Bachelorarbeit

am Meteorologischen Institut

der Albert – Ludwigs – Universität Freiburg

Klimatisches Tourismuspotenzial für das Engadin auf der Grundlage von Messungen und regionalen Klimasimulationen

Eingereicht von **Christine Ketterer**

Gutachter **Prof. Dr. Andreas Matzarakis**

Dr. Helmut Saurer

Freiburg im Breisgau, November 2009

1. ZUSAMMENFASSUNG

Der Wirtschaftszweig Tourismus ist für das Engadin von großer Bedeutung, den er bereitet im Ober- und Unterengadin 68 % bzw. 59 % der regionalen Wertschöpfung. Landschaft, Flora und Fauna, das Klima sowie die errichtete Infrastruktur schafft eine Basis für den Tourismus, das Wetter bildet jedoch die Achilles-Ferse. Der Tourist reagiert auf Wettervorhersagen, auf das Wetter vor Ort oder Preisungen in Werbeprospekten, in welchen St. Moritz schon seit den 1930er Jahren mit dem geschützten Markenzeichen der Sonne auf die klimatische Gunst des Engadins wirbt, mit Abneigung oder Meidung des Ortes bei thermischem Diskomfort.

Im Kontext des Klimawandels stellt sich nun auch die Frage nach der Veränderung des klimatischen Tourismuspotenzials im Engadin.

Dazu wird in der vorliegenden Arbeit das klimatische Tourismuspotenzial für den Raum Engadin im Zeitraum von 1961 - 2100 analysiert. Die Grundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz, sowie 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 (Stunden) 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 Modelldaten zu überprüfen, wurden diese mit den MeteoSchweiz Messdaten der Stationen Buffalora, Scoul, Sta. Maria und Sils Maria verglichen. Dabei stellt sich auf die Frage, ob die Modelle die atmosphärischen Bedingungen zwischen dem durch den fehlenden Abschluss eher südalpin geprägte Oberengadin und dem Unterengadin oder Val Müstair unterscheiden können.

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.

Für den Touristen sind folgende Parameter von Bedeutung: thermische Behaglichkeit und Unbehaglichkeit durch Wärme- oder Kältebelastung, Schnee, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Wind. Das thermophysiologische Empfinden wird mit Hilfe des auf der menschlichen Energiebilanz beruhenden thermischen Index Physiologisch Äquivalente Temperatur PET berechnet. Die Ergebnisse werden in Häufigkeiten oder die Überschreitung von Schwellenwerten in Klima-Tourismus-Informations-Schema CTIS dargestellt.

Die Auswirkungen des Klimawandels sind ab 2050 ausgeprägter als in den kommenden Jahren. Die Anzahl an Tagen mit thermischer Behaglichkeit oder gar geringer Wärmebelastung werden stark zunehmen, während die Anzahl an Tagen mit Kältebelastung abnehmen. Unter Verwendung des A1B Szenarios ist dieser Trend stärker, als beim B1 Szenario. Dies ist vor allem für den Sommertourismus, zusammen mit abnehmender Niederschlagshäufigkeit, von positiver Bedeutung. Für den Wintertourismus kann das Engadin auch bei zurückgehenden Schneehöhen immer noch schneesichere Bedingungen aufweisen. Bis Ende des Jahrhunderts wird unter Verwendung des B1 Szenarios noch zu 85 % Schneehöhen über 30 cm von Januar bis März im Oberengadin und zu 64% im Unterengadin vorkommen. Unter Verwendung des A1B Szenario ist die Wahrscheinlichkeit jeweils um 15 % geringer. Attraktivitätsverluste der Landschaft durch den Gletscherrückzug, erhöhte Gefahr durch Extremereignissen oder Wärmeperioden im Winter können jedoch ein negatives Image schaffen. Durch die verschlechterten Bedingungen in Konkurrenzgebieten in beiden Jahreszeiten, einmal durch Hitze am Mittelmeer oder durch zu geringe Schneehöhen in niederen Lagen, kann sich der Tourismus im Engadin positiv entwickeln.

INHALT

1. Zusammenfassung 2

2. Einleitung 7

3. Problemstellung 8

4. Arbeitshypothese und Zielsetzung 9

5. Stand der Wissenschaft 11

5.1 Tourismusklimatologie 11

5.2 Human-Biometeorologie 14

5.2.1 Human-biometeorologische Wechselwirkungen 14

5.2.2 Thermophysiologie des Menschen 15

5.2.3 Energiebilanz 16

5.3 Human-Biometeorologische Modelle 18

5.3.1 Münchner-Energiebilanzmodell für Individuen (MEMI) 19

5.3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) 19

5.4 Das Modell RayMan 21

5.5 Climate Tourism Information Scheme 22

5.6 Klimawandel 23

5.7 Klimamodelle 25

5.7.1 Emissions-Szenarien 25

5.7.2 Globale Klimamodelle 26

5.7.3 Regionale Klimamodelle 27

6. Untersuchungsmethodik 31

6.1 Untersuchungsgebiet 31

6.1.1 Die geographische Lage 31

6.1.2 Geologie 32

6.1.3 Klima im Engadin 34
6.2 Tourismus 36
6.2.1 Tourismus im Oberengadin 36
6.2.2 Unterengadin 37
6.2.3 Tourismus im Klimawandel 38
6.3 Datengrundlage 39
6.4 Datenbearbeitung 40
6.4.1 Datenvergleich von Modelldaten mit Messdaten 40
6.4.2 Berechnung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur 41
6.4.3 Niederschlag und Niederschlagshäufigkeit 42
6.4.4 Berechnung der Schneehöhe 42
7. Ergebnisse 45
7.1 Vergleich der Daten der MeteoSchweiz Messstationen mit REMO und CLM Modelldaten 45
7.2 Meteorologische Parameter an ausgewählten Stationen 52
7.2.1 Physiologisch Äquivalente Temperatur 52
7.2.2 Wind 67
7.2.3 Schnee 68
7.2.4 Niederschlag 70
7.2.5 CTIS 80
8. Diskussion der Ergebnisse 93
8.1 Datenvergleich 93
8.2 Das klimatischen Tourismuspotenzial im Engadin und seine Entwicklung bis 2100 94
8.3 Vergleich mit der Literatur 97
9. Schlussfolgerung und Ausblick 101
10. Literaturverzeichnis 105

10.1 Internetquellen 109

11. Tabellenverzeichnis 110

12. Abbildungsverzeichnis 112

13. Verzeichnis der verwendeten Symbole 120

14. Anhang 121

2. EINLEITUNG

Der Tourismus stellt für die Schweiz einen der wichtigsten Wirtschaftsbereiche dar und entfällt zu einem großen Teil auf wirtschaftlich benachteiligte Regionen. Dort sorgt er für Arbeitsplätze und Einkommen, den Erhalt der Landwirtschaft und wirkt somit der Landflucht entgegen (Schweizer Tourismus-Verband 1999). Mit 21,6 Mrd. CHF Einnahmen, 11,6 Mrd. davon sind Deviseneinnahmen steht der Tourismus an 4. Stelle der wichtigsten Schweizer Exportindustrien (Statistik Schweiz 2008).

Im Kanton Graubünden wurden 5.9 Mio. Logiernächte verzeichnet, woraus dem Kanton eine Bruttowertschöpfung von 10803 Mio. CHF zukommt. Davon entfallen 1211 Mio. CHF auf die Region Oberengadin und 435 Mio. CHF auf die Region Unterengadin, was 68 % bzw. 59 % der gesamten regionalen Wertschöpfung ausmacht (Kronthaler und Cartwright 2008).

Die touristische Attraktivität des Engadins wird nicht nur durch die Landschaft, Flora und Fauna sondern auch durch Wetter und Klima maßgeblich geprägt. Besonders für Aktivitäten im Freien und gesundheitliches Wohlbefinden sind Wetter und Klima wichtige Faktoren, welche Touristen anziehen, limitieren und deshalb beachtet werden müssen (Zaninovic und Matzarakis 2009). Denn die bereitgestellte touristische Infrastruktur bildet eine strategische Grundlage für den Tourismus, das Wetter aber die Achillesferse. Klima und Wetter gelten somit als eine natürliche Ressourcengrundlage der Region und deshalb auch als wirtschaftliches Kapital.

Wettervorhersage oder Prospekte sind Faktoren, auf welche der (potentielle) Tourist reagiert und zum anderen das Wetter vor Ort. Dessen Bedeutung kann in verschiedene Facetten eingeteilt werde: die thermische Facette, welche mit Hilfe Human-Biometeorologischer Untersuchungen beleuchtet werden soll, die physikalischen Aspekte, wie Schneesicherheit, Wind oder Regentage und –menge oder auch die ästhetische Facette, zu welcher unter anderem Tageslänge, Sonnenscheindauer und Bewölkung zählen.

3. PROBLEMSTELLUNG

Tourismusindustrie und die Touristen fordern eine benutzerfreundliche Darstellung aller für sie relevanten klimatologischen und meteorologischen Facetten und Faktoren in einfachen Einheiten und übersichtliche Karten und Grafiken.

„Wer so viele Sonnentage hat, braucht keinen Wetterbericht: An 322 Tage pro Jahr herrschen in St. Moritz perfekte Bedingungen.“[1]. So oder ähnlich wird auf vielen Prospekten für das Engadin geworben.

Bisher besteht noch keine genaue Beschreibung des klimatischen Tourismuspotentials für den Raum Engadin und der durch den Klimawandel ausgelösten Veränderung. Die für den Tourismus relevanten Facetten des Klimas können in eine thermische, physikalische und eine ästhetische untergliedert werden. Dabei werden die bioklimatischen Bedingungen als die Wichtigsten in der Tourismusklimatologie beschrieben (Matzarakis 2007).

Für die planenden Organe der Tourismusindustrie ist auch die Veränderung dieser Facetten in den nächsten Jahren und Jahrzehnten von Bedeutung.

[1] www.myswitzerland.com/de/offer-Destinations_Resorts-Destinations-28715.html Stand August 2009

4. ARBEITSHYPOTHESE UND ZIELSETZUNG

In der vorliegenden Arbeit wird das vorherrschende touristische Klimapotential im Raum Engadin analysiert, sowie ein Szenario für das 21. Jahrhundert entwickelt. Datengrundlage bilden dabei Messdaten der MeteoSchweiz Stationen im Engadin sowie Daten der Klimamodelle REMO mit A1B und B1 Szenario und exemplarisch des CLM Modell. Um die Klimamodelldaten richtig einschätzen und interpretieren zu können, werden sie für den Zeitraum 1960 bis 2008 mit den Messdaten der MeteoSchweiz verglichen.

Die thermische Facette wird auf der Grundlage der bioklimatischen Bedingungen anhand des auf der Energiebilanz des Menschen beruhenden Index Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) untersucht werden. Eingangsparameter stellen Lufttemperatur, kurz- und langwellige Strahlung, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, die persönliche Parameter, Bekleidung und Aktivität des Menschen dar.

Des Weiteren sollen die Bedingungen für den Wintersport, wie Schneehöhe und Skifahrpotential, sowie ihre Veränderung in zukünftigen Zeiträumen betrachtet werden. Auch Niederschlagsmenge, -frequenz und Windgeschwindigkeit werden berücksichtigt.

Die Ergebnisse werden in einem Climate Tourism Information Scheme (CTIS) zusammengefasst, durch welches dem Touristen eine optimale Übersicht über alle klimatologischen Faktoren während eines Jahres in einer Region geboten werden soll.

5. STAND DER WISSENSCHAFT

5.1 Tourismusklimatologie

Die Aufgabe der Tourismusklimatologie ist die Identifikation und Bewertung von Umweltinformationen für die Geschäftsplanung und Entscheidungsfindung für Tourismusorganisationen sowie den Touristen.

Dabei wird Tourismus als die *„Gesamtheit der Beziehungen und Erscheinungen, die sich aus der Reise und dem Aufenthalt von Personen ergeben, für die der Aufenthaltsort weder hauptsächlich noch dauernder Wohn- oder Arbeitsort ist*“ [2] definiert.

Das Konzept der Tourismusklimatologie sieht vor, die klimatisch kontrollierten Ressourcen, welche zu unterschiedlichen Zeiten an unterschiedlichen Orten in einem Spektrum von beliebt zu unbeliebt klassifiziert werden kann, zu beachten (de Freitas 2003).

Das Klima bestimmt neben anderen Faktoren, ob eine Urlaubsregion in Frage kommt, aber vor Ort reagieren Tourist und Betriebe auf die vorherrschende Witterung, einzelne Wettererscheinungen sowie die ganzheitlichen Effekte der atmosphärischen Umgebung (de Freitas 2002). Klima ist dabei als ein statistisches Mittel der Wettererscheinungen über einer größeren Region über eine längere Zeitperiode und Wetter als Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit zusehen.

Klima und Wetter bilden eine natürliche Ressource, welche das Einkommen in der Branchen des Fremdenverkehrs beeinflusst, denn an freiwillige Aktivitäten werden nur bei stimmiger Umgebung teilgenommen, was wiederum auf verminderte Teilnahme bei thermischen Diskomfort, z.B. zu geringer Schneedecke, großen Windgeschwindigkeiten schließen lässt. Deshalb sollten Daten zur Bewertung des touristischen Klimapotentials nicht auf Mittelwerten basieren, sondern die einzelnen Wettererscheinungen und Wirkung auf den Menschen darstellen.

Die meteorologischen Parameter können in den thermischen, physischen und ästhetischen Aspekt aufgeteilt werden.

---

[2] http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/Biomet/tourismus.html Stand August 2009

Die thermische Komponente wirkt auf den Menschen als Zusammenspiel folgender atmosphärischen Variablen: Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Strahlung und Luftfeuchte. Zusätzlich spielen Metabolische Rate, Aktivität und Kleidung eine Rolle.

Es existieren verschiedene Indizes auf physiologischer Basis, welche die thermischen Netto-Einwirkungen auf den menschlichen Körper und dessen thermischen Status beschreiben.

Die physische Komponente beinhaltet Dauer und Frequenz von Regen, Schnee, Eis, Wind, Luftqualität oder violette Strahlung. Die dabei auftretenden mechanischen Effekte bewirken Ärgernis bei den Touristen, welche somit weniger *Outdoor* Angebote besuchen oder früher Abreisen. Schlechte Bedingungen können sogar die Anreise von Kurzurlauber oder Tagestouristen verhindern. Die ästhetischen Aspekte mit psychologischer Wirkung bilden Sichtweite, Sonnenschein, Bewölkung oder Tageslänge (Tab. 1).

Tab. 1: Verschiedene Facetten des Tourismusklimas und ihre Bedeutung und Auswirkung (aus: de Freitas 2002, S.13, de Freitas 2003, S.49)

Facetten des Klimas	**Bedeutung**	**Auswirkung**
Ästhetisch		
Sonnenschein/Bewölkung	Qualität der Erfahrung	Genuss, Attraktivität des Ortes
Sichtweite	Qualität der Erfahrung	Genuss, Attraktivität des Ortes
Tageslänge	Annehmlichkeit	verfügbare Stunden mit Tageslicht
Physisch		
Wind	Ärgernis	Fortwehen von Eigentum, Sand, Staub
Regen	Ärgernis	Durchnässung, reduzierte Sichtweite und Genuss
Schnee	Wintersport und -aktivitäten	Teilnahme an Sport und Aktivitäten
Eis	Gefahr	Personenschaden, Schaden an Eigentum
Unwetter	Ärgernis, Gefahr	Alle oben genannten
Luftqualität	Ärgernis, Gefahr	Gesundheit, physisches Wohlbefinden, Allergien
Ultraviolette Strahlung	Gefahr, Attraktion	Gesundheit, Sonnenbräune, Sonnenbrand
Thermisch		
Integrierte Effekte der Lufttemperatur, Wind, Solarstrahlung, Feuchte, langwelliger Strahlung, metabolische Rate	Thermischer Komfort, Therapeutisch, stärkend	Umweltstress, Physiologische Belastung, Unterkühlung, Überhitzung Erholungspotenzial

Um der vom Wetter abhängigen Programmnachfrage mit passendem Angebot und Organisation gerecht zu werden, sollen Indizes herangezogen werden können, welche die Komplexität der Bedingungen und Auswirkungen des Wetters auf den Tourismus entsprechenden ausdrücken und somit bei der Planung helfen können.

Solche numerische Indizes, welche die Signifikanz des Klimas für Touristen zusammenfassen, wurden von Poulter (1962), Fergusson (1964) und Murray (1972) entwickelt. Sie sind meist willkürlich und nicht empirisch getestet, wobei die empirische Studie von Harflinger (1991) eine Ausnahme bildet (de Freitas 2003).

Mieczkowski (1985) hat einen Tourismus-Klimaindizes (TCI) ausgearbeitet und damit das Weltklima für den Tourismus bewertet. Er besteht aus sieben Parametern, benutzt aber zur Berechnung der thermischen Komponente nur Lufttemperatur und Luftfeuchte und weist keine thermo-physiologische Relevanz auf.

Weitere Autoren haben Tourismusklima in Bezeichnungen der menschlichen Reaktion bevorzugt mit traditionellen taxonomischen Methoden das regionale Klima beschrieben. (Green (1967), Davis (1968), Murray (1972), Maunder (1972), Smith (1985) aus de Freitas (2003)).

De Freitas (1990) hat schließlich in einer Fallstudie über den Strandtourismus in Australien geeignete Methoden für Informationen gesucht, welche genutzt werden können um das Klima und Wetter in Begriffen der Benutzerempfindlichkeit und Zufriedenheit zu beurteilen.

Das noch zu entwickelnde ideale Tourismusklima-Modell würde auf standardisierte Wetter- und Klimadaten basieren, den Schwerpunkt auf aktuelle Beobachtungen legen und alle die auf den Menschen einwirkenden atmosphärischen Komponenten und Facetten berücksichtigen. Durch Schwellenwertbildung sollte das Modell zudem geeignete und ungeeignete Zeiten für den Touristen aufzeigen.

Auch die Reaktion der Touristen auf die vorherrschenden atmosphärischen Bedingungen, sei es durch verbale Äußerung der Sinneswahrnehmung oder Verhaltensreaktion, wie Anpassung, passive Akzeptanz oder gar Meidung unerwünschter Wetterbedingungen durch Ortswechsel ist bisher nur wenig erforscht (de Freitas 2003).

5.2 Human-Biometeorologie

Der Mensch ist sich schon seit langem bewusst, dass Wetter und Klima die menschliche Gesundheit und das Wohlbefinden beeinflussen. Dabei können indirekte Einflüsse auf die Gesundheit, wie Infektionskrankheiten durch Einflüsse der atmosphärischen Komponenten auf den Organismus, die Produktivität, Hydrologie entstehen oder eine direkte Beeinträchtigung des menschlichen Wohlbefindens durch Wind, Überschwemmung, Hitze oder Kälte (WMO 1999).

Besonders der menschliche Wärmehaushalt mit seinen thermoregulatorischen Mechanismen und Zirkulation befindet sich durch ständigen Austausch mit der atmosphärischen Umwelt in einer engen Beziehung. Energiebilanzmodelle des Menschen und anschließende Human-Biometeorologische Klassifikationen helfen das komplette Spektrum der Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Menschen im Bezug auf sein Wohlbefinden zu quantifizieren und bewerten.

5.2.1 Human-biometeorologische Wechselwirkungen

Die Wechselwirkungen der atmosphärischen Bedingungen mit dem Menschen werden in den thermischen, aktinischen und lufthygienischen Wirkungskomplex unterteilt. Das thermische Empfinden des Menschen wird von der Lufttemperatur, Dampfdruck, Windgeschwindigkeit; sowie von kurz- und langwellige Strahlungsflüsse beeinflusst. Der aktinische Komplex befasst sich mit der biologisch wirksamen UV-A und UV-B Strahlung sowie der Licht-Intensität die auf den Menschen einwirken (VDI 1998). Der lufthygienische Komplex umfasst Partikel, Flüssigkeiten und Gase, welche der Luft beigemengt sind und Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden haben. Ausbreitung und Verdünnung der Emissionen hängt von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Luftmassenzustand, thermischer Schichtung und Niederschlag ab. Die chemische Umwandlung von kurzwelliger Strahlung, Lufttemperatur und Luftfeuchte. Weitere Größen, die das menschliche Wohlbefinden beeinflussen sind Geruch, Lärm, deren Ausbreitung hauptsächlich von thermischer Schichtung und Windverhältnisse abhängig ist, sowie die meteorologische Größe Wind.

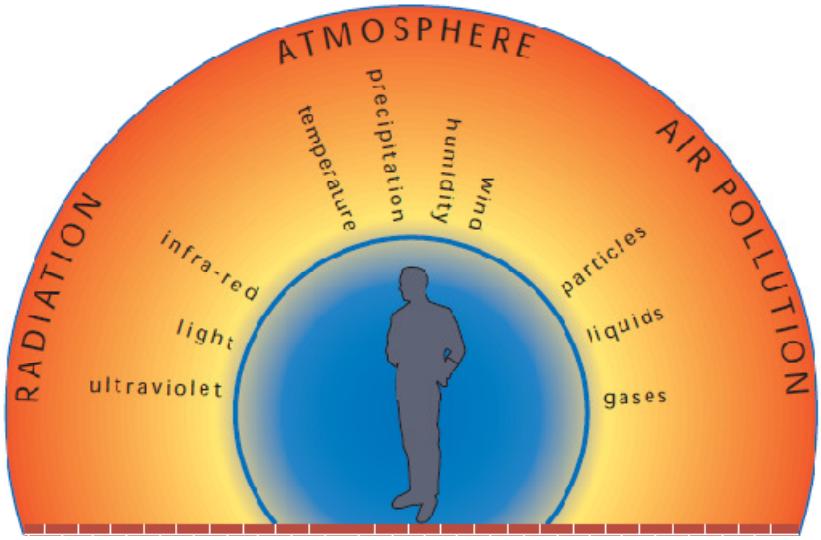


Abb. 1: Klima und menschliche Gesundheit (WMO 1999, S. 1).

5.2.2 Thermophysiologie des Menschen

Der Mensch ist homoiothermes Lebewesen, das heißt er besitzt eine konstante Kerntemperatur von 37 °C, welche durch die Thermoregulation trotz unterschiedlicher Umgebungsbedingungen und Aktivitäten mit geringen Schwankungen gehalten werden kann. Die Körperschalentemperatur nähert sich nach innen der Körperkerntemperatur, wobei das Gefälle von der Umgebungstemperatur abhängig ist. Der menschliche Körper besitzt die Fähigkeit zur Thermogenese durch Muskulatur und Stoffwechsel. Während Ruhephasen wird durch das Gehirn und die Organe 70 % der Gesamtwärme produziert, welche bei steigender Aktivität durch muskuläre Wärmeproduktion übertroffen wird. Des Weiteren stellt der Körper durch subkutane Fettgewebe eine Isolationsschicht gegenüber der Umwelt zur Verfügung und er kann die Körpertemperatur senken. Thermorezeptoren im Kern und in der Schale melden ihr Temperaturempfinden an das Zentrale Nervensystem, welche die Signale an den Hypothalamus weiterleiten, welcher auch selbst die Bluttemperatur registriert[3].

Bei steigender Körperinnentemperatur steigt die Durchblutung, es wird mehr Blut zur äußeren Schicht des Körpers transportiert, die Schweißzellen aktiviert und die Verdunstungsrate steigt. Der menschliche Körper besitzt für Überhitzung nur eine geringe Toleranz, denn bei Temperaturen von 42 °C im Körperinneren tritt nachhaltig schädliche Eiweißkoagulation auf.

[3] http://gmdn.de/lexikon/Medizin/Physiologie/Thermoregulation.html, Stand Oktober 2009

Bei einer zu geringen Temperatur werden die Blutgefäße verengt um die Versorgung des Körperinneren zu gewährleisten und die Wärmeproduktion in den Organen durch erhöhten Stoffwechsel angeregt. Das Verhältnis Größe zu Gewicht hat Auswirkungen auf die thermische Empfindlichkeit eines Menschen, welche aber auch jeden Tag schwankt. Die interindividuelle Streuung ist etwa doppelt so groß wie die intraindividuelle (Fanger und Langkilde 1975). Durch Akklimatisierung kann sich der Mensch an verschiedene Jahreszeiten oder Klimazonen anpassen.

Der Wärmeaustausch zwischen Mensch und Umgebung erfolgt durch Konduktion, Konvektion, Radiation und Verdunstung. Dabei gelangt im Körperinneren die Wärme durch Konduktion ins Blut und wird durch Konvektion über das Blut geleitet. Wärmeaustausch erfolgt – aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Kleidung und Luft - mit einem geringen Anteil über Konduktion, durch Wind- oder Wasserströmung beeinflusste Konvektion oder durch Verdunstung von z.B. Schweiß. Dabei spielen Lufttemperatur und Wasserdampfdruck eine wichtige Rolle. Durch Strahlung wird Wärme abgegeben und beeinflusst durch die Kleidungsfarbe, auch aufgenommen.

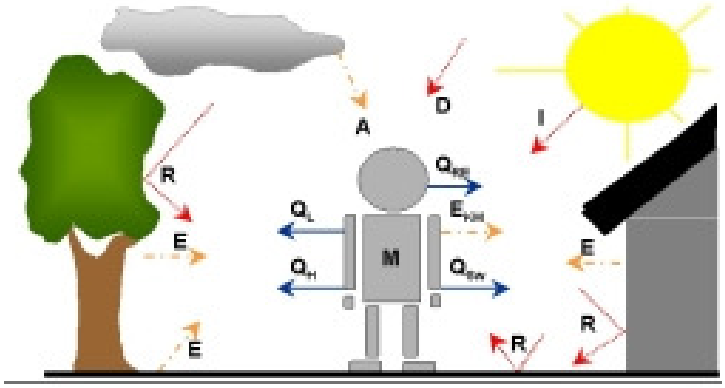
5.2.3 Energiebilanz

Die Energiebilanz des Menschen bildet dabei gemäß der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 Teil 2 die Grundlage der weiteren Berechnungen:

$$0 = M + W + R_N + Q_H + Q_L + Q_{Sw} + Q_{Re} \quad (1)$$

mit

M:	Gesamtenergieumsatz (metabolische Rate)
W:	Energieumsatz infolge mechanischer Leistung
R_N:	Strahlungsbilanz
Q_H:	turbulenter Fluss fühlbarer Wärme
Q_L:	sensibler Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion
Q_{Sw}:	turbulenter Fluss latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß
Q_{Re}:	Energieumsatz infolge von Erwärmung und Wasserdampfsättigung der Atemluft



Komponenten der Strahlungsbilanz Q*

I:	direkte Sonnenstrahlung
D:	diffuse Himmelsstrahlung
R:	Reflexstrahlung, kurzwellig
A:	Wärmestrahlung der Atmosphäre
E:	Wärmestrahlung der Umschließungsoberfläche
E_{KM}:	thermal radiation of the human body

Abb. 2: Die Komponenten im Wärmehaushalt des Menschen (http://www.dwd.de/, VDI 1998 S. 10)

Die Einheit aller Flüsse ist Leistung (W), die Vorzeichen sind positiv, wenn sie zum Energiegewinn des Körpers führen, Energieverluste werden mit negativem Vorzeichen gekennzeichnet. Entsprechend dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik müssen sich pro Zeiteinheit die aufgenommenen und abgegebenen Energiemengen bei gleichbleibenden Bedingungen ausgleichen.

Die atmosphärische Umwelt und das Verhalten des Menschen fließen in die Berechnung der Energiebilanz eines Individuums ein. Verschiedene Modelle evaluieren mit unterschiedlicher Gewichtung die Ergebnisse anhand Bewertungsindizes (Abb. 3).

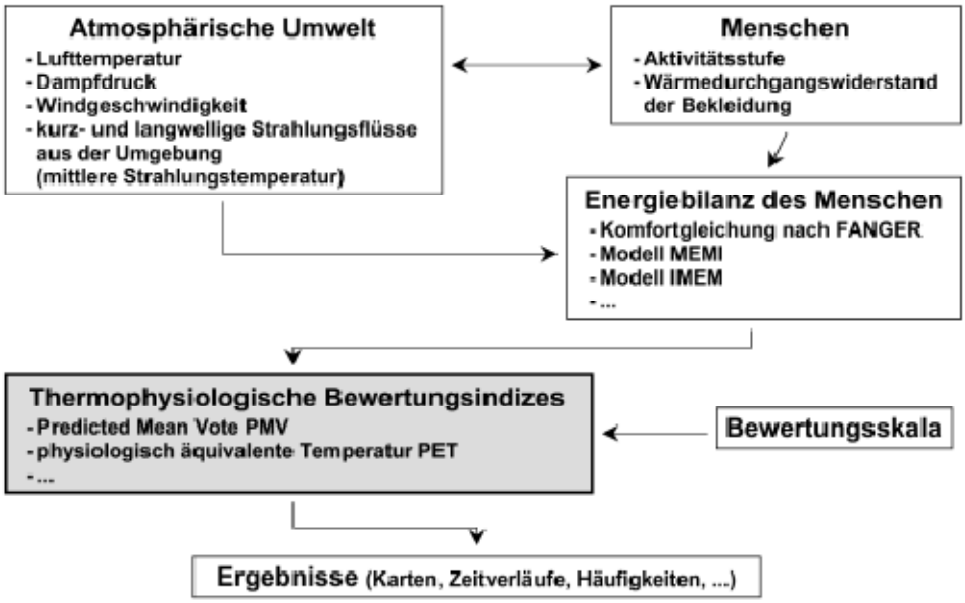


Abb. 3: Human-biometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Klimas (Mayer und Matzarakis 2003, S. 58)

5.3 Human-Biometeorologische Modelle

Im Folgenden werden moderne human-biometeorologische Indizes vorgestellt, welche auf Energiebilanzmodelle des Menschen basieren. Schon 1938 bemerkte Büttner, dass der menschliche Körper nur die integralen Effekte aller thermischen Parameter in seiner Umwelt aufnimmt. Dies fordert unumgänglich die Modellierung einer menschlichen Energiebilanz (Höppe 1999).

Das erste Energiebilanzmodell, die Behaglichkeitsgleichung wurde von Fanger (1972) entwickelt. Durch Weiterverarbeitung der Daten erhält man den thermischen Index Predicted Mean Vote (VDI 1998). Durch Koppelung der Behaglichkeitsgleichung mit kurz- und langwelligen Strahlungsflüssen entstand das für Freilandbedingungen geltende Klima-Michel-Modell (Jendritzky 1990). Weitere Human-Biometeorologische Indizes, wie die Standard Effektive Temperatur (SET*) und ihre Anpassung an Freilandbedingungen (OUT_SET*) oder die Gefühlte Temperatur (GT) wurden entwickelt. Der sich in der Entwicklung befindende Universal Thermal Climate Index (UTCI) soll alle Mechanismen des Wärmeaustauschs berücksichtigen und universell für alle Klimate, Regionen und Jahreszeiten anwendbar sein (Jendritzky, Maarouf und Staiger 2001).

5.3.1 Münchner-Energiebilanzmodell für Individuen (MEMI)

Das Münchner- Energiebilanzmodell für Individuen MEMI wurde für Innenraumbedingungen, das dynamische Modell IMEM für instationäre Bedingungen entwickelt. Es fliessen reale Werte, wie Hauttemperatur und Schweißrate in die Berechnung ein. Die Schweißrate wird sowohl durch die mittlere Hauttemperatur T_{sk} als auch die Kerntemperatur T_C berechnet und die Hitzeflüsse separat für bekleidete und unbekleidete Körperteile berechnet. Alter und Geschlecht fliessen bei der Berechnung der metabolischen Rate in das Modell ein (Mayer und Höppe 1987). Die Gleichung für den Wärmefluss vom Körperkern zur Haut F_{Cs} (Höppe 1999) lautet:

$$F_{cs} = v_b \cdot p_b \cdot c_b \cdot (T_c - T_{sk}) \tag{2}$$

mit

v_b	Blutfluss vom Körperinneren zur Haut ($l/s^1\, m^2$)
p_d	Blutdichte (kg/l)
c_b	spezifische Wärme

Der Wärmefluss von der Hautoberfläche durch den Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung l_{cl} ($K\ m^2/W$) zur Oberfläche (Höppe 1999) wird wie folgt berechnet.

$$F_{sc} = \frac{1}{l_{cl}} \cdot (T_{sk} - T_{cl}) \tag{3}$$

5.3.2 Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET)

MEMI bildet die Grundlage für den thermischen Indize Physiologisch Äquivalente Temperatur PET. Dafür wird das vorherrschende Bioklima in äquivalente Innenraumbedingungen verlagert, unter welchen derselbe thermische Zustand zu erwarten ist.

Mit dem Modell MEMI werden anhand vorherrschender Lufttemperatur, Wasserdampfdruck, Windgeschwindigkeit und mittlere Strahlungstemperatur die thermischen Bedingungen für den Menschen ausgerechnet. Danach werden die berechneten Werte der mittleren Hauttemperatur und Kerntemperatur, die festgelegten Parameter für das Innenraumklima in die Gleichung für Berechnung der Energiebilanz sowie des Wärmeflusses von der Hautoberfläche durch die Kleidung F_{SC} eingesetzt und nach der Lufttemperatur aufgelöst.

Als Innenraumbedingungen wurde angenommen, dass die Strahlungstemperatur dieselbe wie die Lufttemperatur ist, die Windgeschwindigkeit 0.1 m/s und der Wasserdampfdruck 12 hPa bei T_a= 20 °C und RH = 50 % beträgt. Die metabolische Grundrate wurde auf 80 W und die Bekleidungsstärke auf 0.9 clo festgesetzt.

Damit ist PET die Tempertatur, bei der Haut- und Kerntemperatur des Menschen und seine Schweißrate dieselben sind wie im Freien und die Energiebilanzgleichung ausgeglichen ist (Mayer und Höppe 1987).

Als Einheit der PET wurde zur erleichterten Handhabung Grad Celsius gewählt. Somit kann sich jeder vorstellen, dass PET Werte entsprechend dem Raumklima von 20 °C komfortabel sind.

Tab. 2: Zuordnung der PET Intervalle zum thermischen Empfinden und der thermophysiologischen Belastungsstufe von Menschen bezogen auf eine metabolische Rate von 80 W und Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung von 0.9 clo (Mayer und Matzarakis 1999, S.114)

PET (°C)	**Temperaturintervall (°C)**	**Thermisches Empfinden**	**Thermophysiologische Belastungsstufe**
-10	≤ -10	max. negative PET	extreme Kältebelastung
0	-10 bis 0	extrem kalt	starke Kältebelastung
4	0 bis 4	sehr kalt	mäßige Kältebelastung
8	4 bis 8	kühl	schwache Kältebelastung
13	8 bis 13	leicht kühl	keine thermische Belastung
18	13 bis 18	behaglich	schwache Wärmebelastung
23	18 bis 23	leicht warm	mäßige Wärmebelastung
29	23 bis 29	warm	starke Wärmebelastung
35	29 bis 35	heiß	extreme Wärmebelastung
41	35 bis 41	sehr heiß	

5.4 Das Modell RayMan

Das Modell RayMan (Radiation on the human body) wurde am Meteorologischen Institut in Freiburg entwickelt (Matzarakis et al. 2007). Damit kann die mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} in urbanen Strukturen, das thermische Umfeld eines Menschen sowie verschiedene thermische Indizes berechnet werden.

Die meteorologischen Eingangsparameter sind Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Dampfdruck oder Relative Luftfeuchte und Globalstrahlung. Des Weiteren können Uhrzeit, Albedo, Abschattung und Hindernisse, sowie *Sky view factor* angegeben werden und die geographische Länge und Breite, Höhe und Zeitzone anhand eines *location file* eingelesen werde. Als Standard wird für die Albedo 20 % und für das Bowen -Verhältnis 0.5 angegeben.

Die personenbezogenen Daten werden standardgemäß mit 1.75 m Größe, 75 kg, 35 Jahre, männlich mit einer Aktivität von 80 W und einem Wärmedurchgangswiderstand der Bekleidung von 0.9 clo und angegeben. Diese entspricht einem leichten Anzug, während der Wärmedurchgangswiderstand einer mitteleuropäischen Winterkleidung mit Mantel, Schal, Mütze und Handschuhe 1.75 clo beträgt (VDI 1998).

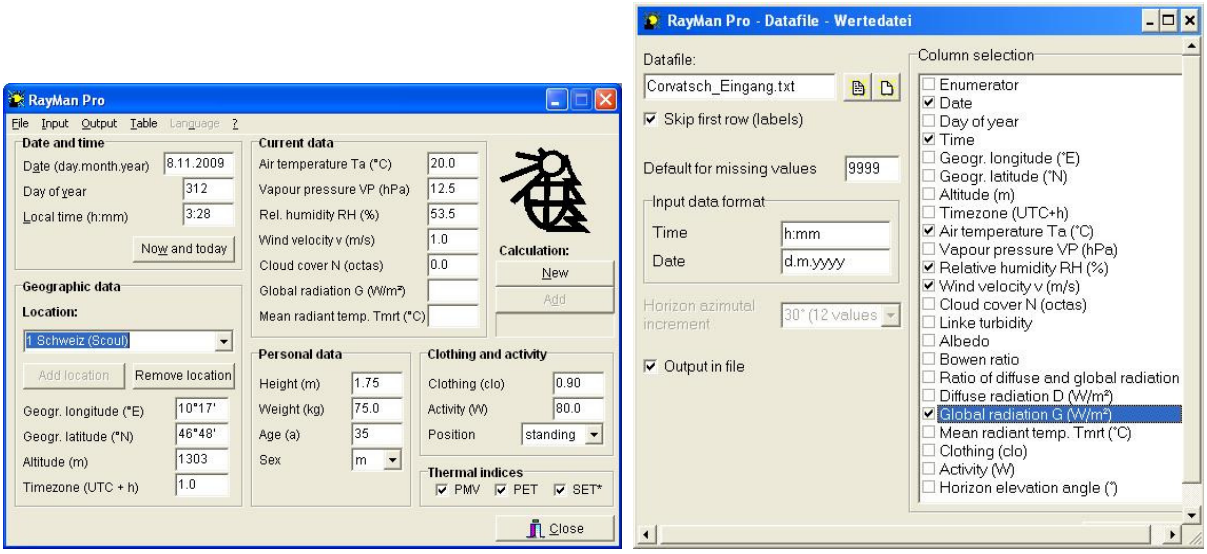


Abb. 4: Oberfläche (links) und Einlesemenü (rechts) des Modells RayMan.

5.5 Climate Tourism Information Scheme

Das Climate Tourism Information Scheme (CTIS) (Matzarakis et al. 2007) ist ein Programm zur Häufigkeitsdarstellung verschiedener bioklimatischer Faktoren. Das Ziel dabei war, ein für Touristen einfach zu lesendes Informationsschema über die thermische Beschreibung eines Gebiets zu erstellen. Die klimatischen und bioklimatischen Parameter werden anhand Häufigkeitsverteilungen und Schwellenwerte unter Einbezug der thermischen, physischen und ästhetischen Facetten der Tourismusklimatologie analysiert. Der Leser kann sich informieren mit welcher Wahrscheinlichkeit seine gewünschten Bedingungen vorzufinden sind.

Tab. 3: Beschreibung der Parameter und ihrer Schwellenwerte, wie sie im CTIS dargestellt werden.

Parameter	**Schwellenwert**	**Autor**
Extreme Kältebelastung	PET < 0 °C	Mayer und Matzarakis (1999)
Thermische Behaglichkeit	18 °C < PET < 29 °C	Matzarakis (2007)
Wärmestress	PET > 35 °C	Matzarakis und Mayer (1996)
Bewölkung	Bewölkung < 5/8	Gómez Martín (2004)
Windig	v > 8 m/s	Gómez Martín (2004)
Regen	RR > 1 mm	Matzarakis (2007)
Langer Regen	RR > 5 mm	Matzarakis (2007)
Skifahrpotenzial	Schnee > 30 cm	Uhlmann et al (2009), OECD (2007)

5.6 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.

5.7 Klimamodelle

5.7.1 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 A1Fl-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 A1Fl-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 CO_2 -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 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 CO_2, Methan CH_4, Distikstoffoxide N_2O, Ozon O_3, Flourchlorkohenwasserstoffe CFCs, Sulfataerosole SO_4 und durch Oxidation in der Atmosphäre entstandene SO_2 den zeitlichen Verlauf der Konzentrationen (Jacob et al. 2008).

5.7.2 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.

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.

Unter Annahme sieben unterschiedlicher Emissionsszenarien sagt der IPCC Bericht AR4 eine mittlere globale Erwärmung zwischen 1.4 °C und 5.8 °C voraus.

5.7.3 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).

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)

6. UNTERSUCHUNGSMETHODIK

6.1 Untersuchungsgebiet

6.1.1 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 km^2, im Unterengadin 3,1 km^2 und im Bernina Massiv 84.8 km^2. 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.

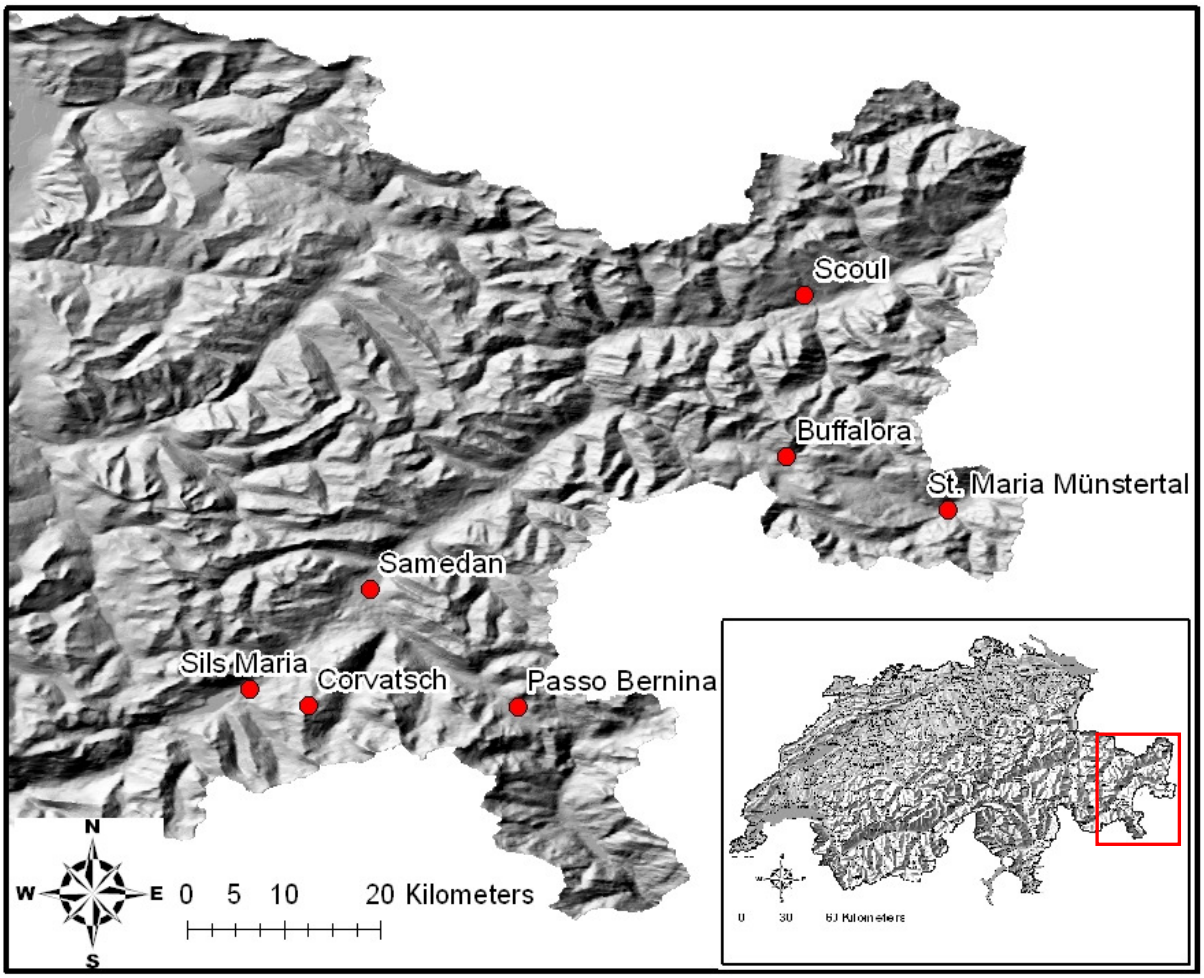


Abb. 5: Karte des Engadins. Eingezeichnet sind die Standorte der Messstationen der MeteoSchweiz.

6.1.2 Geologie

Von Maloja bis Sils Maria ist die oberpenninische ophiolithführende Platta-Decke mit Sedimentzügen, die Margna-Decke zu finden. Von Sils an talabwärts folgen die Ostalpinen Decken. Sie sind das höchste Bauelement der Alpen und deshalb kaum oder nur schwach metamorph. Sie bestehen aus dem Grundgebirge und Sedimenten der adriatischen Platte, vor allem aus Dolomit- und Kalkschichten der Trias. Die ostalpinen Decken werden in Oberostalpin und Unterostalpin eingeteilt. Zur Unterostalpinen Decke gehören die Julier-Err-Bernina-Decken, wobei die Err-Decke sowohl östlich als auch westlich von der Engadiner Linie verläuft. Sie ist während der variszischen Gebirgsbildung im Karbon und Perm entstanden. Das Kristallin besteht aus Gneise, Glimmergneis, Glimmerschiefern, Amphibolite, Diorite, Tiefengesteine, wie Granite, Syenite und Gabbros aber auch

vulkanische Gesteine sind vorzufinden. Dazwischen sind mesozoische Sedimente eingefaltet (Bsp. Aluv-Zug des Bernina Massivs).

Die Unterostalpine Decke beginnt ab Sils Maria und endet an der Linie Albula-Pontresina, wo sie von der talabwärts reichenden Oberostalpinen Decke überlagert wird.

Das kristalline Oberostalpin beginnt hier mit der Languard Decke, welche ein Teil der Campo-Decke ist. Sie besteht hauptsächlich aus Glimmerschiefer, Amphibolite und Gneise. Es folgt die zur oberostalpinen Sedimentdecke gehörenden Scarl Decke, welche schmaler wird, aber bis fast Nauders reicht. Sie besteht hauptsächlich aus Dolomit, Verrucano, Mergel und Rauhwacken.

Der Err-Decke folgt am Albulapass die oberostalpine Elladecke aus Sedimenten der Trias und Jura. Die Silvretta-Decke aus Amphibolite, Ortho- und Para- und Mischgneise schließt daran an und rahmt das Unterengadin und das Engadiner Fenster ein.

Das durch Erosion entstandene Engadiner Fenster erstreckt sich in von Guarda bis Prutz (Tirol). Zwischen Silvretta und Ötztaler Decke ist im Fensterinneren Bündnerschiefer sichtbar geworden, aber auch Unterostalpin (Tsna-Decke) und Ophiolithe. Zahlreiche Mineralquellen entspringen im Bereich der einfallenden Achsen des Engadiner Fensters, in Scoul Tarasp im Südwesten und Obladis und Prutz im Nordosten.

Südöstlich von Scoul grenzt die kristalline Öztal-Decke an das Engadiner Fenster (Amt für Natur und Umwelt Graubünden).

Das Tal ist durch die Engadiner Linie entstanden und wurde stark glazial überprägt.

6.1.3 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. 4: Übersicht über folgende meteorologische Parameter an verschiedenen Stationen im Untersuchungsgebiet: Mittlere Lufttemperatur (T_a), 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

6.2 Tourismus

Der Tourismus in der Schweiz begann mit römischem Badetourismus vor rund 2000 Jahre. Im Mittelalter entwickelten sich mit dem Aufkommen von Erholungskuren Heilbäder und touristischen Zentren, auch Universitäten zogen Reisende an. Immer mehr Touristen kamen auf der Suche nach Naturerlebnissen in die Alpen. Wachsender Wohlstand durch die Industrialisierung sowie die Erschließung des Gebiets mit der Eisenbahn kurbelte den Tourismus weiter an. Der Wintertourismus wurde in der Zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts entdeckt, die Infrastruktur, wie Beförderungs- und Beherbergungsangebote ausgeweitet. Rückschläge erfuhr der Schweizer Tourismus im ersten Weltkrieg, im Zuge der Weltwirtschaftskrise 1931 und im zweiten Weltkrieg. Immer wieder durch Rückläufe geprägt, nahm der Tourismus bis zu den absoluten Rekordjahren 1990/1991 zu. Der Tourismus hat klaren saisonalen Charakter, wobei eine Verlagerung von der Sommer (Juli-September) in die Wintersaison (Januar – März) stattfindet (Schweizer Tourismus-Verband 1999).

6.2.1 Tourismus im Oberengadin

Im Oberengadin fand man bei einer Ausgrabung Reste einer Quellfassung aus der Bronzezeit. Ab dem Spätmittelalter entwickelte sich der erste Bädertourismus und kam nach zwischenzeitlichem Erliegen im 18. Jahrhundert wieder auf.

Nachdem in St. Moritz 1815 weitere Quellen entdeckt wurden, wurde 1831 ein Kurhaus und 1932 das erste Gasthaus gebaut. 1853/54 erfolgte die Gründung der „Heilquellengesellschaft St. Moritz“ und 1859 konnte man schon 450 Kurgäste verzeichnen. Im Jahre 1878 leuchtete zum ersten Mal elektrisches Licht in St. Moritz. Im derselben Zeit begann auch der Wintertourismus und so folgte der erste Eislaufwettbewerb, der Bau der ersten Curling Bahn, 1884 begann der Bau der Celerina Bobbahn, 1889 wurde das erste Golftunier der Alpen ausgetragen, 1893 der erste Skiwettbewerb und 1904 die Eröffnung der Skisprungschanze. In der Zwischenzeit entwickelte sich St. Moritz vom bäuerlich geprägten Ort mit 400 Einwohnern 1879 zu einem städtisch mondänen Kurort mit 3968 Einwohnern in den 1930er Jahren. Der Tourismus wurde durch die Erschließung Engadins mit der Bahn 1903 bis Bever sowie dem Bau der ersten Bergbahn Mouttas-Muragl, welcher weitere folgten angekurbelt. 1914 wurde der erste Nationalpark der Alpen und Mitteleuropas um Zernez gegründet um der Gefahr der Naturzerstörung entgegensteuern zu können.

In St. Moritz fanden 1928 und 1948 die olympischen Spiele statt, sowie etliche Skiweltmeisterschaften.

Abb. 6: Das Logo von St. Moritz. (www.stmoritz.ch)

Die Sonne wird schon seit den 1930er Jahren als Merkenzeichen auf dem Logo und Werbeprospekten von St. Moritz benutzt und 1937 rechtlich geschützt. Sie steht für die 322 Sonnentage im Engadin. Das Symbol der Sonne fließt auch in das heutige Logan, „Diese Berge. Diese Weite. Dieses Licht.“ ein. Heute leben 5500 Einwohner in St. Moritz, auf welche 4500 Arbeitsplätze, davon 3758 im dritten Sektor kommen. St. Moritz bietet 5634 Betten in 40 Hotels, von welchen 40 % mit vier bis fünf Sternen ausgezeichnet sind, 7500 Betten in der Parahotellerie und 190 Betten in Jugendlagern. Es werden etwa 860 000 Übernachtungen pro Jahr verbucht.

6.2.2 Unterengadin

Die schon 1572 erwähnten Mineralquellen, die Landschaft und das gute Klima sind die Grundlagen für den Kurbetrieb und den Tourismus in Scoul-Tarasp-Vulpera. Mit dem 19. Jahrhundert nahmen Kuraufenthalte immer mehr zu, gefördert durch den Ausbau der Straße durch das Engadin 1860 und über den Flüelapass 1866/67, sowie dem Bau der Bahnlinie 1913. In dieser Zeit wurden auch die meisten Hotelanlagen gebaut. Der Tourismus erlitt auch hier Einbrüche während den Weltkriegen, auch der Kurbetrieb ging durch Einführung neuer Medizin zurück. So wurde 1955 im Unterengadin die erste Bergbahn gebaut und der Tourismus um die Wintersaison verlängert. 2008 leben in Scoul 2313 Einwohner, von welchen zwei Drittel noch die örtliche Amtssprache rätoromanisch sprechen. Das Gastgewerbe mit 23 % aller Beschäftigten kann 24 Hotels mit 1200 Betten, 8 Touristenlager mit 370 Betten und 350 Ferienwohnungen mit 2450 Betten, sowie ein Campingplatz vorweisen. Die Anzahl der jährlichen Logiernächte schwanken zwischen 390000 und 470000

und teilt sich im Verhältnis 50:50 auf Sommer und Winter, sowie 45:55 auf Hotel- und Parahotellübernachtungen auf.

Die Engadiner Gemeinden haben sich zu verschiedenen Tourismusdestinationen zusammengeschlossen: die Tourismusdestination Engadin St. Moritz und die Nationalparkregion Engadin Scoul. Zusätzlich wurde das Region-Plus Projekt La Regiun mit dem Schweizerischen Nationalpark als Kernprodukt des Marketings gegründet. Darin sind die Regionen Unterengadin/Samnaun, die Val Müstair sowie la Plaiv vereint. La Plaiv bestehend aus den Gemeinden La Punt, Madulain, Zouz, S-chanf und Zernez, präsentiert sich zusätzlich unter dem Slogan „das andere Engadin“ als ruhige, traditionelle, aber aktive Kontrastregion zu St. Moritz mit familienfreundliche Atmosphäre.

6.2.3 Tourismus im Klimawandel

Heute gelten 91 % der insgesamt 666 alpinen Skigebiete als schneesicher, das heißt es liegt an 100 Tagen mindestens 30 cm Schnee. Bei 2 °C Erwärmung würden in der Schweiz noch 80 % der Skigebiete schneesicher sein, in Frankreich 65 %, in Italien 68 %, in Österreich 50 % und in Deutschland 13 % der Skigebiete (OECD 2007).

Infrastrukturanlagen werden zunehmend durch Extremereignisse gefährdet. So wird mit erhöhter Steinschlag und Felssturzaktivität im Sommer durch das Auftauen von Permafrostböden, Murengänge und Überschwemmungen durch Starkniederschläge sowie größerer Lawinengefahr und Eisstürze und Eislawinen im Winter gerechnet (OcCC 2008, BMU 2008).

Verlust an Attraktivität der Landschaft durch Gletscherrückzug. Von 1850 bis 2000 haben die alpinen Gletscher 50 % ihrer Fläche eingebüßt. Bei einer Erwärmung der Sommertemperatur von 3 °C würde die Gletscherfläche noch 10 % der Fläche von 1850 betragen (BMU 2008). Alleine 2003/04 verringerte sich die Fläche um 10 % (OcCC 2008). Im Oberengadin wird der Rückgang der Gletscher von 53 km^3 1973 auf 20 km^2 2050 bei einem Lufttemperaturanstieg um +1.6 °C und um weitere 50 % bis zum Ende des Jahrhunderts erwartet. Bis 2050 soll die Gleichgewichtslinie um 229 m ansteigen, bis 2100 um 429 m (Tab. 5). Dadurch kommt es zu Attraktivitätsverlust in der Region.

Tab. 5: Die im Projekt GISALP verwendeten Lufttemperatur-, Gleichgewichtslinien-Anstiegsszenarien, sowie modellierte Entwicklung der Gletscherflächen im Oberengadin, ausgehend von den 45 größten Gletschern im Jahr 1973 (Rothenbühl. 2006, S.99-100), verändert.

Jahr	**Temperaturanstieg**	**Anstieg der Gleichgewichtslinie**	**Gletscherfläche (km^2)**
1973			53
2025	+0.7 °C	+100	32
2050	+1.6 °C	+229	20
2075	+2.5 °C	+350	13
2100	+3.0 °C	+429	10

Das Engadin wird aufgrund der höher gelegenen Skistationen weiterhin relativ schneesichere Bedingungen aufweisen können, was durch eine verbesserte Konkurrenzsituation sich zum Vorteil entwickeln könnte. Allerdings kann das Auftreten von Wärmeperioden, Niederschlagsextremen und Naturgefahren ein negatives Image entstehen lassen.

Im Sommer könnte die Tourismusindustrie aufgrund Attraktivitätszunahme, durch die im Engadin anzutreffenden „Sommerfrische“ im Gegensatz zu der klimatische Veränderungen in Konkurrenzgebieten, wie dem Mittelmeer, mit einem Anstieg der Touristen rechnen.

6.3 Datengrundlage

Die MeteoSchweiz stellt über das Datenportal IDAWEB, welches die verfügbaren Daten aller Stationen in unterschiedlicher Auflösung enthält, zur Verfügung. Die Datensätze sind so zwar von der MeteoSchweiz automatisch geprüft, aber nicht zwingend homogenisiert. Aufgrund der Datenverfügbarkeit konnte die PET für viele Stationen der Stationen im Engadin erst ab 1981 gerechnet werden, weshalb der Zeitraum einer Klimanormalperiode nicht eingehalten werden konnte. 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. 6).

Tab. 6: Die Lage und Höhe der Wetterstationen der MeteoSchweiz im Engadin und Val Müstair.

Station	**Länge**	**Breite**	**Höhe ü. NN (m)**
Buffalora	10°16'	46°39'	1970
Bever	9°53'	46°33'	1710
Passo del Bernina	10°01'	46°25'	2307
Piz Corvatsch	9°49'	46°25'	3315
Samedan	9°53'	46°32'	1708
Scoul	10°17'	46°48'	1303
Sils Maria	9°46'	46°26'	1798
Sta. Maria	10°25'	46°36'	1390

Für den Vergleich zwischen REMO Modelldaten und Messdaten wurden zusätzlich die Daten einer Station der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL im Gebiet Il Fuorn verwendet. Das CLM Modell wird exemplarisch im Datenvergleich zwischen Messdaten und Modelldaten behandelt.

Das als realistisch eingeschätzte A1B sowie das B1 Szenario des REMO-Modells bilden für die folgende Arbeit die Datengrundlage für den Zeitraum 1961-2100. Als meteorologische Parameter pro Gitterpunkt werden Lufttemperatur, Niederschlag, Dampfdruck, Wind, Globalstrahlung, Schneehöhe, Änderung der Schneetiefe und der Schneefall angegeben und der jeweilige Gitterpunkt durch geographische Länge und Breite, sowie der Höhe über NN definiert.

6.4 Datenbearbeitung

6.4.1 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 °C / 100 m zu verwendet[4].

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

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

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

6.4.2 Berechnung der Physiologisch Äquivalenten Temperatur

PET im Zeitraum 1981 - 2000 wird auf der Grundlage der 14 Uhr Messdaten der MeteoSchweiz berechnet. Die Eingangsgrößen sind Lufttemperatur, Relative Luftfeuchte, Wind und Globalstrahlung. Der Standort Sils Maria bildet aufgrund der Datenverfügbarkeit eine Ausnahme. So müssen die Messdaten von 12 Uhr und der Grad der Bewölkung anstatt der Globalstrahlung für die Berechnung der PET genommen werden.

Probleme bereiten viele Datenlücken, Verlagerungen von Stationen, Beginn der Globalstrahlungsmessung an einigen Stationen erst ab 1981, sowie uneinheitliche zeitliche Auflösung der Messzeitpunkte. Deshalb wird der Zeitraum 1981 - 2000 für die Darstellung der PET und CTIS benutzt.

Für die Häufigkeitsdiagramme wurde das Spektrum der PET in Klassen nach Endler, Oehler und Matzarakis (2009) unterteilt (Tab. 7).

[4] www.mpimet.mpg.de/.../staff/.../REMO.../REMO-UBA-Hinweise.pdf

Tab. 7: PET-Klassen mit dazugehörigen Temperaturbereichen (Endler, Oehler und Matzarakis 2009, S.4).

Temperaturbereich (°C)	**PET Klasse**
< -10	PET minimal
-10.0 - 0.0	extrem kalt
0.1 - 4.0	sehr kalt
4.1 - 8.0	kalt
8.1 - 13.0	kühl
13.1 - 18.0	leicht kühl
18.1 - 23.0	behaglich
23.1 - 29.0	leicht warm
29.1 - 35.0	warm
35.1 - 41.0	heiß
> 41	sehr heiß

6.4.3 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.

6.4.4 Berechnung der Schneehöhe

Die Schneehöhe wird im REMO Datensatz als Wasseräquivalent SWE in kg/m^2 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/m^3 bei Wildschnee über 300-500 kg/m^3 bei Nassschnee bis zu 500-830 kg/m^3 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) benutzt (Tab. 8).

Tab. 8: 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).

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

7. ERGEBNISSE

7.1 Vergleich der Daten der MeteoSchweiz Messstationen mit REMO und CLM Modelldaten

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. 9). 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. 12).

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. 12).

Tab. 9: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Buffalora.

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 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

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. 10). 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. 10). Hier beträgt der RMSE der monatlichen Niederschlagssummen bei beiden Modellen 51 mm, der Jahressummen 265 mm (REMO) und 280 mm (CLM) (Tab. 12).

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. 10).

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. 11). 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. 12).

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. 11). 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. 11).

Tab. 10 : Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Scoul.

Scoul	**1961 - 90**			**1998 - 2008**		
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 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. 11: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für 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 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. 13). 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. 12).

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. 13). 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. 12: 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.

Station		**Niederschlag (mm)**			**Lufttemperatur (°C)**		
		Tages-summe	Monats-summe	Jahres-summe	Tages-mittel	Monats-mittel	Jahres-mittel
Buffalora	**REMO**	7	53	282	7.2	4.9	4.1
	CLM	7	111	512	5.9	2.7	1.0
Scoul	**REMO**	7	51	265	5.7	2.7	0.8
	CLM	6	51	380	7.4	5.8	4.6
Sils Maria	**REMO**	8	68	222	5.4	2.8	1.2
	CLM	9	77	405	5.8	4.1	2.4
Sta. Maria	**REMO**	7	51	65	5.6	2.8	1.2
	CLM	7	59	461	7.1	5.2	4.5

Tab. 13: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Santa 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 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

7.2 Meteorologische Parameter an ausgewählten Stationen

7.2.1 Physiologisch Äquivalente Temperatur

PET für den Zeitraum 1981 - 2000 wurde auf der Grundlage von Messdaten um 14 Uhr von der MeteoSchweiz berechnet, die PET für die Zeiträume 1961 - 90, 2021 - 2050 und 2071 - 2100 mit den REMO Modelldaten unter Verwendung des A1B und B1-Szenario.

Die mittlere jährliche PET für den Zeitraum 1981 - 2000 auf dem 3300 m hohen Corvatsch beträgt -7.1 °C, in Sils Maria 0.7 °C, in Samedan 2.4 °C, auf Buffalora 3.7 °C und in Scoul 7.8 °C. Die Spannweite der PET reicht von -62 °C auf dem Corvatsch und 31 °C in Scoul und Sils Maria (Tab. 14).

Tab. 14: Meteorologische Schwellenwerte auf der Basis von PET für den Zeitraum 1981 - 2000 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	3.7	-7.1	2.4	7.8	0.7
maximale PET	PETmax (°C)	28.0	27.0	25.0	31.0	31.0
minimale PET	PETmin (°C)	-25.0	-62.0	-33.0	-34.0	-44.0
Kältestress	PET < 0 (d)	155	225	138	80	155
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	35	21	18	72	10
Wärme	PET > 25 (d)	1	1	0	8	1

Tab. 15: Meteorologische Schwellenwerte auf der Basis von PET für den Zeitraum 1961 - 90 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	3.5	-3.4	1	3.4	1.2
maximale PET	PETmax (°C)	35.8	28.4	31.6	36	31.9
minimale PET	PETmin (°C)	-26.7	-33.6	-28.9	-27	-28.8
Kältestress	PET < 0 (d)	157	221	181	158	179
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	69	14	44	69	47
Wärme	PET > 25 (d)	7	0	2	8	2

Um die Entwicklung der PET besser abschätzen zu können, wurde diese auf der Datengrundlage der REMO Daten für die Klimanormalperiode 1961 – 90 berechnet (Tab. 15). Ähnlich wie bei der Lufttemperatur wird die PET für die höher gelegenen Stationen Sils Maria und Piz Corvatsch überschätzt und für die niedriger gelegenen Stationen unterschätzt. Maximale und Minimale PET fallen zu hoch aus. Der Kältestress wird in Samedan, Scoul und Sils Maria stark überschätzt, in Scoul gar um 50%. Außer auf dem Piz Corvatsch werden an allen Stationen die Anzahl der Tage mit thermischer Behaglichkeit und Wärme überschätzt.

Die REMO Modelldaten zeigen unter Verwendung des A1B Szenarios zwischen den Zeiträumen 1961 - 90 und 2021 - 50 eine Erwärmung der mittleren PET um 1.4 °C. Die Anzahl der Tage mit PET über 25 °C steigt um 5 Tage auf Buffalora, um 2 in Samedan, 7 in Scoul und um 3 Tage in Sils Maria. Dagegen geht die Anzahl an Tagen mit PET unter 0 °C um 9 Tage auf Buffalora und in Scoul, 15 Tage auf dem Piz Corvatsch und um 10 in Samedan und Sils Maria zurück (Tab. 16).

Tab. 16: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2021-50 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, A1B.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	4.2	-2.2	2.4	4.9	2.6
maximale PET	PETmax (°C)	36.0	27.9	32	34.5	34
minimale PET	PETmin (°C)	-28.2	-34.2	-29.9	-27.7	-29
Kältestress	PET < 0 (d)	155	210	171	148	169
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	51	13	38	56	42
Wärme	PET > 25 (d)	10	0	4	14	5

Die PET wird von 1961 - 90 bis Ende des Jahrhunderts um 5 °C und von 2021 - 50 bis 2071 - 2100 um 3 °C steigen. Im Oberengadin werden Tage mit Wärmestress, welche im Zeitraum 1981 - 2000 nie vorkamen, auf 9 % im Zeitraum 2071 - 2100 ansteigen (Tab. 17). Auch die Anzahl an Tagen mit thermischer Behaglichkeit wird von 4 % auf 11 % im Zeitraum 2021 - 50 und nochmals um 13 %-P bis 2071 - 2100 ansteigen.

Im Unterengadin verringert sich innerhalb des Zeitraums 2021 - 2050 zu 2071 - 2100 die Anzahl an Tagen mit Kältestress um 8 %-P. Tage mit Wärmestress sollen zum Ende des Jahrhunderts zu 11 % vorkommen.

Tab. 17: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2071 - 2100 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, A1B.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	7.7	1.3	5.9	8.4	6.2
maximale PET	PETmax (°C)	39.4	34.1	38.8	42.5	39.3
minimale PET	PETmin (°C)	-21.9	-28.8	-23.7	-20.4	-23.8
Kältestress	PET < 0 (d)	131	184	221	124	146
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	80	44	109	80	75
Wärme	PET > 25 (d)	36	4	35	42	29

Die Häufigkeit des Vorkommens der 11 PET-Klassen (Tab. 7) von extremer Hitzebelastung zu extremer Kältebelastung wurde in monatlicher Auflösung für die Zeiträume 1981 - 2000 mit Messdaten der MeteoSchweiz und 1961 – 90, 2021 - 2050 und 2071 - 2100 mit REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B und B1 Szenario berechnet.

Im Zeitraum 1981 - 2000 treten auf Buffalora die PET-Klassen von PET unter -10 °C von Oktober bis April, bis zu „leicht warmen“ Bedingungen (23 °C < PET > 29 °C) auf. Im Januar um 14 Uhr beträgt die PET zu 95 % unter 0 °C, zu 38 % sogar unter -10 °C. Von Juni bis August treten mit einer Wahrscheinlichkeit von 30 % leicht kühle, zu 30 % behagliche und zu 10 % leicht warme Bedingungen auf. Im August treten die wärmsten Bedingungen, im Dezember die kältesten auf (Abb. 7).

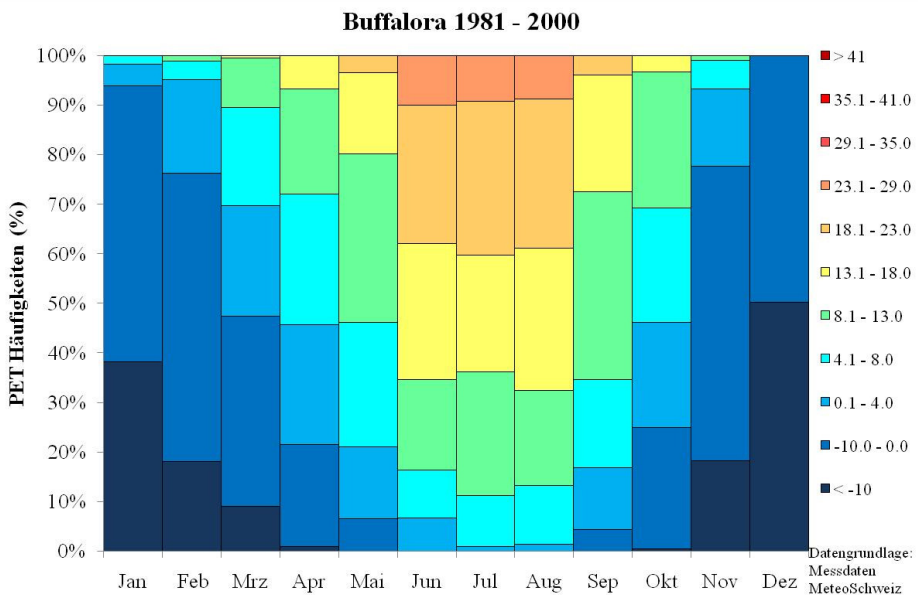


Abb. 7: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz.

Die Häufigkeiten der PET Klassen unter Verwendung der REMO Daten für die Klimanormalperiode 1961 - 90 unterscheiden sich. Im Dezember und Januar steigt die PET nicht über 0 °C. In diesen beiden Monaten kommen zu 46 % und 53 % Temperaturen unter -10 °C vor. Minimale PET kann von Oktober bis April auftreten. Behagliche Temperaturen treten von April bis Oktober auf mit einer maximalen Wahrscheinlichkeit im Juli von 28 %. Von Juni bis September kann mit leicht warmen Verhältnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von über 10 % in Juli und August gerechnet werden (Abb. 8). Im Vergleich mit der Häufigkeitsverteilung auf der Grundlage der MeteoSchweiz Stationsdaten (Abb. 7) kann festgestellt werden, dass im Winter die Häufigkeit der PET unter -10 °C und unter 0 °C ganzjährig überschätzt wird. Im Juni wird der Temperaturbereich über 18 °C unterschätzt.

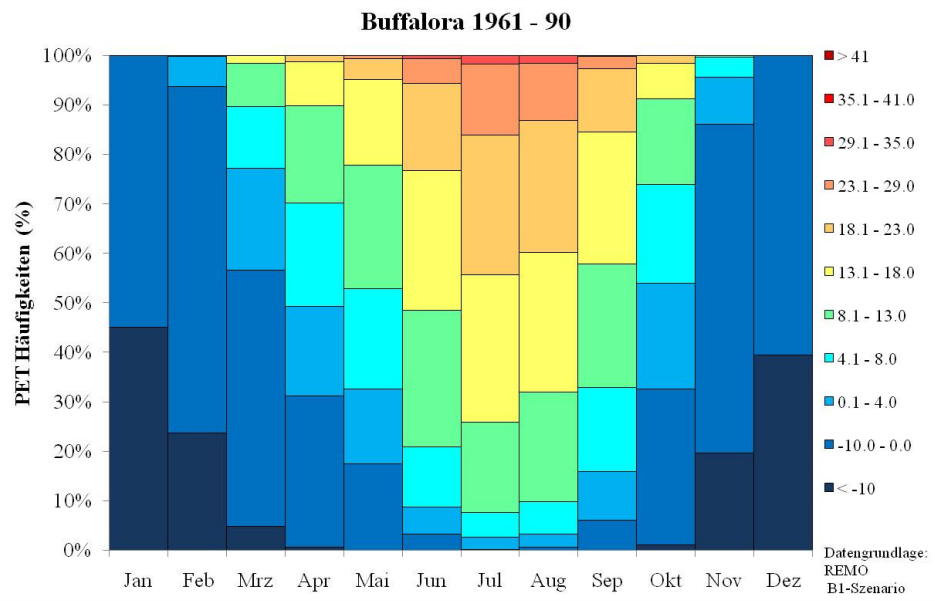


Abb. 8: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten.

In dem Zeitraum 2021 - 50 unter Verwendung des A1B-Szenarios treten erstmals von Juni bis September „warme“ (29 °C - 35 °C) auf (Abb. 9). Von Oktober bis März verringert sich laut der REMO Daten das Auftreten der PET unter -10 °C zugunsten des Bereichs 0 °C bis -10 °C. Im Januar reduziert sich das Auftreten der PET unter -10 °C um 10%, im November um 9 %. Im Februar treten erstmals Temperaturen über 0 °C auf. Die Anzahl der Tage mit leicht warmen (23.1 °C - 29 °C) und warmen Bedingungen (29.1 °C - 35 °C) steigen im Juli und August um 10 %, um welche sich die Wahrscheinlichkeit „leicht kühlen“, „kühlen“ oder „kalten“ PET verringert.

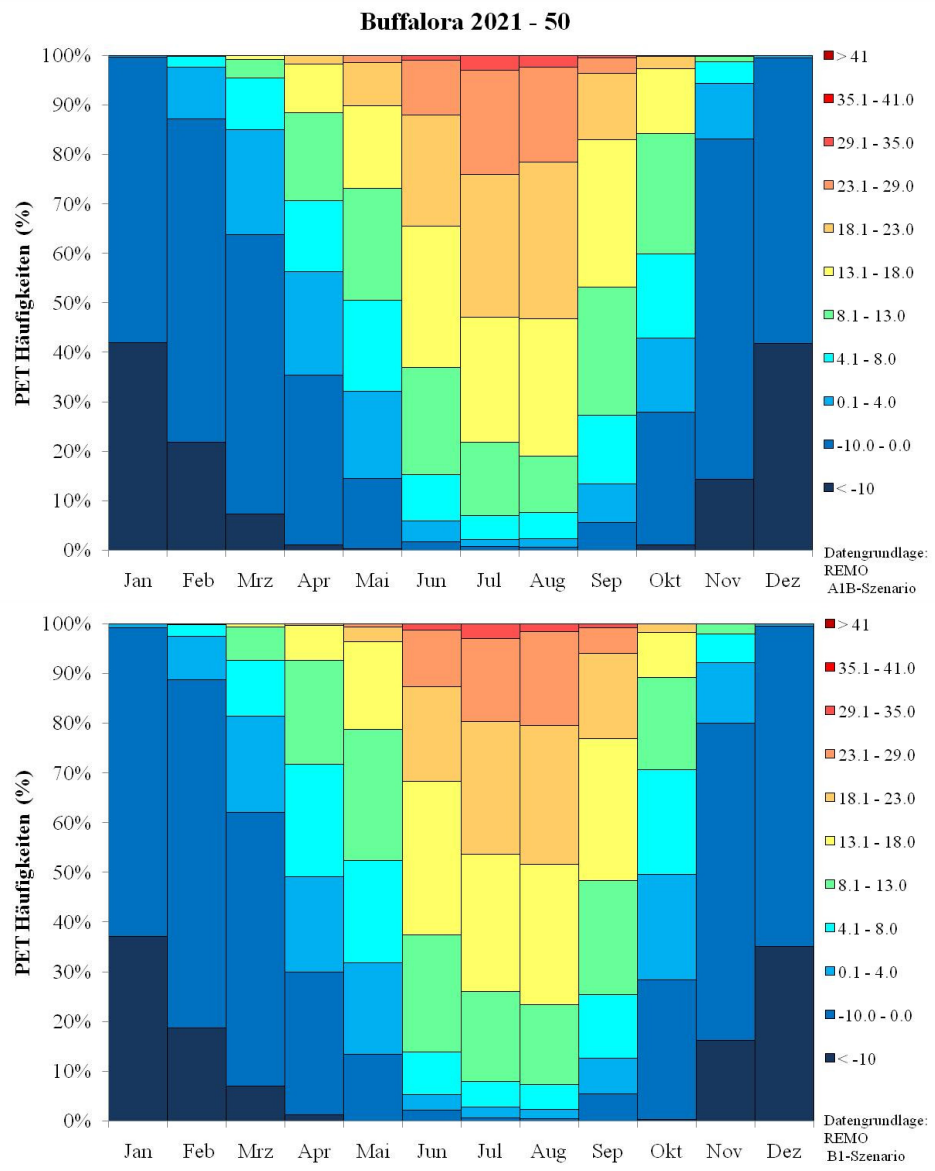


Abb. 9: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Zwischen den Zeiträumen 2021 - 50 und 2071 - 2100 sind die Änderungen noch ausgeprägter. Im Juli und August treten erstmals „heiße“ Bedingungen mit Werten von 35 °C – 41 °C auf. PET unter -10 °C treten im Zeitraum 2071 - 2100 nur noch von Oktober bis März zu einem maximalen Anteil von 20 % auf. Kühle Bedingungen kommen in 11 von 12 Monaten vor, behagliche Temperaturen können von April bis Oktober, statt in 5 Monaten im Zeitraum 1981 - 2000 genossen werden. Zwischen den Zeiträumen 2021 - 50 und 2071 - 2100 nimmt die Häufigkeit an Tagen mit PET unter 18 °C zugunsten der PET Klasse von 18 °C – 35 °C

ab. Im Zeitraum 2071 - 2100 steigt die Häufigkeit auf 30 % „behagliche“, 22 % „leicht warme“, sowie 7 % „warme“ Bedingungen (Abb. 10).

Im Jahresmittel geht die Häufigkeit des Vorkommens einer minimalen PET von 2021 - 50 auf 2071 - 2100 um die Hälfte zurück.

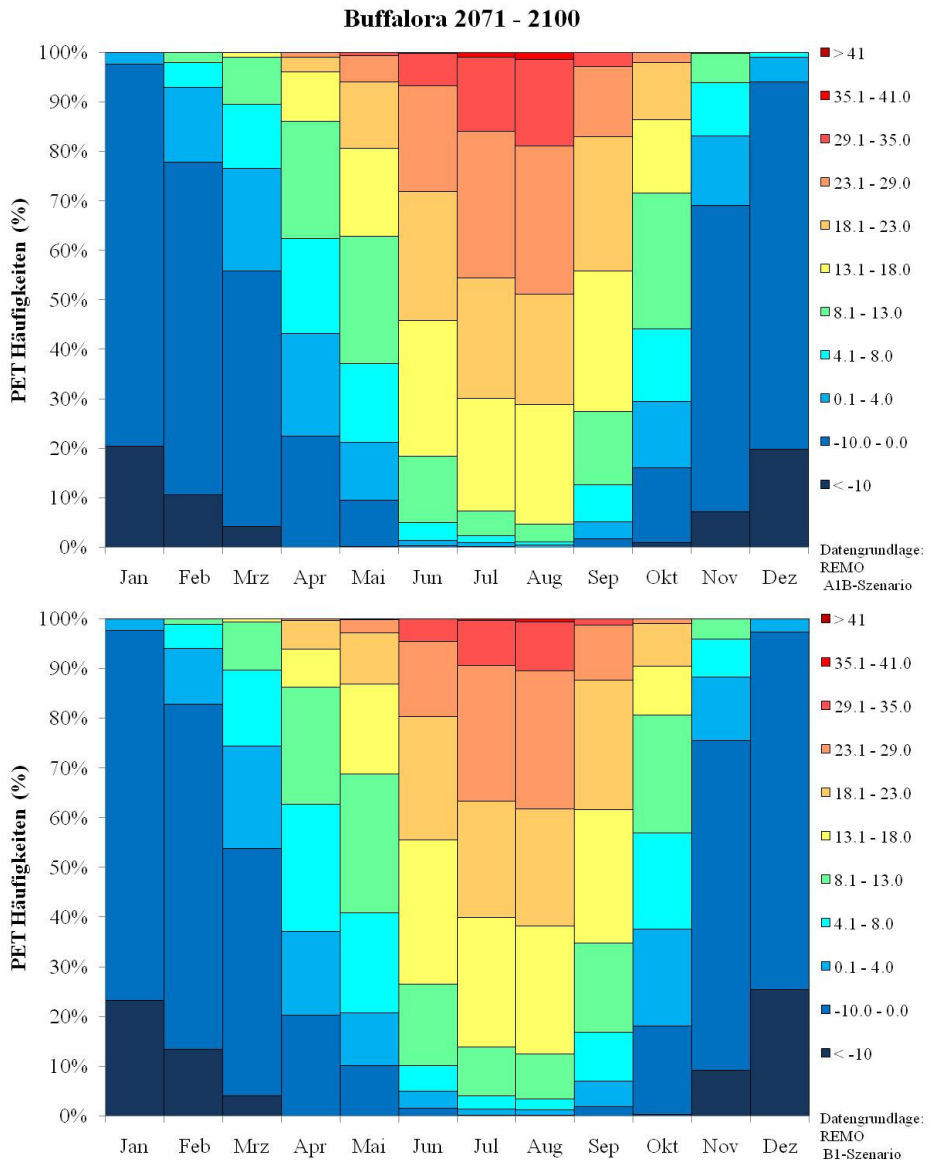


Abb. 10: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

In Scoul treten alle PET Klassen von unter -10 °C, welche von November bis April vorkommt, bis zu leicht warmen Bedingungen (23°C – 29°C) von Mai bis September auf. Der Anteil der minimalen PET unter -10 °C hat ihr Maximum im Dezember bei 22 %. Temperaturen unter 0 °C können von September bis Juni auftreten mit maximaler Häufigkeit von 68% im Dezember. Im Jahresmittel beträgt die Häufigkeit der PET unter -10 °C 23%, die Klassen von 8 °C - 13 °C und 13 °C - 18 °C jeweils 17%. Juli und August sind die wärmsten Monate mit einer Häufigkeit von 58 % und 61 % treten Temperaturen im behaglichen und leicht warmen Bereich auf, im September noch zu einer Wahrscheinlichkeit von 30 % (Abb. 11).

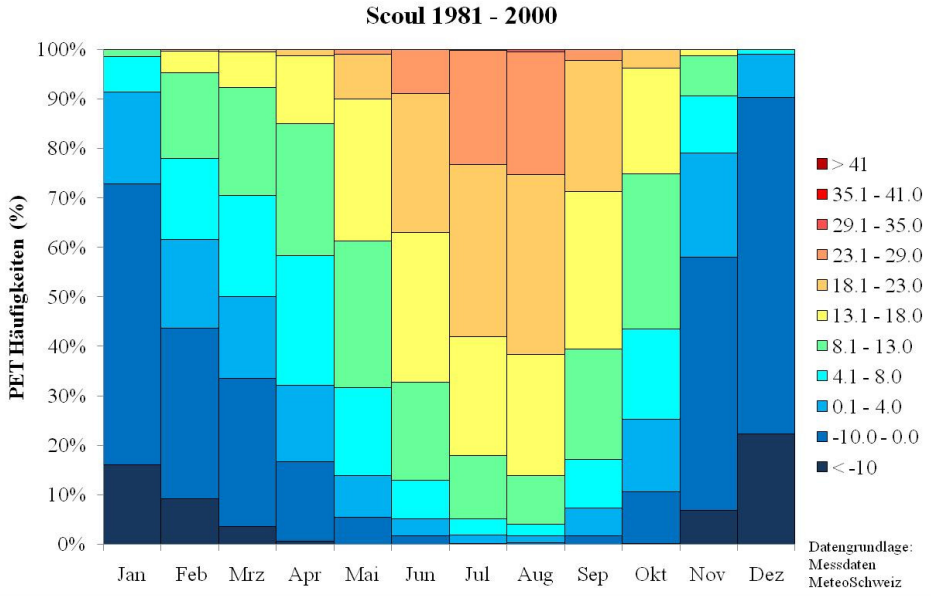


Abb. 11: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Scoul im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage: Messdaten der MeteoSchweiz.

In der Klimanormalperiode 1961 – 90 auf der Grundlage von REMO Daten treten die PET Klassen von unter -10 °C bis zu warmen Bedingungen auf. Im Dezember und Januar treten zu 100 % Temperaturen unter 0 °C auf, mit einem Anteil von 40 % und 45 % sogar unter -10 °C. Temperaturen unter 0 °C können das ganze Jahr über vorkommen. In den wärmsten Monaten Juli und August kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % Wärmebelastung auftreten. Thermisch optimale Bedingungen können von April bis Oktober mit einer mittleren Wahrscheinlichkeit von 13 % und einem Maximum im Juli zu 27 % vorkommen (Abb. 12).

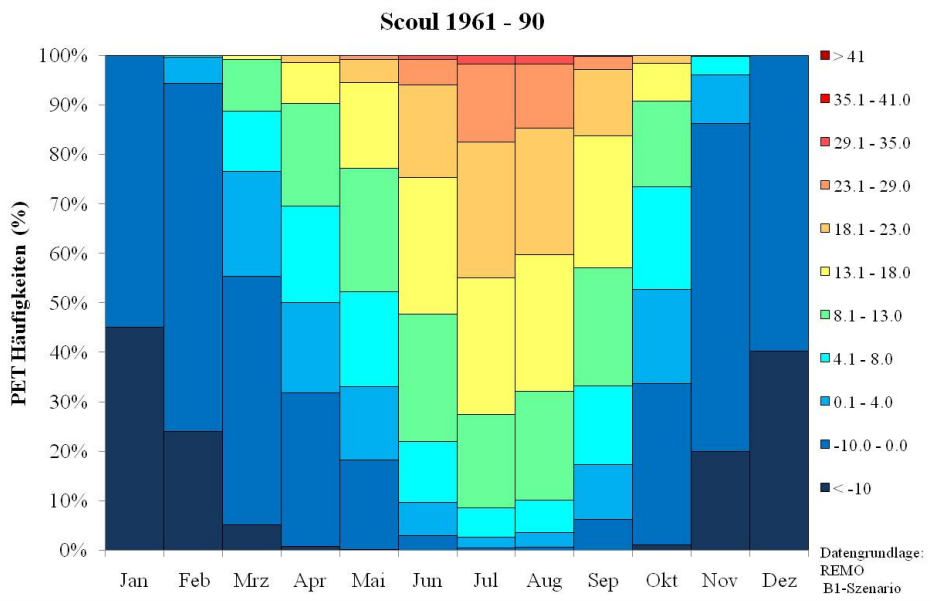


Abb. 12: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Scoul im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten

Zwischen den Zeiträumen 1961 - 90 und 2021 - 2050 nimmt unter Verwendung des A1B Szenarios im Mittel die Kältebelastung um 1% ab. Besonders auffällig ist die um 8 % geringere Wahrscheinlichkeit, dass Temperaturen unter -10 °C im November und Januar auftreten. Im Februar verringert sich der Anteil der Temperaturen unter 0 °C um 10 %. Im Mai nehmen die thermisch optimalen Bedingungen um 7 % zu. Des Weiteren steigt die Wahrscheinlichkeit von Juni bis August, dass Temperaturen über 23 °C vorkommen um 9 % bis 13 %. Im Oktober verringert sich der Kältestress um 16 % (Abb. 13).

Werden die beiden Szenarien miteinander verglichen, fällt wieder auf, dass das A1B Szenario in allen Monaten, außer September und Dezember eine größere Erwärmung bewirkt als das B1 Szenario. Besonders stark sind die Abweichungen von April bis August und im Oktober. Von Juni bis August kommen unter Verwendung des A1B Szenarios um 5 % bis 11 % öfter Temperaturen über 18 °C vor, im Oktober ist die Wahrscheinlichkeit um 14 % größer, dass PET Klassen über 6 °C vorkommen als beim B1 Szenario (Abb. 13).

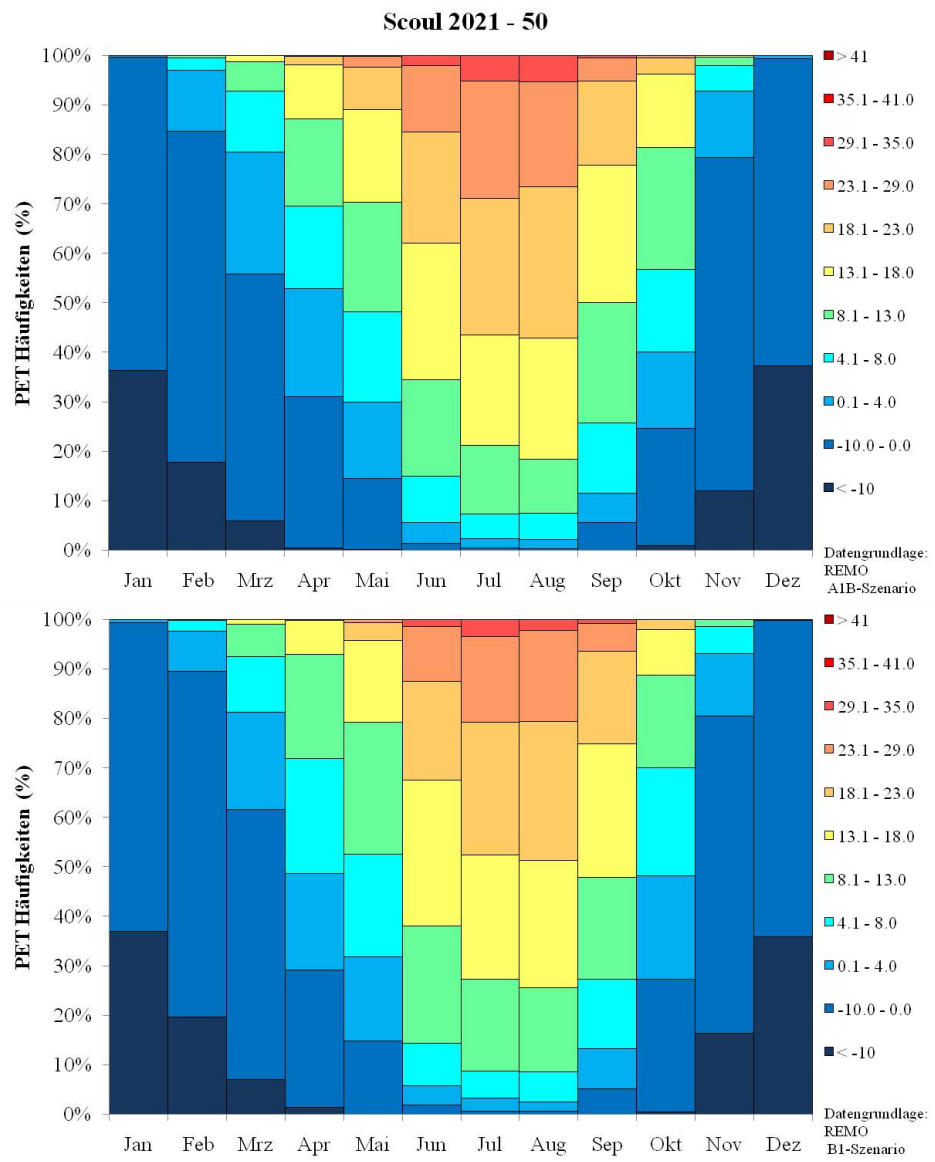


Abb. 13: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Scoul im Zeitraum 2021 - 2050. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Die Temperaturzunahme zwischen den Zeiträumen 2021 - 50 und 2071 – 2100 ist ausgeprägter als von 1961 bis 2050. Im Dezember, Januar und Februar verringert sich der Anteil der PET unter -10 °C um 22 %, 19 % und 10 %. Über das ganze Jahr geht die Kältebelastung um 10% zurück. Die Wärmebelastung steigt im Juli und August um 14 % und 19 %. Erstmals tritt Hitzestress mit Temperaturen über 35 °C zu unbedeutenden 3 % und 4 % im Juli und August auf (Abb. 14).

Unter Verwendung des B1 Szenario fällt die Erwärmung geringer aus, als beim A1B Szenario. Von November bis Februar treten beim B1 Szenario zu einer 10 % größeren Wahrscheinlichkeit Temperaturen unter 0 °C auf. Im Oktober ist im B1 Szenario der Anteil der PET-Klassen unter 8 °C um 17 % größer. Im Juli und August steigt beim A1B Szenario die Häufigkeit, dass Wärmebelastung auftritt um 8 % bzw. 12 % (Abb. 14).

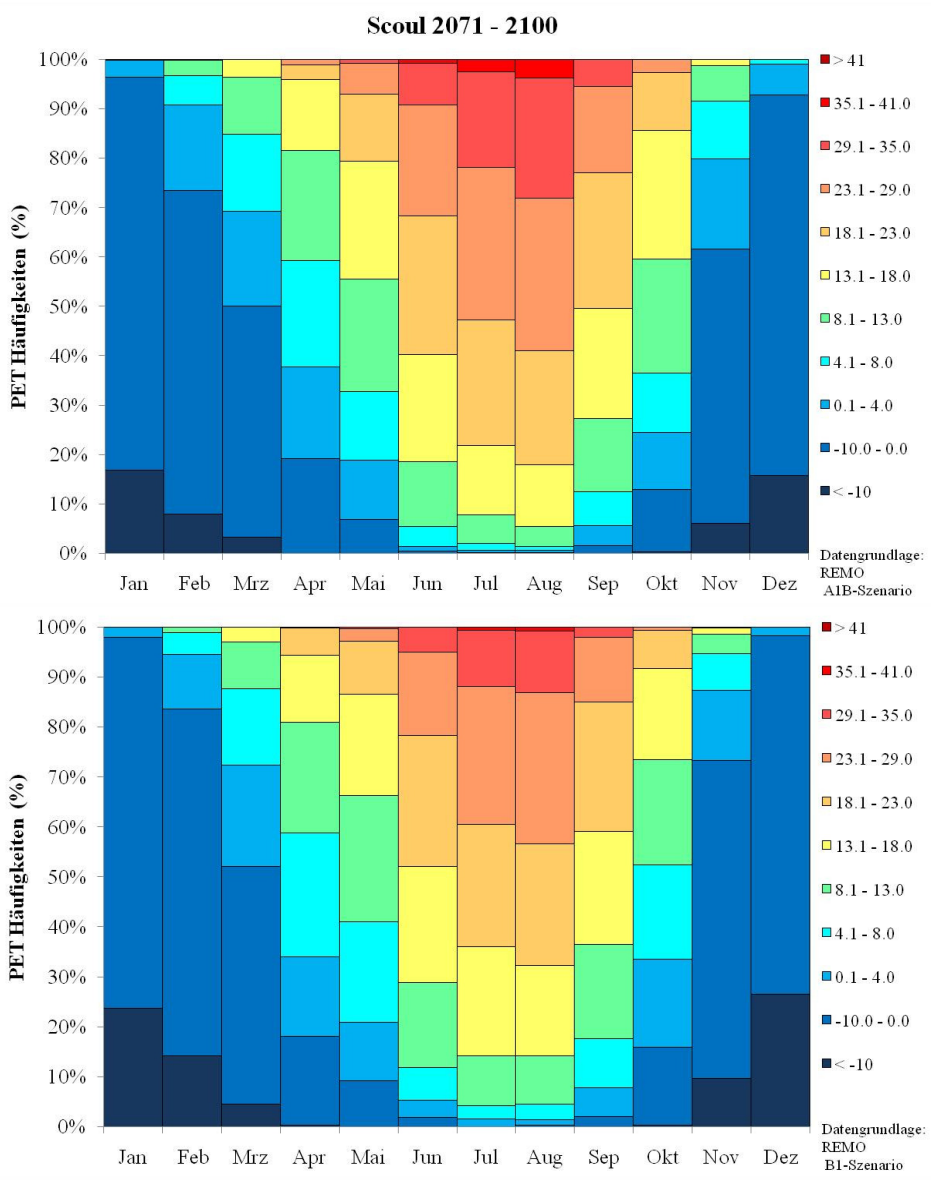


Abb. 14: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Scoul im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

In Sils Maria erstreckt sich der Bereich der PET-Klassen von unter -10 °C in den Monaten Oktober bis Mai bis „leicht warm“ im Juli und August im Zeitraum 1981 - 2000. Während 71 Tagen im Jahr herrschen minimale PE Temperaturen, an 106 Tagen „extrem kalt“ Bedingungen, nur an 6 Tagen steigen die PET Werte über 18 °C (Abb. 15).

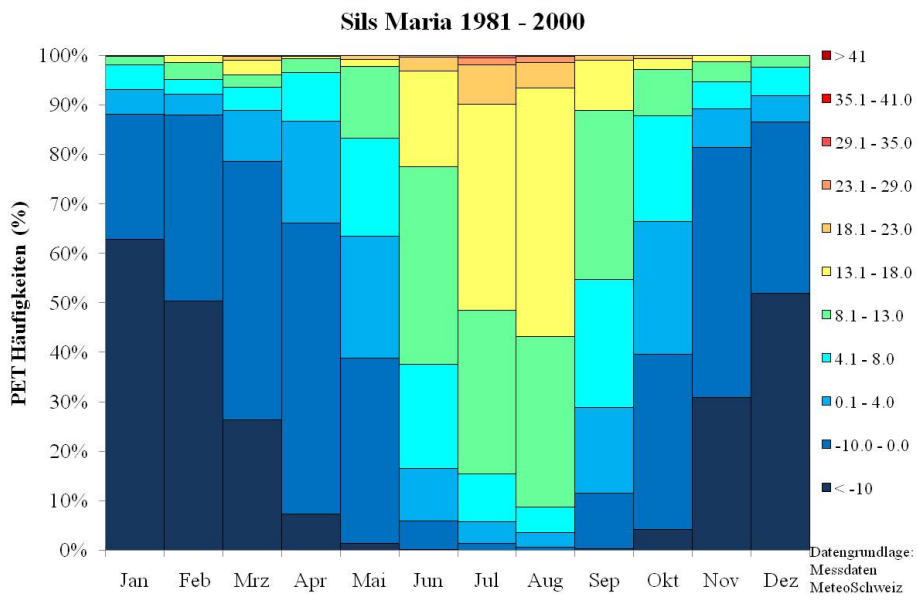


Abb. 15: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Sils Maria im Zeitraum 1981 - 2100.

Die Amplitude der PET Klassen unter Verwendung der REMO Modelldaten reicht ebenfalls von unter -10 °C bis zu leicht warmen Verhältnissen, welche von Juni bis August auftreten. Temperaturen unter -10 °C kommen von Oktober bis Mai, mit einem Maximum im Januar von 65 % vor. Thermisch optimale Bedingungen können im Juni zu 26%, im Juli und August zu 32 % und im September zu 8 % erwartet werden (Abb. 16).

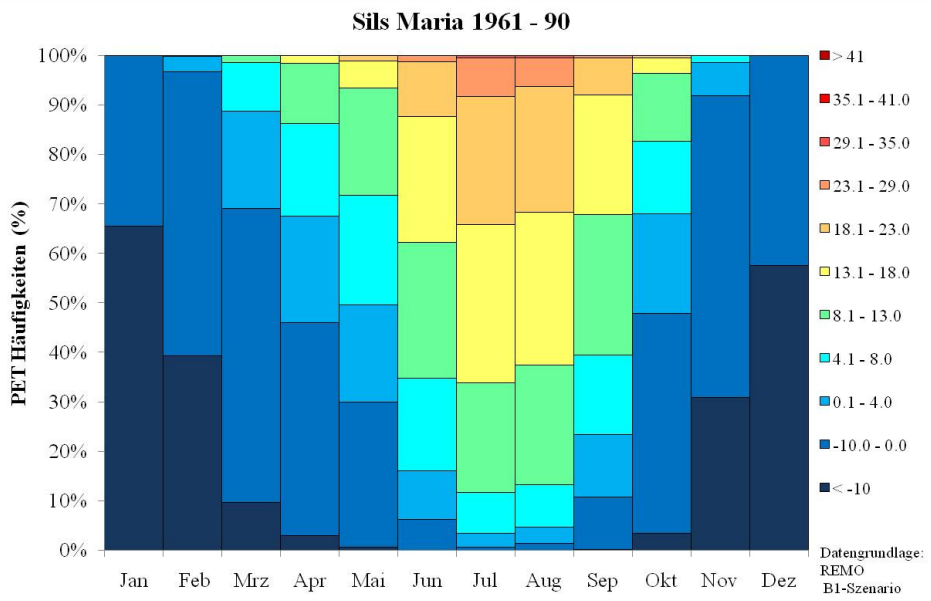


Abb. 16: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Sils Maria im Zeitraum 1961 - 90.

Zwischen den Zeiträumen 1981 - 2000 und 2021 - 50 verringert sich die Wahrscheinlichkeit, dass Temperaturen unter -10 °C auftreten von Oktober bis Februar um durchschnittlich 8 %. Die Anzahl an Tagen mit 18 °C und höheren Temperaturen steigt um 15 Tage (4 %). Im Zeitraum 1981 - 2000 können im Monat August 15 Tage mit “leicht kühlen”, 10 Tage mit „kühlen“ und 1 Tag mit „behaglichen“ Bedingungen gezählt werden. 2021 - 50 verringerte sich die Häufigkeit „leicht kühler“ Tage um 24 %-P, dafür steigt die Anzahl der Tage mit behaglichen Bedingungen auf 10 (Abb. 17).

Bei einem Vergleich der Szenarien zeichnet sich wieder ein ähnliches Bild, wie schon beschrieben. Das A1B Szenario bewirkt eine stärkere Erwärmung, besonders ausgeprägt im April, Juli und August, sowie Oktober. Im Oktober sollen im A1B Szenario Temperaturen über 4 °C um 15 % häufiger vorkommen, während im B1 Szenario der Anteil unter 4 °C um 16 % größer ist. Im März, September und Dezember ist die Wahrscheinlichkeit, dass die jeweils höchsten PET Klassen des Monats auftreten unter B1 Szenario geringfügig größer (Abb. 17).

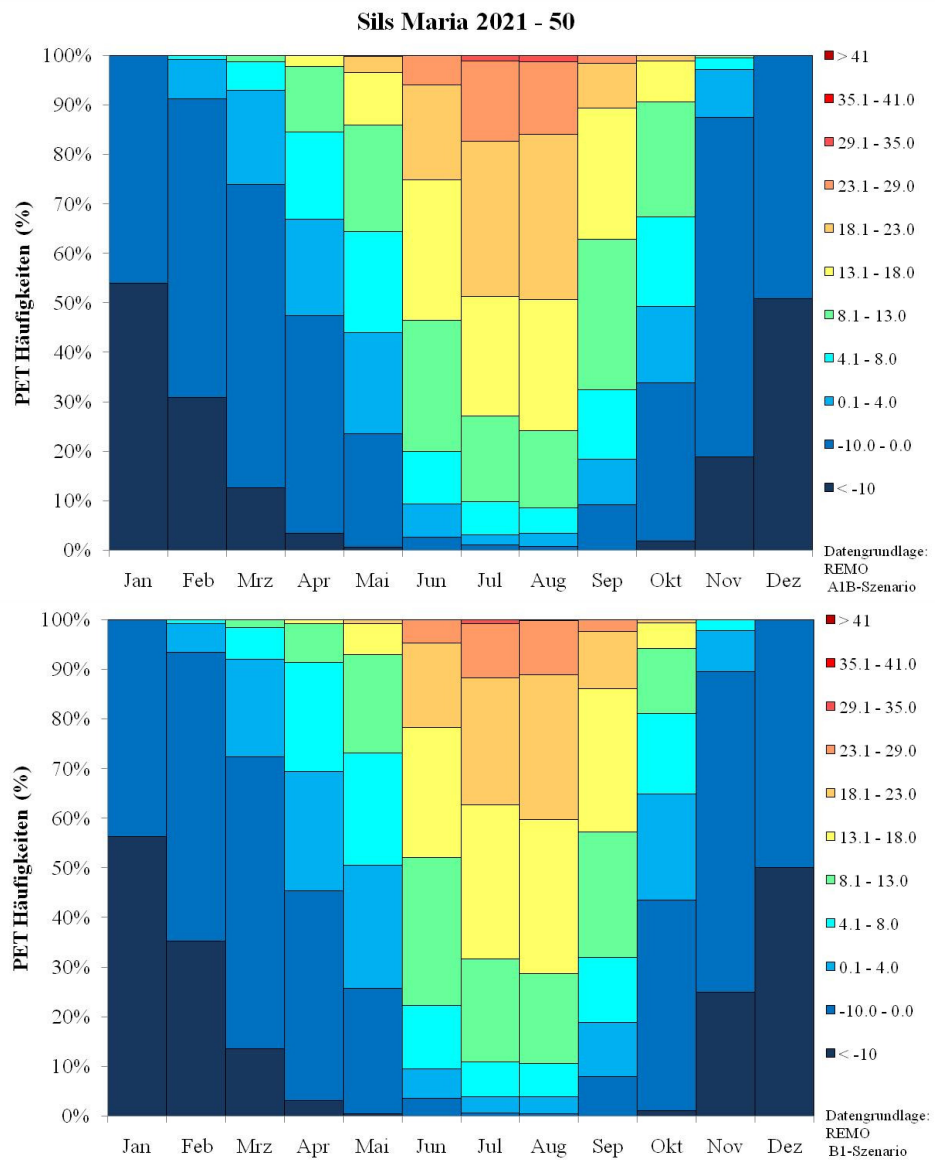


Abb. 17: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Sils Maria im Zeitraum 2021 - 2050. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Bis Ende des 21. Jahrhunderts verringert sich die Häufigkeit minimaler PET um weitere 6.5 %. Insgesamt kann beobachtet werden, dass sehr kalte Temperaturen stark abnehmen, die Häufigkeit des Temperaturbereichs zwischen -10 °C bis 0 °C relativ konstant bleibt und der Anteil der PET Klassen ab 18 °C im Sommer stark zunimmt. 2071 - 2100 könne 11 Tage mit „leicht warmen“ Verhältnissen gezählt werden, welches mit einer Wahrscheinlichkeit von 11 % im Juli und 14 % im August auftreten (Abb. 18).

Das A1B Szenario zeigt eine ausgeprägte Erwärmung über das ganze Jahr. Die Häufigkeiten unterscheiden sich gar um 10 %. Der Rückgang der Temperaturen unter 0 °C ist weniger stark ausgeprägt im B1 Szenario, auch im Sommer treten Temperaturen über 29 °C nur zu 3 % und 6 % auf, das sind 8 %-P weniger als im A1B Szenario (Abb. 18).

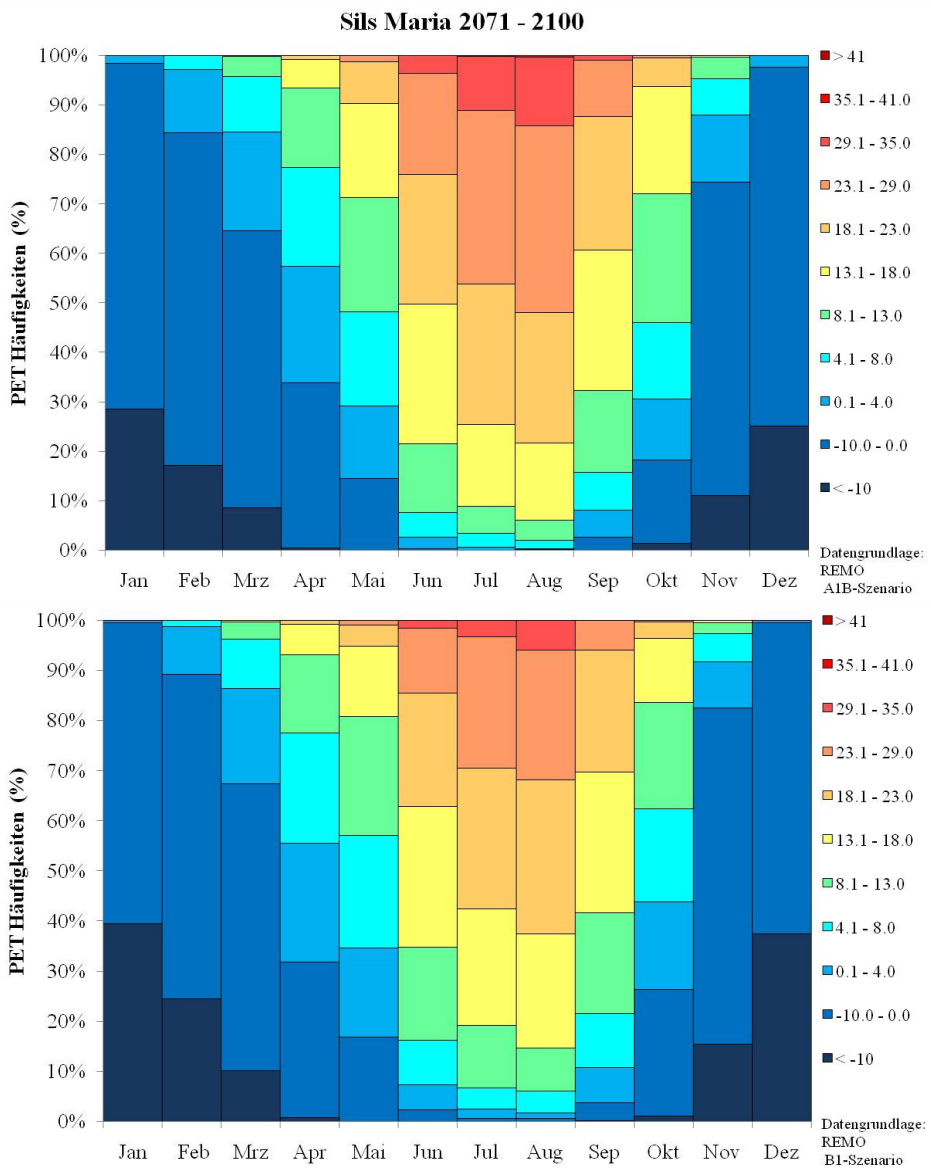


Abb. 18: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Sils Maria im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

7.2.2 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 tritt 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. 19).

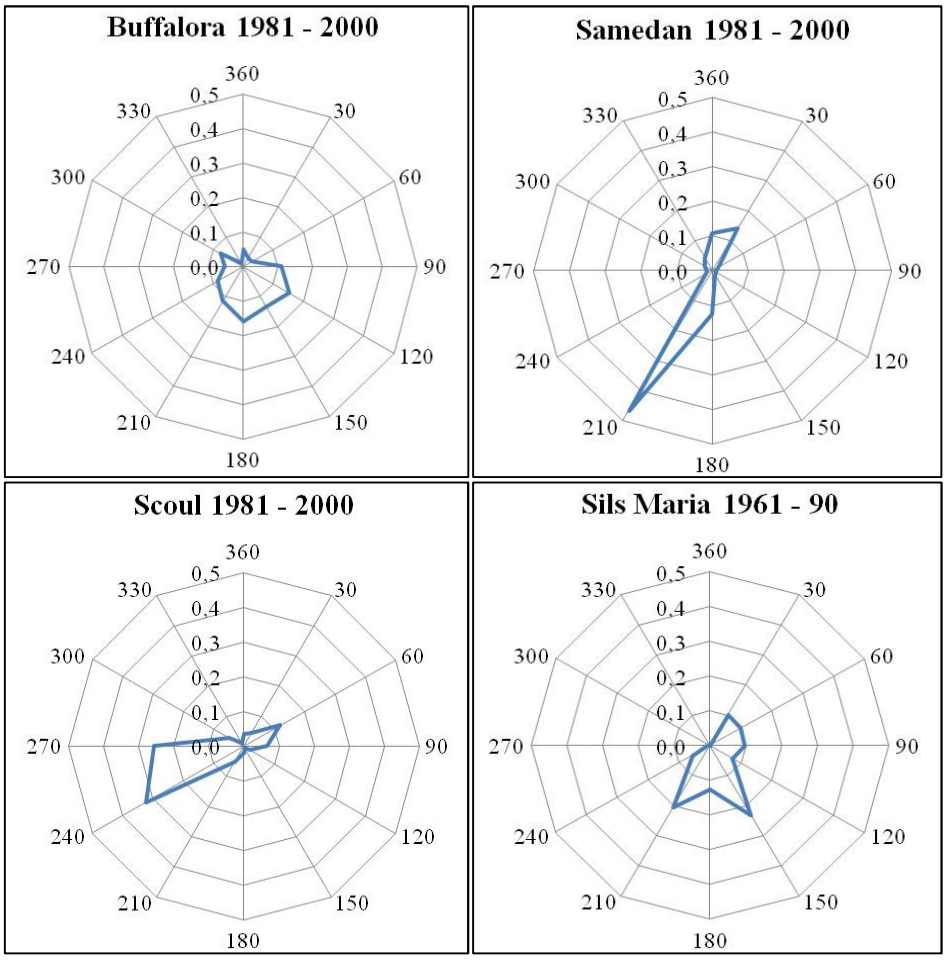


Abb. 19: Häufigkeiten (%) der Windrichtungen in Buffalora, Samedan, Scoul und Sils Maria im Zeitraum 1981 – 2000.

7.2.3 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. 18).

Tab. 18: Mittlere Schneehöhe (cm) während des Winters (1. Dezember bis 15. April), maximale und minimale mittlere Schneehöhen an verschiedenen Stationen im Engadin und Val Müstair.

Schneehöhe (cm)	**Sils Maria**	**Bever**	**Samedan**	**Passo del Bernina**	**Scoul**	**Sta. 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 (Abb. 20). 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.

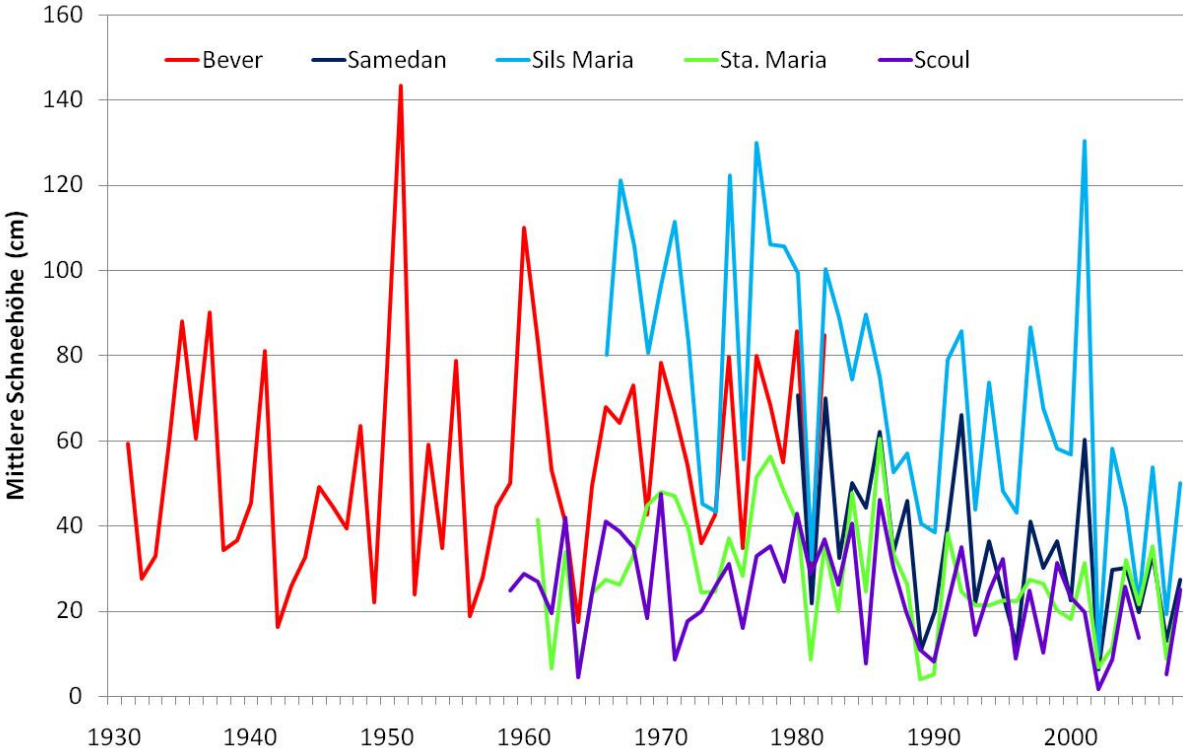


Abb. 20: Mittlere Schneehöhe je Winter an ausgewählten Stationen von 1931 - 2008.

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.

7.2.4 Niederschlag

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. 21).

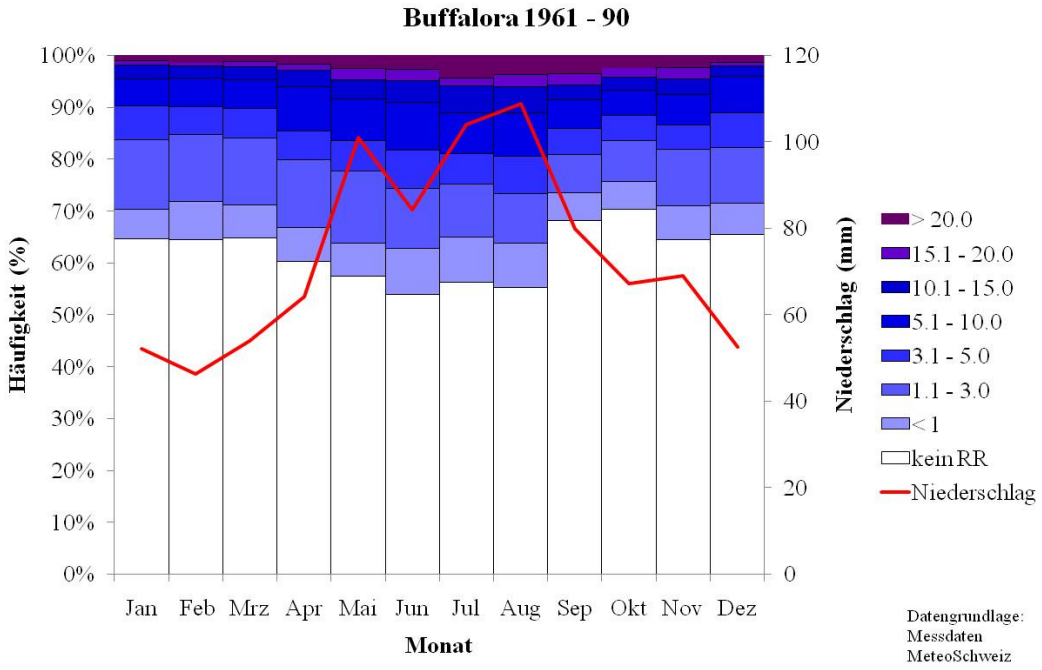


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 1961 - 90. Das Liniendiagramm gibt die monatliche Niederschlagssumme in mm an.

Unter dem A1B Szenario nimmt die Niederschlagsmenge im Mai um 20 %, im Juni und August um 7 % und im Oktober um 10 % bis Mitte des Jahrhunderts ab. Im Juli steig die Niederschlagmenge um 30 %, im September, Dezember, Februar und März um etwa 20 %. Die Niederschlagwahrscheinlichkeit nimmt von April bis Dezember ab. Die Niederschlagshäufigkeit mit einer Regenmenge unter 3 mm nimmt über das ganze Jahr ab und steigt mit einer Regenmenge über 3 mm an. Besonders im Sommer steigt die Anzahl der Tage mit Niederschlag über 10 mm (Abb. 22).

Unter Verwendung des B1 Szenario nimmt der Niederschlag um 13 % zu. Abnehmender Niederschlagsmengen sind in den Monaten Mai um 3 %, Juni um 17 % und August um 2.5 % zu beobachten, sowie ein maximaler Anstieg des Niederschlags im März um 31 %.

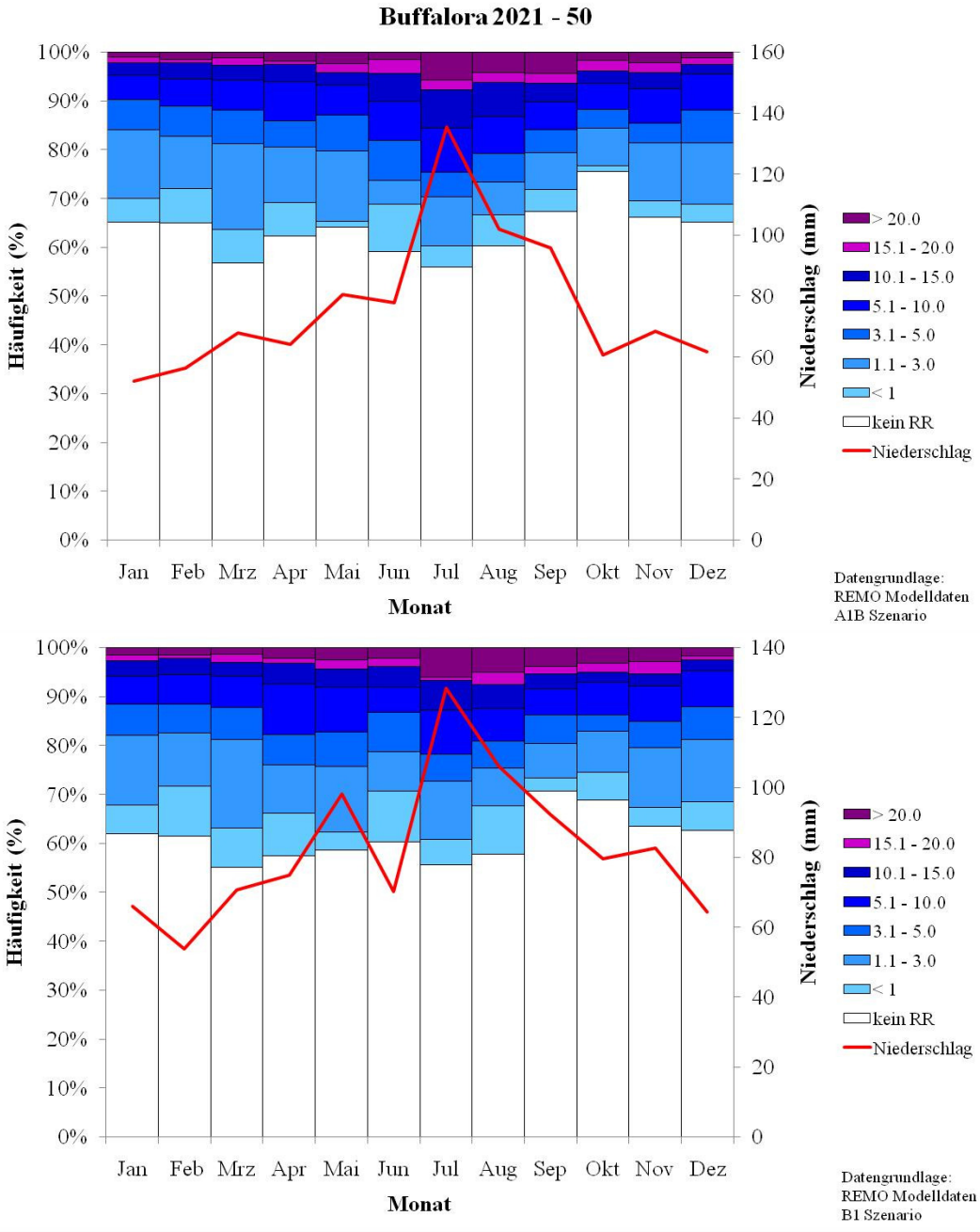


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

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. 22).

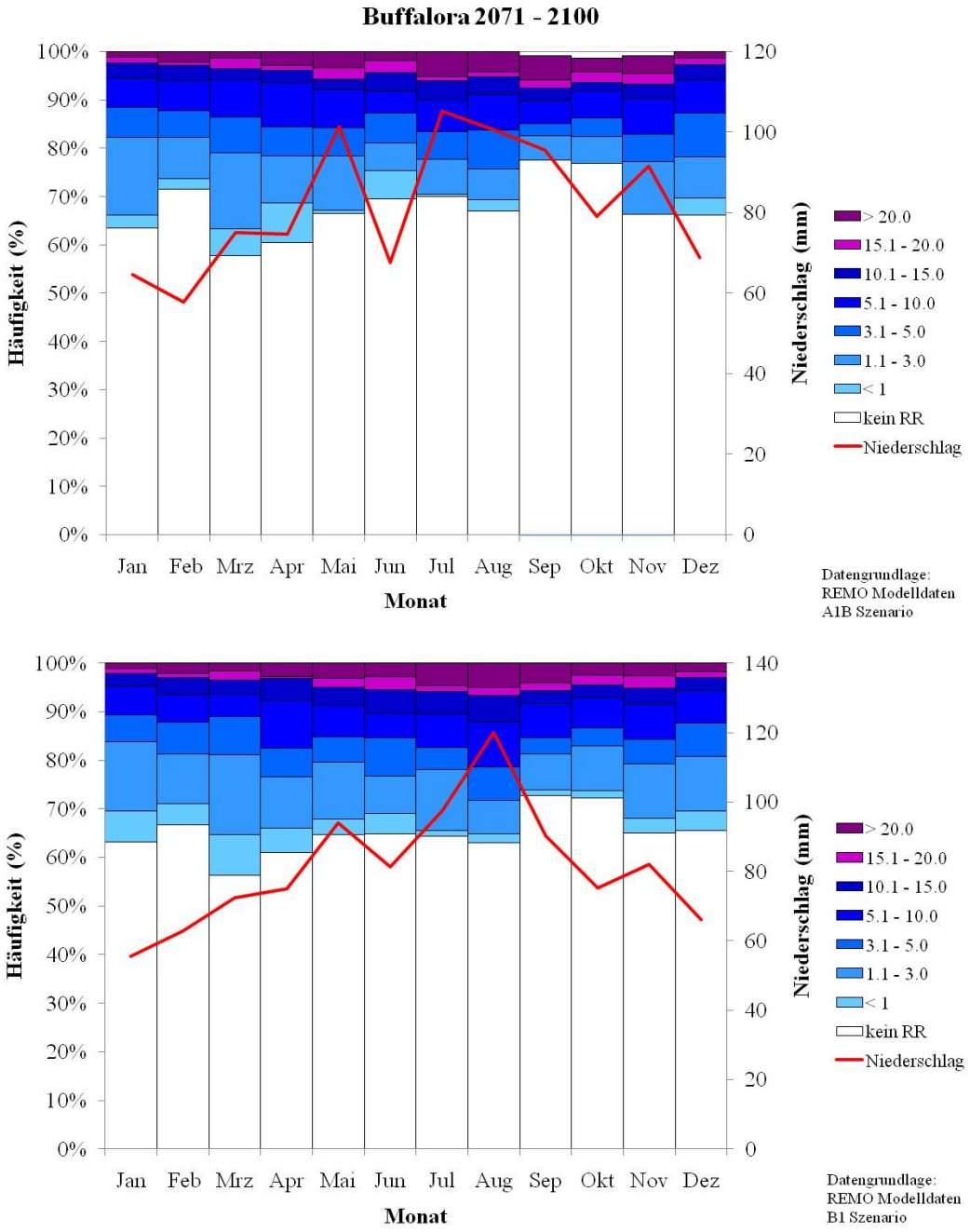


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Bis Ende des Jahrhunderts soll unter Verwendung des A1B Szenario der Niederschlag 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. 23).

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. 24).

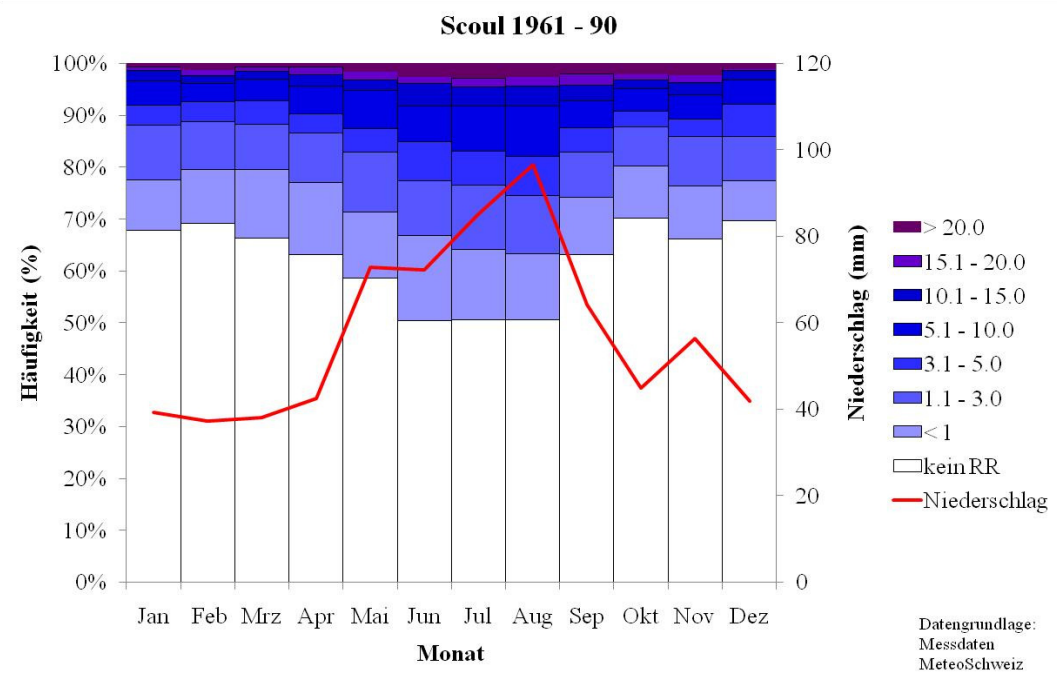


Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.

Der Anteil an Tagen mit Niederschlag zwischen 3 mm bis 10 mm schwankt zwischen 65 % im März und 48 % im August. An mehr als der Hälfte der Tage mit Niederschlag bleibt die Regenmenge unter 3 mm, im März gar um 65 % (Abb. 24).

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 Niederschlaghäufigkeit ist der Oktober bei 37 %, im Juli dagegen besteht zu 58 % Niederschlagswahrscheinlichkeit (Abb. 25).

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. 26).

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. 26).

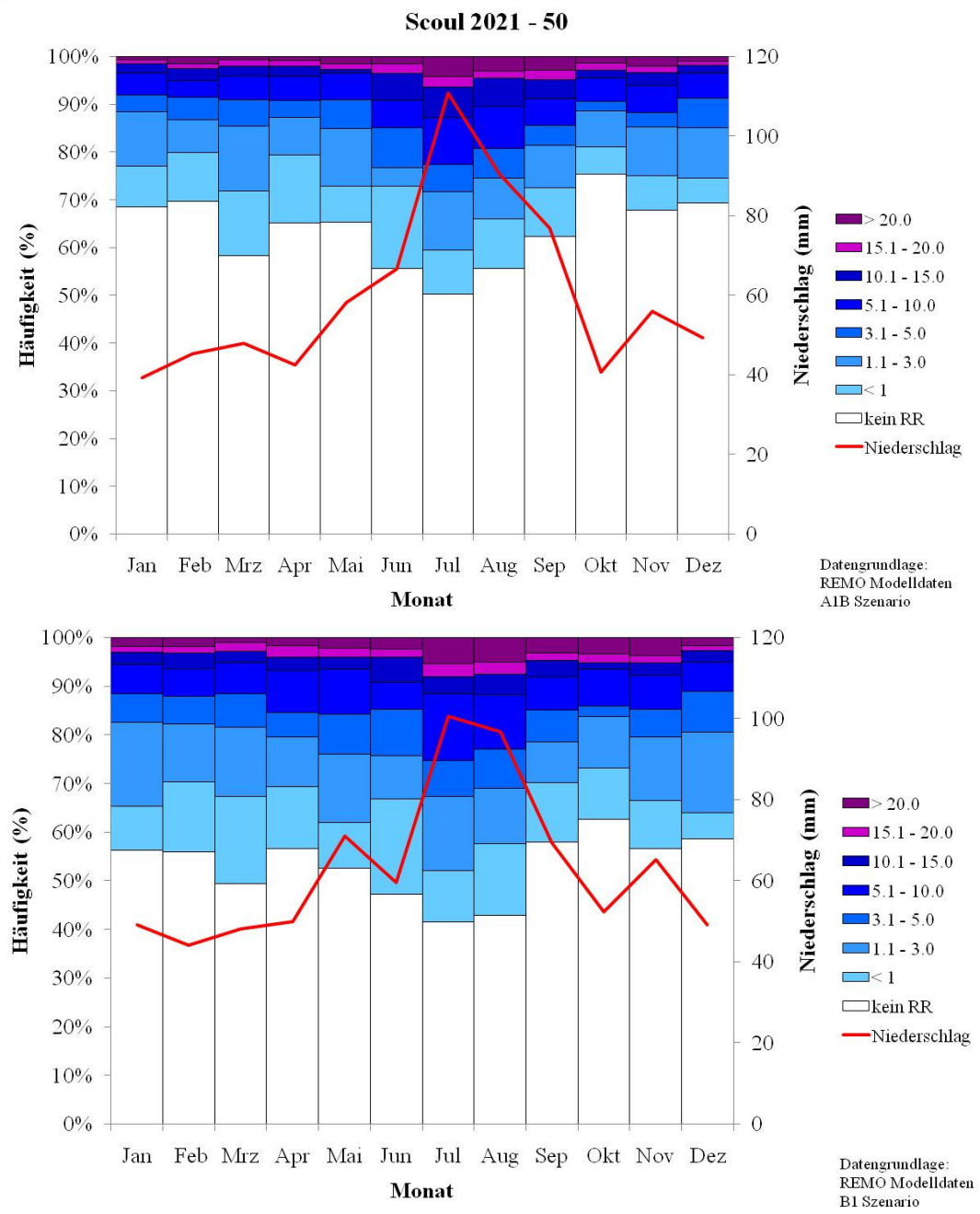


Abb. 25: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

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. 26).

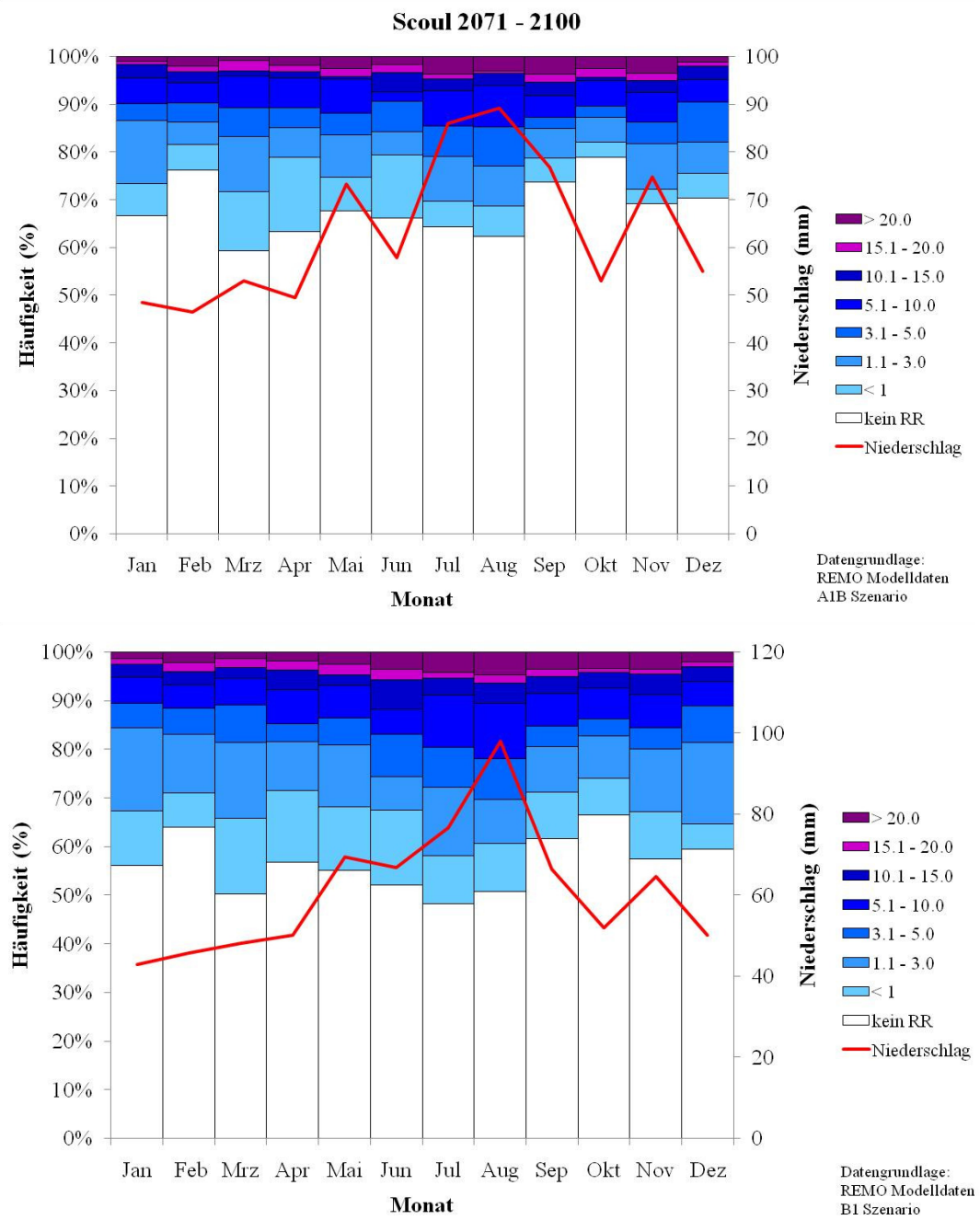


Abb. 26: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

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. 27).

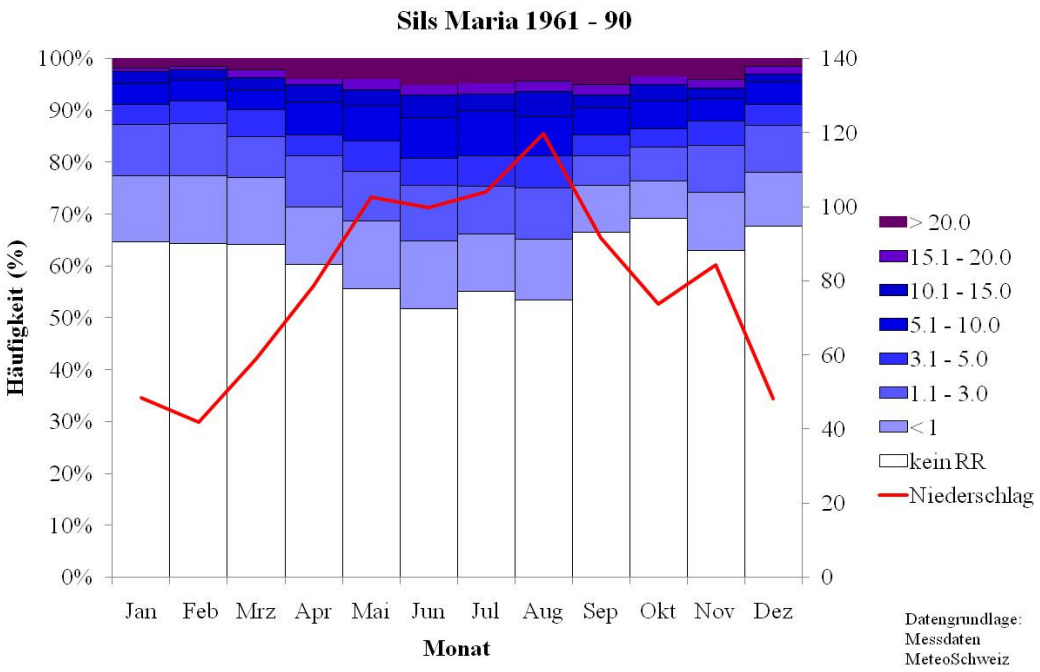


Abb. 27: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.

Bis Mitte des 21. Jahrhunderts soll der Niederschlag beim 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. 28).

Bei Verwendung des B1 Szenarios bilden Dezember und Januar mit 35 % Niederschlagswahrscheinlichkeit das Minimum und der Juni mit 47 % das Maximum. Mi 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. 28).

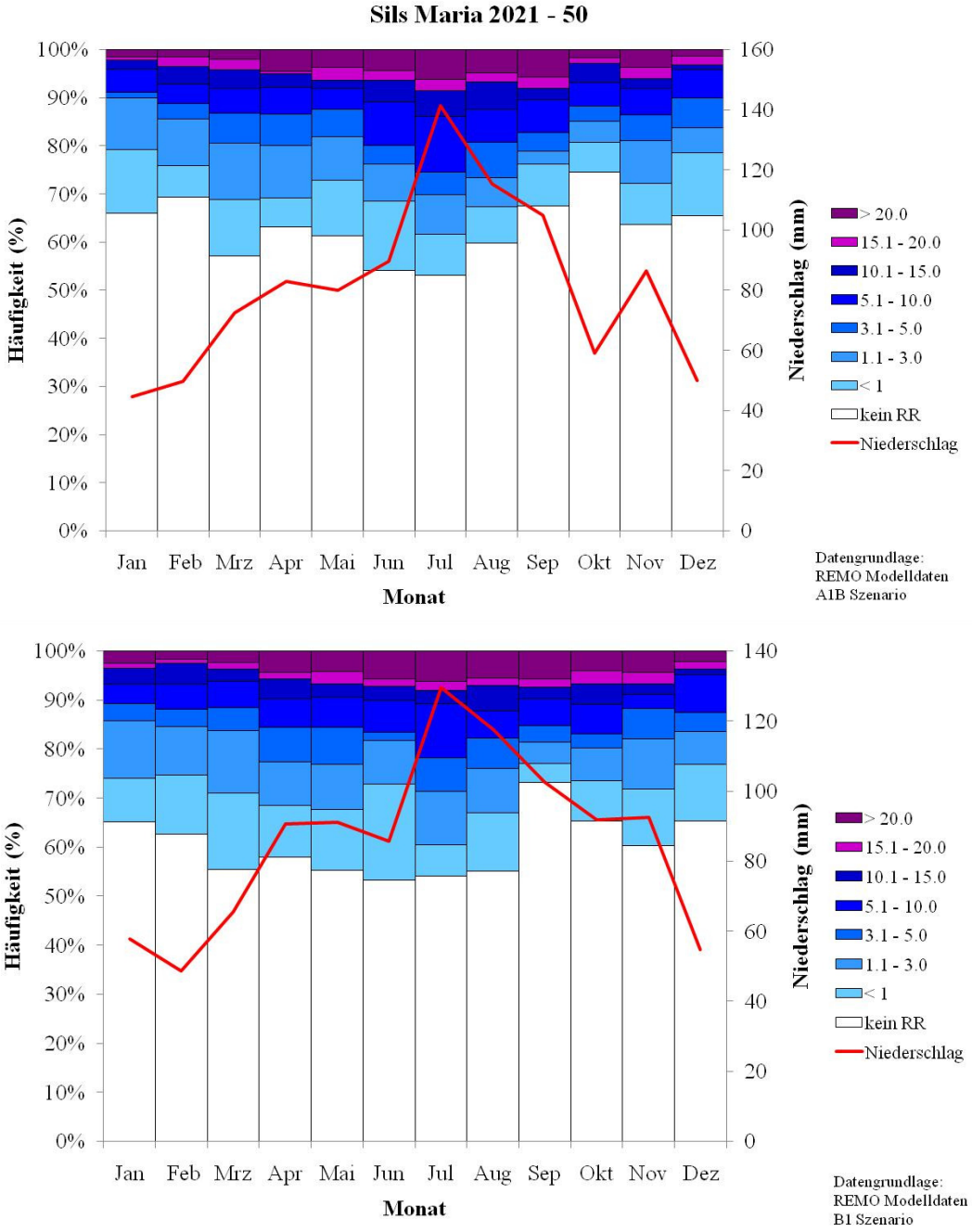


Abb. 28: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

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. 29).

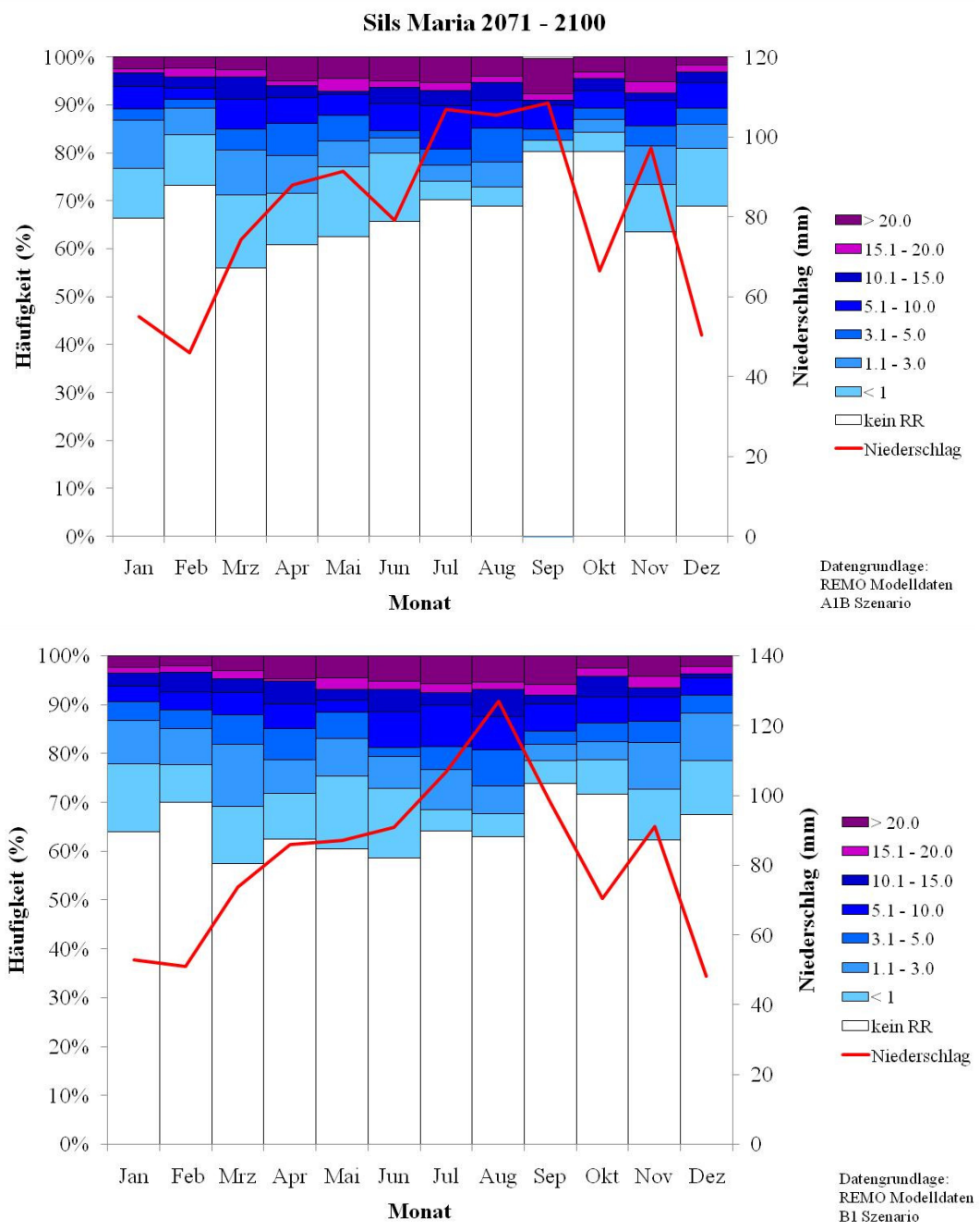


Abb. 29: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

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.

7.2.5 Übersicht über das klimatische Tourismuspotenzial und seine Entwicklung

Auf Buffalora tritt im Zeitraum 1981 - 2000 ganzjährig Kältestress mit einem maximalen Vorkommen im Dezember und Januar von 65.6 % auf. Von Juni bis September liegt die Häufigkeit jedoch unter 1 %. Thermisch optimale Bedingungen kommen von März bis November, im zweistelligen Bereich jedoch nur von Mai bis September und mit einer maximalen Häufigkeit von 56 % im Juli vor. Hitzestress tritt nie auf. Der Dezember ist der Monat mit der geringsten Bewölkungswahrscheinlichkeit von 29 %, welche im April ihr Maximum mit 46 % hat. Im Herbst und Winter gibt es mehr Sonnentage als im Frühjahr und Sommer. Belastung oder Störung durch Wind tritt nie auf, was auch in den weiteren Zeiträumen so bleibt. Die Regenhäufigkeit liegt zwischen 24 % im Februar und 38 % im Juni. Im Juni ist die Wahrscheinlichkeit mit 9.8 % am größten, dass Niederschlag über 5 mm fällt. Skifahrpotenzial besteht von Oktober bis Mai. Der schneesicherste Monat ist der Januar, in welchem zu 73 % eine Schneedecke mit einer Höhe über 30 cm liegt, aber auch im März kann noch zu 66 % mit ausreichender Schneehöhe gerechnet werden (Abb. 30).

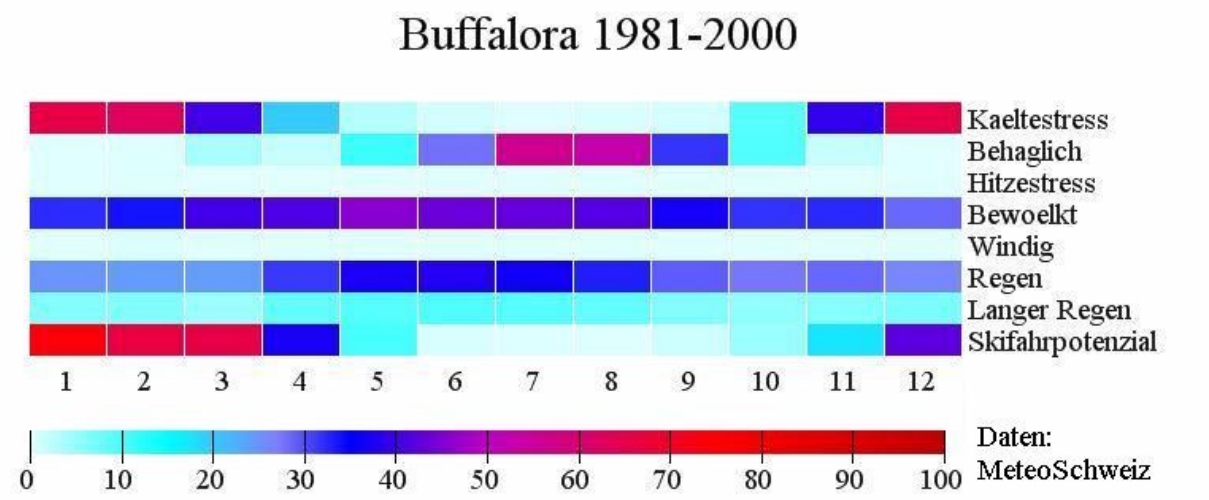


Abb. 30: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

REMO Modelldaten für den Zeitraum 1961 – 90 überschätzen im Vergleich zu den Messdaten (Abb. 31) die Kältebelastung deutlich und unterschätzen die Häufigkeit behaglicher Bedingungen mit maximal 42 % im Juli (Abb. 31).

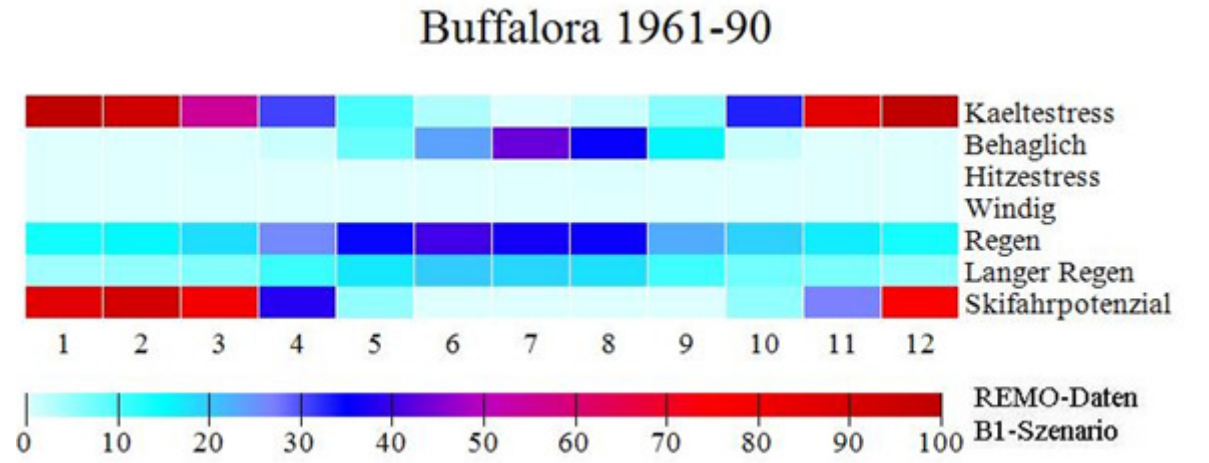


Abb. 31: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

Das sind 14 %-P weniger. Die Regenhäufigkeit wird von November bis Februar um mehr als ein Drittel unterschätzt, im Sommer mit einem Maximum von 40 % leicht überschätzt. Auch die Wahrscheinlichkeit von längerem Regen wird im Sommer gar um das Doppelte überschätzt. Das Skifahrpotenzial ist von Oktober bis Mai mit einer maximalen Wahrscheinlichkeit von 92 % im Februar gegeben (Abb. 31).

Für den Zeitraum 2021 - 50 ergibt sich eine Abnahme des Kältestress in beiden Szenarien. Die größte Abnahme im B1 Szenario ist im November und im A1B Szenario im Februar um jeweils 7 % (2 Tagen) auf 74.9 % und 87.2 %. Eine Zunahme optimaler thermischen Bedingungen, vor allem im Juni und August um 45 % (3 Tage) und 27 % (3 Tage) bei A1B Szenario zu verzeichnen, beim B1 fällt die Erwärmung etwas geringer aus (Abb. 32).

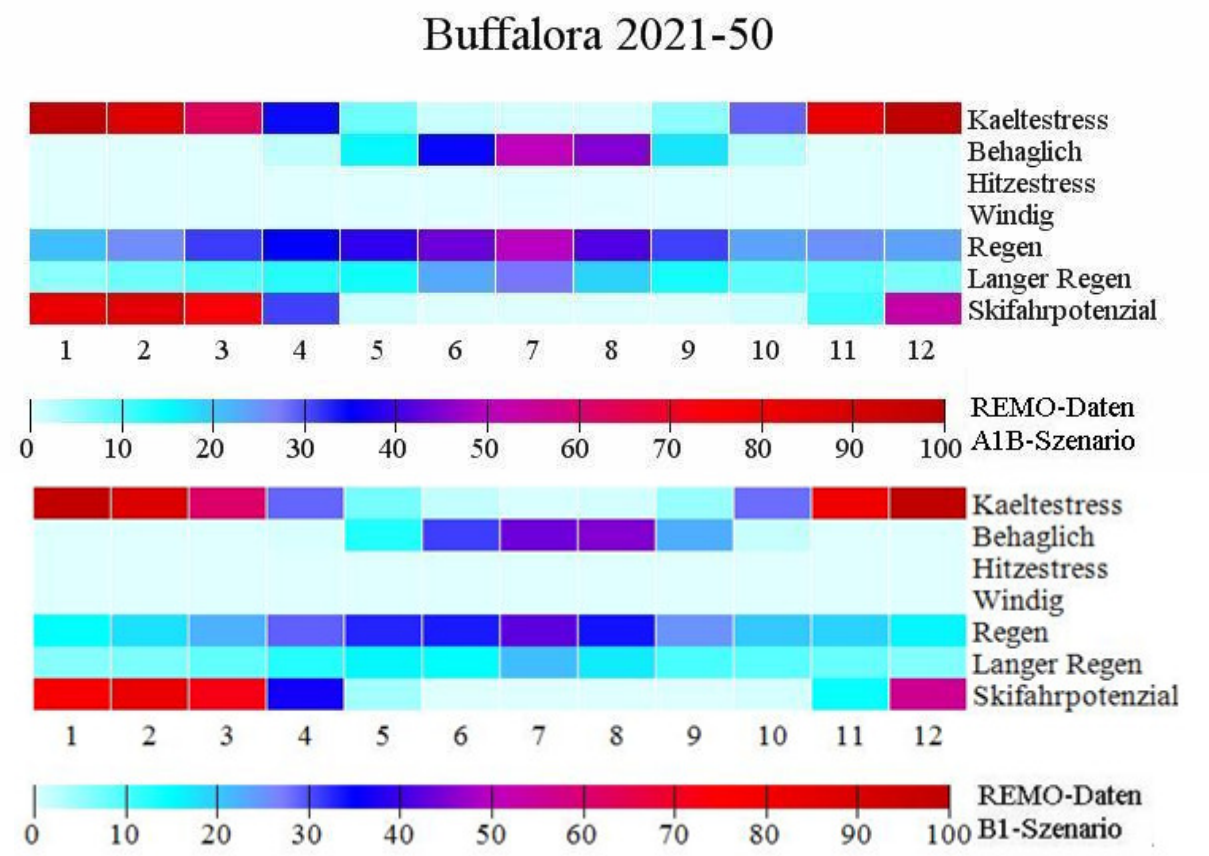


Abb. 32: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 50. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Beide Szenarien prognostizieren eine Zunahme der Regenwahrscheinlichkeit, wobei A1B Szenario eine stärkere Zunahme vorhersagt mit bis zu 34 % (2.7 Tage) und 36 % (4 Tage) im April und Juli. Auch Niederschlagsereignisse mit Mengen über 5 mm sollen zunehmen. Das Skifahrpotenzial wird außer im Monat März abnehmen (Abb. 32).

Bis Ende des Jahrhunderts wird laut A1B Szenario die Häufigkeit das Kältestress im Dezember und Januar auftritt immer noch bei 94 % und 97 % liegen. Im Oktober allerdings liegt die Wahrscheinlichkeit nur noch bei 15 %, im November verringert sich die Anzahl ebenfalls um 15 %-P auf 69 % seit dem Zeitraum 2021 - 50. Schon im März sind mit thermisch behaglichen Bedingungen zu rechnen, im Juli und August werden zu 60 % behagliche Temperaturen erreicht werden. Mit einer geringen Wahrscheinlichkeit von 1 % ist mit Hitzestress von Mai bis September zu rechnen. Die Niederschlaghäufigkeit wird in der zweiten Jahreshälfte, vor allem im Juli und September abnehmen. Auch langer Regen soll in den Sommermonaten und September weniger häufig vorkommen, in den anderen Monaten nimmt die Häufigkeit geringfügig zu. Das Skifahrpotenzial nimmt in allen Monaten ab.

Optimale thermische Bedingungen nehmen von Mai bis August um durchschnittlich 10 %-P zu, im September sogar um das 2.5-fache (7.5 Tage) mit einer Wahrscheinlichkeit von 17.3 % 2021 - 50 auf 44.1 % 2071 – 2100 (Abb. 33).

Im Vergleich der beiden Szenarien fällt auf, dass die Häufigkeit der Kältebelastung recht ähnlich ist. Die Häufigkeiten von behaglichen Temperaturen und Hitzestress verzeichnen jedoch beim A1B Szenario einen größeren Anstieg. So sind unter dem B1 Szenario die Häufigkeiten behaglicher Temperaturen von Mai bis August um 8 %-P geringer. Die Niederschlagshäufigkeit ist unter Verwendung des B1 Szenarios im ganzen Jahr geringer, das Vorkommen von langem Regen außer im Juni und August ebenso. Die besten Voraussetzungen für Skifahrpotenzial sind unter A1B Szenario mit 25 % im Januar, im B1 Szenario mit 58 % im Februar gegeben.

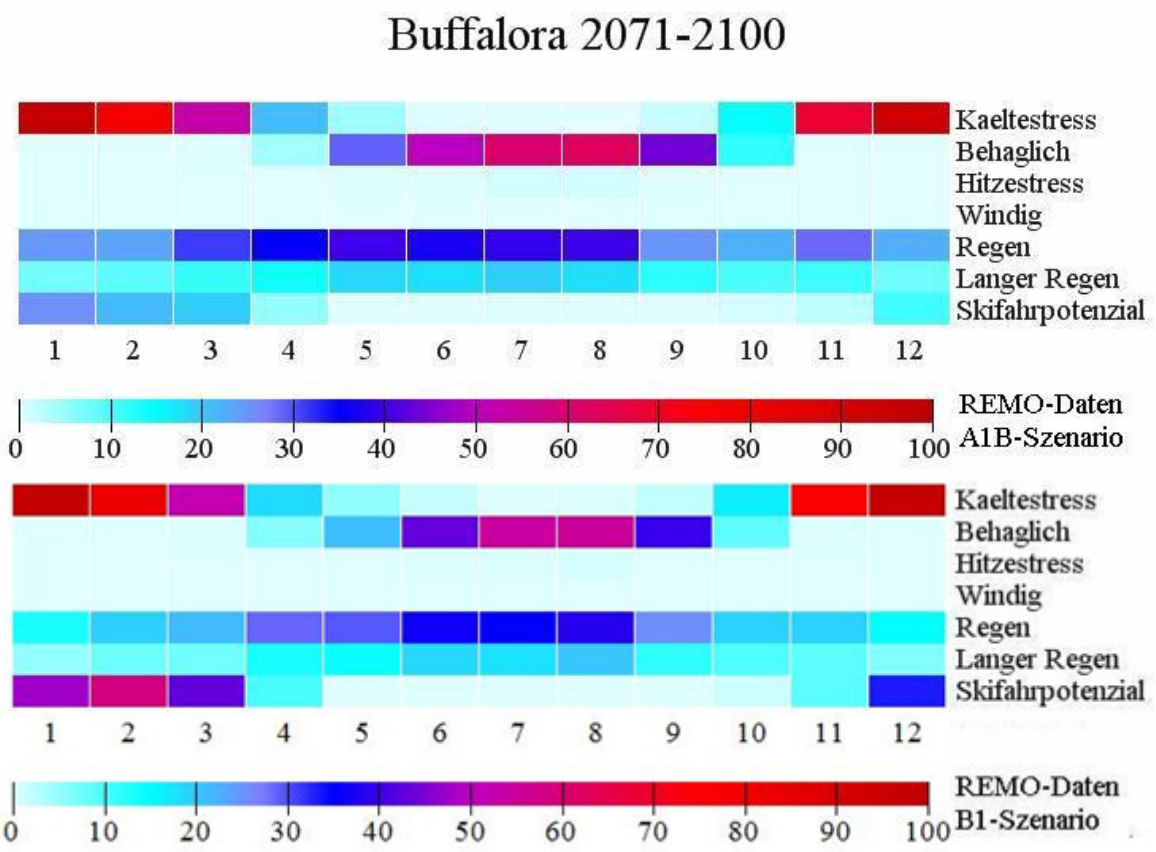


Abb. 33: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

In Scoul tritt im Zeitraum 1981 - 2000 Kältestress von Oktober bis April mit einem Maximum im Dezember von 79.4 % auf (Abb. 34). Mit thermischer Behaglichkeit kann von April bis Oktober mit einem Maximum im Juli von 63.7 % gerechnet werden. Hitzestress tritt jedoch keiner auf. Außer von April bis Juni scheint die Sonne im ganzen Jahr zu 50 %, in den genannten Monaten liegt die Wahrscheinlichkeit nur bei 38 %. Windgeschwindigkeiten über 8 m/s kommen im Unterengadin unbedeutend selten vor. Von Oktober bis April fällt an weniger als 7 Tagen im Monat Niederschlag. Die Wahrscheinlichkeit steigt im Sommer mit einem Maximum im Juli von 34 % an. Die Wahrscheinlichkeit, dass langer Regen mit über 5 mm Niederschlag fällt, steigt von 6.6 % im März auf 18 % im Juni an. Skipotenzial besteht

von Dezember mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 % bis März. Der schneesicherste Monat ist der Februar mit 68 %.

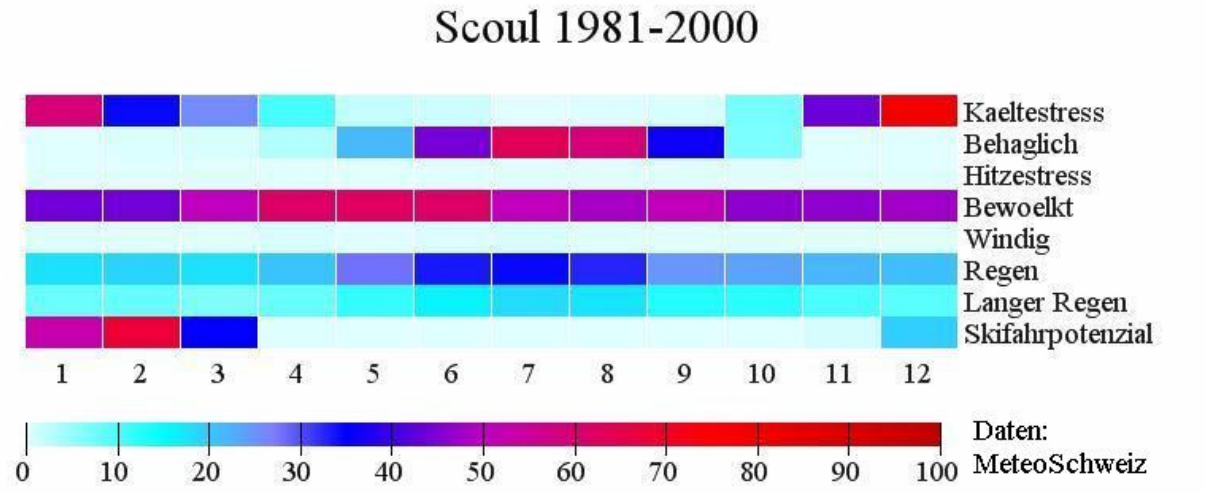


Abb. 34: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

Im Zeitraum 1961 – 90 auf der Datengrundlage der REMO-Modelldaten kann in Scoul das ganze Jahr über Kältestress auftreten, wobei die Wahrscheinlichkeit von Juni bis September unter 10 % liegt (Abb. 35). Im Dezember und Januar ist an allen Tagen mit Kältestress zu rechnen und selbst im April liegt die Wahrscheinlichkeit noch bei 32 % und im Mai bei 11 %. Thermische Behaglichkeit tritt von April bis Oktober mit einem Maximum im Juni von 49 % auf. Thermischer Diskomfort durch Hitzestress oder höhere Windgeschwindigkeiten kommen nicht vor. Die Niederschlagswahrscheinlichkeit wird von April bis September mit einem Maximum von 49 % im Juni im Vergleich zu den MeteoSchweiz Daten überschätzt. Januar ist der Monat mit der geringsten Niederschlagshäufigkeit von 19 %. Die Häufigkeit von langem Regen liegt mit einem Maximum im Juni von 24 % etwas höher und mit einem Minimum im Januar von 6 % etwas tiefer als unter Verwendung der MeteoSchweiz Daten.

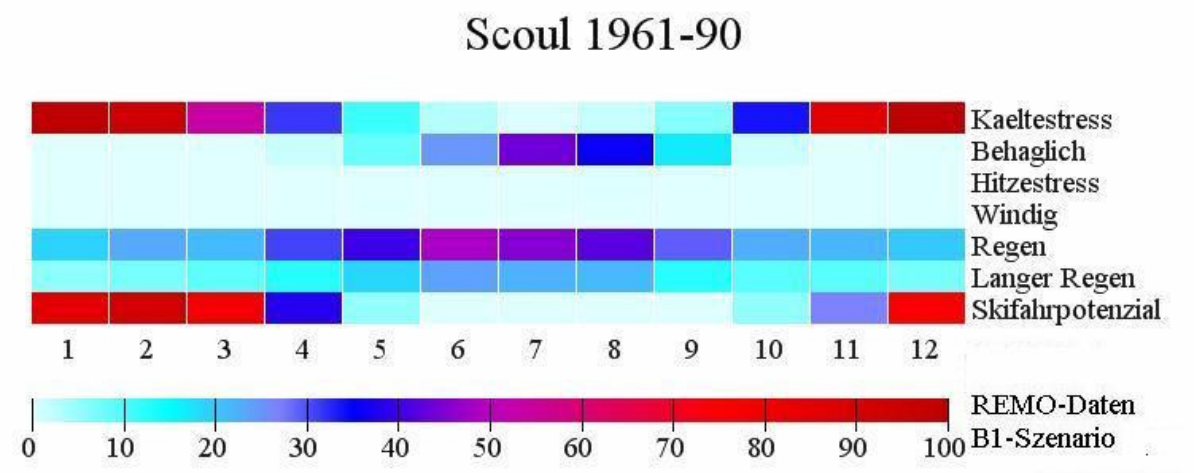


Abb. 35: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

Unter Verwendung des A1B Szenarios nimmt bis Mitte des 21. Jahrhunderts der Kältestress über das ganze Jahr, außer im März ab. Im Oktober nimmt die Häufigkeit von Kältestress um 25 % (2.7 Tage) und im November um 10 % (3 Tage) ab. Tage mit thermischer Behaglichkeit nehmen von April bis Oktober zu, im Mai verdoppelt sich die Häufigkeit, auch im Juni nimmt die Häufigkeit um 50 % (4 Tage) zu, im August um zuätzliche 11 %-P (3.5 Tage). In der Niederschlagshäufigkeit ist eine ganzjährige Zunahme zu erwarten, vor allem von November bis März soll die Anzahl der Tage mit Niederschlag um die Hälfte, das sind zwischen 3 bis 5 Tage pro Monat steigen. Ebenso steigt die Wahrscheinlichkeit von langem Regen ganzjährig, außer im Monat Mai. Das Skipotenzial geht über den ganzen Winter zurück, am stärksten im November und Dezember um mehr als die Hälfte auf 11 % und um ein Viertel auf 53 % (Abb. 36).

Bei der Betrachtung der thermischen Bedingungen gleicht das B1 dem A1B Szenario. Jedoch zeigt das B1 Szenario eine etwas geringere Abnahme des Kältestress und geringere Zunahme der Tage mit thermischer Behaglichkeit. Außnahmen bilden die Monate März und September. Unter Verwendung des B1 Szenarios fällt die Zunahme der Niederschlagshäufigeit geringer aus als beim A1B Szenario. Im Mai, Juni, August und September nimmt die Niederschlagswahrscheinlichkeit sogar ab. Die Häufigkeit einer Schneehöhe über 30 cm ist

im November und Dezember etwas höher, in der zweiten Winterhälfte jedoch geringer als unter Verwendung des A1B Szenarios.

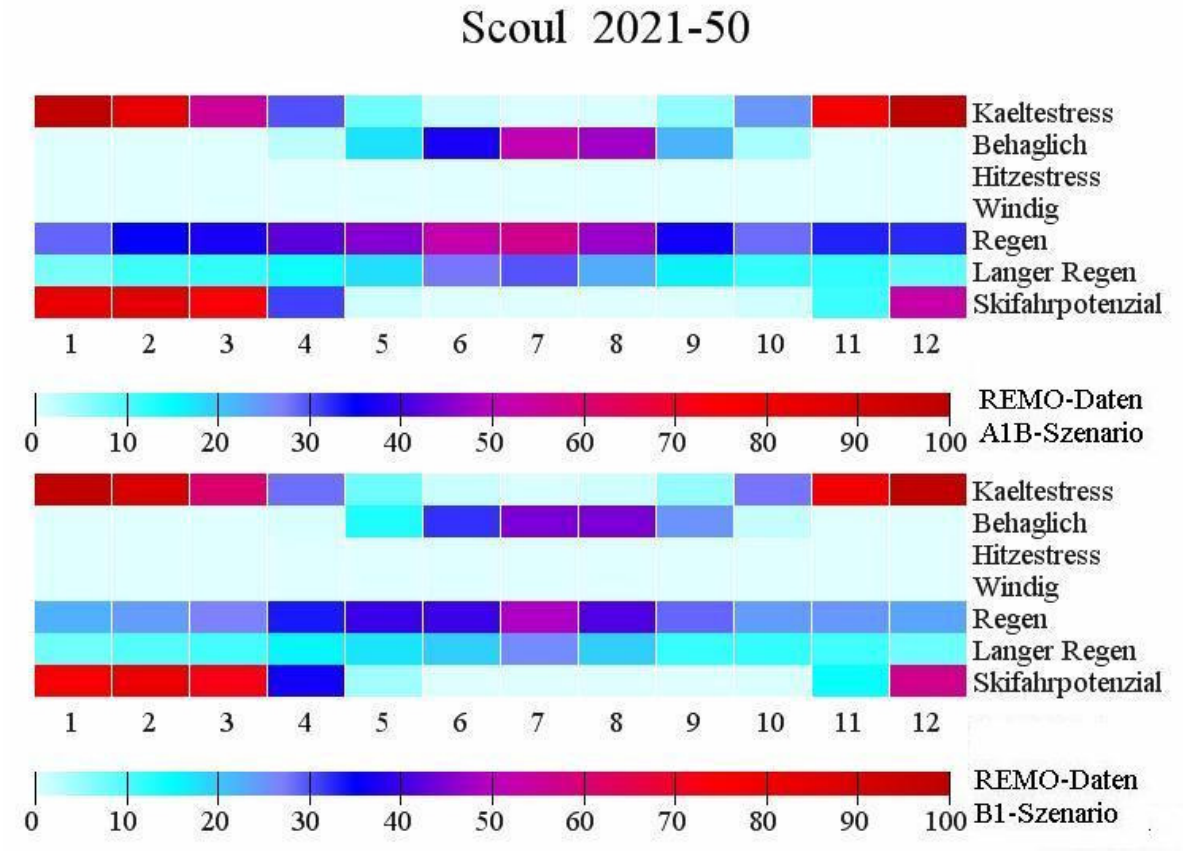


Abb. 36: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Zwischen den Zeiträumen 2021 – 50 und 2071 – 2100 kommt es zu einer starken Abnahme der Wahrscheinlichkeit von Kältestress um 3.5 Tage im Februar (13 %), April (37 %), Oktober (50 %) und im November um 25% (5.4 Tage). Die Tage mit thermisch behaglichen Bedingungen nehmen von April bis Oktober zu, so dass die Häufigkeit von Juni bis August über 50 % liegt. Im September erhöhen sich die Tage mit thermisch optimalen Bedingungen auf 45 %, das ist mehr als das zweifache wie im Zeitraum 2021 - 50. Im Juli und August kann geringfügig Hitzestress auftreten. Von Juni bis Oktober, im Dezember und Februar reduziert

sich die Niederschlagshäufigkeit, im Juli gar um ein Drittel (3.8 Tage) und im September um 2.8 Tage. Auch die Wahrscheinlichkeit, dass Niederschlag über 5 mm fällt, verringert sich in den Sommermonaten um 20 % bis 30 %.

Das B1 Szenario zeigt unveränderte bis gering abnehmende Niederschlagshäufigkeit von 1 %-P von 2021 - 50 bis Ende des Jahrhunderts auf. Die Niederschlagswahrscheinlichkeit ist das ganze Jahr über geringer als beim A1B Szenario (Abb. 37).

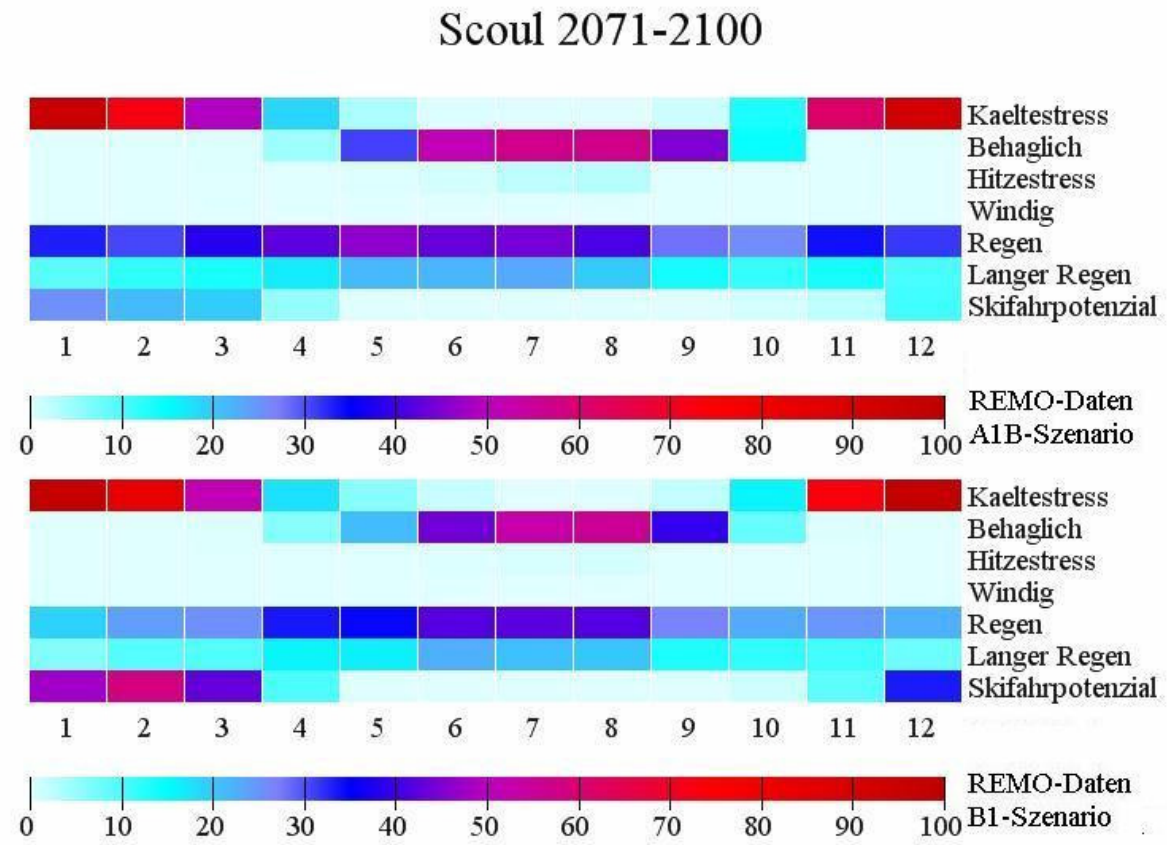


Abb. 37: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

In Sils Maria kann im Zeitraum 1981 – 2000 das ganze Jahr über mit Kältestress gerechnet werden, wobei die Wahrscheinlichkeit im Juli und August unter 1 % liegt, und im Januar mit 86 % das Maximum erreicht. Mit optimalen thermischen Bedingungen kann von Juni bis

September gerechnet werde, der Juli bildet der wärmste Monat mit behaglichen Bedingungen an 3.6 Tage. Die höchste Bewölkungshäufigkeiten mit einem Maximum von 57 % treten von Mai bis Juni auf. Der bewölkungsärmste Monat ist Januar mit einem Anteil von 36 %. In Sils Maria treten im Jahresmittel zu 7 % Winde mit einer Stärke über 8 m/s auf, windreichster Monat ist der Dezember, in welchem an 4 Tagen mit stärkerem Wind zu rechnen ist. Die Regenwahrscheinlichkeit liegt über das Jahr gesehen unter 28 %, mit einem Minimum im Januar von 21 % und einem Maximum im Juni von 38 %. Niederschläge über 5 mm machen dabei etwa die Hälfte aus. Schneehöhen über 30 cm treten von Oktober bis Mai auf, wobei März der schneereichste Monat ist. Aber auch im April liegt noch zu einer Wahrscheinlichkeit von 72 % Schnee (Abb. 38).

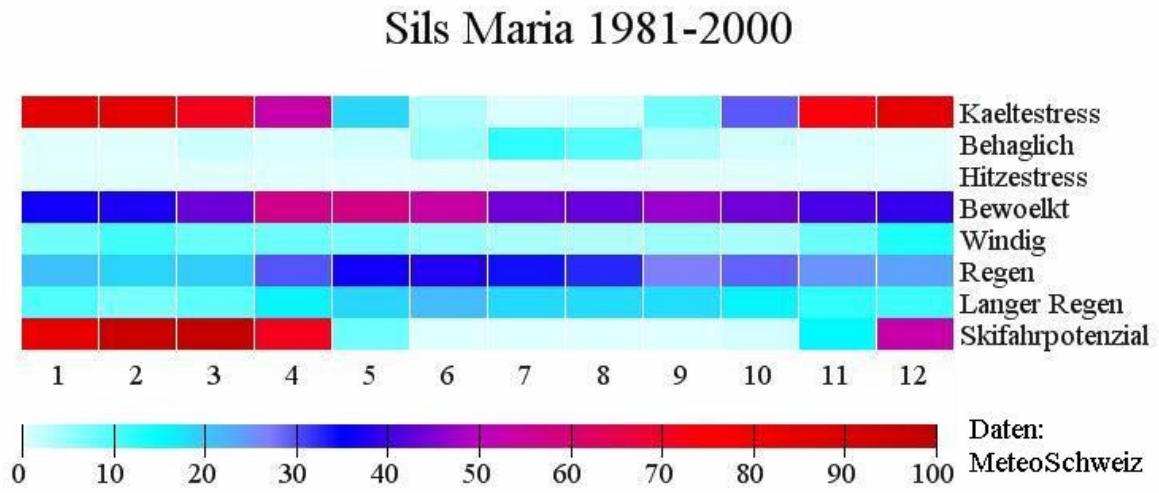


Abb. 38: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981-2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

Ein Vergleich mit der Auswertung der REMO-Modelldaten für Sils Maria im Zeitraum 1961 – 90 ergibt, dass das Modell die Kältebelastung vor allem im April und Mai überschätzt, ebenso die Wahrscheinlichkeit das behagliche Bedingungen auftreten um das Dreifache. Dagegen wir die Windgeschwindigkeit über das ganze Jahr unterschätzt. Mai ist der Monat mit der höchsten Regenfrequenz von 45 %. Vor allem im Winter wird der Niederschlag bis um das Doppelte überschätzt. Durch den zu hohen Niederschlag aber dennoch kalten Verhältnissen im Mai wird auch das Skipotenzial um das Dreifache überschätzt (Abb. 39).

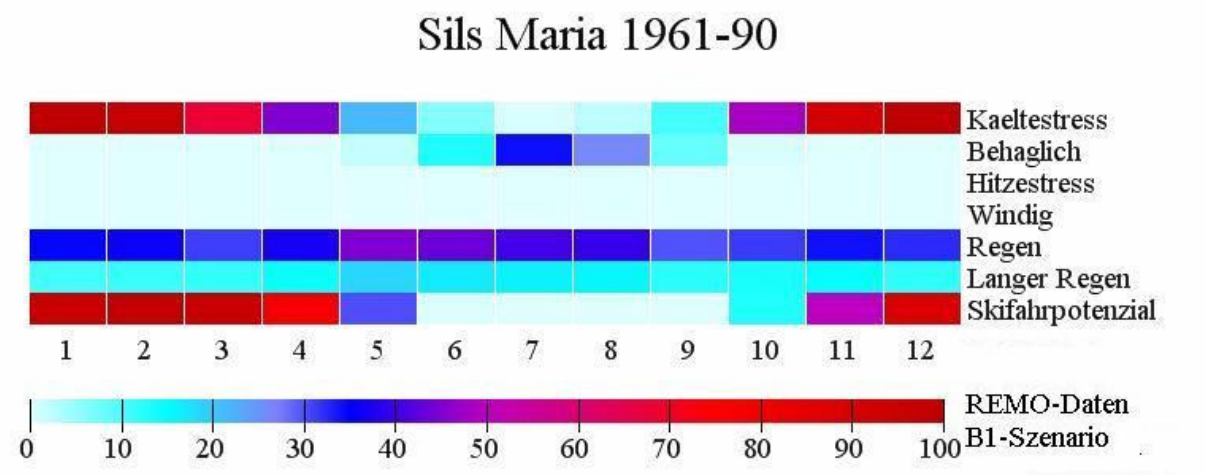


Abb. 39: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

Zum Zeitraum 2021 - 50 ist unter Verwendung des A1B Szenario eine Abnahme der Kältebelastung, besonders um 8 % (2.5 Tage) im Mai und im Oktober um 14 % (4 Tage) zu sehen. Die Anzahl an Tagen mit optimalen thermischen Bedingungen verdoppelt sich im Juni (4 Tage) und steigt im Juli und August um 50 % (4.4 Tage). Hitzestress oder Windstärken über 8 m/s bleiben in den Modelldaten aus. Außer im Mai steigt die Regenfrequenz von November bis April um durchschnittlich 50 %. Das Skifahrpotenzial nimmt im November um 34 % (5 Tage), Dezember um 5.7 % (1.5 Tage), sowie im April und Mai ab (Abb. 41). Das B1 Szenario weist wieder eine geringere Erwärmung auf, was sich vor allem in der Häufigkeit der Tage mit optimalen thermischen Bedingungen ausdrückt, dass Maximum tritt statt im Juli im August auf und fällt um 10 %-P geringer aus. Im März, April und September ist die PET im B1 Szenario höher als im A1B. Die Niederschlagswahrscheinlichkeit ist geringer als im A1B Szenario. Die Zunahme der Niederschlagshäufigkeit im Winter fällt mit einem Anstieg von 9 % geringer aus, von Mai bis September mit Ausnahme Juli ist die Niederschlagsfrequenz rückläufig (Abb. 40).

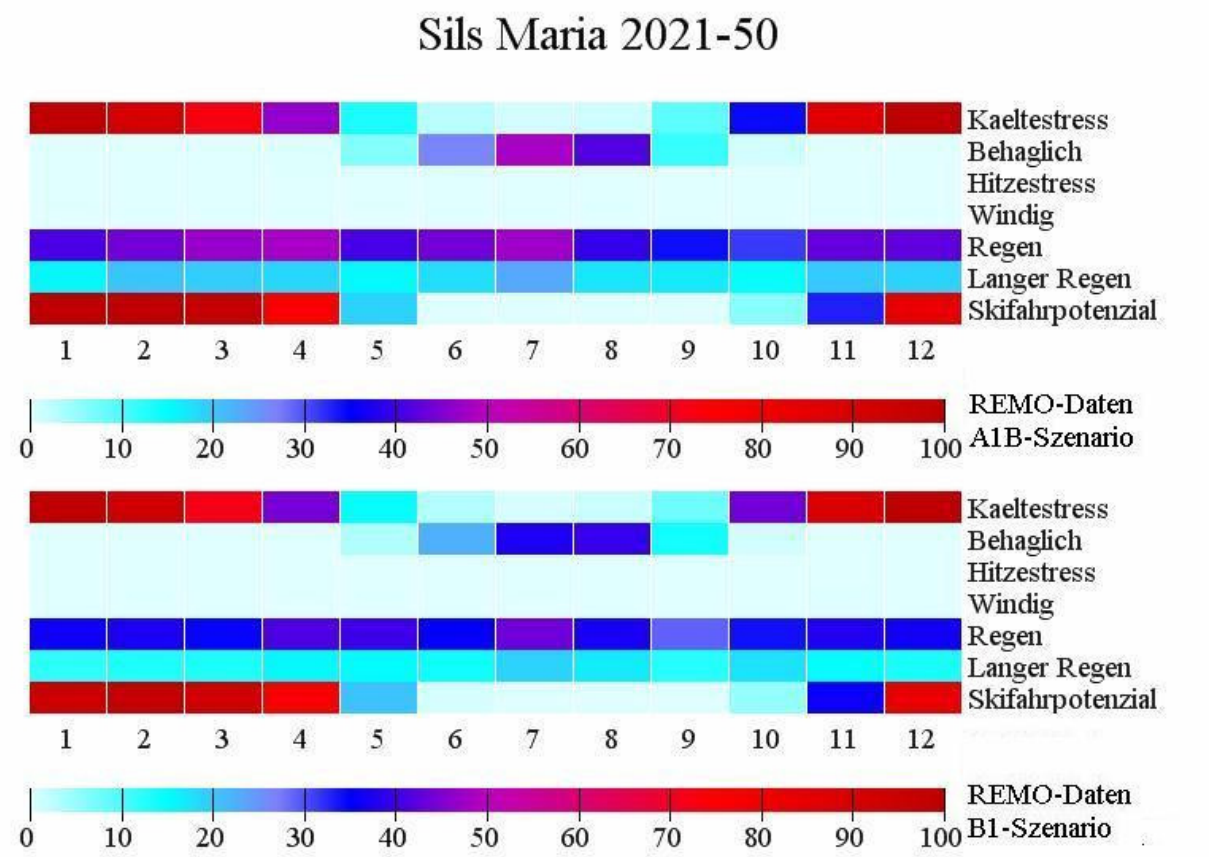


Abb. 40: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Unter Verwendung des A1B Szenario verringert sich die Anzahl an Tage mit Kältestress im Dezember und Januar bis Ende des Jahrhunderts nur gering. Im Oktober reduziert sich die Häufigkeit um 46 % (4.7 Tage), im November und Mai um 14.4 % (3.8 Tage). Zu 73 % kommen im November Temperaturen unter 0 °C vor, im Dezember und Januar zu 97 %, im Februar zu 80 % und im März zu 50 %. Tage mit thermischer Behaglichkeit werden von April bis Oktober vorkommen, mit einer Häufigkeit von 56 % im Juli und August. Hitzestress spielt aber keine Rolle. Die Niederschlagshäufigkeit nimmt von Juni bis Oktober um bis zu 30 % (4.3 Tage) ab. Damit ist im Winter eine größere Regenwahrscheinlichkeit gegeben als im Sommer, das Maximum verschiebt sich in den Mai. Die Häufigkeit von Niederschlag über

5 mm pendelt zwischen 16 % und 20 %. Das Skifahrpotenzial nimmt stark ab. Im Dezember besteht die Wahrscheinlichkeit noch bei 50 %, von Januar bis März bei 64 % (Abb. 41).

Die Erwärmung unter Verwendung des B1 Szenario läuft gedämpfter ab. So ist im Mai und Oktober etwa die Wahrscheinlichkeit für Kältestress um 50 % und 33 % größer, die Häufigkeit an thermischer Behaglichkeit um 12 %-P im Juli und August geringer.Die Niederschlagshäufigkeit liegt von November bis Januar zwischen 32 % bis 34 % und ist damit etwa 10 %-P geringer als im A1B Szenario. Im Sommer ist dagegen die Regenwahrscheinlichkeit geringfügig größer. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Schneehöhe über 30 cm beträgt liegt im November bei 24 % und steigt bis Februar auf 94 %, im April beträgt sie noch 46 %.

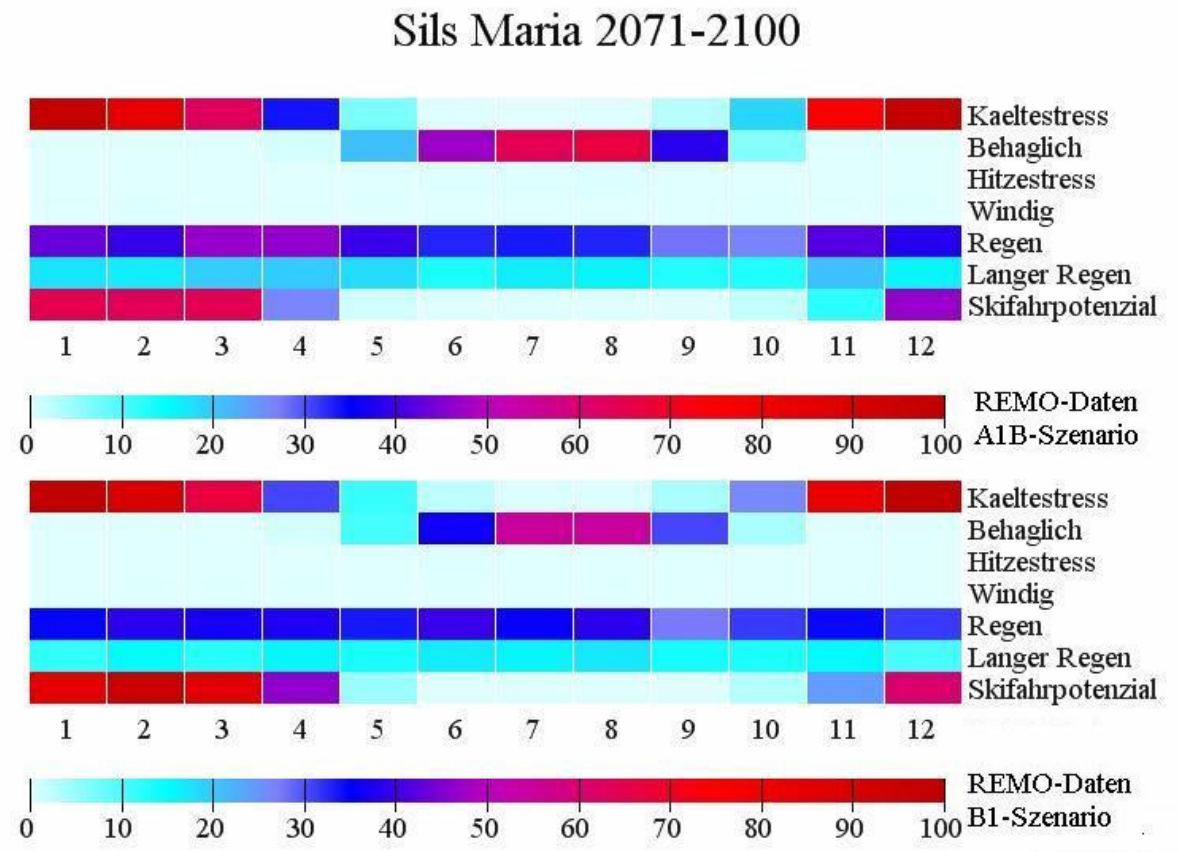


Abb. 41: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

8. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit wurde das bestehende klimatische Tourismuspotenzial, sowie die Änderungen der klimatischen Bedingungen mit dem Klimawandel für den Zeitraum 2021 - 50 und 2071 - 2100 für den Raum Engadin auf Grundlage von Stationsdaten der MeteoSchweiz und REMO Modelldaten analysiert. Das Modell CLM wurde exemplarisch im Datenvergleich behandelt.

8.1 Datenvergleich

Das CLM Modell gibt die klimatischen Bedingungen im Engadin nur schlecht wieder, vor allem der Niederschlag wird um über 50 % unterschätzt. Auch der RMSE der Temperatur fällt schlechter aus, als der der REMO Daten.

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.

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.

Eine deutliche Verringerung des RMSE ist dadurch zu erreichen, indem die Parameter in monatlicher oder jährlicher Auflösung oder gar über mehrere Jahre hinweg betrachtet werden.

Der überschätzte Niederschlag wird dadurch erklärt, dass die bessere Modellauflösung durch eine stärkere vertikale Bewegung durch eine besser aufgelöste Oberfläche und einen aktiveren Wasserkreislauf begünstigt wird. Im Frühjahr und Sommer, lässt zudem das Modell die Schneeschmelze zu früh einsetzten. Dadurch ist die Erde zu nass, was wiederum zu erhöhter Evapotranspiration und Niederschlag führt (Jacob 2007). Des Weiteren ist der Ausgangswert schon zu hoch, weil die Niederschlagswerte durch das GCM schon überschätzt werden.

Auch wenn die absoluten Werte nicht ganz mit den Messwerten übereinstimmen, kann doch der Trend verfolgt werden. Außerdem bildet solch ein regionales Klimamodell bisweilen die einzige Möglichkeit die zukünftigen Klimaänderung zu modellieren.

Beim Vergleich zwischen Messdaten und REMO für den Zeitraum 1981 - 2000 bzw. 1961 - 90 beträgt auf Piz Corvatsch die mittlere PET statt -7.1 °C laut REMO -3.4 °C, obwohl mit Hilfe eines Lufttemperaturgradienten von 0.65 °C pro 100 m die Lufttemperatur auf die Höhe angepasst wurde. In Sils Maria wird die mittlere PET um 0.5 °C überschätzt und misst somit 1.2 °C. In Scoul beträgt die mittlere gemessene PET für den Zeitraum 7.8 °C, laut dem REMO Modell jedoch 3.4 °C. Somit fällt auch die PET für höher gelegene Stationen zu hoch und für niedriger gelegene Orte zu gering aus. Grundsätzlich ist zu beobachten, dass das Kältepotenzial überschätzt wird, in Sils Maria zusätzlich auch die Sommerwärme. Berücksichtigt man, dass die 90er Jahre sehr warm waren, so modifiziert sich die Differenz zwischen den beiden Datensätzen in Scoul, verstärkt diese jedoch auf Piz Corvatsch und in Sils Maria.

8.2 Das klimatischen Tourismuspotenzial im Engadin und seine Entwicklung bis 2100

Das klimatische Tourismuspotenzial wurde anhand der Messdaten für den Zeitraum 1981 - 2000 grundlegend erklärt. Anhand der REMO Modelldaten wurde die Entwicklung des

Tourismuspotenzials für die Zeiträume 2021 - 50 und 2071 – 2100 unter der Verwendung des A1B und B1 Szenario analysiert.

Das B1 Szenario geht von einer globalen Entwicklung mit einem hohen Stellenwert der wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Nachhaltigkeit aus. Die Bevölkerung soll bis Mitte des Jahrhunderts weiter ansteigen, danach aber wieder abnehmen. Aufgrund Effizienzsteigerung, Reduzierung des Materialverbrauchs und der Einführung nicht-fossiler Energieträger wird ein Anstieg der CO_2 Werte bis Mitte des 21. Jahrhunderts mit anschließendem Rückgang erwartet.

Das A1 Szenario beschreibt eine Welt mit moderatem Bevölkerungswachstum mit Maximum in der Mitte des 21. Jahrhunderts, einem schnellen Wirtschaftswachstum, der raschen Einführung neuer und effizienter Technologien sowie fortschreitender Globalisierung. Das A1B-Szenario beschreibt eine ausgewogene Nutzung fossiler und nicht-fossiler Energieträger. Es wird von einem stetigen Anstieg der Emissionen mit einem Maximum um 2060 und darauf folgenden Rückgang ausgegangen.

Im Zeitraum 1981 – 2000 profitiert der Wintertourismus im Engadin von niederschlagsarmen Bedingungen und Sonnenreichtum. Werten der PET unter -10 °C sind selbst auf dem Talgrund im Oberengadin um 14 Uhr keine Seltenheit. In Sils Maria muss zu 65 %, in Scoul zu 20% und auf dem Piz Corvatsch zu 90% damit gerechnet werden. Skifahrpotenzial besteht im Oberengadin von November bis April und im Unterengadin von Dezember bis April. Februar als Urlaubsmonat weist die schneesichersten Bedingungen, der geringste Niederschlag und Bewölkungsanteil sowie schon wieder etwas wärmere Temperaturen auf. Auf den Bergen muss jedoch mit 50 prozentiger Häufigkeit mit einer Windstärke über 8 m/s gerechnet werden.

In den Sommermonaten Juni bis August herrschen mit bis zu 64% optimalen thermischen Bedingungen im Unterengadin. Im Oberengadin dagegen nur an maximal 4 Tagen im Monat. Über den Sommer tritt die größte Häufigkeit an Bewölkung, Niederschlagsdauer und-frequenz auf. Zwar kältere, aber trockenere Bedingungen sind wiederum im September und Oktober zu erwarten. Der Malojawind kann im Sommer zu hohen Windgeschwindigkeiten

führen, welche bis Bever zu spüren sind. Auf den Bergen ist die Windgeschwindigkeit über den Sommer geringer als im Winter.

Bis Mitte des Jahrhunderts wird durch die Erwärmung eine Abnahme der Anzahl an Tagen mit Kältestress vor allem im Früh- und Spätwinter erwartet. Das Skipotenzial ist beim A1B Szenario im Frühwinter am stärksten rückläufig und beim B1 Szenario im Spätwinter. Dennoch kann in Sils Maria von Januar bis März mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 98 % mit einer Schneehöhe über 30 cm gerechnet werden, in Scoul mit einer Häufigkeit von 80 %. Die zunehmende Niederschlagshäufigkeit und –intensität im Winter kann für eine höhere Lawinengefahr sorgen.

Beim A1B Szenario kann im Sommer mit einer Zunahme der Häufigkeit von Tagen mit behaglichen Bedingungen gerechnet werden. Allerdings soll der Niederschlag im Sommer zunehmen. Beim B1 Szenario fällt die Zunahme der Tage mit behaglichen oder warmen Bedingungen etwas schwächer aus. Doch außer im Juli soll der Niederschlag von Mai bis September abnehmen. Hitzestress wird im Engadin keine Rolle spielen. Im Herbst verbessern sich die klimatischen Bedingungen, denn die Niederschlagshäufigkeit und –menge reduziert sich und die Anzahl an Tagen mit guten thermischen Bedingungen steigt.

Bis Ende des Jahrhunderts kann im Unterengadin nicht mehr mit klassischem Wintertourismus gerechnet werde. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Schneehöhe 30 cm oder mehr beträgt, liegt im Dezember bei 33 % und im Februar bei 58 % beim B1 Szenario. Unter Verwendung des A1B Szenarios kann nur noch mit einer maximal Wahrscheinlichkeit von 25 % gerechnet werden. Gleichzeitig nimmt natürlich der Anteil des Kältestress ab. Durch die Erwärmung kann der steigende Winterniederschlag immer mehr in flüssiger als fester Form fallen.

Im Oberengadin hingegen wird beim B1 Szenario weiterhin ein hohes Skifahrpotenzial von über 85 % von Januar bis März bestehen. Beim A1B Szenario sinkt diese in diesem Zeitraum jedoch auf 64 %.

Der Sommertourismus kann im Ober- und Unterengadin optimale Bedingungen erwarten. Auf dem Talgrund kann mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 60 % optimale thermische Bedingungen erwartet werden. Im Unterengadin kann zu maximal 4 % Hitzestress auftreten. Gleichzeitig nimmt die Niederschlagsmenge im Sommer und Herbst ab.

Durch bessere thermisch Bedingungen von Mai bis Oktober und die unbedeutende Wahrscheinlichkeit von Hitzestress kann das Engadin eine bessere Entwicklung des klimatischen Klimapotenzials als die Gebiete in Südeuropa oder tiefer gelegene Destinationen bieten (Vgl. Zaninovic und. Matzarakis 2009, Matzarakis und Endler 2008). Das Engadin, vor allem Oberengadin wird in den zukünftigen Jahren ein höheres Skifahrpotenzial als tiefer gelegene Skigebiete aufweisen können (Bürki, Abegg und Elsasser 2007) und deshalb weiterhin mit Wintertourismus rechnen können. *Image* Probleme können jedoch Wärmeperioden im Winter und erhöhte Lawinengefahr bereiten.

8.3 Vergleich mit der Literatur

Die mittlere PET wird zwischen den Zeiträumen 1961 – 90 unter Verwendung des A1B Szenarios um 1.5 °C und unter Verwendung des B1 Szenarios um 0.9 °C steigen. Von Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts kann nochmals mit einer Erwärmung von 2.2 °C bis 2.4 C unter Verwendung des B1 Szenarios und um 3.5 °C beim A1B Szenario gerechnet werden (Tab. 19).

Tab. 19: Trend und Vergleich der mittleren PET unter Verwendung des A1B und B1 Szenario des REMO Modells im Zeitraum 1961 – 2100.

PET (°C)	**Buffalora**		**Scoul**		**Sta Maria**		**Sils Maria**	
	B1	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**
1961 - 90	3.5	2.8	3.4	3.5	3.6	3.6	1.2	1.2
2021 - 50	4.3	4.2	4.3	4.9	4.5	5.1	2.1	2.6
2071 - 2100	6.6	7.7	6.6	8.4	6.8	8.6	4.5	6.2
Änderung (°C)								
1961 – 90 bis 2021 - 50	0.9	1.5	0.9	1.4	0.9	1.5	0.9	1.5
2021 – 50 bis 2071 - 2100	2.3	3.5	2.3	3.5	2.3	3.5	2.4	3.6

PET nimmt im Winter von der Klimanormalperiode bis zum Zeitraum 2021 – 2050 um 1.0 °C beim B1 Szenario und um 1.2 °C beim A1B Szenario zu. Im Sommer nimmt PET um 1.4 °C beim B1 und um 2.3 °C beim A1B Szenario zwischen den Zeiträumen 1961 – 90 und 2021 - 50 zu. Bei einem Vergleich der PET mit der Zunahme der Lufttemperatur, diese ist ja eine gewichtige Größe bei der Berechnung der PET, stimmt der Trend der stärkeren Erwärmung im Sommer und im Vergleich geringeren im Winter überein. In der Literatur wird

eine Zunahme der Lufttemperatur im Sommer um 1.4 °C bis 4.9 °C und im Winter um 0.9 °C bis 3.4 °C erwartet (MeteoSchweiz 2009).

Von Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts kann die Winter-PET um 1.7 °C beim B1 Szenario und um 2.8 °C beim A1B Szenario ansteigen, im Sommer um 3.1 °C und 5.1 °C (Tab. 20).

Tab. 20: Saisonaler Trend der mittleren PET in Sils Maria unter Verwendung des A1B und B1 Szenario des REMO Modells im Zeitraum 1961 – 2100.

PET (°C)	**Winter**		**Frühjahr**		**Sommer**		**Herbst**	
	B1	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**
1961-90	-10.8		1.1		13.2		0.9	
2021-50	-9.8	-9.6	1.3	1.7	14.7	15.5	2.0	2.8
2071-2100	-8.2	-6.8	3.3	4.3	17.8	20.6	4.7	6.6
Änderung (°C)								
1961 – 90 bis 2021 - 50	1.0	1.2	0.1	0.6	1.4	2.3	1.1	1.9
2021 – 50 bis 2071 - 2100	1.7	2.8	2.0	2.6	3.1	5.1	2.6	3.8

Der mittlere Jahresniederschlag nimmt bis Mitte des 21. Jahrhunderts unter Verwendung des B1 Szenarios um 9 % und beim A1B um 3 % zu. Von Mitte bis Ende des Jahrhunderts nimmt der mittlere Jahresniederschlag beim B1 Szenario wieder um 1 % bis 5 % ab. Beim A1B Szenario bleibt er im Oberengadin konstant und nimmt im Unterengadin und Val Müstair leicht zu.

Tab. 21: Niederschlagssumme in Scoul. Die absoluten Werte basieren auf den Messdaten, welche mit der prozentualen Veränderung der REMO Daten verrechnet wurden.

Jahres-niederschlag (mm)	**Zeitraum**	**Winter**	**Frühjahr**	**Sommer**	**Herbst**	**Jahr**
MeteoSchweiz	1961 - 1990	119	160	254	160	693
B1 Szenario	2021 - 2050	142	169	257	187	756
	2071 - 2100	139	168	242	183	731
A1B Szenario	2021 - 2050	134	149	268	173	724
	2071 - 2100	150	176	233	205	763

Beim Vergleich der saisonalen Niederschlagsmengen mit der Literatur fällt auf, dass der Sommersniederschlag nicht abnimmt, sondern bis 2021 – 2050 gering steigt. In den REMO Daten fällt vor allem der Niederschlag im Juli sehr hoch aus, was die Abnahme im August und Juli jedoch überdecken. Erst bis Ende des 21. Jahrhunderts nimmt der Sommerniederschlag ab (Tab. 21).

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). Dagegen ergibt das REMO Modellszenario eine Abnahme der mittleren Schneehöhe um 42 % im Oberengadin und um 31 % im Unterengadin im selben Zeitraum.

9. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde zuerst das klimatische Tourismuspotenzial im Engadin unter Verwendung der MeteoSchweiz Messdaten definiert, um anschließend die Änderung dieses im Zuge des Klimawandels zu analysieren. Dafür wurden das vom Max-Planck-Institut für Meteorologie entwickelte REMO Modelldaten unter der Verwendung des A1B und B1 Szenario für den Zeitraum 2021 - 50 und 2071 – 2100 benutzt. Die räumliche Auflösung dieses Modells beträgt 10 x 10 km. In dem stark orographisch geprägten Gebiet arbeitet das Modell mit einer mittleren Geländehöhe. Die Daten dieser Modelle können mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit das Klima modellieren, Unsicherheiten und Fehler entstehen allein schon durch die Annahme eines Szenarios, durch die Parametrisierung subskaliger Prozesse, wie konvektive Niederschlagsbildung sowie mangelndes *know-how* über alle wirkenden Komponenten und ihrer Wechselwirkungen. Dennoch ist es bisher die einzige Möglichkeit in die Zukunft schauen zu können.

Der Vergleich zwischen den dynamischen, 3-dimensionalen Regionalen Klimamodelle CLM und REMO lässt ahnen, wie komplex die Klimamodellierung im Engadin ist. Das CLM Modell unterschätzt den Niederschlag um 50 % und auch die Lufttemperatur zeigt größere Abweichungen auf. Dagegen sind die Abweichungen zwischen den Messdaten und dem REMO-Modell moderater. Die Jahressumme des Niederschlags stimmt hier recht gut mit den gemessenen Werten überein, die saisonalen Werte jedoch nicht. Die Temperatur ist eher zu hoch geschätzt. Die Berechnung des RMSE lässt zu dem Ergebnis kommen, dass ein Mittel der Modelldaten über einige Jahre näher an den gemessenen Daten liegt. Deshalb wurde eine monatliche Auflösung für die Häufigkeitsdiagramme mit den Modelldaten als Datengrundlage gewählt. Durch die Verwendung der zwei Emissionszenarien A1B und B1 werden nur zwei mögliche Entwicklungen vorgeschlagen.

Von Vorteil wäre eine bessere statistische Korrektur zwischen den Messdaten und den Modelldaten im Bezug auf die Höhendifferenz gewesen. So wäre auch ein Downscalling auf eine Auflösung von einige hundert Meter interessant gewesen. Die Temperatur konnte zwar mit dem Temperaturgradienten der Höhe angepasst werde, aber nicht so Niederschlag oder Windgeschwindigkeit. Dies führt zu zu hochen Werten der PET auf hoch gelegenen Gebieten.

Auch bei der Berechnung der Schneehöhe, hätte die dazu gebrauchte Schneedichte sicherlich besser der Höhe angepasst werden können.

Die thermische Komponente des klimatischen Tourismuspotenzials wurde anhand der PET berechnet. Als Nacheil der PET wird die Unterschätzung der Feuchte genannt. Des Weiteren wird sie unter der Standardeinstellung mit gleichbleibender Kleidung und Aktivität berechnet. Da eine zur thermischen Behaglichkeit führende Kleidung jedoch auch von der Aktivität abhängt, kann ein Bekleidungskalender und –karte ausgeschlossen werden. Außerdem ist der Index ohne variable Bekleidung leicht zu verstehen, weil sich der Bürger vorstellen kann, welches thermische Empfinden er in einem Zimmer bei 10 °C erwartet und wie er sich durch veränderte Aktivität und Kleidung anpassen muss.

Der Klimawandel wird Auswirkungen auf die strategische Basis für den Tourismus haben, gleichzeitig verursacht der Tourismus aber auch ökologischen Schaden. Der Tourist reist mit Flugzeug und in PKWs in das Engadin um „Natur pur“ zu genießen.

Der Tourismus trägt mit 5% zum weltweiten CO_2-Ausstoß bei, in den Alpen tragen steigende Motorisierung, Kurzurlaube und Zweitwohnsitze wesentlich zum Emissionsausstoß bei. „Als Mitverursacher soll der Tourismus nicht nur reagieren, sondern möglichst die Verminderung als Chance sehen.“ (Müller und Weber 2008). Neben politischen Maßnahmen sind solche auch in den Destinationen und Betrieben von Wichtigkeit. Umweltfreundliche Bewirtschaftung von Betrieben wird inzwischen schon in die Marketingstrategien eingebunden.

Das Projekt Clean Energy St. Moritz Projekt wurde 2003 anlässlich der Ski WM eingeweiht und fördert die Energiegewinnung aus Wasserkraft, Wind, Sonne und Biogas auf 1770 bis 3057 m Höhe. Photovoltaikanlagen profitieren hier von 322 Sonnentage im Jahr und temporäre Leistungssteigerung durch Albedo-Effekt bei Schneebedeckung um 50%. Weiteres Ziel des 1 Mio. CHF treueren Projekts ist Effizienzsteigerung und Energiesparmaßnahmen[5]. Ein Lehrpfad soll dieses Projekt Touristen näher bringen. Weitere Projekte in diesem Rahmen

[5] http://www.clean-energy.ch/index2.html

sind Biogasanlagen im ganzen Engadin, Heizung durch Erdwärme und Stromproduktion aus dem Abfallstoff Schotte aus einer Biokäseproduktion in Celerina[6].

Das Badrutt`s Palace Hotel in St. Moritz, welches auch als erste Haus 1879 mit Strom versorgt wurde und das Schulhaus Grevas decken 80% bzw. 70% ihres Gesamtenergiebedarfs mit Hilfe einer Wärmepumpeanlage. Das Hotel verfügt über 135 Zimmer und 30 Suiten, das Schulhaus besitzt 42 Zimmer, Doppelturnhalle und eine Wohnung. Die Wärme wird durch Abkühlung des 4 °C kalten Wasser des St. Moritzersees auf 1 °C gewonnen. Der restliche Strombedarf wird durch Abwärme und zu Spitzenzeiten mit Ölheizung gedeckt[7].

90 Hotels im Engadin beteiligen sich seit letztem Sommer an dem Angebot „Bergbahn inklusive“. Touristen wird ab zwei Übernachtungen kostenlose Nutzung der Bergbahnen und teilweise des öffentlichen Verkehrs angeboten[8].

Es werden nicht nur Maßnahmen zum Klima- und Naturschutz ergriffen, sondern auch um den Menschen vor Naturgewalten zu schützen. So wurden in Pontresina Schutzdämme für über 8 Mio. CHF gebaut, um den Ort vor Großlawinen, Murenabgängen und Gerölllawinen zu schützen (Müller, H. und F. Weber 2008).

Durch die geringere Schneewahrscheinlichkeiten werden auch die zunehmende Beschneiung starke Eingriffe in das Ökosystem getätigt. In Scoul werden schon heute 30 % ihrer 80 km Pistenlänge beschneit und die Anlage soll weiter ausgebaut werden, um den Wintertouristen sicherere Skifahrmöglichkeiten zu bieten.

Scoul und das Unterengadin finanzieren eine Beschneiungsanlage im Wert von 2.5 Mio. €, um weiterhin die Talabfahrt garantieren zu können, mit weitreichenden Folgen auf Flora durch höhere Schneedichten und verspäteter Ausaperung oder auf den Wasserkreislauf. Der Bau von Infrastruktur versiegelt weitere Flächen, zerstört sensible Ökosysteme.

Im ganzen Alpenraum sind etliche weitere good - practice - Beispiele zu finden, wie erneuerbare Energiegewinnung der Best Western Swiss Hotels oder Energiesparbemühungen

[6] http://www.stmoritz.ch/sommer/activities/ausfluege-tipps/clean-energy-tour.html
[7] www.cipra.org/competition-cc.alps/ewzedl/at_download/file1
[8] http://www.engadin.stmoritz.ch/search/?q=Bergbahnen+inclusive

und Effizienzsteigerung der Stadt Davos oder der Schweizer Jugendherbergen um CO_2 einzusparen.

Arosa nimmt eine gewisse Vorreiterrolle ein. Bei der Buchung einer klimaneutralen Winterpauschale wird der gesamte im Urlaub und Anreise anfallende CO_2-Ausstoß berechnet, welcher durch Investitionen in Biogasanlagen wieder abgebaut werden kann[9]. Das Tschuggen Grand Hotel Arosa investierte in den Coaster, um das 9 km entfernten Skigebiet zu erschließen. Der Coaster fährt selbstständig gesteuert in einem ortsfesten Schienensystem etwa 3 m über dem Grund. Beim Abwärtsfahren erzeugt er einen Teil seiner Energie für die Bergfahrt und entlastet gleichzeitig die Straßen[10]. In Arosa wird für alle übernachtenden Gäste kostenlose Nutzung der Stadtbusse und im Sommer auch Bergbahnen angeboten. Des weiteren ist Arosa Mitglied im Netzwerk „Alpine Pearls“, welches mit verantwortungsbewusstes, umweltverträgliches Reisen mit erlebnisorientierten und kulturell vielfältigen Ferienangebot, sowie Bewahrung der regionalen Eigenheiten wirbt. [11]

[9] http://www.arosa.ch/sites/pauschalen_sub/klimaneutrale_winterferienpauschale.html
[10] http://www.citycoaster.com/produkt.html
[11] http://www.alpine-pearls.com/home.php

10. 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.

Amelung, B., K. Blazejczyk, A. Matzarakis (2007): Climate Change and tourism – Assessment and coping strategies. (http://www.klimatrends.de/?page_id=901)

Amt für Natur und Umwelt Graubünden. Interaktive Karten http://mapserver1.gr.ch/geologie/geologie.phtml, Stand Oktober 2009

Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden (2008), Durchblick 2008 – Graubünden in Zahlen, Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden, Chur.

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.

Bürki, R.,B. Abegg und .H. Elsasser (2007): Climate Change and Tourism in the alpine regions of Switzerland. In: Amelung, B., K. Blazejczyk und A. Matzarakis (Hrsg.) (2007): Climate Change and Tourism. Assessment and Coping Strategies. S.165-172.

Davis, N. (1968): An optimum weather index. Weather Nr. 23. S.305–317

de Freitas, C. R. (2003): Tourism climatology: evaluating environmental information for decision making and business planning in the recreation and tourism sector. In Int. J. Biometeorologie 2003. S.45 -54.

de Freitas, C.R. (2002): Theory, concepts and methods in tourism climate research. In: A. Matzarakis and C.R. de Freitas (eds.), Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Porto Carras, Greece, October 2001. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation. Porto Carras, Halkidiki, Greece, WP 01. S.3-20.

Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2008): Klimawandel in den Alpen. Fakten - Folgen - Anpassungen. Silber Druck. Bonn. 3. Auflage.

Endler, Ch., K. Oehler und A. Matzarakis (2009): Vertical gradient of climate change and climate tourism conditions in the Black Forrest. In: International Journal Biometeorology.

Fanger, P.O. und G. Langkilde (1975): Individual Differences in Ambient Temperature prefered by Seated Persons. ASHRAE Trans. 81. Nr. 2367. S. 140-147.

Fergusson P (1964) Summer weather at the English seaside. Weather Nr. 19. S.144–146

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.

Gómez, M. (2004): An evaluation of the tourist potential of the climate in Catalonia (Spain): a regional study. Geogr Ann 86A (3). S. 249–264

Green, J. (1967): Holiday meteorology: reflections on weather and outdoor comfort. Nr. 22. S.128–253

Harlfinger, O. (1991): Holiday bioclimatology. A study of Palma de Majorca, Spain. Geojournal Nr. 25. S.377–381

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.

Jendritzky, G., A. Maarouf und H. Staiger (2001): Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications. Winsor-Conference on Thermal Standards. 5.-8.04.2001. Windsor. 17 S.

Koch, E., W. Marktl, A. Matzarakis, H. Nefzger, E. Rudel, S. Schunder-Tatzber, M. Zygmuntowski (2005): Klimatherapie in Österreich. Broschüre zu den Potentialen der Klimatherapie in Österreich. - Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.

Koppe, Ch., G. Jendritzky, G. Pfaff (2003): Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Gesundheit. In: DWD (2003): Klimastatusbericht 2003. S. 152-154.

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.

Matzarakis, A. (2007): Entwicklung einer Bewertungsmethodik zur Integration von Wetter und Klimabedingungen im Tourismus. Ber. Meteorol. Institut Univ. Freiburg Nr. 16. 2007. S. 73-79.

Matzarakis, A. (2007): Assessment method for climate and tourism based on daily data. In: Matzarakis, A., C. R. de Freitas, D. Scott (Herrausgeber): Developments in tourism climatology. S. 52–58

Matzarakis, A. (2007): Climate, thermal comfort and tourism. In: Amelung, B., K. Blazejczyk, A. Matzarakis (2007): Climate Change and tourism – Assessment and coping strategies. (http://www.klimatrends.de/?page_id=901)

Matzarakis, A. und Ch. Endler (2008): Slimate Change and tourism in Germany – North Sea and Black Forest. ICB2008. Tourism, Symposiom.

Matzarakis, A. und C. R. de Freitas (2005): Neueste Entwicklungen in der Tourismus-Klimatologie. In: Deutsche Meteorologische Organisation (2005): Mitteilungen DMG 01/2005. S. 2-4.

Matzarakis, A., C. R. de Freitas, D. Scott (2007): Developments in Tourism Climatology. Third international Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Commission on Climate, Tourism and Recreation. International Society of Biometeorology.

Matzarakis, A., F. Rutz und H. Mayer, (2000): Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In:. de Dear, R.J., J.D. Kalma, T.R. Oke und A. Auliciems (1999): Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium. Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD Nr. 1026. S. 273-278.

Maunder, W. J. (1972): The formulation of weather indices for use in climatic-economic studies: a New Zealand example. N Z Geography. Nr. 28. S.130–150

Mayer, H. und A. Matzarakis (1999): Die Richtlinie VDI 3787 Blatt 2. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. In: Komission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (1999): Umweltsimulation. Methodik, Anwendung, Nutzen. Tagung Düsseldorf. September 1999. Band 31. S. 53-62.

Mayer, H. und A. Matzarakis (2003): Zukunftsperspektiven der Umweltmeteorologie.In: DWD (2003): Promet Jahrg. 30. S. 57-66.

Mayer, H. und P.Höppe (1987): Thermal Comfort of Man in Different Urban Environments. In Theoretical and applied Climatology. Nr. 38. Springer Verlag. S.43-49.

MeteoSchweiz (2009): Klimabericht Kanton Graubünden. Arbeitsbericht der MeteoSchweiz, 228. S.2-38.

Mieczkowski, Z. (1985): The tourism climatic index: a method of evaluating world climates for tourism. Canadian Geogr 29:220–233

Müller, H. und F. Weber (2008): 2030: Der Schweizer Tourismus im Klimawandel.

Murray, R. (1972): A simple summer index with an illustration for summer 1971. Weather. Nr. 27. S. 161–169

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.

Poulter, R. M. (1962): The next few summers in London. Weather. Nr. 17. S. 253–257

Rothenbühl, Ch. (2006): GISALP. Räumlich-zeitliche Modellierung der klimasensitiven Hochgebirgslandschaften des Oberengadins. Dissertation. 189 S.

Smith, C. G. (1985): Holiday weather: Southeast Asia. Weather. Nr. 40. S. 21– 23

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

VDI (1998): VDI- Richtlinie 3781. Blatt 2. 29 S.

Wanner, H., D. Gyalistras, J. Luterbacher, R. Rickli, E. Salvisberg, Ch. Schmutz (2000): Klimawandel im Schweizer Alpenraum. Vdf, Hochschul-Verlag an der ETH. Zürich.

Zaninovic, K. und A. Matzarakis (2009): The bioclimatological leaflet as a means conveying climatological information to tourists and the tourism industry. In: Int J Biometeorology (2009) 53. S.369-374.

10.1 Internetquellen

DWD Wetterlexikon (http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/) Stand: 02.10.2009

http://gmdn.de/lexikon/Medizin/Physiologie/Thermoregulation.html, Stand: Oktober 2009

www.alpine-pearls.com/home.php, Stand: November 2009

www.arosa.ch/sites/pauschalen_sub/klimaneutrale_winterferienpauschale.html, Stand: November 2009

www.citycoaster.com/produkt.html, Stand: November 2009

www.clean-energy.ch/index2.html, Stand: November 2009

www.dmg-ev.de/fachausschuesse/Biomet/tourismus.html, Stand: September 2009

www.engadin.stmoritz.ch/search/?q=Bergbahnen+inclusive, Stand: November 2009

Kronthaler, F. und J. Cartwright (2008) Wertschöpfung des Tourismus in den Regionen Graubündens – Stand und Entwicklung.

http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/awt/dokumentation/Dokumente%20Tourismusentwicklung/Wertsch%C3%B6pfung%20des%20Tourismus%20in%20den%20Regionen%20Graub%C3%BCndens_2008.pdf) Stand: 14.08.2009

Perl, M., Ch. Häberli, E. Grüter, U. Küng, U. Steinegger (2007): Werkzeuge für die Qualitätskontrolle und die Bearbeitung von Bodenstationsdaten. Datenarchivtekturdokument der MeteoSchweiz. Version für das Internet. (http://www.meteoswiss.admin.ch/web/de/services/datenportal/datenqualitaet.Par.0004.DownloadFile.tmp/datenqualitaet.pdf) Stand: 30.08.2009

Schweizer Tourismus-Verband (1999): Tourismus in der Schweiz. (http://www.swisstourfed.ch/art/dokumente/Tourismus_in_der_Schweiz_d.pdf) Stand:14.08.2009

Statistik Schweiz (2008): Schweizer Tourismus in Zahlen (www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/10/22/publ.Document.111296.pdf) Stand: 14.08.2009

WMO (1999): Climate and human health. In: World Climate News Nr. 14. S. 1-5. (http://www.wmo.int/pages/publications/world_climate_news/documents/wcn14.pdf) Stand: Oktober 2009

www.cipra.org/competition-cc.alps/ewzedl/at_download/file1, Stand: November 2009

www.stmoritz.ch, Stand: November 2009

11. TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Verschiedene Facetten des Tourismusklimas und ihre Bedeutung und Auswirkung (aus: de Freitas 2002, S.13, de Freitas 2003, S.49) 12

Tab. 2: Zuordnung der PET Intervalle zum thermischen Empfinden und der thermophysiologischen Belastungsstufe von Menschen bezogen auf eine metabolische Rate von 80 W und Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung von 0.9 clo (Mayer und Matzarakis 1999, S.114) 20

Tab. 3: Beschreibung der Parameter und ihrer Schwellenwerte, wie sie im CTIS dargestellt werden. 22

Tab. 4: Übersicht über folgende meteorologische Parameter an verschiedenen Stationen im Untersuchungsgebiet: Mittlere Lufttemperatur (T_a), Niederschlagssumme (RR), Tage mit Niederschlag und Sonnenscheindauer der Klimanormalperiode 1961 - 90 auf Datengrundlage der MeteoSchweiz. 35

Tab. 5: Die im Projekt GISALP verwendeten Lufttemperatur-, Gleichgewichtslinien-Anstiegsszenarien, sowie modellierte Entwicklung der Gletscherflächen im Oberengadin, ausgehend von den 45 größten Gletschern im Jahr 1973 (Rothenbühl. 2006, S.99-100), verändert. 39

Tab. 6: Die Lage und Höhe der Wetterstationen der MeteoSchweiz im Engadin und Val Müstair. 40

Tab. 7: PET-Klassen mit dazugehörigen Temperaturbereichen (Endler, Oehler und Matzarakis 2009, S.4). 42

Tab. 8: 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). 43

Tab. 9: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Buffalora. 46

Tab. 10 : Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Scoul. 48

Tab. 11: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Sils Maria. 49

Tab. 12: 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. 50
Tab. 13: Vergleich verschiedener ausgewählter Parameter aus den REMO und MeteoSchweiz Daten für die Zeiträume 1961 - 90 sowie 1998 - 2008 für Santa Maria. 51
Tab. 14: Meteorologische Schwellenwerte auf der Basis von PET für den Zeitraum 1981 - 2000 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. 52
Tab. 15: Meteorologische Schwellenwerte auf der Basis von PET für den Zeitraum 1961 - 90 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. 52
Tab. 16: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2021-50 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, A1B. .. 53
Tab. 17: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2071 - 2100 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, A1B. .. 54
Tab. 18: Mittlere Schneehöhe (cm) während des Winters (1. Dezember bis 15. April), maximale und minimale mittlere Schneehöhen an verschiedenen Stationen im Engadin und Val Müstair..... 68
Tab. 19: Trend und Vergleich der mittleren PET unter Verwendung des A1B und B1 Szenario des REMO Modells im Zeitraum 1961 – 2100. 97
Tab. 20: Saisonaler Trend der mittleren PET in Sils Maria unter Verwendung des A1B und B1 Szenario des REMO Modells im Zeitraum 1961 – 2100. 98
Tab. 21: Niederschlagssumme in Scoul. Die absoluten Werte basieren auf den Messdaten, welche mit der prozentualen Veränderung der REMO Daten verrechnet wurden. 98
Tab. 23: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2021-50 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, B1. ... 121
Tab. 24: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2071-2100 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, B1. ... 121
Tab. 24: Trend und Vergleich des Niederschlags unter Verwendung des A1B oder B1 Szenario im Zeitraum 1961 - 2100..... 128

12. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Klima und menschliche Gesundheit (WMO 1999, S. 1). 15
Abb. 2: Die Komponenten im Wärmehaushalt des Menschen (http://www.dwd.de/, VDI 1998 S. 10) 17
Abb. 3: Human-biometeorologische Bewertung der thermischen Komponente des Klimas (Mayer und Matzarakis 2003, S. 58) 18
Abb. 4: Oberfläche (links) und Einlesemenü (rechts) des Modells RayMan. 21
Abb. 5: Karte des Engadins. Eingezeichnet sind die Standorte der Messstationen der MeteoSchweiz. 32
Abb. 6: Das Logo von St. Moritz. (www.stmoritz.ch) 37
Abb. 7: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz. 55
Abb. 8: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten. 56
Abb. 9: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 57
Abb. 10: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 58
Abb. 11: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Scoul im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage: Messdaten der MeteoSchweiz. 59
Abb. 12: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Scoul im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten 60
Abb. 13: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Scoul im Zeitraum 2021 - 2050. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 61
Abb. 14: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Scoul im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 62
Abb. 15: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Sils Maria im Zeitraum 1981 - 2100. 63

Abb. 16: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Sils Maria im Zeitraum 1961 - 90. 64
Abb. 17: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Sils Maria im Zeitraum 2021 - 2050. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 65
Abb. 18: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für die Station Sils Maria im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 66
Abb. 19: Häufigkeiten (%) der Windrichtungen in Buffalora, Samedan, Scoul und Sils Maria im Zeitraum 1981 – 2000. 67
Abb. 20: Mittlere Schneehöhe je Winter an ausgewählten Stationen von 1931 - 2008. 69
Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen auf Buffalora 1961 - 90. Das Liniendiagramm gibt die monatliche Niederschlagssumme in mm an. 70
Abb. 22: 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). 71
Abb. 23: 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). 72
Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Scoul 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. 73
Abb. 25: 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). 75
Abb. 26: 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). 76

Abb. 27: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Sils Maria 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. 77
Abb. 28: 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). 78
Abb. 29: 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). 79
Abb. 30: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 81
Abb. 31: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 81
Abb. 32: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 50. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 82
Abb. 33: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Buffalora mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR

> 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 84
Abb. 34: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 85
Abb. 35: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 86
Abb. 36: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 87
Abb. 37: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Scoul mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 88
Abb. 38: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981-2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 89

Abb. 39: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 90
Abb. 40: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 91
Abb. 41: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Sils Maria mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 92
Abb. 42: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz. 122
Abb. 43: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten. 122
Abb. 44: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 123
Abb. 45: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 124
Abb. 46: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz. 125

Abb. 47: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten. 125
Abb. 48: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 126
Abb. 49: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 127
Abb. 50: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. 128
Abb. 51: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 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). 129
Abb. 52: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 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). 130
Abb. 53: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 131
Abb. 54: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 131
Abb. 55: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET >

29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 132

Abb. 56: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 133

Abb. 57: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 134

Abb. 58: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). 134

Abb. 59: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 50. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 135

Abb. 60: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR

> 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten). 136

13. VERZEICHNIS DER VERWENDETEN SYMBOLE

Symbol		Einheit
A	Wärmestrahlung der Atmosphäre	W/m^2
c_b	spezifische Wärme	J/kg k
D	diffuse Himmelsstrahlung	W/m^2
E	Wärmestrahlung der Umschließungsoberfläche	W/m^2
E_{KM}	thermal radiation of the human body	W/m^2
I	direkte Sonnenstrahlung	W/m^2
l_{cl}	Wärmedurchgangswiderstand der Kleidung	$K\ m^2/W$
M	Gesamtenergieumsatz	W/m^2
p_d	Blutdichte	kg/l
PET	Physiologisch Äquivalenten Temperatur	°C
Q_H	turbulenter Fluss fühlbarer Wärme	W/m^2
Q_L	sensibler Fluss latenter Wärme durch Wasserdampfdiffusion	W/m^2
Q_{Re}	Energieumsatz infolge von Erwärmung und Wasserdampfsättigung der Atemluft	W/m^2
Q_{Sw}	turbulenter Fluss latenter Wärme durch Verdunstung von Schweiß	W/m^2
R	Reflexstrahlung, kurzwellig	W/m^2
R_N	Strahlungsbilanz	W/m^2
RR	Niederschlag	mm
SWE	Schneewasseräquivalent	kg/m^2
Ta	Lufttemperatur	°C
v_b	Blutfluss vom Körperinneren zur Haut	l/sm^2
W	Energieumsatz infolge mechanischer Leistung	W/m^2

14. ANHANG

Tab. 22: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2021-50 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, B1.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	4.3	-2.5	1.9	4.3	2.1
maximale PET	PETmax (°C)	34.4	28.1	33.7	34.6	33.1
minimale PET	PETmin (°C)	-24.7	-31	-26.5	-25.6	-26.3
Kältestress	PET < 0 (d)	152	216	175	152	173
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	80	23	61	83	63
Wärme	PET > 25 (d)	10	0	3	11	4

Tab. 23: Meteorologische Schwellenwerte für den Zeitraum 2071-2100 für die Stationen Buffalora, Piz Corvatsch, Samedan, Scoul, Sils Maria. Datengrundlage REMO, B1.

		Buffalora	**Piz Corvatsch**	**Samedan**	**Scoul**	**Sils Maria**
mittlere PET	PETa (°C)	6.6	-0.1	4.2	6.6	4.5
maximale PET	PETmax (°C)	37.7	31.2	34.5	39.6	35.9
minimale PET	PETmin (°C)	-23.1	-31	-26.4	-23.6	-26.2
Kältestress	PET < 0 (d)	152	216	175	152	173
Thermische Behaglichkeit	PET 18 °C - 29 °C (d)	111	51	93	110	96
Wärme	PET > 25 (d)	25	2	12	26	15

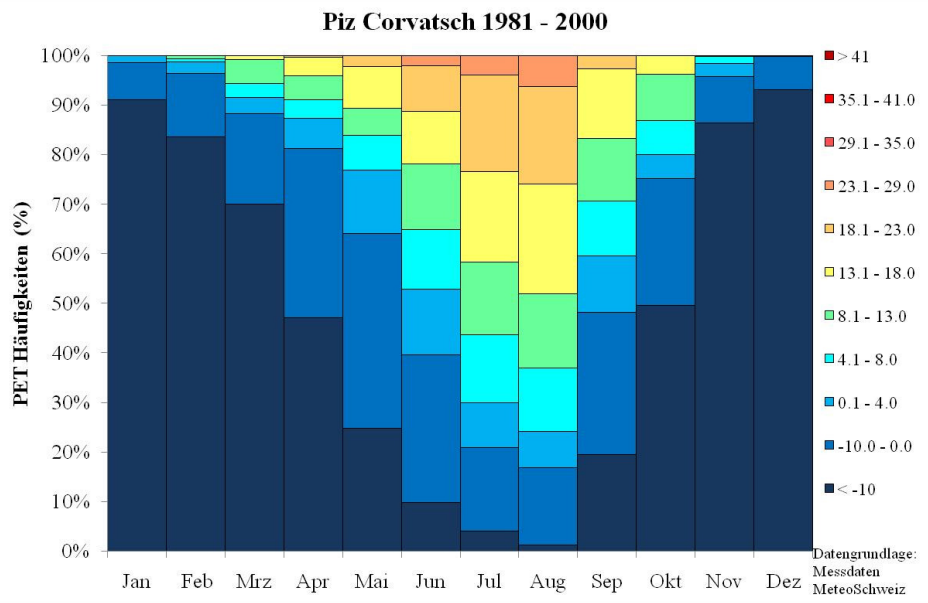


Abb. 42: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz.

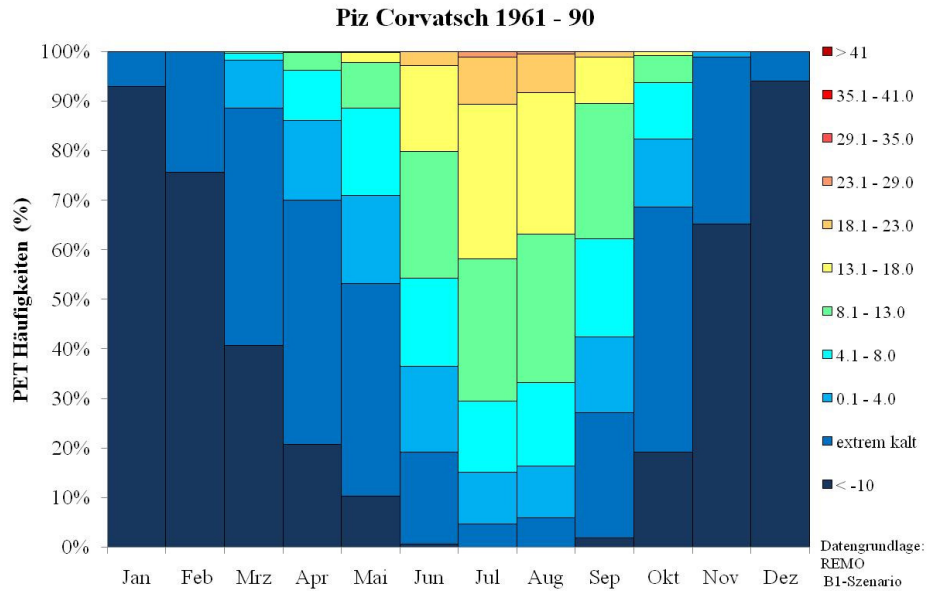


Abb. 43: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten.

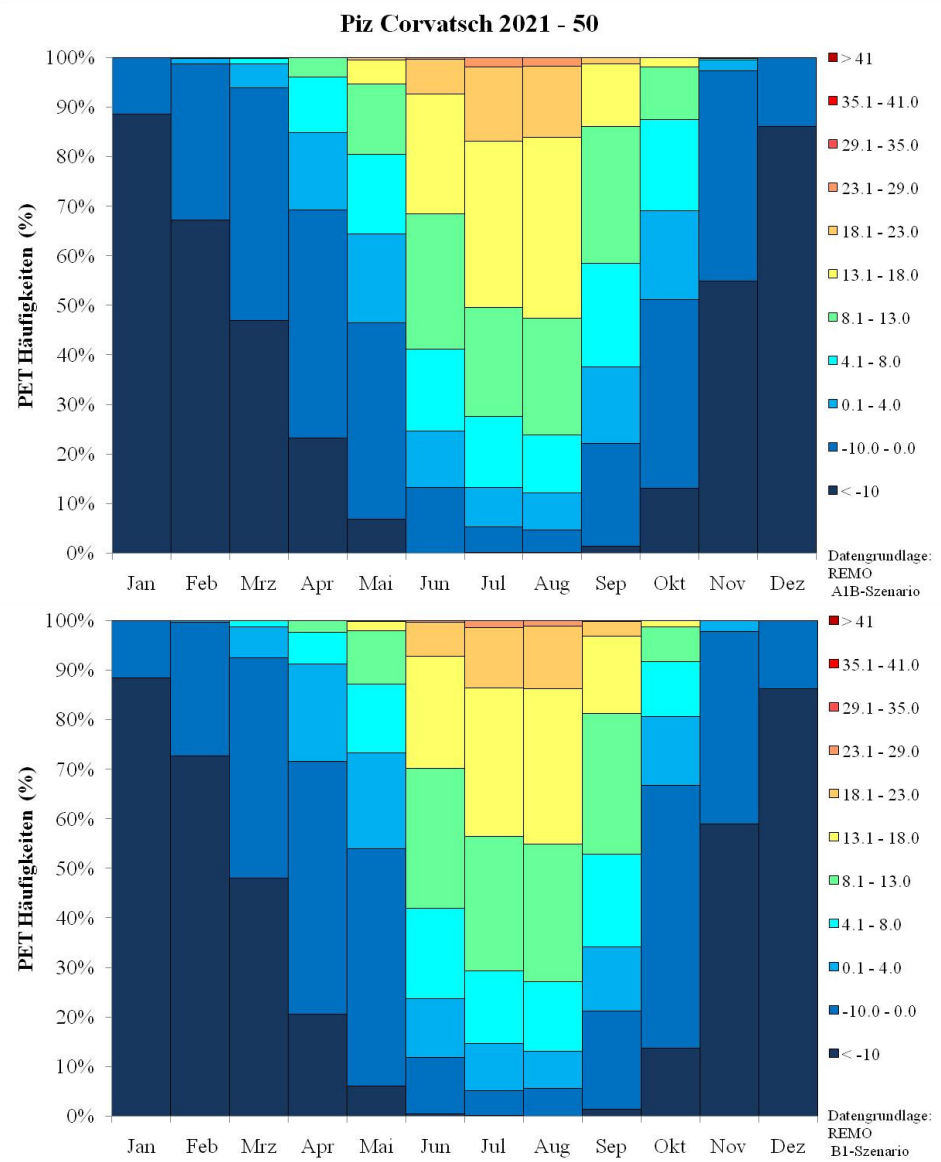


Abb. 44: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

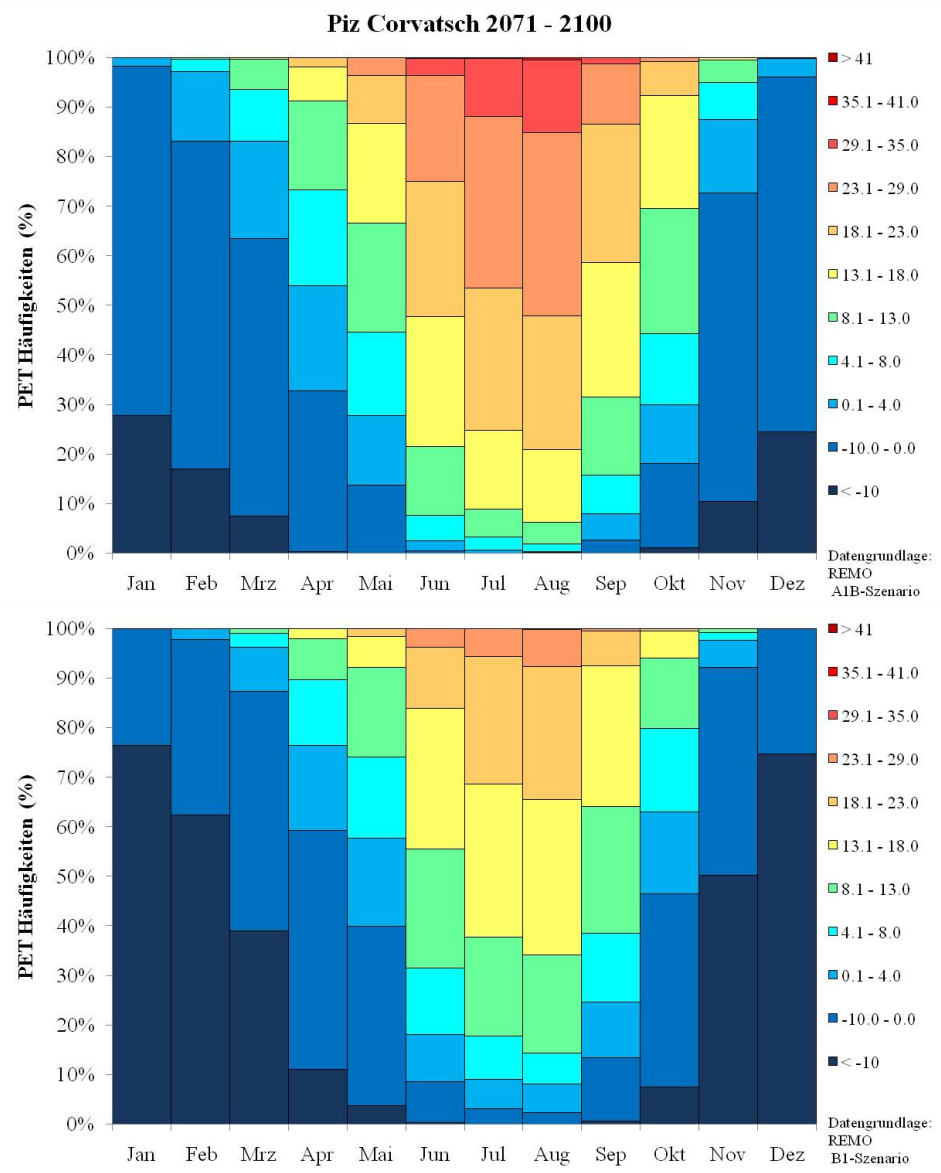


Abb. 45: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen auf Piz Corvatsch im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

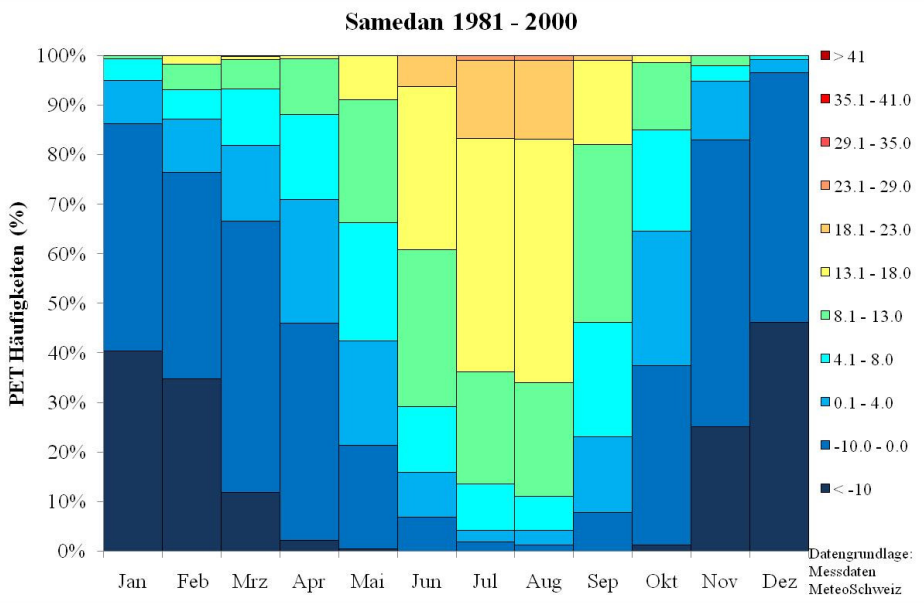


Abb. 46: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 1981 - 2000. Datengrundlage bilden Messdaten der MeteoSchweiz.

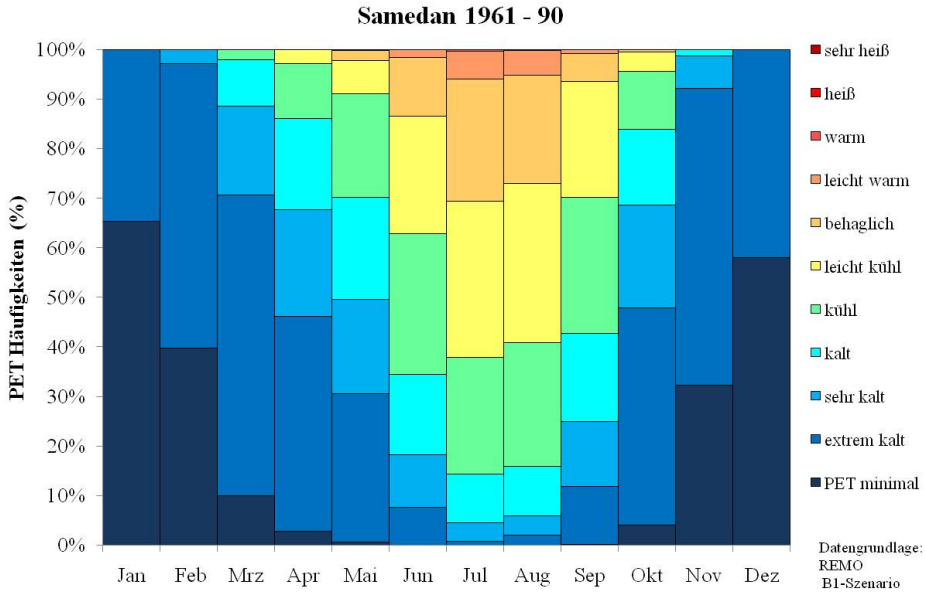


Abb. 47: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Buffalora im Zeitraum 1961 - 90. Datengrundlage bilden REMO Modelldaten.

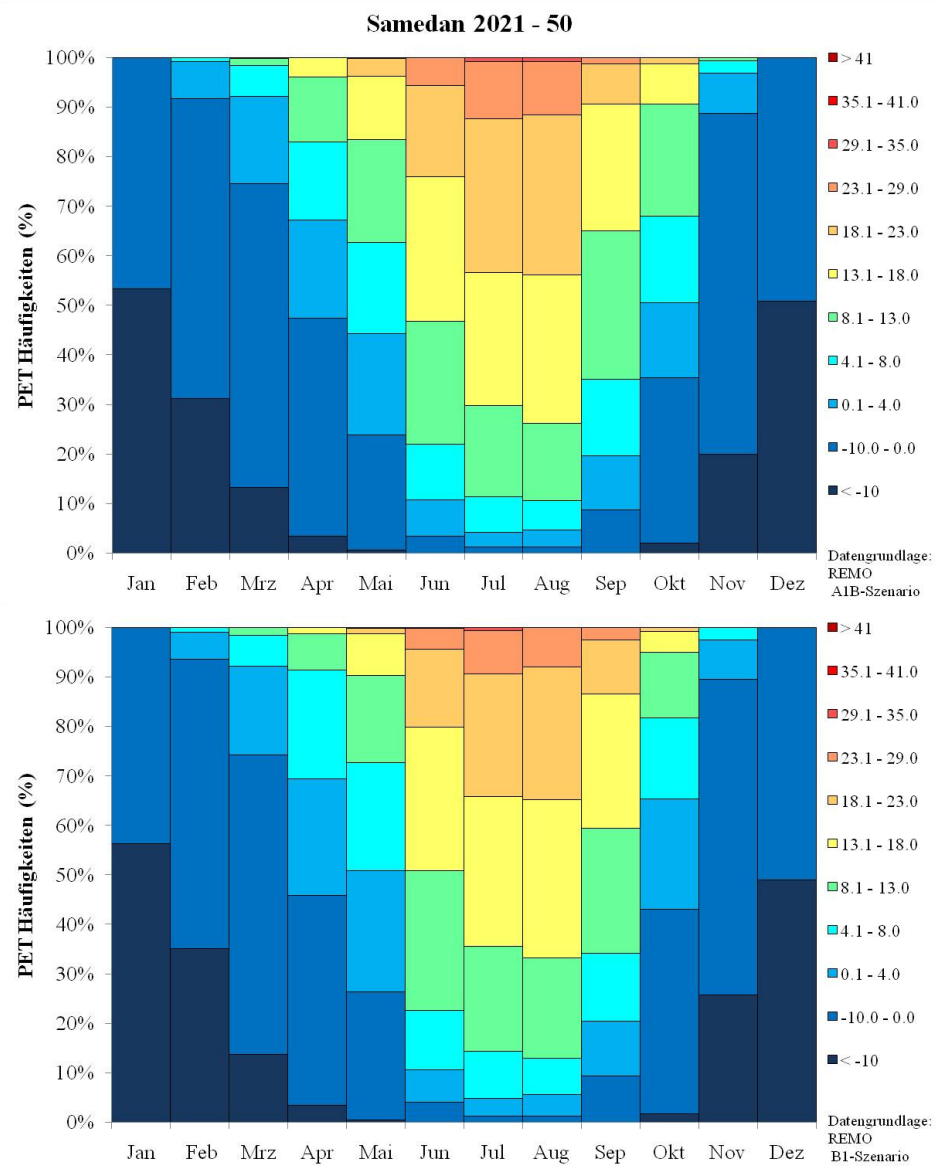


Abb. 48: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 2021 - 50. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

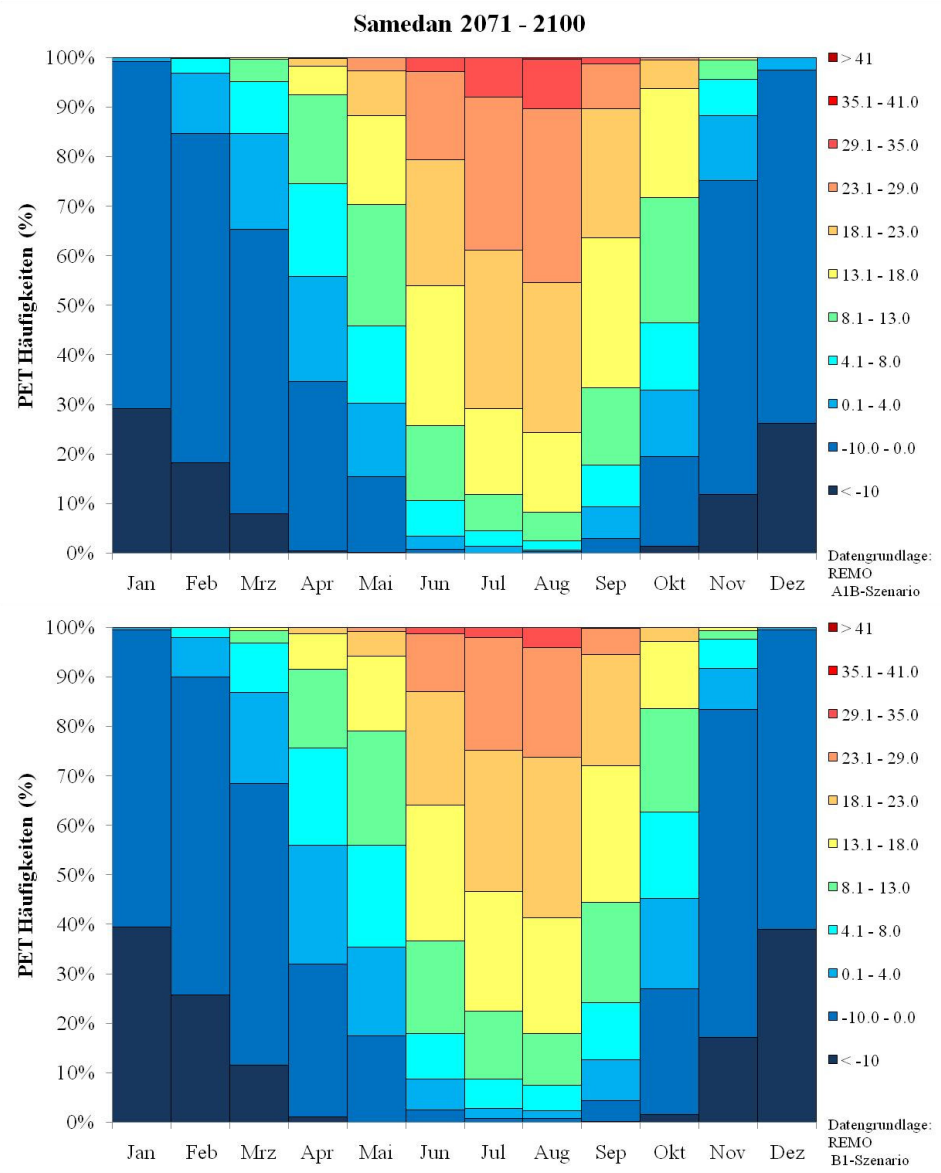


Abb. 49: Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener PET Klassen für Samedan im Zeitraum 2071 - 2100. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

Tab. 24: Trend und Vergleich des Niederschlags unter Verwendung des A1B oder B1 Szenario im Zeitraum 1961 - 2100

	Buffalora		Scoul		Sta Maria		Sils Maria	
RR (mm)	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**	**B1**	**A1B**
1961 - 90	739	739	936	936	773	773	923	923
2021 - 50	809	766	1011	952	833	796	1002	943
2071 - 2100	800	797	981	960	813	826	957	943
RR Änderung (mm)								
1961 – 90 bis 2021 - 50	70	27	75	17	60	22	79	20
2021 – 50 bis 2071 - 2100	-9	32	-30	8	-20	31	-45	0
RR Änderung (%)								
1961 - 90 bis 2021 - 50	9	4	8	2	8	3	9	2
2021 - 50 bis 2071 - 2100	-1	4	-3	1	-3	4	-5	0

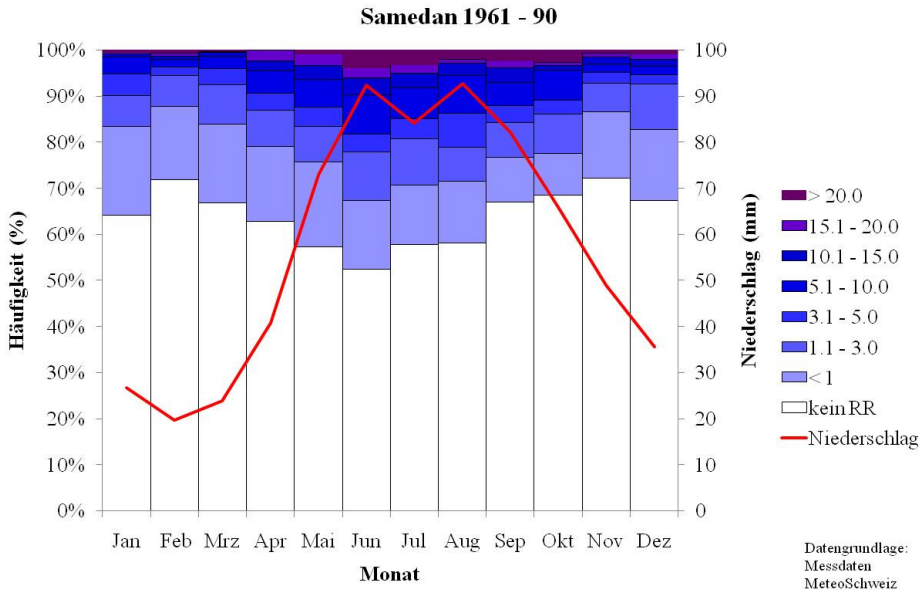


Abb. 50: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 1961 - 90. Das Jahr wurde in Dekaden unterteilt. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben.

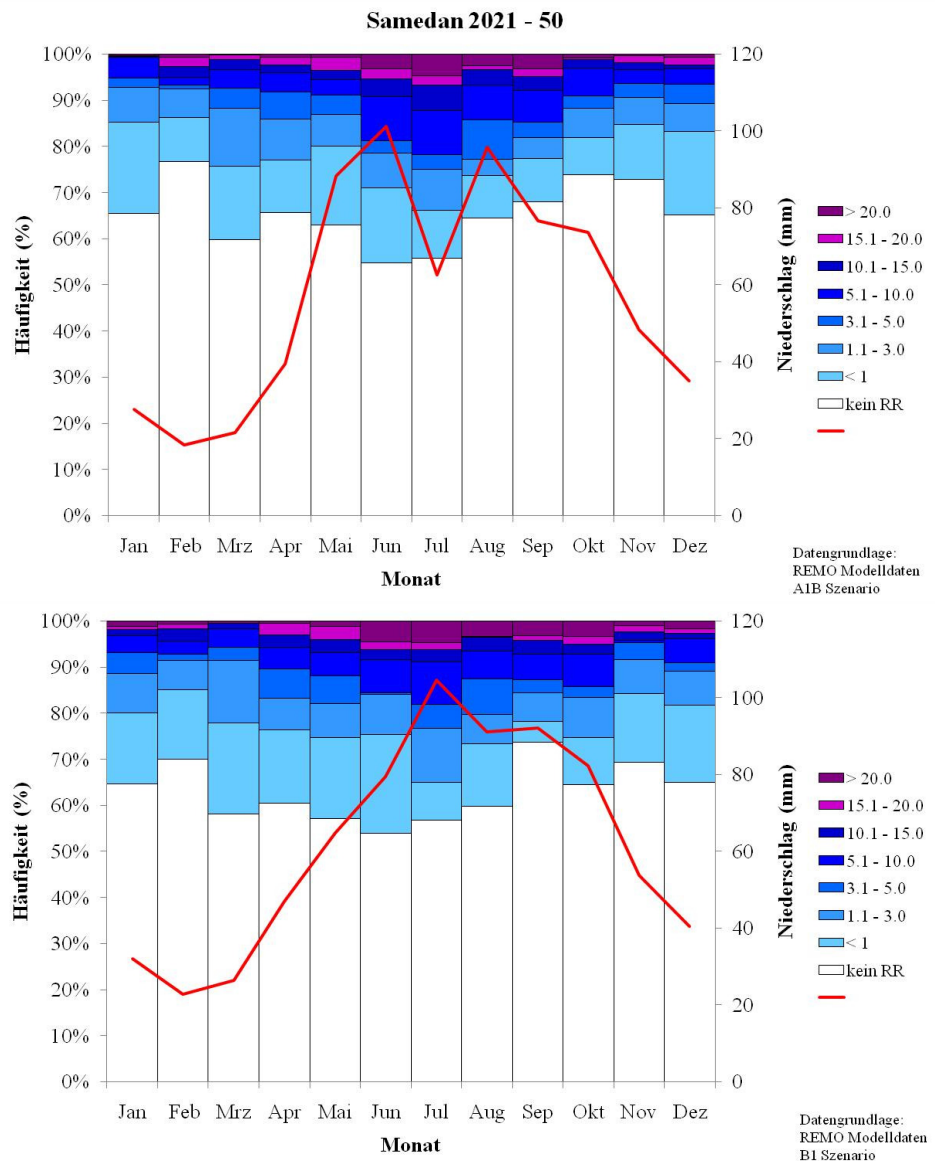


Abb. 51: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 2021 - 50. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

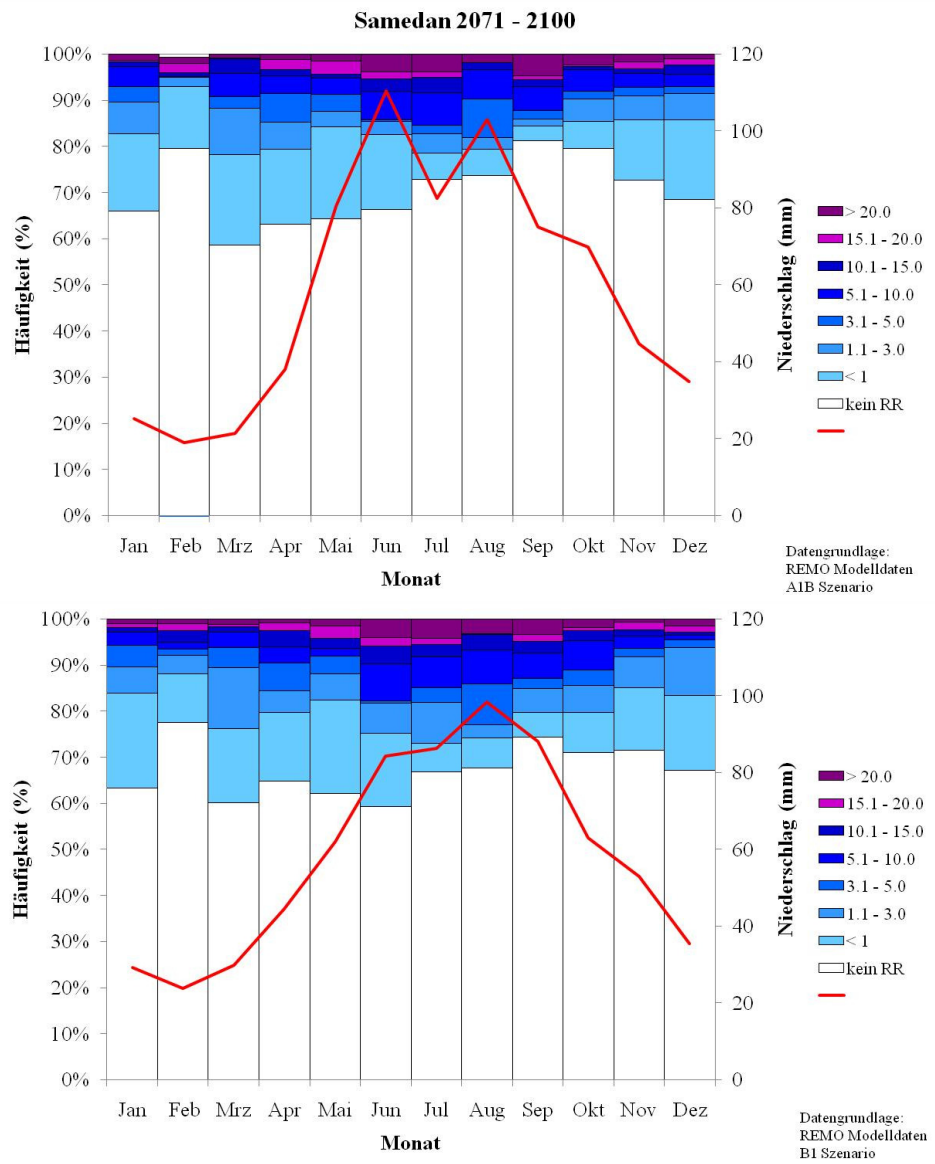


Abb. 52: Häufigkeitsverteilung der Niederschlagsklassen in Samedan 2071 - 2100. Als Liniendiagramm wird die monatliche Niederschlagssumme in mm angegeben. Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

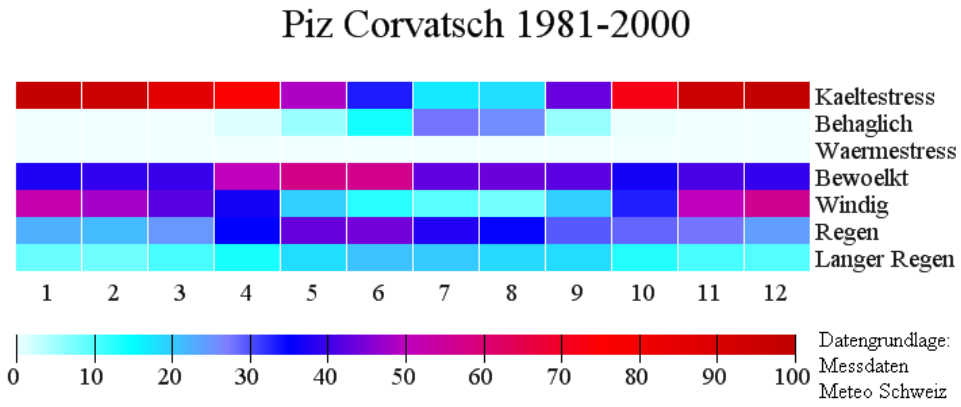


Abb. 53: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

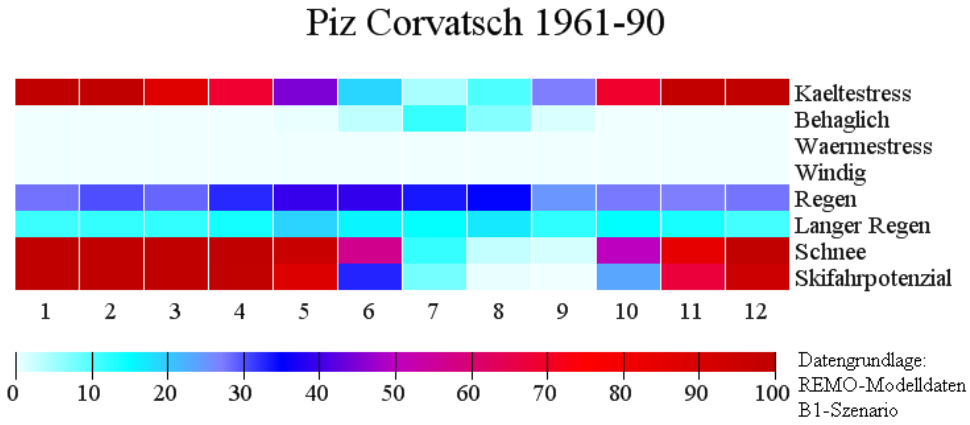


Abb. 54: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

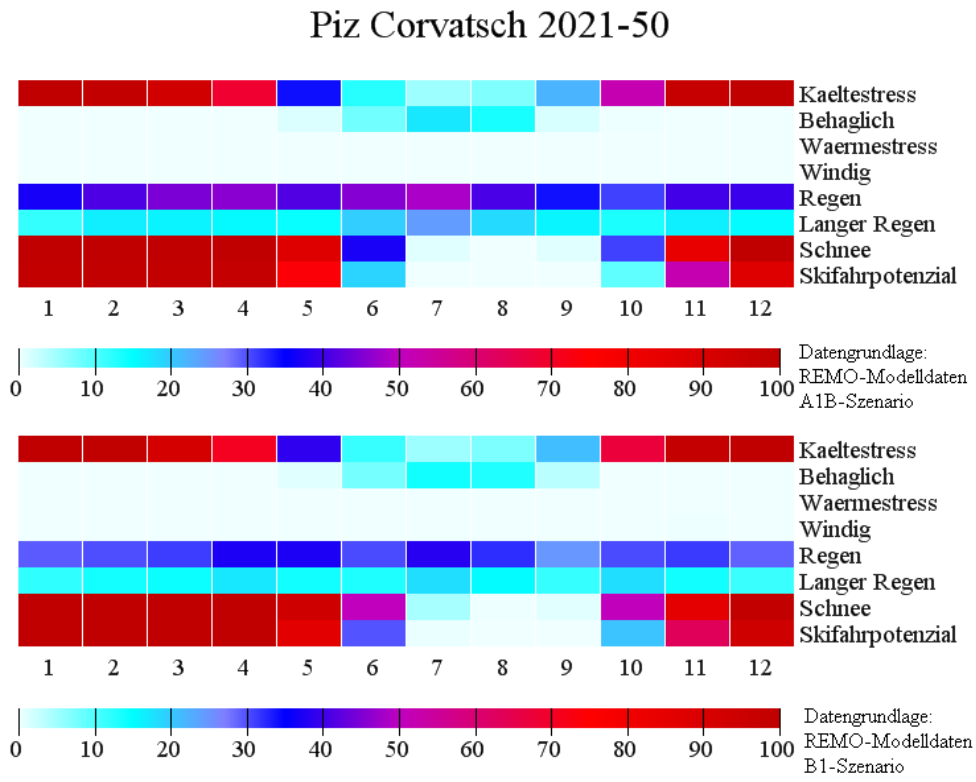


Abb. 55: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 2050. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

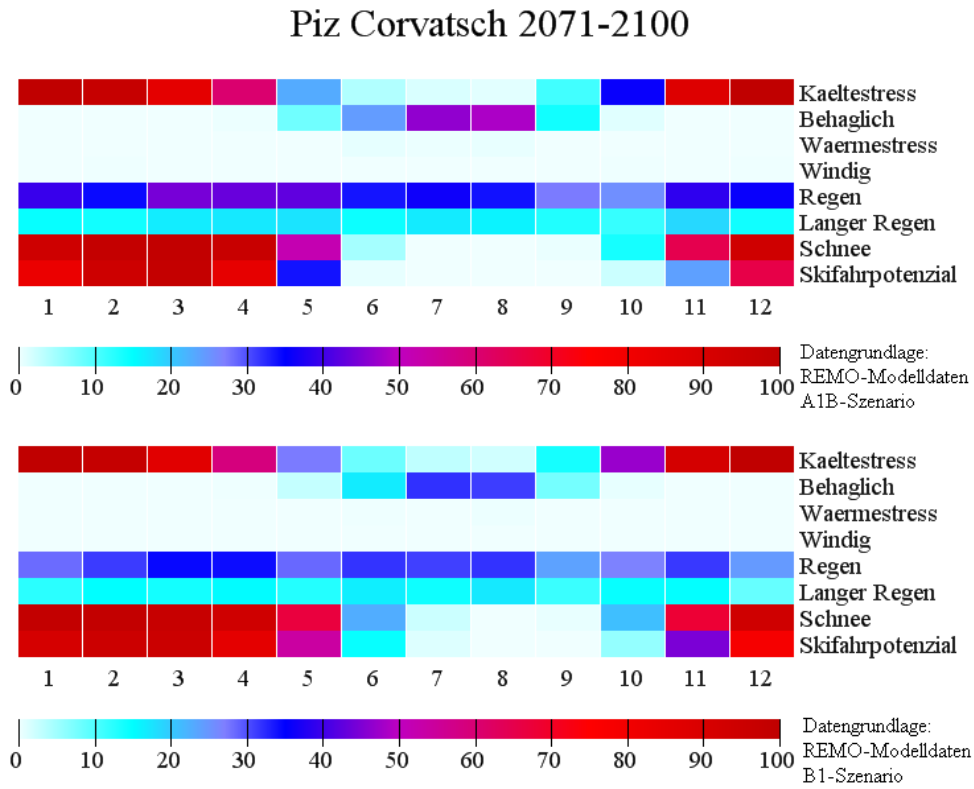


Abb. 56: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Piz Corvatsch mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

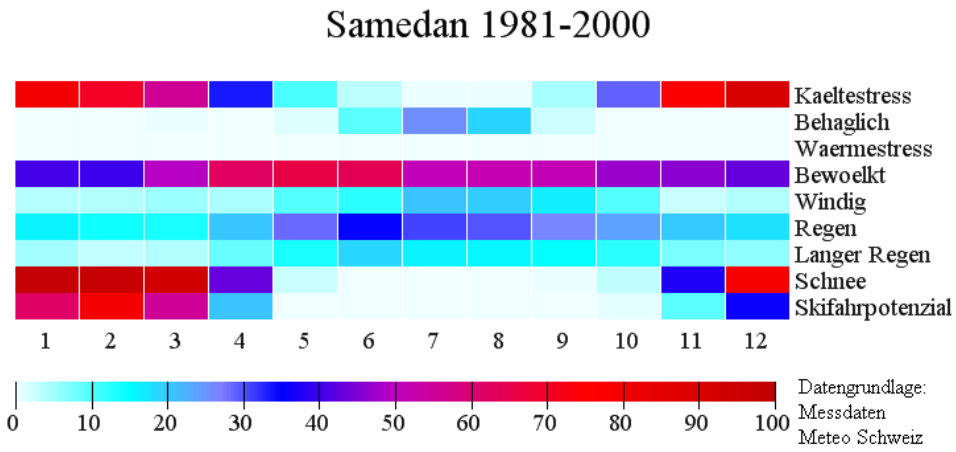


Abb. 57: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1981 - 2000. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

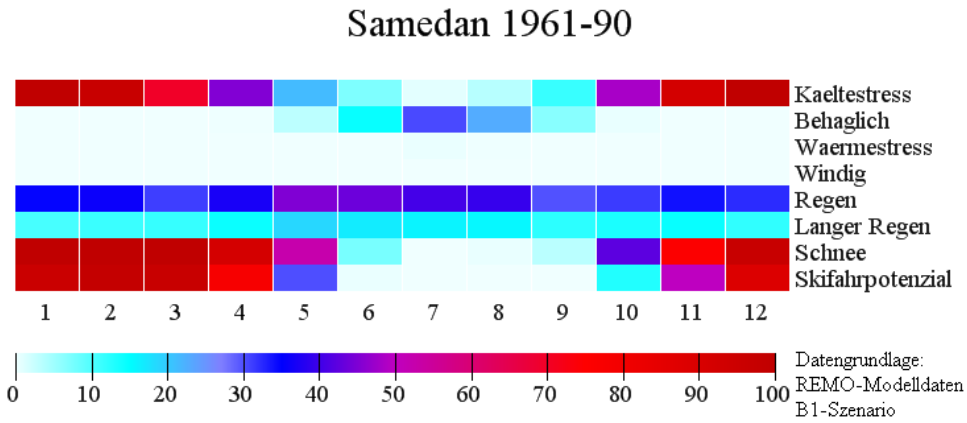


Abb. 58: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 1961 - 90. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm).

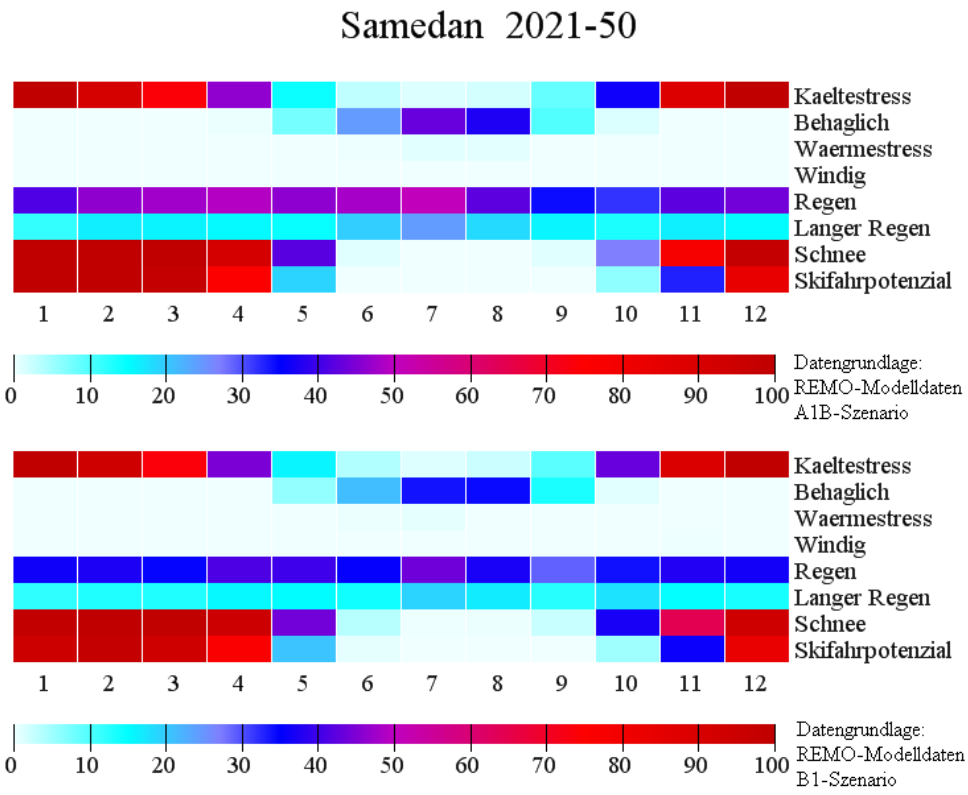


Abb. 59: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2021 - 50. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

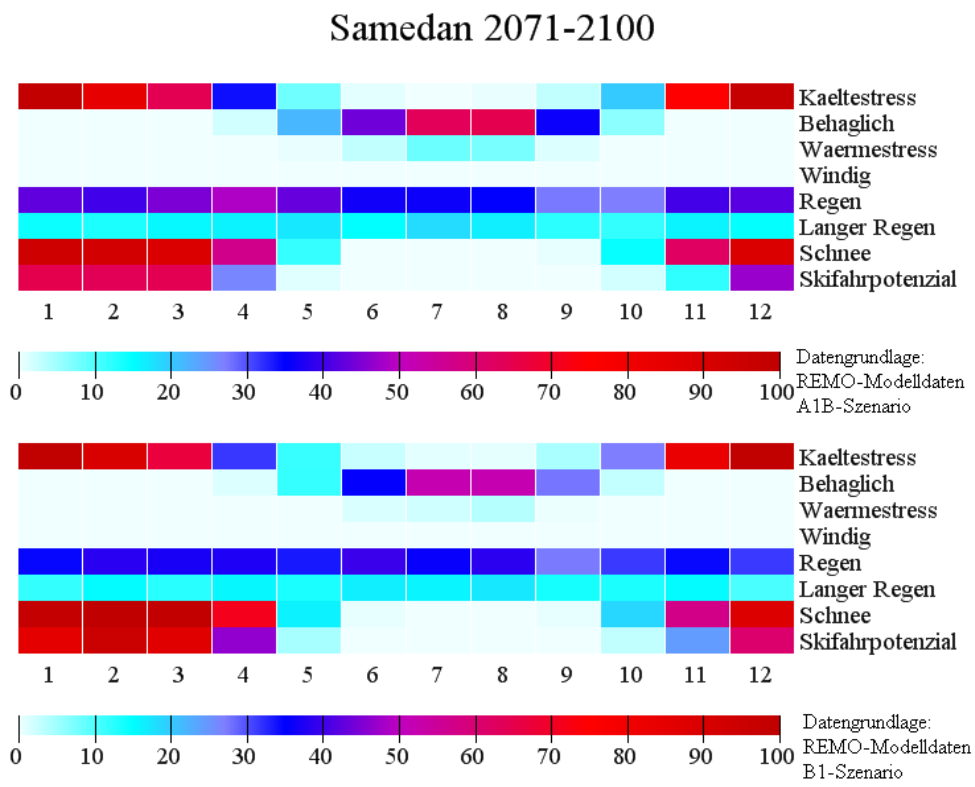


Abb. 60: Klima-Tourismus-Informations-Schema für Samedan mit monatlicher Auflösung im Zeitraum 2071 - 2100. Darstellung der Häufigkeitsklassen der Parameter Kältestress (PET < 0 °C), Behaglichkeit (18 °C < PET < 29 °C), Wärmestress (PET > 29 °C), Bewölkt (Bewölkung > 5 octas), windig (8 m/s), Regen (RR > 1 mm), langer Regen (RR > 5 mm), Schnee (Schnee > 1 cm) und Skifahrpotenzial (Schnee > 5 cm). Datengrundlage bilden REMO-Modelldaten unter Verwendung des A1B Szenarios (oben) und des B1 Szenarios (unten).

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben.

Freiburg, 30. November 2009 _____