

# ERMITTLUNG DER BEWÄSSERUNGSBEDÜRFTIGKEIT LANDWIRTSCHAFTLICHER NUTZFLÄCHEN IM KANTON GRAUBÜNDEN

PRAKTIKUMSARBEIT  
VON  
REBECCA GÖPFERT



Auftraggeber:  
Bündner Bauernverband  
Landwirtschaftliches Bildungs- und Beratungszentrum Plantahof  
Amt für Landwirtschaft und Geoinformation des Kantons Graubünden

Chur, Januar 2007

Betreuung: Dipl. Ing. Agr. ETH Reto Elmer  
Dipl. Ing. ETH Hanspeter Rüedi  
Dipl. Ing. ETH/SIA Daniel Buschauer

## Vorwort

Die Trockenperioden in unserem Kanton scheinen sich in den letzten Jahren zu häufen. Die letzten grösseren Dürreperioden im 20. Jahrhundert traten in den Jahren 1947, 1949 und 1976 auf. Im 21. Jahrhundert nun waren Graubünden und insbesondere die Südtäler des Kantons in den drei aufeinander folgenden Jahren 2003, 2004 und 2005 von starker Trockenheit geprägt.

Das Wissen über künftige Klimaveränderungen mit zunehmenden Trockenperioden ist noch sehr beschränkt. Was Niederschlagsmengen und –häufigkeit anbetrifft, wird sowohl aufgrund der Trends im 20. Jahrhundert als auch infolge von Modellrechnungen erwartet, dass die Niederschläge im Winter zunehmen werden. Für das Sommerhalbjahr, das für Dürren hauptsächlich massgebend ist, liegen jedoch keine einheitlichen Trends vor. Grössere Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von Dürreperioden scheinen infolge bekannter Prozesse durchaus möglich. So deuten verschiedene Modellrechnungen auf eine in Zukunft verstärkte sommerliche Bodentrockenheit in Zentral- und Südeuropa hin. Betroffen von längeren und häufigeren Trockenperioden wäre neben der Wald-, Elektrizitäts- und Wasserwirtschaft insbesondere die Landwirtschaft.

Der Bündner Bauernverband hat in den letzten Dürrejahren jeweils Futteraktionen für die betroffenen Bauern organisiert oder unterstützt. Langfristig ist das keine befriedigende Lösung. Der Bündner Bauernverband hat daher die Initiative ergriffen, eine Projektstudie in Auftrag zu geben, um die relevanten Parameter zu erfassen und um klare Aussagen machen zu können, wo Bewässerungsanlagen in unserem Kanton notwendig, sinnvoll und möglich sind.

Mit dieser Projektstudie wird keine Ertragssteigerung, sondern vielmehr die Ertragssicherheit angestrebt. Die Bewässerung soll die grossen Ertragsschwankungen der verschiedenen Jahre ausgleichen. Das gibt den Bauern Sicherheit, dass sie trotz trockener Jahre eine gute Futterbasis haben. Bei der Planung der Bewässerungsperimeter werden nur geeignete Standorte miteinbezogen, damit die Bewässerung effizient, wassersparend und wirtschaftlich ist. Weniger geeignete Standorte sollen nicht bewässert werden. Damit wollen wir auch der Artenvielfalt von Flora und Fauna Rechnung tragen.

Der Bericht „Ermittlung der Bewässerungsbedürftigkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen im Kanton Graubünden“ liegt nun vor. Er wird dem Bündner Bauernverband und den zuständigen kantonalen Amtsstellen wertvolle Grundlagen liefern, um Bewässerungsprojekte in unserem Kanton konkret umzusetzen. Für die kompetente Erarbeitung des Berichtes danke ich Frau Rebecca Göpfert, Praktikantin, ganz herzlich. Besten Dank auch den Herren Hanspeter Rüedi, Leiter der Abteilung Strukturverbesserungen des ALG und Reto Elmer, Fachstelle für Futterbau am LBBZ Plantahof, für die wertvolle Unterstützung.

Hansjörg Hassler  
Präsident des Bündner Bauernverbandes

## **Dank**

Die vorliegende Arbeit hätte ohne die Unterstützung vieler Personen und Institutionen nicht realisiert werden können. Für die Initialisierung des Projektes, die Bereitstellung der finanziellen Mittel und der Infrastruktur bedanke ich mich beim Bündner Bauernverband und dem Kanton Graubünden. Bei folgenden Personen möchte ich mich speziell bedanken:

Bei Hanspeter Rüedi und Aurelio Casanova, Amt für Landwirtschaft und Geoinformation Kanton Graubünden und Reto Elmer, Landwirtschaftliches Bildungs- und Beratungszentrum Plantahof, möchte ich mich für die Ermöglichung dieses Projektes bedanken. Daniel Buschauer danke ich für die hilfreichen Anregungen in Fachfragen und Natalia Schmid möchte ich für die kritische Durchsicht der Arbeit danken. Armin Oswald danke ich für die Hilfeleistungen bei den GIS - Anwendungen. Bei Moreno Bonotto möchte ich mich für die grosse Unterstützung, die er mir während der Erstellung der Arbeit entgegengebracht hat, ganz herzlich bedanken. Allen Mitarbeitern des ALG möchte ich für die schöne Zeit und die Mithilfe beim Gelingen der Arbeit danken.

Des Weiteren möchte ich mich bei Hans-Anton Rubin, Dienststelle für Landwirtschaft, Amt für Strukturverbesserungen im Kanton Wallis für die hilfreichen Erläuterungen zum Vorgehen bei der Bewässerungsbedürftigkeitsabklärung im Kanton Wallis bedanken.

Für die angenehme Zusammenarbeit möchte ich mich bei den Mitarbeitern von MeteoSchweiz, insbesondere bei Jürg Brändli, bedanken.

Dank gebührt auch Jakob Nievergelt von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz - Tänikon, der mit seinem Fachwissen und seiner langjährigen Erfahrung vieles zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Beim Amt für Informatik, insbesondere bei Thomas Fausch, möchte ich mich für die unkomplizierte und schnelle Lösung der Problemstellung und die Programmierarbeit bedanken.

Andreas Schild vom Bundesamt für Landwirtschaft möchte ich für die wertvolle Unterstützung während der Arbeit danken.

Bei Dietmar Grebner und dem ganzen Team der Meteodat GmbH möchte ich mich für die Beratung und die gute Zusammenarbeit recht herzlich bedanken.

Zum Abschluss möchte ich allen danken, die in irgendeiner Form zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

## **Zusammenfassung**

Die Sommertrockenheit der vergangenen Jahre (2003 - 2005) stellte für manchen Landwirt im Kanton Graubünden ein grosses Problem dar. Wie der Hitzesommer 2003 speziell deutlich zeigte, sind in der Landwirtschaft Ernteerträge direkt vom Wetter, respektive den regionalen klimatischen Bedingungen abhängig. So führten die hohen Temperaturen in Kombination mit wenig Niederschlag zu massiven Ertragseinbussen.

Regionale Klimaszenarien zeigen, dass das zukünftige Klima nicht nur zu einer Erhöhung der Temperaturmittelwerte führen kann, sondern auch zu grösseren Schwankungen der sommerlichen Temperaturmittelwerte. In einigen Jahrzehnten könnten sehr heisse Sommer eher die Regel als die Ausnahme darstellen (Schär et al. 2004). Um diesen möglicherweise vermehrt auftretenden Dürreperioden zu begegnen und insbesondere den damit verbundenen, grossen Ertragsausfällen vorzubeugen, sah sich der Bündner Bauernverband veranlasst, im Rahmen einer Projektstudie die Bewässerungsbedürftigkeit der verschiedenen Regionen im Kanton Graubünden abzuklären.

In der vorliegenden Untersuchung wurden Klimadaten des Kantons Graubünden zusammengestellt und ausgewertet. Die Evapotranspiration konnte für die acht Stationen Chur, Davos, Disentis, Hinterrhein, Magadino, Robbia, Samedan und Scuol berechnet werden (Kap 6). Mit den Niederschlagsdaten und der berechneten Evapotranspiration liess sich dann für jede Station die Wasserbilanz und die Deckung des Wasserbedarfs von landwirtschaftlichen Kulturen auf zwei Modell-Bodentypen ermitteln. Des Weiteren wurden die Sommermaxima des Wasserdefizits pro Jahr ausgewertet. Diese Daten dienen als Grundlage für die Entscheidung der Bewässerungsbedürftigkeit. Beträgt ein Ertragsausfall infolge ungünstiger Jahreswitterung mehr als ein Drittel einer Normalernte, so liegt er ausserhalb der üblichen, witterungsbedingten Ertragsschwankungen und wird als übermässige, witterungsbedingte Ertragsreduktion taxiert. Falls derartige Ertragsreduktionen mindestens jedes dritte Jahr nachgewiesen werden können, so ist eine Ertragssicherung durch Bewässerung angezeigt (Nievergelt 1986). Als Mass für die witterungsbedingte Trockenheit wurde festgelegt, dass auf Böden mit 30 - 50 mm Wasserspeichervermögen ohne Beregnung bei einem Wasserdefizit von mehr als 70 mm mit unüblichen Ertragseinbussen gerechnet werden muss.

Aufgrund dieser Definitionen stellte sich heraus, dass die Stationen Chur, Samedan und Scuol eine klare Bewässerungsbedürftigkeit aufzeigen. Deutlich nicht bewässerungsbedürftig sind die Stationen Davos, Disentis, Hinterrhein und Magadino. Die Station Robbia ist gemäss Definition nicht bewässerungsbedürftig. Sie liegt jedoch sehr nahe an der Grenze zur Bewässerungsbedürftigkeit.

Um Aussagen über die Bewässerungsbedürftigkeit des ganzen Kantons machen zu können, wurden in einem ersten Schritt die mittleren Niederschlagswerte von April bis September der Jahre 1985 - 2004 von 59 Stationen über den ganzen Kanton interpoliert. In einem zweiten Schritt wurden die mittlere Evapotranspiration von April bis September derselben Zeitspanne der acht genannten Stationen über den ganzen Kanton interpoliert. Die Interpolation wurde von der Firma Meteodat GmbH vorgenommen. Als Resultat liegen nun eine Niederschlags- und eine Evapotranspirationskarte in einem 2 km Raster vor. Aus der Überlagerung der Niederschlags- und der Evapotranspirationskarte ergibt sich eine mittlere Wasserbilanz von April bis September über die Jahre 1985 bis 2004. Die Grenze der bewässerungsbedürftigen Gebiete wurde auf alle Gebiete ausgeweitet, die ein Wasserdefizit aufweisen. Folgende Regionen des Kantons Graubünden sind folglich bewässerungsbedürftig (Kap. 7):

Churer Rheintal, Region Ilanz, Region Domleschg/Heinzenberg, Region Mittelbünden, Region Unter- und Oberengadin und Münstertal, Region Puschlav.

## INHALTSVERZEICHNIS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Einleitung und Zielsetzung.....  | 1  |
| 2     | Die klassischen Bewässerungsgebiete im Kanton Graubünden.....  | 3  |
| 2.1   | Unterteilung der Talschaften hinsichtlich der Bewässerung.....   | 5  |
| 3     | Rechtliche Aspekte der Bewässerung .....   | 7  |
| 3.1   | Verfassungs- und Gesetzesgrundlagen auf Bundesebene .....  | 7  |
| 3.2   | Wasserentnahme aus einem öffentlichen Gewässer.....  | 7  |
| 3.3   | Überblick über die Bewilligungspraxis.....   | 9  |
| 4     | Der Wasserverbrauch .....  | 10 |
| 4.1   | Der Wasserverbrauch in Bezug auf die Pflanzen.....   | 10 |
| 4.1.1 | Der Wasserbedarf von Grünland (Wiese).....   | 12 |
| 4.1.2 | Der Wasserbedarf von Kartoffeln.....   | 12 |
| 4.2   | Der Pflanzenwasserverbrauch in Bezug auf den Boden .....   | 13 |
| 4.2.1 | Die verschiedenen Bodentypen.....  | 13 |
| 4.2.2 | Das Wasserspeichervermögen von Böden.....  | 14 |
| 4.2.3 | Die Hangneigung .....  | 15 |
| 5     | Methodisches Vorgehen.....   | 16 |
| 5.1   | Begriffserläuterungen von Bewässerungsbedürftigkeit und -würdigkeit.....   | 16 |
| 5.2   | Wasserdargebot und – verbrauch (Wasserbilanz).....   | 16 |
| 5.2.1 | Die Wirksamkeit des Niederschlages .....   | 17 |
| 5.2.2 | Die Evapotranspiration (der Pflanzenwasserverbrauch).....  | 17 |
| 5.3   | Die Bestimmung der geeigneten Evapotranspirations - Formel .....   | 18 |
| 5.3.1 | Die Primaultformel .....   | 19 |
| 5.3.2 | Die modifizierte Penman Methode.....   | 20 |
| 5.3.3 | Kombination von modifizierter Penman Methode und Primault Formel.....  | 20 |
| 5.4   | Datengrundlage .....   | 21 |
| 5.4.1 | Das Untersuchungsgebiet.....   | 21 |
| 5.4.2 | Evapotranspiration nach Primault.....  | 21 |
| 5.4.3 | Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode.....  | 21 |
| 5.4.4 | Niederschlag .....   | 22 |
| 5.5   | Abgrenzung Ertragssicherung gegenüber Ertragssteigerung durch Bewässerung.....   | 23 |
| 6     | Klimatenauswertung von acht Stationen.....   | 25 |
| 6.1   | Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode im Überblick.....   | 25 |
| 6.2   | Niederschlag im Überblick.....   | 27 |
| 6.3   | Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode und Niederschlag in der Vegetationsperiode.....                             | 28 |
| 6.4   | Evapotranspiration nach Primault im Überblick.....   | 29 |
| 6.5   | Evapotranspiration nach Primault für das Winterhalbjahr und Evapotranspiration nach Penman für das Sommerhalbjahr im Überblick ..... | 30 |
| 6.5.1 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Chur.....  | 31 |
| 6.5.2 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Davos .....  | 33 |
| 6.5.3 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Disentis .....   | 35 |
| 6.5.4 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Hinterrhein .....  | 37 |
| 6.5.5 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Magadino .....   | 39 |
| 6.5.6 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Robbia.....  | 41 |
| 6.5.7 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Samedan.....   | 43 |
| 6.5.8 | Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Scuol .....  | 45 |
| 6.5.9 | Deckung des Wasserbedarfs - alle Stationen im Überblick.....   | 47 |

|   |    |
|---|----|
| 6.6 Sommermaxima der Wasserdefizite.....                              | 49 |
| 6.6.1 Wasserdefizite in Chur.....                                     | 50 |
| 6.6.2 Wasserdefizite in Davos .....                                   | 51 |
| 6.6.3 Wasserdefizite in Disentis.....                                 | 52 |
| 6.6.4 Wasserdefizite in Hinterrhein .....                             | 53 |
| 6.6.5 Wasserdefizite in Magadino .....                                | 54 |
| 6.6.6 Wasserdefizite in Robbia .....                                  | 55 |
| 6.6.7 Wasserdefizite in Samedan.....                                  | 56 |
| 6.6.8 Wasserdefizite in Scuol.....                                    | 57 |
| 6.6.9 Wasserdefizite – alle Stationen im Überblick.....               | 58 |
| 6.6.10 Tendenzen der Sommermaxima der Wasserdefizite.....             | 59 |
| 7 Ausdehnung der Resultate auf den ganzen Kanton –Interpolation ..... | 60 |
| 7.1 Methodik .....  | 60 |
| 7.1.1 Interpolation der Niederschlagsdaten .....                      | 60 |
| 7.1.2 Interpolation der Evapotranspirationsdaten .....                | 60 |
| 7.1.3 Berechnung der Wasserbilanz.....                                | 61 |
| 7.2 Interpolierte Niederschlags- und Evapotranspirationsdaten .....   | 61 |
| 7.3 Die Wasserbilanzkarte.....  | 61 |
| 8 Bewässerungsbedürftige Gebiete .....                                | 65 |
| 9 Diskussion .....  | 67 |
| 10 Literatur.....   | 70 |
| Anhang I.....   | 72 |

## **1 Einleitung und Zielsetzung**

Laut Schorrer (2000) traten in früheren Jahrhunderten Dürreperioden häufiger auf als wir es gegenwärtig erleben. Die letzten grösseren Dürreperioden im 20. Jahrhundert erfolgten in den Jahren 1947, 1949 und 1976. Im 21. Jahrhundert war der Kanton Graubünden und insbesondere dessen Südtäler in den vier aufeinander folgenden Jahren 2003, 2004, 2005 und 2006 von unterschiedlich starker Trockenheit betroffen.

Wie der Hitzesommer 2003 besonders deutlich zeigte, sind in der Landwirtschaft Ernteerträge direkt vom Wetter, respektive von den regionalen klimatischen Bedingungen abhängig. Die hohen Temperaturen in Kombination mit wenig Niederschlag führten zu massiven Ertragseinbussen. Da der Bodenwasservorrat bereits ab Februar gering war, stand wenig Verdunstungswasser zur Verfügung, was wiederum zu einer zusätzlichen Lufterwärmung führte (Pro Clim 2005).

Nicht nur bei der Wasserbereitstellung und dem Wassertransport, sondern auch bei der Wasserverteilung musste zum Teil stark improvisiert werden. Für die kommenden Jahre sollten die Voraussetzungen für dauerhaftere und effizientere Lösungen geschaffen werden.

Vom Bund und von den Kantonen werden Bewässerungen nur zur Qualitäts- und Ertragssicherung bei nachgewiesenen überdurchschnittlichen Ernteeinbussen durch häufige Trockenheit während der Vegetationsperiode unterstützt, wie z.B. in den inneralpinen Trockentälern ([www.meliorationen.ch/glossar](http://www.meliorationen.ch/glossar) 2006).

Die Verknappung der Ressource Wasser ist nicht nur ein regionales Problem. Der globale Wasserverbrauch ist in den letzten 100 Jahren auf das Sechsfache angestiegen und folglich wird der Wassermangel weltweit zunehmen (DVWK 2001). Umso wichtiger ist es daher, die künstliche Bewässerung auf den Feldern effizient zu gestalten. Das heisst also, mit einer minimalen und effizienten Zusatzbewässerung die Erträge sicher zu stellen.

Ein Hitzesommer wie wir ihn im Jahr 2003 erlebten, ist statistisch gesehen ein extrem unwahrscheinliches Ereignis. Regionale Klimaszenarien zeigen allerdings, dass das zukünftige Klima nicht nur zu einer Erhöhung der Temperaturmittelwerte führen kann, sondern auch zu grösseren Schwankungen der sommerlichen Temperaturmittelwerte. In einigen Jahrzehnten könnten sehr heisse Sommer eher die Regel als die Ausnahme darstellen. So zeigen



---

Modellrechnungen, dass ungefähr jeder zweite Sommer in Europa gleich warm oder wärmer ausfallen dürfte als jener des Jahres 2003. Stärkere Schwankungen des Sommerklimas könnten es erschweren, sich längerfristig an die Klimaänderung anzupassen. Abgesehen von der zu erwartenden Erhöhung des Temperaturmittelwertes wird es auch weiterhin von Zeit zu Zeit kühle, verregnete Sommer geben (Schär et al. 2004).

An der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau in Zürich-Reckenholz werden Daten von regionalen Klimaszenarien in Berechnungsmodelle eingegeben, welche für die Graswirtschaft und den Ackerbau eine Tendenz der zukünftigen Entwicklung prognostizieren. Laut Jasper et al. (2005) spielt dabei der Verlauf der Bodenfeuchte eine zentrale Rolle.

Für diverse Klimaszenarien wird die Bodenfeuchte modelliert. Berechnungen dieser Art wurden unter anderem für das Thurgau durchgeföhrt. Unter den Modellannahmen zeigte sich, dass die Bodenfeuchte bis Ende des Jahrhunderts je nach Standort um durchschnittlich bis zu 50 Prozent sinken wird. Das Minimum ist in den Sommermonaten Juni, Juli und August zu erwarten (Jasper 2004).

Es ist also aufgrund einer möglichen Klimaänderung absehbar, dass in Zukunft auch bisher nicht bewässerte Gebiete vermehrt auf künstliche Bewässerung angewiesen sein werden (ProClim 2005). Um diesen möglicherweise vermehrt auftretenden Dürreperioden zu begegnen und insbesondere den damit verbundenen grossen Ertragsausfällen vorzubeugen, sah sich der Bündner Bauernverband veranlasst, im Rahmen dieser Projektstudie die für die Bewässerung relevanten Parameter zu erfassen, um fundierte Aussagen machen zu können, wo Bewässerungsanlagen notwendig sind.

Das Ziel dieser Untersuchung ist die Bewässerungsbedürftigkeit gemeindescharf abzugrenzen. Dazu wurden Klimadaten des Kantons Graubünden zusammengestellt und ausgewertet.

## 2 Die klassischen Bewässerungsgebiete im Kanton Graubünden

Die traditionelle Bewässerung im Kanton Graubünden lässt sich vom Frühmittelalter bis anfangs des 20. Jahrhunderts nachweisen. Die Intensität der Flurbewässerung erreicht im Churrhätischen Raum um die Mitte des 16. Jahrhunderts den Höhepunkt. In diese Zeit fällt auch die Endphase der mittelalterlichen Wärmeperiode (Bundi 2000).

In der Schweiz sind vor allem die inneralpinen Täler als Trockenregionen bekannt. Diese inneralpinen Täler zeigen ein ausgeprägt eigenes Klima, da sie sowohl gegen die Niederschlagsaktivität aus Norden wie aus Süden abgeschirmt sind. Die Folge sind klimatisch trockene Bedingungen. Typische Vertreter sind das Engadin und das Wallis ([www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)).

Anders als im Engadin erlebten die Walliser Bewirtschafter nie Perioden, während denen sie aufgrund ausreichender Niederschläge nicht bewässern mussten. Das alte Bewässerungssystem wurde deshalb im Wallis gut in Stand gehalten und wird bis heute genutzt. Im Gegensatz dazu wurde Graubünden jahrzehntelang von Trockenheit verschont. Der Unterhalt der Gräben wurde vernachlässigt, bis sie schliesslich unbrauchbar waren (Guggenbühl 1989).

Die rätisch-alpinen Wasserleitungen sind jedoch von denjenigen im Wallis grundsätzlich zu unterscheiden. Im Wallis wird die „Wasserleite“ als ein Kanal definiert, der das Wasser von den Gletschern her im Freispiegel auf die besonnten Abhänge führt. Der Wasserbezug direkt vom Gletscherbach ist im rätisch-alpinen Raum eher die Ausnahme. Die Anzapfstellen liegen zumeist tiefer an den Bachläufen. Zudem ist die Wasserleitung vorwiegend ein im Erdreich erstellter Hauptgraben und weniger ein sich an Felswänden windende oder durch Stollen geführte Holzkanal- oder Rohrleitung, wie sie im Wallis üblich ist (Bundi 2000).

Gemäss Bundi (2000) lassen sich die Trockengebiete in vier Hauptgruppen aufteilen. 1. Französische und italienische Westalpentäler, 2. das Wallis, 3. die Rätischen Alpen und 4. das Etschland, Puster- und Mölltal. Wie schon Furrer und Freund 1974 feststellten, wurde eine flächendeckende Untersuchung über die Bewässerung in Graubünden nie durchgeführt. Mit dem Buch „Zur Geschichte der Flurbewässerung im rätischen Alpengebiet“ hat Bundi eine grosse Lücke geschlossen. Im Gegensatz zum rätisch-alpinen Gebiet wurden in den übrigen Alpentrockenregionen, wie z.B. dem Wallis, intensive Untersuchungen der Wasserwirtschaft durchgeführt (Bundi 2000).

---

Seit dem ausgehenden Mittelalter lassen sich auf Grund der schriftlichen Dokumente und der vereinzelt im Gelände ausgedehnte Bewässerungssysteme erkennen. Die Bewässerungswirtschaft kann aufgrund ihres heutigen Aussehens auch auf einen älteren Ursprung hindeuten. Römische Bewässerungskulturen im rätischen Alpenraum lassen sich jedoch durch die Archäologie, angesichts der kaum aussagekräftigen Funde, nicht beweisen (Bundi 2000).

Vom Anfang bis weit ins 19. Jahrhundert hinein erfolgte die Bewässerung der Wiesen und zum Teil auch der Äcker oder anderer Kulturen in beinahe unveränderter Form durch die Berieselung. Mit der industriellen Revolution einhergehend veränderte sich auch die fast zweitausendjährige Bewässerungstradition. Unter dem Einfluss der technischen Errungenschaften und der Verwendung neuer Materialien wurden die Leitungen unterirdisch oder als Tunnel in den Felsen verlegt. Neue Produkte wie Zement- oder Metallröhren wurden für die Zuleitung des Wassers eingesetzt. Sie traten in Konkurrenz zum traditionellen Grabennetz und verleiteten auch dazu, dieses zu vernachlässigen. Der Übergang von der traditionellen Flurbewässerung (Berieselung) zur Beregnung der Felder wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingeleitet (Bundi 2000).

Mit dem Strukturwandel in der Landwirtschaft im 20. Jahrhundert verkleinerte sich die Anzahl der Betriebe zusammen mit der Abnahme der Arbeitsplätze. Zusätzlich geriet durch die fortschreitende Mechanisierung die alte und sehr arbeitsintensive Bewässerungstradition immer mehr in Vergessenheit. Somit war die Versuchung gross, nach einem oder mehreren nassen Sommern die Praxis der Wässerung aufzugeben und den Unterhalt der Anlagen zu vernachlässigen. Dies geschah auch in traditionellen Bewässerungsgebieten wie zum Beispiel im Engadin (Bundi 2000).

## 2.1 Unterteilung der Talschaften hinsichtlich der Bewässerung

Bundi (2000) hat folgende Unterteilung der Talschaften hinsichtlich der Bewässerung vorgenommen:

### a) Talschaften ohne oder mit geringer Bewässerung

Zu den Gebieten mit keiner oder geringer Bewässerung gehören die erst im Spätmittelalter von Walsern besiedelten Hochtäler wie Rheinwald, Safien, Vals, Obersaxen, Davos und Arosa. Diese Zuordnung schliesst nicht aus, dass in diversen Gegenden – sowohl in den Talböden als auch auf Alpen – Flurbewässerung individueller Art durch Nutzung nahe gelegener Bachläufe praktiziert wurde.

### b) Talschaften mit bescheidenem Anteil an Bewässerung

Es handelt sich hierbei um Talschaften ohne nachweisbare genossenschaftliche Organisation: Tujetsch, Medelsertal, Disentis, Lugnez, Schanfigg, Churwaldnertal, Prättigau, Schams, Misox, Oberhalbstein und Bergell.

### c) Talschaften mit erheblicher bis intensiver Bewässerung

Die Flurbewässerung wurde genossenschaftlich oder von der Gemeinde organisiert. Dazu gehören die Gebiete des Vorderrheintals von Trun bis Trin, Churer Rheintal, Domleschg – Heinzenberg, Albulatal, Engadin, Puschlav und Münstertal.

## Klassische Bewässerungsgebiete im Kanton Graubünden

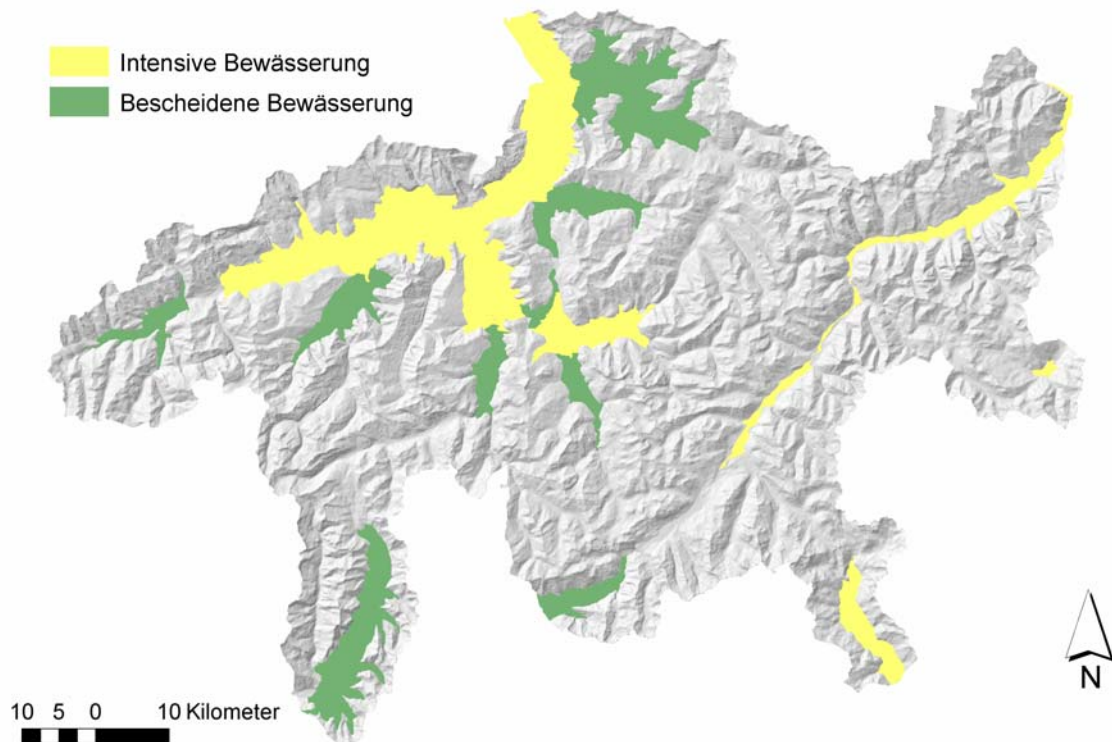


Abb. 1 Klassische Bewässerungsgebiete im Kanton Graubünden. Quelle: Eigene Darstellung nach Bundi (2000). Kartengrundlage: Reliefkarte DOM 25©EBP/sarmap.

---

Abbildung 1 zeigt, dass eine Reihe von Talschaften im Randbereich von Trockenzonen liegen, grundsätzlich also der Bewässerung bedürfen, und trotzdem nur einen bescheidenen Anteil an Bewässerung aufwiesen. Auffallend ist dies besonders für die Täler Schams und Misox einerseits sowie Oberhalbstein und Bergell andererseits. Diese sind die klassischen Passlandschaften, wo die Männer fast ausnahmslos in Transportorganisationen integriert waren. Ein gleichzeitiger, arbeitsintensiver Einsatz in einer Bewässerungsgenossenschaft war aus Zeitgründen nicht möglich.

### **3 Rechtliche Aspekte der Bewässerung**

Grundsätzlich ist die Bewässerung von Kulturland nicht eingeschränkt, hingegen untersteht die Beschaffung des notwendigen Wassers verschiedenen Vorschriften.

#### **3.1 Verfassungs- und Gesetzesgrundlagen auf Bundesebene**

Wasser als wohl wichtigste natürliche Ressource ist auch in der Schweiz kein unbeschränktes Gut. Dem Schutz des Wassers trägt der Souverän Rechnung, indem er in Art. 76 der Bundesverfassung die Kompetenzen der Wasserverwaltung zwischen Bund und Kantonen regelt. Der Bund erlässt Vorschriften zum Gewässerschutz und der Sicherung angemessener Restwassermengen (Art. 76 Abs. 2 BV), über die Wasservorkommen an sich besitzen jedoch die Kantone die Verfügungsgewalt (Art. 76 Abs. 4 BV). Der Bund nahm den Auftrag der Bundesverfassung mit dem Erlass des Gewässerschutzgesetzes (SR 814.20) sowie der Gewässerschutzverordnung (SR 814.201) wahr. Der Gesetzgeber legt dort die grundsätzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Wasserentnahme aus Fliessgewässern und folglich der Sicherung angemessener Restwassermengen fest (siehe Auflistung der wichtigen Gesetzesartikel am Ende des Kapitels 3.2).

#### **3.2 Wasserentnahme aus einem öffentlichen Gewässer<sup>1</sup>**

Nicht nachweislich im Privateigentum stehende Gewässer sind zum Gemeingebrauch bestimmte Sachen im Eigentum der politischen Gemeinde, also öffentliche Sachen (Art. 119 Abs. 1 und 2 des Einführungsgesetzes zum Schweizerischen Zivilgesetzbuches [EGzZGB] vom 12. Juni 1994 [BR 210.100]). Praktisch alle Fliessgewässer im Kanton Graubünden sind öffentliche Sachen. Solange diese Sachen dem Gemeingebrauch dienen, können an ihnen Sondernutzungsrechte gegenüber dem Gemeinwesen nur durch Konzession erworben werden (Art. 120 Abs. 2 EGzZGB). Unter einem Sondernutzungsrecht versteht man ein Recht auf den Gebrauch einer öffentlichen Sache im Gemeingebrauch, bei welchem die Berechtigten eine ausschliessliche Verfügung über einen Teil der Sache erhalten und andere vom Gebrauch ausgeschlossen werden.

Die Entnahme von Wasser in grösseren Mengen z.B. zur Bewässerung stellt in vielen Fällen eine Sondernutzung dar und bedarf einer Konzession der Gemeinde.

Keine Sondernutzung sondern lediglich gesteigerter Gemeingebrauch liegt dann vor, wenn einem grösseren Gewässer eine grössere Menge Wasser entnommen wird, aber auch nach dieser

---

<sup>1</sup> Quelle: Amt für Natur und Umwelt 2005

---

Wasserentnahme immer noch genügend Wasser für andere Bezüger vorhanden ist. In diesem Fall handelt es sich bei der Wasserentnahme um gesteigerten Gemeingebrauch und es genügt eine Bewilligung des Gemeindevorstands.

Das Amt für Natur und Umwelt (ANU) hat zuhanden der Gemeinden ein Muster für eine Konzession zur Wasserentnahme aus einem öffentlichen Fließgewässer erarbeitet. Die Musterkonzession kann über das Amt für Natur und Umwelt bezogen werden.

Der Konzessionär holt vor Beginn des Betriebs die gewässerschutzrechtliche Bewilligung für die Wasserentnahme sowie die erforderlichen kantonalen und kommunalen Bewilligungen für den Bau der Anlagen für die Wasserentnahme und die Verwendung des Wassers (z.B. Baubewilligung) ein. Er trägt die Kosten dafür.

Das Bewilligungsgesuch für die Wasserentnahme (Oberflächengewässer) beruht auf dem Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (GSchG). Es enthält die gesetzliche Grundlage für die Festsetzung von Restwassermengen.

Artikel 29: Bewilligung für Wasserentnahmen

Artikel 30: Voraussetzung für die Erteilung der Bewilligung

Artikel 31: Mindestrestwassermenge

Artikel 32: Ausnahmen

Artikel 33: Erhöhung der Mindestwassermenge

Artikel 34: Wasserentnahmen aus Seen und Grundwasservorkommen

Artikel 35: Entscheid der Behörde

Artikel 36: Kontrolle der Dotierwassermenge

Artikel 59: Ermittlung der Abflussmenge

Die Gesetzesgrundlagen des Kantons Graubünden bilden das kantonale Gewässerschutzgesetz (KGSchG; BR 815.100) vom 8. Juni 1997 und die kantonale Gewässerschutzverordnung (KGSchV; BR 815.200) vom 27. Januar 1997.

---

### 3.3 Überblick über die Bewilligungspraxis<sup>2</sup>

Entnahme aus Oberflächengewässern:

- Konzession/Zustimmung der Gemeinde
- Gewässerschutzrechtliche Bewilligung des Erziehungs-, Kultur- und Umweltschutzdepartements (über ANU einzureichen)

Anforderungen: Genügende Restwassermenge für die wasserabhängige Pflanzen- und Tierwelt.

Entnahme aus Grundwasser:

> 100 l/min für den landwirtschaftlichen Bedarf

- Konzession der Gemeinde
- Bewilligung des Erziehungs-, Kultur- und Umweltschutzdepartement (über ANU einzureichen)

Für kleinere Entnahmen:

- Zustimmung der Gemeinde
- Bewilligung durch das ANU

Anforderungen: Das Grundwasser darf nicht übernutzt werden.

---

<sup>2</sup> Quelle: Amt für Natur und Umwelt 2004



---

## 4 Der Wasserverbrauch

Basis des Pflanzenwachstums ist das Wasser. Faktoren wie Klima und Boden beeinflussen den Wasserverbrauch einer Pflanze. Zudem ist der Wasserverbrauch je nach Pflanzenart und Entwicklungsstadium unterschiedlich (Kap. 4.1). Des Weiteren hat der Faktor Boden (Kap. 4.2) einen erheblichen Einfluss auf den Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes (Achnich 1980).

### 4.1 Der Wasserverbrauch in Bezug auf die Pflanzen

Es ist bekannt, dass sich die verschiedenen Pflanzenarten unterschiedlich gegenüber Wassermangel bzw. günstiger Wasserversorgung während der Entwicklungsphasen im Wachstumsverlauf verhalten. Schon Brouwer (1926) erwähnte pflanzentypische „kritische Zeiten“. Es gibt Arten, die während der ganzen Vegetationszeit mit Ertragssteigerungen auf zusätzliche Wassergaben reagieren (vor allem Futterpflanzen wie Klee-grasgemenge, Futtererbsen, Futterwicken und Alexandrinerklee). Andere Arten hingegen werden durch zusätzliche Wassergaben zu bestimmten Zeitpunkten im Vegetationsverlauf besonders stark geschädigt bzw. gefördert (z.B. Körnerleguminosen, Getreide und Körnermais beim Übergang zur generativen Phase; Achnich 1980).

Der Pflanzenwasserbedarf ergibt sich aus dem Basisverbrauch und einem pflanzenspezifischen Koeffizienten  $k_c$ , der je nach Pflanze variiert (Achnich 1980). Der Wasserbedarf ist zudem abhängig vom Entwicklungsstand der Pflanze. In Abbildung 2 ist der Wasserverbrauch von Kartoffeln dargestellt. Mit fortschreitender Entwicklung steigt der Pflanzenwasserverbrauch und erhält sein Maximum in den Monaten Juli bis Mitte August (Achnich 1980). Insgesamt kann zwischen vier verschiedenen Wachstumsphasen der Pflanzen unterschieden werden. Die Bestimmung des Pflanzenkoeffizienten  $k_c$  ist für die ersten beiden Entwicklungsphasen unabhängig von der Kulturart, da der Wasserverbrauch stark von der Bodenverdunstung (Evaporation) bestimmt wird (Achnich 1980). Die Bestimmung des Pflanzenkoeffizienten für die Fruchtbildungsphase und die Reifephase ist abhängig von den verschiedenen Kulturarten.

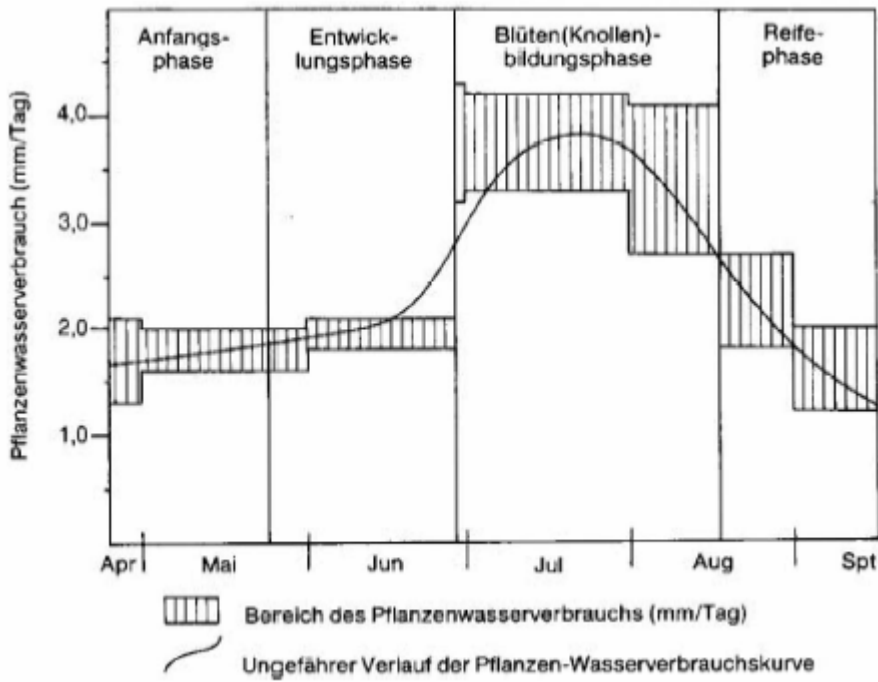


Abb. 2: Pflanzenwasserverbrauch von Kartoffeln in mm/Tag. Quelle: Achtnich 1980.

In Kapitel 4.1.1 und 4.1.2 werden zur Illustration einzelne Beispiele für das Verhalten bestimmter Kulturarten bei Bewässerung beschrieben. Für die Abklärung der allgemeinen Bewässerungsbedürftigkeit des gesamten Kantons wurde jedoch nicht auf die einzelnen Kulturarten eingegangen. Die berechneten Evapotranspirationswerte entsprechen dem potentiellen Wasserverbrauch einer mit Wasser gut versorgten Grünfläche, als Potenzialwerte sind sie deshalb für die Untersuchung geeignet, um einen Standort zu charakterisieren (Achtnich 1980).

---

#### **4.1.1 Der Wasserbedarf von Grünland (Wiese)**

Da das Grünland aus Pflanzengesellschaften besteht, deren Zusammensetzung je nach Boden, Klima und Wasserverhältnissen unterschiedlich ist, sind bei dieser Kulturart Untersuchungen schwieriger auszuwerten und Resultate schwieriger zu deuten als bei Monokulturen. Der hohe Wasserbedarf von Grünland ist aber allgemein bekannt. Untersuchungen haben gezeigt, dass Grünlandflächen die doppelte bis dreifache Menge Wasser verbrauchen wie Getreidearten. Beim Wasserbedarf der Wiesen erfolgt zunächst ein rascher Anstieg bis Ende Rispenstadium; dann findet ein Absinken des Wasserverbrauchs bis zur Samen-Reife statt. Dieser Vorgang wiederholt sich in den folgenden Aufwüchsen. Die Wachstumsgeschwindigkeit und damit der Wasserverbrauch ist in den letzten Wochen vor der Blüte besonders gross (Brouwer 1950).

#### **4.1.2 Der Wasserbedarf von Kartoffeln**

Der Kartoffelertrag kann vor allem durch Bewässerung während der Blütezeit verbessert werden. Dieser Abschnitt der Vegetationszeit fällt weitgehend mit dem Anfangsstadium der Knollenentwicklung zusammen. Jede Unterbrechung der Wasserversorgung während der Wachstumsphase des Knollenansatzes bedeutet eine Störung des Aufwuchses und wirkt sich in der Menge und Qualität des Ernteproduktes aus. Wichtig ist die ununterbrochene Aufrechterhaltung eines dem Wasserverbrauch der Kartoffelpflanze entsprechenden Bodenfeuchtezustandes. Sie kann in manchen Jahren weitgehend durch den natürlichen Regen sichergestellt sein, so dass die Bewässerung lediglich als Ergänzung des Niederschlags anzusehen ist (Achnich 1980).

## 4.2 Der Pflanzenwasserverbrauch in Bezug auf den Boden

Wie ein Schwamm speichert der Boden das Wasser, das ihm von der Atmosphäre durch Niederschlag zugeführt wird. Je nach Bodentyp fließt ein unterschiedlich grosser Teil des aufgenommenen Wassers der Schwerkraft folgend als Sickerwasser in tiefere Bodenschichten ab. Das Haftwasser bleibt im Bereich des durchwurzelt Bodens. Dementsprechend bleibt den Pflanzen wenig Sickerwasser zur Verfügung und die Hauptmenge des von den Pflanzen benötigten Wassers wird dem Haftwasser entnommen. Ein Teil des Haftwassers, das so genannte tote Wasser, steht der Pflanze jedoch nicht zur Verfügung. Es umgibt die kleinsten Bodenteilchen und kann durch die aufgebaute Saugspannung der Wurzelhäärchen nicht entnommen werden (Achnich 1980). Die Wasserspeicherkapazität eines Bodens bestimmt weitgehend seine Beregnungseignung und die Menge einer Einzelgabe.

### 4.2.1 Die verschiedenen Bodentypen

Die Einteilung der Bodenart wird entsprechend der Korngrößenverteilung gemacht. Wichtige Korngrößen sind: Ton: kleiner als 0.002 mm, Schluff: kleiner als 0.063 mm und Sand: 0.063 mm bis 2 mm. Das Wasser im Boden ist frei beweglich, wenn die Korngrösse mindestens 0.063 mm beträgt.

Lehmböden besitzen gleiche Anteile aus den drei Fraktionen Ton, Schluff und Sand, ohne wesentliches Überwiegen einer dieser Fraktion. Sandböden sind am leichtesten bearbeitbar, aber sehr nährstoffarm und stark wasserdurchlässig. Tonböden sind schwer bearbeitbar (Abb. 3). Die Lehm- und die Schluffböden haben die günstigsten Eigenschaften.

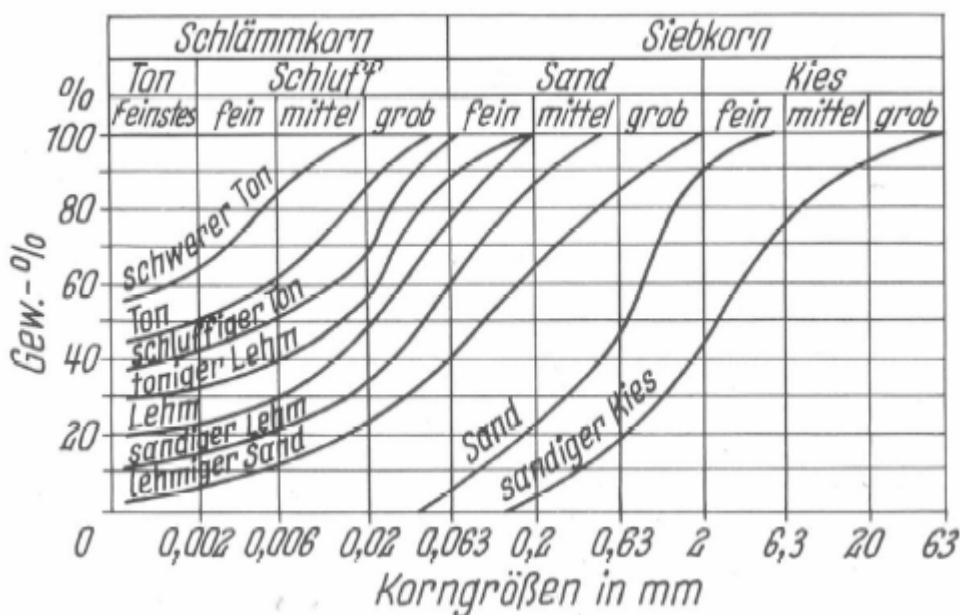


Abb. 3: Kornverteilungskurven verschiedener Böden. Quelle: Achnich 1980.

#### 4.2.2 Das Wasserspeichervermögen von Böden

Das Wasserspeichervermögen von Böden wird im Wesentlichen von ihrer Korngrössenzusammensetzung und der daraus resultierenden Porengrößenverteilung bestimmt. Während das in den Feinporen enthaltene Wasser nicht pflanzenverfügbar ist (Totwasser), findet sich in den Mittelporen und den Grobporen das für Pflanzen verfügbare Bodenwasser (nutzbare Feldkapazität; Abb. 4).

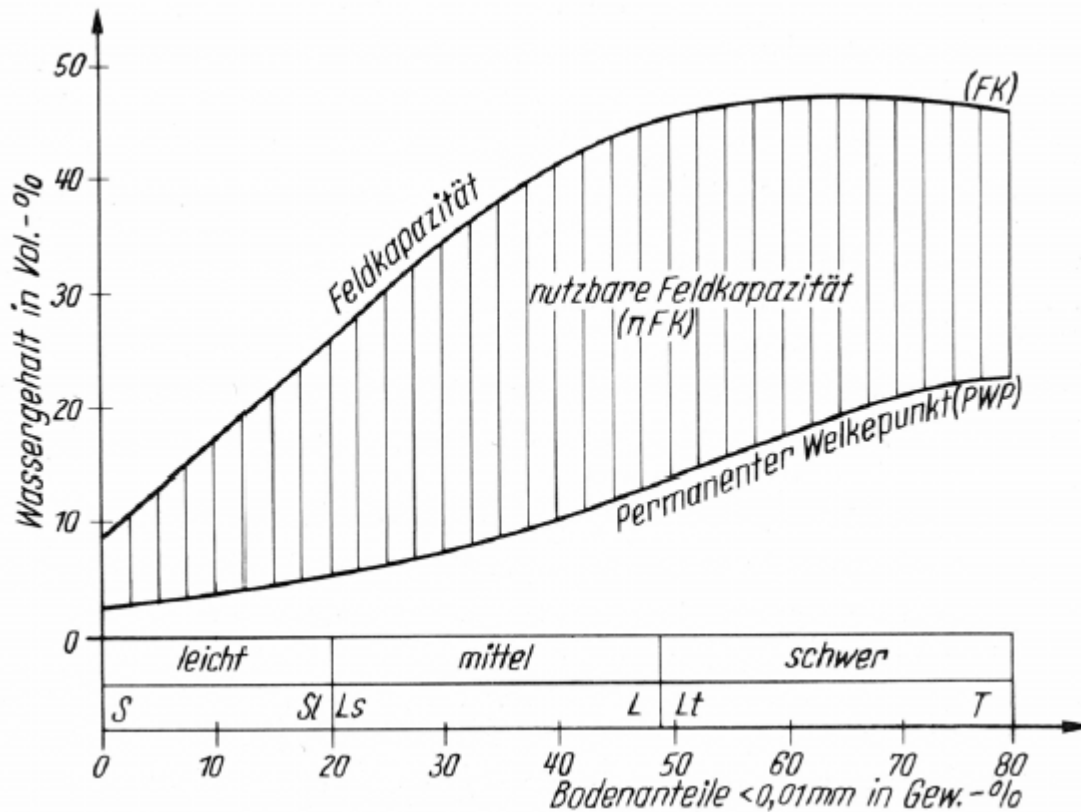


Abb.4: Nutzare Feldkapazität verschiedener Böden. Quelle: Muth 1991.

Die Feldkapazität beschreibt den Wassergehalt, den ein Boden gegen die Schwerkraft halten kann. Definitionsgemäss wird der Wassergehalt nach 2 bis 3 Tagen voller Wassersättigung ohne Einwirkung von Verdunstung gemessen. Der permanente Welkepunkt ergibt sich aus der begrenzten Wasser-Aufnahmefähigkeit von Pflanzen gegenüber kapillar gebundenem Haftwasser. Wenn die Pflanzen kein Haftwasser mehr zur Verfügung haben, welken sie irreversibel. Die Wassergehaltsdifferenz zwischen Feldkapazität und permanentem Welkepunkt steht den Pflanzen zur Verfügung. Lehmböden bieten den Pflanzen die grösste nutzbare Feldkapazität (Lecher et al. 2001).

---

### **4.2.3 Die Hangneigung**

Für die Bewässerung sind Böden in ebener Lage mit mittlerer bis grosser Wasserspeicherkapazität geeignet. Flachgründige Böden sind zwar sehr bewässerungsbedürftig, sie können das Bewässerungswasser aber nur beschränkt speichern und sind deshalb nur bedingt geeignet für die Bewässerung. Auf diesen Böden sind die Beregnungsintervalle entsprechend kurz und die Einzelgaben klein zu wählen. Aufgrund der Gefahr des Abtragens und Wegschwemmens des Bodens ist steiles und kuppirtes Gelände für die Bewässerung nicht geeignet (Bräm 2005). Flächen mit einer Neigung grösser als 35 – 50 % sind für eine Bewässerung nicht geeignet.

## **5 Methodisches Vorgehen**

### **5.1 Begriffserläuterungen von Bewässerungsbedürftigkeit und -würdigkeit**

Die beiden Begriffe Bewässerungsbedürftigkeit und Bewässerungswürdigkeit müssen unterschieden werden. Die Bewässerungsbedürftigkeit hängt in erster Linie von der Niederschlagsmenge und deren Verteilung während der Vegetationsperiode und vom gegebenen Wassernachlieferungsvermögen des Bodens ab. Als Grundlage für die Anwendung der Bewässerung liegt es nahe, die klimatischen Bedingungen als Kernelement heranzuziehen. So stellt in dieser Arbeit die Auswertung der klimatischen Bedingungen in den verschiedenen Regionen des Kantons ein zentrales Element dar. Zu diesem Zweck wird der Wasserverbrauch einer Grünlandfläche (bei uneingeschränkter Wasserversorgung und unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen) mittels bekannter Annäherungsformeln berechnet (Kap.5.3).

Die Bewässerungswürdigkeit hängt von den verschiedenen Kulturen und vom Wasserspeichervermögen des Bodens ab. Eine Kultur ist prinzipiell dann bewässerungswürdig, wenn die bewässerungsbedingten Mehrkosten durch die Ernte-Mehrerlöse gedeckt sind (Fricke & Heidorn, 2005). Zudem ist ein Gebiet nur dann bewässerungswürdig, wenn künstliche Bewässerungsgaben den Kulturen mit vertretbarem Aufwand verabreicht werden können, ohne dass zum Beispiel natur- und umweltschützerische Aspekte tangiert werden.

### **5.2 Wasserdargebot und –verbrauch (Wasserbilanz)**

Die Bedürftigkeit für Zusatzwasser aus der Bewässerung wird wesentlich durch das Lokalklima bestimmt. Das Wasserangebot in einer Bilanzperiode setzt sich aus dem Niederschlag, dem zu Beginn gespeicherten Bodenwasser und dem Wasserzuschuss aus Grund-/Hangwasser zusammen. Der Wasserverbrauch (Evapotranspiration) kann mit verschiedenen Formeln berechnet werden (siehe Achtnich 1980, Lecher 2001, Marth 2004, Muth 1991). Das Wasserangebot wird dem Wasserverbrauch der Pflanzen während des gewählten Zeitraums gegenübergestellt. Die Differenz ergibt die Wasserbilanz. Defizite können durch künstliche Bewässerung gedeckt werden (Doorenbos und Pruitt 1989, Nievergelt 1985). Für die Untersuchung der Bewässerungsbedürftigkeit wurde die Dekaden-Wasserbilanz von 1985-2004 nach folgender Formel berechnet:

**Wasserbilanz = (N+W+V)-E***Wasserangebot*

- N Niederschlag in der Dekade  
 W Pflanzenverfügbares Wasser im Boden zu Beginn der Dekade  
 V Wasserzuschuss aus Grund-/Hangwasser  
 (V wurde als vernachlässigbar angenommen)

*Wasserverbrauch*

- E Evapotranspiration in der Dekade

**Wasserbedarf**

- Falls  $N + W > E$  Wasserbedarf gedeckt  
 Falls  $N + W < E$  Wasserbedarf ungedeckt =  $E - (N + W)$

**5.2.1 Die Wirksamkeit des Niederschlages**

In Gebieten wie der Schweiz geht man davon aus, dass die ersten drei mm eines Regens unwirksam sind, weil sie auf der Pflanzen- und obersten Bodenoberfläche unwirksam verdunsten. Je nach Bewuchs, Luftfeuchtigkeit und Wind kann der nicht wirksame Anteil aber bis 5 mm sein. Ein Teil des natürlichen Niederschlags geht durch sofortige Versickerung und den oberflächlichen Abfluss noch während des Regenfalls verloren. In ariden Gebieten rechnet man damit, dass so die Niederschlagsmengen von weniger als 10 mm wirkungslos sind. Ausserdem gelten Niederschläge von mehr als 100 mm besonders auf schweren Böden (Lehm, Ton) ebenfalls als nahezu unwirksam, da die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens dann erschöpft ist (Achtnich 1980).

**5.2.2 Die Evapotranspiration (Pflanzenwasserverbrauch)**

Bei dem Begriff Evapotranspiration handelt es sich um eine Zusammensetzung von Evaporation (Verdampfung, Verdunstung) und Transpiration (Schwitzen, von einem Organismus für den Stoffwechsel oder die Abkühlung verbrauchtes Wasser).

Die Evaporation ist als reiner physikalischer Vorgang zu verstehen, der aus Feuchtigkeitsabgabe des Bodens oder nasser Oberflächen und Feuchtigkeitsaufnahme der Luft je nach ihrem Sättigungsgrad bis zu einem Gleichgewicht besteht. Ist der Sättigungsgrad der Luft nahe 100 %, wird sie keine Feuchtigkeit mehr aufnehmen und die nassen Oberflächen bleiben nass. Ist der Sättigungsgrad der Luft aber tief, trocknen nasse Oberflächen rasch oder sehr rasch ab.



Andererseits ist die Transpiration der Pflanze ein physiologischer Vorgang. Mit steigender Temperatur nimmt der Wasserverbrauch der Pflanze zu. Je trockener die Luft ist, desto grösser ist auch ihr Aufnahmevermögen für Wasserdampf. Daher steigt mit zunehmendem Sättigungsdefizit der Luft auch der Wasserverbrauch der Pflanzen. Wenn die Luft zusätzlich noch bewegt und damit immer wieder neue trockene Luft an den Pflanzenbestand herangeführt wird, nimmt der Wasserverbrauch stetig zu (Achnich 1980). Diese Tatsache macht sich vor allem im Bündner Rheintal stark bemerkbar. Durch die Föhnlagen wird den Pflanzen und folglich auch den Böden vermehrt Wasser entzogen, was zu deren Austrocknung führen kann.

Die Abgabe von dampfförmigem Wasser durch die Blätter, die in erster Linie über die Stomatenaktivität kontrolliert wird, wird als Transpiration bezeichnet. Gegenüber der Transpiration beinhaltet der Wasserverbrauch eines Pflanzenbestandes sowohl das von den Pflanzen verdunstete (transpirierte) und das in das Pflanzengewebe eingelagerte Wasser als auch das von der Pflanzenoberfläche (Interzeptionswasser) und der Bodenoberfläche durch Verdunstung (Evaporation) abgegebene Wasser. Der so definierte Wasserverbrauch wird deshalb als Evapotranspiration bezeichnet (Achnich 1980).

Die Evapotranspiration kann direkt mit einem Lysimeter gemessen werden. Da diese Methode wohl exakte Resultate liefert, aber aufwändig ist, wird als Planungsgrundlage im Bewässerungslandbau im Allgemeinen ein geschätzter Wasserverbrauch verwendet. Es handelt sich hierbei nicht um die tatsächlich von den Pflanzen transpirierte und dem Boden verdunstete aktuelle Evapotranspiration, sondern um die als potentielle Evapotranspiration (ETp) bezeichnete Wassermenge, die ein Pflanzenbestand bei andauernder optimaler Wasserversorgung verbrauchen würde. Die Berechnung für diese potentielle Evapotranspiration wird mit den empirisch ermittelten Formeln durchgeführt. Als wesentliche Faktoren enthalten diese Formeln Parameter wie Tageslänge, Globalstrahlung, Temperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Windgeschwindigkeit sowie oft noch besondere Pflanzen-, Boden- und Korrekturkoeffizienten (Achnich 1980). Im Folgenden wird die potentielle Evapotranspiration nur noch mit der Bezeichnung Evapotranspiration verwendet.

### **5.3 Die Bestimmung der geeigneten Evapotranspirations - Formel**

Es existieren viele Formeln für die Berechnung der Evapotranspiration. Häufig angewandte Formeln sind die Penman Formel, die Blaney-Criddle Formel, die Schendel Formel und die Primault Formel (Achnich 1980, Lecher et al. 2001, Marth 2004).

Den örtlichen Verhältnissen und den vorhandenen Daten entsprechend, eignet sich nicht jede Formel gleichermaßen zur Ermittlung der Evapotranspiration. Die Penman Formel ist bei der Berechnung des Wasserverbrauchs für kürzere Zeitabschnitte (Dekaden, Wochen) geeignet. Die Blaney–Criddle Formel bietet den Vorteil einfacher Handhabung, ist aber für einen Monat unterschreitende Zeitabschnitte weniger geeignet (Achnich 1980).

Die Schendel Formel wurde bei der Bewässerungsbedürftigkeitsabklärung im Kanton Wallis angewandt. Diese Formel erwies sich dort auf Grund eines vorangegangenen vierjährigen Bewässerungsversuchs als die am besten zutreffende Berechnung zur Ermittlung des Pflanzenwasserverbrauchs. Zusätzlich besticht diese Formel durch ihre einfache Anwendung und die kleine Anzahl der benötigten Parameter. Die Anwendung dieser Formel auf die zu untersuchenden Stationen ergab jedoch keine konsistenten Resultate. Sie muss deshalb für die Anwendung auf den Kanton Graubünden als ungeeignet bezeichnet werden.

### 5.3.1 Die Primaultformel

In der Schweiz hat Primault an der Meteorologischen Zentralanstalt, heute MeteoSchweiz, eine bei uns üblicherweise verwendete Formel für Berechnung der Evapotranspiration entwickelt. Wie aber praktische Untersuchungen im Oberwallis gezeigt haben, eignet sich die Formel nicht für die Bewässerungsbedürftigkeitsabklärung. Auch in unserer Untersuchung zeigte sich, dass die Primaultformel zu niedrige Evapotranspirationswerte während der Vegetationsperiode aufweist.

Die **Primault Formel** setzt sich aus folgenden Parametern zusammen (Achnich, 1980):

$$E = c [A ((103-rH)/100) (t_s+2t_p) +B]$$

**E** = Evapotranspiration (in mm Wassersäule)

**t<sub>p</sub>** = Periode von Tagen

**rH** = relative Luftfeuchte (in Prozent)

**t<sub>s</sub>** = Sonnenscheindauer (in Stunden)

**A, B** = empirischer Koeffizient, der die Höhenabhängigkeit berücksichtigt

**c** = empirischer Koeffizient, der die saisonale Schwankung berücksichtigt.

### 5.3.2 Die modifizierte Penman Methode

Aus dem Paper 56 der FAO, Crop Evapotranspiration (Allen et al. 1998), geht hervor, dass die Penman Methode als Standardmethode für die Berechnung der Evapotranspiration anhand von meteorologischen Daten empfohlen wird. Bei dieser Methode handelt es sich um eine verbesserte, exaktere Formel der ursprünglichen Penman Formel. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) in Zürich führte in den Jahren 1983 bis 2000 Versuche (Lysimeter- und Feldversuche zur Berechnung) zur Ermittlung der Evapotranspiration im Schweizerischen Mittelland durch. Dabei erwies sich die erwähnte Penman Methode unter sechs Methoden als die am besten geeignete. Die Penman Methode wurde durch Nievergelt minimal an die Datenlage angepasst und wird im Weiteren als modifizierte Penman Methode bezeichnet.

Die modifizierte **Penman Formel** setzt sich aus folgenden Parametern zusammen:

$$ET_p = w (R_{Ns} - R_{Ne}) + (1-w) f(u) (e_a - e_d)$$

$ET_p$  = Evapotranspiration in mm/Tag

$w$  = Faktor, abhängig von Temperatur und Höhenlage

$R_N$  = Nettostrahlung

$R_{Ns}$  = Kurzwellige Nettostrahlung

$R_{Ne}$  = Langwellige Nettostrahlung

$f(u)$  = Funktion, abhängig vom Wind

$e_a - e_d$  = Differenz zwischen Sättigungsdampfdruck  $e_a$  und aktuellem Dampfdruck  $e_d$

### 5.3.3 Kombination von modifizierter Penman Methode und Primault Formel

Obwohl die Evapotranspiration nach Primault zu geringe Evapotranspirationswerte aufweist, enthält dieser Ansatz einen Vorteil. Er berücksichtigt die biologische Einschränkung für das Pflanzenwachstum durch zu tiefe Temperaturen besser als die Penman Methode. Nach Sichtung der Ergebnisse im Kanton Graubünden wurde nämlich erkannt, dass die Penman Formel ausserhalb der Vegetationsperiode, vor allem in höheren Lagen, unrealistisch hohe Evapotranspirationswerte liefert. Laut Nievergelt müsste die Penman Formel deshalb in diesen Fällen nach unten korrigiert werden. Auch laut Meteodat GmbH sind die Evapotranspirationswerte etwas zu hoch, da sowohl die Dauer der Frühjahrs – Schneebedeckung als auch die Bewölkung nicht in der modifizierten Penman Formel berücksichtigt werden. Um also noch genauere Werte über die Evapotranspiration zu erhalten, müsste eine Präzisierung der Formel vorgenommen werden. Für vorliegende Untersuchung wurde jedoch auf eine zeitaufwendige Korrektur verzichtet. Stattdessen erfolgte die Berechnung der

Evapotranspirationen für die Monate ausserhalb der Vegetationsperiode mit der Primaultformel, was zu niedrigeren Evapotranspirationen in den Wintermonaten führte. Während der Vegetationsperiode wurde die Evapotranspiration mit der modifizierten Penman Methode berechnet. Dies ergab höhere und plausiblere Werte als nach Primault.

## 5.4 Datengrundlage

### 5.4.1 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Kanton Graubünden. Für acht automatische Messstationen konnten die Parameter, die für die Berechnung der Evapotranspiration benötigt werden, von MeteoSchweiz geliefert werden. Die acht Stationen sind Chur, Davos, Disentis, Hinterrhein, Magadino (TI), Robbia, Samedan und Scuol. Zusätzlich zu diesen acht Stationen konnten für die Niederschlagsdaten weitere 59 Stationen ausgewertet werden.

### 5.4.2 Evapotranspiration nach Primault

Die Evapotranspiration nach Primault wird direkt von MeteoSchweiz berechnet. Die Evapotranspirationen nach Primault wurden für die acht Untersuchungsstationen ebenfalls von MeteoSchweiz zur Verfügung gestellt<sup>3</sup> (Tab. 1). Die Berechnungsperiode umfasst die Jahre 1985 – 2004<sup>4</sup>.

Tab. 1: Datenbezug von MeteoSchweiz. Monatswerte der Evapotranspiration nach Primault pro Station. 1985 – 2004.

| Parameter          | Einheit  |
|--------------------|----------|
| Evapotranspiration | mm/Monat |

### 5.4.3 Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode

Die Evapotranspiration nach Penman berechnet MeteoSchweiz nicht. Deshalb wurde die Evapotranspiration nach Penman mit den von MeteoSchweiz gelieferten Rohdaten unter Mithilfe des Amtes für Informatik GR berechnet. Die für diese Berechnung benötigten Parameter werden im Kanton Graubünden nur für die sieben Stationen Chur, Davos, Disentis, Hinterrhein, Robbia, Samedan und Scuol automatisch täglich gemessen (Tab. 2). Ausserhalb des Kantons Graubünden

<sup>3</sup> Die Evapotranspiration nach Primault wurde monatlich berechnet, da anfänglich angenommen wurde, dass eine monatliche Betrachtungsweise zu ausreichend genauen Resultaten führen würde.

<sup>4</sup> Die Berechnungsperioden der beiden Evapotranspirationsberechnungen unterscheiden sich aufgrund der anfänglichen Annahme, dass die Evapotranspirationen nach Primault (monatlicher Berechnungsrhythmus) ausreichend genaue Resultate liefert. Nachträglich entschied man sich für die Berechnung nach Penman (Berechnungsrhythmus dekadeweise) und vergrösserte zusätzlich die Berechnungsperiode, in der Annahme, dass mit einer grösseren Berechnungsperiode bessere Ergebnisse erzielt werden können.

wurde zusätzlich die Evapotranspiration der Station Magadino berechnet. Die Berechnungsperiode wurde über die Jahre 1981 – 2005 festgelegt und die Evapotranspirationswerte dekadeweise<sup>5</sup> aufsummiert.

Tab. 2: Datenbezug von MeteoSchweiz. Tägliche Messwerte pro Station. 1981 – 2005.

| <b>Parameter</b>                   | <b>Einheit</b>    |
|------------------------------------|-------------------|
| Temperatur                         | ° Celsius         |
| Windweg                            | m/s               |
| Luftdruck                          | mbar              |
| Globalstrahlung                    | Wh/m <sup>2</sup> |
| Relative Luftfeuchtigkeit          | %                 |
| Maximal mögliche Sonnenscheindauer | min/Tag           |
| Aktuelle Sonnenscheindauer         | min/Tag           |

#### 5.4.4 Niederschlag

Die täglichen Niederschlagsdaten wurden von MeteoSchweiz über die Periode von 1985 – 2004 für 59 Stationen bezogen (siehe Anhang I). Die Niederschlagswerte wurden dekadeweise aufsummiert.

Tab. 3: Datenbezug von MeteoSchweiz. Tägliche Niederschlagsmesswerte pro Station. 1985 – 2004.

| <b>Parameter</b> | <b>Einheit</b> |
|------------------|----------------|
| Niederschlag     | mm/Tag         |

<sup>5</sup> Eine Dekade entspricht 10 Tagen.

### 5.5 Abgrenzung Ertragssicherung gegenüber Ertragssteigerung durch Bewässerung

Aus subventionstechnischer Sicht darf eine Bewässerungsanlage keine Intensivierung des Anbaues bewirken. Anhand einer Abgrenzung der Ertragssicherung gegenüber der Ertragssteigerung durch Bewässerung soll verhindert werden, dass künftige Bewässerungsanlagen zu einer Intensivierung führen.

Beträgt ein Ertragsausfall infolge ungünstiger Jahreswitterung mehr als ein Drittel einer Normalernte, so liegt er ausserhalb der üblichen, witterungsbedingten Ertragsschwankungen. Tritt die übermässige, witterungsbedingte Ertragsreduktion mindestens jedes dritte Jahr auf, so ist eine Ertragssicherung durch Bewässerung angezeigt (Nievergelt 1986).

Wasserdefizite können mit einer Bewässerung gedeckt werden. Somit kann ein Wachstumsrückgang bei Kulturpflanzen vermieden werden. Die Empfindlichkeit bezüglich Wassermangels (Wasserstress) hängt von der Pflanzenart ab. In der Periode Juni bis August durchlaufen die meisten Kulturen Stadien, in denen sie auf Wasserstress besonders empfindlich reagieren (siehe Kap. 4.1; Nievergelt 1986).

Aus der Gegenüberstellung in Tab. 4 geht hervor, auf welchen Böden man in trockenen Jahren ohne Beregnung mit Ertragseinbussen rechnen muss<sup>6</sup>. Diese treten voraussichtlich dann ein, wenn das maximale Wasserdefizit in den Monaten Juni bis August grösser als das doppelte des Speichervermögens des Bodens für leicht verfügbares Wasser ist.

Tab. 4: Ertragsschädigendes Wasserdefizit für Böden mit verschiedenen Speichervermögen.

| BODEN  | KLIMA  |
|--|--|
| Speichervermögen für leicht verfügbares Wasser | Ertragsschädigendes Wasserdefizit in den Monaten Juni bis August |
| 30 – 50 mm                                     | 70 – 100 mm  |
| 50 – 70 mm                                     | 100- 150 mm  |
| 70 – 100 mm                                    | 150 – 200 mm   |
| > 100 mm                                       | > 200 mm   |

Quelle: Nievergelt 1986.

<sup>6</sup> Es wird dabei nicht auf die Besonderheiten der einzelnen Kulturen und Vegetationsabschnitte eingegangen.

---

Als Mass für die witterungsbedingte Trockenheit wurde in Tab. 10 bis 18 das Sommer-Maximum des Wasserdefizits in der Periode 1. Juni bis 31. August für eine klimatisch aussagekräftige Anzahl von Jahren dekadenweise aufsummiert. Das Sommermaximum des Wasserdefizits ergibt sich aus der kumulierten Wasserbilanz (Niederschlag abzüglich Wasserverbrauch) ab Jahresbeginn.

Für die vorliegende Untersuchung wurde der Grenzwert eines ertragsschädigenden Wasserdefizits für alle berechneten Stationen auf 70 mm festgelegt. Dies entspricht der Untergrenze des ertragsschädigenden Wasserdefizits eines Bodens mit einer Speicherfähigkeit von 30 – 50 mm. Damit ist ein für unsere Verhältnisse üblicher eher tiefgründiger Boden berücksichtigt worden. Solche Böden sind vermutlich zu grossen Teilen in den klassischen Bewässerungsgebieten anzutreffen. Sie sind Grundlage für Halbfett- und Fettwiesen.

Wenn in mehr als einem Drittel der untersuchten Jahre – für die vorliegende Untersuchung sind das sieben Jahre - das Sommermaximum des Wasserdefizits 70 mm überschreitet, wird die Region als bewässerungsbedürftig angesehen.

---

## 6 Klimatenauswertung von acht Stationen

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Evapotranspirationsberechnungen und die Niederschlagsmengen als Übersicht über acht Klimamessstationen (Kap. 6.1 – 6.5) dargestellt. Des Weiteren werden die Ergebnisse der Evapotranspirationsberechnung, die Niederschlagsmengen, die Wasserbilanz sowie der Bewässerungswasserbedarf pro Dekade für jede berechnete Station gezeigt (Kap. 6.5.1 – 6.5.9).

In einem zweiten Ergebnisteil wird die Auswertung der Sommermaxima des Wasserdefizites dargestellt (Kap 6.6).

Wie in Kap. 5.3.3 beschrieben, wurden für die Auswertungen der Wasserbilanz und des Bewässerungsbedarfs die Evapotranspirationswerte im Sommerhalbjahr (April – September) nach der modifizierten Penman Methode in die Berechnung miteinbezogen. Im Winterhalbjahr wurden die Evapotranspirationswerte, die nach der Primault Formel berechnet wurden in der Wasserbilanzrechnung berücksichtigt.

### 6.1 Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode im Überblick

Als Übersicht über alle acht berechneten Stationen im Kanton Graubünden sind in der Tabelle 5 die Ergebnisse der Evapotranspirationsberechnungen nach der modifizierten Penman Methode dargestellt. Die Evapotranspiration wurde täglich berechnet, dekadenweise aufsummiert und über 25 Jahre gemittelt.

Mit der modifizierten Penman Methode zeigt die Station Chur die höchste Jahressumme der Evapotranspiration, an zweiter Stelle folgt die Station Robbia. Die tiefsten Werte der Evapotranspiration erhält man für die Station Disentis.



Tab. 5: Evapotranspirationswerte nach der modifizierten Penman Methode. Durchschnittliche Monatswerte der Berechnungsperiode: 1981 - 2005.

| <b>Evapotranspiration (in mm)</b> |      |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |       |
|-----------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| Station/Monat                     | Jan  | Feb  | Mär  | Apr   | Mai   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep  | Okt  | Nov  | Dez  | Jahr  |
| Chur                              | 22.0 | 33.8 | 69.1 | 101.4 | 134.1 | 136.9 | 142.3 | 120.8 | 76.9 | 49.6 | 24.8 | 17.7 | 929.3 |
| Davos                             | 12.3 | 23.9 | 55.1 | 80.6  | 110.2 | 117.6 | 125.5 | 105.3 | 70.2 | 42.7 | 17.3 | 8.9  | 769.5 |
| Disentis                          | 12.2 | 24.4 | 55.2 | 76.1  | 105.3 | 115.8 | 122.9 | 105.5 | 67.7 | 36.9 | 14.8 | 9.0  | 745.7 |
| Hinterrhein                       | 14.8 | 27.7 | 57.6 | 82.2  | 108.2 | 114.7 | 122.4 | 103.8 | 63.7 | 38.0 | 18.3 | 11.9 | 763.4 |
| Magadino                          | 13.5 | 29.7 | 69.8 | 88.7  | 115.6 | 138.9 | 151.9 | 128.0 | 77.7 | 37.6 | 19.0 | 10.5 | 880.9 |
| Robbia                            | 16.2 | 32.3 | 70.9 | 89.7  | 107.5 | 117.3 | 122.0 | 99.8  | 63.4 | 33.3 | 23.2 | 17.9 | 793.5 |
| Samedan                           | 10.6 | 22.4 | 54.8 | 81.7  | 113.5 | 123.1 | 131.1 | 107.8 | 68.5 | 38.4 | 15.6 | 8.5  | 776.1 |
| Scuol                             | 12.2 | 24.9 | 59.1 | 86.3  | 118.9 | 124.5 | 132.3 | 109.5 | 70.8 | 37.4 | 13.7 | 7.1  | 796.7 |

Quelle: Eingangsdaten MeteoSchweiz. Eigene Berechnung.

## 6.2 Niederschlag im Überblick

Die höchste jährliche Niederschlagssumme hat die Station Magadino, gefolgt von den Stationen Davos, Disentis, Hinterrhein und Robbia. Die Stationen Samedan, Scuol und Chur erhalten über das ganze Jahr betrachtet am wenigsten Niederschlag.

Tab. 6: Durchschnittliche monatliche Niederschlagswerte über die Berechnungsperiode 1985 – 2004.

| <b>Niederschlag (in mm)</b> |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |      |        |
|-----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
| Station/Monat               | Jan  | Feb  | Mär  | Apr   | Mai   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Okt   | Nov   | Dez  | Jahr   |
| Chur                        | 46.1 | 56.2 | 60.3 | 57.4  | 65.4  | 103.9 | 113.6 | 112.7 | 73.9  | 61.1  | 75.1  | 54.9 | 880.4  |
| Davos                       | 58.1 | 67.1 | 63.2 | 61.8  | 82.1  | 139.2 | 145.7 | 151.2 | 90.4  | 67.0  | 73.3  | 62.5 | 1061.6 |
| Disentis                    | 62.9 | 63.4 | 67.8 | 97.6  | 102.0 | 117.8 | 119.6 | 115.4 | 107.0 | 94.7  | 109.5 | 65.2 | 1122.9 |
| Hinterrhein                 | 51.5 | 38.5 | 57.8 | 156.4 | 165.2 | 186.4 | 176.8 | 188.9 | 169.4 | 200.4 | 169.8 | 56.9 | 1618.0 |
| Magadino                    | 85.4 | 61.0 | 78.1 | 211.0 | 215.9 | 195.0 | 171.2 | 184.5 | 194.8 | 212.2 | 196.4 | 71.6 | 1877.1 |
| Robbia                      | 56.3 | 34.4 | 48.0 | 87.7  | 98.6  | 126.1 | 114.3 | 113.6 | 103.8 | 134.4 | 112.9 | 61.2 | 1091.2 |
| Samedan                     | 27.3 | 20.5 | 23.7 | 40.4  | 60.1  | 95.8  | 86.9  | 98.7  | 68.3  | 73.1  | 65.0  | 30.7 | 690.5  |
| Scuol                       | 33.5 | 38.9 | 35.7 | 40.8  | 49.0  | 91.2  | 95.3  | 106.5 | 60.2  | 67.3  | 64.7  | 42.4 | 725.4  |

Quelle: Eingangsdaten MeteoSchweiz.

### 6.3 Evapotranspiration nach der modifizierten Penman Methode und Niederschlag in der Vegetationsperiode

In Tabelle 7 werden die Evapotranspiration und die Niederschläge nur für das Sommerhalbjahr dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass bei den Stationen Chur, Samedan und Scuol die Evapotranspiration im Sommerhalbjahr viel höher ist als der Niederschlag. Bei den Stationen Davos, Disentis und Robbia erkennt man, dass die Evapotranspiration nur gering unterhalb des Niederschlags liegt. Für Hinterrhein und Magadino liegt der Niederschlag über das Sommerhalbjahr höher als die Evapotranspiration.

Tab. 7: Durchschnittliche Evapotranspiration nach Penman und durchschnittlicher Niederschlag im Sommerhalbjahr (April – September) über die Berechnungsperiode 1985-2004.

#### Evapotranspiration (ET) und Niederschlag (NS) im Sommerhalbjahr

|             | ET (in mm) | NS (in mm) | Wasserbilanz = Niederschlag - Evapotranspiration |
|-------------|------------|------------|--|
| Chur        | 712.4      | 526.9      | -185.5   |
| Davos       | 609.4      | 670.4      | 61   |
| Disentis    | 593.3      | 659.4      | 66.1   |
| Hinterrhein | 595.0      | 1043.1     | 448.1  |
| Magadino    | 700.8      | 1172.4     | 471.6  |
| Robbia      | 599.7      | 644.1      | 44.4   |
| Samedan     | 625.7      | 450.2      | -175.5   |
| Scuol       | 642.3      | 443.0      | -199.3   |

Quelle: Eingangsdaten MeteoSchweiz.

#### 6.4 Evapotranspiration nach Primault im Überblick

Die Ergebnisse der Evapotranspirationsberechnung nach Primault stellte MeteoSchweiz als Mittel über 20 Jahre zur Verfügung. Sie werden als Übersicht über die acht berechneten Stationen dargestellt (Tab 8). Die höchsten Evapotranspirationswerte zeigen die Stationen Chur, Disentis und Scuol. Die Station Hinterrhein weist die tiefsten Evapotranspirationswerte auf.

Tab.8: Evapotranspiration nach Primault. Durchschnittliche Monatswerte über die Berechnungsperiode: 1985 – 2004.

| <b>Evapotranspiration (in mm)</b> |     |     |      |      |      |       |       |       |      |      |      |     |       |
|-----------------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-------|
| Station                           | Jan | Feb | Mär  | Apr  | Mai  | Jun   | Jul   | Aug   | Sep  | Okt  | Nov  | Dez | Jahr  |
| Chur                              | 5.4 | 9.7 | 32.2 | 54.7 | 77.9 | 80.1  | 88.4  | 77.9  | 45.9 | 28.9 | 14.0 | 8.0 | 523.0 |
| Davos                             | 5.5 | 5.0 | 6.3  | 7.2  | 20.5 | 65.0  | 94.5  | 88.8  | 54.1 | 28.4 | 10.1 | 6.9 | 392.2 |
| Disentis                          | 6.8 | 6.4 | 7.9  | 19.7 | 66.7 | 91.4  | 109.0 | 97.1  | 60.0 | 35.2 | 13.4 | 8.2 | 521.8 |
| Hinterrhein                       | 3.7 | 4.3 | 5.5  | 5.8  | 19.8 | 66.2  | 94.6  | 85.5  | 44.8 | 20.3 | 7.4  | 4.4 | 362.1 |
| Magadino                          | 4.3 | 9.0 | 35.8 | 50.8 | 59.0 | 73.9  | 82.2  | 67.4  | 40.0 | 19.1 | 12.5 | 6.8 | 460.9 |
| Robbia                            | 6.3 | 6.6 | 9.3  | 21.6 | 57.5 | 80.7  | 92.7  | 76.1  | 47.4 | 26.2 | 15.1 | 8.4 | 447.8 |
| Samedan                           | 5.0 | 4.9 | 6.6  | 7.6  | 22.3 | 75.1  | 110.1 | 94.9  | 57.0 | 25.7 | 10.3 | 6.6 | 425.9 |
| Scuol                             | 5.9 | 6.4 | 9.5  | 25.3 | 79.1 | 102.3 | 126.5 | 106.1 | 65.3 | 35.7 | 12.9 | 6.5 | 581.6 |

Quelle: Eingangsdaten MeteoSchweiz.

## 6.5 Evapotranspiration nach Primault für das Winterhalbjahr

### und Evapotranspiration nach Penman für das Sommerhalbjahr im Überblick

Für unsere Untersuchung wurden die Evapotranspirationswerte der Wintermonate Oktober bis März mittels Primault- und für die Sommermonate April bis September mittels der modifizierten Penman Methode berechnet (Tab. 9, siehe auch Kap. 5.3.3).

Tab. 9: Evapotranspirationswerte nach Primault für die Wintermonate (Oktober – März). Durchschnittliche Monatswerte über die Berechnungsperiode 1985-2004, Evapotranspirationswerte nach Penman für die Sommermonate (April – September); durchschnittliche Monatswerte über die Berechnungsperiode 1981 – 2005.

| <b>Evapotranspiration (in mm)</b> |     |     |      |       |       |       |       |       |      |      |      |     |       |
|-----------------------------------|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-----|-------|
| Station/Monat                     | Jan | Feb | Mär  | Apr   | Mai   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep  | Okt  | Nov  | Dez | Jahr  |
| Chur                              | 5.3 | 9.6 | 32.0 | 101.4 | 134.1 | 136.9 | 142.3 | 120.8 | 76.9 | 28.8 | 13.3 | 7.6 | 809.0 |
| Davos                             | 5.4 | 4.9 | 6.2  | 80.9  | 110.5 | 118.5 | 124.9 | 105.9 | 70.2 | 28.3 | 10.0 | 6.8 | 672.4 |
| Disentis                          | 6.7 | 6.3 | 7.8  | 76.1  | 105.3 | 115.8 | 122.9 | 105.5 | 67.7 | 35.1 | 13.3 | 8.4 | 670.9 |
| Hinterrhein                       | 3.5 | 4.2 | 5.4  | 82.2  | 108.2 | 114.7 | 122.4 | 103.8 | 63.7 | 19.3 | 7.3  | 4.3 | 639.1 |
| Magadino                          | 4.3 | 9.0 | 35.8 | 88.7  | 115.6 | 138.9 | 151.9 | 128.0 | 77.7 | 19.1 | 12.5 | 6.8 | 788.5 |
| Robbia                            | 6.2 | 6.6 | 9.2  | 89.7  | 107.5 | 117.3 | 122.0 | 99.8  | 63.4 | 26.1 | 15.0 | 8.3 | 671.1 |
| Samedan                           | 4.9 | 4.9 | 6.5  | 81.7  | 113.5 | 123.1 | 131.1 | 107.8 | 68.5 | 25.5 | 10.2 | 6.5 | 684.2 |
| Scuol                             | 5.8 | 6.4 | 8.8  | 84.9  | 117.7 | 123.0 | 132.7 | 109.8 | 73.8 | 33.5 | 12.9 | 6.2 | 715.4 |

Quelle: MeteoSchweiz und eigene Berechnung (modifizierte Penman Methode).

### 6.5.1 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Chur<sup>7</sup>

Chur liegt auf einer Höhe von 555 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die hohe Evapotranspiration über den Sommer hinweg nicht zu decken (Abb. 5). Folglich ist die Wasserbilanz für das Sommerhalbjahr negativ. Im Winterhalbjahr liegt die Evapotranspiration unter dem Niederschlag und die Böden sind somit in der Regel wassergesättigt.

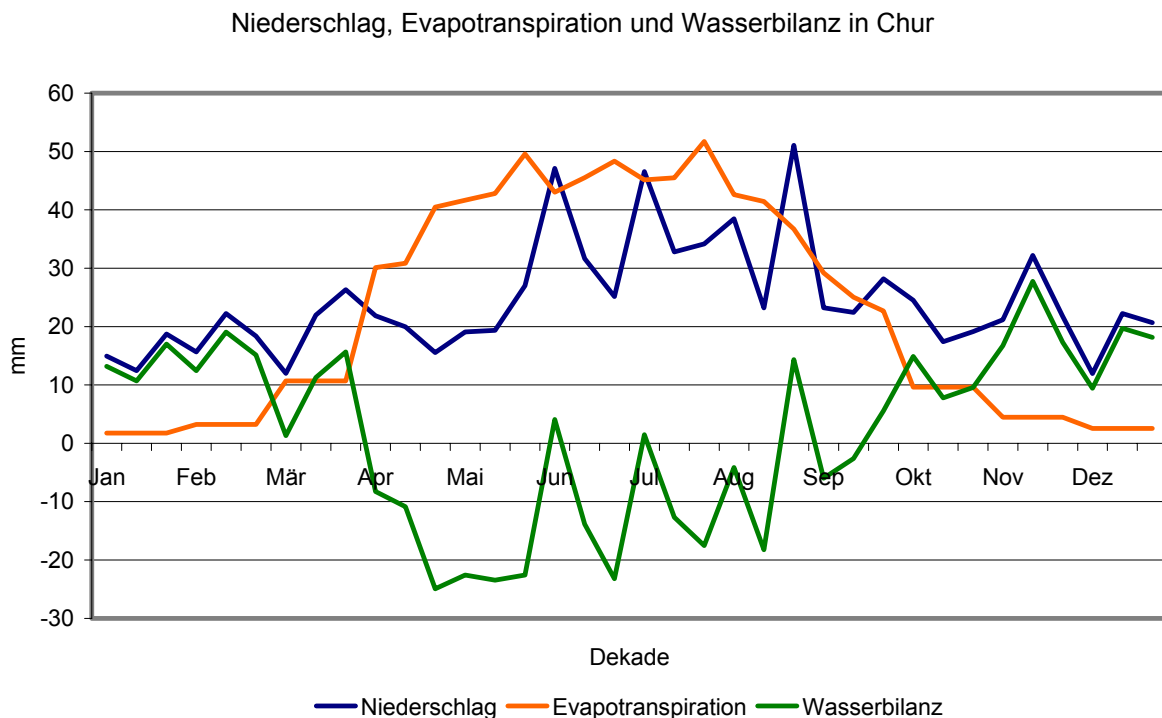


Abb. 5: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Chur. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Auf den folgenden beiden Abbildungen (Abb. 6, Abb. 7) ist zu erkennen, dass der Wasserbedarf von landwirtschaftlichen Kulturen sowohl auf Böden mit 25 mm als auch auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen nicht nur durch Niederschläge oder das im Boden gespeicherte Wasser gedeckt werden kann. Das Wasserdefizit tritt in Chur auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen bereits schon Ende April und auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen anfangs Mai auf.

<sup>7</sup> Die folgenden Darstellungen der Ergebnisse in den Kap. 6.5.1 - Kap. 6.5.11 und Kap. 6.6 beruhen auf einer Kombination der Evapotranspirationsberechnungen nach Primault und der modifizierten Penman Methode (siehe Kap. 5.3.3).

Deckung des Wasserbedarfs in Chur (25mm Wasserspeichervermögen)

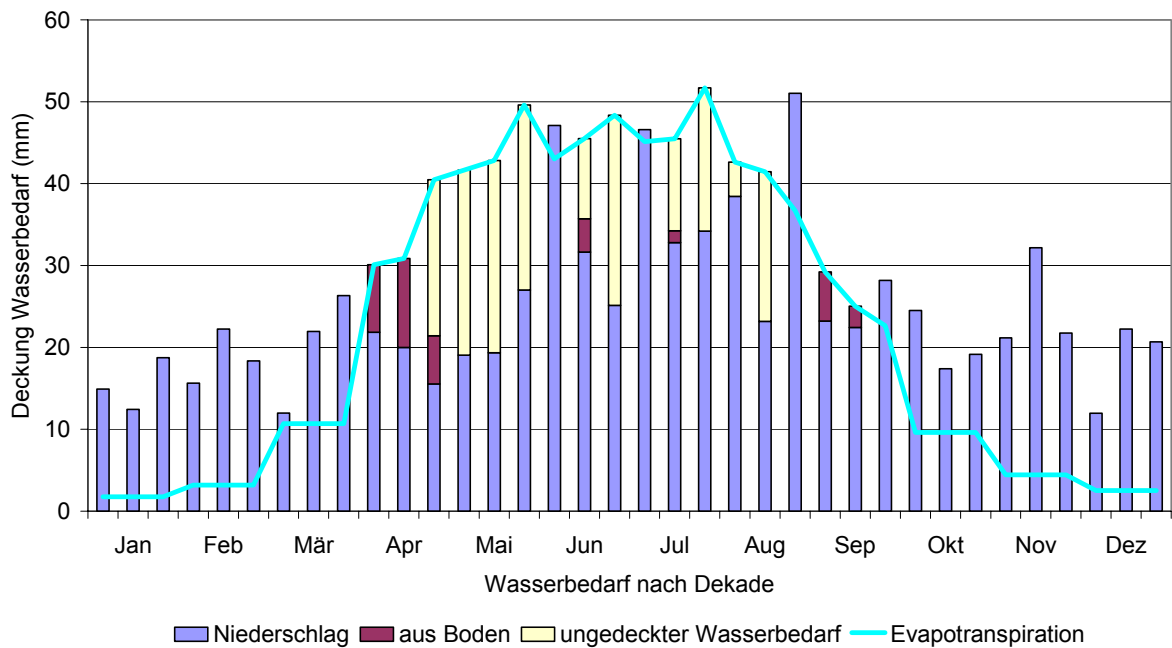


Abb. 6: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Chur. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Deckung des Wasserbedarfs in Chur (60mm Wasserspeichervermögen)

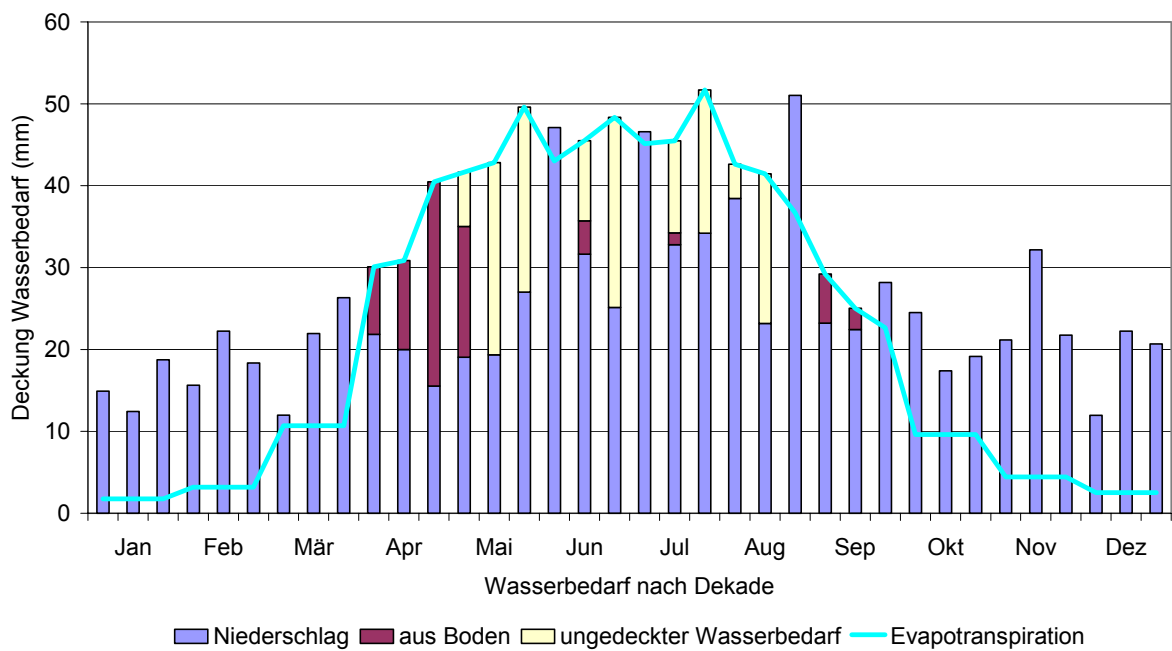


Abb. 7: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Chur. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.2 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Davos

Davos liegt auf einer Höhe von 1590 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen zum grössten Teil die Evapotranspiration über den Sommer hinweg zu decken (Abb. 8). Im Frühjahr zeichnet sich jedoch ein geringes Defizit in der Wasserbilanz ab.

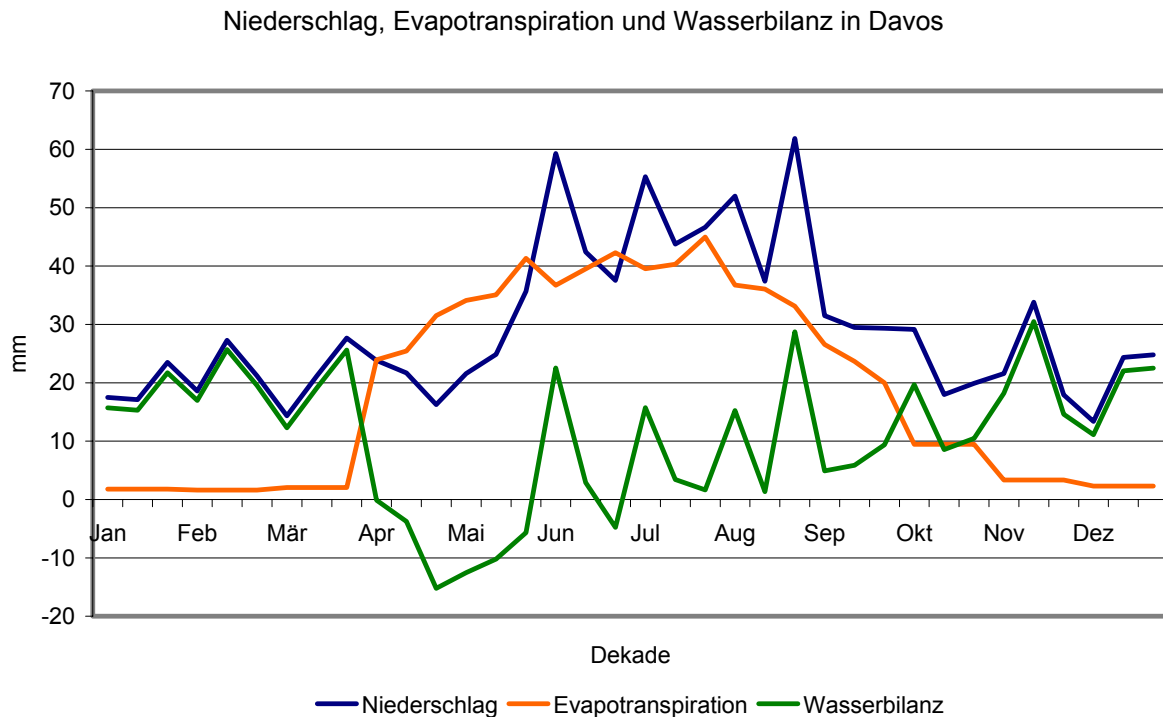


Abb. 8: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Davos. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Der Wasserbedarf von landwirtschaftlichen Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen im Frühling nicht vollständig gedeckt werden kann (Abb.9). Dies ist jedoch für Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen nicht der Fall, bei diesen Böden besteht während des ganzen Sommerhalbjahres kein ungedeckter Wasserbedarf (Abb.10).



Deckung des Wasserbedarfs in Davos (25mm Wasserspeichervermögen)

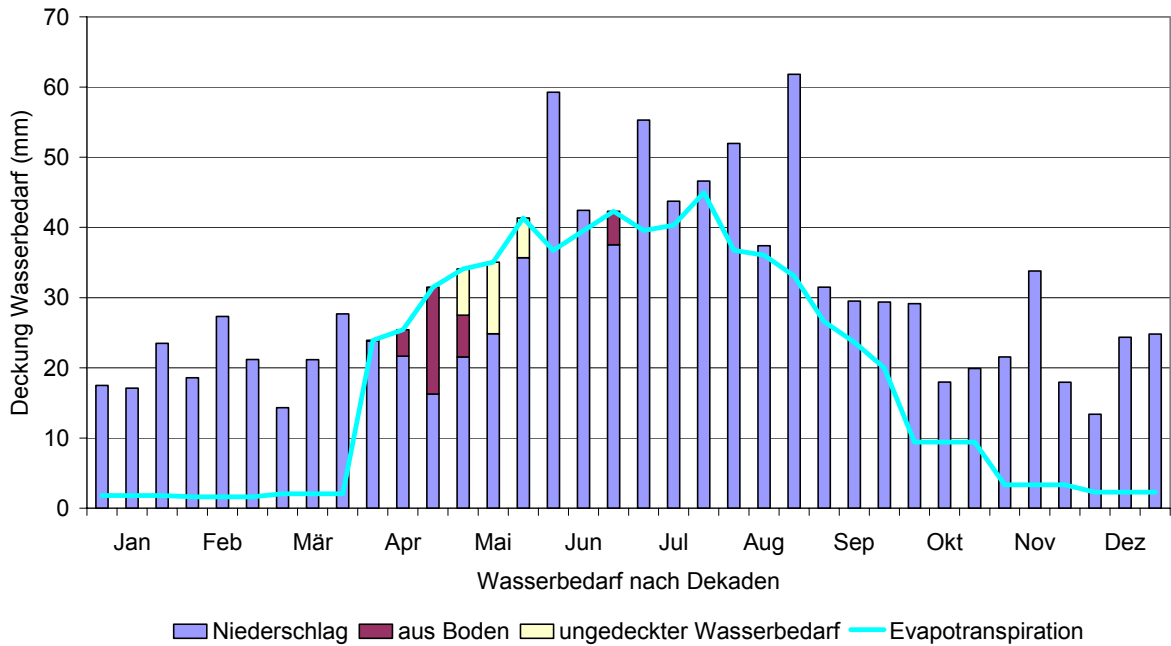


Abb. 9: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Davos. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Deckung des Wasserbedarfs in Davos (60mm Wasserspeichervermögen)

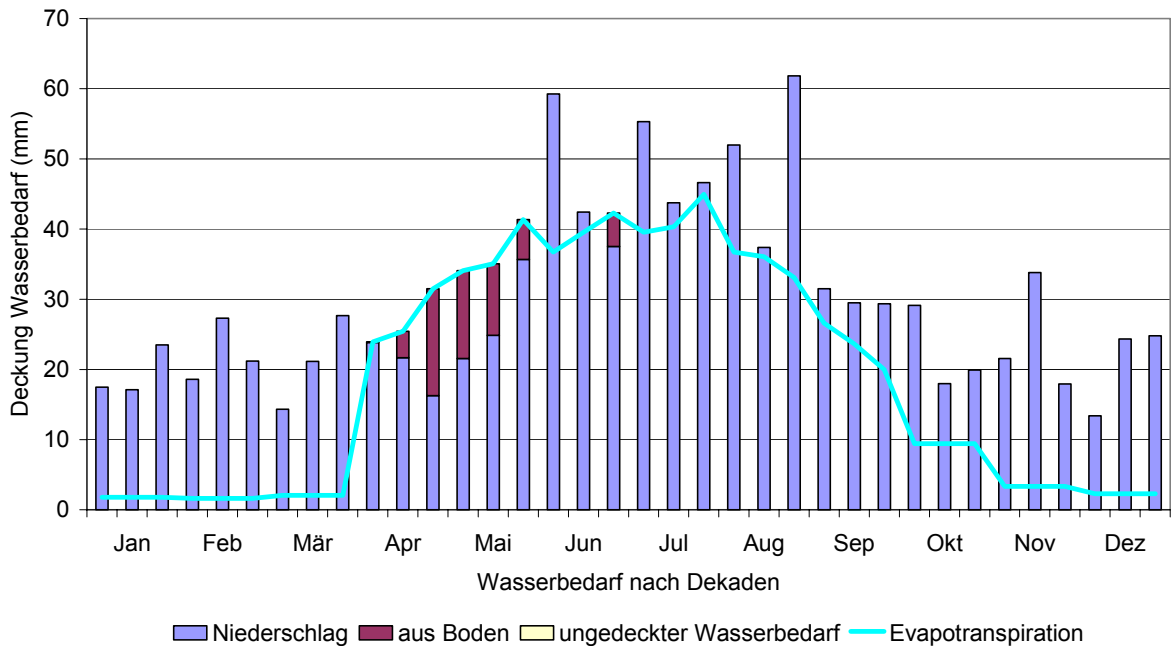


Abb. 10: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Davos. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.3 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Disentis

Disentis liegt auf einer Höhe von 1'190 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg grösstenteils zu decken (Abb. 11). Im Verlauf des ganzen Sommers zeigen sich jedoch immer wieder Defizite in der Wasserbilanz.

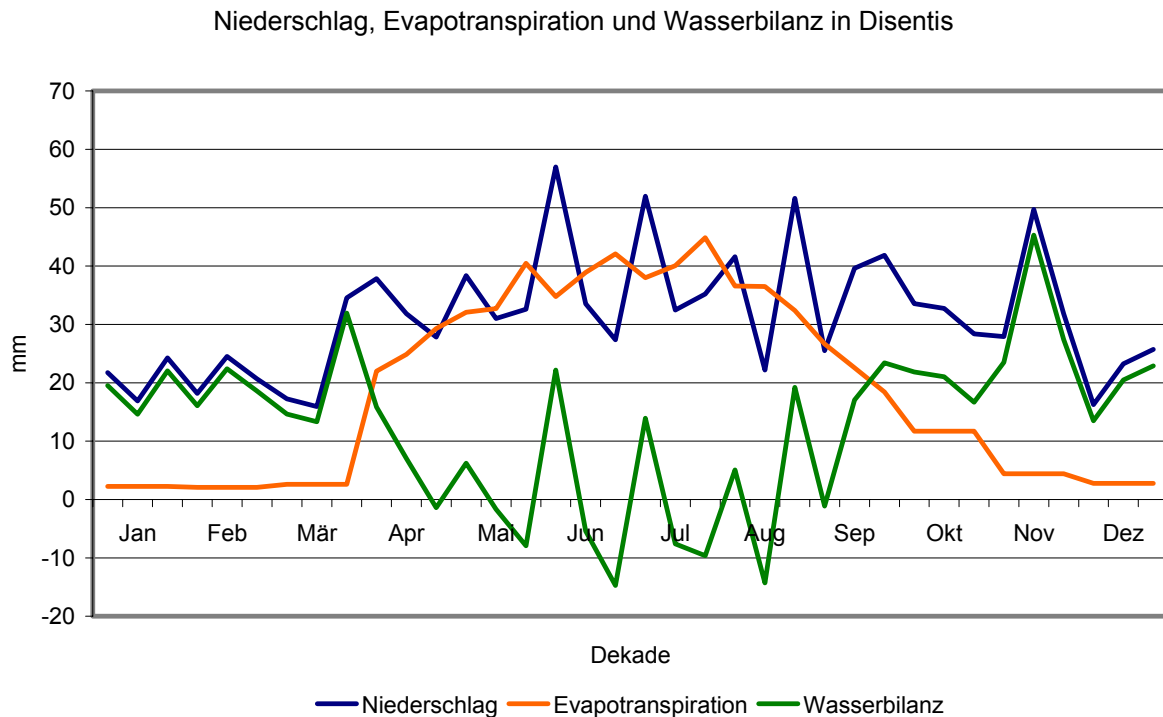


Abb. 11: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Disentis. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Auf Böden mit einem Wasserspeichervermögen von 25 mm kann der Wasserbedarf gegen Spätsommer durch Niederschläge und den Bodenwassergehalt nicht ganz gedeckt werden (Abb. 12). Hingegen besteht auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen kein Wasserdefizit über das ganze Jahr hinweg (Abb. 13).

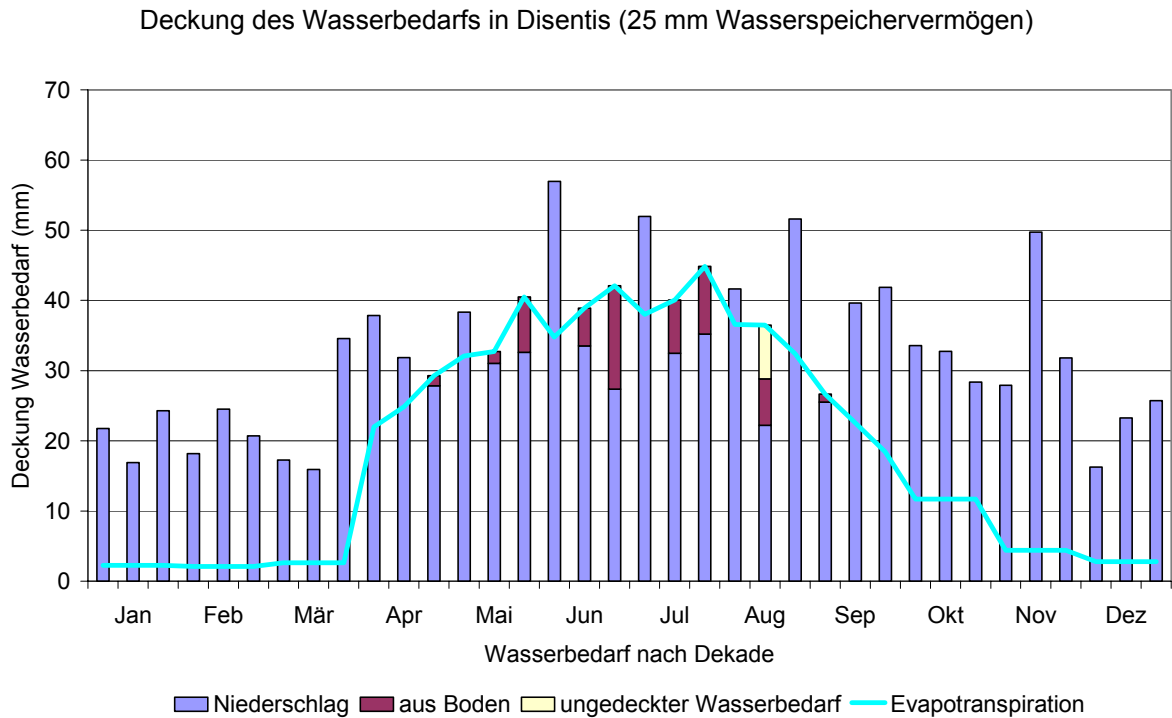


Abb. 12: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Disentis. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

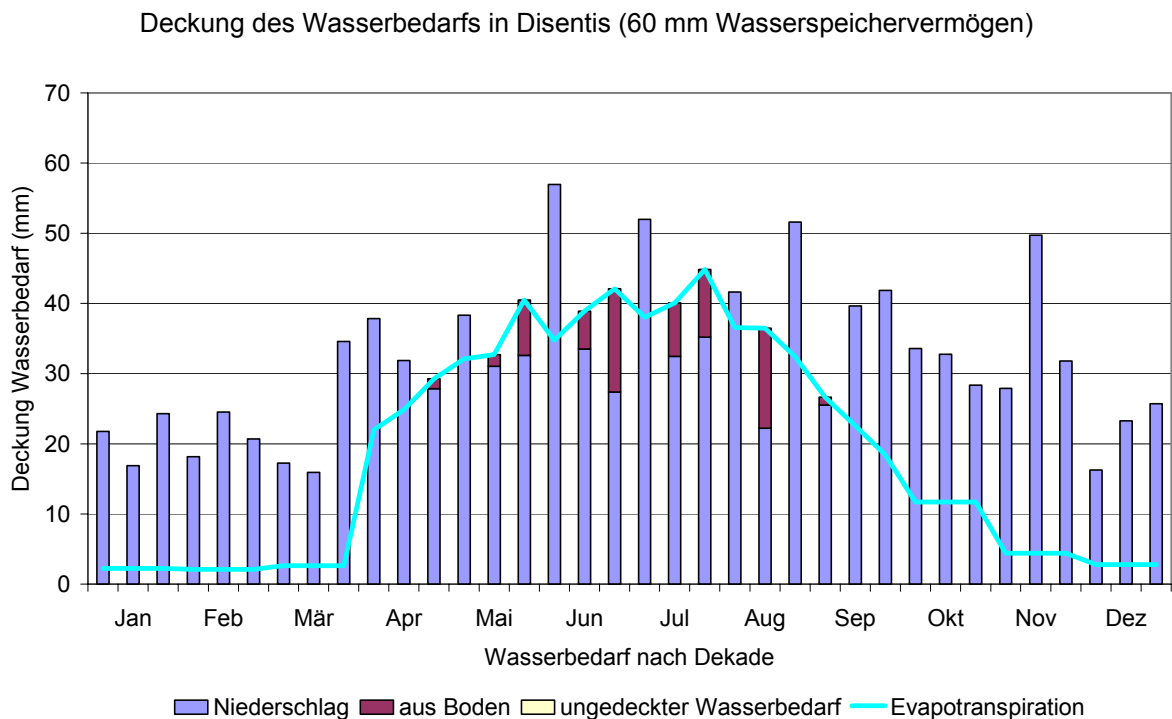


Abb. 13: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Disentis. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.4 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Hinterrhein

Hinterrhein liegt auf einer Höhe von 1'611 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg zu decken (Abb. 14). Im Verlauf des ganzen Sommers zeigt sich nur ein geringes Defizit in der Wasserbilanz.

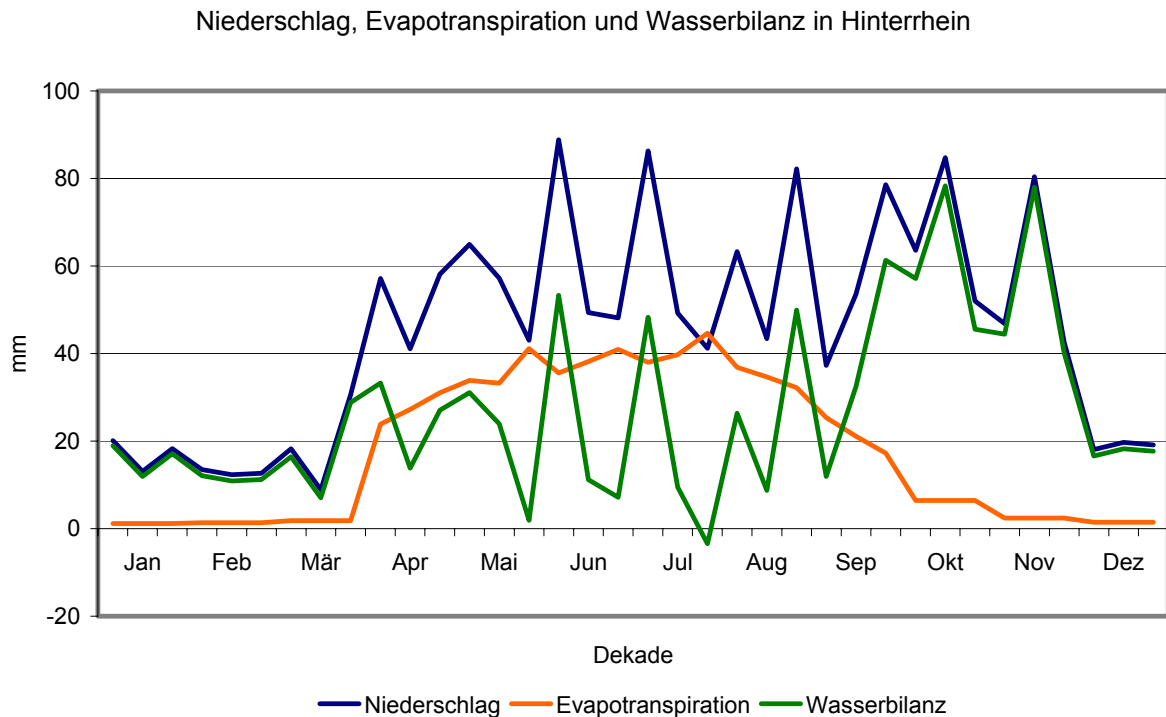


Abb. 14: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Hinterrhein. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Hinterrhein hat eine andere y-Achsen Skalierung.

Sowohl auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen als auch auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen kann der Wasserbedarf der landwirtschaftlichen Kulturen über das ganze Jahr hinweg durch Niederschläge und das gespeicherte Bodenwasser gedeckt werden (Abb.15, Abb. 16).

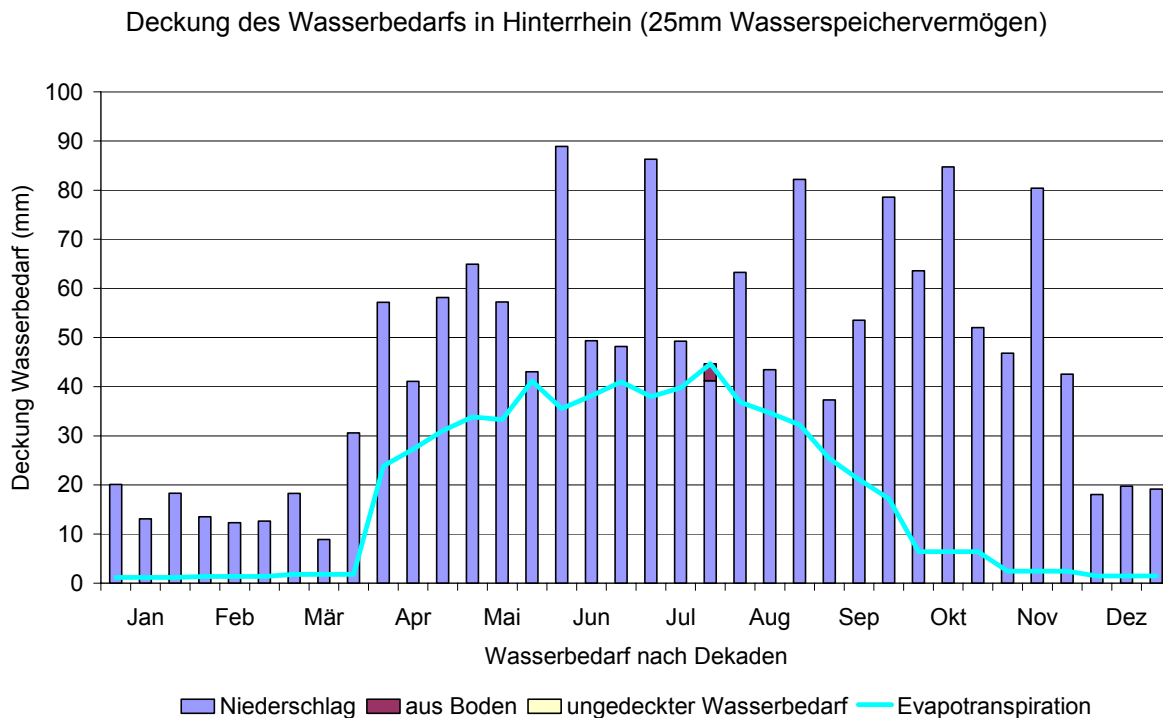


Abb. 15: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Hinterrhein. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Hinterrhein hat eine andere y-Achsen Skalierung.

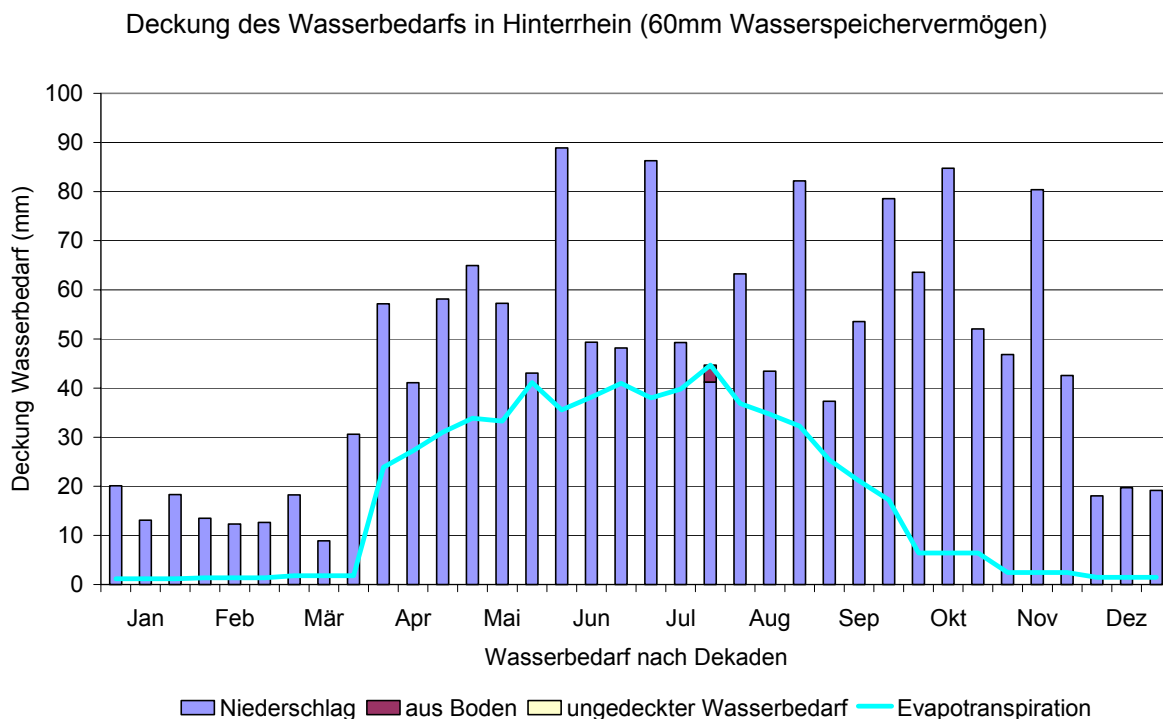


Abb. 16: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Hinterrhein. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Hinterrhein hat eine andere y-Achsen Skalierung.

### 6.5.5 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Magadino

Magadino liegt auf einer Höhe von 203 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg zu decken (Abb. 17). Im Verlauf des ganzen Sommers zeigt sich nur ein geringes Defizit in der Wasserbilanz.

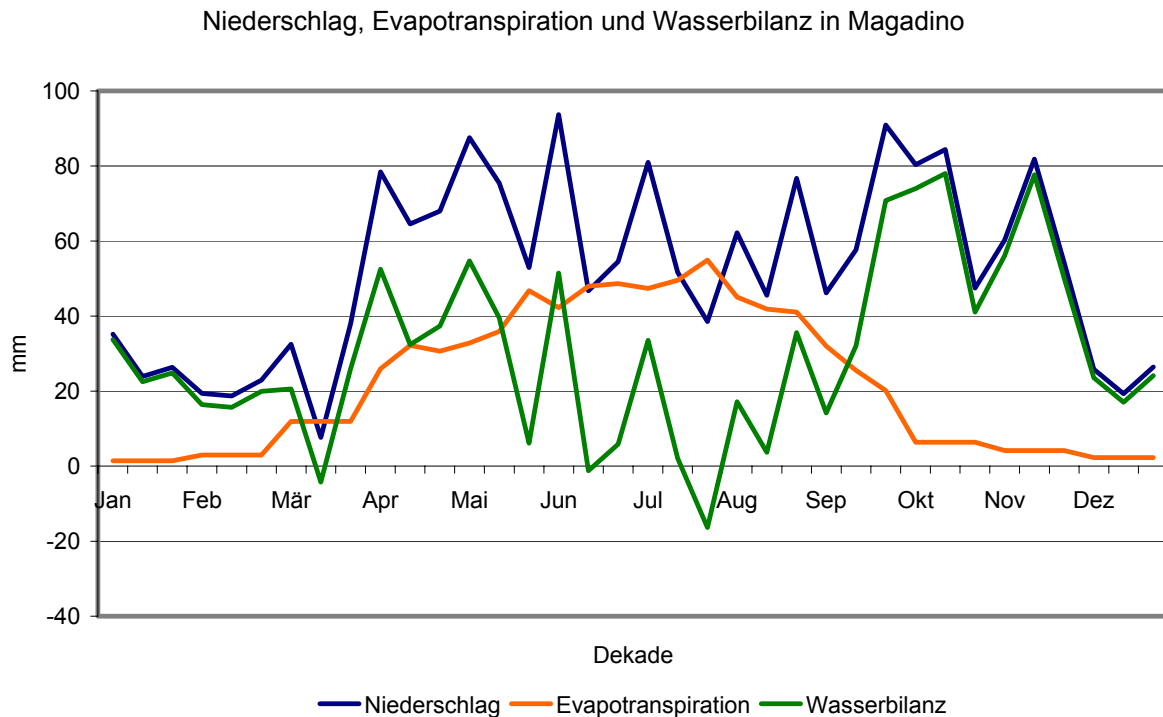


Abb. 17: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Magadino. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Magadino hat eine andere y-Achsen Skalierung.

Sowohl auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen als auch auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen kann der Wasserbedarf der landwirtschaftlichen Kulturen über das ganze Jahr hinweg durch Niederschläge und das gespeicherte Bodenwasser gedeckt werden (Abb.18, Abb. 19).

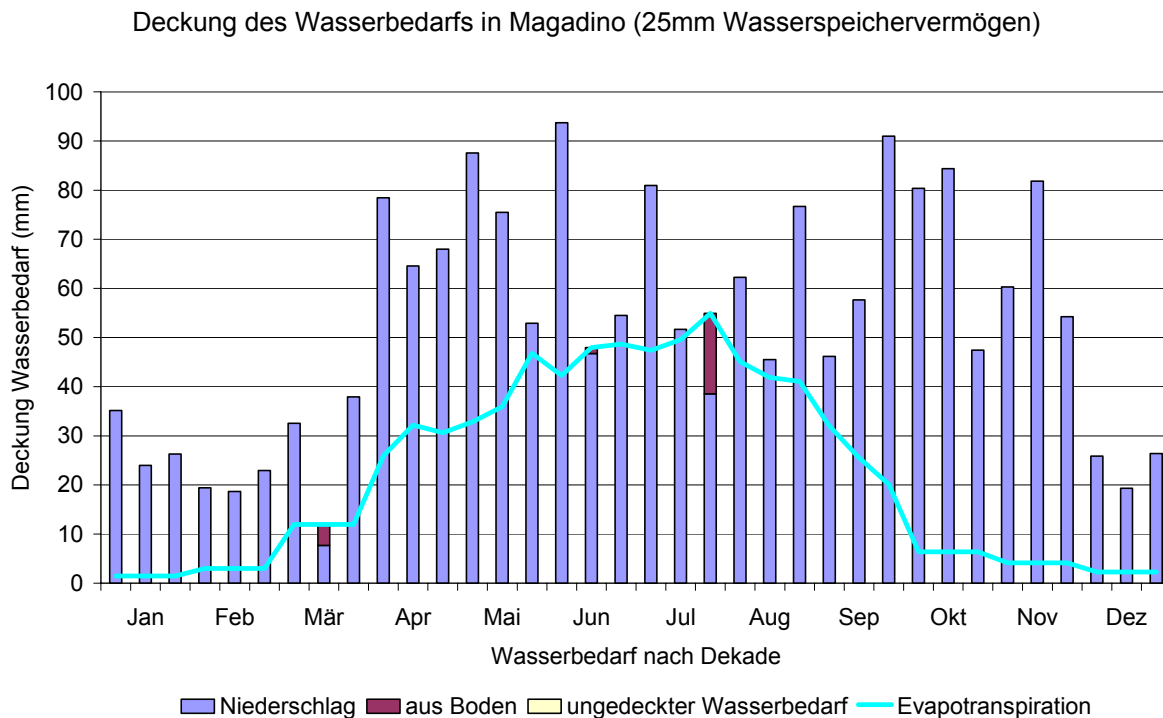


Abb. 18: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Magadino. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Magadino hat eine andere y-Achsen Skalierung.

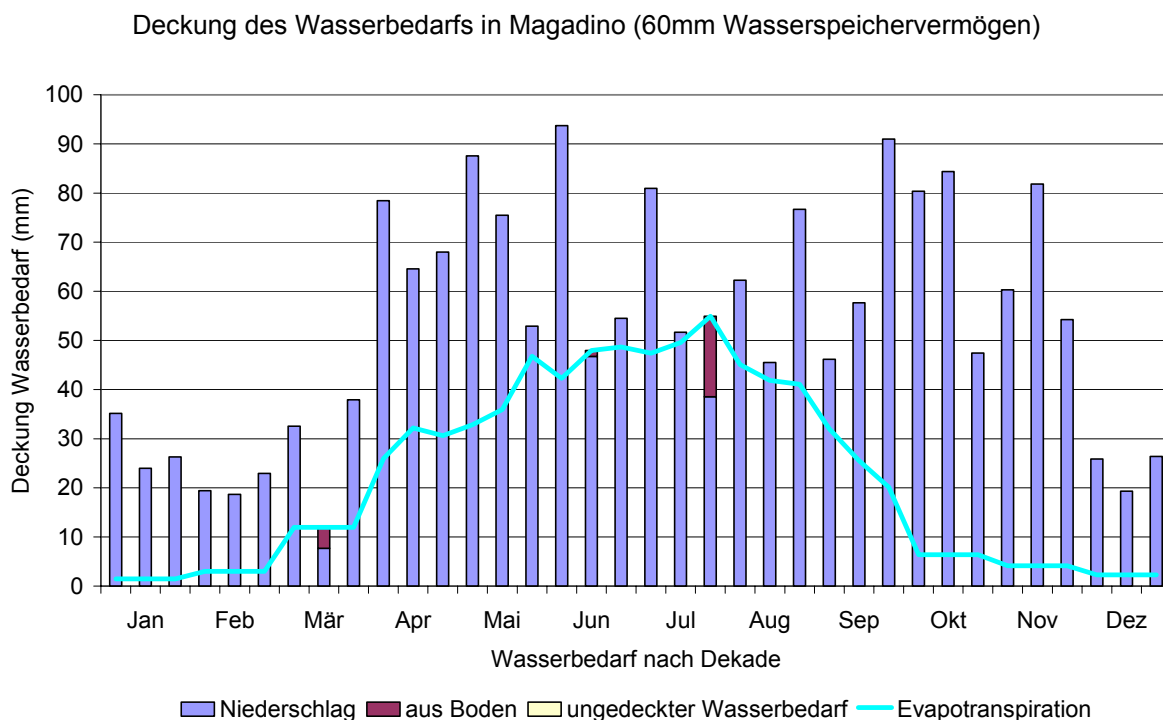


Abb. 19: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Magadino. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung. Beachte: Die Station Magadino hat eine andere y-Achsen Skalierung.

### 6.5.6 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Robbia

Robbia liegt auf einer Höhe von 1'078 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg nicht vollständig zu decken (Abb. 20). Im Verlauf des ganzen Sommers zeigen sich über einen längeren Zeitabschnitt geringe Defizite in der Wasserbilanz.

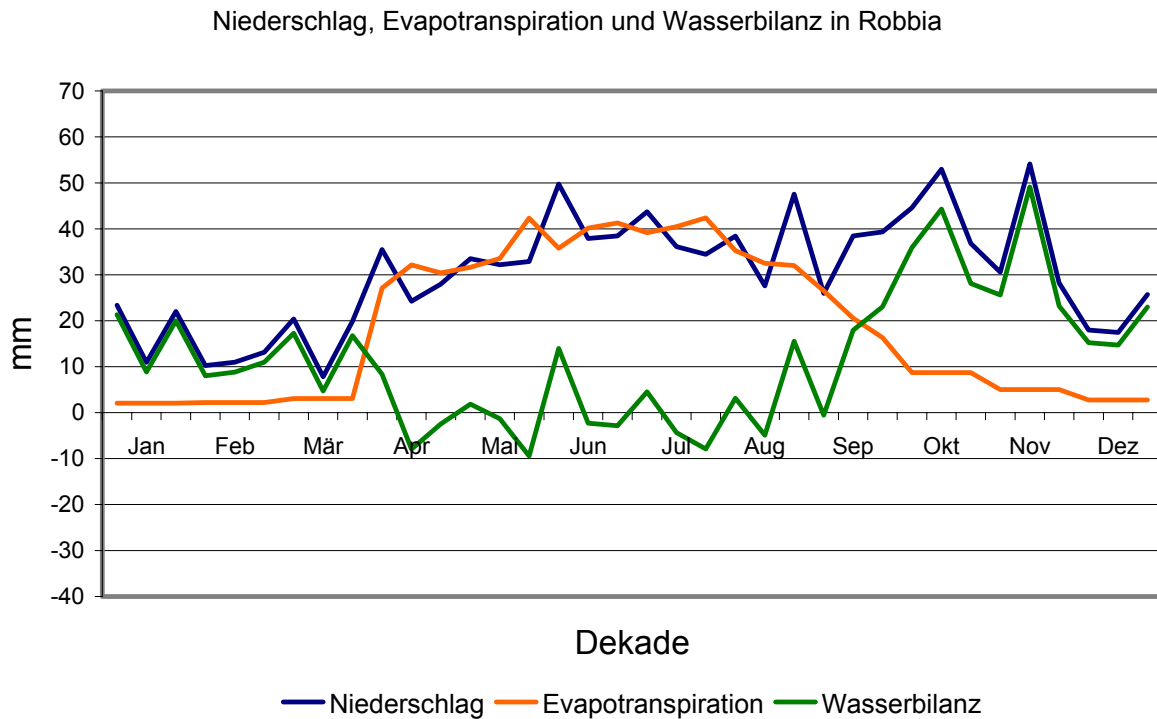


Abb. 20: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Robbia. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Im Verlauf des ganzen Sommers besteht auf beiden Bodentypen, 25 und 60 mm Wasserspeichervermögen, ein Wasserdefizit, das durch das gespeicherte Bodenwasser gedeckt werden muss (Abb. 21 & 22).



Deckung des Wasserbedarfs in Robbia (25mm Wasserspeichervermögen)

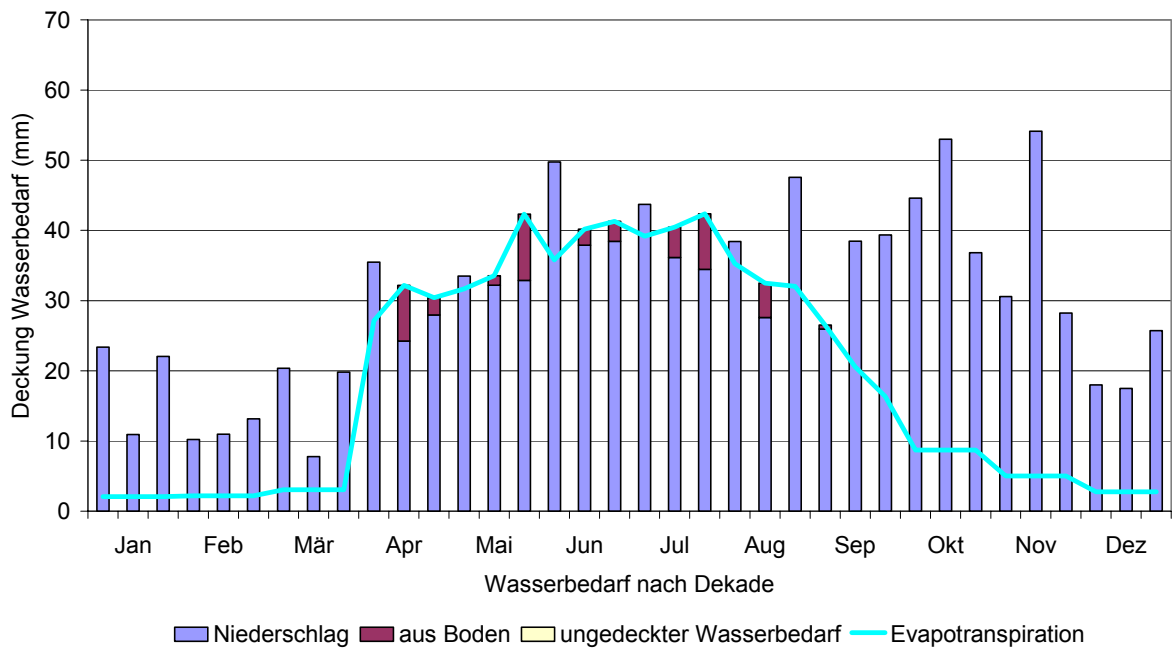


Abb. 21: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Robbia. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Deckung des Wasserbedarfs in Robbia (60 mm Wasserspeichervermögen)

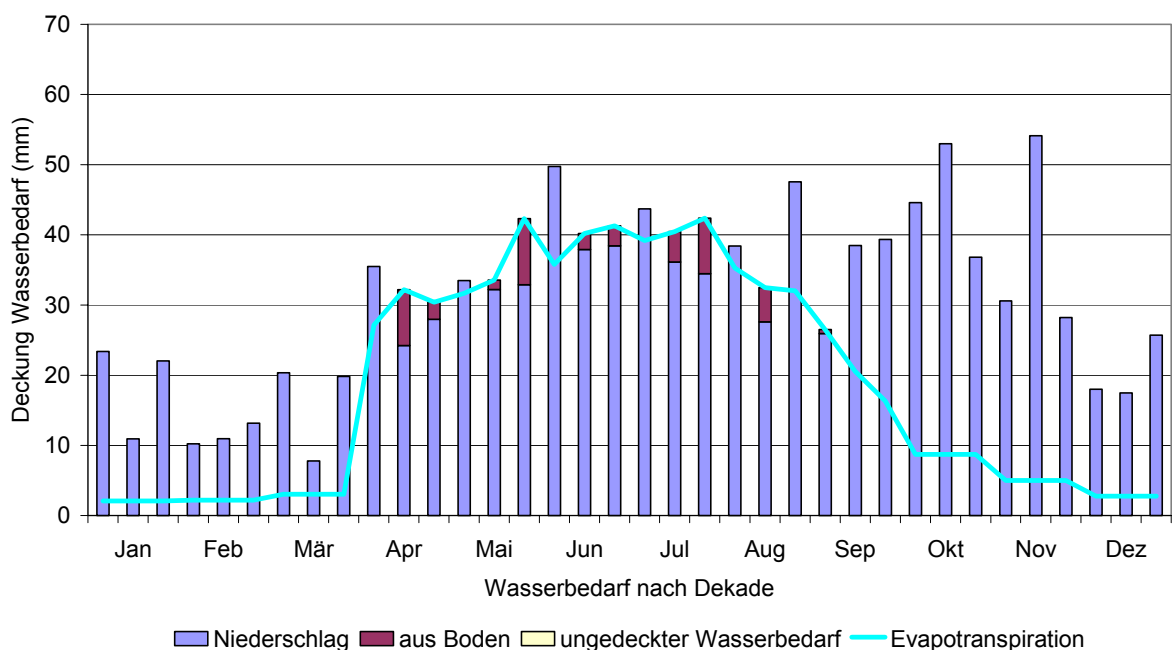


Abb. 22: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Robbia. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.7 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Samedan

Samedan liegt auf einer Höhe von 1'705 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg nicht zu decken (Abb. 23). Im Verlauf des ganzen Sommers zeichnet sich ein konstantes Defizit in der Wasserbilanz.

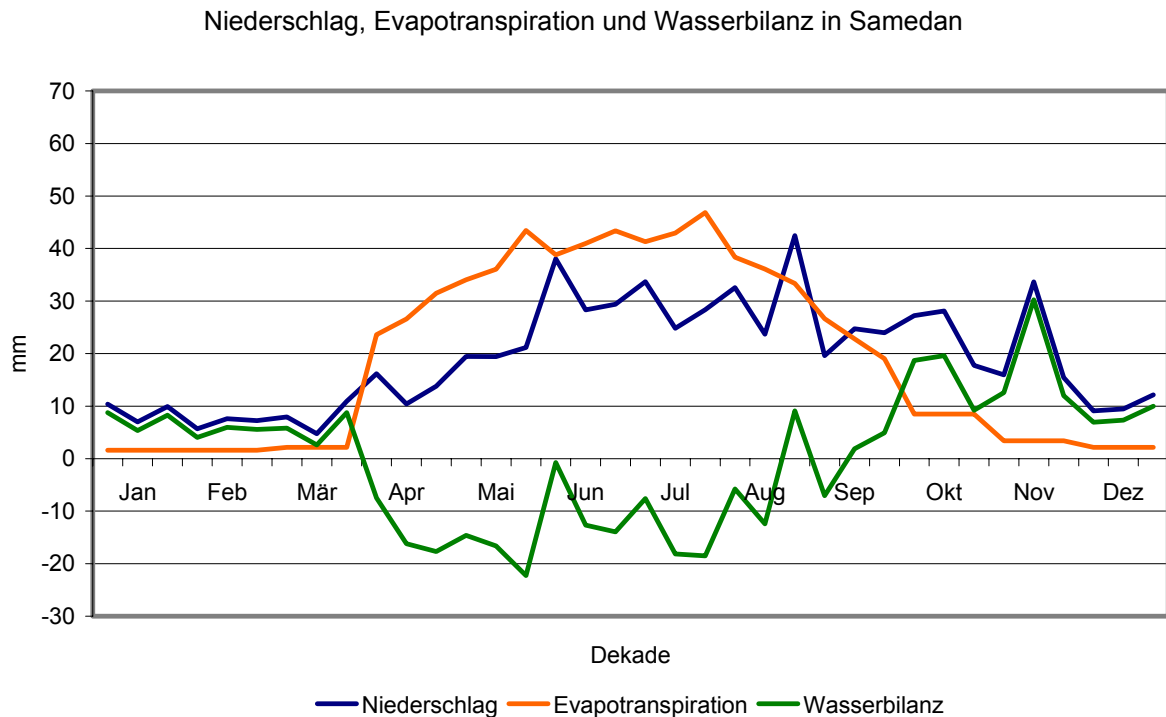


Abb. 23: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Samedan. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen tritt ein ungedeckter Wasserbedarf bereits Ende April auf (Abb. 24). Auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen kann Mitte Mai der Wasserbedarf nicht mehr nur durch Niederschläge und durch das im Boden gespeicherte Wasser gedeckt werden (Abb. 25).

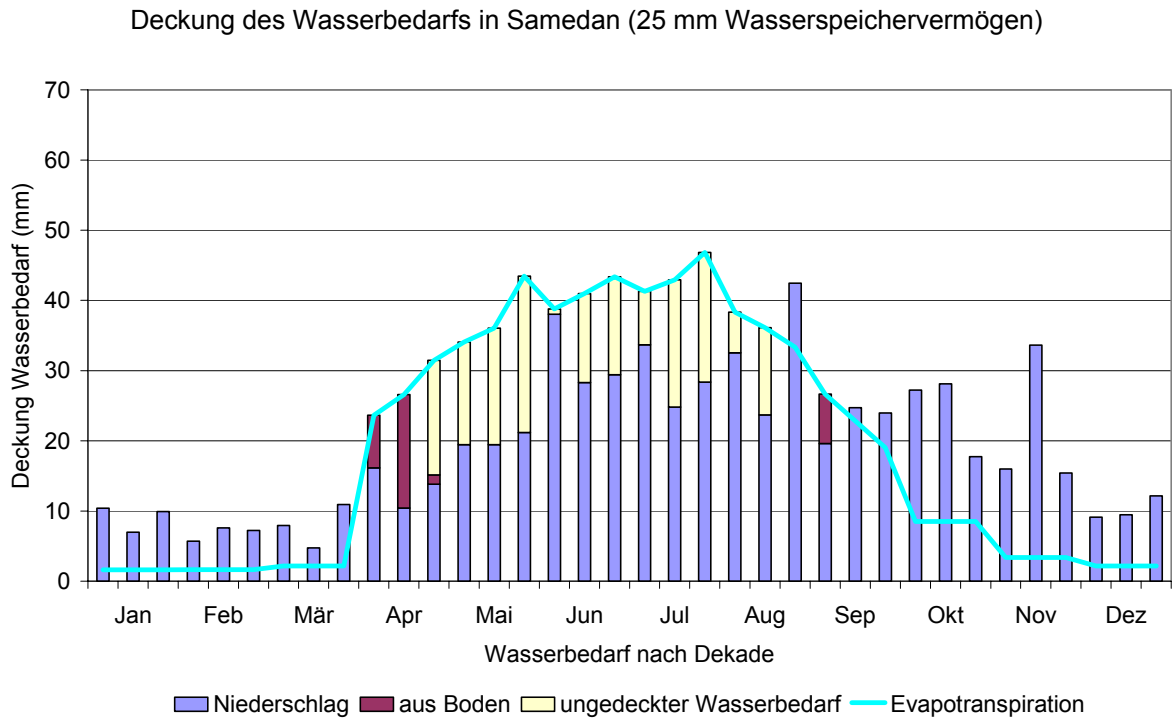


Abb. 24: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Samedan. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

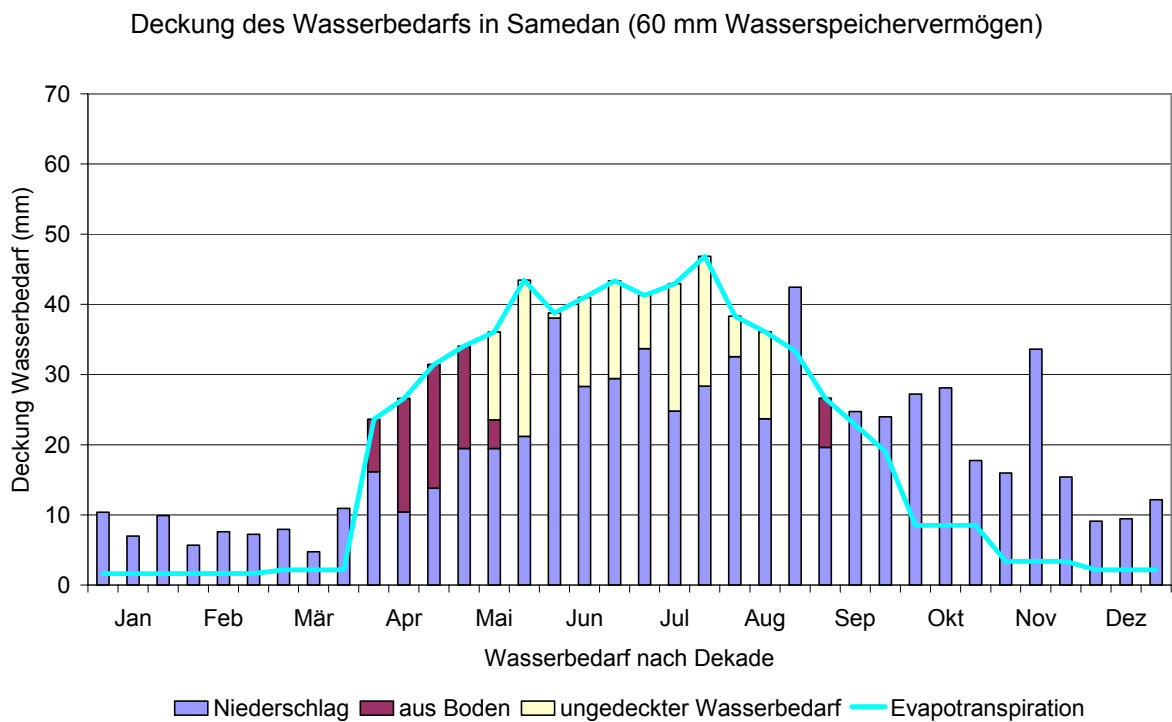


Abb.25: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Samedan. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.8 Wasserbilanz und Deckung des Wasserbedarfs in Scuol

Scuol liegt auf einer Höhe von 1'295 m ü.M. Die Niederschläge im Sommerhalbjahr vermögen die Evapotranspiration über den Sommer hinweg nicht zu decken (Abb. 26). Im Verlauf des ganzen Sommers zeichnet sich ein Defizit in der Wasserbilanz.

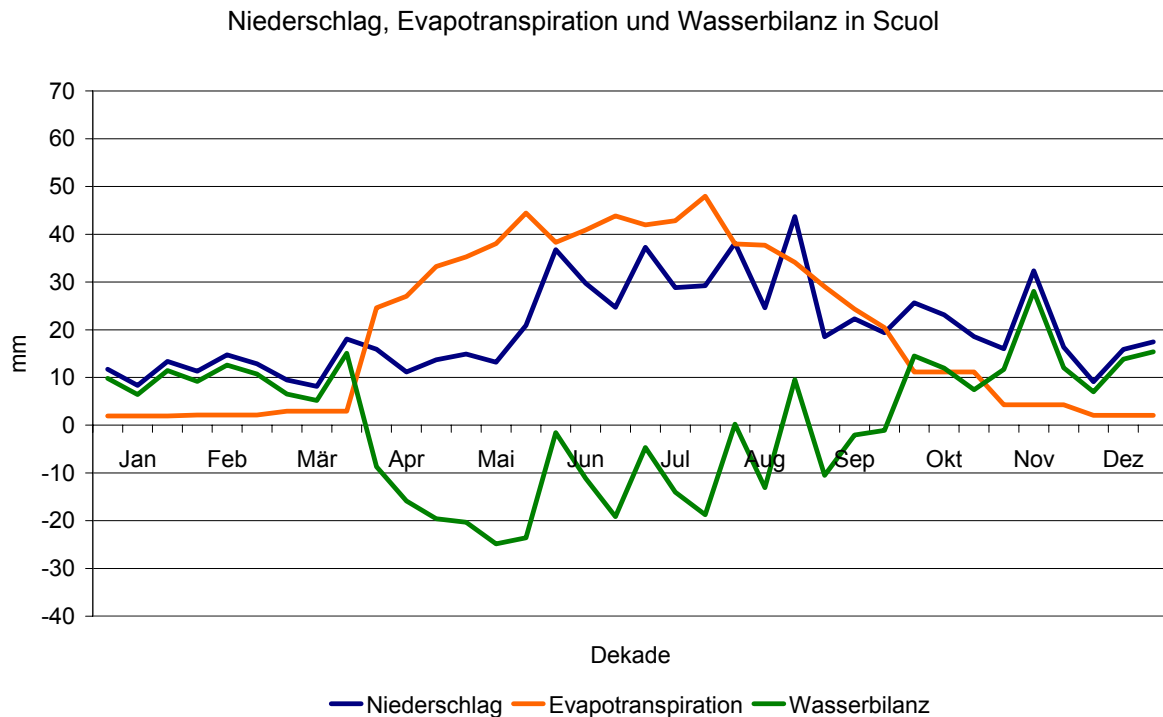


Abb. 26: Gemittelter Niederschlag, Evapotranspiration und Wasserbilanz in Scuol. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen tritt ein ungedeckter Wasserbedarf bereits Ende April auf und zieht sich über den ganzen Sommer hinweg (Abb. 27). Ein ungedeckter Wasserbedarf auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen tritt anfangs Mai auf und besteht den ganzen Sommer über (Abb. 28).

Deckung des Wasserbedarfs in Scuol (25 mm Wasserspeichervermögen)

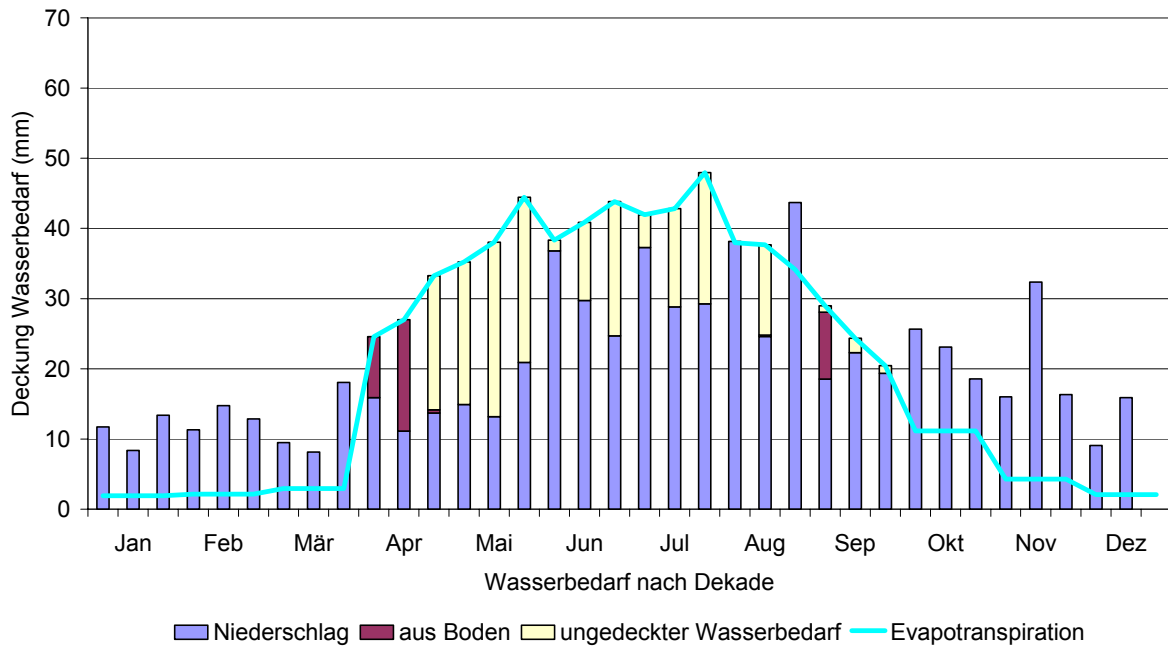


Abb. 27: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 25 mm Wasserspeichervermögen in Scuol. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

Deckung des Wasserbedarfs in Scuol (60 mm Wasserspeichervermögen)

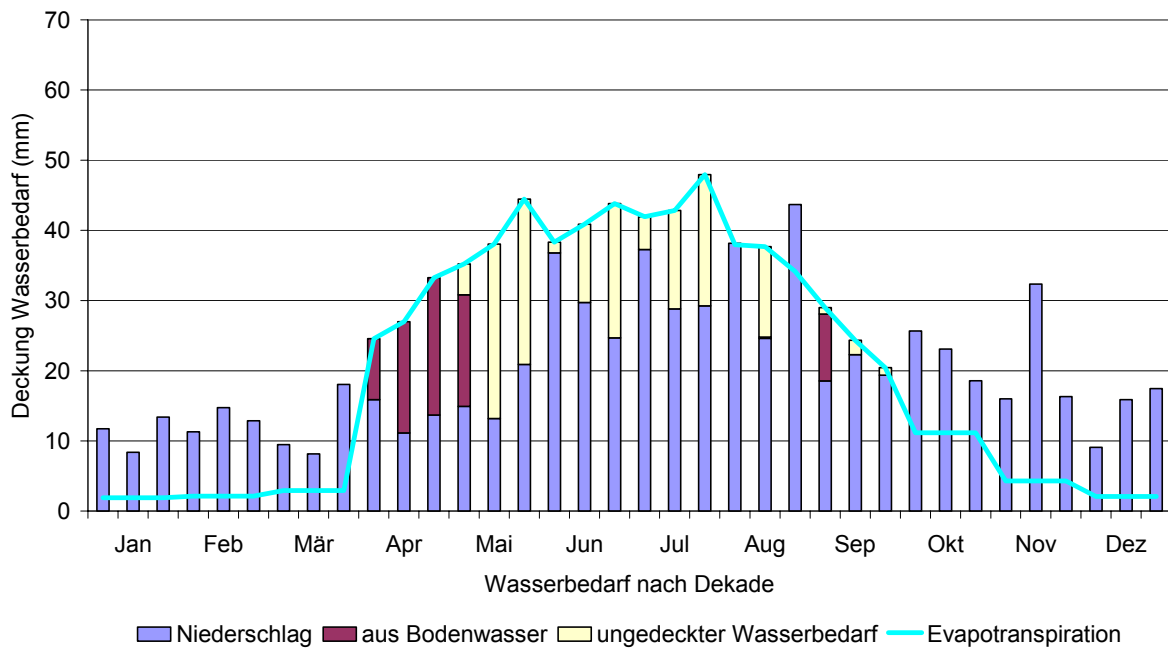
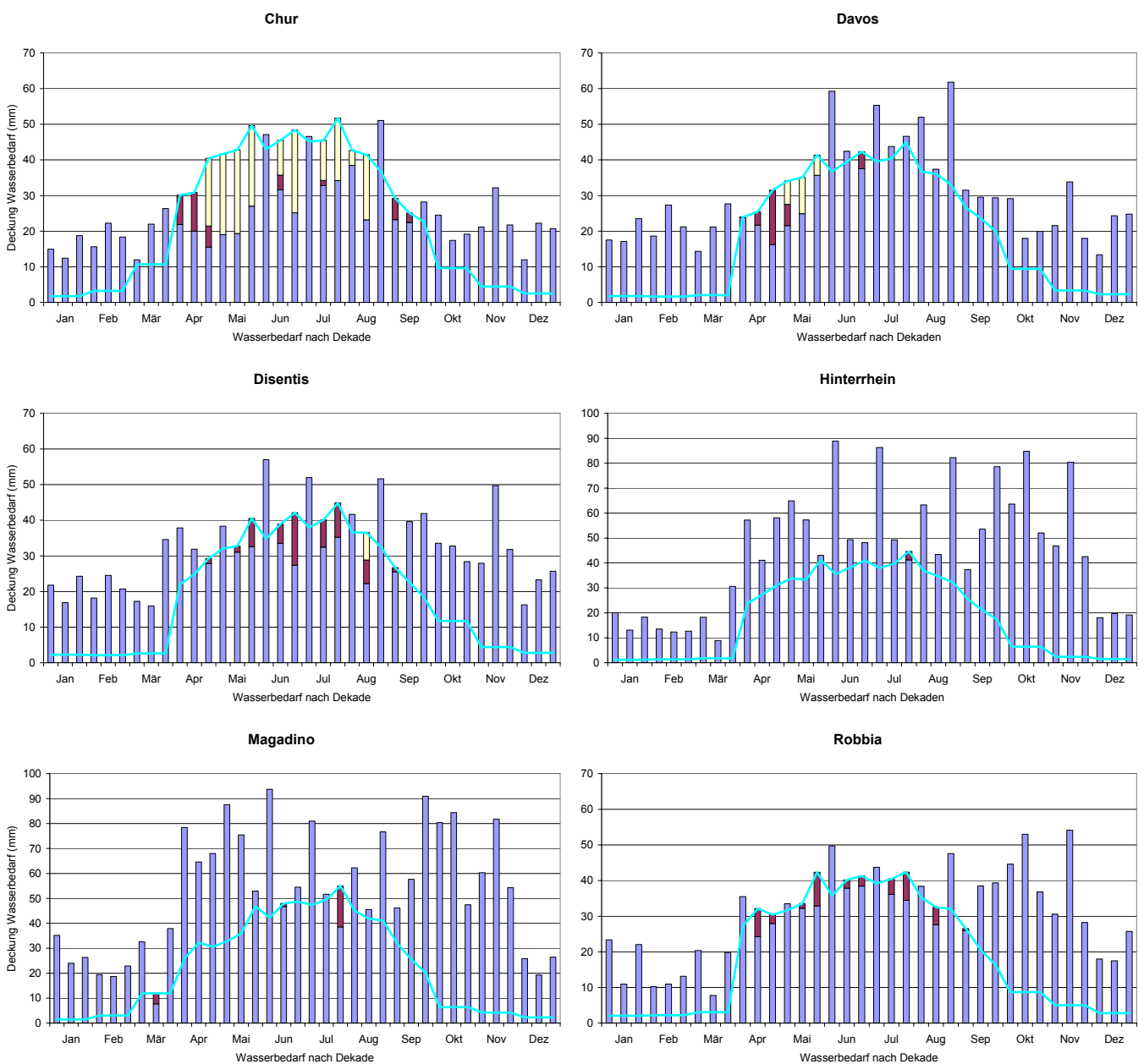


Abb. 28: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen auf Böden mit 60 mm Wasserspeichervermögen in Scuol. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: MeteoSchweiz, eigene Darstellung.

### 6.5.9 Deckung des Wasserbedarfs - alle Stationen im Überblick

Aus der Übersichtsdarstellung (Abb. 29) können eindeutige Tendenzen festgestellt werden. Die Stationen Chur, Samedan und Scuol weisen während der Sommermonate grosse Wasserdefizite auf. Anfangs Jahr, respektive am Ende der Vegetationsruhe sind die Böden in der Regel mit Wasser gesättigt. Während der Vegetationszeit übersteigt der Wasserbedarf der Pflanzen die Zugabe der Niederschläge und die Reserve an leicht verfügbarem Wasser ist erschöpft. Je nach Wasserspeicherkapazität des Bodens tritt das Wasserdefizit früher oder später in der Vegetationsperiode auf. Geringe bis keine Wasserdefizite weisen die Stationen Davos, Disentis, Hinterrhein, Magadino und Robbia auf.



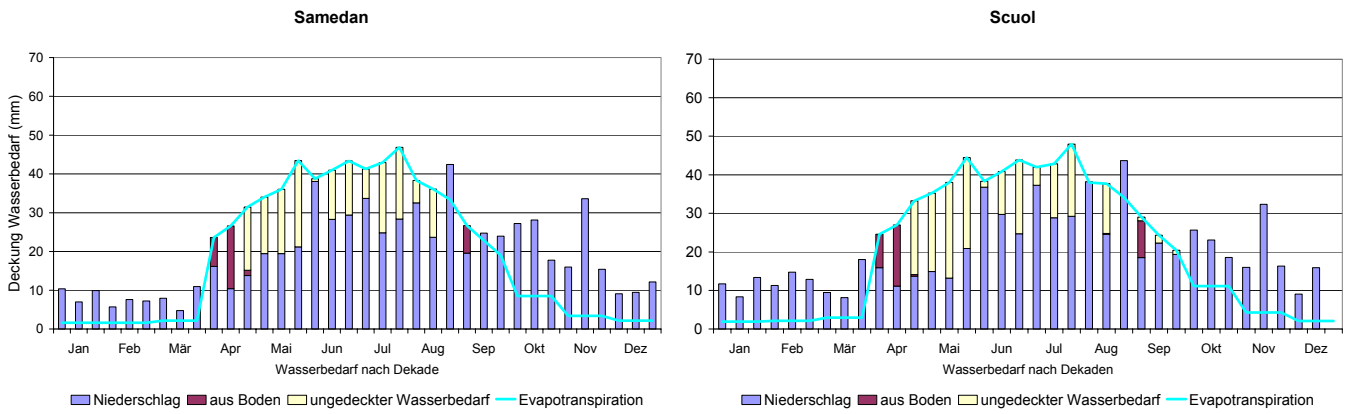


Abb. 29: Deckung des Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen mit 25 mm Wasserspeichervermögen. Dekaden-Durchschnitt der Jahre 1985-2004. Quelle: Eingangsdaten MeteoSchweiz. Beachte: Die Station Hinterrhein und Magadino haben eine andere y-Achsen Skalierung.

---

## 6.6 Sommermaxima der Wasserdefizite

In den folgenden Kapiteln sind die Jahreswerte der Sommermaxima des Wasserdefizits der Grösse nach aufgelistet. Wie in Kap. 5.5 erläutert, ist eine Region bewässerungsbedürftig, wenn in mehr als einem Drittel der untersuchten Jahre - für die vorliegende Untersuchung sind das sieben Jahre - das Sommermaxima des Wasserdefizits 70 mm überschreitet.

Lesebeispiel für die Tabellen der Kapitel 6.6.1 - 6.6.8: Positive Werte sind Wasserdefizite. Negative Werte stellen einen Wasserüberschuss dar. Das Drittel (sieben Jahre) mit den höchsten Defiziten wurde grau hinterlegt. Wenn alle Werte in diesem Bereich über der Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm (rote Linie) liegen, ist die Region dieser Station bewässerungsbedürftig.



### 6.6.1 Wasserdefizite in Chur

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 10) zeigt, dass durchschnittlich in jedem dritten Jahr mit einem Wasserdefizit von mindestens 176 mm zu rechnen ist. Die Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm wird in 12 von 20 untersuchten Jahren überschritten. Die Region Chur ist demzufolge klar bewässerungsbedürftig.

Tab. 10: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Chur.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 2001 | -195   |
| 1999 | -191   |
| 1987 | -80  |
| 1995 | -6   |
| 1988 | 2  |
| 2002 | 16   |
| 2000 | 41   |
| 1990 | 63   |
| 1986 | 76   |
| 1997 | 98   |
| 1985 | 138  |
| 1994 | 160  |
| 2004 | 174  |
| 1993 | 176  |
| 1992 | 178  |
| 1996 | 219  |
| 1991 | 236  |
| 1989 | 267  |
| 1998 | 268  |
| 2003 | 411  |

### 6.6.2 Wasserdefizite in Davos

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 11) zeigt, dass im Durchschnitt in Davos nicht jedes dritte Jahr mit einem Wasserdefizit gerechnet werden muss. Die Berechnungsergebnisse weisen sogar auf einen Wasserüberschuss von 42 mm hin. Nur in einem von 20 untersuchten Jahre wird die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze überschritten. Um eine Bewässerungsbedürftigkeit aufzuzeigen, müsste jedoch in einem Drittel aller untersuchten Jahre, d.h. in sieben Jahren, ein Wasserdefizit von mehr als 70 mm aufgezeigt werden. Folglich gilt die Region Davos als nicht bewässerungsbedürftig.

Tab. 11: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Davos.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 1999 | -433   |
| 1990 | -300   |
| 1995 | -296   |
| 2001 | -272   |
| 1987 | -207   |
| 1994 | -173   |
| 1988 | -149   |
| 1992 | -116   |
| 2000 | -107   |
| 2002 | -92  |
| 1986 | -81  |
| 1985 | -63  |
| 2004 | -49  |
| 1998 | -42  |
| 1993 | -23  |
| 1997 | -20  |
| 1989 | 6  |
| 1991 | 34   |
| 1996 | 68   |
| 2003 | 126  |

### 6.6.3 Wasserdefizite in Disentis

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 12) zeigt, dass im Durchschnitt in Disentis nicht jedes dritte Jahr mit einem Wasserdefizit gerechnet werden muss. Die Berechnungsergebnisse weisen sogar auf einen Wasserüberschuss von 65 mm hin. Nur in einem von 20 untersuchten Jahre wird die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze überschritten. Somit liegt für die Station Disentis keine Bewässerungsbedürftigkeit vor.

Tab. 12: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Disentis.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 1999 | -516   |
| 1986 | -342   |
| 2002 | -324   |
| 1995 | -312   |
| 1987 | -312   |
| 2001 | -266   |
| 1988 | -203   |
| 2000 | -132   |
| 1994 | -126   |
| 1996 | -120   |
| 1989 | -117   |
| 1998 | -96  |
| 1985 | -78  |
| 1993 | -65  |
| 1992 | -57  |
| 1997 | -37  |
| 1990 | -14  |
| 1991 | 2  |
| 2004 | 8  |
| 2003 | 227  |

#### 6.6.4 Wasserdefizite in Hinterrhein

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 13) zeigt, dass im Durchschnitt in Hinterrhein nicht jedes dritte Jahr mit einem Wasserdefizit gerechnet werden muss. Die Berechnungsergebnisse weisen sogar auf einen Wasserüberschuss von 177 mm hin. Nur in einem von 20 untersuchten Jahre wird die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze überschritten. Somit liegt für die Station Hinterrhein keine Bewässerungsbedürftigkeit vor.

Tab. 13: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Hinterrhein.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 1986 | -731   |
| 2001 | -525   |
| 2002 | -514   |
| 1999 | -463   |
| 1998 | -405   |
| 1987 | -402   |
| 1995 | -370   |
| 1988 | -322   |
| 2000 | -312   |
| 1985 | -300   |
| 1994 | -251   |
| 1989 | -226   |
| 1991 | -208   |
| 1990 | -177   |
| 1993 | -170   |
| 1992 | -168   |
| 1996 | -153   |
| 2004 | -75  |
| 1997 | -22  |
| 2003 | 154  |

### 6.6.5 Wasserdefizite in Magadino

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 14) zeigt, dass im Durchschnitt in Magadino nicht jedes dritte Jahr mit einem Wasserdefizit gerechnet werden muss. Die Berechnungsergebnisse weisen sogar auf einen Wasserüberschuss von 247 mm hin. Nur in einem von 20 untersuchten Jahre wird die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze überschritten. Somit liegt für die Station Magadino keine Bewässerungsbedürftigkeit vor.

Tab. 14: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Magadino.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 2002 | -856   |
| 1986 | -852   |
| 1989 | -670   |
| 1994 | -612   |
| 1999 | -571   |
| 1985 | -559   |
| 1998 | -523   |
| 2001 | -523   |
| 1988 | -444   |
| 1987 | -435   |
| 2000 | -311   |
| 1995 | -288   |
| 1992 | -252   |
| 1996 | -247   |
| 2004 | -206   |
| 1990 | -121   |
| 1993 | -110   |
| 1991 | -77  |
| 1997 | 9  |
| 2003 | 351  |

### 6.6.6 Wasserdefizite in Robbia

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 15) zeigt, dass durchschnittlich in jedem dritten Jahr mit einem Wasserdefizit von mehr als 2 mm zu rechnen ist. In fünf von 20 untersuchten Jahren wird die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze überschritten. Um eine Bewässerungsbedürftigkeit aufzuzeigen, müsste jedoch in einem Drittel aller untersuchten Jahre, d.h. in sieben Jahren, ein Wasserdefizit von mehr als 70 mm aufgezeigt werden. Somit liegt für die Station Robbia mit dieser Betrachtungsweise keine Bewässerungsbedürftigkeit vor.

Tab. 15: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Robbia.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 2001 | -446   |
| 1985 | -269   |
| 1986 | -263   |
| 1999 | -164   |
| 2002 | -158   |
| 1987 | -119   |
| 1988 | -108   |
| 1992 | -106   |
| 2000 | -104   |
| 1998 | -56  |
| 1995 | -36  |
| 1989 | -18  |
| 1994 | 0  |
| 1996 | 2  |
| 1990 | 39   |
| 1993 | 95   |
| 1997 | 99   |
| 2004 | 109  |
| 1991 | 203  |
| 2003 | 220  |

### 6.6.7 Wasserdefizite in Samedan

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 16) zeigt, dass durchschnittlich in jedem dritten Jahr mit einem Wasserdefizit von mehr als 178 mm zu rechnen ist. Die Region Samedan überschreitet die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm in 16 von 20 untersuchten Jahren. Die Region Samedan ist somit bewässerungsbedürftig.

Tab. 16: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Samedan.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 2001 | -59  |
| 2002 | 37   |
| 1985 | 40   |
| 1999 | 49   |
| 1987 | 72   |
| 1986 | 93   |
| 1997 | 114  |
| 2000 | 126  |
| 1988 | 144  |
| 1998 | 149  |
| 1996 | 158  |
| 2004 | 174  |
| 1995 | 176  |
| 1994 | 178  |
| 1989 | 180  |
| 1990 | 201  |
| 1992 | 218  |
| 1993 | 255  |
| 1991 | 326  |
| 2003 | 352  |

### 6.6.8 Wasserdefizite in Scuol

Die Auswertung der Sommermaxima der Wasserdefizite (Tab. 17) zeigt, dass durchschnittlich in jedem dritten Jahr mit einem Wasserdefizit von 199 mm zu rechnen ist. Die Region Scuol überschreitet die festgelegte Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm in 13 von 20 untersuchten Jahren. Folglich ist die Region Scuol bewässerungsbedürftig.

Tab. 17: Sommermaxima der Wasserdefizite von 1985 – 2004 für die Station Scuol.

| Jahr | Sommermaxima des Wasserdefizits rangiert (in mm) |
|------|--|
| 2001 | -88  |
| 1999 | -17  |
| 1987 | 22   |
| 2002 | 43   |
| 1995 | 52   |
| 1990 | 59   |
| 2000 | 66   |
| 1988 | 122  |
| 1985 | 125  |
| 1997 | 137  |
| 1986 | 145  |
| 1989 | 148  |
| 1998 | 169  |
| 2004 | 199  |
| 1992 | 202  |
| 1994 | 203  |
| 1991 | 211  |
| 1996 | 214  |
| 1993 | 261  |
| 2003 | 309  |



### 6.6.9 Wasserdefizite – alle Stationen im Überblick

Die Stationen Chur, Samedan und Scuol weisen die höchste Anzahl Jahre auf, an denen die Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm überschritten wird (Tab. 18). Sie liegen weit über einem Drittel aller Jahre. Folglich sind diese Stationen deutlich bewässerungsbedürftig. Die Station Robbia überschreitet in fünf von 20 Jahren die Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm und gilt somit gemäss Definition als knapp nicht bewässerungsbedürftig. Die Stationen Davos, Disentis und Hinterrhein überschreiten die Wasserdefizithöchstgrenze in einem Jahr. Folglich sind diese Stationen nicht bewässerungsbedürftig.

Tab. 18: Anzahl Jahre an denen die Wasserdefizithöchstgrenze überschritten wird (20 untersuchte Jahre).

| Stationen   | Anzahl Jahre an denen die Wasserdefizithöchstgrenze überschritten wird |
|-------------|--|
| Magadino    | 1  |
| Hinterrhein | 1  |
| Disentis    | 1  |
| Davos       | 1  |
| Robbia      | 5  |
| Chur        | 12   |
| Scuol       | 13   |
| Samedan     | 16   |

### 6.6.10 Tendenzen der Sommermaxima der Wasserdefizite

Wie die Analysen der Sommermaxima der Wasserdefizite zeigen (Kap. 6.6.1-6.6.8), weisen alle acht untersuchten Stationen das Maximum des Wasserdefizites im Jahr 2003 auf. Sehr auffällig ist der markante Anstieg des Wasserdefizits in den letzten beiden untersuchten Jahren 2003 und 2004 (Abb. 19).

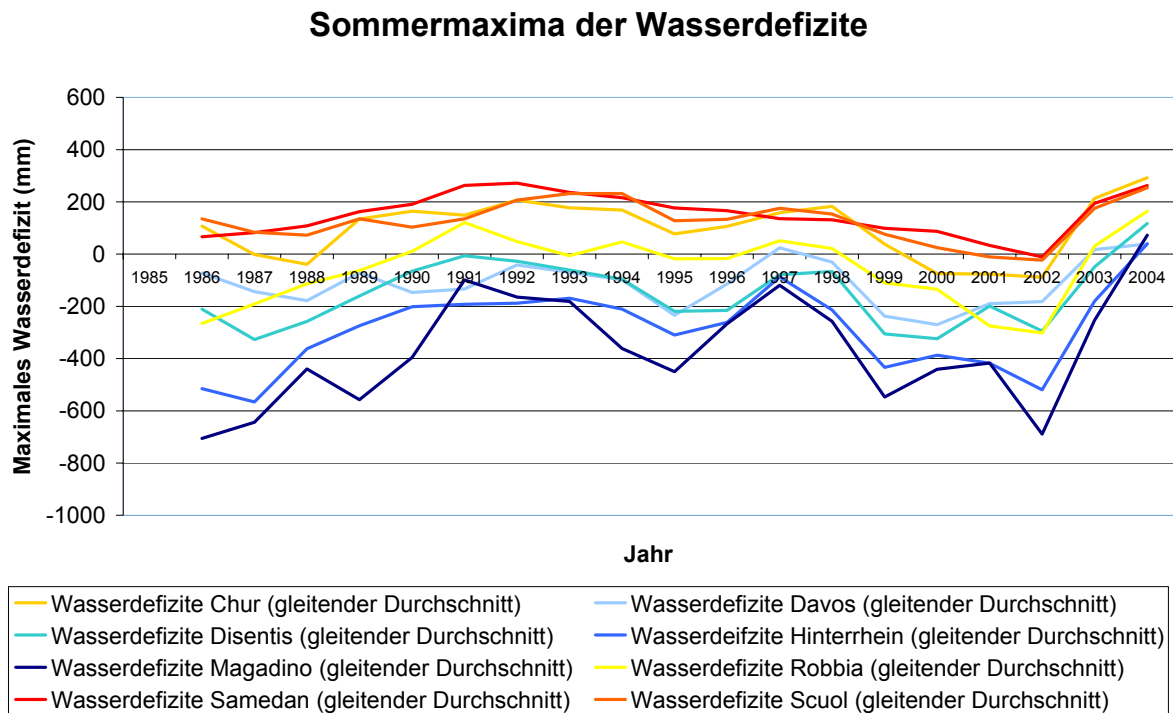


Abb. 30: Die maximalen Wasserdefizite (gleitender Durchschnitt) aller untersuchten acht Stationen von 1985 – 2004.

## **7 Ausdehnung der Resultate auf den ganzen Kanton – Interpolation**

Die Auswertungen der Klimadaten in Kap. 6 ermöglichen eine exakte Entscheidung über die Bewässerungsbedürftigkeit im Bereich der acht Stationen. Um gemeindescharfe Aussagen über die Bewässerungsbedürftigkeit im ganzen Kanton Graubünden machen zu können, wurde eine Interpolation des durchschnittlichen Niederschlages und der Evapotranspiration von April – September über die Periode 1985 – 2004 gemacht. Die Firma Meteodat GmbH hat die Interpolation dieser beiden Datensätze vorgenommen.

### **7.1 Methodik**

Die Eingangswerte beider Datensätze wurden auf ein 2 km Raster über den gesamten Kanton interpoliert. Diese interpolierten Werte dienen zur Bestimmung der Wasserbilanzen.

Durch die Interpolation der Klimadaten erhält man eine dichtere geographische Abdeckung der Resultate über den ganzen Kanton. Die Interpolation ist jedoch auch mit einem Genauigkeitsverlust verbunden. Denn es wurden die mittlere Evapotranspiration und der mittlere Niederschlag in der Vegetationsperiode interpoliert.

#### **7.1.1 Interpolation der Niederschlagsdaten**

Die Interpolation der Niederschlagsdaten basiert auf Stützpunktwerten von 59 Messstationen der MeteoSchweiz (Anhang I). Interpoliert wurde die mittlere Niederschlagsmenge im Sommerhalbjahr (April - September) von 1985 – 2004.

Um die Niederschlagsverteilung in höheren Lagen und die Interpolation an den Rändern des Untersuchungsgebiets zu verbessern, wurde eine externe Drift aus Niederschlagssummen (April bis September) von Schwarb et al. (2000) beigezogen.

#### **7.1.2 Interpolation der Evapotranspirationsdaten**

Die Interpolation der potentiellen Evapotranspiration basiert auf acht Stützpunkten. Interpoliert wurde die mittlere Evapotranspiration im Sommerhalbjahr (April – September) von 1985 – 2004. Diese Werte basieren auf den in dieser Untersuchung gemachten Berechnungen nach der modifizierten Penman Methode (Kap. 6). Um die Interpolation zu verbessern und zu stabilisieren, wurden saisonbezogene Informationen der Nettostrahlung von Z'graggen (2001) als externe Drift verwendet. Daraus resultierte eine realitätsnahe Verteilung der Interpolationswerte auf verschiedene Expositionen.

### **7.1.3 Berechnung der Wasserbilanz**

Die interpolierten Werte des Niederschlages sowie der potentiellen Evapotranspiration dienen zur Bestimmung der Wasserbilanzkarte. Diese Karte stellt die durchschnittliche Wasserbilanz<sup>8</sup> in der Vegetationsperiode (April - September, 1985 – 2004) dar.

### **7.2 Interpolierte Niederschlags- und Evapotranspirationsdaten**

Die räumliche Verteilung des Niederschlages und der Lufttemperatur in der Schweiz lehnt sich als Folge des Gradientenansatzes stark an die Orographie an (Rohmann und Menzel, 1999). Erwartungsgemäss zeigt die Niederschlagskarte des Kantons Graubünden eine Zunahme der Niederschläge mit der Höhe. Die regionalen Unterschiede werden gut wiedergegeben (Abb. 31).

Die grossräumige Variation in der Verteilung der Verdunstung hängen in erster Linie von der Orographie und den entsprechenden höhenbedingten Variationen der Jahresmitteltemperatur ab. Lokal und regional wechselnde Niederschlagsverhältnisse sind für das Verteilungsbild der Verdunstung von untergeordneter Bedeutung (Abb. 32; Rohmann und Menzel 1999).

### **7.3 Die Wasserbilanzkarte**

Die Gebiete mit den höchsten Wasserdefiziten über die Vegetationsperiode sind erwartungsgemäss im Unter- und Oberengadin sowie im Münstertal zu finden. Weitere Gebiete, die ein Wasserdefizite aufweisen, sind die Region Churer Rheintal, Domleschg/Heinzenberg, Schams, Mittelbünden (Oberhalbstein, Albulatal) und das Puschlav (Abb. 33).

---

<sup>8</sup> Wasserbilanz = Niederschlag – Evapotranspiration (siehe Kap. 5.2)

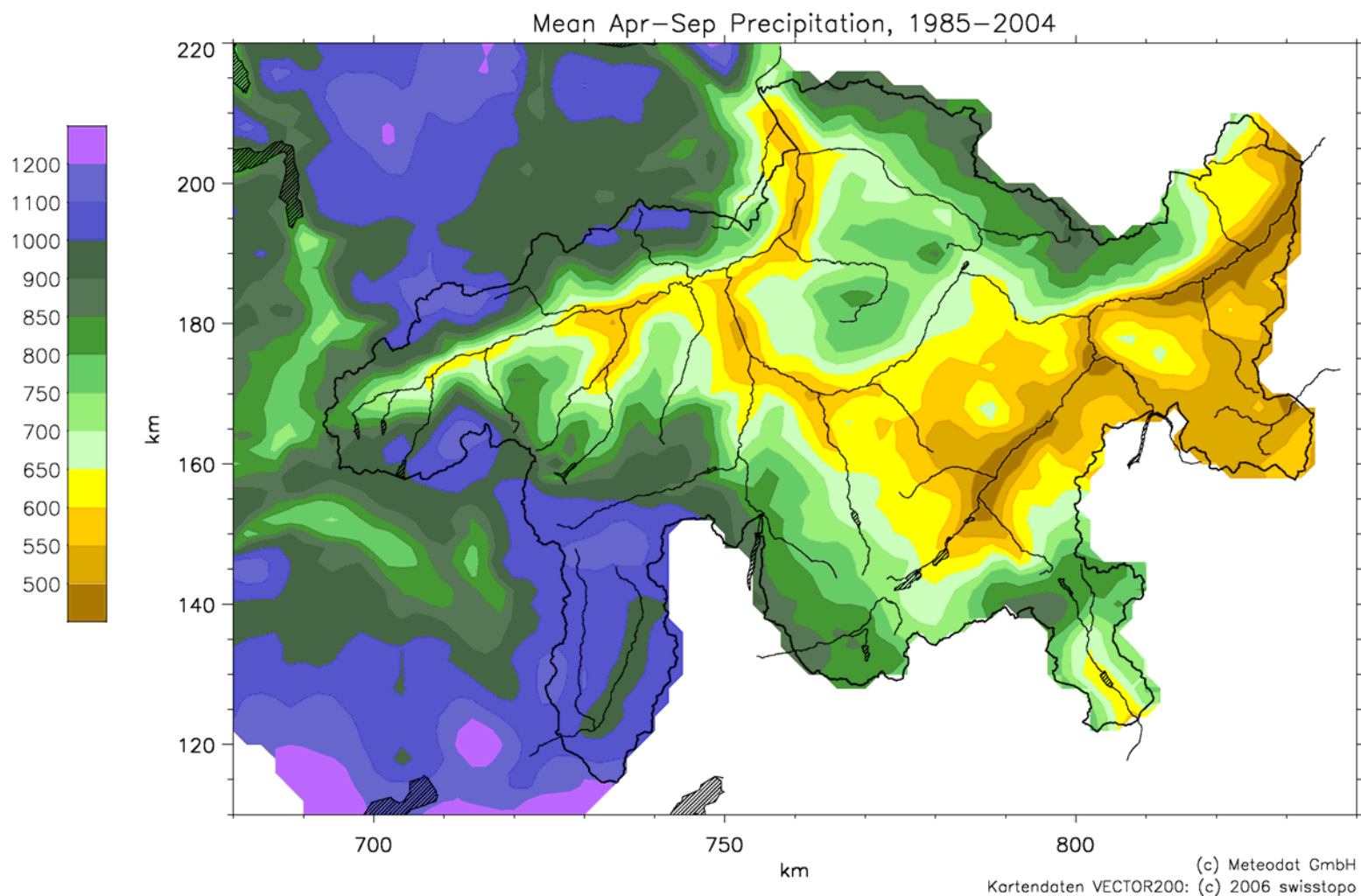


Abb. 31: Niederschlagskarte des Kantons Graubünden, beruhend auf dem mittleren Niederschlag (April - September) von 1985 – 2004. Quelle: Niederschlagsdaten: MeteoSchweiz. Kartengrundlage: Swisstopo 2006. Interpolation und Kartendarstellung: Meteodat GmbH.

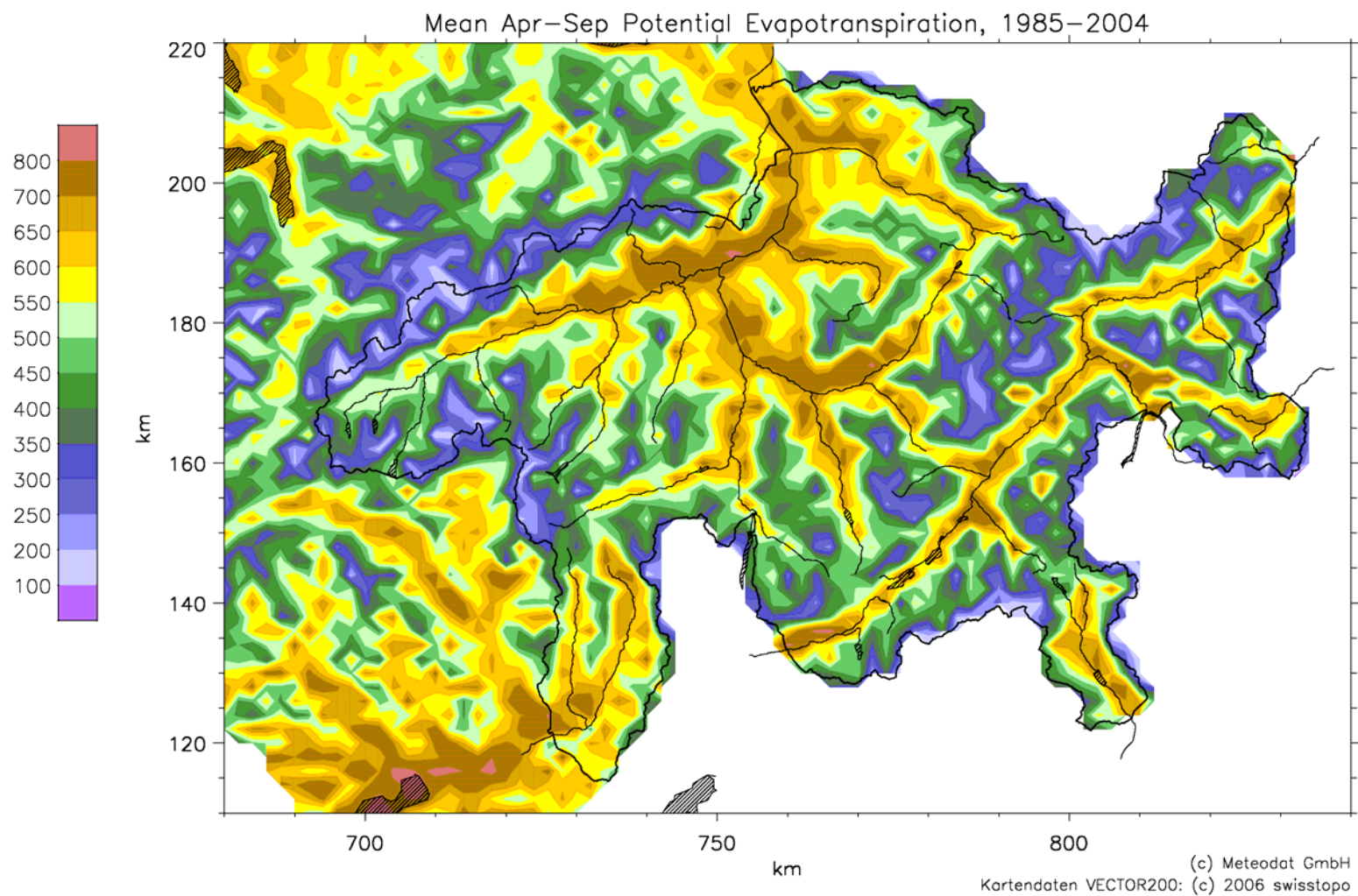


Abb. 32: Potentielle Evapotranspiration des Kantons Graubünden, beruhend auf der mittleren Evapotranspiration (April - September) von 1985 – 2004. Quelle: Eingangsdaten: MeteoSchweiz. Kartengrundlage: Swisstopo 2006. Interpolation und Kartendarstellung: Meteodat GmbH.

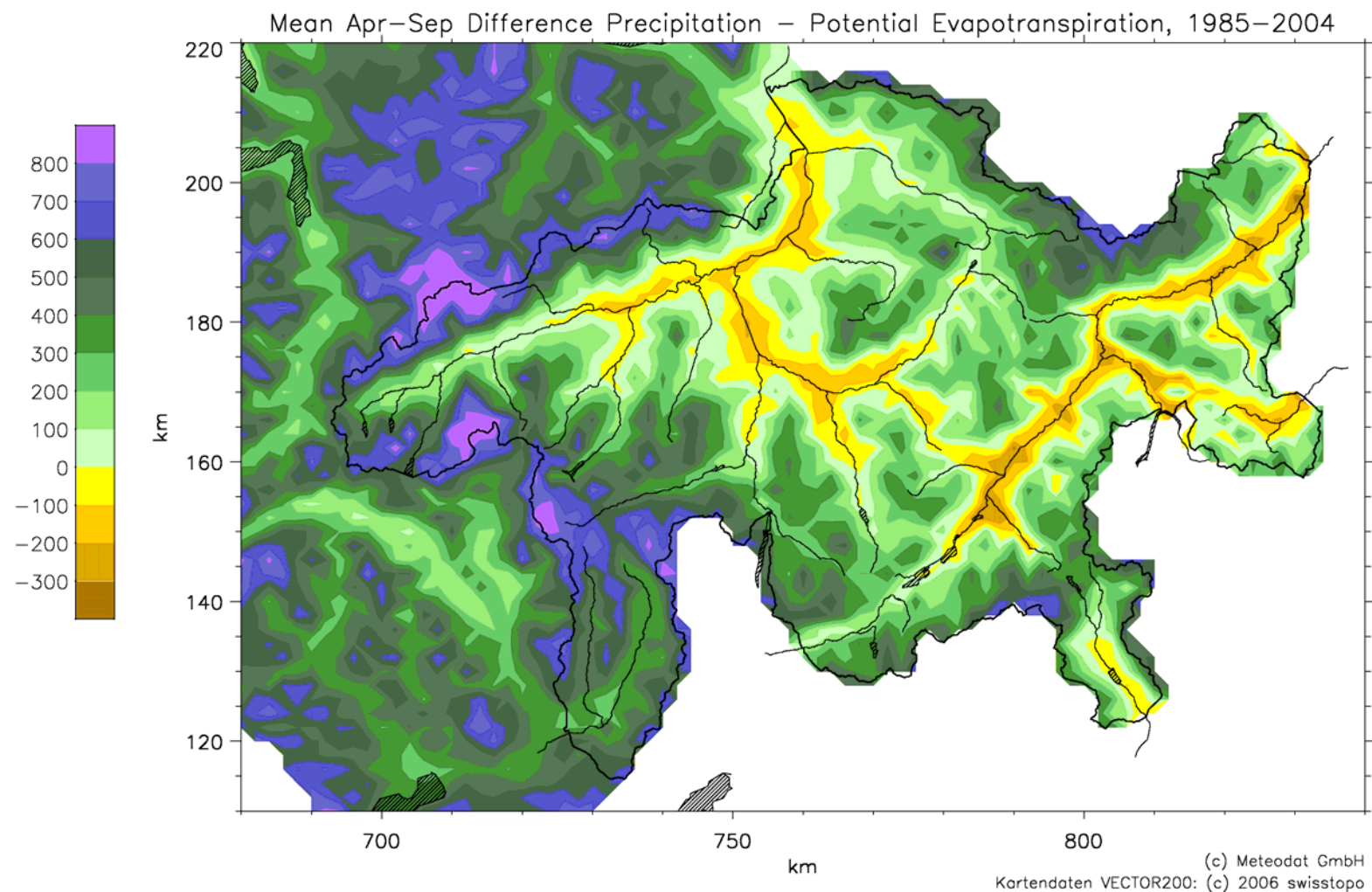


Abb. 33: Wasserbilanzkarte des Kantons Graubünden, beruhend auf der Differenz des mittleren Niederschlags und der mittleren Evapotranspiration (April - September) von 1985 – 2004. Quelle: Eingangsdaten: MeteoSchweiz. Kartengrundlage: Swisstopo 2006. Interpolation und Kartendarstellung : Meteodat GmbH.

## **8 Bewässerungsbedürftige Gebiete**

Aufgrund der in Kap. 6 durchgeführten Berechnungen sind die Stationen Chur, Samedan und Scuol gemäss der Auswertung der maximalen Wasserdefizite klar bewässerungsbedürftig. Die Stationen Davos, Disentis, Hinterrhein und Magadino sind aufgrund der gemachten Untersuchungen eindeutig nicht bewässerungsbedürftig. Lediglich bei der Station Robbia handelt es sich um einen Grenzfall.

### **Definitionsfindung Bewässerungsbedürftige Gebiete**

Um nun die Bewässerungsbedürftigkeit über den ganzen Kanton aufzuzeigen, wurde eine Interpolation der Niederschlagswerte und der in Kap. 6 berechneten Evapotranspirationswerte vorgenommen (Kap. 7). Die interpolierten Werte des Niederschlages sowie der Evapotranspiration dienten zur Bestimmung der Wasserbilanz (Wasserbilanz = Niederschlag – Evapotranspiration) (siehe Kap.5.2). Diejenigen Gebiete, welche eine negative Wasserbilanz aufweisen, decken sich gut mit den Resultaten aus Kap. 6, in dem die bewässerungsbedürftigen Stationen ausgeschieden wurden. Das heisst, dass alle Stationen, die bei der genauen Berechnung in Kap. 6 als bewässerungsbedürftige Stationen ausgewiesen wurden, auch bei der Wasserbilanz ein Defizit aufweisen. Als guter Vergleichswert dient das Puschlav, welches in Kap. 6 an der Grenze zur Bewässerungsbedürftigkeit liegt. Dies widerspiegelt sich auch in der Wasserbilanzkarte, wo für das Puschlav nur ein geringes Wasserdefizit besteht. Somit können alle Gebiete, die im Mittel über das Sommerhalbjahr (April – September) von 1985 – 2004 ein Wasserdefizit aufweisen, als bewässerungsbedürftige Gebiete definiert werden.

### **Bewässerungsbedürftige Gebiete**

Zu den bewässerungsbedürftigen Gebieten gehört das Churer Rheintal, die Region um Ilanz, das Gebiet Domleschg/Heinzenberg, die Region Mittelbünden, das Unter- und Oberengadin, das Münstertal und das Puschlav (Abb. 34).

Die höchsten Wasserdefizite und somit die trockensten Regionen sind das Churer Rheintal, das Gebiet Domleschg/Heinzenberg, die Region um Tiefencastel, das Unter- und Oberengadin und das Münstertal.



## Bewässerungsbedürftigkeit im Kanton Graubünden

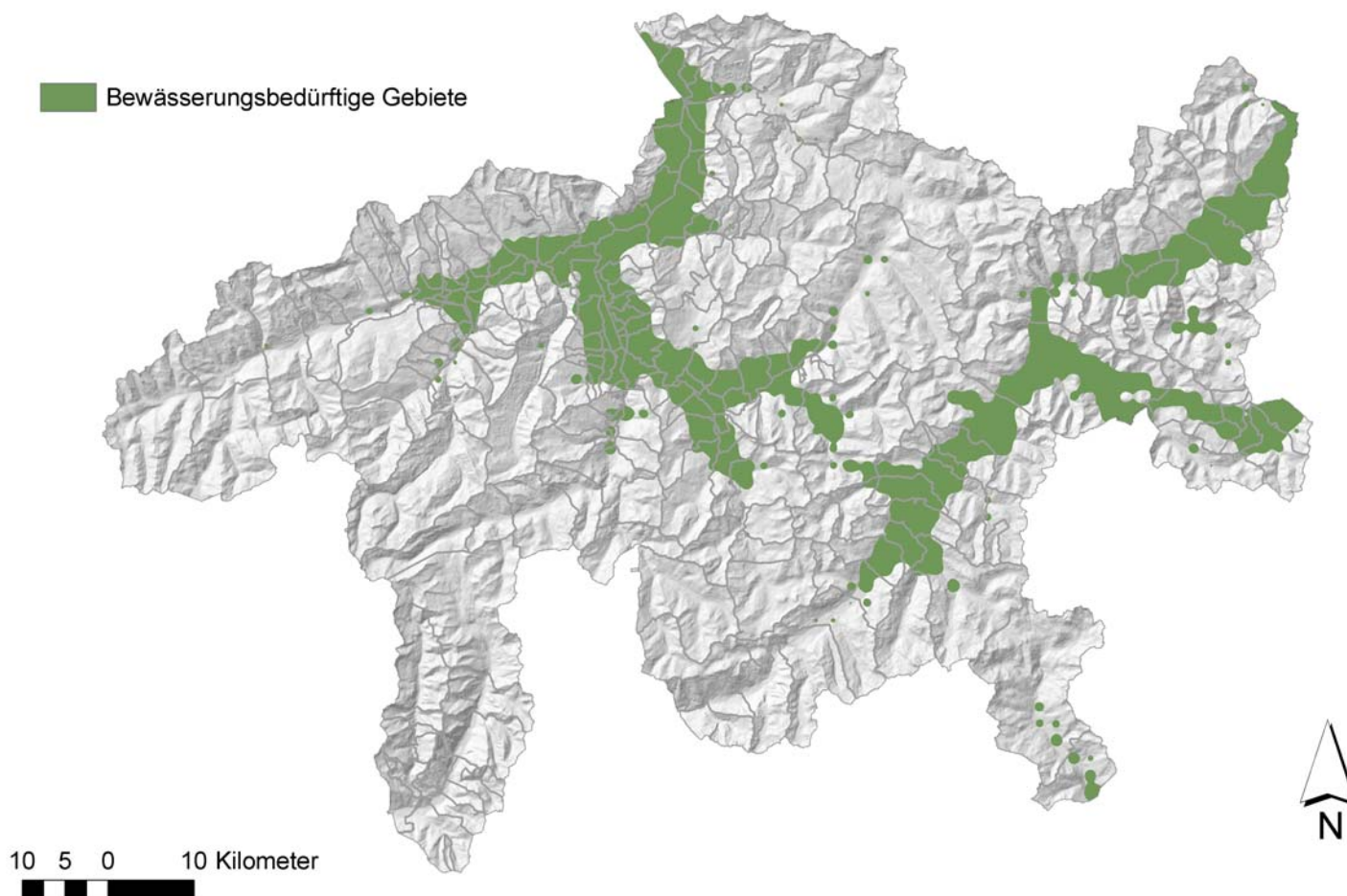


Abb. 34: Bewässerungsbedürftige Gebiete im Kanton Graubünden.  
Quelle: Eigene Darstellung. Kartengrundlage: Reliefkarte DOM 25©EBP/sarmap.

## 9 Diskussion

### Schwierigkeit bei der Grenzziehung der Bewässerungsbedürftigkeit

Die Schwierigkeit der Grenzziehung der Bewässerungsbedürftigkeit lässt sich gut am Beispiel der Station Robbia erläutern. Entgegen den jüngsten Erfahrungen zeigt sich, dass die Station Robbia gemäss der hier angewendeten Definition knapp als nicht bewässerungsbedürftig gilt. Sie überschreitet nur während fünf der zwanzig untersuchten Jahre die Wasserdefizithöchstgrenze von 70 mm.

In Grenzfällen wie für die Station Robbia sind deshalb genauere Analysen der Bodentypen und deren Wasserspeichervermögen hinsichtlich der Abklärung der Bewässerungsbedürftigkeit unerlässlich. Für Bodentypen mit einer Wasserspeicherfähigkeit von 30 - 50 mm ist in 5 von 20 untersuchten Jahren somit eine Bewässerung angezeigt.

Zudem ist die Festlegung über die Häufigkeit der witterungsbedingten Ertragsreduktion für die Station Robbia zu diskutieren. Definitionsgemäss ist eine Bewässerung angezeigt, wenn eine witterungsbedingte Ertragsschädigung jedes dritte Jahre auftritt. In Robbia tritt eine Ertragsschädigung aber nur jedes vierte Jahr auf. Daraus ist ersichtlich, dass die Station Robbia sehr knapp an der Grenze zur Bewässerungsbedürftigkeit liegt (siehe rote Linien in Tab. 19).

Tab. 19: Anzahl Jahre, an denen die Wasserdefizithöchstgrenze überschritten wird (n = 20). Geordnet nach der Anzahl überschrittener Jahre.

| Stationen   | Anzahl Jahre an denen die Wasserdefizithöchstgrenze überschritten wird |
|-------------|--|
| Magadino    | 1  |
| Hinterrhein | 1  |
| Disentis    | 1  |
| Davos       | 1  |
| Robbia      | 5  |
| Chur        | 12   |
| Scuol       | 13   |
| Samedan     | 16   |

Quelle: MeteoSchweiz. Eigene Darstellung.

### **Die spezielle Situation der Station Robbia**

Die Station Robbia entspricht einem südalpinen Stationstyp, bei welchem vermehrt Starkniederschläge auftreten. Starkniederschläge werden in dieser Untersuchung ganz normal als Niederschlagsmenge aufgezeichnet und fliessen in die Berechnung ein. Wie in Kap. 5.2.1 erwähnt, sind hohe Niederschlagsmengen ab einer Menge von etwa 100 mm (je nach Autor) für die Pflanze unwirksam. Demzufolge wäre es für die Station Robbia sinnvoll, wenn man die Niederschlagsmengen auf den pflanzenwirksamen Niederschlag reduziert.

Zudem ist die spezielle Lage der Station Robbia zu beachten. Sie liegt gleich am Fusse des Anstiegs zum Berninapass und widerspiegelt somit die niedrigsten Evapotranspirationswerte für das Puschlav. Die höheren Evapotranspirationswerte gegen Süden des Puschlavs können auf der Wärmegliederungskarte mit ihren ansteigenden Wärmestufen sehr gut verfolgt werden (Schreiber et al. 1977). Hätte man also eine automatische Klimamessstation weiter südlich im Puschlav, würden die Evapotranspirationswerte entsprechend höher ausfallen.

Des Weiteren scheint die Methodik dieser Untersuchung die spezielle Situation der Südtäler zu wenig zu berücksichtigen. Es ist dabei zu bemerken, dass eine gewählte Methode immer gewisse Aspekte einer Untersuchung besser abbildet als andere (Atteslander 1995).

### **Fehlende Daten für das Misox**

Aufgrund fehlender Messstationen sind exakte Aussagen über die Bewässerungsbedürftigkeit im Gebiet Misox sehr schwierig. Die Evapotranspiration ist für Magadino entsprechend hoch, für Hinterrhein ist sie relativ tief. Die auf Interpolation beruhende Wasserbilanzkarte zeigt für das Misox kein Wasserdefizit auf.

### **Wassergaben zur Qualitätssicherung**

Bei den Auswertungen der Station Chur fällt besonders die hohe Evapotranspiration auf. Diese entsteht unter anderem durch den starken Föhneinfluss im Churer Rheintal. Zusätzlich tragen die geringen Niederschlagswerte zur negativen Wasserbilanz bei. Studien aus anderen Gebieten (Achnich 1980, Brouwer 1950) zeigen, dass verschiedene Pflanzen für die optimale Qualität in einem bestimmten Wachstumsstadium auf bestimmte Wassergaben angewiesen sind. Neben der reinen Ertragssicherung ist die Qualitätssicherung durch Bewässerung beim Gemüseanbau und Ackerbau (Kartoffeln) für die Region Chur sehr wichtig. Die Bewässerung

wird während bestimmten, sensiblen Phasen des Pflanzenwachstums gezielt zur Sicherung einer qualitativ hoch stehenden Ernte eingesetzt.

### **Ertragssicherung durch Bewässerung**

Mit einer allfälligen Bewässerung soll nicht eine Intensivierung stattfinden, sondern eine Ertragssicherheit über die Jahre erreicht werden. Die Bewässerung soll sich auf Standorte mit guten Bodeneigenschaften und auf Böden mit entsprechenden Pflanzenbeständen (Fettwiesen) konzentrieren, um auf einer Teilfläche des Betriebes die Futterproduktion zu garantieren. Auf anderen Flächen, die für die Bewässerung nicht geeignet sind, soll genügend Raum für den ökologischen Ausgleich erhalten bleiben.

### **Vergleich dieser Resultate mit den klassischen Bewässerungsgebieten**

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass sich die bewässerungsbedürftigen Regionen, wie sie in Kap. 8 beschrieben werden, sehr gut mit den von Bundi (2000) definierten Gebieten decken, die bereits in historischen Zeiten intensiv bewässert wurden.

### **Erweiterung der Betrachtung auf spezielle Kulturen**

Die berechneten Evapotranspirationswerte entsprechen dem potenziellen Wasserverbrauch einer mit Wasser gut versorgten Rasenfläche. Als Potenzialwerte sind sie deshalb für die Untersuchung geeignet, um einen Standort zu charakterisieren (Achnich 1980). Um den Wasserverbrauch für bestimmte Kulturen zu ermitteln, müsste die Evapotranspiration mit dem entsprechenden Pflanzenkoeffizienten multipliziert werden (Kap 4.1).

### **Hohe Trockenheit in den vergangenen Jahren**

Wie man den Ergebnissen der Maximalen Wasserdefizite entnehmen kann, ist das Jahr 2003 für alle Stationen das trockenste aller untersuchten Jahre (Tab. 30). Diese Verhältnisse ausgeprägter Trockenheit machten sich in diesem Jahr im gesamten Kanton bemerkbar. Sogar die ausgesprochen „nasse“ Station Hinterrhein weist für das Jahr 2003 ein Maximales Wasserdefizit von über 70 mm auf. Falls sich solche Trockenjahre in Zukunft häufen sollten, sind viele Regionen von extremer Trockenheit betroffen. In dieser Untersuchung wurden die Verhältnisse der letzten 20 Jahre analysiert (1985 – 2004). In dieser Periode gab es sowohl nasse als auch trockene Jahre. Es bleibt zu hoffen, dass die letzten trockenen Jahre nur eine zufällige Häufung dieser Ereignisse waren und der Trend zur Trockenheit durch nassere Jahre unterbrochen wird.

---

## 10 Literatur

Atteslander, P. (1995): Methoden der empirischen Sozialforschung. Walter de Gruyter. Berlin.

Achtnich, W., 1980: Bewässerungslandbau, Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998: Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.

Amt für Natur und Umwelt, 2005: Konzession zur Wasserentnahme aus einem öffentlichen Fließgewässer.

Amt für Natur und Umwelt, 2004: Trockenheit 2003/2004 in Umweltinfo 3/04.

Bräm, E., 2005: Ftan: Eignung der Böden für die Beregnung. Nicht veröffentlicht.

Brouwer, W., 1950: Die Feldberegnung. Ihre zweckmässige Anwendung in der Landwirtschaft. Landwirtschaft, Gartenbau und Naturwissenschaften. Stuttgart.

Bundi, M., 2000: Zur Geschichte der Flurbewässerung im rätschen Alpengebiet. Bündner Monatsblatt. Chur.

Doorenbos, J., Pruitt, W. O., 1975: Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.

DVWK-Regelwerk, 2001: Merkblatt M 504: Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. GFA – Verlag, Hennef.

Eugster, W., 2005: Geländeklimatologie und Mikrometeorologie. Skript am Geographischen Institut in Bern. Institut für Pflanzenwissenschaften ETH Zürich.

Furrer, G. und Freund, R., 1974: Bewässerung im Kanton Graubünden, in: Geographica Helvetica, Nr. 4, 153-165.

Guggenbühl, H., Stauffer, J., 1989: Wasser-Fall Graubünden. Wege, Umwege, Abwege. Verlag M&T-Helvetica. Chur.

Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D., Fuhrer, J., 2004: Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. Zürich.

Jasper, K., Calanca, P., Fuhrer, J., 2005: Changes in summertime soil water patterns in complex terrain due to climatic change. Zürich.

Lecher, K., Lühr, H.-P., Zanke, U., 2001: Taschenbuch der Wasserwirtschaft, Parey Buchverlag. Berlin.

Marth, R., 2004: Landwirtschaftlicher Wasserbau. Pflanzenwasserbedarf, Bewässerungshöhe. Fachgebiet Wasserbau an der Technischen Universität Berlin.

Muth, W., 1991: Wasserbau. Landwirtschaftlicher Wasserbau. Bodenkultur. Werner Verlag, Düsseldorf.

Nievergelt, J., 1986: Definition Ertragssicherung, Anwendung im Projekt Flaach. FAP Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau. Zürich-Reckenholz.

ProClim – Forum for Climate and Global Change, OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung, GEOforumCH - Forum Geosciences, ACP Atmospheric Chemistry and Physics, 2005: Hitzesommer 2003, Synthesebericht. Bern.

Rohmann, M., Menzl, L., 1999: Räumliche Interpolation von Niederschlag, Lufttemperatur und Verdunstung. Grundlagen und Methoden. In Berichte und Skripte Nr. 67. Geographisches Institut ETH Zürich.

Schär, C., P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M.A., Liniger and C. Appenzeller, 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. Nature 427, 332-336.

Schorer, M. 2000: Klimaänderung Schweiz. Trockenheit in der Schweiz. OcCC Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung. Bern.

Schreiber, K. F., Kuhn, N., Hug, C., Häberli, R., Schreiber, C., Zeh, W., Lautenschlager, S., 1977: Wärmegliederung der Schweiz. Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement. Bern.

Schwarb et al. (2000): Niederschlag, digitale Version, Blatt: 2.6. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Herausgeber: Landeshydrologie, Bundesamt für Wasser und Geologie. Bern.

Z'graggen et al. (2001): Nettostrahlung, digitale Version, Blatt: 4.2. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Herausgeber: Landeshydrologie, Bundesamt für Wasser und Geologie. Bern.

### **Gesetze und Verordnungen:**

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (GSchG; SR 814.20) vom 24. Januar 1991.

Verordnung über den Schutz der Gewässer (GSchV; SR 814.201) vom 28. Oktober 1998.

Kantonales Gewässerschutzgesetz (KGSchG; BR 815.100) vom 8. Juni 1997

Kantonale Gewässerschutzverordnung (KGSchG; BR 815.200) vom 27. Januar 1997.

### **Internetquellen:**

<http://www.meliorationen.ch/glossar>

<http://www.meteoschweiz.ch>

**Anhang I**

A) Übersicht über die Stationen mit Niederschlagsdaten.

| <b>Abkürzung</b> | <b>Stationsname</b>  | <b>Geographische Koordinaten (Länge/Breite)</b> | <b>Schweizer Koordinaten (KM Koordinaten)</b> | <b>Höhe in m ü.M.</b> |
|------------------|----------------------|---|---|-----------------------|
| ALV              | Alvaneu-Dorf         | 9°38' / 46°40'                                  | 768880/172050                                 | 1175                  |
| AND              | Andeer               | 9°25' / 46°36'                                  | 752480/ 163300                                | 1000                  |
| ARO              | Arosa                | 9°40' / 46°46'                                  | 770730/ 183320                                | 1840                  |
| AVB              | Avers am Bach        | 9°32' / 46°27'                                  | 761210/ 147410                                | 1960                  |
| RAG              | Bad Ragaz            | 9°30' / 47°01'                                  | 756900/ 209370                                | 496                   |
| BIV              | Bivio                | 9°38' / 46°28'                                  | 769662/ 148702                                | 1801                  |
| BRA              | Braggio              | 9°07' / 46°17'                                  | 729975/128600                                 | 1315                  |
| BRP              | Brusio-Piazzo        | 10°07' / 46°15'                                 | 807010/ 126920                                | 830                   |
| BUF              | Buffalora (Ofenpass) | 10°16' / 46°38'                                 | 816500/170250                                 | 1970                  |
| CAC              | Campocologno         | 10°08' / 46°13'                                 | 808650/123700                                 | 535                   |
| CAV              | Cavaglia             | 10°02' / 46°22'                                 | 799850/ 138470                                | 1706                  |
| CHU              | Chur                 | 9°31' / 46°52'                                  | 759460/ 193170                                | 555                   |
| DAV              | Davos-Dorf           | 9°50' / 46°48'                                  | 783580/ 187480                                | 1590                  |
| DMA              | Dischma              | 9°52' / 46°46'                                  | 786600/ 182990                                | 1710                  |
| DIS              | Disentis             | 8°51' / 46°42'                                  | 708200/ 173800                                | 1190                  |
| FIL              | Filisur              | 9°41' / 46°40'                                  | 772250/ 171320                                | 1030                  |
| FLI              | Flims                | 9°16' / 46°50'                                  | 740720/ 188600                                | 1050                  |
| GRO              | Grono                | 9°09' / 46°15'                                  | 732100/ 123700                                | 382                   |
| HIR              | Hinterrhein          | 9°11' / 46°31'                                  | 733900/ 153980                                | 1611                  |
| ILZ              | Ilanz                | 9°12' / 46°46'                                  | 734960/ 181400                                | 707                   |
| INF              | Innerferrera         | 9°26' / 46°31'                                  | 753870/ 154070                                | 1475                  |
| KLA              | Klosters / Aeuja     | 9°53' / 46°51'                                  | 787290/ 192910                                | 1200                  |
| LAT              | Latsch               | 9°45' / 46°38'                                  | 777080/ 167325                                | 1590                  |
| LEH              | Lenzerheide          | 9°33' / 46°42'                                  | 761860/175890                                 | 1400                  |
| MAG              | Magadino / Cadenazzo | 8°56' / 46°09'                                  | 715475/ 113162                                | 203                   |
| MAT              | Martina              | 10°27' / 46°53'                                 | 830610/ 197130                                | 1035                  |
| MES              | Mesocco              | 9°13' / 46°23'                                  | 737900/ 139450                                | 800                   |
| MST              | Monstein             | 9°46' / 46°42'                                  | 778080/ 176230                                | 1575                  |
| MUS              | Müstair              | 10°27' / 46°38'                                 | 831170/ 169340                                | 1248                  |
| PIG              | Pigniu               | 9°06' / 46°48'                                  | 727950/ 185715                                | 1325                  |
| LAN              | Plantahof-Landquart  | 9°33' / 46°57'                                  | 761670/ 203400                                | 527                   |
| PON              | Pontresina           | 9°53' / 46°29'                                  | 788700/ 151730                                | 1774                  |
| SLF7LD           | Punt la Drossa       | 10°11' / 46°39'                                 | 810560/ 170640                                | 1710                  |
| ROB              | Robbia               | 10°03' / 46°20'                                 | 801850/ 136180                                | 1078                  |
| ROT              | Rothenbrunnen        | 9°25' / 46°45'                                  | 751230/ 181290                                | 622                   |
| SAP              | Safien-Platz         | 9°18' / 46°40'                                  | 743540/ 171380                                | 1300                  |
| SBE              | San Bernardino       | 9°11' / 46°27'                                  | 734120/ 147270                                | 1639                  |
| SAR              | Sargans              | 9°26' / 47°02'                                  | 751900/ 212800                                | 487                   |
| SVG              | Savognin             | 9°35' / 46°35'                                  | 765460/ 162840                                | 1205                  |
| SCU              | Scuol                | 10°16' / 46°47'                                 | 817130/ 186400                                | 1298                  |
| SED              | Sedrun               | 8°46' / 46°40'                                  | 702480/ 170825                                | 1400                  |

|     |                          |                 |                |      |
|-----|--------------------------|-----------------|----------------|------|
| SIA | Segl-Maria               | 9°45' / 46°26'  | 778800/ 145738 | 1798 |
| SOG | Soglio                   | 9°32' / 46°20'  | 761950/ 134370 | 1093 |
| SDO | Splügen-Dorf             | 9°19' / 46°33'  | 744420/ 157435 | 1460 |
| SMM | Sta. Maria (Val Müstair) | 10°25' / 46°36' | 828760/ 165350 | 1390 |
| SBO | Stabio                   | 8°55' / 45°50'  | 716040/77970   | 353  |
| SUS | Susch                    | 10°04' / 46°44' | 801715/ 180825 | 1420 |
| TAM | Tamins                   | 9°24' / 46°49'  | 750450/ 188560 | 690  |
| TAV | Tavanasa                 | 9°02' / 46°45'  | 722750/ 178980 | 800  |
| THS | Thusis                   | 9°26' / 46°42'  | 753180/ 175120 | 672  |
| TIC | Tiefencastel             | 9°34' / 46°39'  | 763320/ 170320 | 885  |
| TRU | Trun                     | 8°59' / 46°44'  | 718450/ 178120 | 860  |
| TST | Tschiertschen            | 9°36' / 46°48'  | 765350/ 187190 | 1375 |
| VLS | Vals                     | 9°10' / 46°36'  | 733340/164260  | 1253 |
| VRI | Vrin                     | 9°06' / 46°39'  | 727220/ 168670 | 1458 |
| VAE | Vättis                   | 9°26' / 46°54'  | 752360/ 197030 | 957  |
| WFJ | Weissfluhjoch            | 9°48' / 46°49'  | 780600/ 189630 | 2690 |
| ZNZ | Zernez                   | 10°05' / 46°41' | 802720/ 175230 | 1471 |
| ZEV | Zervreila                | 9°07' / 46°34'  | 728780/ 160000 | 1738 |

B) Übersicht über die Stationen, von welchen die Evapotranspiration berechnet werden konnte.

| <b>Abkürzung</b> | <b>Stationsname</b>  | <b>Geographische Koordinaten (Länge/Breite)</b> | <b>Schweizer Koordinaten (KM Koordinaten)</b> | <b>Höhe in m ü.M.</b> |
|------------------|----------------------|---|---|-----------------------|
| DAV              | Davos-Dorf           | 9°50' / 46°48'                                  | 783580/ 187480                                | 1590                  |
| CHU              | Chur                 | 9°31' / 46°52'                                  | 759460/ 193170                                | 555                   |
| DIS              | Disentis             | 8°51' / 46°42'                                  | 708200/ 173800                                | 1190                  |
| HIR              | Hinterrhein          | 9°11' / 46°31'                                  | 733900/ 153980                                | 1611                  |
| MAG              | Magadino / Cadenazzo | 8°56' / 46°09'                                  | 715475/ 113162                                | 203                   |
| ROB              | Robbia               | 10°03' / 46°20'                                 | 801850/ 136180                                | 1078                  |
| SAM              | Samedan-Flugplatz    | 9°52' / 46°31'                                  | 787150/ 156040                                | 1705                  |
| SCU              | Scuol                | 10°16' / 46°47'                                 | 817130/ 186400                                | 1298                  |