |          |
| Wassernutzungsrechte                         |            |   |          |         |          |
| Legende                                      |            | Wissen vorhanden                            |          |         |          |
|  |            | Wissen teilweise vorhanden                  |          |         |          |
|  |            | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |          |         |          |
|  |            | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |          |         |          |
|  |            | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |          |         |          |

## 4. Betriebsstrukturen und Flächennutzung im Berggebiet

### 4.1. Betriebsstrukturen und -entwicklung in den bewässerten Gebieten

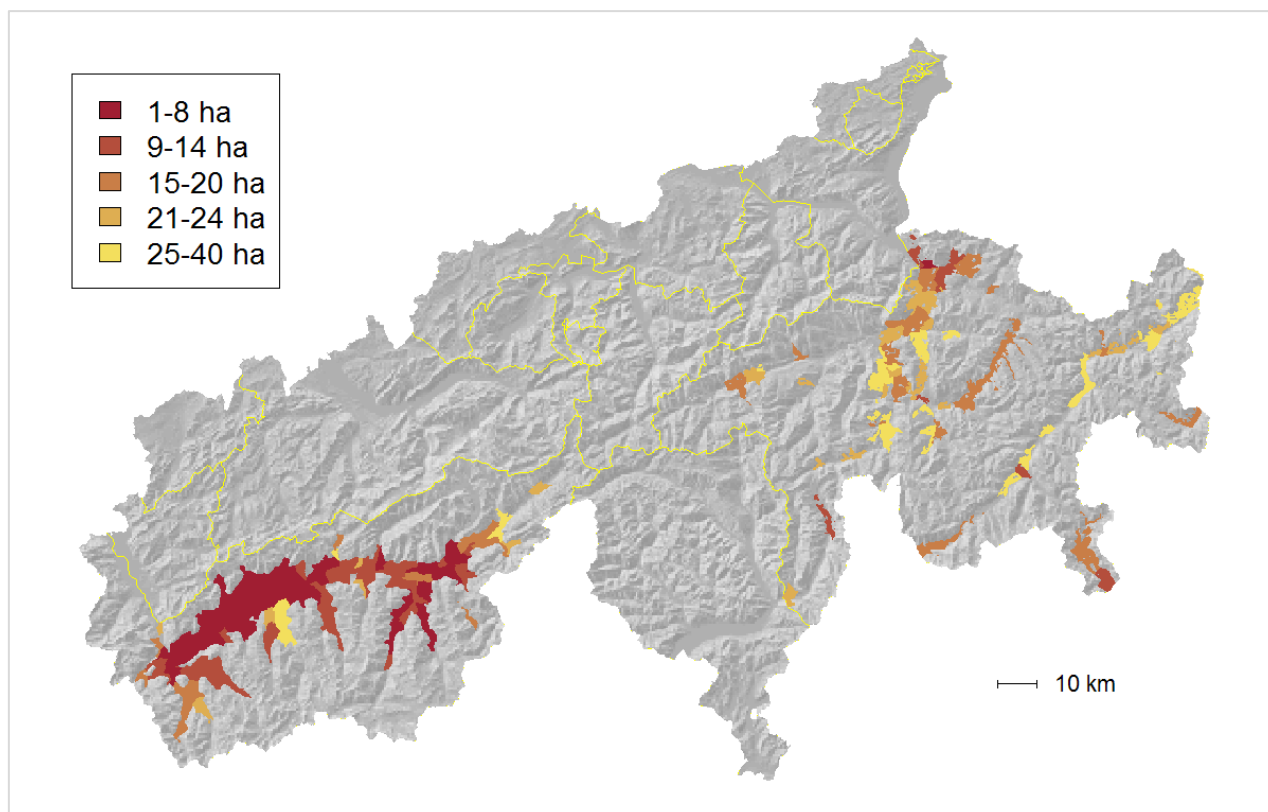
Die Betriebsstrukturen sind ein wichtiger Faktor, welcher bei der Analyse der Bewässerungssituation berücksichtigt werden muss. Die Strukturentwicklung und die Betriebsstrukturen werden neben den wirtschaftlichen, politischen und naturräumlichen Rahmenbedingungen unter anderem durch die Wirtschaftsstrukturen in einer Region beeinflusst. Für die Beschreibung der Betriebsstrukturen kann auf verschiedene Studien zum Strukturwandel zurückgegriffen werden (z. B. Lauber 2006). Indikatoren des Strukturwandels sind die Entwicklung der Betriebszahl, der Betriebsgrößen, der Zahl der eingesetzten Arbeitskräfte und deren Beschäftigungsgrad sowie des landwirtschaftlichen Einkommens. Die Betriebsstruktur wird aber auch durch weitere Faktoren wie die Bewirtschaftungsstrategie, Traditionen oder die familiäre Situation beeinflusst. Diese weichen Faktoren beeinflussen Bewässerungsentscheide massgeblich, können aber nur schwer erfasst werden.

Die Bergbetriebe in den Kantonen Wallis und Graubünden weisen unterschiedliche Strukturen auf. Für das Jahr 2010 fällt auf, dass der Anteil hauptberuflicher Betriebe mit 69,5 % im Kanton Graubünden deutlich höher ist als im Kanton Wallis, wo 57,5 % aller Betriebe im Nebenerwerb bewirtschaftet werden (Abbildung 5). Der hohe Nebenerwerbsanteil erklärt sich im Wallis durch die vielen Arbeitsplätze in der Industrie (Bätzing 2003; Stöcklin et al. 2007). Die unterschiedlichen Erwerbsformen schlagen sich auch bei der mittleren Betriebsgrösse nieder. Während die Betriebe in Graubünden im Mittel 20,3 Hektaren Fläche bewirtschaften (Haupterwerbsbetriebe: 24,2 Hektaren), sind die Betriebe im Wallis mit einer mittleren Nutzfläche von 9,6 Hektaren (Haupterwerbsbetriebe: 15,3 Hektaren) deutlich kleiner (Abbildung 6).



**Abbildung 5:** Prozentualer Anteil an Haupterwerbsbetrieben in den Gemeinden mit Wiesenbewässerung. (Quelle: Angaben der Kantone VS und GR, Gemeindegrenzen BFS 2011, Landwirtschaftlichen Zonengrenzen BLW, dhm25 swisstopo, Landwirtschaftliche Betriebszählung 2010 BFS).





**Abbildung 6:** Mittlere landwirtschaftliche Nutzfläche der Betriebe in den Gemeinden mit Wiesenbewässerung. (Quelle: Angaben der Kantone VS und GR, Gemeindegrenzen BFS 2011, Landwirtschaftlichen Zonengrenzen BLW, dhm25 swisstopo, Landwirtschaftliche Betriebszählung 2010 BFS).

Für die Einordnung der Grössenstrukturen ist zu berücksichtigen, dass im Wallis Landwirtschaftsbetriebe mit sehr unterschiedlichen Produktionsausrichtungen bestehen. Speziell Betriebe mit Spezialkulturen unterscheiden sich bezüglich Erwerbsform und Grösse stark von Tierhaltungsbetrieben mit futterbaulichem Schwerpunkt. Neben grossen Tierhaltungsbetrieben existieren im Wallis auch viele sehr kleine Futterbaubetriebe, die Flächen zu einem grossen Teil als Nebenerwerbs- oder Hobbybetriebe in der Freizeit bewirtschaftet. Würden nur die Betriebe mit Schwerpunkt Futterbau berücksichtigt, wären die Unterschiede zum Kanton Graubünden noch grösser. Im Kanton Graubünden sind die Spezialkulturen im Berggebiet im Gegensatz zum Wallis weniger stark vertreten; Betriebe mit futterbaulicher Ausrichtung weisen oft eine im Vergleich zum Wallis sehr grosse landwirtschaftliche Nutzfläche auf.

Die Anzahl der Betriebe und deren Betriebsfläche haben sich in den Kantonen Wallis und Graubünden unterschiedlich entwickelt (Tabelle 1). So war der Strukturwandel im Wallis zwischen den Jahren 2000 und 2010 grösser als in Graubünden, im Talgebiet und in den Bergzonen. Im Kanton Wallis nahm die Anzahl Betriebe in der Bergzone um 2,8% ab (in Graubünden um 2,1%), im Talgebiet um 2,7% (in Graubünden um 0,7%). Wiederum sichtbar ist der hohe Anteil kleiner Spezialkulturbetriebe im Walliser Talgebiet.

Im Kanton Graubünden hat die Anzahl Betriebe in den Gebieten mit Bewässerung in geringerem Masse abgenommen als in Gebieten ohne Bewässerung. Der Unterschied im Strukturwandel zwischen Gebieten mit bzw. ohne Bewässerung ist dabei im Talgebiet grösser als im Berggebiet, allerdings ist die Stichprobe im Talgebiet klein. Im Kanton Wallis nimmt die Zahl der Betriebe im Berggebiet mit Bewässerung nur leicht weniger ab, im Talgebiet ist die Tendenz umgekehrt, allerdings ist die Stichprobe sehr klein. Wie weit diese Unterschiede im Strukturwandel zwischen Gebieten mit und ohne Bewässerung effektiv auf die Wiesenbewässerung zurückgeführt werden kann, müssten weiterführende Analysen zeigen.

Eine detaillierte Untersuchung zur Entwicklung und Situation der Betriebsstrukturen in Gebieten mit Bewässerung im Vergleich zu nicht-bewässerten Gebieten fehlt bisher. Auf der Grundlage der vom Bundesamt für Statistik auf Gemeindeebene publizierten Angaben der landwirtschaftlichen Betriebszählungen in den Gemeinden mit Wiesenbewässerung lässt sich der Einfluss der Wiesenbewässerung auf die Strukturentwicklung erwartungsgemäss nicht schlüssig eruieren. Für eine solche Beurteilung müssten die einzelbetrieblichen Strukturdaten mit Informationen zur Bewässerung kombiniert werden, was nur auf der Ebene von Fallstudiengebieten mit einem vertretbaren Aufwand möglich ist.

**Tabelle 1:** Entwicklung der Betriebszahl und der mittleren Betriebsgrösse in Gemeinden mit und ohne Bewässerung in den Kantonen Graubünden und Wallis

|            |                  | Entwicklung Betriebszahl |      |      |                         | Entwicklung mittlere Betriebsgrösse<br>(in Hektaren) |      |      |                         |
|------------|------------------|--------------------------|------|------|-------------------------|--|------|------|-------------------------|
|            |                  | 2000                     | 2005 | 2010 | Veränderung<br>pro Jahr | 2000   | 2005 | 2010 | Veränderung<br>pro Jahr |
| Graubünden |                  |                          |      |      |                         |  |      |      |                         |
| Berggebiet | Ohne Bewässerung | 1671                     | 1442 | 1269 | -2,4 %                  | 15,3   | 17,9 | 20,8 | 3,5 %                   |
|            | Mit Bewässerung  | 1266                     | 1141 | 1037 | -1,8 %                  | 17,3   | 19,6 | 21,2 | 2,2 %                   |
|            | Alle             | 2937                     | 2583 | 2306 | -2,1 %                  | 16,2   | 18,7 | 21,0 | 2,9 %                   |
| Talgebiet  | Ohne Bewässerung | 103                      | 91   | 86   | -1,7 %                  | 10,4   | 11,7 | 12,2 | 1,7 %                   |
|            | Mit Bewässerung  | 264                      | 258  | 254  | -0,4 %                  | 16,2   | 16,5 | 16,7 | 0,3 %                   |
|            | Alle             | 367                      | 349  | 340  | -0,7 %                  | 14,6   | 15,3 | 15,6 | 0,7 %                   |
| Wallis     |                  |                          |      |      |                         |  |      |      |                         |
| Berggebiet | Ohne Bewässerung | 622                      | 507  | 428  | -3,1 %                  | 11,3   | 13,3 | 15,1 | 3,3 %                   |
|            | Mit Bewässerung  | 3028                     | 2563 | 2198 | -2,7 %                  | 6,8  | 7,9  | 9,0  | 3,1 %                   |
|            | Alle             | 3650                     | 3070 | 2626 | -2,8 %                  | 7,6  | 8,8  | 10,0 | 3,1 %                   |
| Talgebiet  | Ohne Bewässerung | 135                      | 129  | 130  | -0,4 %                  | 20,6   | 22,5 | 22,1 | 0,7 %                   |
|            | Mit Bewässerung  | 1616                     | 1269 | 1151 | -2,9 %                  | 5,5  | 6,8  | 7,3  | 3,4 %                   |
|            | Alle             | 1751                     | 1398 | 1281 | -2,7 %                  | 6,6  | 8,2  | 8,8  | 3,3 %                   |

Quelle: Landwirtschaftliche Betriebszählung 2000, 2005 und 2010 BFS

Eine vielfältige Ausrichtung eines Betriebes mit unterschiedlichen Standbeinen erhöht die Pufferkapazität für Veränderungen im Allgemeinen. Werden zum Beispiel auf einem Bergbetrieb neben Milchkühen auch noch extensivere Tiere wie Schafe oder Ziegen gehalten, ist die Flexibilität bei der Futterqualität grösser (Schneider et al. 2009) und Veränderungen des Futters aufgrund von längeren Trockenperioden können besser aufgefangen werden. Durch vielfältige Tierbestände kann auch eine Diversifizierung der Betriebsflächen stattfinden und der Einfluss von Trockenperioden kann auf diese Weise zusätzlich gemindert werden (Dobremez et al. 2011).

Jan et al. (2012) haben mit der Methode der Ökobilanzierung verschiedene Milchbetriebe der Bergzone verglichen. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen ökologischen und ökonomischen Leistungen auf Betriebsebene. Es zeigte sich, dass zwischen den beiden Indikatoren ein positiver Zusammenhang besteht. Für die Frage des Zusammenhangs zwischen dem Wunsch oder Bedürfnis nach Bewässerung und der Betriebsstruktur ist jedoch interessant, dass grosse Unterschiede zwischen den Leistungen der verschiedenen Betriebe mit sehr ähnlichen Strukturen zu finden waren. Diese Unterschiede zeigen, dass auf einzelnen Betrieben generell ein Optimierungspotential in verschiedenen ökologischen und ökonomischen Punkten vorhanden ist. Aufgrund dieser Resultate ist auch davon auszugehen, dass ähnliche Betriebe einer Region unterschiedliche Strategien wählen, um mit Trockenheit umzugehen.

## 4.2. Flächennutzung im Berggebiet

In den Alpen ist eine einzigartige Durchdringung von Natur- und Kulturlandschaft zu finden, durch deren Interaktion eine landschaftlich und biologisch äusserst vielfältige Region entstanden ist (Stöcklin et al. 2007). Die Berglandwirtschaft trägt entscheidend zur Gestaltung des Alpenraumes bei. Die Dauerwiesen und -weiden der Berggebiete, welche sich in Abhängigkeit der Höhenlage, der Exposition, des Wasser-



haushaltes, der Bodeneigenschaften und der langjährigen landwirtschaftlichen Nutzung verschieden entwickeln, prägen den Charakter der Kulturlandschaft stark (Dietl 1995; Schubiger et al. 1999).

Futterpflanzen haben unterschiedliche Anforderungen bezüglich Wasser-, Wärme- und Nährstoffhaushalt an einem Standort. Die Standortbedingungen unterscheiden sich im Tal- und Berggebiet, was sich in typischen Futterbeständen je nach Höhenlage widerspiegelt. Die intensiv nutzbaren Futtergräser des Talgebiets (Raigräser), welche reichlich Nährstoffe, ausgeglichene Feuchtigkeitsverhältnisse und ausreichend Wärme benötigen, sind im Berggebiet aufgrund der kürzeren Vegetationszeit und der tieferen mittleren Jahrestemperatur nicht zu finden (Dietl et al. 1998). Die Erträge fallen im Berggebiet geringer aus, da die intensiv nutzbaren Futtergräser fehlen und weniger Nutzungen möglich sind (Dietl 1995). Eine vielfältige und ökologische Kulturlandschaft ist auf das Nebeneinander verschiedener Wiesentypen angewiesen. Ein abgestufter Wiesenbau mit einer differenzierten Nutzungsintensität bildet die Grundlage für eine ökologisch vielfältige Landschaft. Sind auf einem Betrieb unterschiedliche Intensitäten vorhanden, steht Futter mit unterschiedlicher Qualität für die Fütterung zu Verfügung und die Erntezeitpunkte können gestaffelt werden (Schneider et al. 2009). Die Bewässerung von Wiesen ist an Standorten sinnvoll, wo die Produktionsbedingungen dazu geeignet sind (Boden ist tiefgründig, Vegetationsdauer lange genug, mittlere Jahrestemperatur nicht zu tief, Standort gut zugänglich für Ernte und Düngung), das Vegetationswachstum jedoch durch die Trockenheit limitiert sein kann. Diese Bedingungen sind oft auf bereits wenig intensiv bis intensiv genutzten Standorten gegeben. Extensiv genutzte Standorte sind vielfach flachgründig und eignen sich somit nicht für die Bewässerung (Amt für Natur und Umwelt 2007). Untersuchungen zur Nutzungsintensität im Südtirol haben gezeigt, dass die mögliche Mechanisierung aufgrund der Zugänglichkeit und der Neigung der Fläche die Nutzungsintensität bestimmen (Tasser & Tappeiner 2002). Pezzatti (2001) hat anhand einer Untersuchung im Bleniotal gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit einer extensiven Flächennutzung bei gut erschlossenen, hofnah gelegenen Flächen signifikant kleiner ist als bei weit entfernten Flächen.

Durch die abgestufte Bewirtschaftungsweise können sowohl eine hohe tierische Leistung aus dem Grundfutter erreicht, als auch wertvolle ökologische Leistungen auf einem Betrieb erbracht werden (Schneider et al. 2009). Das optimale Gleichgewicht zwischen Flächen mit einem Fokus auf der Futterproduktion und auf ökologische Leistungen fokussierten Flächen ist abhängig vom Standort. Im Berggebiet ist eine bipolare Entwicklung der Nutzungsintensität auf Grasstandorten festzustellen, indem in allen Bergzonen extensiv und intensiv genutzte Wiesen auf Kosten der wenig intensiv genutzten Wiesen zunehmen (Lauber 2006; Schneider et al. 2012). Neben dem sich verstärkenden bipolaren Charakter des Graslandes nimmt das Brachland zu. Besonders in Grenzertragslagen, welche aufgrund ihrer Steilheit, einer coupierten Geländeoberfläche oder einer schlechten Erschliessung nicht maschinell bewirtschaftbar sind, wird die schon sehr extensive Nutzung potenziell aufgegeben (Gellrich & Zimmermann 2007). Allgemein resultiert eine Änderung der Nutzungsintensität häufiger in einer Extensivierung bis hin zur Waldentwicklung als in einer Intensivierung einer Fläche (Baur et al. 2006).

Der Landwirt bestimmt mit seinen Entscheidungen die Nutzungsintensität auf den Flächen: Wie häufig wird geschnitten? Wie viel wird gedüngt? Werden Übersaaten gemacht? Wird eine Fläche bewässert? Naturwiesen sind somit nicht mehr nur ein Produkt aus den Anpassungen an Klima- und Standorteigenschaften, sondern werden genauso durch den Menschen definiert. Die Bewässerung ist somit eine von vielen Massnahmen, welche die Artenzusammensetzung einer Naturwiese beeinflusst. Andere Massnahmen wie Nutzungshäufigkeit und Düngung beeinflussen die Artenzusammensetzung unter Umständen viel stärker als eine Bewässerung. Die Einflüsse der Bewirtschaftungsmassnahmen können oft nur schwer voneinander getrennt werden, da sie sich gegenseitig bedingen. Zum Beispiel kann eine Bewässerung einen zusätzlichen Schnitt lohnend machen.

### 4.3. Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung

Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist Teil der Überprüfung von Bewässerungsprojekten, welche von Bund und Kanton über die Strukturverbesserungen gefördert werden. Wie bei den gesetzlichen Grundlagen ausgeführt, sollen durch den Bau von Bewässerungsinfrastrukturen als Meliorationsmassnahme für die Futterproduktion langfristig günstige Strukturen geschaffen werden (suissemelio 2010).

Die Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung auf Parzellenebene resultiert aus einem Vergleich der aus den trockenheitsbedingten Ertragsausfällen resultierenden Kosten mit denjenigen der Bewässerung. Letztere setzen sich aus den Kosten für Wasserfassung, Wasserzuleitung und Wasserentnahme, aus Arbeits- und Betriebskosten der Bewässerung inkl. Wasserkosten sowie aus der Amortisation der Investition zusammen (Spörri 2011). Damit eine Bewässerungsanlage wirtschaftlich ist, müssen die durch mögliche Ertragsausfälle verursachten Kosten mittelfristig höher sein als die mit den Investitionen und der Bewässerung verbundenen Kosten. Die Annahmen über die zu erwartenden Erträge spielen in der Berechnung damit eine zentrale Rolle (Bauernverein Domleschg 2008).

Während im Rahmen von Bewässerungsprojekten die Kosten der Wiesenbewässerung und die Ertragsausfälle auf der Basis von Normwerten abgeschätzt werden (vgl. z. B. Bauernverein Domleschg 2008), fehlen fundierte arbeits- und betriebswirtschaftliche Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung an sich und zu unterschiedlichen Bewässerungsmethoden im Speziellen vollständig. Dies gilt sowohl für die Parzellen- und Betriebsebene, wie auch für den Perimeter von ganzen Bewässerungsprojekten unter Einbezug der Betriebsstrukturen und der mit einer Gesamtmelioration oder einer Einzelmassnahme einhergehenden Strukturanpassungen.

Ältere Untersuchungen zur Wiesenbewässerung und zur Umstellung der Bewässerungsmethode zeigen, dass die Umstellung von der Berieselung auf die Beregnung den Arbeitsaufwand pro Flächeneinheit um bis zu 90 % reduziert (Flury 1986). Die freigesetzten Arbeitskapazitäten können im Betrieb anderweitig eingesetzt oder für die Betriebsvergrößerung genutzt werden. Dies ist besonders attraktiv, wenn die Arbeitsspitzen der Bewässerung mit denjenigen anderer Tätigkeiten (z. B. Grundfütterernte, Hofdüngerwirtschaft, Alpfahrt) zusammenfallen.

Berechnungen mit einem agentenbasierten Landnutzungsmodell zeigen, dass zur Minimierung der Kosten für Bewässerungswasser auf eine Bewässerung verzichtet wird und die Flächen nur noch extensiv bewirtschaftet werden (Huber et al. 2012). Eine fundierte Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung im Berggebiet unter Berücksichtigung der bestehenden Strukturen, der in Zukunft zu erwartenden Entwicklung von Strukturen und Kosten der Wasserbeschaffung drängt sich deshalb auf.

### 4.4. Einordnung des Wissens zu Betriebsstrukturen, Flächennutzung und Wirtschaftlichkeit

Mit Blick auf den in Zukunft steigenden Bedarf zur Wiesenbewässerung und dem damit verbundenen Infrastrukturbedarf stellt sich für die öffentliche Hand die Frage, inwieweit Investitionen in Bewässerungsanlagen aus wirtschaftlichen und strukturellen Überlegungen unterstützt werden sollen. Dabei sind nicht nur die heutige Situation der Berglandwirtschaft, sondern vielmehr auch die Veränderungen der natürlichen, agrarpolitischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen für die Berglandwirtschaft und die damit einhergehenden Strukturanpassungen zu berücksichtigen. Als Grundlage für eine umfassende Beurteilung der Auswirkungen der Wiesenbewässerung sind Fragen zur Mechanisierung, zum Arbeitsaufkommen und zum Rationalisierungspotential im Futterbau und in der Flächennutzung zu beantworten, wobei die Betriebsstrukturen einen massgeblichen Einfluss auf diese Bereiche haben.

Die **Betriebsstrukturen und Erwerbsformen** können auf der Grundlage der periodisch durchgeführten landwirtschaftlichen Betriebszählungen und Betriebsstrukturhebungen sehr detailliert analysiert werden,

wobei aber auf der einzelbetrieblichen Ebene Angaben zur Bewässerung und zu den bewässerten Flächen fehlen.

Dagegen fehlen vollständige Angaben zur **Flächenverteilung**, insbesondere zur Verteilung der von den Einzelbetrieben mit unterschiedlicher Intensität bewirtschafteten Flächen. Die Flächenverteilung dürfte einerseits den Bedarf und die Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung stark beeinflussen. Andererseits ist für die Biodiversität zentral, wie die Flächen mit den unterschiedlichen Nutzungsintensitäten räumlich verteilt sind. Es ist gut bekannt, wo extensive Flächen liegen, da diese meist als ökologischen Ausgleichsflächen und in Vernetzungsprojekten angemeldet sind. Dagegen ist nur für sehr wenige Betriebe systematisch erhoben worden, wo welche Parzellen mit welcher Nutzungsintensität liegen.

Bedeutende Wissenslücken bestehen im Bereich der **Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung**. Aktuelle arbeits- und betriebswirtschaftliche Untersuchungen zur Wiesenbewässerung und den verschiedenen Methoden fehlen vollständig.

Auch beim **Zusammenhang zwischen Betriebsstrukturen und der Wiesenbewässerung** bestehen erhebliche Wissenslücken, sowohl beim Bedarf bewässerter Flächen in Abhängigkeit von der Betriebsstruktur, als auch beim Einfluss der Betriebsstrukturen auf die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung. Dabei kommt einer mittel- und langfristigen Betrachtung eine grosse Bedeutung zu, weil die Wirtschaftlichkeit von Investitionen in Bewässerungsinfrastrukturen stark von der Strukturentwicklung abhängt.

| Faktoren                                  | Berggebiet | Region | Gemeinde | Betrieb | Parzelle |
|---|------------|--------|----------|---------|----------|
| Betriebsstrukturen und Erwerbsform        |            |        |          |         |          |
| Räumliche Flächenverteilung               |            |        |          |         |          |
| Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung  |            |        |          |         |          |
| Zusammenhang Betriebsstruktur-Bewässerung |            |        |          |         |          |

|                |  |   |
|----------------|--|---|
| <i>Legende</i> |  | Wissen vorhanden                            |
|                |  | Wissen teilweise vorhanden                  |
|                |  | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |
|                |  | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |
|                |  | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |

## 5. Wasserangebot und Wassernutzung im Berggebiet

### 5.1. Das Wasserangebot im Berggebiet

Das Wasserangebot im Berggebiet ist regional sehr unterschiedlich, zudem gibt es starke jahreszeitliche und klimatische Schwankungen. Im Kontext der Wiesenbewässerung sind dabei die Extreme entscheidend. Das Wasserangebot in den Flüssen steigt bei Hitze und Trockenheit dort an, wo die Gewässer durch Gletscher gespiesen werden, in allen anderen Gewässern führt die Trockenheit zu tieferen Pegelständen. In Einzugsgebieten mit grossen Grundwasserspeichern oder ausgeprägten Schneerücklagen können die Pegelschwankungen reduziert werden (ProClim 2005). Eine Analyse der Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserressourcen in der Schweiz hat gezeigt, dass in naher Zukunft (bis 2035) mit keinen grossen Veränderungen des jährlichen Wasserangebots, mit Ausnahme in stark vergletscherten Gebieten, zu rechnen ist. Die jahreszeitlichen Verteilungen der Abflüsse (Abflussregimes) und die Extreme werden sich jedoch in diesem Zeithorizont in der ganzen Schweiz verschieben. Im Voralpen- und Alpengebiet werden sich die Niedrigwasserereignisse vom Winter in den Spätsommer verschieben und mit weniger starken Ausprägungen auftreten. Die Niederschläge im Winter werden im Laufe des 21. Jahrhunderts immer mehr in Form von Regen anstelle von Schnee fallen, was eine reduzierte Schmelzwassermenge im Sommer zur Folge hat (BAFU 2012a).

Der Kanton Graubünden und der Kanton Wallis unterscheiden sich bezüglich des Wasserangebotes in den Fliessgewässern des Berggebietes, da sich die Einzugsgebiete bezüglich Vergletscherung und Speicherkapazität stark unterscheiden. Die Gefahr einer Verknappung des Bewässerungswassers ist im Kanton Graubünden, zum Beispiel im Unterengadin, grösser als im Kanton Wallis, da die Vergletscherung im Osten der Schweiz viel geringer ist als im Wallis (CHy 2011). Folge der Wasserknappheit sind Nutzungskonflikte. Im Rahmen der Melioration in Ftan haben sich Konflikte mit dem Gewässerschutz ergeben, da die einzuhaltenden Restwassermengen die für die Bewässerung verfügbare Wassermenge je nach Zustand der Flüsse schmälert (Fritsch 2004). Die Untersuchungen zum Wasserangebot haben gezeigt, dass weiterer Forschungsbedarf im Bereich der Unsicherheiten der regionalen Klimamodellierung besteht (BAFU 2012a).

### 5.2. Die Wassernachfrage im Berggebiet

Die potentiell benötigte Wassermenge für die Bewässerung in der Landwirtschaft wurde von Fuhrer (2010) berechnet, der Vergleich des Bewässerungsbedarfs mit dem Wasserangebot folgte in der Studie von Fuhrer (2012). Die Berechnung basiert auf reinen Modellberechnungen, Restwassermengen, Verteilungsmöglichkeiten oder die Nutzungskonkurrenz sind nicht berücksichtigt. Die Untersuchung von Fuhrer (2012) zeigte, dass der potentielle Bewässerungsbedarf in den Berggebieten aus den Fliessgewässern gedeckt werden kann. Dies, obwohl mit dem Klimawandel eine verstärkte Nachfrage nach Bewässerungswasser durch die Landwirtschaft zu erwarten ist. Lokal und zeitlich sind bei der Verfügbarkeit von Bewässerungswasser jedoch Engpässe nicht auszuschliessen (BAFU 2012a). Wird neben der Landwirtschaft auch der Wasserbedarf für die Stromproduktion oder den Tourismus berücksichtigt, kann dies einen starken Einfluss auf die tatsächliche, für die Landwirtschaft verfügbare Wassermenge haben. Zusätzlich kann durch die Gletscherschmelze langfristig eine Veränderung eintreten (BAFU 2012a).

In verschiedenen Gebieten wurden integrale Einzugsgebiets-Management-Studien (IEM) erstellt. Drei Merkmale charakterisieren IEM: mehrere Sektoren der Wasserwirtschaft partizipieren, die räumliche Grösse wird durch ein hydrologisches Einzugsgebiet definiert und alle wichtigen Phasen eines Projektablaufs müssen berücksichtigt werden (Chaix & Wehse 2007). Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) wurden in einem Bericht alle schweizerischen Fallbeispiele für IEM dokumentiert und analysiert (Chaix &

Wehse 2007). Die landwirtschaftliche Bewässerung ist dabei nur ein möglicher Wasserwirtschaftstyp, der als „Akteur“ in IEM auftreten kann. Die zwingende Berücksichtigung verschiedener Sektoren der Wasserwirtschaft bringt Erkenntnisse über die Nutzungskonkurrenz hervor. Das bekannteste IEM-Fallbeispiel, in welchem auch die landwirtschaftliche Bewässerung ein wichtiger Wassernutzungssektor ist, ist die dritte Rhonekorrektur im Wallis. Die Analyse fokussiert jedoch auf den Talboden, die bewässerten Wiesen in den höheren Lagen wurden nur am Rande berücksichtigt. Die anderen IEM-Fallstudien mit Berücksichtigung der Bewässerung beziehen sich aufs Flachland (Chaix & Wehse 2007).

Obwohl das Konzept des IEM erst im Rahmen der Wasser Agenda 21 ins Leben gerufen wurde (Chaix & Wehse 2007) wurden bereits früher wasserwirtschaftliche Beurteilungen erstellt, zum Beispiel für die Bezirke Goms und Östlich Raron (Grubinger 1965). Viele dieser Studien widerspiegeln nicht mehr die heutige Situation, weil sich die Wassernutzungskonkurrenz über die Jahre verändert hat. Die künstliche Beschneidung etablierte sich zum Beispiel im Schweizer Alpenraum erst Ende der achtziger Jahre. Die beschneiten Flächen nehmen seither im ganzen Alpenraum rasant zu, im Zeitraum zwischen 1997 und 2002 verdoppelte sich die beschneite Fläche in der Schweiz (Hahn 2004). Im Kanton Graubünden ist die beschneite Pistenfläche von 1990 bis 2011 von 75 Hektaren auf über 870 Hektaren um das Elffache angestiegen (<http://www.suedostschweiz.ch/wirtschaft/beschneite-flache-steigt-graubunden-um-13-hektaren>).

Auch die Energiewirtschaft ist ein äusserst bedeutsamer Wassernutzer im Berggebiet. In diesem Zusammenhang ist die Energiestrategie 2050 des Bundes zu berücksichtigen, welche eine verstärkte Wasserkraftnutzung für die Energieproduktion vorsieht (BFE 2012). Je nach Szenario könnte sich die Nutzungskonkurrenz um die knappe Ressource Wasser verschärfen und die für die Bewässerung verfügbare Wassermenge potenziell reduzieren (BAFU 2012a; CHy 2011). Aufgrund dieser Entwicklungen verändert sich die Situation unter den Wassernutzungskonkurrenten ständig, was laufend aktualisierte Entscheidungsgrundlagen erfordert.

Für die Region Saastal wurde in einer Fallstudie das Anpassungspotential an den Klimawandel untersucht (Bättig et al. 2011). Die Analyse der verschiedenen Wassernutzer hat gezeigt, dass die Landwirtschaft neben den anderen Akteuren (Tourismus, Siedlungswasserwirtschaft, Wasserkraft) eine untergeordnete Rolle spielt. Allerdings ist zu bemerken, dass die Landwirtschaft in der Untersuchungsregion nur eine marginale Bedeutung hat. Die befragten Experten schätzen, dass die Wassernachfrage durch die Landwirtschaft im Saastal bis 2050 nicht zunehmen wird, da die Landwirte trockene Jahre gewohnt sind (Bättig et al. 2011).

Auch im Kanton Graubünden gibt es Schnittpunkte zwischen der Wasserkraft und der landwirtschaftlichen Bewässerung. Im Domleschg wird die Bewässerungsanlage mit Wasser aus dem Stollen der Elektrizitätswerke der Stadt Zürich (ewz) gespeist (Ingenieurbüro Cavigelli und Partner 2008). Für den Kubikmeter Wasser muss derjenige Preis bezahlt werden, welcher bei der Nutzung des Wassers für die Stromproduktion generiert werden könnte. Andererseits konnten durch die Nutzung des ewz-Wassers die Konflikte mit den Restwassermengen gelöst werden. In der Gemeinde Sent wurde in den fünfziger Jahren die Wassernutzung zwischen dem Kraftwerk und der Gemeinde vertraglich geregelt. Im Vertrag wurde festgelegt, dass die Landwirte bei Bedarf eine gewisse Wassermenge für die Wiesenbewässerung nutzen dürfen.

Im Kanton Wallis verläuft die Wasserabgabe zwischen Stromproduzenten und Landwirtschaft umgekehrt. Die Bewässerungsgenossenschaften (consortages) als Besitzer der traditionellen Wassernutzungsrechte haben teilweise Verträge mit den Stromproduzenten, welche die Wassernutzung regeln. Die Bewässerungsgenossenschaften treten Wasser an die Stromproduzenten ab und regeln gleichzeitig die Sicherung des Bewässerungswassers. Die Etablierung der Wasserkraftwerke für die Stromproduktion im Wallis beeinflusste die Landwirtschaft in weiteren Punkten. Die Erschliessung wurde im Berggebiet mit dem Bau der Kraftwerke und Staumauern stark verbessert, wodurch Betriebe rationalisiert sowie die Mechanisierung und Spezialisierung der Betriebe vorangetrieben wurde. Einzelne Suonen konnten von den Stauseen profitieren, indem die Wasserversorgung und die Abflussmengen gesichert wurden. Teilweise führten diese neuen Voraussetzungen sogar zum Ausbau der Bewässerungssysteme. Durch Wasserkraftwerke wurden aber



auch viele Arbeitsplätze geschaffen, welche zu einem Rückgang der Betriebe und der in der Landwirtschaft beschäftigten Arbeitskräfte führte, was den Unterhalt des Bewässerungssystems tangierte (Crook 2001).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Abflüsse und die steigenden Risiken einer Wasserknappheit werden das Konfliktpotential zwischen den verschiedenen Wassernutzern verstärken. Es ist zu erwarten, dass sich die verstärkte Nutzungskonkurrenz neben den Veränderungen in Wassertemperatur und Abflussregimes auch nachteilig auf die Ökosysteme der Fließgewässer auswirken wird (BAFU 2012a).

*Im Rahmen des NFP 61 „Nachhaltige Wassernutzung“ wird zurzeit das Forschungsprojekt „MontanAqua“ durchgeführt (www.montanaqua.ch). Ziel ist es, Lösungsvorschläge für eine optimale und ausgewogene Bewirtschaftung und Verteilung des Wassers für die trockene, jedoch intensiv genutzte Region Crans-Montana-Sierre zu erarbeiten. Es erfolgt eine Zusammenarbeit zwischen Fachpersonen unterschiedlicher Universitäten und Vertretern der regionalen und lokalen Behörden und Interessensgruppen. Das Projekt ist in drei Teilprojekte sowie eine Synthese gegliedert. Es wird die aktuelle und zukünftige Wassernutzung analysiert, das Wasserangebot ermittelt sowie sozioökonomische Aspekte der Wasserverteilung auf verschiedenen Stufen (Gemeinde, Kanton) untersucht. Die erarbeiteten Lösungsvorschläge sollen in der Praxis und auch für andere Regionen umsetzbar sein. Es liegen noch keine publizierten Ergebnisse des Projektes vor.*

### 5.3. Einordnung des Wissens zur Wassernutzung im Berggebiet

Aufgrund der Modellberechnungen und Abflussmessungen ist das **Wasserangebot** für die Schweiz bekannt. Die potentielle Wassernachfrage ohne Berücksichtigung der Nutzungskonkurrenz kann aufgrund der Arbeiten von Fuhrer (2012) ebenfalls als bekannt betrachtet werden.

Wird für ein bewässertes Gebiet eine Bewässerungskarte erstellt, ist der **Wasserbedarf** für die Wiesenbewässerung auf Parzellenebene aufgrund der Bodenbewertung bekannt. Eine solche Analyse liegt jedoch lange nicht für alle bewässerten Flächen vor.

Die Auswirkungen der **Wassernutzungskonkurrenz** sind erst in einigen wenigen Gebieten untersucht und können deshalb für das Berggebiet nicht vollumfänglich abgeschätzt werden. Die Frage der Nutzungskonkurrenz ist Gegenstand aktueller Forschung und soll auch basierend auf der Antwort zum Postulat Walter (BAFU 2012b) für die Schweiz detaillierter betrachtet werden, um zukünftige Handlungsstrategien zu entwickeln. Bedeutende Wissenslücken und Unsicherheiten bestehen insbesondere im Klimawandel und bei der nationalen Energiestrategie. Während Grunddaten und Szenarien auf Ebene Berggebiet bis Region bekannt sind, fehlen Untersuchungen auf Ebene Gemeinde noch weitgehend. Unsicherheiten bestehen ebenfalls zur Frage der künftigen Entwicklung der Wassernutzungsrechte.

| Faktoren                 | Berggebiet | Region                                      | Gemeinde | Betrieb | Parzelle |
|--------------------------|------------|---|----------|---------|----------|
| Wasserangebot            |            |   |          |         |          |
| Wassernachfrage          |            |   |          |         |          |
| Wassernutzungskonkurrenz |            |   |          |         |          |
| Legende                  |            | Wissen vorhanden                            |          |         |          |
|                          |            | Wissen teilweise vorhanden                  |          |         |          |
|                          |            | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |          |         |          |
|                          |            | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |          |         |          |
|                          |            | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |          |         |          |



## 6. Ökosystemleistungen und Wiesenbewässerung

Das Grasland im Berggebiet hat multifunktionellen Charakter. Seine Leistungen reichen von der Futterproduktion und der Lebensraumfunktion über CO<sub>2</sub>-Speicherung, O<sub>2</sub>-Produktion, Filterung und Speicherung von Wasser bis zur Erholung oder dem Schutz vor Naturgefahren (Leithold 2011). Die Landwirtschaft bestimmt die Ökosystemleistungen des Graslandes. Wird die landwirtschaftliche Bewirtschaftung auf einem Standort geändert, verändern sich auch die erbrachten Ökosystemleistungen. Die Bewässerung beeinflusst die von einem Standort erbrachten Ökosystemleistungen direkt durch die Zufuhr von Wasser und die Art dieser Zufuhr (Beregnung/Berieselung), wie auch indirekt durch eine Veränderung der Bewirtschaftung. Das Auseinanderhalten direkter und indirekter Wirkungen ist meist äusserst aufwändig bis unmöglich.

### 6.1. Futtermenge und Futterqualität

Zum Zusammenhang zwischen Bewässerung und Futterquantität sowie Futterqualität wurden bis heute in der Schweiz zwei mehrjährige Versuche durchgeführt. Die Eidgenössische Landwirtschaftliche Forschungsanstalt Changins führte von 1986 bis 1989 im Wallis (Goms) Versuche über den Einfluss der Beregnung auf den Pflanzenbestand, den Futterertrag und den Nährwert von intensiv bewirtschafteten Naturwiesen durch (3–4 Schnitte pro Jahr). Dieser Versuch wird in der Folge als „Versuch Goms“ bezeichnet. Das Versuchsdesign baute auf sechs Verfahren mit fixen Wassergaben auf (20 mm/Woche, 40 mm/2 Wochen, 60 mm/3 Wochen, 40 mm/Woche, 60 mm/2 Wochen, 80 mm/3 Wochen), ein Verfahren mit an die Bodenfeuchtigkeit angepassten Wassergaben sowie einem Nullverfahren. Für die Beregnung wurden Mikroverteiler verwendet, welche die Parzellen vom Zentrum aus beregneten. Um die Effekte der Beregnungsintensitäten zu zeigen, wurde ein hohes Düngungsniveau gewählt, damit die Nährstoffversorgung nicht zum limitierenden Faktor für das Pflanzenwachstum werden konnte. Die Versuche wurden auf den Gemeindegebieten von Lax (1050 m ü. M., Exposition SO, 460 mm Jahresniederschlag, tiefgründiger Boden), Ernen (1000 m ü. M., Exp. NW, 460 mm JN, flachgründiger Boden) und Ritzingen (1310 m ü. M., Exp. S, 530 mm JN, tiefgründiger Boden, im Vergleich zu Lax und Ernen tiefere Temperaturen und höhere Niederschläge und somit am wenigsten anfällig auf Trockenheit) durchgeführt (Troxler et al. 1992).

In der Gemeinde Martisberg wurde die Bewässerung in den 1960er Jahren aufgegeben und 1989 im Rahmen einer Gesamtmelioration wieder aufgenommen. Meier (1990) führte im Untersuchungsgebiet Martisberg eine grossflächige pflanzensoziologische Untersuchung durch. Während acht Jahren untersuchte dann die Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil ACW im Versuch Martisberg die Auswirkungen der Wiederaufnahme der Bewässerung auf den Pflanzenbestand von Dauerwiesen (Jeangros & Bertola 2000, 2001). Elf Dauerbeobachtungsflächen wurden untersucht, auf welchen die Düngung (alle zwei Jahre eine Gabe Mist, jedes Jahr eine Gabe Harngülle, keine Düngung) sowie die Anzahl Nutzungen (eine oder zwei) variiert wurden. Für alle Flächen wurden die Bewirtschaftung, die botanische Zusammensetzung, die botanische Vielfalt, die Feuchtezahl, der Futterwert und die Nährstoffversorgung des Bodens bestimmt.

Im Südtirol wurde ein zweijähriger Bewässerungsversuch durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen Bewässerung sowie Futterqualität und -quantität zu untersuchen. Der Versuch basierte auf vier Bewässerungsvarianten mit variierenden Bewässerungsmengen und -intervallen (Peratoner et al. 2009).

*Das Projekt „Grassland Management“ der Universität Bern untersucht, wie sich Beregnung und Düngung auf Futtermenge und -qualität auswirken. Es werden verschiedene Düngungsstufen mit Beregnung kombiniert. Neben dem Zusammenhang zwischen Nutzungsintensität (Beregnung/Düngung) und Biodiversität hat die Untersuchung zum Ziel, dass Bewirtschaftungsmassnahmen und deren Intensität definiert werden können, welche einen Kompromiss für Biodiversität und Futterproduktion darstellen. Die Untersuchung ist im Gange, bis heute ist nur ein Zwischenbericht vorhanden (Arlettaz et al., 2012).*

### 6.1.1. Futterquantität

Im Versuch Goms beeinflusste die Beregnung auf den drei Standorten die Trockensubstanzerträge unterschiedlich stark. Die Ertragsunterschiede stiegen mit dem Wasserdefizit am Standort an. In Lax (tiefgründige Böden) war der Ertrag der bewässerten Flächen im Durchschnitt 29 %, im trockenen Jahr 44 % und im feuchten Jahr 13 % höher als auf den nicht bewässerten Flächen. Das Bewässerungsverfahren, welches sich am Wasserdefizit orientierte sowie die Flächen mit hohen Wassergaben in Intervallen von einer oder zwei Wochen lieferten die höchsten Erträge. Auf Flächen mit bescheidenen Wassergaben zeigte sich, dass das Beregnungsintervall einen starken Einfluss auf die Erträge hat. In Ernen (flachgründige Böden) lagen die durchschnittlichen Erträge leicht tiefer als in Lax, der Beregnungseffekt war jedoch ausgeprägter. Im Durchschnitt lieferten die beregneten Flächen 43 %, im feuchten Jahr 30 % und im trockenen Jahr 50 % mehr Ertrag als nicht beregnete Flächen. Auf dem Gemeindegebiet von Ritzingen (tiefgründige Böden und andere Klimaregion) zeigten sich kleinere Ertragsunterschiede zwischen bewässerten und nicht bewässerten Flächen. Im Durchschnitt lieferten die bewässerten Flächen 18 %, im feuchten Jahr 11 % und im trockenen Jahr 27 % mehr Ertrag als die unbewässerten Flächen. Die futterbaulichen Vorteile der Bewässerung fielen unter den Bedingungen von Ritzingen (im Vergleich zu Lax und Ernen mehr Niederschlag, tiefere Temperaturen) relativ gering aus, auf den Untersuchungsstandorten von Lax und Ernen zeigten sich jedoch klare Vorteile der Bewässerung für den Futterbau (Troxler et al. 1992). Carlen (1989) zeigte, dass die Wiesenbewässerung vor allem die Futterproduktion nach dem ersten Schnitt erhöhte.

Im Versuch Südtirol zeigte sich, dass die Erträge auf den bewässerten Flächen signifikant höher waren (ca. ein Drittel). Zwischen den mit unterschiedlichen Wassermengen und Intervallen bewässerten Flächen zeigten sich jedoch keine Unterschiede. Die im Versuch geringste Wassermenge von 25 mm/Woche erwies sich am effizientesten, da höhere Wassermengen nicht signifikant mehr Ertrag brachten. Auch in diesem Experiment bestätigte sich, dass eine bedarfsorientierte Beregnung optimal ist (Peratoner et al. 2009).

### 6.1.2. Futterqualität

Im Versuch Goms entwickelte sich der Pflanzenbestand abhängig vom Anteil der Doldenblütler im Ausgangsbestand unterschiedlich. Der hohe Anteil der Doldenblütler auf den Versuchsflächen in Lax wurde trotz Beregnung nicht reduziert und die Futterqualität verbesserte sich nicht. In diesem Gebiet förderte die Beregnung zwei Rispengräser mit geringerem Futterwert (Gemeines und Läger-Rispengras), auf den Flächen ohne Beregnung waren hingegen typische Futtergräser der Bergwiesen vertreten (Knaulgras, Rot-schwingel und Goldhafer). Die zu Beginn niedrigen Anteile an Doldenblütlern auf den Flächen in Ernen liessen im Vergleich zu Lax eine Verbesserung des Pflanzenbestandes zu, indem typische Futtergräser der Bergwiesen durch die Bewässerung gefördert wurden. Die Pflanzenbestände des Versuchsorts Ritzingen (am meisten Niederschlag, tiefste Durchschnittstemperaturen) zeigten zwischen den Verfahren nie deutliche Unterschiede.

Um den Einfluss der Bewässerung auf die Pflanzenbestände und die Futterqualität definitiv bestimmen zu können, hatte der Versuch Goms eine zu kurze Laufzeit. Es hat sich jedoch gezeigt, dass der Ausgangsbestand und die lokalen Bedingungen einen starken Einfluss auf den Pflanzenbestand und damit auf die Futterqualität haben (Troxler et al. 1992). Es zeigte sich auch, dass die Wahl des Düngungsniveaus der Versuchspartellen einen entscheidenden Einfluss auf die Futterzusammensetzung und deren Qualität hatte. Die Beregnung zeigte im Versuch Martisberg hingegen deutliche Auswirkungen auf die Futterqualität. Der Futterwert der fettesten Wiesen sowie der Wiesen mit mittlerer botanischer Zusammensetzung verbesserte sich (Jeangros & Bertola 2001). Im Versuch im Südtirol konnte dagegen kein Effekt der Beregnung auf die Futterqualität festgestellt werden (Peratoner et al. 2009).

Born (1984) untersuchte in ihrer Diplomarbeit den Einfluss des Bewässerungswassers (Gletschermilch oder Quellwasser) auf die Futterqualität auf Standorten im Aletschgebiet. Es konnte kein Unterschied der floristischen Zusammensetzung zwischen den mit unterschiedlichem Wasser bewässerten Flächen gefun-

den werden. In den bewässerten Flächen wuchsen jedoch mehr giftige und schlechte Futterpflanzen. Die mit Gletschermilch bewässerten Flächen lieferten Futter mit dem besten Gehalt an Eiweiss und Energie.

## 6.2. Biodiversität

Mit dem weltweiten Artenschwund und dem Nachweis positiver Auswirkungen der Biodiversität für die Stabilität und Anpassungsfähigkeit von Ökosystem (Cardinale et al. 2012) wird dem Schutz der Biodiversität auch in der Schweiz grosse Bedeutung zugemessen (BAFU, 2012c). Die Biodiversität an sich ist allerdings eine äusserst komplexe Messgrösse, welche in ihrer Vollständigkeit nicht zu erfassen ist (Duelli & Obrist, 2003). Sie kann auf mehreren Ebenen (Lebensräume, Arten und Populationen) als auch auf verschiedenen Skalen (Kleinfläche, Feld, Landwirtschaftsbetrieb, Lebensraum, Region), sowie für verschiedenste Artengruppen (von Asseln bis Zikaden) betrachtet werden. Auf allen Ebenen stellt sich jeweils die Frage nach Quantität und Qualität. Für Arten heisst dies zum Beispiel, wie viele Arten auf einer bestimmten Fläche vorkommen (Quantität) und welche Arten dies sind (Qualität). Die grosse Anzahl von Untersuchungen sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass wir diese Komplexität nur ungenügend erfassen.

### 6.2.1. Flora

Die Biodiversität im Berggebiet ist stark abhängig von der Bewirtschaftung. Durch die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen wird die Offenhaltung der Flächen gewährleistet und die Landschaften beinhalten somit eine Vielfalt an Lebensräumen. Trockenwiesen und -weiden (TWW) sind Ökosysteme des Berggebietes, welche einen wichtigen Beitrag zur Biodiversität leisten. Zwischen Landwirtschaft und der Existenz der TWW besteht eine enge Abhängigkeit. In einer Untersuchung zur Entwicklung der TWW über 50 Jahre im Wallis hat sich gezeigt, dass eine Mindestpflege zur Erhaltung der für die Biodiversität wertvollen Standorte notwendig ist. Je flachgründiger der Boden ist, desto geringer ist die notwendige Bewirtschaftungsintensität, um die Verbuschung des Standortes zu verhindern (Dipner et al. 2008).

TWW sind wenig Ertrag liefernde Grasflächen, auf welchen ein trockenwarmes Klima vorherrscht. Sie sind Lebensraum für viele spezialisierte, seltene Pflanzen und Tiere. Typische Merkmale von TWW sind meist flachgründige, durchlässige Böden mit einer begrenzten verfügbaren Wassermenge, meist Hanglagen mit guter Besonnung und einer extensiven Nutzung. 1700 Pflanzenarten, das entspricht zwei Drittel aller in der Schweiz vorkommenden Pflanzenarten, sind auf TWW-Flächen anzutreffen, 37 % davon sind selten oder bedroht. Weiter sind 1000 Insektenarten auf TWW zu finden und 40 % der einheimischen Schmetterlinge kommen ausschliesslich auf TWW-Flächen vor (Volkart & Dipner 2005; Pearson et al. 2006). Seit 1945 verschwanden 90 % der TWW infolge Nutzungsintensivierung, Aufforstung, Überbauung oder Aufgabe der Bewirtschaftung (Pearson et al. 2006). Um diese wertvollen Ökosysteme zu schützen, wurde 1994 entschieden, ein TWW-Inventar zu erstellen. Die Inventarisierung dauerte 12 Jahre und konnte 2006 abgeschlossen werden (Hedinger & Eggenberg 2008). Die TWW-Objekte sind in der Trockenwiesenverordnung (SR 451.37) festgehalten. Im TWW-Inventar sind circa 22'000 Hektaren TWW erfasst, wovon 60 % Weiden, 30 % Wiesen und 10 % heute nicht mehr genutzte Flächen sind. 43 % der kartierten Fläche liegt im Sömmernungsgebiet, ebenso viele im übrigen Berggebiet (Walter et al. 2012). Aufgrund der klimatischen Ansprüche der TWW sind viele dieser Ökosysteme in den inneralpinen Trockentälern erhalten geblieben (Volkart 2008).

Die Bewässerung ist neben der Düngung und einer intensiveren Nutzung eine Bewirtschaftungsmassnahme, welche die TWW-Bestände potenziell gefährden kann. Durch die Bewässerung werden Nährstoffe im Boden freigesetzt und die Vegetationszusammensetzung entwickelt sich von einem typisch trockenmageren Charakter hin zu ertragreicheren Wiesen und Weiden. Die Bewässerung muss jedoch nicht auf allen Standorten zu einem Verlust der TWW-Vegetation führen. Für den Bereich der Walliser Felsensteppen und der Bündner Trockenrasen werden drei Haupttypen von TWW-Standorten definiert, auf welchen die Bewässerung unterschiedliche Effekte zeigt (Volkart 2008). Die Felsensteppen auf flachgründigen



Böden sind für die Bewässerung nicht geeignet, da die Gründigkeit und somit das Wasserspeichervermögen zu gering ist. Traditionell wurden diese Standorte als Kleinviehweiden genutzt und nicht bewässert. Werden Felsensteppen doch bewässert, kann die Bewässerung zu einer Ruderalisierung sowie einer Zunahme von Stickstoffgeigern führen. Die Artenzahlen können potenziell durch die Bewässerung erhöht werden, da zusätzliche Arten überleben können, allerdings gefährden diese die Qualität, das heisst Exklusivität der Artengarnitur. Steppen auf tiefgründigen Böden sind für TWW-Arten wertvolle Standorte. Sie sind charakterisiert durch ihre ausgeprägte Gründigkeit und damit prinzipiell für die Bewässerung geeignet. Traditionellerweise wurde auf diesen Standorten Ackerbau betrieben, aufgrund der im Vergleich zum Futterbau geringeren Wasseransprüche des Getreides war keine Bewässerung der Terrassen notwendig und vielfach mangels Wasser gar nicht möglich. Mit der Bewässerung von Steppen auf tiefgründigen Böden entwickelt sich die Vegetation hin zu Fettwiesen, was potenziell zu einer höheren Artenvielfalt führen kann. Allerdings gefährden die produktiven Arten die Exklusivität der Artengarnitur. Die Trespen-Halbtrockenrasen bilden den dritten Standorttyp. Ihre Artenzusammensetzung ist auf eine leichte Bewässerung angewiesen und erst diese sichert die reichhaltige Artengarnitur. Die Böden dieser Standorte sind mittelgründig, es wird nicht gedüngt. Eine Übernutzung der Trespen-Halbtrockenrasen kann zu einer Überführung in artenarme Fettwiesen führen (Volkart 2008).

Die starke Koppelung zwischen der landwirtschaftlichen Nutzung und der Existenz der TWW führt in der Praxis immer wieder zu Konflikten zwischen Landwirtschaft und Naturschutz (Volkart 2008; Zurwerra 2010). Um wissenschaftliche Informationen bezüglich der Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf die Biodiversität zu erhalten, wurden unter anderem die zwei Versuche Goms und Martisberg initiiert. Im Versuch Martisberg hat sich gezeigt, dass die Bewässerung die botanische Zusammensetzung nicht grundsätzlich verändert hat. Die botanische Zusammensetzung der produktivsten Wiesen blieb im Allgemeinen konstant, die Anzahl der Pflanzenarten nahm jedoch leicht ab. Auch die Vegetation der trockensten Wiesen ohne Bewässerung veränderte sich kaum. Die stärksten Veränderungen waren bei Wiesen mit mittlerer botanischer Zusammensetzung (weder typische Arten von extensiven noch intensiven Standorten) festzustellen, sie entwickelten sich allmählich in Richtung der Artenzusammensetzung der produktivsten Wiesen (Jeangros & Bertola 2001).

Auf der Versuchsfläche Martisberg wurden die Vegetationsaufnahmen von 1988 und 1996 im Sommer 2006 wiederholt und auch die Bewirtschaftung erhoben, um die Wirkung der Beregnung auf die Vegetationszusammensetzung und den Boden nach einem längeren Zeitraum nochmals zu beurteilen. Die Entwicklung der Vegetationszusammensetzung hat sich auf den regelmässig bewässerten Flächen weiter hin zu produktiveren Beständen gewandelt und es wurden weniger TWW-Schlüsselarten und seltene Arten gefunden (Volkart & Godat 2007). Allerdings verschwanden auch aus nicht bewässerten Flächen über die Jahre einzelne Arten. Die Anzahl der in Martisberg untersuchten Flächen ist zu klein für statistisch gesicherte Aussagen.

*Aktuell wird im NFP 61 Projekt „Water Channels“ in einer Dissertation der Zusammenhang zwischen Bewässerungstechnik und Biodiversität untersucht. In drei Gebieten des Wallis wurde die Biodiversität von acht Wiesenpaaren (je eine berieselte und eine bewässerte Fläche) erhoben, es konnten jedoch keine Unterschiede in der Vegetationszusammensetzung zwischen berieselten und beregneten Flächen gefunden werden (Riedener et al., 2012).*

*Die kurzfristigen Effekte von Beregnung und Düngung auf die Vegetationszusammensetzung von bisher unbewässerten Trockenstandorten werden im Projekt „Grassland Management“ der Universität Bern untersucht. Die ersten Auswertungen deuten darauf hin, dass sich die Diversität der Pflanzen und Arthropoden durch die Beregnung von Trockenstandorten erhöht (Arlettaz et al. 2012). Dies ist in Übereinstimmung mit den oben gemachten Bemerkungen zur Entwicklung von Artenzahl und Artengarnitur in Trockenwiesen.*

*2010 ist in der Gemeinde Sent im Unterengadin eine neue Bewässerungsanlage in Betrieb genommen worden. Gleichzeitig hat Agroscope Reckenholz-Tänikon ART im Perimeter Dauerbeobachtungsflächen*

*eingrichtet mit dem Ziel, die Veränderung der Artzusammensetzung von Pflanzen und Heuschrecken sowie der Bewirtschaftung durch die Beregnung zu verfolgen. Auf 36 Paaren von unbewässerten und bewässerten Flächen entlang des Intensitätsgradienten von Trockenwiesen über wenig intensiv bis zu intensiv bewirtschafteten Flächen wurden 2010 die Pflanzen und 2011 die Heuschrecken erhoben. Es ist vorgesehen, die Biodiversitätserhebungen alle fünf Jahre zu wiederholen. Zusätzlich werden die Bewirtschaftungsdaten der Untersuchungsflächen gesammelt.*

### 6.2.2. Fauna

In den inneralpinen Tälern ist die Artenvielfalt bei Brutvögeln, Tagfaltern und Heuschrecken besonders hoch. Viele dieser Arten sind auf extensiv genutzte Flächen angewiesen, eine intensive Landwirtschaft steht daher im Konflikt zum Schutz dieser teilweise auf der roten Liste stehenden Arten. Die Wiesenbewässerung beeinflusst diese Arten indirekt, da die Bewässerung eine intensivere Nutzung bedingen kann. Verschiedene Studien untersuchten die Auswirkungen einer Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung auf Vögel. Explizite Studien zur Wiesenbewässerung allein gibt es nicht.

Speziell gefährdet von Bewirtschaftungsintensivierung sind bodenbrütende Arten wie das Braunkehlchen. Durch frühe Schnittzeitpunkte werden Nester zerstört, die Nahrungsbasis wird geschmälert und die Lebensraumverbunde für xero- und thermophile Arten werden teilweise aufgelöst (Schweizerische Vogelwarte Sempach 2008). Müller et al. (2005) untersuchten die Auswirkungen der Intensivierung in der Landwirtschaft auf das Vorkommen des Braunkehlchens im Unterengadin. Ursprünglich war diese Art in der ganzen Schweiz zu finden, heute ist ihr Vorkommen auf die höheren Lagen beschränkt. Der Bruterfolg variierte zwischen den Jahren und somit den unterschiedlichen Schnittzeitpunkten im Talboden des Unterengadins zwischen 5 und 78 %. Die Population im Talboden konnte nur dank zugezogener Tiere erhalten bleiben, die Reproduktionsrate reichte für eine gleichbleibende Populationsgrösse nicht aus. Britschgi et al. (2006) untersuchten im gleichen Gebiet die Auswirkungen der Nutzungsintensität von Grasland auf die Nahrungskette des Braunkehlchens. Sie verglichen die Futterverfügbarkeit und -zusammensetzung bei der Fütterung der Jungtiere zwischen intensiv und extensiv genutzten Standorten. Es zeigte sich, dass das Insektenangebot für die Fütterung der Jungtiere durch die Intensivierung der Graslandnutzung abnahm und dies zu einer schlechteren Fütterung der Jungtiere und zu einem sinkenden Reproduktionserfolg führte.

Neben den Bodenbrütern können auch weitere Vogelarten von einer Veränderung der Flächennutzung betroffen sein, beispielsweise Ortolan, Steinschmätzer oder Baumpieper von der Nutzungsaufgabe extensiver Weiden mit nachfolgender Verbuschung und Verwaldung, Kuckuck, Zwergohreule oder Zaunammer vom Verlust von Strukturen, Sperber- und Dorngrasmücke vom Rückgang von Futterinsekten aus Heuwiesen (Schweizerische Vogelwarte, 2008). Die Zusammenhänge zwischen Flächennutzung und Bewässerung sind allerdings komplex und speziell auf der Landschaftsebene wenig verstanden.

Die Auswirkungen der Bewässerungstechnik auf die faunistische Diversität wurden bisher erst im NFP 61 Projekt „Water Channels“ untersucht. Es zeigten sich keine statistisch gesicherten Unterschiede in der Zusammensetzung der Schneckenpopulation in berieselten und beregneten Flächen (Riedener et al., 2012).

*In Sent GR untersucht Agroscope Reckenholz-Tänikon ART die Heuschreckenpopulationen in bewässerten und unbewässerten Wiesen und ihre Reaktion auf die Bewirtschaftung (Schneider, 2011). Die Ersterhebung 2011 zeigte eine höhere Artenzahl in extensiven, nicht bewässerten Flächen im Vergleich zu intensiv genutzten, bewässerten Flächen.*

*Die kurzfristigen Effekte von Beregnung und Düngung auf Zwerg- und Spitzkopfizikaden sowie Spinnen sind Fragestellungen im Projekt „Grassland Management“ der Universität Bern. Erste Resultate zeigen erhöhte Artenzahlen von Arthropoden in bewässerten und gedüngten Flächen (Arlettaz et al. 2012).*

### 6.3. Offenhaltung

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Flächennutzung im Schweizerischen Berggebiet zunehmend auf die guten, rationell bewirtschaftbaren Standorte verschoben (Schneider 2012). Einer Intensivierung in den Gunstlagen steht die Aufgabe meist extensiv oder wenig intensiv genutzter Bergwiesen und Heimweiden sowie der Sömmerungsweiden gegenüber. Die aufgegebenen Flächen liegen meist in unwegsamem Gelände und können nur mit einem hohen Arbeitsaufwand bewirtschaftet werden. Da es aufgrund der Topographie oder der unzureichenden Erschliessung nur bedingt möglich ist, die Flächen voll maschinell zu bewirtschaften, müssen viele Arbeiten nach wie vor von Hand ausgeführt werden (Stöcklin et al. 2007). Die Gründe für die Flächenaufgabe und die Wiederbewaldung in den Berggebieten liegen vor allem im Rückgang der Betriebe und der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte und dem mit dem Strukturwandel einhergehenden Wachstum der Betriebe. Wie die Bewässerung in diese Entwicklung eingreift ist bis heute unklar. Es ist denkbar, dass durch die Wiesenbewässerung der Trend der Intensivierung der Gunstlagen noch verstärkt wird. Allerdings kann gleichzeitig festgestellt werden, dass eine Minimalinfrastruktur unabdingbar ist, damit die Bewirtschaftung dieser Grenzertragsböden aufrechterhalten wird.

Die Offenhaltung ist nur bedingt auf der Ebene Einzelparzelle gesteuert, sondern die Bewirtschaftung einer Parzelle hängt von der Struktur des bewirtschaftenden landwirtschaftlichen Betriebes ab. Die Bewirtschaftung einer Fläche ist somit abhängig von der Bewirtschaftung der anderen Flächen eines Betriebs. Interaktionen bestehen sowohl bezüglich Futterbedarf für die Tierhaltung wie auch der Verfügbarkeit von Arbeitszeit für die aufwändigen Pflegearbeiten. Die Wiesenbewässerung und die eingesetzte Technik beeinflussen die Situation der Bergbetriebe im Allgemeinen, was sich auch auf die Bewirtschaftung von extensiven Flächen auswirkt. Es ist davon auszugehen, dass nicht der direkte Bezug zwischen Wiesenbewässerung und Offenhaltung massgebend ist, weil die Bewässerung auf den durch die Nutzungsaufgabe bedrohten Flächen meist nicht interessant ist. Vielmehr sind es die gesamtbetrieblichen Strukturen, die Verfügbarkeit von Arbeitskräften, Arbeitszeit und Weidetieren sowie die agrarpolitischen Fördermassnahmen, welche die Offenhaltung marginaler Flächen bestimmen. So könnten beispielsweise die Unterstützung von rationellen Bewässerungstechniken an Bedingungen zu spezifischen Pflegeleistungen marginaler Flächen geknüpft werden.

Bisher wurde erst in einer Studie zum Landnutzungswandel die Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen mitberücksichtigt. Die Berechnungen mit einem agentenbasierten Landnutzungsmodell durch Huber et al. (2012) deuten an, dass die Wiesenbewässerung im Umfeld einer auf die Extensivierung der Landnutzung im Berggebiet ausgerichteten Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems (WDZ) als Kostenfaktor wirkt. Dies führt dazu, dass simulierte Betriebe in der Region Visp unter WDZ diejenigen Flächen extensivieren, wo eine intensive Nutzung nur mit Bewässerung möglich ist.

### 6.4. Bodenschutz

Der Versuch Goms hat gezeigt, dass der  $N_{\min}$ -Gehalt im Kontrollverfahren ohne Beregnung im oberen Bodenhorizont jeweils höher ausfiel als in den beregneten Verfahren, der Unterschied verstärkte sich nach jedem Schnitt. In einer Bodentiefe von 60 bis 90 cm wiesen die bewässerten Flächen jedoch einen höheren Gehalt an  $N_{\min}$  auf. Die Resultate zeigen, dass das Pflanzenwachstum im nicht beregneten Verfahren gehemmt und somit auch die Stickstoffaufnahme reduziert war, was zu einer Anreicherung im Oberboden führte (Troxler et al. 1992).

Liniger (1983) untersuchte in der Aletschregion (Kanton Wallis) die Auswirkungen der traditionellen Wiesenbewässerung (Berieselung) auf die Bodeneigenschaften. Das Untersuchungsgebiet ist teilweise überlappend mit dem Gebiet des Versuches Goms. Die Bewässerung wirkte sich positiv auf verschiedene Bodeneigenschaften aus. Die chemische Verwitterung wurde durch die Bewässerung angeregt (Bildung von Tonmineralen), die mikrobiologische Aktivität und somit die Humusbildung nahmen zu und die Regen-

wurmaktivität wurde gefördert (Einarbeitung der organischen Substanz). Durch die Förderung des Pflanzenwachstums erhöhte sich auch die Bildung der unterirdischen Biomasse, was zu einer Anreicherung der bewässerten Böden mit organischer Substanz führte. Auf den seit mehreren Jahrhunderten bewässerten Flächen konnte eine Entwicklung des ohne Bewässerung standorttypischen Bodentyp Phaeozem hin zu einer mullreichen Braunerde beobachtet werden. Liniger (1983) untersuchte auch die Unterschiede zwischen der Berieselung mit Gletschermilch und mit Quellwasser. Flächen, welche mit Gletschermilch berieselt wurden, zeigten eine „Auflandung“ durch das zugeführte Material. Dadurch entstanden tiefgründigere und tonhaltigere Böden mit einer erhöhten Speicherkapazität für Nährstoffe und Wasser und die Böden erfuhren dadurch eine allgemeine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Sandige Standorte, welche mit Gletschermilch berieselt wurden, entwickelten sich zu schluffreichen Lehmen (Liniger 1983).

Eine, unter anderem durch die Bewässerung intensivierte Bewirtschaftung führte im Versuch Martisberg zu einer leichten Abnahme des Phosphorgehalts in den Böden (Jeangros & Bertola 2001). Die zweite Untersuchung der Böden in Martisberg im Jahr 2006 bestätigte, dass auf intensiven Flächen der Nährstoffgehalt und der  $C_{org}$ -Gehalt abgenommen haben (eventuell durch Erosion). Auf wenig bewässerten Flächen wurde eine Anreicherung an Kalium und Phosphor festgestellt sowie eine Zunahme der Bodenfruchtbarkeit (Volkart & Godat 2007).

Schindler Wildhaber et al. (2012) zeigten in ihrem Feldexperiment mit einem Regensimulator, dass mit zunehmender Vegetation die Bodenstruktur zu- und somit die Erosion abnimmt. Die Untersuchung zeigte, dass ein Deckungsgrad der Vegetation von 50 % im subalpinen Gebiet ausreicht, um einen 45 Grad steilen Hang zu stabilisieren und die Erosion bei Niederschlägen zu vermindern (Schindler Wildhaber et al. 2012). Vergleicht man die Technik des Berieselns mit dem Beregnen ist klar, dass das Berieseln vor allem bei unvorsichtiger Praxis das Erosionsrisiko erhöht (Volkart 2008). Forschung, um das Erosionsrisiko explizit zu untersuchen oder Erosionsrisiken in Abhängigkeit der Bewässerungstechnik beurteilen zu können, wurden bis heute keine durchgeführt. Folglich wurden auch Nährstoffverluste und -verlagerungen aufgrund von Erosion im Berggebiet noch nicht untersucht.

## 6.5. Kohlenstoff-Speicherung

Landwirtschaftlich genutzte Böden sind global ein wichtiger Kohlenstoffspeicher. Die Menge des gespeicherten Kohlenstoffes ist abhängig vom lokalen Klima, von den Standortbedingungen, von der Nutzung (Ackerbau oder Grasland) sowie von den Anbausystemen. In der Schweiz weisen Ackerböden (ohne Kunstwiesen) im Durchschnitt in den obersten 20 cm weniger als 2 % Kohlenstoff auf, unter Kunstwiesen sind durchschnittlich 2,5 % Kohlenstoff zu finden. Mit der Bodentiefe nimmt der Gehalt an organischer Substanz bei allen Nutzungen exponentiell ab. Mit zunehmender Höhe nimmt im Grasland die Kohlenstoffkonzentration zu: unter 1000 m ü. M. liegt sie durchschnittlich bei 3 %, über 1000 m ü. M. hingegen bei 6 %. Im Gebirge kann die Temperatur und/oder die Trockenheit ein steuernder Faktor für die Kohlenstoffgehalte in den Böden sein. Mit der Höhe ändern sich die Zusammensetzung und die Menge der Biomasse sowie die Abbaubedingungen aufgrund von tiefen Temperaturen und Nährstoffarmut. Die Mineralisierungsrate nimmt mit der Höhe ab und Kohlenstoff reichert sich im Boden an. Bezüglich der absoluten Menge Kohlenstoff unterscheiden sich Graslandböden im Gebirge jedoch nicht von Ackerböden, da sie flachgründiger sind und mehr Steine enthalten (Leifeld et al. 2005; Leifeld & Fuhrer 2009).

Die Landnutzung (Ackerland oder Grasland) sowie die Intensität sind zwei Faktoren, die den Prozess der Kohlenstoffspeicherung im Boden beeinflussen (Post & Kwon 2000). Conant et al. (2001) führten eine Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Graslandnutzung und der Kohlenstoffspeicherung im Boden durch. Die Analyse der Studien zeigte, dass eine Intensivierung der Graslandnutzung im Durchschnitt zu einer Zunahme des Kohlenstoffgehaltes im Boden führt. Die Auswirkungen des Nutzungssystems und der Intensivierung sind auch in den Graslandsystemen im Berggebiet zu finden. Die Kohlenstoffgehalte bis in eine Bodentiefe von 8 cm sind unter Weiden signifikant höher im Vergleich zu Wiesen. Wird jedoch das

ganze Bodenprofil betrachtet, sind die Unterschiede zwischen Weiden und Wiesen nicht mehr signifikant (Leifeld & Fuhrer 2009). Gamper et al. (2007) haben untersucht, wie sich eine Reduktion der Nutzungsintensität (Anzahl Schnitte, Düngung und Bewässerung) auf den O-Horizont (Auflagehorizont) von Böden im Berggebiet auswirkt. Eine reduzierte Nutzungsintensität führt zu einer Anreicherung des Auflagehorizonts, da der Abbau der organischen Substanz durch die erhöhten Lignin-Anteile verlangsamt wird.

Bei den vorhandenen Studien war die Bewässerung nicht Teil der Intensivierung, vielmehr wurden die Auswirkungen einer häufigeren Nutzung untersucht oder verschiedene Nutzungssysteme verglichen. Studien zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung im Alpenraum auf die C-Speicherung im Ober- und Unterboden wurden bis heute nicht durchgeführt. Da im Gebirge neben der Temperatur auch die Trockenheit ein limitierender Faktor für die Mineralisierung sein kann, ist es nicht möglich, die Ergebnisse aus alpinen Gebieten mit ausreichendem Niederschlag auf bewässerungsbedürftige Gebiete zu übertragen.

### 6.6. Einordnung des Wissens zu den Ökosystemleistungen

Das Wissen zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf **Futterquantität und Futterqualität** ist auf Parzellenebene teilweise vorhanden und wird durch laufende Forschungsprojekte ergänzt. Aus diesen Daten können die Auswirkungen auf höheren Ebenen Betrieb bis Berggebiet grob abgeschätzt werden.

Die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf die **Biodiversität** sind auf Parzellenebene ebenfalls vor allem für Pflanzen gut untersucht. Die Auswirkungen der Wiesenbewässerung (inklusive der Bewässerungstechnik) auf die faunistische Diversität werden auf Parzellenebene in laufenden Forschungsprojekten bearbeitet. Basierend auf diesen aktuellen Untersuchungen ergibt sich wahrscheinlich auch gewisser Revisionsbedarf für bestehende Handlungsanweisungen und Faktenblätter. Die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf die Biodiversität auf Ebene Betrieb bis Schweiz wurden bisher noch nicht untersucht.

Die Auswirkungen der Bewässerung auf die **Offenhaltung** marginaler Flächen wurden bisher nicht untersucht. Insbesondere die Zusammenhänge zwischen der Wiesenbewässerung, den arbeits- und betriebswirtschaftlichen Strukturen und der Nutzung von Grenzertragsstandorten sind bedeutende Wissenslücken.

Dasselbe gilt für **Bodenschutz** und **C-Speicherung**, welche vor allem auf nationaler und regionaler Ebene bedeutsam sind. Für beide wurden die Einflüsse der Wiesenbewässerung aufgrund methodologischer Schwierigkeiten noch nicht untersucht.

| Faktoren                      | Berggebiet | Region  | Gemeinde | Betrieb | Parzelle |
|-------------------------------|------------|---------|----------|---------|----------|
| Futterquantität und -qualität | [Green]    |         |          |         | [Green]  |
| Biodiversität                 | [Red]      |         |          |         | [Green]  |
| Offenhaltung                  | [Red]      |         |          |         |          |
| Bodenschutz                   | [Red]      |         | [White]  |         |          |
| Kohlenstoff-Speicherung       | [Red]      | [White] |          |         |          |

|         |               |   |
|---------|---------------|---|
| Legende | [Green]       | Wissen vorhanden                            |
|         | [Light Green] | Wissen teilweise vorhanden                  |
|         | [Yellow]      | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |
|         | [Red]         | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |
|         | [White]       | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |



## 7. Synthese

Als Folge des Klimawandels dürften der Bewässerungsbedarf und damit der Bedarf an der dafür notwendigen Infrastruktur ansteigen. Für die öffentliche Hand, welche Investitionen in Bewässerungsanlagen subventioniert, stellt sich einerseits die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung für die Berglandwirtschaft und der unterstützten Investitionen. Andererseits sind die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf Flächennutzung, die Ökosystemleistungen und die Betriebsstrukturen im Schweizer Alpenraum detailliert zu prüfen.

Mit Blick auf die kontroverse Diskussion zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung und der Beregnung im Speziellen stellt sich die grundlegende Frage, unter welchen Bedingungen eine auf die Ertragssicherung ausgerichtete Bewässerung hinsichtlich der Ziele der Agrarpolitik und des Natur- und Heimatschutzes einzuordnen ist. Für artenreiche, traditionell bewässerte Trockenwiesen stellt sich die Abgrenzungsfrage inwieweit die Bewässerung mit dem im Natur- und Heimatschutzgesetz und in der Trockenwiesenverordnung verankerten Schutzziel vereinbar ist.

### 7.1. Zusammenführung des Wissensstands zur Wiesenbewässerung

In der Vergangenheit haben sich verschiedene Forschungsprojekte und Untersuchungen mit Fragen zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung im Berggebiet befasst. Weiteres Wissen resultiert aus den im Rahmen der Bewilligung von subventionierten Bewässerungsinfrastrukturen erarbeiteten Grundlagen. Generell ist zu zahlreichen der analysierten Faktoren Wissen vorhanden, allerdings ist dieses je nach Bereich respektive je nach Betrachtungsebene sehr unterschiedlich und insgesamt als gering einzustufen (Tabelle 2).

Am besten bekannt sind die Gebiete mit Wiesenbewässerung, die Infrastruktur und die Betriebsstrukturen. So ist zum Beispiel bekannt, in welchen Kantonen Wiesen bewässert werden. Für die Gemeinden, in welchen subventionierte Bewässerungsprojekte realisiert wurden, sind Flächen und Methoden der Wiesenbewässerung bekannt. Wo Bewässerungsanlagen ohne öffentliche Unterstützung realisiert wurden, fehlen diese Grundlagen hingegen. Es kann auch nicht abgeschätzt werden, wie die bestehende Infrastruktur effektiv genutzt wird. Anhand der Literatur kann eine gute Übersicht zur Tradition der Bewässerung auf allen Ebenen, insbesondere im Kanton Wallis, gegeben werden. Das Wissen zur Eignung der Böden ist ebenfalls dann vorhanden, wenn diese im Rahmen von subventionierten Bewässerungsprojekten erhoben und untersucht wurden. Heute ist dies Bedingung für eine Unterstützung durch die öffentliche Hand. Die gesetzlichen Grundlagen für die Umsetzung der Wiesenbewässerung sind auf Bundes- und Kantonebene klar. Informationen zur Betriebsstruktur sind auf allen Ebenen für die Gesamtflächen der verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten sowie für den Anteil Voll- und Nebenerwerbsbetriebe vorhanden.

Wissen zum Angebot und zur Nachfrage nach Wasser ist für das Berggebiet vorhanden und auch für einzelne Gebiete, für welche detaillierte Studien durchgeführt wurden. Die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung ist auf Parzellenebene abgeschätzt worden. Daneben ist die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsanlagen Kriterium für deren Unterstützung durch die öffentliche Hand, wird allerdings nur relativ grob abgeschätzt. Die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf die beiden Ökosystemleistungen Futterproduktion und Biodiversität sind aufgrund der bis heute abgeschlossenen Versuche nur auf Parzellenebene bekannt und dies auch nur für eine kleine Anzahl von Flächen.

**Tabelle 2:** Übersicht über den Wissensstand zur Wiesenbewässerung im Berggebiet.

| Kapitel                               | Faktoren                           | Berg-<br>gebiet | Region  | Gemeinde | Betrieb | Parzelle | Wissens-<br>lücke |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|---------|----------|---------|----------|-------------------|
| Flächen, Tradition und Alternativen   | Flächen mit Wiesenbewässerung      | [Green]         |         |          |         |          |                   |
|                                       | Bewässerungsmethoden               | [Green]         |         |          |         |          |                   |
|                                       | Tradition der Bewässerung          | [Green]         |         |          |         |          |                   |
|                                       | Alternativen zur Bewässerung       |                 | *       | *        |         |          | 1                 |
| Grundlagen und Praxis                 | Gesetzliche Grundlagen / Vollzug   | [Green]         |         |          |         | *        | 2                 |
|                                       | Bewässerungsbedürftigkeit          | [Green]         | [Green] | *        |         |          | 3                 |
|                                       | Bew. würdigkeit / Bodeneignung     |                 |         | [Green]  |         |          |                   |
|                                       | Wassernutzungsrechte               |                 |         |          |         | [Yellow] |                   |
| Betriebsstrukturen und Flächennutzung | Betriebsstrukturen und Erwerbsform | [Green]         |         |          |         |          |                   |
|                                       | Räumliche Flächenverteilung        |                 | [Green] |          |         |          |                   |
|                                       | Wirtschaftlichkeit                 |                 |         |          | **      | [Green]  | 4                 |
|                                       | Betriebsstruktur - Bewässerung     |                 |         | *        | **      |          |                   |
| Wassernutzung                         | Wasserangebot                      | [Green]         | [Green] |          | *       |          |                   |
|                                       | Wassernachfrage                    |                 |         |          | *       |          | 5                 |
|                                       | Wassernutzungskonkurrenz           |                 | *       |          |         |          |                   |
| Ökosystemleistungen                   | Futterquantität und -qualität      |                 |         |          | *       | [Green]  |                   |
|                                       | Biodiversität                      | *               | **      |          |         | [Green]  | 6                 |
|                                       | Offenhaltung                       | *               | **      |          |         |          |                   |
|                                       | Bodenschutz                        |                 |         |          |         |          |                   |
|                                       | Kohlenstoff-Speicherung            | *               |         |          |         |          | 7                 |

| Legende | Wissensstand | [Green]       | Wissen vorhanden                            |
|---------|--------------|---------------|---|
|         |              | [Light Green] | Wissen teilweise vorhanden                  |
|         |              | [Yellow]      | Laufendes Forschungsprojekt in Wissenslücke |
|         |              | [Red]         | Wissen oder Daten sind nicht vorhanden      |
|         |              | [White]       | Wissen auf dieser Ebene nicht relevant      |
|         | Relevanz     | *             | Relevante Wissenslücke                      |
|         |              | **            | Höchst relevante Wissenslücke               |

## 7.2. Diskussion und Bewertung der Wissenslücken

Die in der Studie identifizierten Wissenslücken werden in der Folge einzeln erläutert und bezüglich ihrer Relevanz bewertet.

### Wissenslücken 1+4: Bedeutung der Wiesenbewässerung für die strukturelle und wirtschaftliche Entwicklung und Situation der Berglandwirtschaftsbetriebe

Eine grundlegende Wissenslücke besteht bei der Wirtschaftlichkeit der Wiesenbewässerung für die Berglandwirtschaft und der unterstützten Investitionen. Diese ist bis heute nicht fundiert untersucht, ebenso wie die Zusammenhänge zwischen Direktzahlungen, Wiesenbewässerung, Bewässerungstechnik, Arbeitsaufwand, Betriebsstruktur und Wirtschaftlichkeit.

Aus der Praxis ist bekannt, dass in einem Gebiet, in dem Bewässerungsinfrastruktur nachgefragt wird resp. vorhanden ist, nicht alle Betriebe auf diese angewiesen sind. Der Betriebsschwerpunkt, die Produktionsintensität, die Tierbestände, die Zusammensetzung der Betriebsflächen, die Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Arbeitszeit wie auch die Bewirtschaftungsphilosophie des Landwirts dürften den Bewässerungsbedarf beeinflussen. Aus der Ökobilanzforschung ist bekannt, dass zwischen unterschiedlichen Betriebstypen grosse Unterschiede bezüglich der ökologischen Auswirkungen der Produktion bestehen. Eine grosse Streuung der ökologischen Auswirkungen ist jedoch auch innerhalb der Betriebsgruppen mit gleichem

Schwerpunkt zu finden. Diese Streuung zeigt, dass die Strukturen die Ökobilanz eines Betriebes massgeblich beeinflussen und eine Analyse der Betriebsstrukturen mögliche Optimierungsmöglichkeiten aufdecken kann (Jan et al. 2012). Die Hypothese im Zusammenhang mit der Bewässerung ist, dass bestimmte Betriebsstrukturen den Bewässerungsbedarf der Einzelbetriebe, aber auch der Landwirtschaft in einer Region beeinflussen.

Ein wichtiger Punkt bei einer Analyse der Betriebsstrukturen und der wirtschaftlichen Auswirkungen der Bewässerung ist der Futterkreislauf: Wie hoch müssen die minimalen Futterreserven sein, um Ertragsausfälle abzufangen? Wird regelmässig Futter zugekauft? Ist es aufgrund des Tierbestandes möglich, strukturreicheres Futter zu verfüttern? Diese Fragen sind insofern relevant, als in Gebieten ohne notorische Trockenheit Futterreserven eine alternative Möglichkeit zur Wiesenbewässerung sind. Das Potential weiterer Alternativen wie eine angepasste Sortenwahl oder Weidemanagement sollten ebenfalls in Abhängigkeit der Betriebsstruktur analysiert werden.

**Relevanz:** Wissenslücken 1 und 4 betreffen relevante Fragestellungen primär auf der Ebene Betrieb mit Auswirkungen auf höheren Ebenen (Regionen, Schweiz).

### **Wissenslücken 2+6: Einfluss der Bewässerung und der Flächenverteilung der Betriebe auf die Entwicklung der Flächennutzung und der Biodiversität**

Durch eine abgestufte Bewirtschaftungsintensität ist eine standortgerechte Bewirtschaftung des Graslandes möglich und es entstehen wertvolle Lebensräume. Die Verteilung der Flächen eines Betriebes entlang des Nutzungsgradienten von extensiv bis intensiv ist abhängig von den Standorteigenschaften und der Ausrichtung des Betriebs auf die Direktzahlungen. Neben den natürlichen Rahmenbedingungen, welche eine standortspezifische Nutzungsintensität definieren, kann der Landwirt die Intensität durch Düngung, Schnittzahl oder Bewässerung steuern. Der mögliche Gradient kann gross sein und auch die Nutzungsaufgabe mit einschliessen. So sind im Wallis unbewässerte Standorte nur sehr extensiv nutzbar, was zu einer engen Kopplung der landwirtschaftlichen Nutzung an die Bewässerung führt.

Die zentrale Frage ist somit, wie sich die Wiesenbewässerung auf die Flächennutzung der Bergbetriebe und damit auf die Biodiversität auswirkt. Das Wissen über die Auswirkungen der Wiesenbewässerung auf die Voraussetzungen für die Biodiversität in einer Region ist dabei genauso elementar wie das Wissen zu den Auswirkungen der Bewässerung und unterschiedlicher Bewässerungstechniken auf die Biodiversität auf Parzellenebene. Entsprechend ist ein Upscaling des vorhandenen Wissens zum Zusammenhang zwischen Bewässerung und Biodiversität grundlegend für eine umfassende Beurteilung. Unter diesem Upscaling ist nicht eine Extrapolation der vorhandenen Daten zu verstehen, vielmehr interessieren auf der Stufe Region räumliche Muster. Der methodische Zugang unterscheidet sich, indem auf Stufe Region die Voraussetzungen für die Biodiversität anstelle der Artenzahl und -vielfalt im Zentrum stehen.

Das in verschiedenen abgeschlossenen und laufenden Forschungsprojekten generierte Wissen zu den Auswirkungen der Wiesenbewässerung und der Bewässerungsmethode auf die Biodiversität von Pflanzen ist eine wichtige Ausgangsbasis für die darauf aufbauende Forschung, welche sich mit den Zusammenhängen auf den Ebenen Betrieb und Region beschäftigt. Allerdings baut der gegenwärtige Stand des Wissens auf einer erstaunlich geringen Anzahl Beobachtungsflächen auf, was zu Unsicherheiten in der Interpretation führt. Um die Abgrenzungskriterien weiter zu verfeinern, werden in aktuellen Forschungsarbeiten im Wallis und Unterengadin wertvolle Grundlagen erarbeitet. In diesem Zusammenhang ist zusätzlich festzuhalten, dass die aktuellen wie die früher durchgeführten Versuche die Auswirkungen der Bewässerung und der Bewässerungsmethoden meist nur für kurze Zeiträume untersucht haben. Wissen zu den langfristigen Auswirkungen der Wiesenbewässerung fehlt dagegen.

**Relevanz:** Wissenslücken 2 und 6 betreffen relevante Fragestellungen über sämtliche Ebenen von der Parzelle bis zum Berggebiet mit direktem Bedarf in der Bewilligungspraxis von Strukturverbesserungsmassnahmen.

### **Wissenslücke 3: Bewässerungsbedürftigkeit auf Ebene Gemeinde-Parzelle**

Die Studie von Fuhrer und Jasper (2009) liefert einen Überblick zur Bewässerungsbedürftigkeit für die Schweiz. Die Modellsimulationen erfolgen in Tagesschritten und einer Modellauflösung von  $0,25 \text{ km}^2$  für die Zeit von 1980 bis 2006. Inputdaten waren national verfügbare Datensätze zu Klima, Umwelt und Landnutzung (Fuhrer & Jasper 2009). Diese gesamtschweizerische Übersicht ist aufgrund des Genauigkeitsgrades der Inputdaten und der verwendeten Rastergrösse jedoch nicht geeignet, um die Bewässerungsbedürftigkeit für eine Gemeinde oder einen Standort abzuleiten. Für Aussagen auf Gemeinde-, Betriebs- oder Parzellenebene müssten genauere Klima- und Bodendaten in der Modellanwendung verwendet werden (downscaling der bestehenden Modelle zur Bewässerungsbedürftigkeit). Für solch kleine Gebiete müssten die notwendigen Datengrundlagen wie zum Beispiel zu den Bodeneigenschaften, zur Landnutzung oder zum Klima zuerst generiert werden. Für die Wissenslücke sind nicht Methodenkenntnisse ausschlaggebend, sondern die zur Verfügung stehende Datenbasis.

Ein zentraler Bestandteil der Modellierung der Bewässerungsbedürftigkeit ist die Definition des anzustrebenden Ertragsniveaus, insbesondere wenn das Ziel nicht die Ertragssteigerung, sondern die Ertragsssicherung ist. In der Untersuchung von Fuhrer und Jasper (2009) wurde ein optimaler Ertrag als Zielgrösse definiert, welche sich im festgelegten Schwellenwert des Verhältnisses von Evaporation (ET) und potentieller Evapotranspiration (ETP) ausdrückt. Das anzustrebende Ertragsniveau mit dem Ziel der Sicherstellung der Futtererträge ergibt sich aus den wirtschaftlichen Bedingungen und müsste für eine regionale Anwendung des Modells im Berggebiet genauer evaluiert werden.

In den heute zu Verfügung stehenden Modellen kann die Kultur- und Sortenwahl nur begrenzt abgebildet werden. Dies limitiert die Beschreibung verschiedener Wiesentypen und somit die Verknüpfung des Modells mit einer möglichst standortgerechten Bewirtschaftung.

**Relevanz:** Die Wissenslücke 3 könnte mit angemessenem Aufwand geschlossen werden, da keine nennenswerten technisch-methodischen Schwierigkeiten bestehen. Der Aufwand für die Erarbeitung der notwendigen Datengrundlagen ist aber nicht zu unterschätzen, womit Arbeiten in diesem Bereich eng mit dem Bedarf anderer Fragestellungen gekoppelt werden sollten. Dies auch mit Blick auf die im Vergleich zu den anderen Wissenslücken tiefere Relevanz.

### **Wissenslücke 5: Wassernachfrage und Nutzungskonkurrenz**

Während die Entwicklung des Wasserangebots im Berggebiet für die nahe Zukunft zumindest abgeschätzt werden kann (BAFU 2012a), besteht bezüglich der zukünftigen Verteilung des Wassers zwischen verschiedenen Nutzern grosse Unsicherheit. Die bis heute vorhandenen Studien über die Wassernutzungskonkurrenz im Berggebiet beziehen sich auf einzelne Gemeinden oder Regionen und das Ableiten von allgemeingültigen Aussagen aus diesen Fallstudien ist schwierig. So ist zum Beispiel im von Bättig et al. (2011) untersuchten Saastal die Landwirtschaft nur von untergeordneter wirtschaftlicher Bedeutung. Bedeutsam ist insbesondere der Wasserbedarf für die Energiegewinnung, welcher gemäss Energiestrategie zunehmen wird (BFE 2012). Untersuchungen sollten deshalb neben den Klimaszenarien auch mögliche Szenarien der Energiegewinnung berücksichtigen.

Eine weitere offene Frage ist, wie sich die kleinräumig organisierten Wassernutzungsrechte im Wallis bei einer veränderten Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungskonkurrenz entwickeln werden. Die auf die Bewässerungsgebiete zukommenden Veränderungen werden einerseits durch den Klimawandel hervorgerufen, daneben werden die sich ändernden Nutzungsbedingungen eine zentrale Rolle spielen. Es ist zu

erwarten, dass die an der Universität Basel laufende Dissertation zur Organisation der Wassernutzungsrechte Antworten auf diese Frage liefern wird.

**Relevanz:** Wissenslücke 5 betrifft wichtige Fragestellungen für die Planung und Organisation von Bewässerungsprojekten. Aufgrund der regional grossen Unterschiede ist es effizient, Fragen zum Wasserangebot und zur Nutzungskonkurrenz in Verbindung mit Projekten zu weiteren Fragestellungen zu bearbeiten.

### Wissenslücke 7: Bodenschutz und Kohlenstoff-Speicherung

Im Bereich der Ökosystemleistungen sind für die Bereiche Bodenschutz und Kohlenstoffspeicherung im Gegensatz zu Futterproduktion und Biodiversität keine Grundlagen vorhanden, auf welchen aufgebaut werden könnte. Wissen zum Zusammenhang zwischen der Wiesenbewässerung und der Offenhaltung könnte bei der Analyse der Flächennutzung erarbeitet werden.

**Relevanz:** Wissenslücke 7 betrifft auf regionaler und nationaler Ebene zentrale Fragen. Da im Moment die Untersuchungsgrundlagen fehlen, wäre es wichtig, diese zu entwickeln, um konkrete Fragestellungen auf diesen Grundlagen bearbeiten zu können.

### 7.3. Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Wissensstand zur Wiesenbewässerung im Berggebiet aufzuarbeiten und zu dokumentieren und Wissenslücken zu identifizieren. Die Zusammenstellung der Wissenslücken zeigt, dass insbesondere auf den **Ebenen Betrieb bis Region** eine Einordnung der Wiesenbewässerung in den Gesamtkontext der Berglandwirtschaft fehlt. Im Bereich zwischen Betrieb und Region lässt sich die **Landschaftskammer** einordnen, unter welcher wir ein Gebiet mit einheitlichem Landnutzungsmosaik und gleichen pedo-klimatischen Bedingungen verstehen. Die Landschaftskammer ist für verschiedene ökologische Prozesse eine zentrale Skalengrösse, da sich aus Landnutzung und Umweltbedingungen auch ein einheitliches Lebensraummosaik herausbildet. Die Wissenslücken 1, 3, 4, 5 und 6 wurden unter anderem für die **Ebene der Landschaftskammer** identifiziert. So ist das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Betriebsstruktur und Bewässerung für eine Beurteilung auf Ebene der Landschaftskammer unumgänglich, fehlt heute jedoch gänzlich (**Wissenslücke 4**). Auch die ökologischen Auswirkungen der Bewässerung sind auf Parzellenebene teilweise bekannt, dieses Wissen kann jedoch nicht für die Ebene der Landschaftskammer abstrahiert werden (**Wissenslücke 6**). Die Wissenslücken 4 (Ökonomie) und 6 (Ökologie) sind durch die räumliche Flächenverteilung eines Betriebes miteinander verbunden: Wie ist der Zusammenhang zwischen Bewässerung und Flächenbewirtschaftung (Verteilung des Graslandes nach Intensitätsstufen), und wie wirkt sich diese auf die Biodiversität in einer Landschaftskammer aus? Wie beeinflusst die Bewässerung produktiver Standorte die Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Tieren für die Nutzung von Grenzertragsstandorten? Wie hängt die Bewässerung (realisiert und erwünscht) mit der Betriebsstruktur zusammen und wie wirken sich diese Zusammenhänge auf die Flächenverteilung und die wirtschaftliche Situation der Betriebe aus?

Auch für Wissen zur Wassernutzung (**Wissenslücke 5**) ist die Ebene der Landschaftskammer bedeutend, wenn auch nicht nur. Infrastrukturvorhaben werden häufig überbetrieblich oder über mehrere Gemeinden geplant, welche aufgrund der Bewirtschaftung derselben Landschaftskammer ähnliche Bedürfnisse haben.

Unabhängig von der Ebene der Landschaftskammer und vom Bewässerungskontext müsste mehr Wissen zu Alternativen zur Bewässerung, um Trockenheitsprobleme zu lösen, geschaffen werden (**Wissenslücke 1**). Diese Forderung deckt sich mit der Klimastrategie des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW 2011b).

Wissenslücken auf der Ebene Betrieb-Parzelle (**Wissenslücke 2 und 3**) sind weniger entscheidend, da diese Ebenen erst in ihrer Gesamtheit auf Ebene der Landschaftskammer relevant für Entscheidungen zur Projektfinanzierung oder zur Ausrichtung der Strukturverbesserungsmassnahmen sind. Zudem wäre das



Generieren oder Sammeln der Daten, zum Beispiel zur Bewässerungsbedürftigkeit auf Parzellenebene, sehr aufwändig und nur im Bedarfsfall sinnvoll.

Für die **Wissenslücke 7** fehlt eine Wissens- und Datenbasis, auf welcher aufgebaut werden könnte.

In Gesprächen mit Personen mit starkem Praxisbezug hat sich gezeigt, dass im Zusammenhang mit der Bewässerung und der Nachfrage nach der notwendigen Infrastruktur neben dem Ziel der Ertragssicherung auch persönliche Einstellungen eine wichtige Rolle spielen, gerade auch was die Produktionsintensität betrifft. Wie intensiv ein Landwirtschaftsbetrieb bewirtschaftet wird, hängt oft weniger von den Rahmenbedingungen als von den Einstellungen und Entscheidungen des Landwirts ab. Dieser Punkt der individuellen Einstellungen und Entscheide ist schwierig fassbar, doch scheint er in der einzelbetrieblichen Bewertung wichtig zu sein.

Im Sinne einer breiteren Einordnung ist abschliessend festzuhalten, dass die Produktion von Nahrungsmitteln und die Erhaltung der Biodiversität beides landwirtschaftliche Leistungen sind, welche mit öffentlichen Mitteln gefördert werden. Ein erfolgreiches Nebeneinander dieser Ziele ist Kern der multifunktionalen Ausrichtung der Schweizer Landwirtschaft. Die Stärken der Berglandwirtschaft liegen in einer eng mit der Flächennutzung gekoppelten Ökologie, indem in keinem anderen landwirtschaftlich genutzten Gebiet der Schweiz eine so grosse Lebensraumvielfalt und Vielzahl landwirtschaftlicher Strukturen wie im Berggebiet vorliegt.

Die Produktion ist aufgrund der Umweltbedingungen im Berggebiet durch natürliche Faktoren limitiert. Da Investitionen in die Wiesenbewässerung unter Umständen Zielkonflikte zwischen Eigenversorgung, dezentraler Besiedlung und Erhaltung der Biodiversität und der Landschaftsvielfalt verstärken können, ist in der Planung von Bewässerungsinfrastruktur die Multifunktionalität der Berglandwirtschaft räumlich umfassend zu berücksichtigen, was unter anderem eine klare Priorisierung der Flächen nach ihrer Hauptfunktion voraussetzt. Diese Priorisierung kann aber nicht nur auf Parzellenebene erfolgen, sondern muss mit Blick auf die Voraussetzungen für die multifunktionalen Leistungen der Berglandwirtschaft die nächst höheren Ebenen der Landschaftskammer oder Region zwingend miteinbeziehen.

## 8. Literatur

- Amt für Natur und Umwelt (2007). Bewässerungen der landwirtschaftlichen Nutzflächen. Vorgehen im Sommer 2007. *Bündner Bauer*.
- Amt für Natur und Umwelt (2003). Merkblatt für die Gemeinden: Wasserbezug aus Gewässern. Chur.
- Arlettaz, R., Humbert, J.Y, Andrey, A. & Buri P.(2012) *Grassland management: designing tomorrow's farmland for biodiversity*. Rapport intermédiaire, Université de Berne, Bern.
- BAFU (2012a). Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer – Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). *Umwelt-Wissen*, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2012b). Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz. Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“ (Postulat 10.353 von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010). Bundesamt für Umwelt, Bern.
- BAFU (2012c). Strategie Biodiversität Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Bättig, M., Rom, N. & Dettli, R. (2011). *Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet. Fallstudie Saastal* (Schlussbericht). Zürich.
- Bätzing, W. (2003). *Die Alpen: Geschichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft*. C.H. Beck, München.
- Bauernverein Domleschg (2007). *Flächendeckende Bewässerung Domleschg*.
- Bauernverein Domleschg (2008). *Bewässerung, Kosten und Wirtschaftlichkeit*.
- Baur, P. (1999). *Agrarstrukturwandel in der Schweiz. Eine theoretische und empirische agrarökonomische Analyse anhand von aggregierten Daten für die Schweizer Landwirtschaft 1939-1990 und von einzelbetrieblichen Daten für die Zürcher Landwirtschaft 1990-1996*. ETH Zürich Diss 23120.
- Baur, P., Bebi, P., Gellrich, M. & Rutherford, G. (2006). *WaSAp–Waldausdehnung im Schweizer Alpenraum: eine quantitative Analyse naturräumlicher und sozio-ökonomischer Ursachen unter besonderer Berücksichtigung des Agrarstrukturwandels*. Schlussbericht zu Händen des Schweizerischen Nationalfonds.
- BFE (2012). *Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050*. Bundesamt für Energie, Bern.
- BFS (2010). *Statistik Schweiz - Indikatoren*. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BFS (2012). *Landwirtschaftliche Betriebszählung: Zusatzerhebung 2010*. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BLW (2003). *Agrarbericht 2003*. Bundesamt für Landwirtschaft. Bern.
- BLW (2007). *Stand der Bewässerung in der Schweiz. Bericht zur Umfrage 2006*. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- BLW (2011a). *Agrarbericht 2011*. Bundesamt für Landwirtschaft. Bern.
- BLW (2011b). *Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft*. Bundesamt für Landwirtschaft. Bern.
- BLW (2012). *Weisungen und Erläuterungen zur Verordnung über die Strukturverbesserungen in der Landwirtschaft*. Bundesamt für Landwirtschaft, Bern.
- Born, B. (1984). *Einfluss der Wiesenbewässerung auf die Vegetation. Aletschgebiet- Wallis*. Geographisches Institut Universität Bern, Bern.
- Bräm, E. (2005). *Ftan: Eignung der Böden für die Bewässerung*.
- Britschgi, A., Spaar, R. & Arlettaz, R. (2006). Impact of grassland farming intensification on the breeding ecology of an indicator insectivorous passerine, the Whinchat *Saxicola rubetra*: Lessons for overall Alpine meadowland management. *Biological Conservation*, 130, 193–205.

- Bundi, M. (2000). *Zur Geschichte der Flurbewässerung im Rätischen Alpengebiet*. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur.
- Bundi, M., Clavadetscher, J. & Rodewald, R. (2009). *Flurbewässerung im Münstertal*. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur.
- Calame, F., Troxler, J. & Jeangros, B. (1992). Bestimmung der Wassermenge für eine optimale Beregnung von Naturwiesen im Goms (Oberwallis). *Landwirtschaft Schweiz*, 5, 181–187.
- Cardinale, B.J., Duffy J.E., Gonzalez A. et al. (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:7401, 59–67.
- Carlen, C. (1989). *Die Auswirkungen der Beregnung auf die botanische Zusammensetzung von Naturwiesen im Goms* (Diplomarbeit).
- CH2011. (2011). *Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC*. Zürich.
- Chaix, O. & Wehse, H. (2007). *Beschreibung und Analyse von Fallbeispielen zum integralen Einzugsgebiets-Management (IEM)*. BG Ingenieure & Berater AG, Bern.
- CHy (2011). *Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung - Synthesebericht*. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie & Hydrologische Kommission, 28.
- Clavadetscher, J. (2009). Heutige Überreste der Auas - Inventarisierung 2004-2008. In: *Flurbewässerung im Münstertal*. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur.
- Conant, R.T., Paustian, K. & Elliott, E.T. (2001). Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11, 343–355.
- Crook, D.S. (2001). The Historical Impacts of Hydroelectric Power Development on Traditional Mountain Irrigation in the Valais, Switzerland. *Mountain research and development*, 21, 46–53.
- Crook, D.S. & Jones, A.M. (1999). Design principles from traditional mountain irrigation systems (Bisses) in the Valais, Switzerland. *Mountain Research and Development*, 79–99.
- Darnuzer, U. (2005). Von der Gesamtmelioration zur Biosphäre (Biosfera): die Gesamtmelioration Val Mus-tair als Motor der regionalen Entwicklung. *Geomatik Schweiz*, 103, 566.
- Dietl, W. (1995). Wiesen und Weiden im Berggebiet. *Montagna*, 1–8.
- Dietl, W., Lehmann, J. & Jorquera, M. (1998). *Wiesengräser*. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen.
- Dipner, M., Volkart, G., Godat, S., Urech, M. & Schärrier, S. (2008). Entwicklung von Walliser Steppen seit Mitte des 20. Jahrhunderts. *Trockenwiesen- und weiden der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Dipner, M., Volkart, G. et al. (2010). Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung. Vollzugshilfe zur Trockenwiesenverordnung. *Umwelt-Vollzug* 1017, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Dobremez, L., Nettièr, B., Coussy, J.L. & Romagny, T. (2011). Attitudes of livestock farmers and sensitivity of livestock farming systems to drought conditions in the French Alps. *Journal of Alpine Research*, 15.
- Duelli, P. & Obrist, M. K. (2003) Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98, 87–98.
- Flury, A. (1986). *Erfolgskontrolle von Güterzusammenlegungen: Erfolgskontrolle an durchgeführten Strukturverbesserungen, insbesondere Güterzusammenlegungen im schweizerischen Berggebiet*. vdf Verlag Zürich.
- Flury, C., Zimmermann, A. & Mack, A. (2012). *Auswirkungen der Agrarpolitik 2014-2017 auf die Berglandwirtschaft. Bericht Forschungsprogramm AgriMontana*. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J. & Vidale, P.L. (2006). Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111, D06105.
- Fritsch, M. (2004). *Agrarpolitik (AP 2007) - Regionalpolitik (NRP). Abklärung der Anwendungsmöglichkeiten integraler Strukturverbesserungsmassnahmen für regionale Entwicklungsprojekte. Bedürfnisanalyse*.

Schlussbericht. ETH, Zürich.

- Fuhrer, J. (2010a). Bewässerungsbedürftigkeit heute und in Zukunft. *Geomatik Schweiz*, 10, 2.
- Fuhrer, J. (2010b). *Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft*. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Fuhrer, J. (2012). *Bewässerungsbedarf und Wasserangebot unter heutigen und künftigen Klimabedingungen*. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Fuhrer, J. & Jasper, K. (2009). *Bewässerungsbedürftigkeit in der Schweiz. Schlussbericht zum Projekt BB-CH*. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich.
- Furrer, G. & Freund, R. (1975). Bewässerung im Kanton Graubünden. *Geographica Helvetica*, 153–165.
- Gamper, S.M., Tasser, E. & Tappeiner, U. (2007). Short-time effects of land-use changes on O-horizon in subalpine grasslands. *Plant and Soil*, 299, 101–115.
- Gellrich, M. & Zimmermann, N.E. (2007). Investigating the regional-scale pattern of agricultural land abandonment in the Swiss mountains: a spatial statistical modelling approach. *Landscape and Urban Planning*, 79, 65–76.
- Göpfert, R. (2007). *Ermittlung der Bewässerungsbedürftigkeit Landwirtschaftlicher Nutzflächen im Kanton Graubünden*. Chur.
- Göpfert, R., Rüedi, H. & Elmer, R. (2009). Klimawandel und Landwirtschaft. *Umwelt-Info*, 1, 42–47.
- Grubinger, H. (1965). *Wasserwirtschaftliche Beurteilung und Empfehlungen für die Entwicklungspläne der Bezirke Goms und Oestl. Raron. Kurzbericht*.
- Hahn, F. (2004). *Künstliche Beschneidung im Alpenraum - ein Hintergrundbericht*. CIPRA International, Schaan.
- Hedinger, C. & Eggenberg, S. (2008). Das Inventar der Trockenwiesen und -weiden. Erster Schritt zur Erhaltung eines nationalen Schatzes. *Hotspot*, 18, 4–5.
- Huber R., Iten A., Briner S. (2012). Weiterentwicklung des Direktzahlungssystems: Auswirkungen auf die Landnutzung im Berggebiet, *Agrarforschung* 3, 354-359.
- Ingenieurbüro Cavigelli und Partner (2008). *Bewässerung Domleschg. Vorstudie*.
- Jan, P., Dux, D., Lips, M., Alig, M. & Dumondel, M. (2012). On the link between economic and environmental performance of Swiss dairy farms of the alpine area. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1–14.
- Jeangros, B. & Bertola, C. (2000). *Effets de l'arrosage sur la végétation des prairies de fauche de la région de Martisberg (Haut-Valais)* (Schlussbericht).
- Jeangros, B. & Bertola, C. (2001). Auswirkung der Beregnung auf Dauerwiesen einer Bergregion. *Agrarforschung*, 8, 174–179.
- Kindschi, J. (2010). *Bewässerungsbetriebsplan. Gesamtmelioration Sent*. Kindschi - Indschegnere Geometers, Scuol.
- Lauber, S. (2006). *Agrarstrukturwandel im Berggebiet. Ein agentenbasiertes, räumlich explizites Agrarstruktur- und Landnutzungsmodell für zwei Regionen Mittelbündens*. ART-Schriftenreihe 2. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- Leifeld, J., Bassin, S. & Fuhrer, J. (2005). Carbon stocks in Swiss agricultural soils predicted by land-use, soil characteristics, and altitude. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105, 255–266.
- Leifeld, J. & Fuhrer, J. (2009). Long-term management effects on soil organic matter in two cold, high-elevation grasslands: clues from fractionation and radiocarbon dating. *European Journal of Soil Science*, 60, 230–239.
- Leithold, A. (2011). Multifunktionale Landwirtschaft–Eine ökonomische Analyse von extensiven Bewirtschaftungsmassnahmen zur Offenhaltung der Kulturlandschaft. *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*, 20, 65–74.
- Liniger, H. (1983). *Veränderung des Bodens im Aletschgebiet (VS) durch die traditionelle Wiesenbewässerung*.

- ung (Diplomarbeit). Geographisches Institut Universität Bern, Bern.
- Mann, S., Zimmermann, A., Möhring, A., Ferjani, A., Mack, G. & Lanz, S. (2012). Welche Auswirkung hat die Umlagerung der tierbezogenen Direktzahlungen? *Agrarforschung*, 3, 284–291.
- Meier, R. (1990). *Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen der Wiesen von Martisberg (VS)* (Lizentiatsarbeit). Systematisch-geobotanisches Institut Universität Bern, Bern.
- MeteoSchweiz (2005). MeteoSchweiz - Klimadiagramme und -normwerte an Stationen.
- Meyer, S., Leifeld, J., Bahn, M. & Fuhrer, J. (2011). Free and protected soil organic carbon dynamics respond differently to abandonment of mountain grassland. *Biogeosciences Discuss*, 8, 9943–9976.
- Müller, M., Spaar, R., Schifferli, L. & Jenni, L. (2005). Effects of changes in farming of subalpine meadows on a grassland bird, the whinchat (*Saxicola rubetra*). *Journal of Ornithology*, 146, 14–23.
- Nievergelt, J. (1986). *Definition Ertragssicherung, Anwendung im Projekt Flaach*. FAP Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Zürich-Reckenholz.
- Papilloud, J.-H. (2000). Das Epos der Suonen. In: *Die Suonen des Wallis*. Rotten-Verlag, Visp.
- Pearson, S., Schiess-Bühler, C., Hedinger, C., Martin, M. & Volkart, G. (2006). *Bewirtschaftung von Trockenwiesen und -weiden*. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Peratoner, G., Gottardi, S., Figl, U., Kasal, A., Bodner, A. & Thalheimer, M. (2009). Einfluss der Beregnung auf Futterertrag und -qualität von Bergwiesen in Südtirol. In: *Futterbau und Klimawandel: Grünlandbewirtschaftung als Senke und Quelle für Treibhausgase. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau*, 135–138.
- Pezzatti, M.G. (2001). *Einfluss der Erschliessung auf die Agrarstrukturen im Alpenraum:—eine agrarökonomische Analyse am Beispiel von vier Regionen in der Schweiz*. ETH Zürich, Diss 24031.
- Post, W.M. & Kwon, K.C. (2000). Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global change biology*, 6, 317–327.
- ProClim (2005). *Hitzesommer 2003. Synthesebericht*.
- Pronat AG (1991). *Bericht zur Umweltverträglichkeit Teil Flora und Fauna. Gesamtmelioration Ried-Mörel*.
- Reist, T. & Weingartner, R. (2005). Niederschlag. In: *Hydrologie der Schweiz - Ausgewählte Aspekte und Resultate*. Bern.
- Reynard, E. (2002a). Hill irrigation in Valais (Swiss Alps). Recent evolution of common-property corporations. *Farmer Managed Irrigation Systems in the Changed Context, Proceedings of the Second International Seminar held on 18-19 April 2002, Kathmandu, Nepal, Farmer Managed Irrigation Systems Promotion Trust*, 343–361.
- Reynard, E. (2002b). Agriculture irriguée et tourisme de randonnée en Valais. Le cas du Bisse d'Ayent. *L'eau dans tous ses états. Lausanne, Institut de Géographie, Travaux et Recherches*, 22, 73–94.
- Reynard, E. (2004). Governance of Farmer Managed Irrigation Corporations in the Swiss and Italian Alps: issues and perspectives. In: *P Pradhan, P. and U. Gautam (eds), Farmer Managed Irrigation Systems and Governance Alternatives*, 9–10.
- Riedener, E., Rusterholz, H.-P. & Baur, B. (2012) Effects of different irrigation systems on the biodiversity of species-rich hay meadows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 62–69.
- Rieder, P. & Anwander Phan-huy, S. (1994). *Grundlagen der Agrarmarktpolitik*. 4., vollständig überarbeitete Aufl. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich.
- Rodewald, R. (2009). Renaissance der historischen Wasserleitungen? In: *Flurbewässerung im Münstertal*. Verlag Bündner Monatsblatt, Chur.
- Rubin, H.-A. (1993). *Bewässerungsbedürftigkeit im Oberwallis. Bestimmung der Grenzhöhen* (erläuternder Bericht), Amt für Strukturverbesserung, Sion.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A., et al. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332–336.
- Schindler Wildhaber, Y., Bänninger, D., Burri, K. & Alewell, C. (2012). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena*, 91, 56–62.



- Schneider, M. (2011). *Realexperiment Sent. 3. Zwischenbericht nach Auswertung der Erstaufnahme der Heuschrecken*. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Schneider, M., Elmer, R. & Stäheli, B. (2009). *Abgestufte Bewirtschaftungsintensität im Naturfutterbau*. Merkblatt No. 11. Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaus AGFF, Zürich.
- Schneider, M., Huguenin-Elie, O. & Lüscher, A. (2012). Extensives Grasland im Schweizerischen Tal-, Berg- und Alpengebiet: Herausforderungen und Lösungsansätze. In: *17. Alpenländisches Expertenforum - Bedeutung und Nutzen von Extensivgrünland*, 17-20.
- Schorer, M. (2000). *Klimaänderung Schweiz. Trockenheit in der Schweiz. Workshopbericht* (Workshopbericht).
- Schubiger, F.X., Dietl, W. & Bosshard, H.-R. (1999). Nährwert von Futterpflanzen und Weiden des Berggebietes. *Montagna*, 1–8.
- Schweizerische Vogelwarte Sempach (2008). *Wiesen-Bewässerung - ein Problem für Kulturlandvögel. Standpunkt der Schweizerischen Vogelwarte Sempach*.
- Spinatsch, B. (2008). *Abklärungen zum Bewässerungsregime. Flächendeckende Bewässerung Domleschg*.
- Spörri, M. (2011). *Economic Efficiency of Irrigation Strategies for Arable Crops under Current and Future Climate Scenarios* (Bachelor Thesis). ETH, Zürich.
- Stauffer, J. (1989). *Wasser-Fall Graubünden Wege, Umwege, Abwege*. M&T-Helvetica, Chur.
- Stöcklin, J., Bosshard, A., Klaus, G., Rudmann-Maurer, K. & Fischer, M. (2007). *Landnutzung und biologische Vielfalt in den Alpen*. vdf Hochschulverlag, Zürich.
- suissemelio (2010). Meliorationen - suissemelio  
[<http://www.suissemelio.ch/de/6635/6834/meliorationen.html>]
- suissemelio (1994) Förderung und Gestaltung des ländlichen Raumes, Konferenz der Amtsstellen für Meliorationswesen.
- Tasser, E. & Tappeiner, U. (2002). Impact of land use changes on mountain vegetation. *Applied Vegetation Science*, 5, 173–184.
- Trnka, M., Bartošová, L., Schaumberger, A., Ruget, F., Eitzinger, J. & Formayer, H. (2011). Climate Change and impact on European grasslands. *Grassland Science in Europe*, 39–51.
- Troxler, J., Jeangros, B. & Calame, F. (1992). Einfluss der Beregnung auf den Pflanzenbestand, den Fut-  
terertrag und den Nährwert von Naturwiesen im Goms (Oberwallis). *Landwirtschaft Schweiz*, 5, 109–116.
- Volkart, G. (2008). *Trockenwiesen- und Weiden. Bewässerung*. Bundesamt für Umwelt, Bern und Agridea, Lindau.
- Volkart, G. & Dipner, M. (2005). *Trockenwiesenpost. Informationsbulletin des Projektes Trockenwiesen und -weiden der Schweiz* ( No. 1). Trockenwiesenpost.
- Volkart, G. & Godat, S. (2007). *Effets de l'arrosage sur la végétation de l'herbage 1988-2006. Analyse de la végétation après réintroduction de l'arrosage il y a 18 ans à Martisberg, Haut-Valais*.
- Walter, T., Eggenberg, S., Gosneth, Y. & Fivaz, F. (2012). Konkrete Umweltziele für die Landwirtschaft: Ist- und Soll-Zustand der Biodiversität im Kulturland. *Hotspot*, 25, 12–15.
- Wellig, M. (2000). Das Untergoms. In: *Die Suonen des Wallis*. Rotten-Verlag, Visp.
- Zurwerra, R. (2010). Die Wiesenbewässerung im Wallis - zwischen Tradition und Moderne. *Geomatik Schweiz*, 454–457.