200 Jahre Wetter, Witterung und Klima im Gebiet des Schweizer Nationalparks auf der Grundlage von Messungen und regionalen Klimasimulationen

Rückblick und Szenarien

Christine Ketterer Ruedi Haller

01.07.2009

Zusammenfassung

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit sollen 200 Jahre Wetter und Klima im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks in Graubünden dargestellt werden. Die Grundlage für die Analyse der letzten 100 Jahren bilden Messdaten der MeteoSchweiz, für die nächsten 100 Jahre bis 2100 Datensätze der Klimamodelle REMO und CLM für den Zeitraum 1961 - 2100 unter Verwendung des A1B und B1 Szenario. Das REMO-Modell vom Max-Planck-Institut für Meteorologie liefert für Klimamodelle hoch aufgelöste räumliche (10 km) und zeitliche Daten. Das auf dem lokalen Modell des Deutschen Wetterdienst basierende regionale Klimamodell CLM besitzt eine Auflösung von 1/6-Grad (18 km) und wurde vom Potsdam Institut für Klimaforschung entwickelt.

Um die Qualität der Messdaten einschätzen zu können werden sie für den Zeitraum 1961-90 und 1998-2008 mit den Messdaten ausgewählter Stationen Buffalora, Scoul, Sils Maria und Sta. Maria verglichen.

Betrachtet wurden die Parameter Lufttemperatur, Niederschlagshäufigkeit und –dauer, Schnee und Wind.

Die mittlere Lufttemperatur beträgt auf Buffalora 0.3°C, in Sta. Maria 5.3°C, in Sils Maria 1.7°C und in Scoul 4.8°C im Zeitraum 1961-90. An allen Stationen erhöhte sich die mittlere Lufttemperatur um etwa 1°C seit 1900 und etwa 0.5°C seit 1950. Dabei war der Anstieg der Lufttemperatur in Sils Maria im Sommer und Herbst stärker als im Winter, in Sta. Maria und im Unterengadin jedoch im Winter und Frühjahr.

Der mittlere Jahresniederschlag auf Buffalora beträgt 884 mm, in Scoul 716 mm, in Sils Maria 998 mm und in Sta. Maria 790 mm in der Klimanormalperiode 1961-90. Dabei liegt das Niederschlagsmaximum im Sommer und das Niederschlagsminimum im Februar. Der Trend liegt in zurückgehendem Niederschlag, vor allem im Winter und Frühjahr. Fällt Niederschlag, so zu etwa 50% nur 3 mm oder weniger.

Die mittlere Schneehöhe von Dezember bis 15. April beträgt in Sils Maria 76 cm, in Sta. Maria 30 cm und im Unterengadin gerade 26 cm. Die mittlere Schneehöhe hat über das letzte halbe Jahrhundert deutlich abgenommen.

2

Zusammenfassung

Dabei stellte sich heraus, dass die CLM-Daten die klimatischen Bedingungen im Engadin nur schlecht wiedergeben können. So wird beispielsweise der Niederschlag um 50 % und mehr unterschätzt. Die REMO-Modelldaten dagegen geben Lufttemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Relative Luftfeuchte mit akzeptablen Abweichungen in dem stark orographisch gegliederten Gebiet wieder. So beträgt von 1998 bis 2008 die gemessene Lufttemperatur 2.5 °C, die modellierte Lufttemperatur 2.6 °C, der gemessene Niederschlag 1047 mm und der geschätzte 952 mm für die Station Sils Maria. In Sta. Maria betrug die mittlere Lufttemperatur von 1961 - 90 5.4 °C, die geschätzte 5.1 °C, der gemessene Niederschlag 791 mm, der modellierte Niederschlag 773 mm im gleichen Zeitraum. Auch die saisonale Ausprägung des Niederschlags wird im Modell nachgezeichnet, allerdings fällt aufgrund des überschätzten Niederschlags in den Wintermonaten die Schneehöhe zu hoch aus.

In den nächsten 100 Jahren soll die Lufttemperatur Im Frühjahr und Winter ein geringerer Anstieg als im Sommer und Herbst im Oberengadin. Dieser soll bis 2021-50 zwischen 1.3°C (REMO B1) und 2.6°C (CLM A1B) im Sommer betragen, im Winter dagegen zwischen 0.6°C (REMO B1) und 1.3°C (CLM A1B). Im Val Müstair soll dagegen die Erwärmuns im Sommer um 0.5°C (REMO) und 1.3°C (CLM) geringer ausfallen, im Winter und Frühjahr um 0.2°C höher.

Der Jahresniederschlag soll sich im Rahmen zwischen -20 mm und +53 mm verändern. Im Winter steige die Niederschlagsmenge, während sie im Sommer eher rückläufig ist.

Die Schneehöhe solle um etwa 20% in allen Gebieten bis Mitte des 21. Jahrhunderts zurückgehen (REMO A1B), bis Ende des Jahrhunderts soll diese nur noch noch 42 % im Oberengadin, 31 % im Unterengadin und 28 % im Val Müstair der mittleren Schneehöhe von 1961 - 90 betragen. Unter Verwendung des B1 Szenarios solle die Schneehöhe bis zum Zeitraum 2021-50 um etwa 10% gegenüber der mittleren Höhe 1961-90 zurückgehen und bis Ende des Jahrhunderts auf 60% derer im Engadin und auf 54% im Val Müstair.

3

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	2
1 Einleitung	6
1.1 Ausgangslage	6
1.2 Zielsetzung	6
2 Stand der Wissenschaft	7
2.1 Klimawandel	7
2.2 Klimamodelle	9
2.2.1 Emissions-Szenarien	9
2.2.2 Globale Klimamodelle	
2.2.3 Regionale Klimamodelle	
3 Untersuchungsmethodik	
3.1 Untersuchungsgebiet	
3.1.1 Die geographische Lage	
3.1.2 Klima im Engadin	
3.2 Daten und Methode	
3.2.1 Messstationen der MeteoSchweiz	
3.2.2 Datenvergleich von Modelldaten mit Messdaten	
3.2.3 Niederschlag und Niederschlagshäufigkeit	
3.2.4 Berechnung der Schneehöhe	
4 Wetter, Witterung und Klima im Rückblick	
4.1 Lufttemperatur	
4.1.1 Jahresmittel und Abweichung	
4.1.2 Saisonale Betrachtung der Lufttemperatur	
4.2 Niederschlag	
4.2.1 Jahressumme und Abweichung	

4.2.2 Saisonale Betrachtung des Niederschlags
4.2.3 Niederschlaghäufigkeit 46
4.3 Schnee
4.4 Wind
5 Vergleich der Modelldaten mit Messdaten
6 Klimamodellierung
6.1 Temperaturszenario
6.2 Niederschlagsszenario
6.2.1 Niederschlagsmenge
6.2.2 Niederschlagshäufigkeit77
6.3 Schnee
7 Fazit
8 Verzeichnisse
8.1 Literaturverzeichnis
8.2 Abbildungen
8.3 Tabellen
9 Anhang 103

Einleitung

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Mit dem Klimawandel setzten sich Studien auf globaler Ebene (IPCC Assessment Report 4, 2007), auf nationaler Ebene (OcCC 2008): Das Klima ändert – was nun? Wanner, H. 2000: Klimawandel im Schweizer Alpenraum) oder auf kanonaler Ebene (MeteoSchweiz 2009: Klimabericht Graubünden).

Im Schweizerischen Nationalpark selbst gibt es nur wenige Publikationen, welche sich mit der Klimatologie beschäftigen, und gar keine, welche sich mit dem Klimawandel im Gebiet des Schweizerischen Nationalparks auseinandersetzt.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Praktikumsarbeit ist eine zusammenfassende Darstellung von 200 Jahre Wetter, Witterung und Klima im Gebiet des SNP, welches das Engadin sowie Val Müstair umfasst. Dazu sollen für den Rückblick Daten der MeteoSchweiz Stationen verwendet werden und für die Prognose die Klimamodelldaten REMO und CLM.

Es stellt sich die Frage, inwiefern die Klimamodelle REMO und CLM die lokalen Gegebenheiten und damit klimatische Unterschied zwischen Ober- und Unterengadin sowie Val Müstair oder sogar zwischen Trupchun und Buffalora wiedergeben können, d.h. wie regionalisierbar sind die einzelnen Parameter dieser regionalen Klimamodelle in einer Hochgebirgsregion. Und schliesslich stellt sich die Frage, wie entwickelt sich das Klima im Oberengadin, im Unterengadin, im Val Müstair, auf dem Talgrund und in den Bergen.

2 STAND DER WISSENSCHAFT

2.1 Klimawandel

Die letzte Eiszeit erreichte ihren Höhepunkt vor 18000 Jahren und ging mit ihrer letzten Kaltphase der Jüngeren Dryas vor 11000 Jahren zu Ende. Die Globaltemperatur sank auf 11 °C (Blümel 2002), gegenwärtig liegt sie bei etwa 15 °C.

Der Übergang vom Spätglazial ins Holozän erfolgte nicht stetig. Nach einer Phase der Erwärmung flossen gewaltige Süßwassermassen in den Nordatlantik, unterbrachen den Golfstrom und so setzte für 1000 Jahre erneut eine Eiszeit in Europa ein. Vor 10200 Jahren wurde die Eiszeit endgültig von Boreal und Atlantikum abgelöst. Während diesem Postglazialen Wärmeoptimum wird angenommen, dass die Temperatur 2.0 °C - 2.5 °C höher lag als heute. Sie wurde ca. 3300 Jahre v. Chr. von einer kälteren Periode, in welcher die Temperaturen 1 °C – 2 °C niedriger lagen als heute, abgelöst. Seither können Wechsel von wärmeren und kälteren Perioden im Zeitraum einiger Jahrhunderten verzeichnet werden: kühleres und stark wechselhaftes Klima im 3. - 6. Jh. n. Chr. welchem wiederum das Mittelalterliche Wärmeoptimum 1000 bis etwa. 1230 n. Chr. mit Wärmegunst bis in die hohen Breiten folgte, bevor die "Kleine Eiszeit" ab Anfang des 14. Jh. begann. Für die Abkühlung um 1.5 °C im Vergleich zu heute, werden die Schwankung der Sonnenaktivität, das Maunderminimum und Vulkanausbrüche verantwortlich gemacht und mit Vorstößen der arktischen Meeresströmungen und des Packeises im Nordatlantik, sowie Vorstößen der Gletscher erklärt (Pfister 1988).

Auf diese Periode folgt der andauernde Anstieg der Lufttemperatur des neuzeitlichen Wärmeoptimums. Ein starker Temperaturanstieg fand in den 1940er Jahren statt. Dieser wurde von einer 20-jährigen Phase mit Abkühlung unterbrochen und setzte ab den 1980er Jahren wieder ein. Im Zeitraum 1995 -2006 zählen elf dieser zwölf Jahren zu den wärmsten seit Beginn der instrumentellen Messungen. Von 1906 - 2005 stieg die Lufttemperatur um 0.74 °C an. Somit hat sich der Trend von 0.13 °C pro Dekade in den letzten 50 Jahren gegenüber den letzten 100 Jahren fast verdoppelt (IPCC, AR4, Working Group I, Chapter 3). Während in Deutschland die Lufttemperatur seit 1901 um 0.9 °C zunahm (Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008), stieg sie in den Alpen seit 1970 sogar um ca. 1.5 °C (OcCC 2008). Diese Erwärmung kann nicht als Ausklang der "Kleinen Eiszeit" angesehen werden und vermutlich hat die Lufttemperatur im letzten Millennium noch nie so schnell zugenommen. Um diese Klimaänderung zu erklären, reichen

die natürlichen Ursachen wie Vulkanausbrüche, Schwankungen der Präzesion, Schiefe und Exzentrität (Milankovic Zyklen) und der Sonnenaktivität nicht aus. Sie kann nur durch zusätzlichen Einsatz der anthropogen verursachten Treibhausgase modelliert werden.

Die nächtliche Mindesttemperatur hat im 20. Jahrhundert um bis zu 2 °C zugenommen, die Erwärmung seit den 1980er Jahren fiel in den Alpen etwa dreimal so stark aus, als im globalen Durchschnitt (OECD 2007).

In Sils Maria ist im Zeitraum 1900 - 2008 ein stark signifikanter Temperaturanstieg von 0.2 °C pro Dekade im Frühjahr und 0.1 °C in den anderen Jahreszeiten zu beobachten. Der Niederschlagtrend ist im Frühling und Winter negativ mit -2.3 % und -2.6 % und im Sommer und Herbst positiv mit 0.9 % und 0.4 %. In Samedan und Scoul nimmt die Anzahl an Frosttagen um 19.7 % (-9.8 Tage / 10 Jahre) und -16.4 % (-7.7 Tage / 10 Jahre) ab. Gleichzeitig stieg die Anzahl an Sommertagen in Samedan um 0.6 Tage pro Dekade und in Scoul um 5 Tage pro Dekade im Zeitraum 1960 - 2008. Die Tage mit Schneehöhe über 30 cm haben in Sils Maria mit 14.9 Tage pro Dekade im Zeitraum 1960 - 2008 sehr stark abgenommen (MeteoSchweiz 2009).

Bis 2050 wird ein Anstieg der Lufttemperatur in der Nordschweiz von 1.8 °C im Winter und 2.7 °C im Sommer erwartet und in der Südschweiz von 1.8 °C im Winter und 2.8 °C im Sommer (OcCC 2008). Für die Übergangsjahreszeiten seien Lufttemperaturzunahmen wie im Winter zu erwarten (MeteoSchweiz 2009). Auf der Alpennordseite im Winter eine Zunahme des Niederschlags von 8 % und im Sommer eine Abnahme von 17 %. Auf der Alpensüdseite zeichnet sich ein ähnliches Bild: Zunahme des Niederschlags im Winter von 11 % und eine Abnahme im Sommer von 19 % (OcCC 2008).

Die Auswirkungen des Klimawandels sind in Gebirgsregionen wie den Alpen besonders ausgeprägt und sichtbar. Gleichzeitig verzeichnen diese Regionen viele verschiedene, besonders sensible Ökosystemen auf kleinem Raum. Da eine hohe Abhängigkeit von der Menschen und Wirtschaft zur Natur besteht und die eigene Betroffenheit sehr groß ist, sollte der Klimawandel unter regionalen Aspekten betrachtet werden.

2.2 Klimamodelle

2.2.1 Emissions-Szenarien

Die demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen sind Hintergrund der seitens des IPCC entwickelten Emissions-Szenarien, welche eine Grundlage für weitere Klimamodellrechnungen sind (Alley et al. 2007).

Nach der Überarbeitung der IS92-Szenarien durch eine IPCC-Arbeitsgruppe entstanden 40 sogenannte SRES-Szenarien (Special Report on Emission Scenarios), wobei jedes eine eigene Kombination einer demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung repräsentiert. Diese Szenarien wurden in 4 Hauptgruppen A1, A2, B1, B2 unterteilt (IPCC 2000).

Das A1 Szenario beschreibt eine Welt mit moderaten Bevölkerungswachstum mit Maximum von 8.7 Mrd. Menschen in der Mitte des 21. Jahrhunderts, einem schnellen Wirtschaftswachstum, der raschen Einführung neuer und effizienter Technologien sowie fortschreitender Globalisierung und steigender sozialen und kulturellen Interaktion. Das A1 Szenarium wird nach Energieträgern in drei Gruppen aufgegliedert. Das A1FI-Szenario stellt die Möglichkeit der Vorrangstellung fossiler und das A1T-Szenario der nicht-fossilen Energieträger dar. Das A1B-Szenario beschreibt eine ausgewogene Nutzung fossiler und nicht-fossiler Energieträger. Somit kommt es im Fall des A1FI-Szenarios zu stetig steigenden Anstieg der Emissionen, während die Emissionen beim A1T-Szenario und A1B-Szenario nach einem Maximum um 2040 und 2060 deutlich reduziert werden.

Szenarienfamilie A2 formuliert eine heterogene Welt, in welcher lokale Indentität, Traditionen und Autarkie gewahrt werden und ökonomische Entwicklung eher regional orientiert, langsam und ressourcenorientiert vonstattengeht. Das Bruttosozialprodukt wird langsamer als in den anderen Szenarien wachsen und die Einkommensdisparitäten in den meisten Regionen steigen. Es wird von einem stetigen Bevölkerungswachstum mit regional unterschiedlichen Geburtenraten ausgegangen. Auch hier wird von einem stetigen Anstieg des CO₂ -Ausstoßes bis ans Ende des Jahrhunderts ausgegangen.

Das B1-Szenario geht wieder von einer globalen aber nachhaltigen Entwicklung in wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Bereichen der Welt aus. Die ökonomische Struktur geht zum 3. und 4. Wirtschaftssektor hin inklusive Reduzierung des Materialverbrauchs und der Einführung nicht-fossiler Energieträger und

9

ressourcenschonender Technologie. Das Bevölkerungsmaximum tritt um die Mitte des 21. Jahrhunderts auf und mit abnehmender Zahl bis zum Jahrhundertwechsel.

Bei den vorhergesagten CO_2 Werten wird bis 2050 ein leichter Anstieg erwartet mit anschließendem starkem Rückgang.

Die Szenariengruppe B2 beschreibt eine sich lokal und regional entwickelnde Welt mit lokaler Realisierung wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit. Die Wirtschaft und der technologische Wandel entwickelt sich langsamer als im A1 oder B1 Szenarium. Die Bevölkerung steigt bis zum Ende des Jahrhunderts weiter aber weniger stark an.

Nach diesen Szenarienfamilien entwickelte eine IPCC Arbeitsgruppe für Treibhausgase und klimawirksame Gase, wie Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄, Distickstoffoxide N₂O, Ozon O₃, Flourchlorkohlenwasserstoffe CFCs, Sulfataerosole SO₄ und durch Oxidation in der Atmosphäre entstandene SO₂ den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen (Jacob et al. 2008).

2.2.2 Globale Klimamodelle

Klimamodelle simulieren nun den Ablauf einzelner Parameter unter der Annahme eines bestimmten Ausgangszustands dieser Größen, der Oberflächenbeschaffenheit, der Emissions-Szenarien und beinhalten Grundgleichungen der Strömungs- und Thermodynamik, wie Gesetzt der Massenerhaltung, Energieerhaltung, Impulserhaltung, Massenbilanz für Beimengungen, Gasgleichung oder Entropie. Globale Klimamodelle (GCM) bilden die Prozesse allerdings nur sehr vereinfacht in sehr großer Auflösung ab, verwenden dabei parametrisierte Größen und können kaum Rückkopplungsprozesse berücksichtigen. In den letzten Jahren konnten immer mehr Prozessen des Klimasystems in die Klimamodelle integriert (Abb. 2) und die vertikale und horizontale Auflösung verbessert werden (Abb. 1).



Abb. 1: Zunahme der räumlichen Auflösung der sukzessiven Modellgenerationen in den verschiedenen IPCC Berichten (FAR, SAR, TAR, AR4). Die Abbildung ist für die meisten detaillierten horizontalen Auflösungen für kurzzeitige Klimasimulationen. Die Simulationen für ein Jahrhundert im IPCC Bericht laufen mit der Auflösung der früheren Generation. Die vertikale Auflösung der Atmosphären- und Ozeanmodelle wird nicht gezeigt, ist aber gleichzeitig mit der horizontalen Auflösung auf 13 Schichten angewachsen. (IPCC 2007. S.113)

Das globale gekoppelte Ozean-Atmosphärenmodell ECHAM5/MPI, welches vom Max-Planck Institut für Meteorologie entwickelt wurde basiert auf einem Modell für mittelfristige Wettervorhersagen. Seine zeitliche Auflösung beträgt 20 - 40-min und die räumliche 100 - 150 km. Es bezieht Vorgaben über solare Einstrahlung, klimarelevante Gase und Meeresoberflächentemperaturen sowie Teile von gekoppelten Modellen mit ein (Jacob et al. 2008).

Bei der Validierung werden die durchschnittlichen Klimadaten, regelmäßige und chaotische Klimaschwankungen überprüft. Zudem wurde mit dem Modell ECHAM5/MPI-OM eine Simulation der letzten 500 Jahren mit vorindustriellen Treibhausgaskonzentrationen mit der Erwartung durchgeführt, dass sich kein eindeutiger Trend in der Temperaturentwicklung abzeichnen darf. Das Ergebnis war 0.03 °C Erwärmung, was den Erwartungen entsprach und die Ausgangsbedingungen für die Klimamodellierung des 20. und 21. Jahrhunderts schaffte.



Abb. 2: Wachsende Komplexität der Klimamodelle in den letzten Jahrzehnten. Die in die Modelle zusätzlich integrierte Physik wird bildhaft durch verschiedene Features der modellierten Welt gezeigt. (IPCC 2007 S.99)). In den letzten Jahren konnten in die Modelle immer mehr Faktoren und

2.2.3 Regionale Klimamodelle

Um den Klimawandel und seine Auswirkungen in regionale bis lokale Skalen zu untersuchen verwendet man *Downscaling*-Verfahren. Dabei unterscheidet man dynamisches und empirisches/statistisches *Downscaling*.

Statistisches Downscaling

Beim des empirischen/statistischen *Downscaling* werden aus der Vergangenheit gewonnene Beziehungen zwischen der Wetterlage und lokalem Wettergeschehen statistische berechnet. Diese statistischen Beziehungen werden unter der Annahme, dass der statistische Zusammenhang erhalten bleibt, auf die von GCM beschriebenen Muster angewandt und somit die lokalen Parameter berechnet. Das statistische Downscaling kann in drei Methoden unterteilt werden: Die Transferfunktion, Wettergeneratoren und Klassifikationsverfahren. Bei Verwendung der Transferfunktion sind die Multiple Lineare Regression und die Kanonische Korrelationsanalyse die wichtigsten Verfahren um die Klimaänderung auf Monatsbasis zu berechnen. Mit Hilfe von Wettergeneratoren können für einzelne Stationen die Änderungsszenarien auf Tagesbasis analysiert werden. Wettergeneratoren modellieren die statistische Eigenschaft von dem Zusammenspiel der meteorologischen Variablen, die die lokalen Ausprägungen des Wetters wiederspiegeln. Durch Verknüpfung des dynamischen mit dem statistischen Regionalisierungsverfahren können die Parameter der Wettergeneratoren von GCMs gesteuert werden und damit der lokale Zustand berechnet werden. Beim Klassifikationsverfahren werden Wetterlagen definiert und ihnen eine Häufigkeitsverteilung der regionalen meteorologischen Parameter zugeschrieben, deren Klasse mit dem Zufallsgenerator ausgewählt wird. Dieses und das Analogverfahren werden auf Tagesbasis verwendet. Beim Analogverfahren wird jeder Wetterlage des GCM das ähnlichste Muster aus der Trainingsperiode zugeordnet und so die regionalen Eigenschaften bestimmt. Vor allem bei nicht normalverteilten meteorologischen Parametern wie Niederschlag, ist dieses Verfahren von Vorteil (Matulla, Penlap und v. Storch 2002).

Ein Beispiel für ein empirisches Klimamodell ist das von CEC Potsdam entwickelte Klimamodell WETTREG. Dieses berechnet die Klimaänderung basierend auf dem ECHAM5-Modell unter Verwendung der IPCC-Szenarien A2, B1 und A1B für ganz Deutschland von 2010 bis 2100 mit Hilfe des statistischen *Downscaling*. Zur Berechnung werden zuerst zehn Temperatur- und acht Niederschlagsklassen von warm bis kalt bzw. trocken bis niederschlagsreich für jede Jahreszeit erstellt und Composites aller Tage, die zu einer Klasse gehören gebildet. Diese werden mit dem Euklidischen Distanzmaß im GCM identifiziert und anschließend dekadenweise analysiert, wie oft und an welchen Tagen die Wetterlagen je nach Emissionszenario auftreten. Der Wettergenerator kombiniert alle positiven und negativen Perioden zu einer fiktiven Zeitreihe mit synoptisch plausiblen Abfolgen durch Überprüfung der Übergangswahrscheinlichkeit mit in der Jetztzeit beobachteten Witterungsabfolgen (Spekat, Enke und Kreienkamp 2007). WETTREG kommt beispielsweise im Projekt "Klimaänderung und Konsequenz für die Wasserwirtschaft" (KLIWA) des Landes Baden-Württemberg zum Einsatz.

Dynamisches Downscaling

Beim dynamischen *Downscaling* wird das Regionale Klimamodel in ein GCM eingebettet. Das Verfahren des dynamischen *Downscaling* entspricht im Ansatz der Vorgehensweise des GCM, da es die physikalischen Prozesse der Atmosphäre mit einbezieht. Die bessere zeitliche und räumliche Auflösung lässt die Rechenleistung um ein Vielfaches ansteigen. Das vom Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelte regionale Klimamodelle REMO Modell (Jacob 2001) mit einer höheren Auflösung von 0.088° oder 10 km verwendet das dynamische *Downscaling* Verfahren.

Das Gitterpunktmodell REMO wird in das globale Modelle MPI-ECHAM5 eingebettet und durch diese angetrieben, was als *dynamic downscalling* bezeichnet wird, d.h. Luftmassen strömen an den seitlichen Rändern in das Berechnungsgebiet des regionalen Modells hinein.

Das dreidimensionale hydrostatische regionale Klimamodell berechnet physikalische Prozesse dynamisch und kann somit nicht-linearer Zusammenhänge beachten. Subskalige Prozesse können durch physikalische Parametrisierung entweder des Europa-Modell oder des ECHAM 4 berechnet werden. In die Landfläche fließen Höhe ü. NN. Oberflächenbeschaffenheit, Rauhigkeit und Bodenbeschaffenheit mit ein, dabei kann eine Gitterzelle anteilig mit Wasser, Meereis oder Land klassifiziert und teilweise oder komplett Schneebedeckt sein (Jacob et al. 2008).



Abb. 3: Oberflächenbedeckung in REMO (http://www.mpimet.mpg.de/)

Auch das Regionale Modell durchläuft verschiedene Valisdierungs- und Kontrollläufe bevor regionale Klimaszenarien berechnet werden. Zudem wurde *Downscaling* mit Hilfe der Methode der Doppelnestung durchgeführt, um einen möglichst geringen Skalensprung zwischen Horizontalauflösung des globalen und des regionalen Klimamodells zu erreichen. Dabei wurde zur Initialisierung von REMO eine Modellrechnung mit der Auflösung von 0.44° für Europa durchgeführt und diese Ergebnisse als Randwerte für die Simulation mit 0.088° für Deutschland, Österreich und die Schweiz verwendet.

"Es kann nicht erwartet werden, dass in Simulationen mit REMO im Klimamodus jedes einzelne Wettergeschehen realistisch in Zeit und Raum berechnet wird, sie werden nur das Klima repräsentieren." (Jacob et al. 2008)

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Untersuchungsgebiet

3.1.1 Die geographische Lage

Das Engadin liegt im Süden des Kantons Graubünden in den Zentralalpen und erstreckt sich 92 km entlang des Inns von Maloja (1815 m) bis zur Landesgrenze bei Martina (1000 m). Die mittlere Höhe des Engadins beträgt 2350 m.

Das Engadin wird zum größten Teil nach Nordosten in die Donau entwässert.

Die durch die höchstgelegene europäische Schiffahrtslinie befahrenen Oberengadiner Seen Lej da Segl, Lej da Silvaplana, Lej da Champfer und Lej da S. Murrezan sind die größten der 456 Seen im Oberengadin (Rothenbühl 2006).

Im Bündernland gibt es rund 600 Gletscher, welche etwa 5.4 % der Fläche des Engadins bedecken (Gensler 1979). Die Flächenausdehnung von Gletschern beträgt im Err-Julier Massiv 11.8 km², im Unterengadin 3,1 km² und im Bernina Massiv 84.8 km². Der größte Gletscher der Region, der 7 km lange Morteratsch Gletscher gehört zur am dichtesten vereisten Gebirgsgruppen der Ostalpen, dem Berninamassiv. Piz Bernina bildet mit 4049 m Höhe die höchste Stelle des Engadins.

Die historische Gerichtsgrenze Punt Ota trennt Oberengadin vom Unterengadin und stellt die Sprachgrenze zwischen den rätoromanischen Mundarten Puter und Vallader dar.

Das Engadin ist über den Malojapass aus Südwest, über den Julierpass von Oberhalbstein, über den Albulapass vom Albulatal und über den Flüelapass aus Norden zu erreichen. Der Ofenpass verbindet das Engadin mit Val Müstair und der Berninapass mit dem Puschlav. Aus Nordosten kann das Tal von Landeck aus herauf gefahren werden.

3.1.2 Klima im Engadin

Die Alpen wirken als Klimaschranke zwischen dem feucht-temperiertem Klima im Norden und dem sommertrockenen, warmem Mittelmeerklima. Dies bewirkt aber auch Modifikationen an den Alpenrändern, sowie in den inneralpinen Gebieten. Am wenigsten Niederschlag fällt in den Nordalpen im Herbst und am meisten im Sommer. In den Südalpen regnet es im Spätwinter am wenigsten und im Spätfrühjahr und Herbst am meisten. Das Klima im Engadin ist weitgehend kontinental und trocken geprägt. Östlich von Sils Maria beträgt die Niederschlagsmenge unter 1000 mm, östlich von Susch oder südlich von Sta. Maria im Val Müstair unter 750 mm im Jahr.

Das Gebiet gilt als wintertrocken mit einem Niederschlagsmaximum im Sommer. Während im Unterengadin und Val Müstair keine Staulage übermäßig Niederschlag liefert, liegt das Oberengadin im Einflussbereich von Nord- und Südstaulagen. Wetterlagen, welche Niederschlag im Gebiet des Engadins und Val Müstairs verursachen, sind Tiefdruckgebiete mit Zentrum südlich der oder über den Alpen (Gensler 1979).

Unterengadin und Val Müstair gelten als gewitterärmste Region der Alpen mit weniger als 15 Tage Gewitter im Jahr. Das Oberengadin verzeichnet dagegen 20 – 25 Tage mit Gewitter (Gensler 1979).

Die geringen Niederschlagsmengen bedingen wiederum geringe Verdunstung, Luftfeuchte und Wolkenbildung, wodurch große Lufttemperaturunterschiede sowohl im Tagesgang als auch im Jahresgang charakteristisch sind. Im Engadin sind die mittleren Mittagstemperaturen (14 h MESZ) in den Sommermonaten 4 °C bis 5 °C höher, als in vergleichbarer Höhe in den nördlichen Voralpen, weshalb die Waldgrenze auf bis zu 2300 m Höhe ansteigt (Gensler und Schüpp 1991). Auf dem Piz Corvatsch beträgt die mittlere Jahrestemperatur -5,3 °C, in Sils Maria 1,7 °C und in Scoul 4,8 °C.

Während im Unterengadin außerordentliche Windarmut herrscht, dominiert im Oberengadin der tagesperiodische Malojawind. Dieses sommerliche Schönwetterphänomen entsteht durch das thermisch bedingte Hitzetief über dem mittleren Oberengadin, wodurch aufgrund des fehlenden Talabschlusses Luftmassen aus dem Bergell über den Malojapass angesaugt werden. Der fehlende Talabschluss ist auch der Grund, warum das Oberengadin ab Bever unter südalpinem Einfluss steht, was das Wetter anbelangt. Dagegen überwiegt im Unterengadin der Einfluss der nordwestlich Strömungen.

Das untere Münstertal sei das klimatisch günstigste Gebiet in Graubünden, danach folgen das mittlere Unterengadin, Puschlav und Oberengadin (Gensler und Schüpp 1991).

Witterung im Engadin

Bei hohem Luftdruck treten übernormale Lufttemperaturen, viel Sonne und wenig Niederschlag auf, bei einem Tief können die Vorzeichen getauscht werden. Bei einer Flachdrucklage kommt es zu leicht überdurchschnittlicher Wärme, und trockenem Wetter in kalten Jahreszeiten, im Sommer jedoch zu Gewittern. Bei dieser Witterung können sich tagesperiodische Lokalwinde besonders gut ausbilden. Diese konvektiven Lagen kommen im Engadin im Sommer zu 60 % und im Winter zu 30 % vor

Im Winter kann es bei advektiven Lagen mit ausschließlicher N/NW Strömung zu Schneemangel im Oberengadin kommen, weil die nördliche Bergkette den Niederschlag abschirmt. Advektive Lagen kommen im Sommer zu 30 % und im Winter zu 60 % vor (Gensler und Schüpp 1991).

Tab.1: Übersicht über folgende meteorologische Parameter an verschiedenen Stationen im
Untersuchungsgebiet: Mittlere Lufttemperatur (Ta), Niederschlagssumme (RR), Tage
mit Niederschlag und Sonnenscheindauer der Klimanormalperiode 1961 - 90 auf
Datengrundlage der MeteoSchweiz.

Station	Höhe	T _a (°C)	RR (mm)	Tage mit RR (d)	Sonnen- scheindauer im Jahr (h)
Buffalora	1970	-0.3	902	117.6	-
Passo del Bernina	2307	-0.6	1709	118.6	-
Piz Corvatsch	3315	-6.0	850	116	2079
Segl-Maria	1798	1.6	978	104.3	-
Sta. Maria	1390	5.3	801	94.6	-
Scuol	1303	4.8	693	97.8	1774

3.2 Daten und Methode

3.2.1 Messstationen der MeteoSchweiz

Die Datengrundlage liefern MeteoSchweiz Stationen im Raum Engadin und Val Müstair. Dabei wurden für die Analyse des Klimas der letzten 100 Jahren vor allem jene ausgewählt, welche eine lange Zeitreihe mit wenigen Datenlücken liefern. Für den Vergleich zwischen REMO - Modelldaten und Messdaten wurden zusätzlich die Daten einer Station der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL im Gebiet II Fuorn berücksichtigt. . Im Engadin gibt es Messtationen der MeteoSchweiz auf Buffalora, in Bever, auf Piz Corvatsch und Passo del Bernina, in Samedan, Scoul, Sils Maria und Sta. Maria im Val Müstair (Tab. 10). Die verwendeten Datensätze wurden von der MeteoSchweiz automatisch überprüft, aber nicht zwingend homogenisiert (Perl 2007) und über das Datenportal IDAWEB bereitgestellt.

3.2.2 Datenvergleich von Modelldaten mit Messdaten

Das klimatische Tourismuspotential im hoch sensiblen Raum Engadin wird anhand der Datengrundlagen der Modelldaten von REMO (Jacob et al. 2001, 2007) und CLM (Böhm et al. 2006), sowie der Messdaten der MeteoSchweiz untersucht.

In der Modellierung ist bekannt, dass Modelle die komplexe Physik der Atmosphäre und die Wechselwirkungen nur teilweise realistisch abbilden können. Um heraus zu finden, wie gut die Modelle die Gegebenheiten im orographisch stark geprägten Gebiet simulieren können, werden die Modelldaten mit den Stationsdaten von Buffalora, Santa Maria, Sils Maria und Scoul für die Klimanormalperiode 1961 - 90 sowie für den Zeitraum 1998 - 2008 evaluiert. Diese Analyse ermöglicht dann eine bessere Interpretation der Modellergebnisse und eine Abschätzung der Modellunsicherheiten.

Zur Höhenkorrektur der Lufttemperatur, um beispielsweise abweichende Gitterpunkthöhen von Stationshöhen auszugleichen, wird empfohlen einen Temperaturgradienten von $0.65 \text{ }^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m zu verwendet}^{1}$.

Um die Abweichung der Modell- von den Messdaten einschätzen zu können, wurde die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (RMSE) berechnet (Kostopoulou 2008).

¹ www.mpimet.mpg.de/.../staff/.../REMO.../REMO-UBA-Hinweise.pdf

Untersuchungsmethodik

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (f(x_i) - y_i)^2}{n}}$$
(4)

Je größer der Fehler ist, desto schlechter können die Fähigkeiten des Modells eingestuft werden.

3.2.3 Niederschlag und Niederschlagshäufigkeit

Da Abweichungen in der Niederschlagsintensität zwischen Modelldaten und MeteoSchweiz Daten, sowohl in der jährlichen, als auch besonders in der monatlichen und saisonalen Niederschlagsintensität festgestellt werden (Kap. 7.1), werden die Niederschlagshäufigkeit und monatlichen Niederschlagssummen (Kap 7.2.4) der Zeiträumen 2021 – 50 und 2071 - 2100 durch die prozentuale Änderung der REMO Daten in den selben Zeiträumen auf der Grundlage der MeteoSchweiz Daten berechnet.

3.2.4 Berechnung der Schneehöhe

Die Schneehöhe wird im REMO Datensatz als Wasseräquivalent SWE in kg/m² angegeben. Um die absolute Schneehöhe zu berechnen muss SWE durch die Schneedichte geteilt werden. Das Problem hierbei ist, dass die Schneehöhen je nach Schneeart zwischen 30 kg/m³ bei Wildschnee über 300-500 kg/m³ bei Nassschnee bis zu 500-830 kg/m³ bei Firn variieren können.

Für die Berechnung der Schneehöhe wurde die Klassifizierung nach Sturm et al. (1995) und anschließend die mittlere monatliche Schneedichte nach Brown und Mote (2008) (Tab.2) gebraucht.

nach Sturm et al. 1995 definiert (Brown und Mole 2008, S. 2129).								
Monat	Tundra	Taiga	Maritime	Ephermeral	Prairie	Alpine		
Oktober	200.0	160.0	160.0	250.0	140.0	160.0		
November	210.7	176.9	183.5	300.0	161.6	172.0		
Dezember	218.1	179.8	197.7	335.1	185.1	181.6		
Januar	230.3	193.1	216.5	316.8	213.7	207.2		
Februar	.242.7	205.9	248.5	337.3	241.6	241.5		
März	254.4	221.8	283.3	364.3	261.0	263.5		
April	273.6	263.2	332.0	404.6	308.0	312.0		
Mai	311.7	319.0	396.3	458.6	398.1	399.6		
Juni	369.3	393.4	501.0	509.8	464.5	488.9		

Tab.2: Die mittlere monatliche Schneedichte (kg/m³) um SWE von der Schneetiefe aus zu schätzen basiert auf kanadische Schneebeobachtungen. Die Schneeklassen wurden nach Sturm et al. 1995 definiert (Brown und Mote 2008, S. 2129).

4 WETTER, WITTERUNG UND KLIMA IM RÜCKBLICK

4.1 Lufttemperatur

4.1.1 Jahresmittel und Abweichung

Die mittlere Lufttemperatur beträgt auf Buffalora 0.3°C, in Sta. Maria 5.3°C, in Sils Maria 1.7°C und in Scoul 4.8°C im Zeitraum 1961-90. Seit 1990 fallen die mittleren Lufttemperaturen höher aus, als 1961-90, wobei 1996 eine Ausnahme bildet.



Abb. 4: Mittlere Lufttemperatur auf Buffalora.



Abb. 5: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 auf Buffalora.

Von 1920 bis ans Ende des 20. Jahrhunderts stieg die Temperatur um 1.2°C auf Buffalora, seit Mitte des Jahrhunderts um 0.9°C.

Seit den 1930er Jahren stieg die Lufttemperaturanstieg um 0.8°C, von Mitte bis Ende des Jahrhunderts um 0.7°C in Sta. Maria.



Abb. 6: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Sta. Maria.



Abb. 7: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Sta. Maria.

In Scoul stieg die Lufttemperatur von 1900 bis 2000 um 1.1°C an, seit Mitte des Jahrhunderts um um 0.4°C.



Abb. 8: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Scoul.



Abb. 9: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Scoul.

In Sils Maria erhöhte sich das Mittel der Lufttemperatur um 1.2°C an seit Beginn der Messungen bis 2000.



Abb. 10: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Sils Maria.



Abb. 11: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Sils Maria.

4.1.2 Saisonale Betrachtung der Lufttemperatur

Die mittlere Lufttemperatur im Winter beträgt auf Buffalora -8.9 °C, im Frühjahr -0.7 °C, im Sommer 9.2 °C und im Herbst 1.5 °C im Zeitraum 1961-90. Betrachtet man die 10-Jahresmittel der Lufttemperatur, so stieg die Lufttemperatur seit Beginn der Messung auf Buffalora im Winter um 1 °C, im Frühjahr um 1.6 °C, im Sommer um 1.2 °C und im Herbst um etwa 1.4 °C.



Abb. 12: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) auf Buffalora.



Abb. 13: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) auf Buffalora.



Abb. 14: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) auf Buffalora.



Abb. 15: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) auf Buffalora.

In Scoul beträgt die mittlere Lufttemperatur im Winter -4.4 °C, im Frühjahr 4.7°C, im Sommer 13.5 °C und im Herbst 5.5°C im Zeitraum 1961-90. Im Winter erwärmt sich die Lufttemperatur 1.6°C, im Frühjahr 1.3°C, im Sommer 0.6°C und im Herbst um 0.8°C.



Abb. 16: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Scoul.



Abb. 17: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Scoul.



Abb. 18: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Scoul.



Abb. 19: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Scoul.

Die mittlere Lufttemperatur in Sils Maria beträgt im Winter -6.7 °C, im Frühjahr 0.5°C, im Sommer 13.5 °C und im Herbst 5.5°C im Zeitraum 1961-90.

In Sils Maria stieg die Lufttemperatur im Winter um 0.9°C, im Frühjahr ebenfalls, im Sommer um 1.1°C und im Herbst um 1.3°C in den letzten 100 Jahren, wenn man die 10-jährigen Mittelwerte vergleicht.



Abb. 20: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sils Maria.



Abb. 21: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sils Maria.



Abb. 22: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sils Maria.



Abb. 23: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sils Maria.

Die mittlere Lufttemperatur in Sta. Maria beträgt von 1961-90 im Winter -3.1 °C, im Frühjahr 4.6°C, im Sommer 13.7°C und im Herbst 5.9°C. In Sta. Maria stieg die mittlere dekadische Lufttemperatur um 1.3°C im Winter, 1.4°C im Frühjahr, 0.9°C im Sommer und um 0.6°C im Herbst.



Abb. 24: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sta. Maria.



Abb. 25: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sta. Maria.



Abb. 26: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sta. Maria.



Abb. 27: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sta. Maria.

4.2 Niederschlag

4.2.1 Jahressumme und Abweichung

Der mittlere Jahresniederschlag auf Buffalora beträgt 884 mm. Betrachtet man den mittleren Niederschlag pro Dekade, so fällt ein Maximum in den 1950er Jahren auf mit durchschnittlich 1040 mm Niederschlag und ein Minimum von 2000 bis 1008 mit762 mm.



Abb. 28: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend auf Buffalora.



Abb. 29: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 auf Buffalora.

In Scoul beträgt der mittlere Niederschlag im Zeitraum 1961-90 716 mm. Der Trend geht zu weniger Niederschlag.



Abb. 30: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Scoul.



Abb. 31: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in Scoul.

In Sils Maria fällt 998 mm Niederschlag in der Klimanormalperiode mit abnehmenden Tendenzen.



Abb. 32: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Sils Maria.



Abb. 33: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in Sils Maria.

In Sta. Maria beträgt der mittlere Jahresniederschlag von 1961-90 790 mm, es kann eine leicht ansteigende Tendenz beobachtet werden.


Abb. 34: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Sta. Maria.



Abb. 35: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in Sta. Maria.

4.2.2 Saisonale Betrachtung des Niederschlags

Der mittlere Niederschlag im Zeitraum 1961-90 auf Buffalora beträgt im Winter 151 mm, im Frühjahr 219 mm, im Sommer 276 mm und im Herbst 216 mm. Im Winter sind in den letzten zwei Jahrzehnten abnehmende Niederschläge zu beobachten, wie auch im Herbst, in welchem aber in einzelnen Jahren überdurchschnitlich viel Niederschlag fällt mit bis zu 500 mm.



Abb. 36: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) auf Buffalora.



Abb. 37: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) auf Buffalora.



Abb. 38: Mittlere Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) auf Buffalora.



Abb. 39: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) auf Buffalora.

In Scoul ist im Winter 123 mm, im Frühjahr 157 mm, im Sommer 263 mm und im Herbst 173 mm Niederschlag im Zeitraum 1961-90 zu verzeichnen. Im Winter zeigt der Niederschlag einen abnehmenden Trend, auch im Frühjahr sind abnehmende Tendenzen zu sehen. Dagegen steigt die Niederschlagsmenge im Sommer ausgeprägter als im Herbst.



Abb. 40: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Scoul.



Abb. 41: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Scoul.



Abb. 42: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Scoul.



Abb. 43: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Scoul.

In Sils Maria beträgt der Niederschlag im Winter 145 mm, 245mm im Frühjahr, 337 mm im Sommer und 272 mm im Herbst. Dabei können im Winter und Frühjahr abnehmende Tendenz des Niederschlags beobachtet werden.



Abb. 44: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sils Maria.



Abb. 45: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sils Maria.



Abb. 46: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sils Maria.



Abb. 47: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sils Maria.

In Sta. Maria beträgt der Jahresniederschlag 792 mm. Er setzte sich aus 117 mm im Winter, 195 mm im Frühjahr, 276 mm im Sommer und 204 mm im Herbst zusammen. Der Niederschlag im Winter und Frühjahr zeigt abnehmende Tendenzen, im Sommer und Herbst steigende Tendenzen auf



Abb. 48: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sta. Maria.



Abb. 49: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sta. Maria.



Abb. 50: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sta. Maria.



Abb. 51: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sta. Maria.

4.2.3 Niederschlaghäufigkeit

Der mittlere Jahresniederschlag auf Buffalora beträgt 883 mm. Februar ist der niederschlagsärmste Monat mit 46 mm Niederschlag. Das sekundäre Maximum ist im Mai bei 101 mm und das primäre im August bei 109 mm Niederschlag im Monat. Die Niederschlagshäufigkeit liegt im ganzen Jahr unter 46 % mit einem Minimum im Oktober von 30 %. Fällt Niederschlag, so beträgt die Niederschlagsmenge von November bis April zu 50 % bis 57 % im Februar 3 mm oder weniger. Der Anteil des Niederschlags zwischen 3 und 10 mm beträgt bei Niederschlag über das ganze Jahr um die 24 %, wobei der Dezember eine Ausnahme mit einem Anteil von 40 % bildet. Niederschlagsmengen über 10 mm haben von Juli bis September den größten Anteil mit maximal 25 % an allen Regentagen (Abb. 52).



Abb. 52: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 1961 - 90. Das Liniendiagramm gibt die monatliche Niederschlagssumme in mm an.

Von 1961 – 90 können im Mittel 692 mm Niederschlag in Scoul gemessen werden. Im Winter fällt 119 mm Niederschlag, im Frühjahr und Herbst etwa 160 mm und im Sommer 254 mm. Im Februar beträgt der Monatsniederschlag 37 mm und im August 97 mm. Die Niederschlaghäufigkeit ist im Winter dementsprechend gering mit maximal 32 % und steigt von Mai bis August auf über 40 % mit einem Maximum von 50 % im Juni an. Der Anteil an

Niederschlag über 10 mm an den Regentagen variiert zwischen 10 % im Dezember und Januar und 20 % im September (Abb. 53).



Abb. 53: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.



Abb. 54: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.

In Sils Maria beträgt der mittlere Jahresniederschlag im Zeitraum 1961 – 90 978 mm. In den Wintermonaten regnet es 138 mm, im Frühjahr und Herbst 254 mm und im Sommer 323 mm.

Maximaler und minimaler Monatsniederschlag fallen im August mit 120 mm und Februar mit 42 mm Niederschlag. Der Anteil an Tagen mit Niederschlag unter 3 mm beträgt im September und Oktober 44 % und steigt im Januar und Februar auf 64 %. Entsprechend ist der Anteil an Tagen mit Niederschlag zwischen 3 bis 10 mm und über 10 mm im Sommer mit 32 % und 28 % im Juli und August größer als im Winter (Abb. 54).

4.3 Schnee

In Sils Maria schwankt die mittlere Schneehöhe zwischen 130 cm und 32 cm und betrug im Mittel 76 cm im Zeitraum 1961 - 2000. In Bever können zwischen 1961 - 82 durchschnittlich 59 cm gemessen werde, an der 2.5 km entfernten Nachfolgestation in Samedan konnte im Zeitraum 1980 - 2000 nur noch eine mittlere Höhe von 38 cm verzeichnet werden. Auf dem Passo del Bernina auf 2307 m ü. M. beträgt die mittlere Schneehöhe 111 cm, die maximale mittlere Schneehöhe 374 cm im Jahr 2000 und die minimal mittlere Schneehöhe 23 cm im Jahr 2001. In Scoul liegt im Winter durchschnittlich 26 cm Schnee, aber 1964 wurde im Mittel nur 4 cm Schnee gemessen (Tab.3).

Tab.3: Mittlere Schneehöhe (cm) während des Winters (1. Dezember bis 15. April), maximale und minimale mittlere Schneehöhen an verschiedenen Stationen im Engadin und Val Müstair.

	Sils Maria	Bever	Samedan	Passo del	Scoul	Sta.
Schneehöhe (cm)				Bernina		Maria
Verfügbare Daten	1966-2000	1961-1982	1980-2000	1997-2007	1961-2000	1961-2000
Mittelwert	76	59	38	111	26	30
Maximale Höhe	130	86	71	374	48	61
Minimale Höhe	32	18	11	23	4	4

Die mittlere Schneehöhe war schon immer Schwankungen unterworfen, sie hielt sich jedoch seit den 1930er bis 1980er Jahren recht konstant zwischen 54 cm und 57 cm wie die 10-Jahres Mittel der Station Bever zeigen (Tab.3). Während in den 1970er Jahren in Sils Maria noch eine mittlere Schneehöhe von 91 cm gemessen werden konnte, verringerte sich diese auf 48 cm im Zeitraum 2000 - 2008. An anderen Orten ist derselbe Trend zu beobachten. In Scoul reduzierte sich die mittlere Höhe von 28 cm auf 14 cm, in Sta. Maria von 41 cm auf 21 cm in denselben Zeiträumen.



Abb. 55: Mittlere Schneehöhe je Winter an ausgewählten Stationen von 1931 - 2008.

4.4 Wind

Auf Buffalora dominieren zu 75 % die Winde aus Ost bis Südwest, zu einem Anteil von 8% kommt er aus Norden, sowie zu 15 % aus Westnordwest. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt hier 1.3 m/s, die maximale Windgeschwindigkeit 26.6 m/s. In Samedan kommt der Wind zu 66 % aus Südsüdost, sowie zu 27 % aus Nordnordost, die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 2.2 m/s. Im Sommer ist die Windgeschwindigkeit mit einem Monatsmittel von 2.6 m/s höher als im Winter, wo sie unter 2 m/s bleibt. In Scoul überwiegt zu 70 % der Wind aus westsüdwestlicher Richtung, zudem zu etwa 20 % aus 60°. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt 1.5 m/s, die maximale 23.2 m/s. Hier treten die größte monatliche Windgeschwindigkeit im April mit 1.9 m/s und die geringste im November und Dezember mit 1.2 m/s auf. In Sils Maria weht der Wind beinahe ausschließlich aus südlicher Richtung (Abb. 56).



Abb. 56: Häufigkeiten (%) der Windrichtungen in Buffalora, Samedan, Scoul und Sils Maria im Zeitraum 1981 – 2000.

5 Vergleich der Modelldaten mit Messdaten

Das klimatische Tourismuspotential im hoch sensiblen Raum Engadin wird anhand der Datengrundlagen der Modelldaten von REMO (Jacob et al 2001, 2007) und CLM (Böhm et al 2006), sowie der Messdaten der MeteoSchweiz untersucht.

In der Modellierung ist bekannt, dass Modelle die komplexe Physik der Atmosphäre und die Wechselwirkungen nur teilweise realistisch abbilden können. Um heraus zu finden, wie gut REMO das heutige Klima in diesem orographisch stark geprägten Gebiet simulieren kann, werden die Modelldaten mit den Stationsdaten von Buffalora, Santa Maria, Sils Maria und Scoul für die Klimanormalperiode 1961-90 sowie für den Zeitraum 1998 - 2008 evaluiert. Diese Analyse ermöglicht dann eine bessere Interpretation der Modellergebnisse und eine Abschätzung der Modellunsicherheiten.

Die vom REMO Modell berechnete mittlere Lufttemperatur von 4.5 °C für den Zeitraum 1961 - 1990 ist im Vergleich mit den Messungen der MeteoSchweiz Station Buffalora von 0.3 °C deutlich zu hoch, ebenso liegen die berechnete maximale Lufttemperatur T_{max} und minimale Lufttemperatur T_{min} für den Zeitraum 1961 - 90 ca. 10 °C zu hoch, für den Zeitraum 1998 - 2008 stimmt sie allerdings recht gut überein. Im Zeitraum 1998 - 2008 beträgt die mittlere Lufttemperatur der REMO Daten 4.5 °C, die gemessene Lufttemperatur der MeteoSchweiz Station 0.9 °C und die der benachbarten WSL Station 1.5 °C. Unter Verwendung des CLM Modell beträgt die mittlere Lufttemperatur -0.1 °C im Zeitraum 1961 - 90 und 0.7 °C im Zeitraum 1998 – 2008 (Tab.4). Die Wurzel der mittleren Standardabweichung (RMSE) zwischen Messungen und Modelldaten für den Zeitraum 1960 - 90 auf der Basis der Tagesdaten beträgt 7.2 °C (REMO) und 5.9 °C (CLM), auf der Basis der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur 4.1 °C (REMO) und 1.0 °C (CLM) (Tab.7).

Die jährliche Niederschlagsumme wird für den Zeitraum 1961 - 90 vom REMO Modell um 150 mm und von CML Modell um 486 mm unterschätzt. Von 1998 - 2008 wurde von der WSL Station 744 mm, von der MeteoSchweiz Station 808 mm Niederschlag gemessen. Im gleichen Zeitraum schätzt das REMO Modell 789 mm und das CLM Modell den Niederschlag auf 378 mm. Der Niederschlag wird im Winter und Frühjahr überschätzt und im Sommer und Herbst unterschätzt. Tage mit Niederschlag unter 1 mm werden vom REMO-Modell um 36 Tage im Zeitraum 1961 - 90 überschätzt. Der RMSE auf Grundlage der

Monatssummen 53 mm (REMO) und 11 mm (CLM), und unter Verwendung der Jahressummen 282 mm (REMO) und 512 mm (CLM) (Tab.7).

Buffalora	1961 - 90			1998 - 2008			
Parameter	REMO	CLM	Meteo Schweiz	REMO	CLM	WSL	Meteo Schweiz
mittlere Ta (°C)	4.5	-0.1	0.3	4.5	0.7	1.5	0.9
Tmax (°C)	25.0	23.2	18.1	24.2	23.7	33.8	17.3
Tmin (°C)	-20.6	-24.0	-29.1	-24.2	-25.4	-	-23.5
Niederschlag (mm)	739	398	884	789	378	744	808
RR < 1 mm (d)	69	227	33	104	243	139	108
RR > 1 mm und < 5 mm (d)	292	134	321	245	115	200	227
RR > 5 mm (d)	5	5	12	17	8	27	31
Niederschlag					L		
monatlich							
Januar (mm)	30	4	52	28	3	10	34
Februar (mm)	29	3	46	30	2	15	26
März (mm)	36	3	54	44	4	34	41
April (mm)	55	8	64	60	6	46	54
Mai (mm)	78	22	101	74	24	76	73
Juni (mm)	89	62	84	85	56	90	81
Juli (mm)	85	95	104	77	96	127	116
August (mm)	84	95	109	80	70	122	106
September (mm)	49	58	80	54	58	73	64
Oktober (mm)	43	34	67	65	42	80	93
November (mm)	38	10	69	35	12	63	85
Dezember (mm)	30	5	53	36	6	9	31
saisonal							
Winter (mm)	103	10	151	112	9	58	100
Frühjahr (mm)	254	92	219	259	86	212	207
Sommer (mm)	257	248	297	263	224	322	286
Herbst (mm)	125	48	216	153	59	152	208

Tab.4: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Buffalora.

Für Scoul liegt zwischen der vom REMO Modell berechneten mittleren Lufttemperatur T_a und der gemessenen eine Differenz von -0.8 °C im Zeitraum 1961 - 90 und 0.9 °C im

Zeitraum 1998 - 2008. Dabei wird die maximale Lufttemperatur T_{max} im Zeitraum 1961 - 90 um 1.5 °C unterschätzt und im Zeitraum 1998 - 2008 um 1.5 °C überschätzt. Die minimale Lufttemperatur T_{min} wird in der Klimanormalperiode um 1.5 °C überschätzt und von 1998 - 2008 um 7.5 °C unterschätzt (Tab.5). 2.7 °C beträgt der RMSE beim Vergleich der mittleren monatlichen Lufttemperatur der Messdaten mit den Daten des REMO-Modells und 4.9 °C beim Vergleich mit dem CLM Modell. Beim Vergleich der mittleren Jahreslufttemperaturen beträgt der RMSE noch 0.8 °C (REMO) und 4.6 °C (CLM).

Die Niederschlagssumme wird vom Modell um 30 % überschätzt, dabei vor allem die Tage mit Niederschlag > 1 mm und der Niederschlag im Frühjahr und Sommer. Der RMSE der mittleren Jahressumme des Niederschlags zwischen REMO und Messdaten beträgt 219 mm im Zeitraum 1961 – 90 (Tab.5). Hier beträgt der RMSE der monatlichen Niederschlagssummen bei beiden Modellen 51 mm, der Jahressummen 265 mm (REMO) und 280 mm (CLM) (Tab.7).

Die mittlere Windgeschwindigkeit stimmt mit einer Abweichung von 0.1 m/s sehr gut überein, allerdings wird die maximale Windgeschwindigkeit um 2 m/s unterschätzt (Tab.5).

Für die Messstation Sils Maria weicht die berechnete mittlere T_a im Zeitraum 1961 - 90 um 0.8 °C ab und zwischen 1998 und 2008 um 0.1 °C ab. T_{max} ist im Zeitraum 1961 - 90 und im Zeitraum 1998 - 2008 um 4.5 °C bzw. 4.4 °C und T_{min} um 2 °C bzw. 5.7 °C zu hoch (Tab.6). Der RMSE beträgt auf Tagesbasis 4.5 °C (REMO) und 4.8 °C (CLM), unter Verwendung der Jahresmittelwerte der Lufttemperatur 1.2 °C (REMO) und 2.4 °C (CLM) (Tab.7).

Der Niederschlag der REMO Daten ist im Zeitraum 1961 - 90 um 62 mm geringer und zwischen 1998 und 2008 um 95 mm. Dagegen weicht der Niederschlag unter Verwendung der CLM Modelldaten um 333 mm im Zeitraum 1961 - 90 und um 438 mm von 1998 - 2008 ab. Damit beträgt der RSME auf Grundlage der Jahresniederschlagssummen zwischen Messdaten und REMO Modelldaten 222 mm und zwischen Messdaten und CLM Modelldaten 405 mm (Tab.6). Die Windgeschwindigkeit stimmt in der Klimanormalperiode sehr gut überein, weicht im Zeitraum 1998 - 2008 jedoch um -0.6 m/s ab. V_{max} wird von den REMO Daten um 50 % bzw. 40 % im Vergleich zu den Messdaten unterschätzt (Tab.6).

Tab.5 : Vergleich verschiedene	r ausgewählter Parameter	aus den REMO un	d MeteoSchweiz
Daten für die Zeiträum	e 1961 - 90 sowie 1998 -	2008 für Scoul.	

Scoul	1961 - 90		0		1998 - 20	08
Parameter	REMO	CLM	Meteo Schweiz	REMO	CLM	Meteo Schweiz
mittlere Ta (°C)	4.0	-0.1	4.8	4.9	0.6	5.8
Tmax (°C)	21.1	22.5	22.6	25.1	22.7	23.4
Tmin (°C)	-20.0	-23.8	-21.5	-24.5	-24.8	-17.0
Niederschlag (mm)	936	423	716	982	407	736
RR < 1 mm (d)	32	229	80	57	234	124
RR > 1 mm und < 5 mm (d)	313	132	281	272	121	218
RR > 5 mm (d)	21	4	5	37	11	24
mittlere RH (%)	5.3	0.84	-	5.44	0.82	-
mittlere v (m/s)	2.3	2.37	-	2.36	2.36	2.2
Vmax (m/s)	7.5	9.08	-	6.04	7.87	8.1
Niederschlag			1			1
monatlich						
Januar (mm)	43	6	41	44	4	38
Februar (mm)	44	3	39	45	3	31
März (mm)	51	4	39	55	3	39
April (mm)	71	8	43	84	7	42
Mai (mm)	105	23	75	100	24	53
Juni (mm)	132	68	76	129	65	81
Juli (mm)	122	103	89	121	112	96
August (mm)	120	100	98	122	74	112
September (mm)	79	60	65	92	56	59
Oktober (mm)	62	31	51	82	32	80
November (mm)	59	11	57	56	17	75
Dezember (mm)	47	6	43	54	10	31
saisonal		•				
Winter (mm)	138	13	118	144	10	108
Frühjahr (mm)	308	99	194	312	96	176
Sommer (mm)	322	263	252	335	243	267
Herbst (mm)	168	49	151	192	59	185

Tab.6: Verglei	ch verschiedener	ausgewählter Para	ameter aus den	REMO und N	1 eteoSchweiz
Daten	für die Zeiträume	e 1961 - 90 sowie	1998 - 2008 für	r Sils Maria.	

Sils Maria	1961 - 90		1998 - 2008			
Parameter	REMO	CLM	Meteo Schweiz	REMO	CLM	Meteo Schweiz
mittlere Ta (°C)	2.6	-0.4	1.8	2.6	0.4	2.5
Tmax (°C)	22.8	22.9	18.3	22.6	24.1	18.2
Tmin (°C)	-21.7	-23.9	-23.7	-24.9	-24.5	-19.2
Niederschlag (mm)	922	646	979	952	609	1047
RR < 1 mm (d)	4	178	64	24	196	83
RR > 1 mm und < 5 mm (d)	314	162	291	272	141	222
RR > 5 mm (d)	48	131	11	70	29	61
mittlere RH (%)	5.4	0.85	-	5.52	0.83	-
mittlere v (m/s)	2.5	2.28	2.6	2.51	2.29	3.3
Vmax (m/s)	8.2	8.18	16.9	7.51	8.97	12.7
Niederschlag					J	1
monatlich						
Januar (mm)	63	6	50	60	6	50
Februar (mm)	60	5	42	60	4	30
März (mm)	62	7	60	71	7	49
April (mm)	74	18	79	87	13	72
Mai (mm)	98	44	105	92	47	96
Juni (mm)	97	85	105	93	69	103
Juli (mm)	85	116	109	80	109	127
August (mm)	96	145	121	86	109	140
September (mm)	69	98	93	80	97	88
Oktober (mm)	77	86	82	100	107	116
November (mm)	75	26	85	64	32	125
Dezember (mm)	67	9	49	77	11	51
saisonal	•					
Winter (mm)	185	18	152	192	17	130
Frühjahr (mm)	269	148	288	273	128	271
Sommer (mm)	249	359	323	246	314	355
Herbst (mm)	219	121	216	241	150	292

Für Sta. Maria im Val Müstair stimmt für 1961 - 90 die geschätzte mittlere T_a mit einer Differenz von nur 0.3 °C sehr gut mit der gemessenen überein. Allerdings weist sie im Vergleich zur gemessenen T_a keinen so starken Anstieg auf und weicht deshalb im Zeitraum 1998 - 2008 um 1 °C ab. T_{max} wird um etwa 2 °C überschätzt, während T_{min} um 5 °C unterschätzt wird. Die mittlere Lufttemperatur auf der Basis der CLM Daten ist um 4.4 °C geringer (Tab.8). Der RMSE im Vergleich der Monatsmittel liegt bei 2.8 °C (REMO) und 4.1 °C (CLM) und auf der Grundlage der Jahresmittel der Lufttemperatur bei 1.2 °C (REMO) und 4.5 °C (CLM) (Tab.7).

Der Jahresniederschlag der REMO Daten stimmt mit den Stationsdaten mit einer Abweichung von 2.3 % für die Klimanormalperiode und 1.4 % für den Zeitraum 1998 – 2008 sehr gut überein. Während der Niederschlag im Herbst und Winter unterschätzt wird, wird er im Frühjahr überschätzt (Tab.8). Der RMSE beim Vergleich der Jahressummen beträgt 65 mm (REMO) und 461 mm (CLM). Die mittlere Windgeschwindigkeit wird 1961 - 90 um 0.5 m/s und 1998 - 2008 um 1.2 m/s überschätzt.

Tab.7: RMSE der Modelldaten CLM und REMO von den Messdaten der MeteoSchweiz Stationen Buffalora, Scoul, Sils Maria und Sta. Maria für den Zeitraum 1961 - 90 auf der Grundlage der Tages-, Monats-, Jahreswerte von Lufttemperatur und Niederschlag.

Stati	on	Nie	ederschlag (1	mm)	Lufttemperatur (°C)			
		Tages-	Monats-	Jahres-	Tages-	Monats-	Jahres-	
		summe	summe	summe	mittel	mittel	mittel	
Buffalora	REMO	7	53	282	7.2	4.9	4.1	
Dullatora	CLM	7	111	512	5.9	2.7	1.0	
Scoul	REMO	7	51	265	5.7	2.7	0.8	
Scour	CLM	6	51	380	7.4	5.8	4.6	
Sila Maria	REMO	8	68	222	5.4	2.8	1.2	
SIIS IVIALIA	CLM	9	77	405	5.8	4.1	2.4	
Sto Morio	REMO	7	51	65	5.6	2.8	1.2	
Sta. Maria	CLM	7	59	461	7.1	5.2	4.5	

Tab.8: Vo	ergleich	verschiedener	ausgew	ählter Par	ameter	aus den	REMO	und Mete	eoSchweiz
Ι	Daten für	die Zeiträum	e 1961 -	90 sowie	1998 -	2008 für	r Santa I	Maria.	

Sta. Maria	1961 - 90		1998 - 2008			
Parameter	REMO	CLM	Meteo Schweiz	REMO	CLM	Meteo Schweiz
mittlere Ta (°C)	5.1	1.0	5.4	5.2	1.7	6.2
Tmax (°C)	25.8	24.0	23.1	25.1	24.7	23.2
Tmin (°C)	-19.9	-23.2	-19.0	-23.6	-24.4	-14.2
Niederschlag (mm)	773	350	791	796	325	807
RR < 1 mm (d)	61	234	45	96	250	118
RR > 1 mm und < 5 mm (d)	298	131	286	253	111	217
RR > 5 mm (d)	7	1	35	17	5	31
mittlere RH (%)	5.23	0.79	-	5.37	0.78	-
mittlere v (m/s)	2.4	2.41	1.9	2.48	2.4	1.2
Vmax (m/s)	7.1	7.51	12.5	6.5	7.69	4.1
Niederschlag		I		1		
monatlich						
Januar (mm)	34	4	41	33	3	29
Februar (mm)	33	3	36	34	2	26
März (mm)	41	4	46	49	4	42
April (mm)	62	9	61	68	7	59
Mai (mm)	91	23	88	87	25	61
Juni (mm)	112	56	78	109	50	85
Juli (mm)	111	76	96	105	77	120
August (mm)	104	77	102	100	58	103
September (mm)	57	50	77	62	48	65
Oktober (mm)	50	32	61	69	33	99
November (mm)	43	11	65	41	12	87
Dezember (mm)	36	5	39	40	6	30
saisonal						
Winter (mm)	109	11	123	116	10	97
Frühjahr (mm)	264	88	227	265	82	205
Sommer (mm)	272	203	275	266	183	289
Herbst (mm)	128	47	165	149	51	216

6 KLIMAMODELLIERUNG

6.1 Temperaturszenario

Auf Buffalora werde die Lufttemperatur bis zum Zeitraum 2021-50 um $0.8^{\circ}C$ (REMO B1) / $1.2^{\circ}C$ (REMO A1B), $1.8^{\circ}C$ (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 ansteigen. Bis Ende des Jahrhunderts schließlich um $2.8^{\circ}C$ (REMO B1) / $4.4^{\circ}C$ (REMO A1B), $4.9^{\circ}C$ (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90. Die Szenarien der mittleren jährlichen Lufttemperatur gleichen für alle Regionen mit einem Unterschied von $\pm 0.2^{\circ}C$ (Tab. 9).



Abb. 57: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Tab. 9: Änderung der	mittleren Lufttemp	eratur bis 20)21-50 und 2	2071-2100 im	Vergleich zur
Klimanormal	periode 1961-90.				

		REMO	REMO	CLM
Lufttemperatur		B1	A1B	A1B
Buffalora	2021-50	0.8	1.3	1.8
	2071-2100	2.8	4.4	4.9
Scoul	2021-50	0.8	1.3	1.8
	2071-2100	2.9	4.4	4.8
Sils Maria	2021-50	0.9	1.3	1.9
	2071-2100	3.1	4.6	5.0
Sta. Maria	2021-50	0.8	1.3	1.8
	2071-2100	2.9	4.5	4.8

Im Winter wird die Temperatur auf Buffalora bis 2021-50 um 0.7°C (REMO B1) / 0.8°C (REMO A1B), 1.4°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (-8.9) ansteigen und bis 2071-2100 um 2.3°C (REMO B1) / 3.6°C (REMO A1B), 3.4°C (CLM A1B).



Abb. 58: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Frühjahr wird die Temperatur auf Buffalora bis 2021-50 um 0°C (REMO B1) / 0.8°C (REMO A1B), 1.1°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (-0.7) ansteigen und bis 2071-2100 um 2.2°C (REMO B1) / 3.1°C (REMO A1B), 4.2°C (CLM A1B).



Abb. 59: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer wird die Temperatur auf Buffalora bis 2021-50 um 1.1°C (REMO B1) / 1.6°C (REMO A1B), 2.1°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (9.2°C) ansteigen und bis 2071-2100 um 3.3°C (REMO B1) / 5.4°C (REMO A1B), 6.5°C (CLM A1B).



Abb. 60: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Herbst wird die Temperatur auf Buffalora bis 2021-50 um 1.2°C (REMO B1) / 1.7°C (REMO A1B), 2.7°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (1.5°C) ansteigen und bis 2071-2100 um 3.5°C (REMO B1) / 5.1°C (REMO A1B), 5.3°C (CLM A1B).



Abb. 61: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Das Temperaturszenario für Scoul bewegt sich mit Abweichungen von ±0.2°C im selben Rahmen. Dagegen unterscheiden sich die Lufttemperaturszenarien des Unterengadins durchaus, wenn auch geringfügig von denen für Sta. Maria/Val Müstair und Oberengadin.

Im Winter wird die Temperatur in Sils Maria bis 2021-50 um 0.7°C (REMO B1) / 0.8°C (REMO A1B), 1.3°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 ansteigen und bis 2071-2100 um 2.4°C (REMO B1) / 3.6°C (REMO A1B), 3.3°C (CLM A1B).



Abb. 62: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Frühjahr wird die Temperatur in Sils Maria bis 2021-50 um 0.2°C (REMO B1) / 0.8°C (REMO A1B), 0.9°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (1.5°C) ansteigen und bis 2071-2100 um 2.4°C (REMO B1) / 3.3°C (REMO A1B), 4.0°C (CLM A1B).



Abb. 63: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer wird die Temperatur in Sils Maria bis 2021-50 um 1.3°C (REMO B1) / 1.8°C (REMO A1B), 2.6°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (1.5°C) ansteigen und bis 2071-2100 um 3.8°C (REMO B1) / 6°C (REMO A1B), 7.3°C (CLM A1B).



Abb. 64: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Herbst wird die Temperatur in Sils Maria bis 2021-50 um 1.1°C (REMO B1) / 1.7°C (REMO A1B), 2.7°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 (1.5°C) ansteigen und bis 2071-2100 um 3.6°C (REMO B1) / 5.2°C (REMO A1B), 5.3°C (CLM A1B).



Abb. 65: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Das Temperaturszenario für Sta. Maria bewegt sich zwischen denen vom Unterengadin und Oberengadin. Im Winter und Frühjahr soll die Erwärmung um 0.2°C stärker in beiden Szenarien des REMO Modells ausfallen. Dagegen die Erwärmung im Sommer um 0.5°C (REMO A1B und B1) bzw. 1.3°C (CLM A1B) geringer ausfallen (Tab. 15).

6.2 Niederschlagsszenario

6.2.1 Niederschlagsmenge

Die Klimadaten wurden in einem 10-Jahresmittel ausgewertet. Der Niederschlag verändert sich folgendermassen auf Buffalora: um 23 mm oder +2.5% (REMO B1), um +5.5% oder 50 mm (CLM A1B), kaum unter Verwendung des Modells REMO und des A1B Szenarios im Vergleich zu 1961-90 (Abb. 66).

Im Unterengadin, Oberengadin und das Val Müstair verändert sich die jährliche Niederschlagsmenge über das Jahr zwischen -2.2% und 2.1%. Im Val Müstair zeigt sich unter Verwendung des A1B Szenarios (REMO) eine geringe Abnahme bis Mitte des Jahrhunderts, dann eine Zunahme des Niederschlags, unter Verwendung des B1 Szenarios nur eine geringe Änderung und unter Verwendung des A1B Szenarios (REMO) eine Zunahme des Niederschlags (Abb. 69). Im Unterengadin um Scoul zeichnet sich ein ähnliches Bild: Zunahme des Niederschlags beim CLM Modell, Abnahme des Niederschlags um 1% bis Mitte des Jahrhunderts, dann wieder Anstieg auf die Menge von 1961-90 (Abb. 67). Im Oberengadin bleibe der Niederschlag beim A1B Szenarios des REMO Modells konstant, unter Verwendung des B1 Szenarios sei mit einem Anstieg um 2% bis Mitte des Jahrhunderts und mit 1.2% im Vergleich zu 10961-90 bis Ende des Jahrhunderts zu rechnen. Das CLM Modell unter Verwendung des A1B Szenarios rechnet mit einer Abnahme um -2.2% bis Mitte des Jahrhunderts und danach wieder mit einem Kleinen Anstieg (Abb. 68).



Abb. 66: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 67: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 68: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 69:Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Auf Buffalora soll der Niederschlag im Winter zwischen 2.7% (REMO A1B), 12.9% (REMO B1) und 45.3% (68 mm) (CLM A1B) bis 2050 zunehmen, bis 2100 laut REMO Modell nochmals um etwa 2.5% in allen Szenarien.



Abb. 70: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Frühjahr rechnet das CLM Modell mit einem Anstieg um 31% oder 70 mm Niederschlag. Das REMO Modell (A1B) Szenario zeigt geringe Schwankungen des Niederschlags um das Mittel 1961-90 und unter Verwendung des B1 Szenarios eine Zunahme um 9.3% bis Ende des Jahrhunderts auf.



Abb. 71: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer zeigt das A1B Szenarios von 2021-50 eine geringe Zunahme um 1.8%, bis Ende des Jahrhunderts dann eine mittlere Abnahme um -3.3% der Niederschlagsmenge von 1961-90. Unter Verwendung des B1 Szenarios solle der Niederschlag bis 2021-50 um 8.7% zunehmen und bis Ende des Jahrhunderts um 6.3% wieder etwas abnehmen.



Abb. 72: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Das CLM Modell zeigt im Herbst eine Niederschlagszunahme um 23.8% im Zeitraum 2021-50 und wieder eine Abnahme um 4% bis 2071-2100 auf. Das B1 Szenario eine Zunahme um 11.2% und das A1B Szenarios (REMO) eine Zunahme um 1.1% bis 2021-50 und um weitere 4.3% bis 2071-2100.



Abb. 73: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Unterengadin soll der Niederschlag im Winter bis Ende 2071-2100 in den vorhandenen Modellen und Szenarien um maximal 9 mm (7.2%) zunehmen.



Abb. 74: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Frühjahr soll der Niederschlag laut der CLM Modelldaten bis 2021-50 um 5.3% und bis 2071-2100 um 11.5% zunehmen. Auch das A1B Szenario des REMO Modells zeigt bis Ende des Jahrhunderts eine mittlere Zunahme von 6.4% im Vergleich zu 1961-90. Das B1 Szenario zeigt eine stärkere Zunahme bis Mitte des Jahrhunderts von 4.9%, danach eine abnahme Niederschlagsmenge.



Abb. 75: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 76: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer zeigen beide Modelle unter allen Szenarien abnehmende Niederschlagsmengen auf, unter Verwendung des REMO Modells mit A1B Szenario um -7.9% (21mm) bis Ende

des Jahrhunderts. Beim CLM fällt die Abnahme des Niederschlags mit etwa -5.5% und beim REMO (B1) mit -3.1% geringer aus.

Im Herbst nimmt der Niederschlag im Vergleich zu 1961-90 zu. Bis 2021-50 um 1.3% (REMO A1B), um 5.5% (CLM A1B) und um 5.0% (REMO B1). Bis Ende des Jahrhunderts denn um 17.7% (CLM) oder um 4.8% (REMO B1) im Verlgeich zu 1961-90.



Abb. 77: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B

In Sils Maria soll der Niederschlag laut CLM erst gering abnehmen bis 2050 und darauf zunehmen. REMO Daten zeigen unter Verwendung des B1 Szenarios eine Zunahme des Niederschlags um 13.1% bis Mitte des Jahrhunderts und um 14.5% (22 mm) bis Ende des Jahrhunderts und unter Verwendung des A1B Szenarios eine geringe Niederschlagzunahme bis zu 5.5%.



Abb. 78: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Frühjahr könne der Niederschlag laut CLM und REMO unter Verwendung des A1B Szenarios bis 2070 leicht abnehmen, dann geringfügig zunehmen. REMO unter Verwendung des B1 Szenarios rechnet dagegen mit einer Zunahme um 5.2%.



Abb. 79: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer kann im Oberengadin der Niederschlag laut CLM (A1B-Szenarios) um -11.3% bis 2021-50 und bis -12.7% bis Ende des Jahrhunderts abnehmen. Das REMO Modell rechnet
dagegen mit quasi gleichbleibendem Niederschlag unter Verwendung des A1B Szenarios und unter Verwendung des B1 Szenarios mit einer Zunahme um 12.7 % bis 2021-50, danach mit einer Abnahme um 6% bis Ende des Jahrhunderts.



Abb. 80: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Auch im Herbst rechnet das CLM Modell mit einer Niederschlagsabnahme bis Mitte des Jahrhunderts von -12.3%, bis Ende des Jahrhunderts aber nur noch um -4.3% im Vergleich zu 1961-90.



Abb. 81: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B

REMO B1 berechnet dagegen eine mögliche Zunahme des Niederschlags um 12.7% bis 2021-50 und danach wieder eine Abnahme des Niederschlags, ebenfalls um 6%. Auch unter Verwendung des REMO A1B Szenarios könne der Niederschlag um 3.8% zunehmen.

Im Val Müstair könne laut REMO (A1B) mit einer Abnahme des Winterniederschlags um -20% (23 mm) bis Mitte des Jahrhunderts gerechnet werden, danach wieder mit einem leichten Anstieg. Unter Verwendung des CLM Modells (A1B) und des REMO Modells (B1) könne der Niederschlag um 2.0% bis Mitte bzw. 5.2% bis Ende des Jahrhunderts zunehmen.



Abb. 82: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Auch im Frühjahr kann der Niederschlag um -15% (29 mm) bis Mitte des Jahrhunderts abnehmen und danach wieder bis 2071-2100um 7.8% zunehmen. Dagegen zeigt CLM eine Niederschlagszunahme um bis zu 8.6% und auch REMO (B1 Szenarios) eine Zunahme um 2% bis Ende des Jahrhunderts



Abb. 83: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Sommer zeigt das REMO Modell ein Rückgang des Niederschlags um -2.8% bis 2021-50 bei beiden Szenarien und gar um -9% (A1B) bis 2071- 2100. Unter Verwendung des CLM Modells könne der Niederschlag aber auch um 4.5% bis 2050 zunehmen, danach aber wieder etwas abnehmen.



Abb. 84: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Im Herbst könne der Niederschlag, sollte das A1B Szenario (REMO) eintreten um 18.9% bis 2050 und um 35% bis 2100 zunehmen, das B1 Szenario (REMO) zeigt eine Niederschlagszunahme um 5.2% und CLM um 6.6% bis 2050 und um 18.8% bis 2071-2100.



Abb. 85: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B

6.2.2 Niederschlagshäufigkeit

Auf Buffalora nimmt der Niederschlag unter Verwendung des B1 Szenarios der Niederschlag in den Monaten Mai um 3 %, Juni um 17 % und August um 2.5 % ab, und steigt um 31 % im März.



Abb. 86: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). Die Niederschlaghäufigkeit nimmt von Mai bis September ab. Besonders im Sommer ist eine Umverteilung der Niederschlagswahrscheinlichkeit von Regenmengen unter 3 mm auf RR über 10 mm zu verzeichnen (Abb. 86).



Abb. 87: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Bis Ende des Jahrhunderts soll unter Verwendung des A1B Szenario der Niederschlag in Buffalora von 923 mm im Zeitraum 2021 - 50 auf 982 mm steigen. Beim B1 Szenarios beträgt der Niederschlag 987 mm im Zeitraum 2021 - 50 und verringert sich um 15 mm bis Ende des 21. Jahrhunderts. Die Niederschlagsmenge ist beim B1 Szenario von September bis Mai geringer als im A1B, der Sommerniederschlag mit einem Maximum von 120 mm im August um 20 % größer. Tage mit Niederschlag unter 3 mm sind im B1 Szenario häufiger, während im A1B Szenario die Tage mit Niederschlag über 20 mm im Sommer und Herbst stärker zunehmen (Abb. 87).

Bis Mitte des Jahrhunderts steigt der Jahresniederschlag in Scoul unter Verwendung des A1B Szenario um 5.8 % auf 724 mm und beim B1 Szenario um 11.9 % auf 755.7 mm. Abnehmende Niederschlagssummen im Mai um 20 %, Juni und August um rund 7 % und im Oktober um 10 % beim A1B Szenario, sowie im Mai 2.6 % und Juni um 20 % beim B1 Szenario. Starke Zunahme im Februar und März über 20 %, Juli (30 %), September und Dezember um rund 18 % beim A1B Szenario. Beim B1 Szenario stärkere Zunahme der Niederschlagsmenge im von November bis April. Außer im März nimmt beim A1B Szenario das ganze Jahr über die Niederschlagshäufigkeit, sowie die Wahrscheinlichkeit, dass Niederschlag unter einer Menge von 3 mm fällt ab. Dagegen nimmt im Winter die Niederschlagshäufigkeit im Bereich 5 mm bis 10 mm und im Sommer ab 10 mm zu. Beim B1 Szenario nimmt ebenfalls die Häufigkeit von Tagen mit Niederschlag unter 1 mm ab, bei allen anderen Niederschlagsklassen ist eine Zunahme möglich. Der Monat mit geringster Niederschlagswahrscheinlichkeit (Abb. 88).

Unter Verwendung des B1 Szenarios nimmt der Niederschlag von Mitte bis Ende des Jahrhunderts wieder um 3 % oder 25 mm ab. Beim A1B Szenario ist jedoch mit einem Anstieg der Jahresniederschlagsmenge von 9 % auf 763 mm zu rechnen. Dabei findet eine Umverteilung des Niederschlags ab. Im Herbst und Winter soll die Niederschlagssumme im Vergleich zu 1961 - 90 um 27 % und im Frühjahr um 9 % zunehmen, dagegen nimmt der Sommerniederschlag um 10 % ab. Im A1B Szenario fallen Zu- und Abnahme geringer aus (Abb. 89).

Die Niederschlagshäufigkeit nimmt das ganze Jahr über mit Ausnahme des Februars um 6 % ab und schwankt nun zwischen 42 % Wahrscheinlichkeit im März und 21 % im Oktober. Von Mai bis August ist die Häufigkeit aller Niederschlagsklassen rückläufig. Sonst sind nur geringe Änderung und eine leichte Zunahme der Niederschlagsklassen ab 3 mm zu erkennen.



 Abb. 88: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Beim B1 Szenario steigt die Niederschlagshäufigkeit in allen Monaten außer Juni, mit einer maximalen Zunahme von November bis Januar um rund 11 %, an. Im Sommer ist die Niederschlagshäufigkeit in der Klasse bis 3 mm, zugunsten der Häufigkeit der Niederschlagsklassen über 10 mm, rückgängig (Abb. 89).



Abb. 89: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts soll der Niederschlag in Sils Maria unter Verwendung des A1B Szenario um 3.5 % auf 977 mm und beim B1 Szenario um 10 % auf 1028 mm Niederschlag im Jahr zunehmen. Unter Verwendung des B1 Szenario nimmt der Niederschlag in allen Jahreszeiten zu. Der Winterniederschlag verzeichnet sogar eine Zunahme um 30 mm. Beim B1 Szenario ist der Februar mit 49 mm der regenärmste Monat und der Juli mit 130 mm Niederschlag der regenreichste Monat. Beim A1B Szenario nimmt ebenfalls der Niederschlag über Jahreszeiten zu, am stärksten im Sommer. Im Monat Januar fällt mit 45 mm am wenigsten Niederschlag und im Juli mit 141 mm am meisten (Abb. 90).



Abb. 90: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Unter Verwendung des B1 Szenarios bilden Dezember und Januar mit 35 % Niederschlagswahrscheinlichkeit das Minimum und der Juni mit 47 % das Maximum. Mit Juni als Ausnahme nimmt auch in Sils Maria die Häufigkeit der Niederschlagsklasse unter 3 mm meist zugunsten der Klassen über 10 mm Niederschlag ab. Beim A1B Szenario nimmt die Niederschlagswahrscheinlichkeit der Klasse unter 3 mm Niederschlag in allen Monaten, außer März, Juli und Dezember ab.



Abb. 91: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Bis Ende des Jahrhunderts soll der Niederschlag beim B1 Szenario 982 mm und beim A1B Szenario 968 mm betragen. Das bedeutet beim B1 Szenario eine Abnahme des Niederschlags außer in den Monaten Februar und März, Juni und August, in welchen der Niederschlag zwischen 5 % und 14 % zunimmt (Abb. 91).

Unter Verwendung des A1B Szenario nimmt der Sommerniederschlag um 10 % im Juni und August und 30 % im Juli ab.

Die Häufigkeit an trockenen Tagen nimmt in allen Monaten außer März zu, von Mai bis September ist die Häufigkeit aller Niederschlagsklassen rückläufig. September und Oktober sind die Monate mit der geringsten Niederschlagsfrequenz, März der am häufigsten frequentierte Monat. Beim B1 Szenario ist zu sehen, dass im Sommer und Herbst die Niederschlagfrequenz und –dauer größer sind.

6.3 Schnee

Das REMO-Modell schätzt einen Rückgang der mittleren Schneehöhe für den Zeitraum 2021 - 2050 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961 - 90 um 19% im Oberengadin, 18 % im Unterengadin und 22 % im Val Müstair. Bis Ende des 21. Jahrhunderts soll die mittlere Schneehöhe im Winter nur noch 42 % im Oberengadin, 31 % im Unterengadin und 28 % im Val Müstair der mittleren Schneehöhe von 1961 - 90 betragen.

Unter Verwendung des B1 Szenarios solle die Schneehöhe bis zum Zeitraum 2021-50 um etwa 10% gegenüber der mittleren Höhe 1961-90 zurückgehen und bis Ende des Jahrhunderts auf 60% derer im Engadin und auf 54% im Val Müstair. Dennoch sollen es Winter mit denselben maximalen Schneehöhen wie 1961-90 bis Mitte des Jahrhunderts geben.



Abb. 92: Prozentuale Änderung der Schneehöhe im Engadin und des Val Müstairs unter Verwendung des REMO Modells und des B1 Szenarios im Vergleich zur mittleren Höhe von 1961-90.

7 FAZIT

In der vorliegenden Arbeit wurden 200 Jahre Witterung und Klima im Raum des Schweizerischen Nationalparks, also im Engadin und des Val Müstairs untersucht. Dabei wurden 100 Jahre Vergangenheit anhand der Messdaten und zukünftige 100 Jahre anhand von Modelldaten der Modelle REMO und CLM unter Verwendung des A1B und B1 Szenarios untersucht.

Die letzten 100 Jahre Klima rund um den Nationalpark

In den letzten 100 Jahren hat sich die Lufttemperatur um etwa 1°C. Saisonal betrachtet stieg die Lufttemperatur im Oberengadin im Winter weniger und im Sommer stärker an. Im Unterengadin und Val Müstair dagegen ist der Temperaturanstieg im Winter um etwa 0.4°C höher als im Sommer in den letzten 100 Jahren.

Die Niederschlagsmenge ging im Unterengadin leicht zurück, stieg aber in Sta. Maria leicht an. Im Winter sind abnehmende Niederschlagsmengen in der ganzen Region zu beobachten. Im Sommer im Unterengadin und im Val Müstair leicht ansteigende.

Vergleichbar mit sinkenden Niederschlagsmengen im Winter und der Erwärmung ist eine Verringerung der mittleren winterlichen Schneehöhe zu beobachten. Die höchsten Schneehöhen sind im Oberengadin zu beobachten mit 130 cm in Sils Maria im Zeitraum 1966-2000, 26 cm in Scoul (1961-2000) und 30 cm in Sta. Maria.

Klimaszenario

Zur Auswertung des Klimaszenarios wurden die zwei Modelle REMO und CLM, sowie die IPCC Szenarien A1B und B1 verwendet. Das A1 Szenario beschreibt eine Welt mit moderaten Bevölkerungswachstum mit Maximum von 8.7 Mrd. Menschen in der Mitte des 21. Jahrhunderts, einem schnellen Wirtschaftswachstum, der raschen Einführung neuer und effizienter Technologien sowie fortschreitender Globalisierung und steigender sozialen und kulturellen Interaktion. Das A1B-Szenario beschreibt eine ausgewogene Nutzung fossiler und nicht-fossiler Energieträger, ein Emissionsmaximum um 2060 und deutliche Reduktion danach.

Das B1-Szenario geht wieder von einer globalen aber nachhaltigen Entwicklung aus. Die ökonomische Struktur geht zum 3. und 4. Wirtschaftssektor hin inklusive Reduzierung des Materialverbrauchs und der Einführung nicht-fossiler Energieträger und ressourcenschonender Technologie. Das Bevölkerungsmaximum tritt um die Mitte des 21. Jahrhunderts auf und mit abnehmender Zahl bis zum Jahrhundertwechsel.Bei den vorhergesagten CO_2 Werten wird bis 2050 ein leichter Anstieg erwartet mit anschließendem starkem Rückgang.

Vergleich der Messdaten mit den Modelldaten

Die mittlere Lufttemperatur fällt für höher gelegene Stationen, wie Buffalora und Sils Maria zu hoch aus, aber für die Stationen Sta. Maria und Scoul eher zu gering. Die Amplitude der Modelldaten ist größer, Maximal- und Minimaltemperaturen werden überschätzt, so dass die Werte der Minimaltemperatur zu gering und die der Maximaltemperatur an allen Stationen zu hoch ausfallen.

Das REMO Modell überschätzt den jährlichen Niederschlag sowie der Niederschlag im Sommer und Frühjahr im Unterengadin und Val Müstair geringfügig, während im Herbst die Werte den gemessenen am Nächsten kommen. Im Oberengadin wird die jährliche Niederschlagssumme sowie der Niederschlag in den Sommermonaten unterschätzt. Für den Winter berechnet das Modell sehr viel mehr Niederschlag, was sich auch in der Schneehöhe wiederspiegelt, ebenso im Frühjahr und Herbst. Höhere Modellauflösung begünstigt eine höhere Niederschlagsintensität, durch die stärkere vertikale Bewegung durch eine besser aufgelöste Oberfläche. Die durch das globale Modell berechneten Mittelwerte gleichen besser den Beobachtungen, allerdings fehlt dort der Jahresverlauf und die jährliche und zwischenjährliche Variabilität ist geringer im Vergleich zu den höher aufgelösten Modellberechnungen (Jacob 2008).

Das REMO-Modell bildet auch den Unterschied zwischen dem niederschlagsreicheren Oberengadin und dem niederschlagsärmeren Unterengadin ab.

Eine deutliche Verringerung des Fehlers zwischen Messdaten und Modelldaten wird durch Betrachtung der Parameter in monatlicher oder jährlicher Auflösung über mehrere Jahre hinweg erreicht.

Der Vergleich zwischen der MeteoSchweiz Station Buffalora und der nur gering entfernten, etwas niedriger gelegenen WSL Station im Schweizerischen Nationalpark zeigt, dass schon auf solch geringe Distanzen eine Abweichung der mittleren Jahrestemperatur um 0.4 °C und der jährlichen Niederschlagssumme um 64 mm möglich ist. Dies relativiert die Abweichungen des REMO Modells.

Das CLM Modell unterschätzt den Niederschlag um mehr als 50%, was ebenfalls mit Ergebnissen anderer Projekte übereinstimmt ^{2 3}, die Temperatur stimmt dagegen gut mit der Beobachtung überein.

Klimamodelle sind bisher die einzige Möglichkeit das Klima in der Zukunft

Die nächsten 100 Jahre Klima rund um den Nationalpark

Erklärung beider Szenarien: Zwei Möglichkeiten der Entwicklung der Temperatur

Die Lufttemperatur solle laut der Modelle REMO und CLM zwischen 0.8°C und 1.8°C im Vergleich zu 1961-90 bis 2021-50 ansteigen. Bis Ende des Jahrhunderts gar um 2.8°C bis 4.9°C. Der regionale Unterschied in den einzelnen Szenarien beträgt ±0.2°C. Der geringste Anstieg wird unter Eintretten der Bedingungen des B1-Szenarios zu erwarten sein, sie stärksten unter Verwendung des A1B Szenarios und des CLM Modells. Der Unterschied zwischen den Modellen REMO und CLM unter Verwendung des A1B Szenarios beträgt immerhin 0.5°C.

Die Erwärmung soll im Winter zwischen 0.7°C (REMO B1) und 1.4°C (CLM A1B) bis Mitte des Jahrhunderts und 2.3 (REMO B1) bis 3.6°C (REMO A1B) betragen. Im Frühjahr kann die Lufttemperatur 2021-50 um 0°C (REMO B1) / 0.8°C (REMO A1B), 1.1°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 ansteigen und bis 2071-2100 um 2.2°C (REMO B1) / 3.1°C (REMO

² www.kuntikum.de

³ K. Ebell, S. Bachner, A. Kapala, C. Simmer (2007): Statistische Eigenschaften des Sommerniederschlags im regionalen Klimamodell CLM

A1B), 4.2°C (CLM A1B). Im Oberengadin fällt diese beim REMO um 0.2°C geringer und beim CLM um diesen Betrag stärker aus. Im Sommer wird die Luftemperatur im Unterengadin und Val Müstair bis 2021-50 um 1.1°C (REMO B1) bis 2.1°C (CLM A1B) im Vergleich zu 1961-90 ansteigen und bis 2071-2100 um 3.3°C (REMO B1) / 5.4°C (REMO A1B), 6.5°C (CLM A1B). Auch hier soll die Erwärmung im Oberengadin um etwa 0.6°C stärker ausfallen wie im Unterengadin. Mit 1.2°C (REMO B1) / 1.7°C (REMO A1B), 2.7°C (CLM A1B) Lufttemperaturerhöhung im Herbst wird bis 2021-50 zu rechnen sein und um 3.5°C (REMO B1) / 5.1°C (REMO A1B), 5.3°C (CLM A1B) bis Ende des Jahrhunderts. Im Herbst ist das Szenario für alle Teilregionen gleich.

Im Unterengadin, Oberengadin und dem Val Müstair verändert sich die jährliche Niederschlagsmenge über das Jahr zwischen -2.2% und 2.1%. Im Val Müstair zeigt sich unter Verwendung des A1B Szenarios (REMO) eine geringe Abnahme bis Mitte des Jahrhunderts, dann eine Zunahme des Niederschlags, unter Verwendung des B1 Szenarios nur eine geringe Änderung und unter Verwendung des A1B Szenarios (CLM) eine Zunahme des Niederschlags. Im Unterengadin um Scoul zeichnet sich ein ähnliches Bild: Zunahme des Niederschlags beim CLM Modell, Abnahme des Niederschlags um 1% bis Mitte des Jahrhunderts, dann wieder Anstieg auf die Menge von 1961-90. Im Oberengadin bleibe der Niederschlag beim A1B Szenarios des REMO Modells konstant, unter Verwendung des B1 Szenarios sei mit einem Anstieg um 2% bis Mitte des Jahrhunderts und mit 1.2% im Vergleich zu 10961-90 bis Ende des Jahrhunderts zu rechnen. Das CLM Modell unter Verwendung des A1B Szenarios rechnet mit einer Abnahme um -2.2% bis Mitte des Jahrhunderts und danach wieder mit einem kleinen Anstieg.

Im Winter soll der Niederschlag im Unterengadin um maximal 7.2% zunehmen bis Mitte des Jahrhunderts und bis Ende des Jahrhunderts um 10% im Vergleich zu 1961-90. Im Oberengadin könne der Niederschlag bis Mitte des Jahrhunderts laut CLM erst leicht abnehmen, dann wieder gering zunehmen. Dass REMO Modell berechnet jedoch eine Niederschlagszunahme um 14.5% (B1 Szenario) und 5.5% (A1B Szenario) im Winter.Im Val Müstair könne laut REMO (A1B) mit einer Abnahme des Winterniederschlags um -20% (23 mm) bis Mitte des Jahrhunderts gerechnet werden, danach wieder mit einem leichten Anstieg. Unter Verwendung des CLM Modells (A1B) und des REMO Modells (B1) könne der Niederschlag um 2.0% bis Mitte bzw. 5.2% bis Ende des Jahrhunderts zunehmen.

Im Frühjahr zeigen soll der Niederschlag im Unterengadin bin zu 5.3% bis Mitte des Jahrhunderts und bis 11.5% bis Ende des Jahrhunderts zunehmen, im Oberengadin und Val

Müstair dagegen kann mit geringeren Niederschlägen bis Mitte des Jahrhunderts, dann wieder mit einem Anstieg unter Verwendung des A1B Szenarios zu rechnen sein.

Im Sommer werde der Niederschlag im Unterengadin bis zu -7.9% abnehmen, im Val Müstair zeigt das CLM Modell jedoch eine geringe Zunahme im Vergleich zu 1961-90. Im Oberengdain sei mit einer abnahme des Niederschlags um -12.7% laut CLM zu rechnen, REMO dagegen zeigt gleichbleibende bis zunehmenden Niederschlag auf.

Im Herbst kann der Niederschlag im Unterengadain und Val Müstair bis zu 23% zunehmen, im Oberengadin berechnet das CLM Modell eine Abnahme des Niederschlags um -12.3% bis Mitte des Jahrhunderts, REMO jedoch einen Anstieg um maximal 6% bis Ende des Jahrhunderts.

Der Rückgang der mittleren Schneehöhe (Kap. 7.2.3) um 18 % bis 20 % unter der Verwendung des A1B Szenarios stimmt relativ gut mit den Werten des Berichtes der BMU (2008), welche einen Rückgang um 20 % beschreiben, überein. Bis Ende des Jahrhunderts wird darin ein Rückgang um 60 % auf der Höhe 1000 bis 1500 m ü. M. erwartet und um 25 % oberhalb von 2000 m ü. M. (BMU 2008), was mit der Schneehöhe des B1 Szenarioa. gut übereinstimmt Dagegen ergibt das REMO Modell unter Verwendung des A1B Szenaruis eine Abnahme der mittleren Schneehöhe um 42 % im Oberengadin und um 31 % im Unterengadin im selben Zeitraum.

8 VERZEICHNISSE

8.1 Literaturverzeichnis

- Alley, R. B., T. Berntsen, N. L. Bindoff, Z. Chen, A. Chidthaisong, P. Friedlingstein, J. M. Gregory, G. C. Hegerl, M. Heimann, B. Hewitson, B. J. Hoskins, F. Joos, J. Jouzel, V. Kattsov, U. Lohmann, M. Manning, T. Matsuno, M. Molina, N. Nicholls, J. Overpeck, D. Qin, G. Raga, V. Ramaswamy, J. Ren, M. Rusticucci, S. Solomon, R. Somerville, T. F. Stocker, P. A. Stott, R. J. Stouffer, P. Whetton, R. A. Wood, D. Wratt (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe 1 zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC). S.
- Blümel, W. D. (2002): 20 000 Jahre Klimawandel und Kulturgeschichte von der Eiszeit in die Gegenwart. In: WechselWirkungen. Jahrbuch der Uni Stuttgart 2002. S. 2-18
- Brown, R. und P. Mote (2008): The response of northern hemsiphere snow cover to a changing climate. In: Journal of Climate. Nr. 22. S. 2124-2145.
- Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008): Klimawandel in den Alpen. Fakten - Folgen - Anpassungen. Silber Druck. Bonn. 3. Auflage.
- Gensler, G. A. (1978): Das Klima von Graubünden. Ein Beitrag zur Regionalklimatologie der Schweiz. Habilitationsschrift. Universität Zürich.
- Gensler, G. und M. Schüpp (1991): Witterungsklimatologie von Grabünden. In Elsasser, H. und M. Boesch (Hrsg.) (1991): Beiträge zur Geografie Graubündens. Egg ZH. S.7-17.
- IPCC (Nakicenovic, N.) (2000): Special Report on Emissions Scenarios SRES. Cambridge University Press. 570 S.
- Jacob, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin, Meteorological Atmospheric Physics 77, S. 61-73.
- Jacob, D., B. J. J. M. Van den Hurk, U. Andrñ, G. Elgered, C. Fortelius, L. P. Graham, Jackson, S. D., U. Karstens, Chr. KoÈpken, R. Lindau, R. Podzun, B. Rockel, F. Rubel, B. H. Sass, R. N. B. Smith, and X. Yang (2001): A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. In: Meteorology and Amtospheric Physics 77. S. 19 43.
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz, K. Sieck (2008): Klimaauswirkung und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben. S. 22-40 (http://www.umweltbundesamt.de)
- Jacob, D., L. Bärring, O.B. Christensen, J.H. Christensen, S. Hagemann, M. Hirschi, E. Kjellström, G. Lenderink, B. Rockel, C. Schär, S.I. Seneviratne, S. Somot, A. van Ulden, B.van den Hurk (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: Design of the experiments and model performance, PRUDENCE Special Issue, Climatic Change 81. S. 31 52.

Kostopoulou, E. (2008): Evaluation of high-resolution climate model data for simulating

climate extremes in the eastern Mediterranean region. National Observatory of Athens.

- Le Treut, H., R. Somerville, U. Cubasch, Y. Ding, C. Mauritzen, A. Mokssit, T. Peterson and M. Prather (2007): Historical Overview of Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Matulla, Ch., E. K. Penlap, H v. Storch (2002): Empirisches Downscaling Überblick und zwei Beispiele. Klimastatusbericht des DWD. 17 S.
- MeteoSchweiz (2009): Klimabericht Kanton Graubünden. Arbeitsbericht der MeteoSchweiz, 228. S.2-38.
- OcCC (2008): Das Klima ändert was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. OcCC Organe consultatif sur les changements climatiques. Bern. 47 S.
- OECD (2007): Climate change in the european alps adapting winter tourism and natural hazards management. OECD.
- Pfister, Ch. (1988): Klimageschichte der Schweiz 1525 1860: das Klima der Schweiz von 1525 - 1860 und seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft. 3. Aufl. Bern, Stuttgart.
- Rothenbühl, Ch. (2006): GISALP. Räumlich-zeitliche Modellierung der klimasensitiven Hochgebirgslandschaften des Oberengadins. Dissertation. 189 S.
- Spekat, A., W. Enke, F. Kreienkamp (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Endbericht. Publikationen des Umweltbundesamtes. 149 S.
- Sturm, M., J. Holmgren und G. Liston (1995): A seasonal snow cover calassification system for local to global applications. In: Journal of Climate. Nr. 8. S.1261-1283.
- Uhlmann, B., S. Goyette und M. Beniston (2009): Sensitivity analysis of snow patterns in Swiss ski resorts to shift in temperture, precipitation and humidity under conditions of climate change. In: International Journal of Climatology. Nr 29. S. 1048-1055
- Wanner, H., D. Gyalistras, J. Luterbacher, R. Rickli, E. Salvisberg, Ch. Schmutz (2000): Klimawandel im Schweizer Alpenraum. Vdf, Hochschul-Verlag an der ETH. Zürich.

Abbildungsverzeichnis

8.2 Abbildungen

Abb. 1: Zunahme der räumlichen Auflösung der sukzessiven Modellgenerationen in den
verschiedenen IPCC Berichten (FAR, SAR, TAR, AR4). Die Abbildung ist für
die meisten detaillierten horizontalen Auflösungen für kurzzeitige
Klimasimulationen. Die Simulationen für ein Jahrhundert im IPCC Bericht
laufen mit der Auflösung der früheren Generation. Die vertikale Auflösung der
Atmosphären- und Ozeanmodelle wird nicht gezeigt, ist aber gleichzeitig mit der
horizontalen Auflösung auf 13 Schichten angewachsen. (IPCC 2007. S.113) 12
Abb. 2: Wachsende Komplexität der Klimamodelle in den letzten Jahrzehnten. Die in
die Modelle zusätzlich integrierte Physik wird bildhaft durch verschiedene
Features der modellierten Welt gezeigt. (IPCC 2007 S.99)). In den letzten
Jahren konnten in die Modelle immer mehr Faktoren und
Abb. 3: Oberflächenbedeckung in REMO (http://www.mpimet.mpg.de/)14
Abb. 4: Mittlere Lufttemperatur auf Buffalora
Abb. 5: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 auf Buffalora
Abb. 6: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Sta. Maria
Abb. 7: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Sta. Maria
Abb. 8: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Scoul
Abb. 9: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Scoul
Abb. 10: Mittlere Lufttemperatur und ihr Trend in Sils Maria
Abb. 11: Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom Mittel 1961-90 in Sils Maria 25
Abb. 12: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Winter (DJF) auf Buffalora
Abb. 13: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) auf Buffalora
Abb. 14: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) auf Buffalora27
Abb. 15: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Herbst (SON) auf Buffalora27
Abb. 16: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Scoul
Abb. 17: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom
Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Scoul

Abb. 18: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Scoul.	29
Abb. 19: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Scoul	29
Abb. 20: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sils Maria	30
Abb. 21: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sils Maria	30
Abb. 22: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sils Maria	31
Abb. 23: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sils Maria	31
Abb. 24: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Winter (DJF) in Sta. Maria	32
Abb. 25: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sta. Maria	32
Abb. 26: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) in Sta. Maria.	33
Abb. 27: Mittlere Lufttemperatur und Abweichung der mittleren Lufttemperatur vom	
Mittel 1961-90 im Herbst (SON) in Sta. Maria	33
Abb. 28: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend auf Buffalora.	34
Abb. 29: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 auf	
Buffalora	34
Abb. 30: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Scoul	35
Abb. 31: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in	
Scoul	35
Abb. 32: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Sils Maria	36
Abb. 33: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in Sils	
Maria	36
Abb. 34: Jährliche Niederschlagssumme und ihr Trend in Sta. Maria	37
Abb. 35: Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme vom Mittel 1961-90 in Sta.	
Maria	37
Abb. 36: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Winter (DJF) auf Buffalora	38

Abb. 37: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Frühjahr (MAM) auf Buffalora	38
Abb. 38: Mittlere Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom	
Mittel 1961-90 im Sommer (JJA) auf Buffalora	39
Abb. 39: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Herbst (SON) auf Buffalora	39
Abb. 40: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Winter (DJF) in Scoul.	40
Abb. 41: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Frühjahr (MAM) in Scoul.	40
Abb. 42: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Sommer (JJA) in Scoul.	41
Abb. 43: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Herbst (SON) in Scoul.	41
Abb. 44: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Winter (DJF) in Sils Maria	42
Abb. 45: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sils Maria	42
Abb. 46: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Sommer (JJA) in Sils Maria.	43
Abb. 47: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Herbst (SON) in Sils Maria	43
Abb. 48: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Winter (DJF) in Sta. Maria.	44
Abb. 49: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Frühjahr (MAM) in Sta. Maria.	44
Abb. 50: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Sommer (JJA) in Sta. Maria.	45
Abb. 51: Jährliche Niederschlagssumme und die jeweilige Abweichung vom Mittel	
1961-90 im Herbst (SON) in Sta. Maria.	45
Abb. 52: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 1961 - 90. Das	
Liniendiagramm gibt die monatliche Niederschlagssumme in mm an.	46

Abb. 53: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 1961 - 90. Das Jahr
wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche
Niederschlagssumme in mm angegeben
Abb. 54: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 1961 - 90. Das
Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche
Niederschlagssumme in mm angegeben
Abb. 55: Mittlere Schneehöhe je Winter an ausgewählten Stationen von 1931 - 2008
Abb. 56: Häufigkeiten (%) der Windrichtungen in Buffalora, Samedan, Scoul und Sils
Maria im Zeitraum 1981 – 2000 51
Abb. 57: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 auf Buffalora.
Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B 59
Abb. 58: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf
Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B,
sowie CLM A1B
Abb. 59: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf
Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B,
sowie CLM A1B
Abb. 60: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 auf
Buffalora bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B,
sowie CLM A1B
Abb. 61: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis
2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B 61
Abb. 62: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria
bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM
A1B
Abb. 63: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie
CLM A1B
Abb. 64: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie
CLM A1B
Abb. 65: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sils Maria
bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM
A1B64

Abb. 66: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	65
Abb. 67: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	66
Abb. 68: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B	66
Abb. 69:Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	67
Abb. 70: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	67
Abb. 71: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	68
Abb. 72: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	68
Abb. 73: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 auf Buffalora. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	69
Abb. 74: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	69
Abb. 75: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	70
Abb. 76: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	70

Abb. 77: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B	.71
Abb. 78: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	. 72
Abb. 79: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B	.72
Abb. 80: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B.	.73
Abb. 81: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und	
A1B, sowie CLM A1B	.73
Abb. 82: Entwicklung der winterlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	.74
Abb. 83: Entwicklung der Niederschlagssumme im Frühjahr im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	. 75
Abb. 84: Entwicklung der sommerlichen Niederschlagssumme im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	. 75
Abb. 85: Entwicklung der Niederschlagssumme im Herbst im Vergleich zum Mittel	
1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1	
und A1B, sowie CLM A1B	.76
Abb. 86: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2021 - 50. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	. 77
Abb. 87: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2071 - 2100. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	

Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	78
Abb. 88: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2021 - 50. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	80
Abb. 89: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2071 - 2100. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	81
Abb. 90: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2021 - 50. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	82
Abb. 91: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2071 - 2100. Als	
Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.	
Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B	
Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten)	83
Abb. 92: Prozentuale Änderung der Schneehöhe im Engadin und des Val Müstairs unter	
Verwendung des REMO Modells und des B1 Szenarios im Vergleich zur	
mittleren Höhe von 1961-90.	85
Abb. 93: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul.	
Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B	107
Abb. 94: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis	
2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B	108
Abb. 95: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul	
bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM	
A1B	108
Abb. 96: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul	
bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM	
A1B	109
Abb. 97: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis	
2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B	109

Abb. 98: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria.	
Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B	110
Abb. 99: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria.	
Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B	110
Abb. 100: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta.	
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie	
CLM A1B	111
Abb. 101: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta.	
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie	
CLM A1B	111
Abb. 102: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta.	
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie	
CLM A1B	112
Abb. 103: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta.	
Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie	
CLM A1B	112

8.3 Tabellen

Tab.1: Übersicht über folgende meteorologische Parameter an verschiedenen Stationen	
im Untersuchungsgebiet: Mittlere Lufttemperatur (Ta), Niederschlagssumme	
(RR), Tage mit Niederschlag und Sonnenscheindauer der Klimanormalperiode	
1961 - 90 auf Datengrundlage der MeteoSchweiz.	. 18
Tab.2: Die mittlere monatliche Schneedichte (kg/m ³) um SWE von der Schneetiefe aus	
zu schätzen basiert auf kanadische Schneebeobachtungen. Die Schneeklassen	
wurden nach Sturm et al. 1995 definiert (Brown und Mote 2008, S. 2129)	. 21
Tab.3: Mittlere Schneehöhe (cm) während des Winters (1. Dezember bis 15. April),	
maximale und minimale mittlere Schneehöhen an verschiedenen Stationen im	
Engadin und Val Müstair	. 49
Tab.4: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und	
MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für	
Buffalora	. 53
Tab.5 : Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und	
MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Scoul	. 55
Tab.6: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und	
MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Sils	
Maria	. 56
Tab.7: RMSE der Modelldaten CLM und REMO von den Messdaten der MeteoSchweiz	
Stationen Buffalora, Scoul, Sils Maria und Sta. Maria für den Zeitraum	
1961 - 90 auf der Grundlage der Tages-, Monats-, Jahreswerte von	
Lufttemperatur und Niederschlag	. 57
Tab.8: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und	
MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Santa	
Maria	. 58
Tab. 9: Änderung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im	
Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90.	. 59
Tab. 10: Auflistung der von MeteoSchweiz betriebenen Wetterstationen im Engadin	
und Val Müstair, sowie die Zeiträume und Datenlücke der jeweilig gemessenen	
Parameter	103
Tab. 11: Absolute und prozentuale Änderung des Jahresniederschlags bis 2021-50 und	
2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90.	104

Tab. 12: Än	derung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im	
Verg	gleich zur Klimanormalperiode 1961-90 auf Buffalora	104
Tab. 13: Än	derung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im	
Verg	gleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Scoul	104
Tab. 14: Än	derung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im	
Verg	gleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sils Maria	105
Tab. 15: Än	derung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im	
Verg	gleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sta. Maria	105
Tab. 16: Ab	solute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und	
2071	-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 auf Buffalora	106
Tab. 17: Abs	solute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und	
2071	-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Scoul	106
Tab. 18: Abs	solute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und	
2071	-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sils Maria	106
Tab. 19: Ab	solute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und	
2071	-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sta. Maria	107

9 ANHANG

Tab. 10: Auflistung der von MeteoSchweiz betriebenen Wetterstationen im Engadin und Val Müstair, sowie die Zeiträume und Datenlücke der jeweilig gemessenen Parameter.

Station	Parameter	Zeitraum		
Buffalora	Lufttemperatur	1917 – 2008		
	Windgeschwindigkeit	1964 – 2008		
10°16' /	Luftfeuchte	1959 – 2008		
46°39'	Globalstrahlung	1998 – 2008		
1970 m ü. M.	Niederschlag	1917 – 2008		
Bever	Lufttemperatur	1901 – 1982		
	Windgeschwindigkeit	1901 – 1982		
9°53' / 46°33'	Schneehöhe	1931 – 1982		
, 1710 m ü. M.	Luftfeuchte	1901 – 1982		
	Niederschlag	1900 – 1982		
Passo del	Lufttemperatur	1972 – 2008		
Bernina	Windgeschwindigkeit	1972 – 2008		
	Schneehöhe	1997 – 2008		
10°01'/	Luftfeuchte	1972 – 2008		
46°25'	Niederschlag	1961 – 2008		
2307 m ü. M	_			
Piz Corvatsch	Lufttemperatur	1980 - 2008		
	Windgeschwindigkeit	1980 – 2008		
9°49' / 46°25'	Luftfeuchte	1980 – 2008		
3315 m ü. M.	Globalstrahlung	1980 – 2008		
	Niederschlag	1980 – 2008		
Scoul	Lufttemperatur	1901 – 2008		
	Windgeschwindigkeit	1931 – 2008		
10°17'/	Schneehöhe	1958 – 2008		
46°48'	Luftfeuchte	1931 – 2008		
1303 m ü. M.	Globalstrahlung	1981 – 2008		
	Niederschlag	1901 – 2008		
Sta. Maria	Lufttemperatur	1931 – 2008		
	Windgeschwindigkeit	1931 – 2008		
10°25' /	Schneehöhe	1960 – 2008		
46°36'	Luftfeuchte	1931 – 2008		
1390 m ü. M. Niederschlag		1901 – 2008		
Samedan	Lufttemperatur	1980 - 2008		
Jameuan	Windgeschwindigkeit	1980 - 2008		
9°53' / 16°22'	9°53' / 46°32' Schneehöhe			
1708 m ü M		1979 - 2008		
±700 m u. wi.	Globalstrahlung	1981 - 2008		
	Niederschlag	1981 - 2008		
Sils Maria		1883 - 2008		
		1000 2000		
Shis Maria	Windgeschwindigkeit	1883 - 2008		
9°46' / 46°26'	Windgeschwindigkeit	1883 – 2008 1965 – 2008		
9°46' / 46°26' 1798 m ü. M	Windgeschwindigkeit Schneehöhe Luftfeuchte	1883 – 2008 1965 – 2008 1883 – 2008		

Niederschlag		REMO B1	REMO A1B	CLM A1B
Buffalora	2021-50	22.7 (2.6%)	2.2 (0.3%)	50.3 (5.7%)
	2071-2100	20.1 (2.3%)	4.9 (0.6%)	46.5 (5.3%)
Scoul	2021-50	6.3 (1.0%)	1.4 (0.2%)	2.9 (0.4%)
	2071-2100	2.2 (0.3%)	2.0 (0.3%)	10.5 (1.5%)
Sils Maria	2021-50	17.9 (1.8%)	1.7 (0.2%)	-19.7 (-2.0%)
	2071-2100	12.4 (1.2%)	4.1 (0.4%)	-11.7 (-1.2%)
Sta. Maria	2021-50	3.0 (0.4%)	-5.5 (-0.7%)	8.4 (1.1%)
	2071-2100	2.2 (0.3%)	6.0 (0.8%)	16.9 (2.1%)

Tab. 11: Absolute und prozentuale Änderung des Jahresniederschlags bis 2021-50 und2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90.

Tab.	12: Änderung de	r mittleren I	Lufttemperatur	bis 2021-50	und 2071-	-2100 im	Vergleich	zur
	Klimanormal	periode 196	1-90 auf Buffa	lora				

Buffalora			
Winter	REMO B1	REMO A1B	CLM A1B
2021-50	0.67	0.77	1.44
2071-2100	2.28	3.62	3.39
Frühjahr			
2021-50	0.03	0.81	1.06
2071-2100	2.18	3.07	4.22
Sommer			
2021-50	1.10	1.59	2.11
2071-2100	3.31	5.38	6.45
Herbst			
2021-50	1.23	1.68	2.72
2071-2100	3.45	5.08	5.26

Tab. 13: Änderung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Scoul

Scoul			
Winter	REMO B1	REMO A1B	CLM A1B
2021-50	0.64	0.78	1.48
2071-2100	2.27	3.54	3.52
Frühjahr			
2021-50	0.03	0.76	1.11
2071-2100	2.20	3.07	4.26
Sommer			
2021-50	1.10	1.63	1.87
2071-2100	3.37	5.51	5.96

Herbst			
2021-50	1.26	1.67	2.72
2071-2100	3.45	5.14	5.18

Tab. 14: Änderung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sils Maria

Sils Maria			
Winter	REMO B1	REMO A1B	CLM A1B
2021-50	0.68	0.81	1.33
2071-2100	2.39	3.60	3.26
Frühjahr			
2021-50	0.18	0.83	0.94
2071-2100	2.41	3.31	4.02
Sommer			
2021-50	1.26	1.79	2.58
2071-2100	3.78	5.99	7.25
Herbst			
2021-50	1.10	1.68	2.66
2071-2100	3.57	5.19	5.30

Tab. 15: Änderung der mittleren Lufttemperatur bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sta. Maria

Sta. Maria			
Winter	REMO B1	REMO A1B	CLM A1B
2021-50	0.72	0.85	1.48
2071-2100	2.38	3.74	3.56
Frühjahr			
2021-50	0.07	0.87	1.13
2071-2100	2.33	3.22	4.28
Sommer			
2021-50	1.11	1.59	1.95
2071-2100	3.35	5.41	6.13
Herbst			
2021-50	1.27	1.73	2.67
2071-2100	3.53	5.17	5.16

Buffalora	REMO A1B		CLM	A1B	REMO B1	
Winter	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)
2021-50	4	2.7	68	45.3	19	12.9
2071-2100	8	5.1	68	44.8	22	14.4
Frühjahr						
2021-50	-3	-1.2	70	31.8	21	9.4
2071-2100	9	3.9	70	31.9	20	9.2
Sommer						
2021-50	5	1.8	10	3.6	24	8.7
2071-2100	-9	-3.3	8	2.9	18	6.3
Herbst						
2021-50	2	1.1	51	23.8	24	11.2
2071-2100	12	5.4	42	19.6	22	10.4

Tab. 16: Absolute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 auf Buffalora.

Tab. 17: Absolute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Scoul.

Scoul	REMO A1B		CLM A1B		REMO B1	
Winter	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)
2021-50	5	3.7	2	1.8	7	5.3
2071-2100	9	7.2	7	6.0	5	3.8
Frühjahr						
2021-50	-1	-0.9	8	5.3	8	4.9
2071-2100	10	6.4	18	11.5	4	2.4
Sommer						
2021-50	0	0.0	-9	-3.3	0	-0.1
2071-2100	-21	-7.9	-15	-5.5	-8	-3.1
Herbst						
2021-50	2	1.3	9	5.5	9	5.0
2071-2100	10	5.5	31	17.7	8	4.8

Tab. 18: Absolute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sils Maria.

Sils Maria	REMO A1B		CLM	A1B	REMO B1	
Winter	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)
2021-50	4	2.6	-1	-0.4	19	13.1
2071-2100	8	5.5	3	2.4	22	14.5
Frühjahr						
2021-50	-3	-0.4	-7	-2.7	21	5.2
2071-2100	9	1.3	4	1.8	20	5.1

Sommer						
2021-50	5	1.7	-38	-11.3	24	1.2
2071-2100	-9	-1.3	-43	-12.7	18	0.6
Herbst						
2021-50	2	-0.4	-33	-12.3	24	12.7
2071-2100	12	3.8	-12	-4.3	22	6.0

Tab. 19: Absolute und prozentuale Änderung des Niederschlags bis 2021-50 und 2071-2100 im Vergleich zur Klimanormalperiode 1961-90 in Sta. Maria.

Sta. Maria	REMO A1B		CLM A1B		REMO B1	
Winter	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)	RR (mm)	RR (%)
2021-50	-23	-20.0	2	1.4	2	2.0
2071-2100	-8	-6.8	6	5.2	6	5.1
Frühjahr						
2021-50	-29	-15.0	6	3.1	5	2.4
2071-2100	-16	-8.2	17	8.6	4	2.0
Sommer						
2021-50	-8	-2.8	12	4.5	-8	-2.8
2071-2100	-25	-9.0	6	2.3	-8	-3.1
Herbst						
2021-50	38	18.9	13	6.6	11	5.2
2071-2100	72	35.3	38	18.8	9	4.3



Abb. 93: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Scoul. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Anhang



Abb. 94: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 95: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.


Abb. 96: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 97: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Scoul bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 98: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sils Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 99: Temperaturanstieg im Vergleich zum Mittel 1961-90 bis 2100 in Sta. Maria. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Anhang



Abb. 100: Mittlere Temperatur im Winter im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta. Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 101: Mittlere Temperatur im Frühjahr im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta. Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.

Anhang



Abb. 102: Mittlere Temperatur im Sommer im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta. Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.



Abb. 103: Mittlere Temperatur im Herbst im Vergleich zum Mittel 1961-90 in Sta. Maria bis 2100. Dargestellt werden die Szenarien REMO B1 und A1B, sowie CLM A1B.