



# Downscaling CH2018

Berechnung von Meteo- und Trockenheitsindizes für die  
Waldforschung

Methoden und Resultate

Jan Remund, Meteotest AG, Bern

Michael Schmutz, Meteotest AG, Bern

Pascal Graf, Meteotest AG, Bern

René Cattin, Meteotest AG, Bern

Bern, 07.08.2020

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)

## **Impressum**

### **Auftraggeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald, 3003 Bern

### **Auftragnehmer**

Meteotest AG  
Fabrikstrasse 14  
CH-3012 Bern  
+41 31 307 26 26  
[www.meteotest.ch](http://www.meteotest.ch)

### **Autoren**

Jan Remund, Michael Schmutz, Pascal Graf und René Cattin

### **Begleitung BAFU**

S. Augustin (BAFU), P. Brang (WSL), A. Fischer (Meteoschweiz), M. Frehner (ETHZ), G. Guirec (BAFU), B. Huber (Abenis AG), G. Könz (Abenis AG), S. Kotlarski (Meteoschweiz), M. Vanoni (Kt. GR), L. Z'Graggen (Meteoschweiz)

### **Hinweis**

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Datengrundlage</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Auswahl der Modelle</b> .....	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Methoden für die Interpolation</b> .....	<b>13</b>
	4.1 Korrektur der Temperatur.....	17
<b>5</b>	<b>Resultate</b> .....	<b>18</b>
	5.1 Vergleich der herunterskalierten Daten mit CH2018 Daten .....	19
	5.2 Globalstrahlung.....	21
	5.3 Trockenheitsindizes .....	23
<b>6</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>25</b>

## Tabellen

Tabelle 1:	Modellkombinationen mit allen Parametern (Namensgebung der Modelle: Produzent, regionales Modell, globales Modell, räumliche Auflösung des regionalen Modells).....	7
Tabelle 2:	Anomalien der Sommerwerte (April – August) der verschiedenen Szenarien. ....	9
Tabelle 3:	Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 2.6.....	10
Tabelle 4:	Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 4.5.....	11
Tabelle 5:	Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 8.5.....	12
Tabelle 6:	Bias und KSI der beiden Interpolationsmethoden für Niederschlag in mm (Tageswerte 1981-2010) (SMHI-RCA_MPIESM). ....	13
Tabelle 7:	Bias und KSI der beiden Interpolationsmethoden für Temperatur in °C (Tageswerte 1981-2010) (SMHI-RCA_MPIESM).....	15
Tabelle 8:	Anzahl Monatsdateien (netcdf) pro Szenario, Parameter und Periode.....	18

## Abbildungen

Abbildung 1:	Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden). ....	10
Abbildung 2:	Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben).....	10
Abbildung 3:	Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden). ....	11
Abbildung 4:	Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben).....	11
Abbildung 5:	Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden). ....	12

Abbildung 6: Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben). .....	12
Abbildung 7: Kumulative Verteilung der Beobachtungen und der beiden Interpolationsmethoden (CF und IDW) vom Parameter Niederschlag (hier rr, Tageswerte 1981-2010) in <b>Locarno-Monti</b> . .....	16
Abbildung 8: Kumulative Verteilung der Beobachtungen und der beiden Interpolationsmethoden (CF und IDW) vom Parameter Temperatur (hier: tt; Tageswerte 1981-2010) in <b>Montana</b> . .....	16
Abbildung 9: Mittlere Jahressummen des Niederschlags. Oben: CH2018, 2km x 2km-Raster, Unten: Heruntergerechnet auf 250 m Gitter (RCP 8.5). .....	20
Abbildung 10: Mittlere monatliche Minimaltemperatur 2070-2099. Oben: CH2018, 2km x 2km-Raster. Unten: Heruntergerechnet auf 250 m Gitter (RCP 8.5). .....	21
Abbildung 11: Mittlere Globalstrahlung der Periode 1981-2010 in $W/m^2$ , RCP 8.5. .....	22
Abbildung 12: Anomalie der Globalstrahlung zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099 in $W/m^2$ , RCP 8.5. ....	22
Abbildung 13: Mittlere SWB (Differenz August-April) der Periode 1981-2010 (oben) und 2070-2099 (unten), RCP 8.5. ....	23
Abbildung 14: Anomalie der SWB (Differenz August-April) zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099, RCP 8.5. ....	24
Abbildung 15: Anomalie des ETA/ETP Verhältnisses (Mittel April-August) zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099, RCP 8.5. ....	24

# Abkürzungen

## Globale und regionale Klimamodelle:

ECEARTH	European Community Earth-System Model
GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory model (NOAA, USA)
HADGEM	Hadley Centre Global Environmental Model
IPSL	Inst. Pierre Simon Laplace climate model
MPIESM	Max Planck Institute Earth System Model
NORES	Norwegian Earth System Model
RACMO	DMI climate research model
RCA	Rosby Centre regional Climate model

## Wetterdienste / Forschungsorganisationen:

CCCMA	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation
DMI	Danish Meteorological Institute
KNMI	Royal Netherlands Meteorological Institute
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute

## Meteoparameter:

tas	Lufttemperatur
pr	Niederschlag
td	Taupunkttemperatur
ff	Windgeschwindigkeit
rr	Niederschlag
tasmin	Minimaltemperatur
tasmax	Maximaltemperatur
gh	Globalstrahlung
petpe	Potentielle Evapotranspiration gemäss Penman

## Trockenheitsindizes:

SWB	Site Water Balance
ETA/ETP	Verhältnis zwischen aktueller und potentieller Evapotransp.

## Diverse:

EUR11 / 44	Raster für Europa in 11 / 44 km Auflösung
PoE	Probability of Exceedance
RCP	Representative Concentration Pathways

# 1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts "Wald und Klimawandel" des BAFU und der WSL hat Meteotest seit 2010 verschiedene Datensätze und Analysen für Trockenheitsanalysen von Wäldern berechnet. Diese Arbeit basiert auf diesen Daten und den im Rahmen der genannten Projekte entwickelten Methoden, welche in Remund et al. 2016 beschrieben sind.

Die Zielgrössen waren Tages- und Monatswerte von diversen Meteoparametern (Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Wind und Globalstrahlung) und Trockenheitsparametern (SWB, ETA/ETP) in einer Auflösung von 250 x 250m. Die Zeitperiode umfasste die Jahre 1901-2100. Historische Werte basierten auf MeteoSchweiz-Messungen, zukünftige Daten auf den CH2011 Szenarien (CH2011 2011), für die Schweiz, berechnet mit 11 regionalen Klimamodellen (Remund 2016).

Im 2018 wurden die neuen CH2018 Szenarien<sup>1</sup> (NCCS 2018) veröffentlicht. Diese umfassen Gitterdaten mit einer räumlichen Auflösung von ca. 2 km sowie Punktdaten für MeteoSchweiz Messstandorte (herunterskalierte Tageswerte) für diverse Szenarien. Die CH2018 Szenarien gelten als der neue Standard für Klimaanalysen in der Schweiz. Die Datensätze für Trockenheitsanalysen von Wäldern sollen deshalb neu auf CH2018 basierten Daten in 250 m Auflösung zur Verfügung gestellt werden.

Das Downscaling wurde zwischen Dezember 2019 und August 2020 durchgeführt. In einer ersten Etappe (bis Februar 2020) wurde je ein Klimamodell für die Szenarien RCP 4.5 und 8.5 ausgewählt. Nachfolgende Tests zeigten, dass das ausgewählte Modell für das RCP 8.5 Szenario zu starke Temperaturanomalien in Teilen der Alpen aufwies. In einer zweiten Etappe wurde deshalb unter Beihilfe einer Expertengruppe der MeteoSchweiz ein neues Modell ausgewählt. Zusätzlich wurde ein Modell für das Szenario RCP 2.6 ausgewählt und heruntergerechnet. Dieser Bericht zeigt das Endresultat ohne die Auswahl des ersten Modells für RCP 8.5.

---

<sup>1</sup> <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>

## 2 Datengrundlage

Die Datengrundlage stellen die regionalen Klimamodelle dar, welche im Projekt CH2018 auf 2 km heruntergerechnet wurden. Von den total 68 Modellen wurden 27 Modelle analysiert – v.a., weil viele Modelle nicht alle benötigten Parameter enthalten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Modellkombinationen mit allen Parametern (Namensgebung der Modelle: Produzent, regionales Modell, globales Modell, räumliche Auflösung des regionalen Modells).

Modellname	Szenarien	Modellname	Szenarien
SMHI-RCA_MPIESM_EUR11	8.5	CLMCOM-CCLM4_HADGEM_EUR44	8.5
SMHI-RCA_MPIESM_EUR44	4.5, 8.5	CLMCOM-CCLM4_ECEARTH_EUR11	4.5
SMHI-RCA_ECEARTH_EUR11	2.6, 4.5, 8.5	CLMCOM-CCLM4_HADGEM_EUR11	4.5
SMHI-RCA_ECEARTH_EUR44	8.5	CLMCOM-CCLM4_MPIESM_EUR11	4.5
SMHI-RCA_IPSL_EUR11	4.5, 8.5	CLMCOM-CCLM5_ECEARTH_EUR44	8.5
SMHI-RCA_IPSL_EUR44	8.5	CLMCOM-CCLM5_HADGEM_EUR44	8.5
SMHI-RCA_HADGEM_EUR11	4.5, 8.5	CLMCOM-CCLM5_MIROC_EUR44	8.5
SMHI-RCA_HADGEM_EUR44	8.5	CLMCOM-CCLM5_MPIESM_EUR44	8.5
SMHI-RCA_NORESM_EUR44	8.5	DMI-HIRHAM_ECEARTH_EUR11	2.6, 4.5, 8.5
SMHI-RCA_MIROC_EUR44	8.5	DMI-HIRHAM_ECEARTH_EUR44	8.5
SMHI-RCA_GFDL_EUR44	8.5	KNMI-RACMO_ECEARTH_EUR44	8.5
SMHI-RCA_CSIRO_EUR44	8.5	KNMI-RACMO_HADGEM_EUR44	2.6, 8.5
SMHI-RCA_CCCMA_EUR44	8.5	MPICSC-REMO1_MPIESM_EUR11	4.5
		MPICSC-REMO2_MPIESM_EUR11	4.5

Folgende Parameter liegen für diese Auswahl von Modellen vor:

Temperatur (Tagesmittel, Tagesminima- und Maxima), Niederschlag, Globalstrahlung, Feuchte (Taupunkttemperatur) und Windgeschwindigkeit

Globalstrahlung, Feuchte und Windgeschwindigkeit wurden zudem nur für die Standorte der Meteostationen heruntergerechnet und nicht für die Gitterpunkte.

### 3 Auswahl der Modelle

Das CH2018 Projekt umfasst für die drei Szenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und 8.5 eine unterschiedliche Anzahl Modelle. Hier analysiert wurden 3 Modelle für das Szenario RCP 2.6, 10 Modelle für RCP 4.5 und 22 Modelle für RCP 8.5. Aus diesen Modellen galt es, ein typisches auszuwählen.

Die Kriterien wurden an einem Workshop des BAFU (17.9.2019) nach der Diskussion auf der Grundlage der CH2018 Szenarien definiert:

- Zielperiode: 2070-2099 (das Jahr 2100 ist in den Modellen nicht enthalten)
- Berücksichtigte Monate: April – August (AMJJA) (es wurden keine Anomalien für JJA berechnet oder dargestellt)
- Ein trockenes, heisses Szenario sowie ein weniger extremes Szenario wurden ausgewählt
  - Trockenes, heisses Szenario: -35 bis -40% Sommerniederschlag (wenn möglich RCP 8.5); ist damit stärker als der Multi-Model Median, aber auch nicht das extremste Modell
  - Weniger extremes Szenario: -5 bis -10% Sommerniederschlag (wenn möglich RCP 4.5); liegt damit ungefähr im Multi-Model Median Bereich von RCP4.5
  - Ein mittleres Modell für das Szenario RCP 2.6
- Szenarien sollten sowohl für die Süd- als auch die Nordseite typisch sein
- Wahl geschah auf Grund von statistischen Werten und von Grafiken, die den Verlauf der Anomalien zeigen (Abb. 1).
- Die Modelle sollen in keiner Region starke Anomalien aufweisen (d.h. diese sollten schweizweit relativ homogen sein)
- Die Modelle sollen auch im Winter (November – März) und im Jahresschnitt realistische Anomalien aufweisen

Da das erste ausgewählte Modell für RCP 8.5 zwar die Bedingungen erfüllte und an den Gitterpunkten im Süden und Norden gut passte, aber in den Alpen sehr hohe Anomalien aufwies, wurden die Anomalienkarten zusätzlich von Experten der MeteoSchweiz begutachtet und ausgewählt.

In den Tabellen 2 und 3 sind die Werte der Anomalien aufgelistet.

Wählt man ein eher extremes Quantil bei den RCP 8.5 Szenarien (PoE 80%) und ein durchschnittliches Modell (PoE 50%) bei den RCP 4.5 und 2.6 Szenarien führt dies zu folgenden Anomalien der Sommerperiode (April - August) von 2070-99 gegenüber 1981-2010 (Tabelle 2).

Tabelle 2: Anomalien der Sommerwerte (April – August) der verschiedenen Szenarien.

RCP	Ort	Wert	tas Anomalie	pr Anomalie	Trocken- tage Anomalie	Letzter Frosttag Anomalie
2.6	Aarau	Median	1.0	-1.7	0.6	-9.0
2.6	Locarno	Median	1.0	5.1	-0.7	-6.2
4.5	Aarau	Median	1.9	-2.2	0.7	-11.0
4.5	Locarno	Median	2.2	-8.4	1.4	-19.2
8.5	Aarau	80% Quantil	4.4	-17.7	3.6	-30.3
8.5	Locarno	80% Quantil	4.8	-27.3	4.2	-43.8

Beim RCP Szenario 2.6 wurde die Modellkombination **DMI\_HIRHAM\_ECEARTH\_EUR11** ausgewählt. Beim RCP 4.5 Szenario kommt die Modellkombination **SMHI-RCA\_MPIESM\_EUR44** den Zielwerten am nächsten. Beim RCP 8.5 wurde die Modellkombination **CLMCOM-CCLM5\_HADGEM\_EUR44** bestimmt. Auch bezüglich den Parametern Trockentage und letztem Frost pro Tag sind die gewählten Modelle vertretbar.

Vergleicht man die gewählten Modelle für die Jahreszeit Sommer (JJA) und die zwei CH2018-Regionen Nordostschweiz (CHNE) und Südschweiz (CHS) gegenüber dem offiziellen CH2018-Modellsatz, so sieht man, dass das gewählte Modell CLMCOM-CCLM5\_HADGEM\_EUR44 für RCP8.5 wie angestrebt über dem Multi-Model-Median in Temperatur und Austrocknung liegt. Auch das Modell SMHI-RCA\_IPSL\_EUR11 RCP4.5 liegt wie angestrebt nahe dem Multi-Model Median für die Temperatur und für den Niederschlag im Nordosten. Einzige Ausnahme bildet die Südschweiz, wo dieses Modell keine Sommeraustrocknung aufweist, während dies im Multi-Model Median zutage tritt.

Für jedes Modell wurden Factsheets erzeugt, welche die statistischen Werte, die Verläufe und die Anomalie-Karten enthalten.

## RCP 2.6: DMI\_HIRHAM\_ECEARTH\_EUR11

Tabelle 3: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 2.6.

Ort	Tas	pr	tas Anomalie	pr Anomalie	Trocken- tage Anomalie	Letzter Frosttag Anomalie	Diff. tas Anom.	Diff. pr Anom.
Aarau	15.4	509.7	1.0	-2.1	-0.8	1.3	0.0	-0.4
Locarno	18.0	918.3	0.8	1.7	-0.7	-6.2	-0.2	-3.4

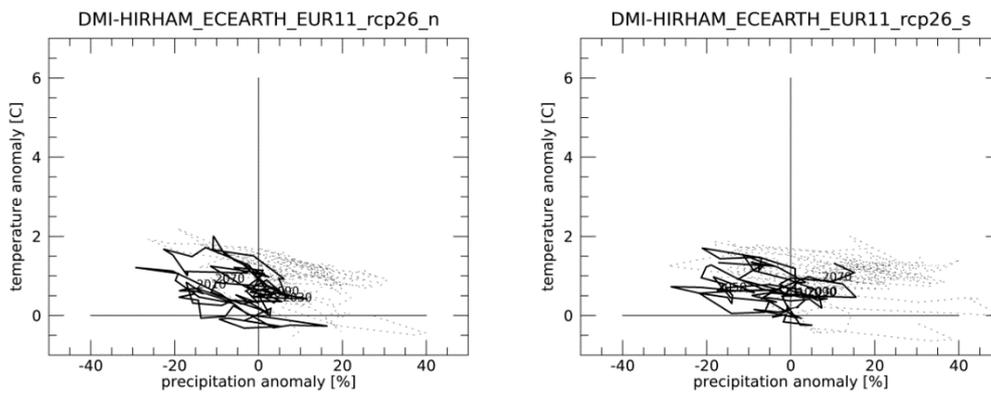


Abbildung 1: Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden).

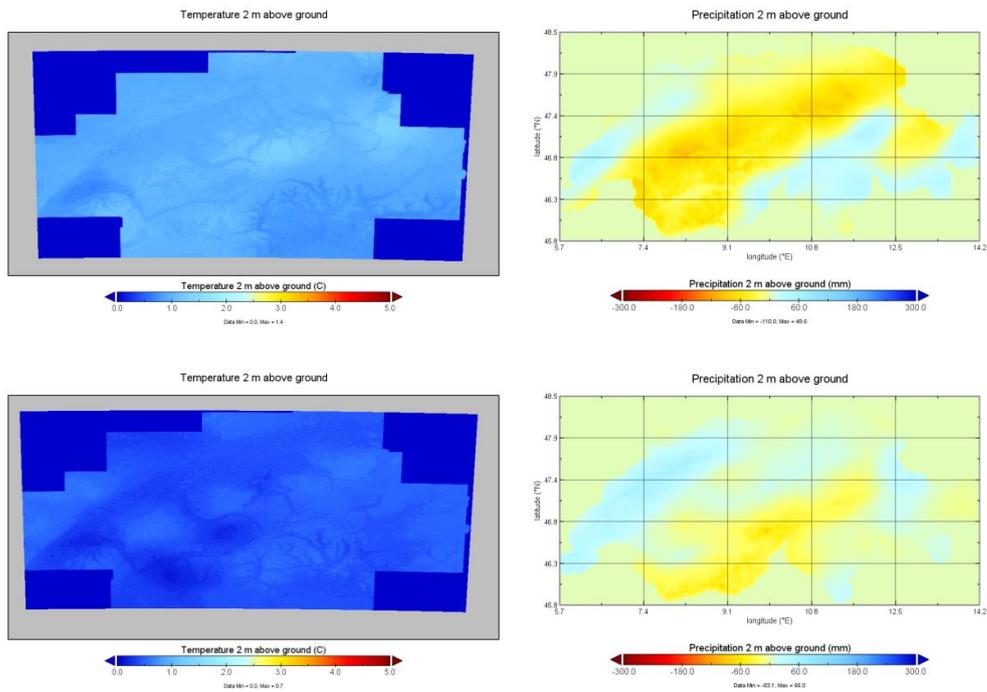


Abbildung 2: Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben).

## RCP 4.5: SMHI-RCA\_MPIESM\_EUR44

Tabelle 4: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 4.5.

Ort	Tas	pr	tas Anomalie	pr Anomalie	Trocken- tage Anomalie	Letzter Frosttag Anomalie	Diff. tas Anom.	Diff. pr Anom.
Aarau	15.2	486.2	1.8	-4.0	1.6	-5.5	-0.1	-1.9
Locarno	17.9	831.7	2.3	-0.5	2.3	-19.1	0.2	7.9

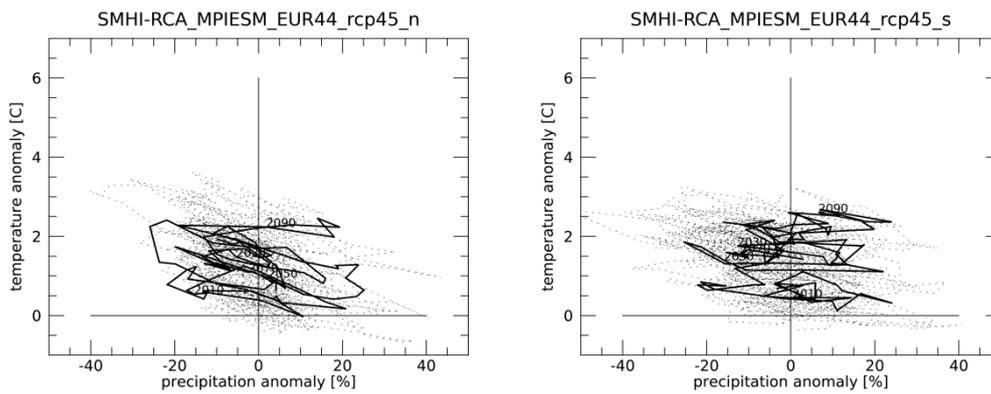


Abbildung 3: Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden).

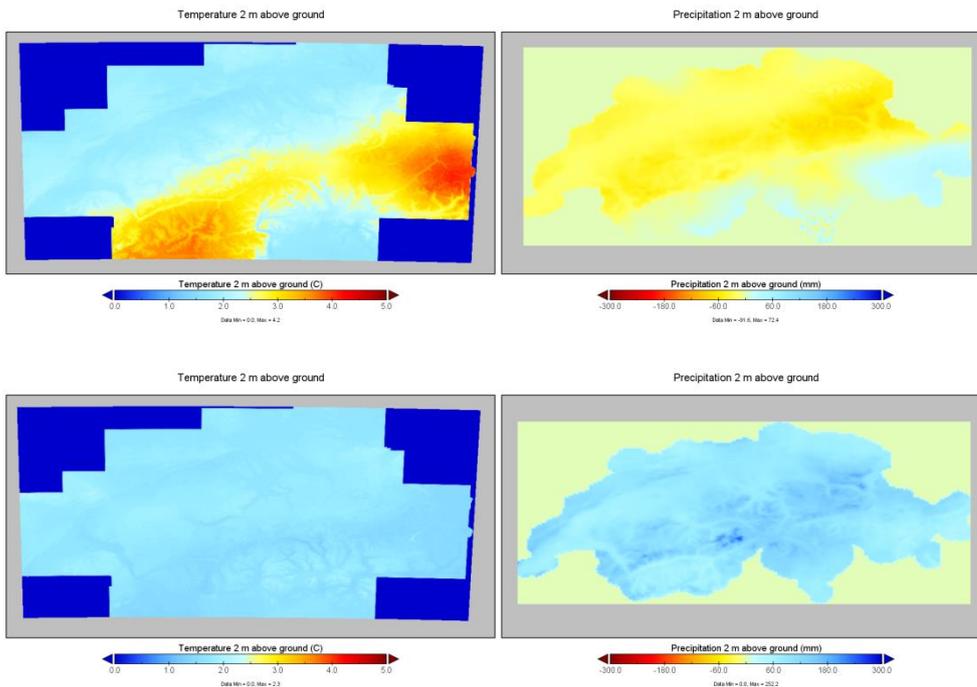


Abbildung 4: Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben).

## RCP 8.5: CLMCOM-CCLM5\_HADGEM\_EUR44

Tabelle 5: Anomalien der Sommerwerte (April – August) RCP 8.5.

Ort	Tas	pr	tas Anomalie	pr Anomalie	Trocken- tage Anomalie	Letzter Frosttag Anomalie	Diff. tas Anom.	Diff. pr Anom.
Aarau	15.3	491.61	4.4	-17.0	3.4	-28.8	0.0	0.7
Locarno	18.0	933.5	4.4	-24.9	4.4	-34.2	-0.4	2.4

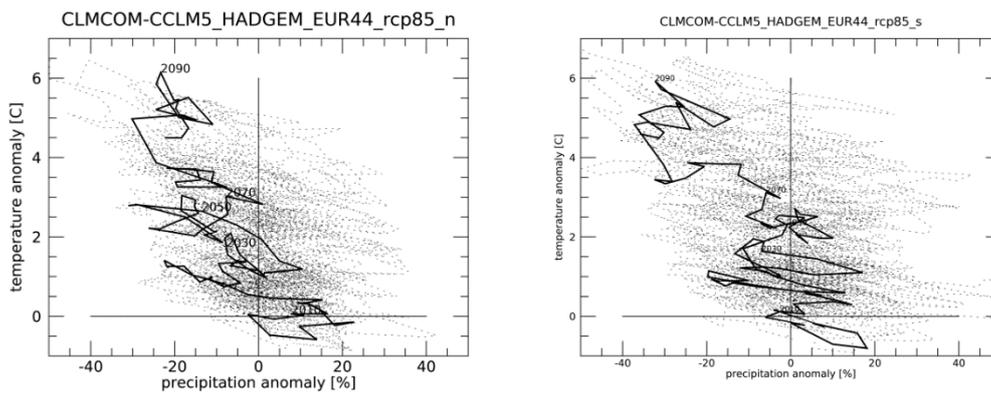


Abbildung 5: Verlauf der Anomalien (links: Norden, rechts: Süden).

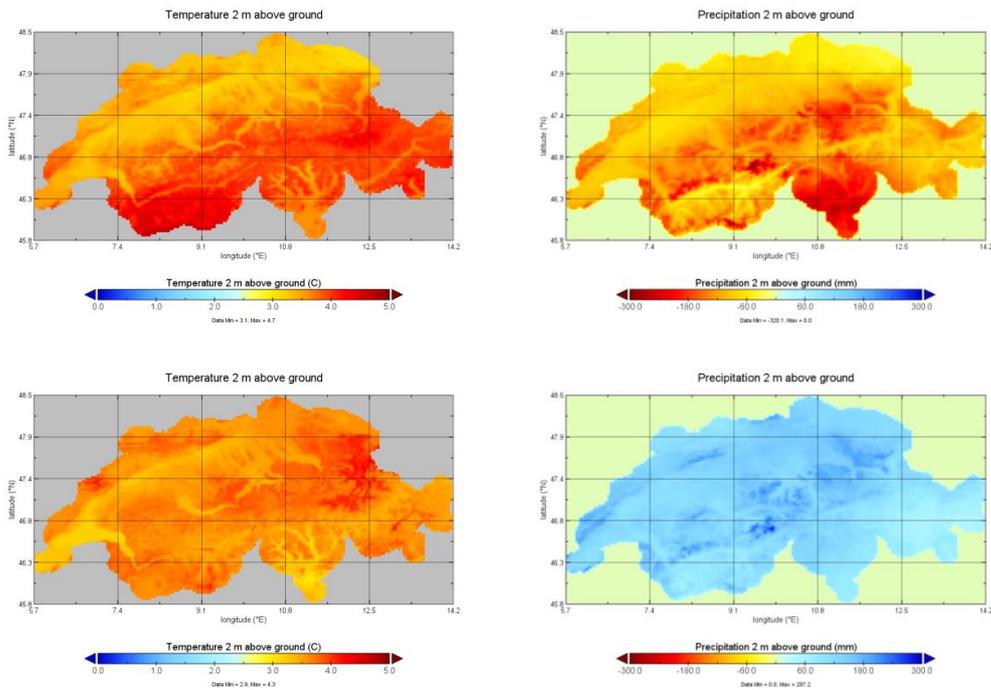


Abbildung 6: Anomalien Temperatur (links) und Niederschlag (rechts) 2070-99 vs. 1981-2010 Winter (unten) und Sommer (oben).

## 4 Methoden für die Interpolation

Aus dem Vorgängerprojekt standen zwei Interpolationsmethoden zur Verfügung: Die "change factor method" (CF) und die "Shepard's Gravity interpolation" basierend auf der inversen Distanz (IDW) mit Höhenkorrektur der Wetterstationen.

Für die Parameter  $t_{as}$  und  $p_r$  können beide Methoden angewendet werden. Um die Unterschiede zu analysieren, wurden an 10 Meteorstationen (Tabelle 6) beide Methoden angewendet und mit historischen Daten (Tagewerte 1981-2010) verglichen. Bei der IDW Methode wurden die Stationsdaten selbst nicht verwendet (leave one out Ansatz).

Als Test für die Verteilung wurde der Kolmogorov-Smirnoff Index (KSI over %) verwendet (Espinari et al., 2009). Tabelle 6 zeigt die mittlere Abweichung und den KSI over (%) Wert für das Modell SMHI-RCA\_MPIESM und den Parameter  $p_r$ . Verteilungen mit KSI Werte unter 100 gelten als ähnlich. Sowohl bei der IDW als auch der CF Methode gibt es Standorte mit mehr als 100 (6 bei CF und 7 bei IDW). Im Schnitt sind die Abweichungen bei der CF Methode kleiner.

Tabelle 6: Bias und KSI der beiden Interpolationsmethoden für Niederschlag in mm (Tagewerte 1981-2010) (SMHI-RCA\_MPIESM).

Ort	x-Koord.	y-Koord.	Meereshöhe	Bias CF	Bias IDW	KSI CF	KSI IDW
Aarau	648389	248365	387	-0.1	0.4	261	372
Adelboden	609400	148975	1320	0	0.7	10.3	736
Chur	759471	193157	556	0	0.7	400	675
Davos	783514	187458	1594	0	0	189	4
Fahy	562458	252676	596	0	0	0.1	0
Genève	495580	122320	420	0	0	25	149
Locarno	704160	114350	367	-0.4	0.4	572	479
Montana	603600	129160	1508	0	0.6	4	1064
Stabio	716040	77970	353	0	0.2	523	324
St. Gallen	747681	254586	776	-0.1	0.2	310	0

Tabelle 7 zeigt den Bias und den KSI over (%) Wert für das Modell SMHI-RCA\_MPIESM und Temperatur.

Tabelle 7: Bias und KSI der beiden Interpolationsmethoden für Temperatur in °C (Tageswerte 1981-2010) (SMHI-RCA\_MPIESM).

Ort	x-Koord.	y-Koord.	Meeres- höhe	Bias CF	Bias IDW	KSI CF	KSI IDW
Aarau	648389	248365	387	0	0	0	0
Adelboden	609400	148975	1320	0.5	-1.2	282	2208
Chur	759471	193157	556	-0.1	0	4.8	0
Davos	783514	187458	1594	0	-1.4	0	2820
Fahy	562458	252676	596	-0.7	-0.2	803	31
Genève	495580	122320	420	-0.1	-0.3	8	0
Locarno	704160	114350	367	-1.4	0.3	2834	535
Montana	603600	129160	1508	-0.2	0.9	5	1542
Stabio	716040	77970	353	-0.4	1.4	114	2686
St. Gallen	747681	254586	776	-0.1	-0.5	0	291

Bei der Temperatur sind je 5 Standorte für beide Methoden ähnlich. Im Schnitt ist die CF Methode aber etwas genauer.

**Wir entscheiden uns deshalb, für tas und pr die CF Methode anzuwenden.**

**Für die restlichen Parameter (td, gh, ff) kommt die IDW Methode zur Anwendung, da keine Gitterdaten vorliegen (im CH2018 Projekt wurden diese nicht berechnet).**

Die Unsicherheit der Methode ist auf Grund der besseren räumlichen Auflösung der CH2018 Szenarien deutlich kleiner als in der vorhergehenden Studien (CH2011, basierend auf Szenarien in 15 – 25 km Auflösung). Die herunterskalieren Werte werden damit nur lokal von den CH2018 Daten abweichen.

Basierend auf den neuen Daten werden neue Verläufe und Klimatologien der Trockenheitswerte (ETA/ETP, SWB, KWB) gerechnet. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel eines Vergleichs für die Tagessumme des Niederschlags in Locarno-Monti. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel eines Vergleichs für die Tagesmitteltemperatur in Montana.

Die CF Methode zeigt an beiden Orten bessere Resultate als die IDW Methode.

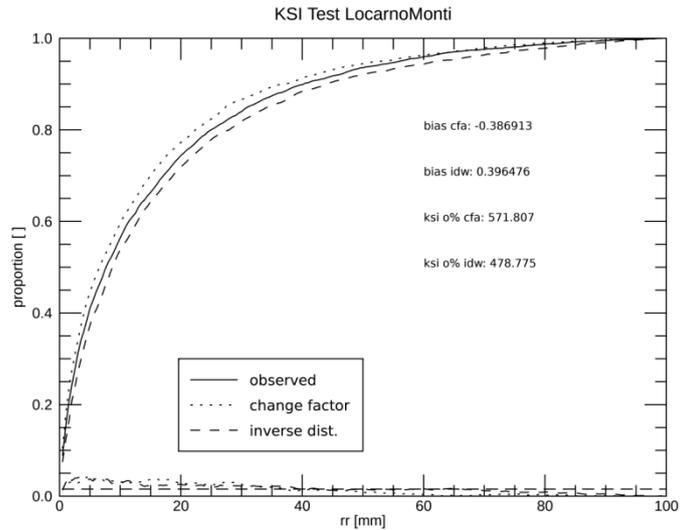


Abbildung 7: Kumulative Verteilung der Beobachtungen und der beiden Interpolationsmethoden (CF und IDW) vom Parameter Niederschlag (hier rr, Tageswerte 1981-2010) in **Locarno-Monti**.

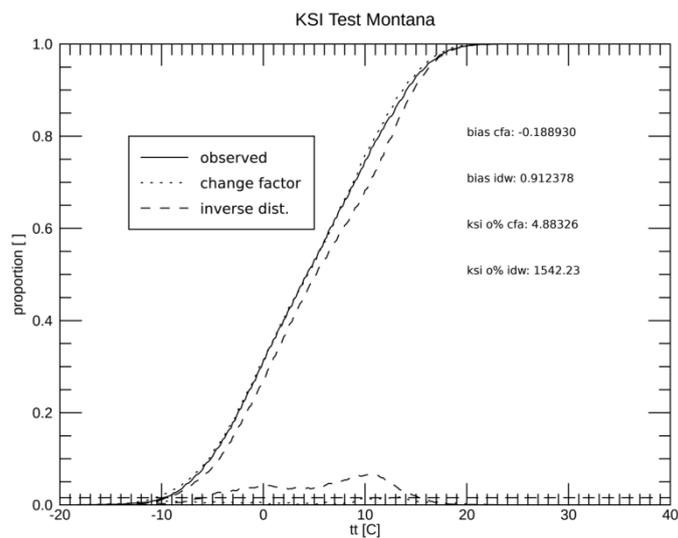


Abbildung 8: Kumulative Verteilung der Beobachtungen und der beiden Interpolationsmethoden (CF und IDW) vom Parameter Temperatur (hier: tt; Tageswerte 1981-2010) in **Montana**.

## 4.1 Korrektur der Temperatur

Die Taupunkttemperatur, die minimale, durchschnittliche und maximale Temperatur wurden unabhängig voneinander interpoliert. Allerdings hängen diese voneinander ab. So kann z.B. die Taupunkttemperatur nicht höher sein als die Lufttemperatur.

Die folgenden Korrekturen wurden angewendet, damit keine unrealistischen Werte auftreten:

1. Max. Temperatur muss mindestens 1°C oberhalb der Minimaltemperatur liegen (ansonsten wird diese angehoben).
2. Das Tagesmittel muss zwischen dem Minimum und dem Maximum liegen. Falls es ausserhalb liegt, wird der Mittelwert der Minimal- und Maximaltemperatur als Mittelwert verwendet.
3. Die Taupunkttemperatur muss kleiner oder gleich der Lufttemperatur sein

## 5 Resultate

Meteotest hat sieben meteorologische Parameter für Tageswerte der Perioden 1981-2010, 2045-69, 2070-99 berechnet und als netcdf Files gespeichert (Tabelle 8) (eine Datei pro Monat und Parameter). Diese werden auf ein Cloud Archiv kopiert.

Tabelle 8: Anzahl Monatsdateien (netcdf) pro Szenario, Parameter und Periode.

	Pro Szenario		
	1981-2010	2045-2069	2070-2099
tas	360	300	360
pr	360	300	360
ff	360	300	360
td	360	300	360
tasmin	360	300	360
tasmax	360	300	360
gh	360	300	360
SWB	360	300	360
ETA/ETP	360	300	360
ETA/ETP daily	360	300	360
petpe	360	300	360

Die Namensgebung geschah nach folgendem Schema:

ch2018\_dsd\_SMHI-RCA\_MPIESM\_EUR44\_RCP45\_ff\_2092\_11\_ch.nc

- Quelle: CH2018
- dsd = downscaled
- Modell: SMHI-RCA\_MPIESM\_EUR44\_RCP45
- Parameter: ff
- Jahr: 2092
- Monat: 11

Für die Parameter SWB, ETA/ETP und petpe gibt es netcdf Dateien mit Monatswerten. Diese enden mit "\_month\_ch.nc".

In einem zweiten Schritt wurden die Trockenheitsindizes Site Water Balance (SWB) und ETA/ETP (ETAP) berechnet. Beide für Monatswerte, ETA/ETP auch für Tageswerte. Bei der ETA/ETP wurde bislang nur der einfache Ansatz gerechnet. Zudem wurde als Zwischenschritt die potentielle Evapotranspiration (pet gemäss Penman / petpe) berechnet und auch gespeichert.

In einem letzten Schritt wurden Mittelkarten (Karten, die Mittelwerte von mehreren Jahren zeigen) berechnet. Dies um die Übersicht zu ermöglichen und auch um die Resultate zu prüfen.

Bei der ETA/ETP wurden nur die Monate April-August verwendet, bei der SWB die Differenz zwischen September und April.

Die Mittelwerte und Anomalien weisen folgende Namensgebung auf:

ch2018\_dsd\_SMHI-RCA\_IPSL\_EUR11\_RCP85\_etap\_average\_2045\_2074.nc

Zusätzlich existieren auch Mittelwerte der einzelnen Monatswerte. Diese Dateien enthalten die Abkürzung "\_average\_months\_".

ch2018\_dsd\_SMHI-RCA\_IPSL\_EUR11\_RCP85\_tas\_anomalies\_2070\_2099-1981\_2010.nc

- Quelle: CH2018
- dsd = downscaled
- Modell: SMHI-RCA\_IPSL\_EUR11
- Szenario: RCP 8.5
- Parameter: etap
- Mittel = "average"; Anomalie: "anomalies"
- Periode: 2045-2074

Für pr und tas existieren zudem auch die Mittel der Monate April – August. Diese enthalten die Abkürzung "AMJJA".

## 5.1 Vergleich der herunterskalierten Daten mit CH2018 Daten

Abbildung 9 zeigt die Jahressumme des Niederschlags 1981-2010 des CH2018 Originals (Auflösung 3km x 3km, oben) und des heruntergerechneten Gitters (250m x 250m, unten) – beide für RCP 8.5.

Zwei Gebiete fallen dabei auf: die Hochgebirge des südlichen Wallis, wo in der feineren räumlichen Auflösung die Niederschläge höher sind, und die Berner Alpen, in denen das (gröbere) Original höhere Werte anzeigt. Der Grund dafür ist die beim Downscaling mit der change factor Methode als Referenz verwendete Mittelkarte (1981-2000), die ein anderes Muster zeigt. Die Interpolation wurde aber bewusst nicht für Höhenlagen oberhalb 2'500 m ausgelegt – da diese (bislang) oberhalb der Baumgrenze liegen. In den restlichen Gebieten sind die Unterschiede klein. Abbildung 10 zeigt die mittlere Minimaltemperatur 2070-2099. Hier präzisiert das Downscaling v.a. die Topographie einzelne Lagen wie Seen (Luganersee) oder Südhänge (Goms).

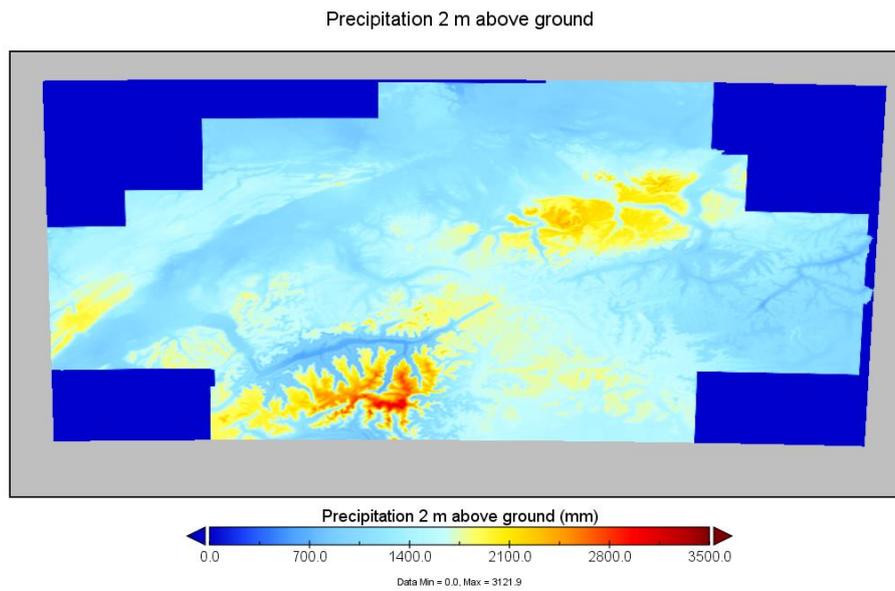
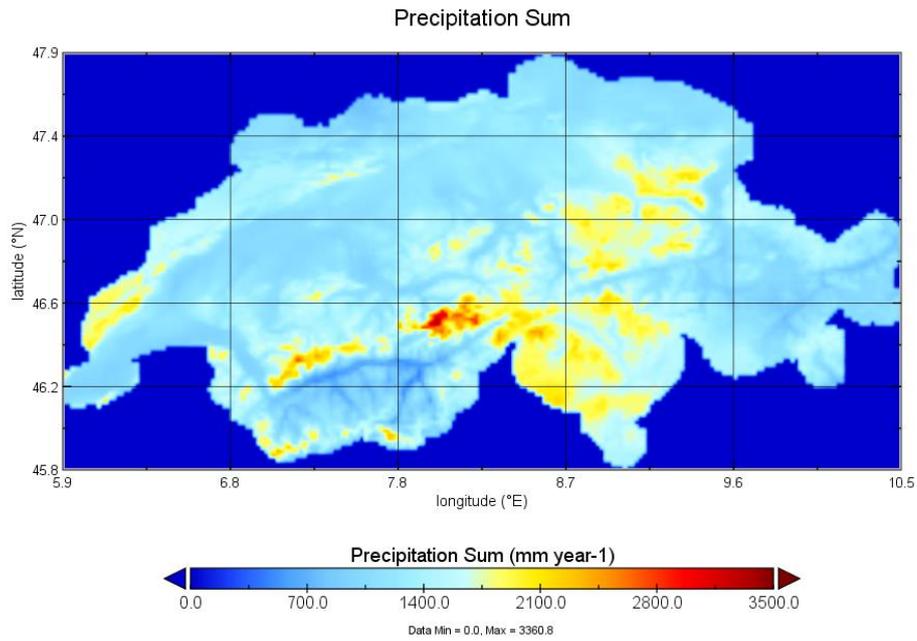


Abbildung 9: Mittlere Jahressummen des Niederschlags. Oben: CH2018, 2km x 2km-Raster, Unten: Heruntergerechnet auf 250 m Gitter (RCP 8.5).

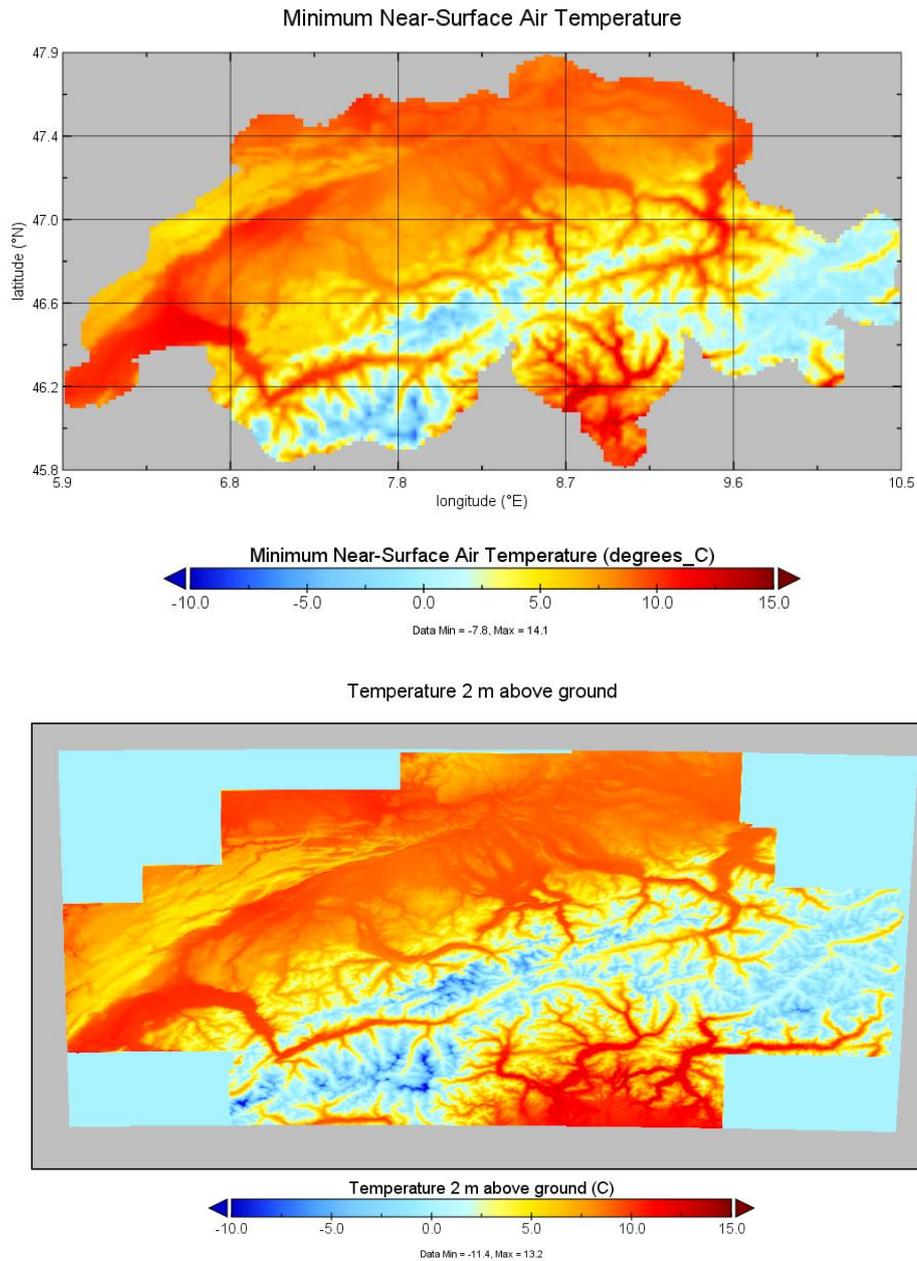


Abbildung 10: Mittlere monatliche Minimaltemperatur 2070-2099. Oben: CH2018, 2km x 2km-Raster. Unten: Heruntergerechnet auf 250 m Gitter (RCP 8.5).

## 5.2 Globalstrahlung

Für die Globalstrahlung musste ein neues Zusatzmodul entwickelt werden, damit die Abschattung der Berge flächendeckend berechnet werden konnte. Für jeden Gitterpunkt wurde der Horizontverlauf berechnet und monatliche Abschattungsfaktoren für bedeckte, bewölkte und sonnige Tage abgeleitet. Diese Faktoren

wurden dann für die Interpolation angewendet. Abbildung 11 zeigt das Mittel der Globalstrahlung der Periode 1981-2010 (RCP 8.5).

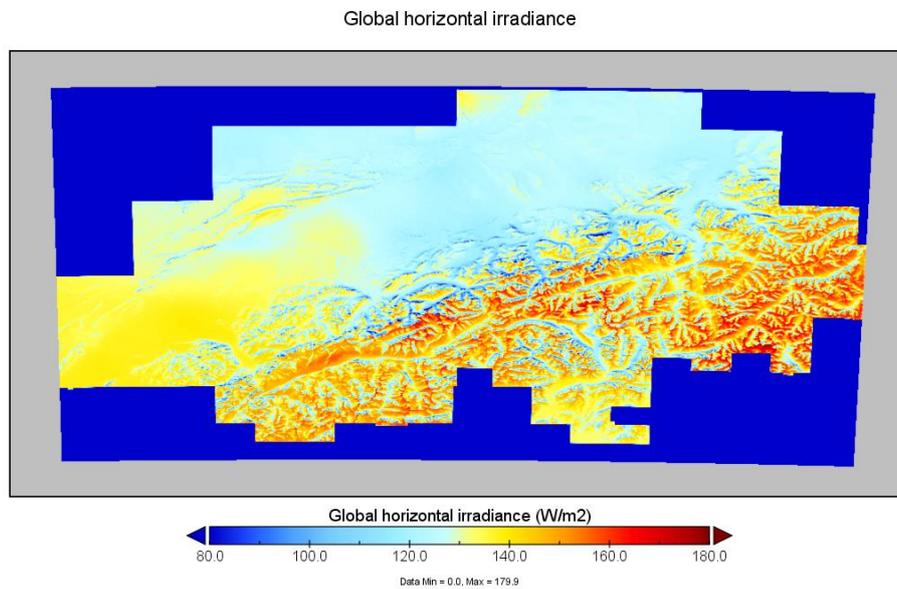


Abbildung 11: Mittlere Globalstrahlung der Periode 1981-2010 in W/m<sup>2</sup>, RCP 8.5.

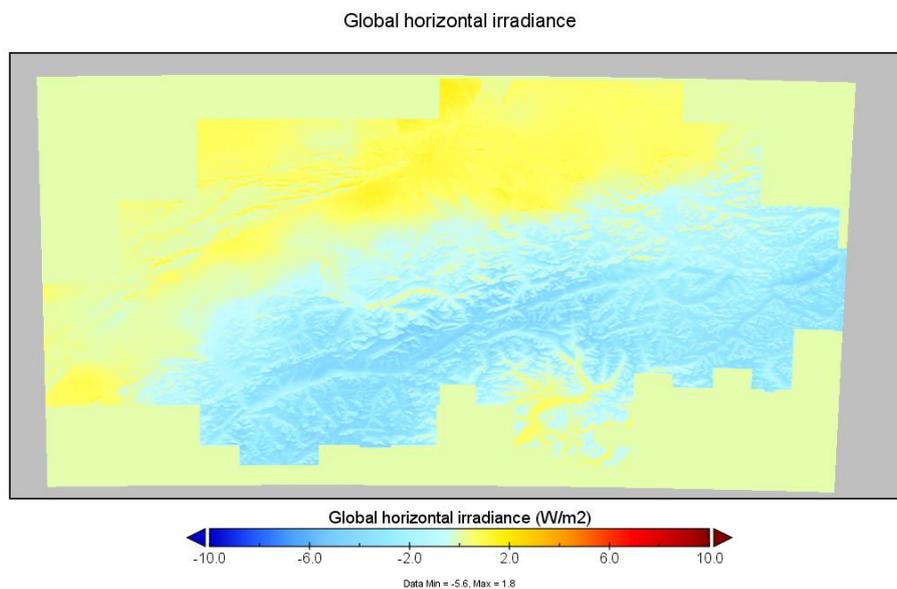


Abbildung 12: Anomalie der Globalstrahlung zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099 in W/m<sup>2</sup>, RCP 8.5.

Die Anomalie zwischen 1981-2010 und 2070-2099 zeigt ein interessantes Bild (Abbildung 12): Die Strahlung nimmt im Mittelland ganz leicht zu und in den Alpen wenig ab. Dies entspricht auch dem beobachteten Trend der letzten 30 Jahre (Remund, 2020).

### 5.3 Trockenheitsindizes

Die Trockenheitsindizes verändern sich in Zukunft stark (Abbildungen 13 und 14). Die kleinsten Veränderungen treten bei der SWB im Szenario RCP 8.5 auf.

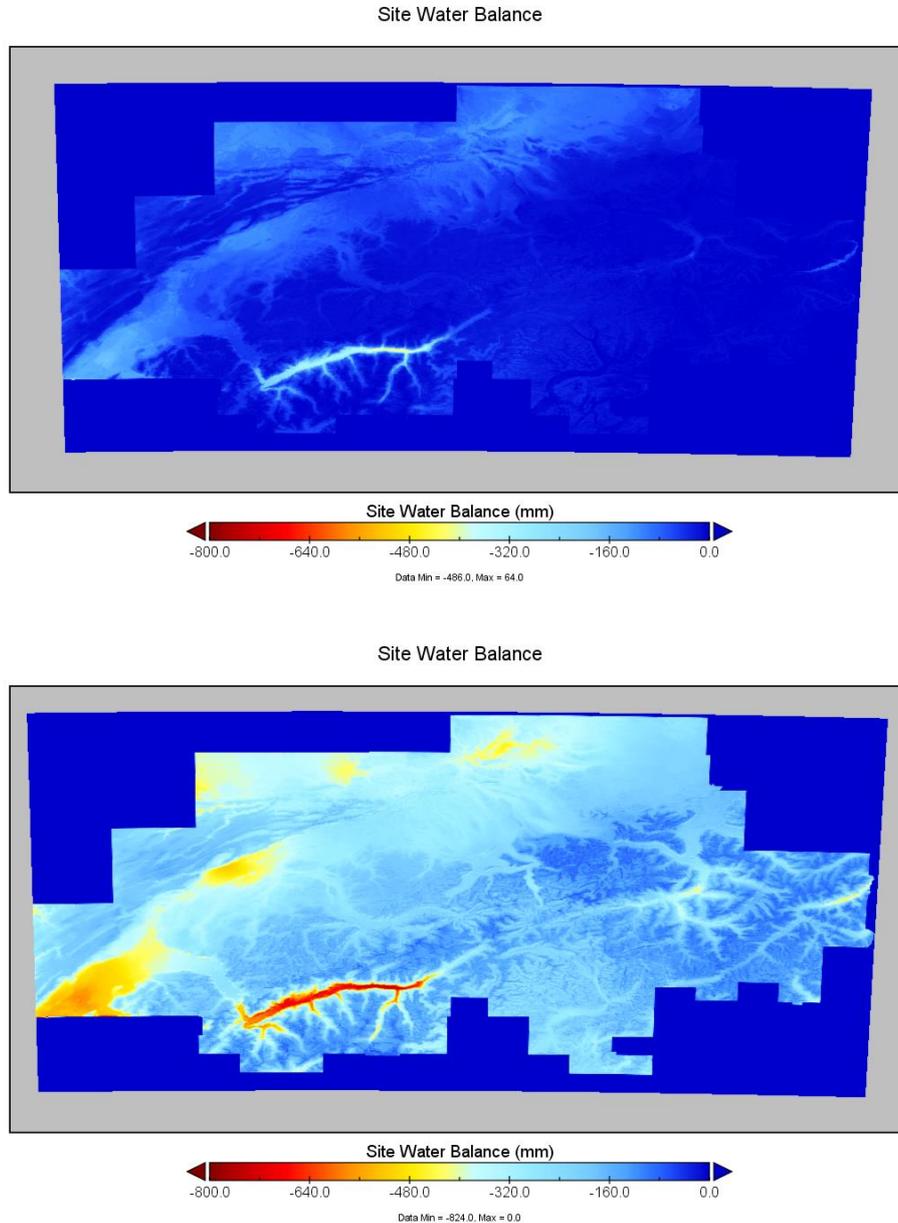


Abbildung 13: Mittlere SWB (Differenz August-April) der Periode 1981-2010 (oben) und 2070-2099 (unten), RCP 8.5

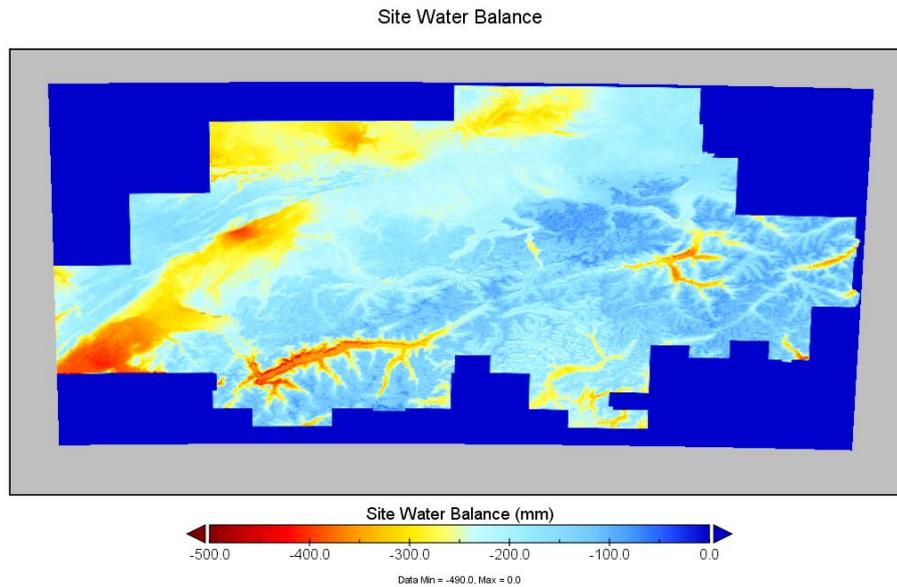


Abbildung 14: Anomalie der SWB (Differenz August-April) zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099, RCP 8.5.

Das Verhältnis zwischen ETA und ETP ändert sich beim RCP 8.5 stark. Abbildung 15 zeigt die Abnahme zwischen 1981-2010 und 2070-2099.

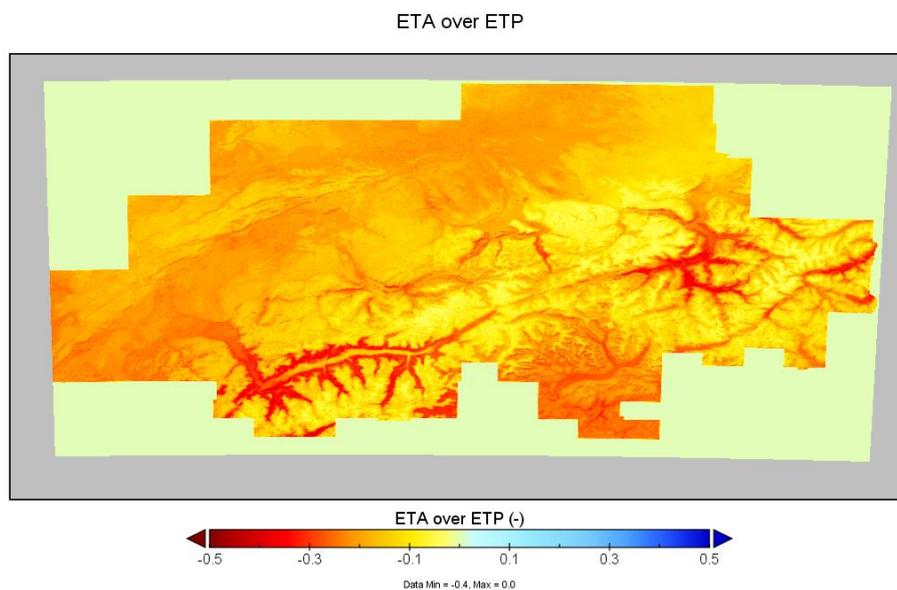


Abbildung 15: Anomalie des ETA/ETP Verhältnisses (Mittel April-August) zwischen den Perioden 1981-2010 und 2070-2099, RCP 8.5.

## 6 Literatur

CH2011 (2011), Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

[Espinar B.](#), Ramírez L, [Drews A.](#), [Beyer HG.](#), [Zarzalejo LF.](#), [Polo J.](#), [Martín L.](#) 2009. Analysis of different comparison parameters applied to solar radiation data from satellite and German radiometric stations. Solar Energy 83: 118-125.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.07.009>

NCCS (Hrsg.) 2018: CH2018 - Klimaszenarien für die Schweiz. National Centre for Climate Services, Zürich. 24 S. ISBN-Nummer 978-3-9525031-0-2  
<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/materialien-und-daten/daten/ch2018-webatlas.html>

Remund, J.; von Arx, G.; Gallien, L.; Rebetez, M.; Huber, B.; Zimmermann, N.E., 2016. Klimawandel in der Schweiz – Entwicklung walddrelevanter Klimagrößen. In: Pluess, A.R.; Augustin, S.; Brang, P. (Red.), Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien. 23–37.

Remund, J., Rihm, B. und Huguenin-Landl, B.; 2016. Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Bern, Meteotest. 40 S.  
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010693673>

Remund, J., 2020: Vortrag an 18. Nationaler Photovoltaiktagung, 12 und 13. März 2020, Lausanne. Online:  
[https://www.swissolar.ch/fileadmin/user\\_upload/Tagungen/PV-Tagung\\_2020/PVT20\\_5.5\\_Jan\\_Remund.pdf](https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Tagungen/PV-Tagung_2020/PVT20_5.5_Jan_Remund.pdf)