

Schlussbericht CCHydro

Modul 1: Klimatologisches Downscaling

Institution: IAC ETH Zürich

Datum: 07. Februar 2011
(revidierte Version)

Autoren: Thomas Bosshard, Sven Kotlarski, Tracy Ewen, Julian Arnold,
Pardeep Pall, Christoph Schär

Kontakt: thomas.bosshard@env.ethz.ch, sven.kotlarski@env.ethz.ch

Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)

Impressum

- Auftraggeber:** Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Hydrologie, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
- Auftragnehmer:** ETH Zürich, Institut für Atmosphäre und Klima
- Autoren:** Thomas Bosshard, Sven Kotlarski, Tracy Ewen, Julian Arnold, Pardeep Pall, Christoph Schär
- Begleitung BAFU:** David Volken, Bruno Schädler, Hugo Aschwanden, Dominique Bérod, Gian Reto Bezzola, Willy Geiger, Roland Hohmann, Adrian Jakob, Ronald Kozel, Petra Schmockler-Fackel
- Hinweis:** Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

1 Zusammenfassung

Im Modul 1 „Klimatologisches Downscaling“ wurden Daten von 10 regionalen Klimamodellen des europäischen ENSEMBLES-Projektes für hydrologische Klimastudien im Gebiet der Schweiz aufbereitet. Dazu wurde die Delta Change Methode auf die beiden Parameter Lufttemperatur und Niederschlag und die beiden Szenarioperioden 2021-2050 und 2070-2099 angewandt. Die erstellten Klimaszenarien dienen den weiteren Projektmodulen als Grundlage für deren Klimaimpaktmodellierung. Die Resultate zeigen einerseits eine grosse Bandbreite der projizierten Veränderungen der Temperatur und des Niederschlages. Diese Modellunsicherheit macht deutlich, dass auch auf der Stufe der Impaktmodelle jedes einzelne Klimaszenario verwendet werden muss, um danach die Bandbreite der Impaktszenarien abschätzen zu können. Andererseits lassen sich auch trotz der grossen Unsicherheit einige robuste Aussagen über die projizierte Klimazukunft machen. So sind sich für die Periode 2070-2099 alle Modelle einig, dass im Gebiet der Schweiz die Temperatur markant zunehmen und der Niederschlag im Sommer abnehmen wird.

2 Einführung

Hydrologische Klimastudien in kleinen Einzugsgebieten benötigen Informationen zur Klimaänderung mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung. Regionale Klimamodelle (RCMs) mit ihrer momentanen horizontalen Auflösung von rund 25 km sind zurzeit die beste verfügbare Datenquelle. Diese Auflösung ist jedoch einerseits immer noch zu grob für kleinskalige hydrologische Klimastudien, und andererseits weisen RCM-Daten gegenüber Messdaten beträchtliche Fehler auf. Es ist deshalb notwendig, RCM-Daten mit statistischen Verfahren aufzubereiten, bevor sie für hydrologische Klimastudien verwendet werden.

Bisher stellten die Klimaszenarien aus dem EU-Projekt PRUDENCE [1] die aktuellsten Prognosen dar, welche für die Schweiz aufbereitet wurden [2]. Für CCHydro wurden nun im Modul 1 „Klimatologisches Downscaling“ die Klimaszenarien des EU-Folgeprojektes ENSEMBLES [3] verwendet. Diese Szenarien stellen den neuesten Stand der regionalen Klimamodellierung dar. Sie wurden im Modul 1 mit Hilfe statistischer Methoden aufbereitet und stehen den Projektpartnern über eine eigens eingerichtete Webseite des *Center for Climate Systems Modelling* (C2SM; <http://data.c2sm.ethz.ch/dataset/DeltaChange>) zur Verfügung. Wissenschaftlicher Schwerpunkt von Modul 1 war die Analyse der Delta Change Faktoren zwischen zwei für Impaktmodelle relevanten Zeitperioden. Diese Arbeit wird einen Teil der Doktorarbeit von Thomas Bosshard bilden, in Zusammenarbeit mit dem Projekt „Klimaänderung und Wasserkraftnutzung“ des Netzwerks „Wasser im Berggebiet“ [4]. Im Fokus stehen die beiden entscheidenden hydrometeorologischen Variablen Niederschlag (PR) und Temperatur (TAS).

3 Methode

Hydrologische Modelle werden häufig mit hydrometeorologischen Stationsmessdaten betrieben. Deshalb haben wir für die Aufbereitung der Klimaszenarien die bewährte Delta-Change Methode [5] verwendet, die für Impaktforscher einfach verwendbare Klimaszenarien an Stationsstandorten liefert. In Abbildung 1 ist die Methode schematisch für den Fall der Lufttemperatur dargestellt. Die Methodik wurde hinsichtlich einer möglichst guten Wiedergabe des Jahresganges der betrachteten Variablen optimiert. Sie eignet sich somit speziell für Untersuchungen zur klimatologischen Änderung des Jahresganges hydrologisch relevanter Variablen. Sie ist jedoch nur bedingt für Analysen zur klimatisch bedingten Veränderung von Extremereignissen geeignet. Trotz dieses Nachteiles und aufgrund ihrer einfachen Handhabbarkeit stellt

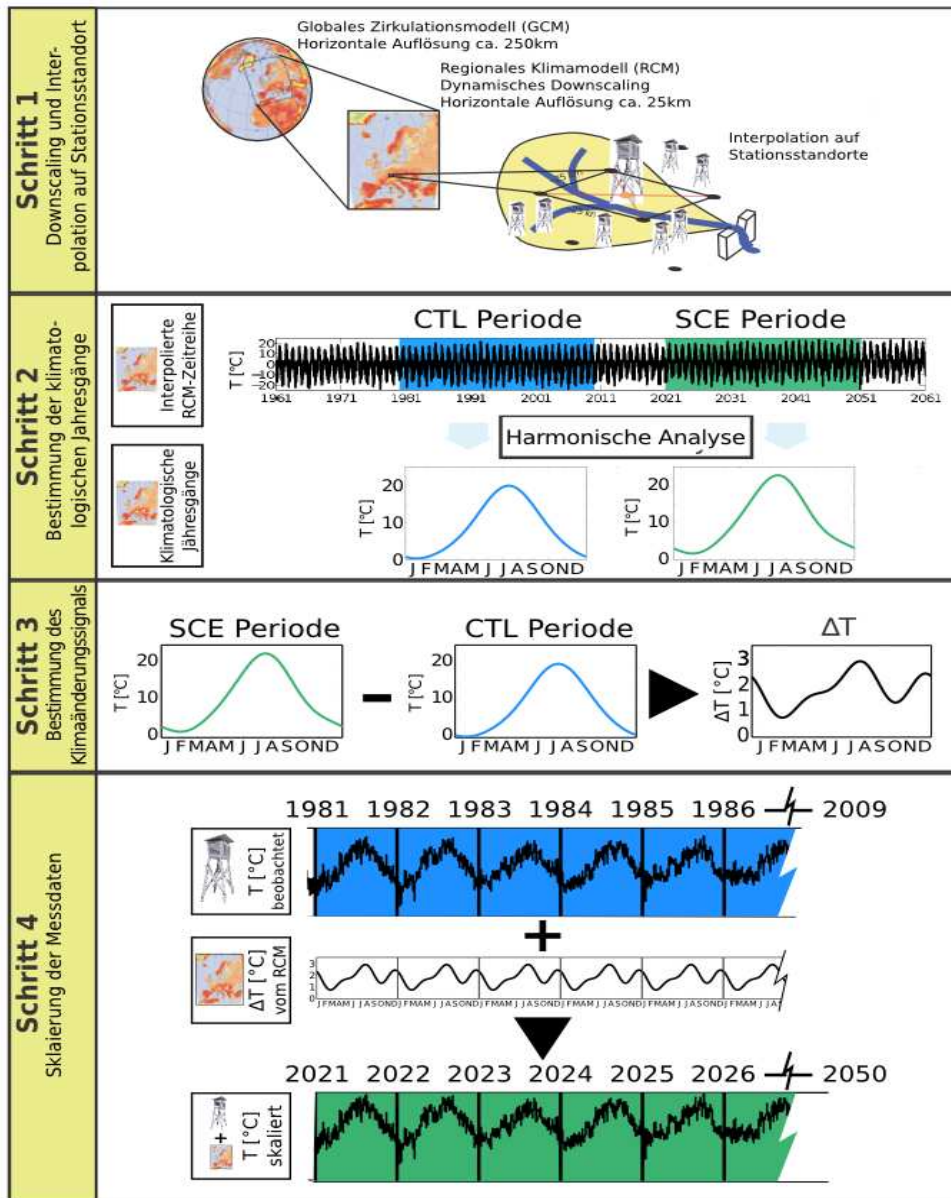


Abb. 1: Schematische Erläuterung der Delta Change Methode für die Temperatur und die Szenarioperiode 2021-2050. Das Vorgehen ist analog für weitere Szenarioperioden. Für den Niederschlag wird in Schritt 3 ein multiplikatives Klimaänderungssignal bestimmt und in Schritt 4 die beobachteten Daten ebenfalls multiplikativ skaliert.

die Delta Change Methode eine robuste Grundlage für hydrologische Klimastudien dar. Im Folgenden wird die Methode kurz erläutert. Für detaillierte Erläuterungen, auch hinsichtlich der harmonischen Glättung, verweisen wir auf [6].

Für die Berechnung der Delta Change Faktoren, welche dem Klimaänderungssignal entsprechen, wurden zunächst die gegitterten Daten (25km x 25km) von insgesamt 10 GCM-RCM Modellketten des ENSEMBLES Projektes (s. Tabelle 1) auf

Stationsstandorte des automatischen Messnetzes der MeteoSchweiz interpoliert. Aus den interpolierten Zeitreihen wurden anschliessend die Delta Change Faktoren zwischen den beiden Szenario-Perioden (SCE) 2021-2050 und 2070-2099 und der aktuellen Kontrollperiode (CTL) 1980-2009 berechnet. Dazu ermittelten wir mittels harmonischer Analyse sowohl für die CTL- als auch die SCE-Perioden den klimatologischen mittleren Jahresgang. Die Änderung des Jahresganges zwischen der CTL und den SCE-Perioden entspricht dem Klimaänderungssignal. Für die Temperatur betrachteten wir dabei die Differenz SCE-CTL, im Falle des Niederschlages die relative Änderung SCE/CTL. Das gleitende Mittel ermöglicht eine lückenlose Repräsentation des Jahresganges des Klimaänderungssignals. Anschliessend wurden die während der CTL-Periode gemessenen Stationsdaten mit den Delta-Change Faktoren skaliert. Daraus resultierten die aufbereiteten Klimaszenarien an den Stationsstandorten für die SCE-Periode.

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten GCM-RCM Experimente des ENSEMBLES-Projektes

Institut	GCM	RCM
ETHZ	HadCM3Q0	CLM
HC	HadCM3Q0	HadRM3Q0
SMHI	HadCM3Q3	RCA
DMI	ECHAM5	HIRHAM
KNMI	ECHAM5	RACMO
ICTP	ECHAM5	REGCM
MPI	ECHAM5	REMO
SMHI	ECHAM5	RCA
CNRM	ARPEGE	ALADIN
SMHI	BCM	RCA

4 Resultate

4.1 Fehler der Regionalen Klimamodelle

Abbildung 2 zeigt den Niederschlagsfehler der durch die atmosphärische Reanalyse (ERA40) angetriebenen Modellläufe (16 RCMs) gegenüber dem ENSEMBLES-Beobachtungsdatensatz, als Mittel über der nördlichen und südlichen Alpenregion. Der mittlere Niederschlagsfehler für Winter (DJF) weist sowohl in den Nord- als auch in den Südalpen die grösste Streuung auf. Der mittlere Sommerniederschlag (JJA) zeigt eine geringere Streuung. Während des Winters und des Frühjahrs zeigen die meisten Modelle sowohl in den Nord- als auch in den Südalpen eine Überschätzung des Niederschlags, während die Niederschlagsmengen im Sommer und Herbst recht gut wiedergegeben werden. Bei der Überschätzung des Winterniederschlags ist zu berücksichtigen, dass der ENSEMBLES-Beobachtungsdatensatz [7] noch nicht den systematischen Fehler der Niederschlagsmessung berücksichtigt und somit die wahren Niederschlagsmengen unterschätzt. Dieser Fehler ist im Winter mit mehr als 20% besonders gross [8].

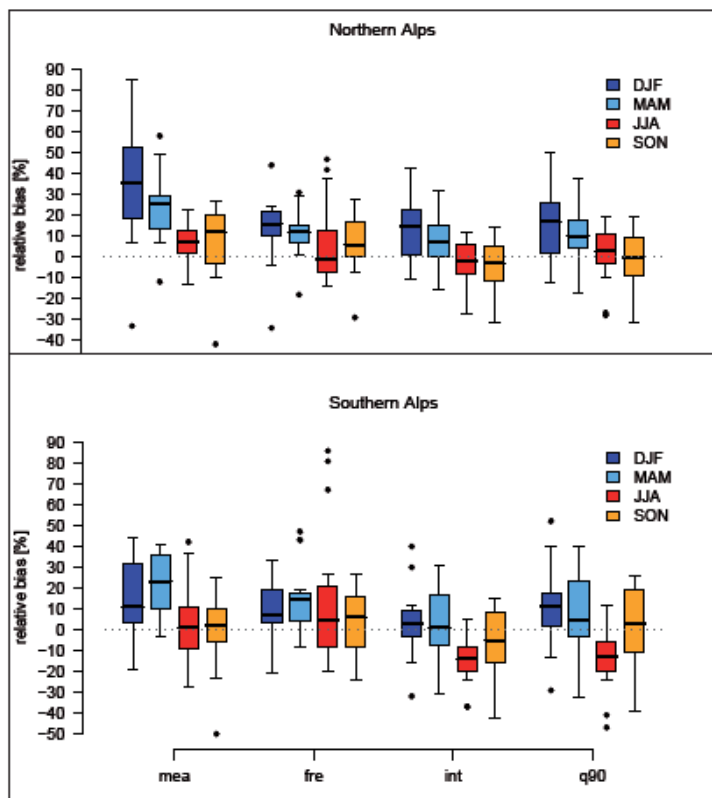


Abb.2: Gebietsniederschlags-Fehler der ERA40-angetriebenen RCM-Modellläufe gegenüber dem ENSEMBLES-Beobachtungsdatensatz (ohne Korrektur des systematischen Messfehlers). Die Balkenlänge entspricht der Streuung der 16 verwendeten RCMs (25%-Perzentil bis 75%-Perzentil). Mea: Mittlerer Niederschlag
fre: Niederschlagsfrequenz
int: Niederschlagsintensität
q90: 90%-Quantil der Niederschlagsverteilung [9]

Für die Validierung der RCMs sind die ERA40-angetriebenen Läufe massgebend, weil sie den Einfluss von möglicherweise fehlerbehafteten GCM-Randbedingungen ausschliessen. In den CCHydro-Szenarien wurden hingegen die transienten, GCM-angetriebenen Läufe verwendet. In Abbildung 3 ist deshalb die Validation der mittleren Temperatur- und Niederschlagsjahresgänge von insgesamt 17 GCM-RCM Modellketten dargestellt. Abweichungen gegenüber den Beobachtungen können in diesen GCM-RCM Modellketten sowohl vom antreibenden GCM (zum Beispiel durch fehlerhaft simulierte grossskalige Strömungsmuster) als auch vom RCM durch fehlerhaft simulierte kleinskalige Prozesse verursacht werden. Gezeigt sind die mittleren Jahresgänge im Schweizer Rheineinzugsgebiet für die Kontrollperiode 1961-1990. Für die Beobachtung wurde wiederum der Beobachtungsdatensatz des ENSEMBLES-Projekts (E-OBS) verwendet [7].

Generell simuliert das Modellensemble leicht zu tiefe Temperaturen über das gesamte Jahr hinweg. Nur zwei Modellketten fallen durch grössere positive Abweichungen gegenüber den Messwerten auf. Mit Ausnahme des Sommers liegen die simulierten Niederschlagsjahresgänge beträchtlich über den beobachteten Werten. Die Fehler im Winter sind generell grösser als im Sommer, und können für die meisten Modelle nicht mit dem systematischen Niederschlags-Messfehler erklärt werden. Die GCMs prägen die Form der Niederschlagsjahresgänge und vergrössern die Streuung der GCM-RCM Modelle im Vergleich zu den ERA40-angetriebenen Modellen.

4.2 Resultate der Delta Change Methode für die Schweiz

Die Delta Change Faktoren für TAS und PR zwischen der aktuellen Kontrollperiode 1980-2009 und den Szenarioperioden 2021-2050 und 2070-2099 wurden für alle Stationen des Messnetzes der MeteoSchweiz ermittelt, welche in der Kontrollperiode Messdaten aufweisen (Abbildungen 4, 5, 6, und 7).

Das räumliche Muster der simulierten Temperaturänderungen zeigt sich recht homogen (Abbildungen 4 und 5). Einzig eine leicht grössere Temperaturzunahme über dem Alpenbogen gegenüber dem Rest der Schweiz ist vor allem in der SCE-Periode 2070-2099 ersichtlich. Die Temperaturzunahme ist in beiden Perioden im Sommer am grössten. Die Modellunsicherheit ist ebenfalls jeweils im Sommer am grössten und erreicht in der Periode 2070-2099 verbreitet eine Standardabweichung von ca. 1 °C. Bei einer absoluten Temperaturzunahme von verbreitet mehr als 4 °C bedeutet dies, dass eine Temperaturabnahme sehr unwahrscheinlich ist. Das 95 % Konfidenzintervall reicht von ca. 2 bis 6 °C für weite Teile der Schweiz im Sommer der Periode 2070-2099.

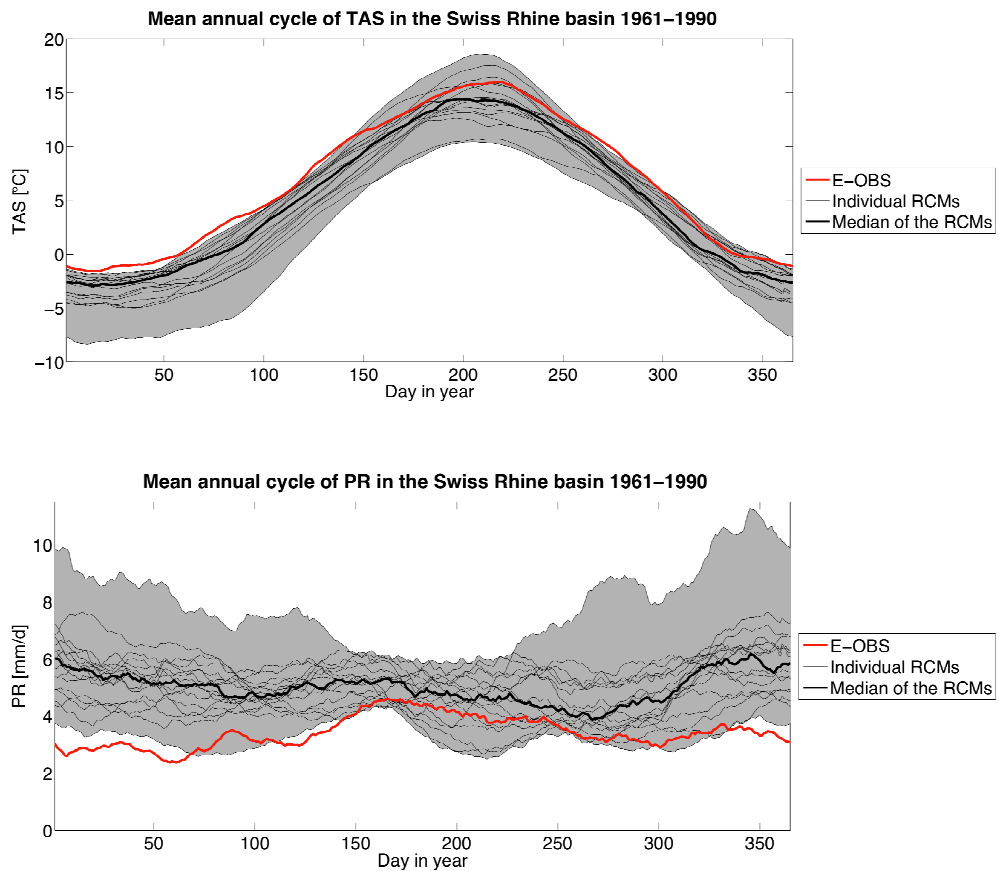


Abb. 3: Beobachtete und von 17 GCM-RCMs simulierte mittlere Jahressgänge von Temperatur (TAS; oben) und Niederschlag (PR; unten) im Einzugsgebiet des Schweizer Rheins für die Standard-Normalperiode 1961-1990. Der mittlere Jahressgang wurde als gleitendes Mittel mit einer Fensterbreite von 31 Tagen berechnet. Die graue Schattierung spiegelt die Bandbreite der simulierten Jahressgänge wider. Die systematische Unterschätzung der Niederschläge in den Beobachtungen wurde nicht berücksichtigt.

Verglichen mit der Temperatur sind die räumlichen Muster der Niederschlagsänderung deutlich heterogener (Abbildungen 6 und 7). Zudem ist ersichtlich, dass sich die Muster zwischen den beiden SCE Perioden verändern. So projiziert das Ensemblemittel für den Herbst 2021-2050 eine ausgeprägte Niederschlagszunahme, während für den Herbst 2070-2099 die Zunahme weniger deutlich ist. Auffallend ist, dass für die Nordseite der Alpen häufig eine Zunahme des Niederschlags vorhergesagt wird, während auf der Südseite (Tessin und Wallis) die Zunahme deutlich geringer ist oder sogar eine Abnahme projiziert wird (siehe Winter, Frühling und Herbst 2021-2050 sowie Frühling und Herbst 2070-2099.). Generell sind die Niederschlagsänderungssignale in der

Periode 2070-2099 ausgeprägter als im Zeitraum 2021-2050. Am deutlichsten ist die Niederschlagsabnahme im Sommer der Szenarioperiode 2070-2099, was sich auch darin zeigt, dass sich fast alle Modelle hinsichtlich einer Abnahme des Niederschlags einig sind (siehe graue Schattierung in Abbildung 12). Auch die Zunahme des Niederschlags im Winter und Frühling der Periode 2070-2099 ist über weiten Teilen der Schweiz robust.

Es sei an dieser Stelle betont, dass für hydrologische Impaktstudien nicht die Ensemblemittelwerte allein verwendet werden sollten. Um die zum Teil beträchtlichen Unsicherheiten der Klimaszenarien in Impaktstudien wiedergeben zu können, müssen auch individuelle Modellresultate verwendet werden. Falls infolge limitierter Studienressourcen nicht alle 10 Modellketten verwendet werden können, sollte ein Augenmerk auf eine ausgeglichene Repräsentation aller GCMs gelegt werden.

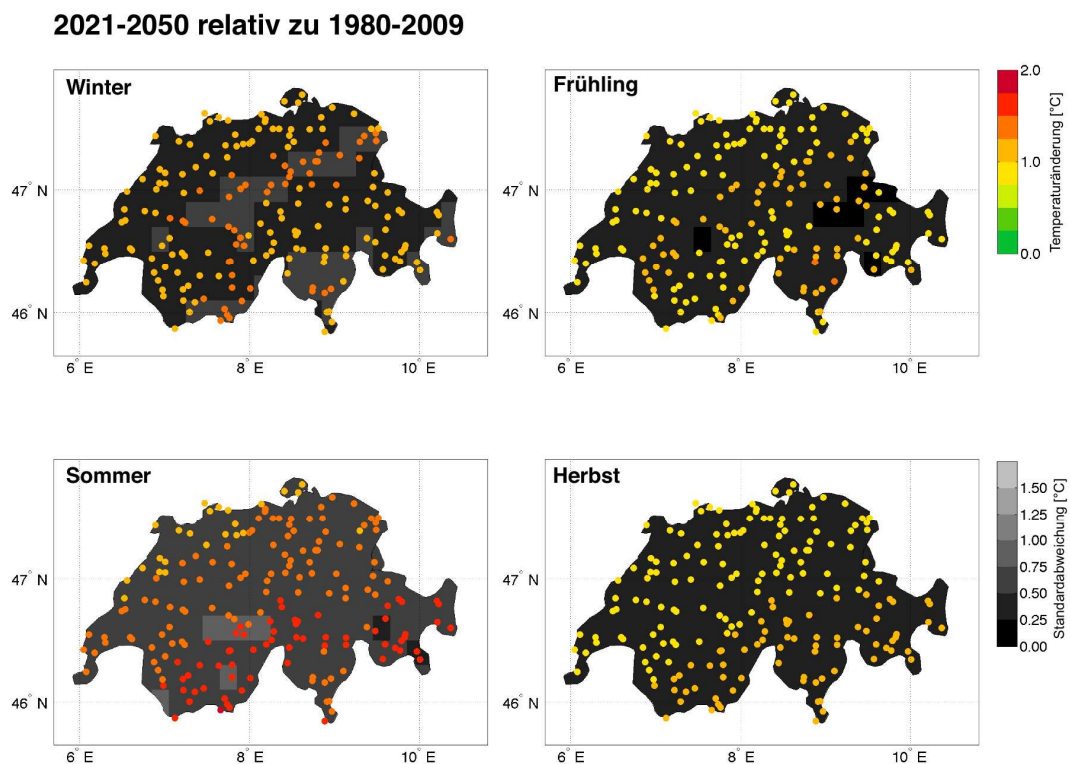


Abb. 4: Saisonale Mittel der Delta Change Faktoren für die 2m Temperatur (TAS) interpoliert auf die Messstationsstandorte. Gezeigt ist in Farbe das Mittel des Modellensembles. Die graue Schattierung entspricht der Standardabweichung (σ) der Delta Change Faktoren aller 10 GCM-RCM Ketten und ist ein Mass für die Streuung der Modellprognosen.

2070-2099 relativ zu 1980-2009

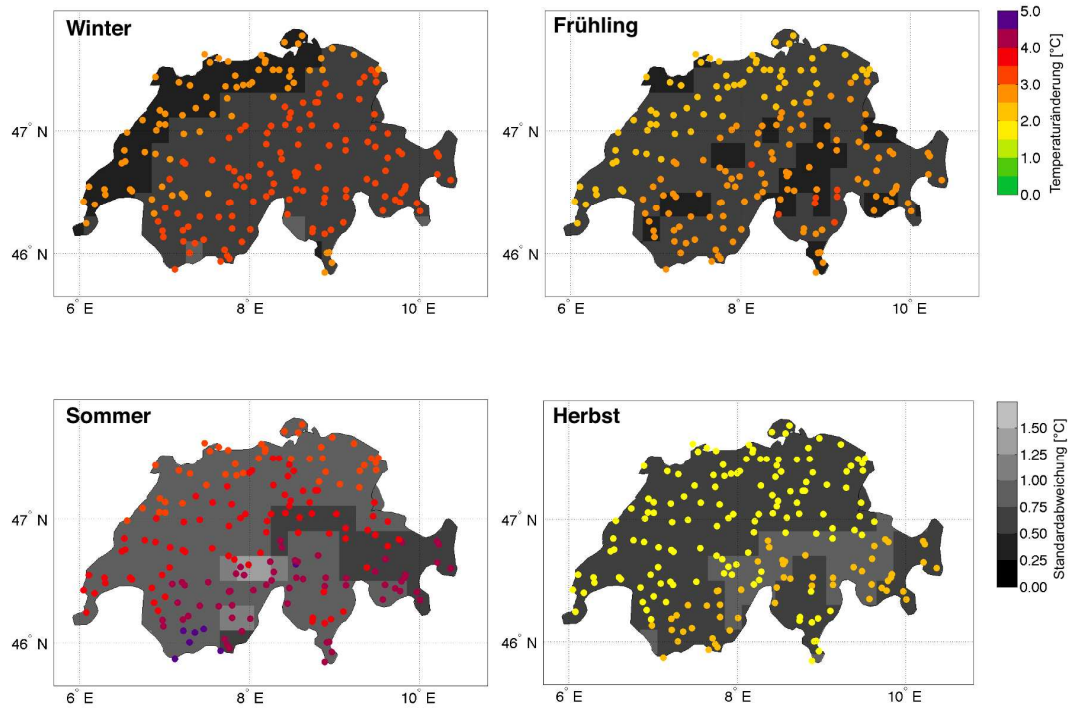


Abb. 5: Wie Abbildung 4, jedoch für die Szenarioperiode 2070-2099. Die Farbskala wurde den grösseren Temperaturänderungswerten angepasst.

2021-2050 relativ zu 1980-2009

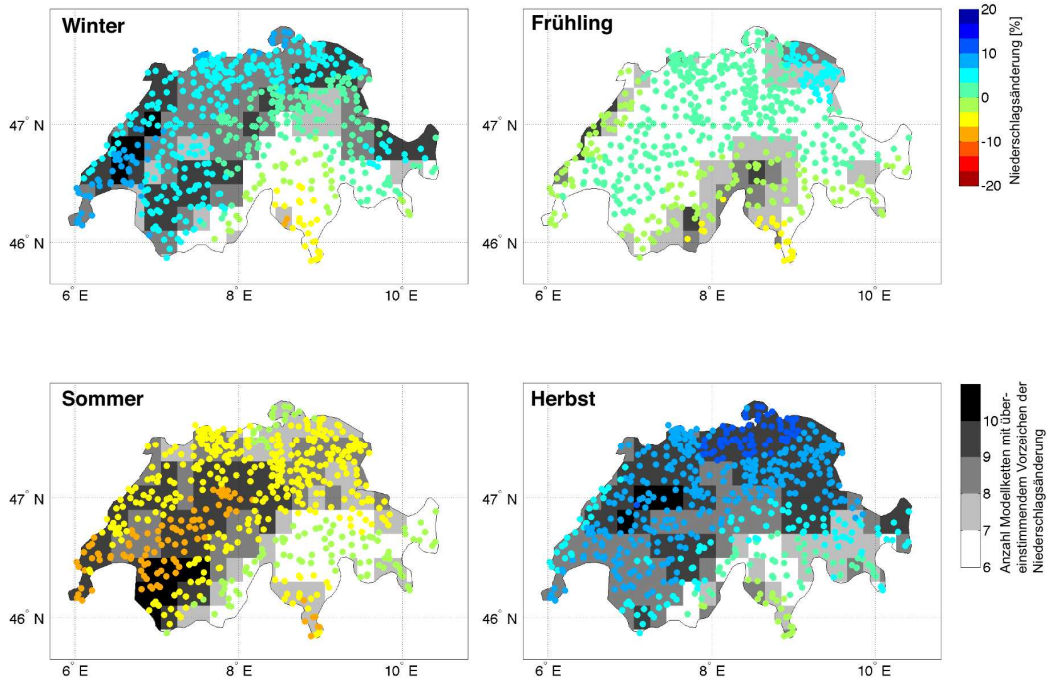


Abb. 6: Saisonale Mittelwerte der Delta Change Faktoren des Niederschlages für die 10 Modellketten interpoliert auf die Stationsstandorte. Blaue Farbtöne entsprechen einer Niederschlagszunahme in der SCE-Periode relativ zur CTL-Periode, gelbe und rote Farben einer Niederschlagsabnahme. Die graue Schattierung zeigt die Zahl der insgesamt 10 Modelle, die im Vorzeichen der Änderung übereinstimmen. Je dunkler die Schattierung, desto robuster ist das vorhergesagte Vorzeichen der Niederschlagsänderung.

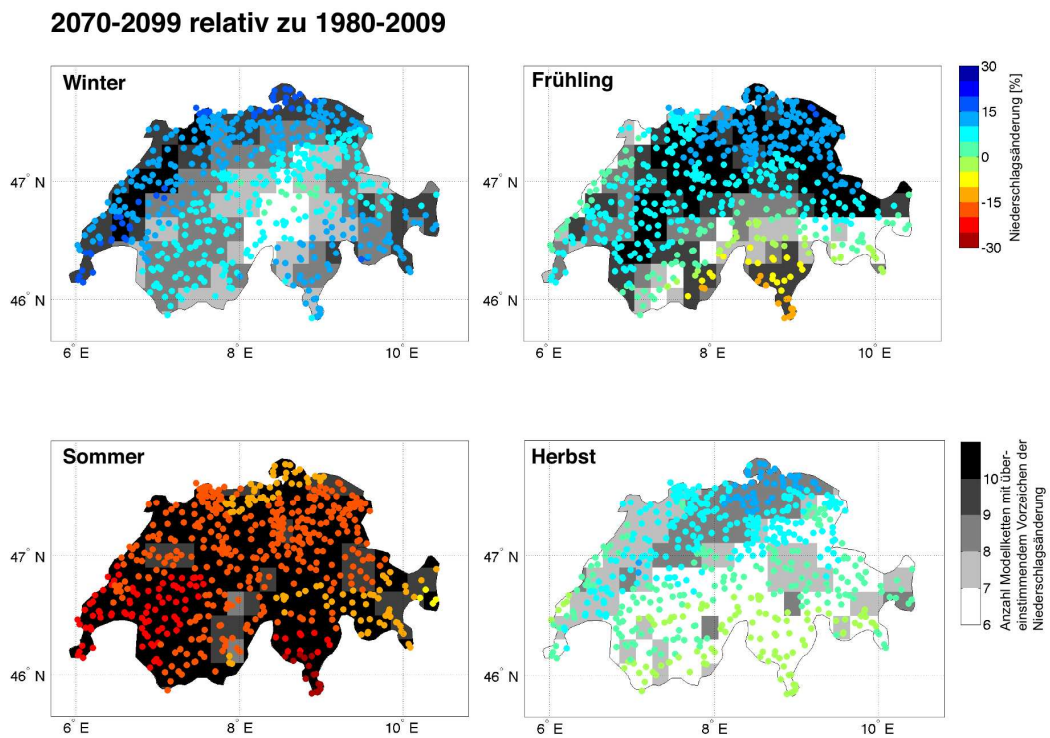


Abb. 7: Wie Abbildung 6, jedoch für die Szenarioperiode 2070-2099. Die Farbskala wurde den grösseren Niederschlagsänderungswerten angepasst.

5 Schlussfolgerungen

Die vorgestellten Klimaszenarien basieren auf RCM-Daten des ENSEMBLES-Projektes. Die Kombination verschiedener GCMs und RCMs ermöglicht eine Abschätzung der Modellunsicherheit, wie sie bisher auf regionaler Skala noch nicht möglich war. Weitere wichtige Unsicherheitsquellen in der Klimamodellierung sind die Emissionsszenarien und die natürliche Variabilität. Diese beiden letztgenannten Unsicherheiten werden durch die vorliegenden Klimaszenarien nicht abgedeckt. Bei der Interpretation der

Modellunsicherheit muss deshalb berücksichtigt werden, dass sie nicht der totalen Klimaprojektionsunsicherheit gleichzusetzen ist.

Die ermittelten Klimaänderungssignale für Temperatur und Niederschlag sind vor allem für den Niederschlag in der SCE-Periode 2070-2099 deutlicher als in der Periode 2021-2050. Für die Temperatur projiziert das Modellensemble die stärkste Temperaturzunahme in beiden SCE-Perioden jeweils im Sommer mit +4 °C für 2070-2099. Das deutlichste Niederschlagsänderungssignal ist die Niederschlagsabnahme im Sommer 2070-2099 mit verbreitet -15 bis -30 % Abnahme im Ensembledittel. Die Ergebnisse sind konsistent mit den Resultaten aus dem PRUDENCE-Projekt, dem Vorgängerprojekt von ENSEMBLES.

Die Modellunsicherheiten sind sowohl für die Temperatur- als auch die Niederschlagsänderung beträchtlich. Im Sommer 2070-2099 projiziert das Modellensemble Temperaturzunahmen im Bereich von 2-6 °C. Im Falle des Niederschlages besteht nicht nur eine grosse Unsicherheit hinsichtlich der Amplitude, sondern auch hinsichtlich des Vorzeichens des Änderungssignals. A priori lässt sich nicht sagen, welches Klimaszenario am ehesten zutrifft. Alle Szenarien sind gleich wahrscheinlich. Deshalb sollten in nachfolgenden Impaktstudien möglichst alle Klimaszenarien verwendet werden, um die Modellunsicherheit auch auf Ebene der Klimaimpakte abschätzen zu können.

Bei all diesen Betrachtungen gilt es zu bedenken, dass die Alpen mit ihrer komplexen Topographie für die regionale Klimamodellierung ein sehr anspruchsvolles Gebiet sind. Die Auflösung der modernsten Modelle reicht noch nicht aus, um z. B. die inneralpinen Täler abzubilden. Es ist deshalb wichtig, dass die Resultate dieser Studie fortlaufend mit den jeweils aktuellsten RCM-Daten überprüft werden.

Danksagung:

Wir möchten uns beim BAFU für die finanzielle organisatorische Unterstützung der Studie bedanken. Ebenfalls geht unser Dank an das ENSEMBLES-Projekt für die zur Verfügung gestellten regionalen Klimamodelldaten. Wir danken auch den CCHydro Projektpartnern, welche uns wertvolle Hinweise zur Ausgestaltung der Methodik lieferten. Ebenso möchten wir uns beim Center for Climate Systems Modelling (C2SM) für dessen technische Unterstützung bedanken.

Referenzen:

- [1] Christensen, J. H. and O. B. Christensen, 2007: A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century, *Climatic Change*, 81, 7-30
- [2] OcCC/ProClim (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050
- [3] ENSEMBLES Project: <http://ensembles-eu.metoffice.com>
- [4] Netzwerk Wasser im Berggebiet: www.netzwerkwasser.ch
- [5] Prudhomme C., N. Reynard and S. Crooks (2002): Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now? *Hydrol. Process.*, 16, 1137-1250
- [6] Bosshard, T., Kotlarski, S., Ewen, T., Schär, C., 2011: Spectral representation of the annual cycle in the climate change signal. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Disc.*, 8, 1161-1192
- [7] Haylock M.R. et al. (2008): A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 113, Art. No. D20119, doi:10.1029/2008JD010201
- [8] Adam, J. C. and D. P. Lettenmaier, 2003: Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 108 (D9), Art. No. 4257
- [9] Arnold, J., Pall, P., Bosshard, T., Kotlarski S. and Schär, C. (2009): Detailed study of heavy precipitation events in the Alpine region using ERA40 driven RCMs. *ENSEMBLES Deliverable D5.32*. Available from <http://ensembles-eu.metoffice.com>

The annual cycle of the climate change signal - an improved method for impact studies

Thomas Bosshard¹, Tracy Ewen¹, Sven Kotlarski¹, Christoph Schär¹

¹Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich

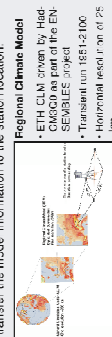
Introduction

The Delta Change approach is a widely used method to generate climate scenarios for impact studies [1,2,3]. The estimation of the climate change signal forms the basis of this method. In particular, the annual cycle of the climate change signal is of interest for impact studies such as climate runoff modeling. A common way to calculate the annual cycle is the linear interpolation between the monthly means of the change of such times windows is to some extent arbitrary. Minima and maxima of the annual cycle might be missed.

In order to better represent the amplitude of the annual cycle and the time of occurrence, we propose a fitting method with a model of harmonic components. The focus is on daily precipitation. We tested two different fitting models as well as different moving average window widths with regard to their resulting annual minimum and maximum climate change signal. We found that the amplitude of the annual cycle is very sensitive to the choice of the moving average window width and the fitting model.

Study setup and Methods

We used a model chain with a Global Circulation Model, a Regional Climate Model and a linear interpolation step to transfer the model information to the station location.



- ETH CLM group by Heidi GEMMIG as part of the ENSEMBLES project
- Transitional run 1851-1900
- Horizontal resolution of 25 km



Calculation of the climate change signal ΔPR

We focus here on precipitation and use the time slices 1961-1990 for the control period (CTL) and 2021-2050 for the scenario period (SCN). The climate change signal is calculated based on 30 year means of days in a year that are associated according to a moving window.

$$\Delta PR(t) = \frac{P(t) - P_{ref}(t)}{P_{ref}(t)}$$

PR: Precipitation
 P: Precipitation value
 P_{ref}: Reference value
 t: Day in the year
 t_{ref}: Reference day in the year

The brackets denote averages over the 30 years of the indicated period and the days in the year within the moving average window.

The window widths that we used for the study were 15d, 31d, 61d and 31d corresponding to half window width (mw) of 7d, 15d, 30d and 45d respectively.

Annual cycle: dependence on the fitting method and moving average window width

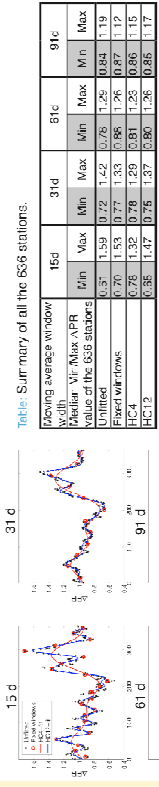


Figure 1: Annual cycle of ΔPR at the station Neuchâtel calculated by using the different moving average window widths 15d, 31d, 61d, and 91d. HC4 and HC12 stand for Harmonic fits with different spatial resolution (see section fitting methods). The unfitted series is the raw annual cycle after the moving average step. The fixed window represents the commonly used approach of calculating the ΔPR for fixed time slices in the year like e.g. months.

- The unfitted ΔPR(t) series show stochastic components (see the zigzag-structure in the 15d and 31d plot).
- For the unfitted, fixed windows and HC12-fit approaches, the minima and maxima ΔPR of the annual cycle strongly depend on the moving average window width.
- The fitting by HC4 reduces the influence of the window width. The maxima ΔPR of the HC4 fits only varies from 1.32 to 1.26 between the window widths of 15d and 61d.
- The HC12 fit generally has larger amplitudes than the HC4 fit.

Annual cycle minima and maxima: Spatial pattern and timing

The HC4-fit pattern of the annual ΔPR maxima shows smaller amplitudes compared to the HC12-fit. In fact, the HC4-fit maxima are even smaller in the southern part of Switzerland, which is close to one which indicates no change.

The differences between HC12 and HC4 are larger in the annual maxima than in the minima.

The HC4-fit causes the timing of annual maximum ΔPR to occur about 20 days earlier than in the HC12-fit in the northern and northwestern part of Switzerland which could have an impact on timing impact models.

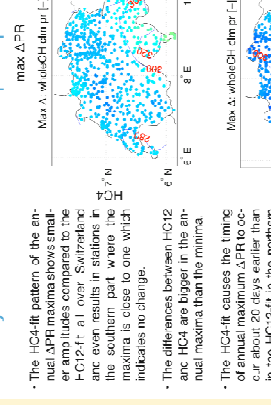


Figure 2: The spatial pattern of the annual minima and maxima of ΔPR. The contour lines show the day in the year which the minima or maxima occurs on. The Moving Average window width is 31d. The climate change signal is based on the ETH CLM model with the scenario period 2021-2050 and the control period 1961-1990.

The fitting methods

The aim of the fitting procedure is the extraction of the signal that one has confidence in from a noisy time series. Here, this time series is the annual cycle of the precipitation Delta Change factors (ΔPR) at the station locations and the noise model is an AR(1)-process.

Fitting with Harmonic Components

Every quasi-periodic and stationary time series can be decomposed into sinus and cosinus oscillation with different frequencies plus a noise term.

$$y(t) = c + \sum_{k=1}^N (a_k \cos(\frac{2\pi k t}{N}) + b_k \sin(\frac{2\pi k t}{N})) + \epsilon(t) - c$$

- c: bias or offset of an fixed Δ factor
- N: day in year
- a_k, b_k: number of days in year (2000)
- ε(t): noise, each value of the noise process
- ΔPR(t): the value of the time series
- t: whole index starts

We fitted two HC-models by a stepwise regression. One with a maximum order of 4 (HC4), and one with a maximum order of 12 (HC12).

Conclusions

The Delta Change method only allows for changes in the mean precipitation by a factor ΔPR. Little attention has been given so far to how the annual cycle of ΔPR should be calculated. Depending on the averaging window width, the commonly used fixed window approach with linear interpolation results in strongly differing annual maxima and minima ΔPR. An annual cycle calculated based on moving averages combined with a harmonic fitting procedure has been tested in this study. The harmonic fitting by the HC4 fitting model reduces the stochastic elements in the series and produces a smooth annual cycle. The moving average window width should be carefully chosen since it affects the amplitude of the annual cycle. The difference observed in our study can be as large as 47% increase of precipitation extremes exposed to only 15% increase in the order of the maximum order of the harmonic fitting model also requires careful analysis. No objective measure for the maximum order has been proposed so far.

The issue about the annual cycle also arises in other scaling techniques. The use of the proposed methodology might be of interest for such techniques as well.

References

- 1) Bosshard, T. 2007. Precipitation extremes under climate change: a review. *Journal of Hydrological Processes* 16, 1427-1442.
- 2) Ewen, T. 2007. Likelihood estimates of change magnitude in precipitation extremes. *Journal of Hydrological Processes* 16, 1443-1452.
- 3) Kotlarski, S. 2008. Impact of climate change on precipitation extremes. *Journal of Hydrological Processes* 17, 1457-1472.

Abb. A1: Poster mit Erklärungen zur verwendeten Delta Change Methodik (vorgestellt auf der EGU 2009, Wien)