

Gegitterte mittlere Abflüsse für zukünftige Emissionsszenarien

Massimiliano Zappa¹, Dorothea Hug Peter¹

¹ Eidg. Forschungsanstalt WSL, Gebirgshydrologie und Massenbewegungen, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

Zusammenfassung

Die in diesem Datensatz zusammengestellten Karten enthalten die gegitterten (500mx500m) mittleren monatlichen und jährlichen Abflüsse für drei Emissionsszenarien (RCP 2.6, RCP4.5 und RCP8.5). Es wurden Karten für drei Zeithorizonte in der Zukunft erstellt: 2035 (2020–2049), 2060 (2045–2074) und 2085 (2070–2099). Zusätzlich sind ebenfalls die Karten für die Referenzperiode (1981 – 2010) enthalten, sowie die Resultate des Kontrolllaufes. Im Kontrolllauf wird das hydrologische Modell mit tatsächlichen Meteodaten gerechnet. Die Dateien sind als ASCII Grids, ohne Seen mit Bezugssystem CH1903_LV95 gespeichert.

1 Einleitung

Durch den Menschen verursacht stiegen die Treibhausgaskonzentrationen in den letzten Jahrzehnten an, was zu einem globalen Temperaturanstieg geführt hat (IPCC, 2014). Gleichzeitig veränderten sich auch die Niederschlagsverhältnisse in der Schweiz (CH2018, 2018). Für die Zukunft ist von einer Zunahme im Winter und einer Abnahme im Sommer auszugehen (IPCC, 2014). Dies wird sich direkt auf den Abfluss auswirken. Bereits jetzt ist festzustellen, dass die sommerlichen Abflussmengen in diversen Einzugsgebieten in den letzten 40 Jahren markant abgenommen haben (Michel et al., 2020). Vor allem im Sommer ist in Zukunft in der Schweiz mit Wasserknappheit zu rechnen. Dabei wird das Mittelland davon voraussichtlich stärker betroffen sein wird als der Alpenraum (Brunner et al., 2019). Die Projektionen für das zukünftige Klima basieren auf den Emissionsszenarien von verschiedenen unabhängigen Wissenschaftlern, die in die sogenannten RCP (Representative Concentration Pathways) gruppiert werden. Dabei wird einerseits die Treibhausgaskonzentration und andererseits der daraus resultierende Strahlungsantrieb berücksichtigt. Rückkoppelungen sind ebenfalls in die Szenarien integriert. RCP 2.6 entspricht einer klaren Kurskorrektur mit einer starken Reduktion der Emissionen. RCP 4.5 entspricht einem mittleren, RCP 8.5 einem sehr hohen Szenario. Aufgrund dieser simulierten Klimabedingungen wird dann mit einem hydrologischen Modell der Abfluss berechnet. Da die Klimabedingungen dieser Szenarien auch für die Referenzperiode (1981 – 2010) simuliert sind, weichen die Werte leicht von den gemessenen Werten ab und sind somit für jedes Szenario unterschiedlich. Aus diesem Grund bietet es sich oft an, nicht die absoluten Abflüsse, sondern die relative Veränderung im Vergleich mit der Referenzperiode anzuschauen. Die Ergebnisse werden in diesem Datensatz für drei Perioden in der Zukunft zusammengefasst: nahe Zukunft (2020 – 2049), mittlere Zukunft (2046 – 2075), ferne Zukunft (2071 – 2100).

2 Daten und Methoden

Die mittleren Abflüsse wurden mit dem hydrologischen Modell PREVAH (PREcipitation Runoff EVApotranspiration HRU related Model) simuliert. Es wurde die räumlich explizite Version mit einer Auflösung von 200 m × 200 m verwendet (Speich et al., 2015). Die Modellparameter wurden für die Schweiz bereits in diversen Studien kalibriert, validiert und räumlich interpoliert (Köplin et al., 2010; Viviroli et al., 2009a, 2009b). Die Parameter wurden aus diesen Studien übernommen, wie dies bereits für das CCHydro Projekt gemacht wurde (Bernhard and Zappa, 2012).

Modellinput – Kalibration

Das Modell wurde zuerst anhand von effektiven Messungen in der Kontrollperiode kalibriert. Die Ergebnisse dieser Simulation sind im CTRL Ordner abgelegt. Es wurde mit folgenden Daten kalibriert:

- meteorologischen Daten Niederschlag, Temperatur, relative Luftfeuchte, globale Strahlung und oberflächennaher Wind. (relevanten MeteoSchweiz Stationen aus dem Zeitraum 1975–2016)
- Landnutzungskarten und ein digitales Höhenmodell wurden von der Arealstatistik des Bundesamts für Statistik (GEOSTAT) bezogen (Version 1992/97).
- Schneemessungen stammen vom Interkantonalen Mess- und Informationssystem (IMIS) und dem WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) (Jörg-Hess et al., 2014).
- Die meteorologischen Daten wurden vor der Verwendung mit einer höhenabhängigen Regression und einer abstandsabhängigen Interpolation räumlich interpoliert (Viviroli et al., 2009a).
- Abflussmessungen vom BAFU zum Vergleich der Simulierten Ergebnisse mit effektiv gemessenem Abfluss.

Modellinput – Simulation

Für die Modellierung des zukünftigen Abflusses wurden die CH2018 Klimaszenarien verwendet (CH2018). Die 39 Modellketten, die auf den oben beschriebenen Emissionsszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 basieren wurden für die Schweiz herunterskaliert (Tabelle 1). Die Gletscherausdehnung, berechnet mit der Methode von Zekollari et al. (2019), wurde von Brunner et al. (2019) bereits für die Abflussmodellierung verwendet. Die Berechnung basiert auf dem Gletscherinventar vom Randolph Glacier Inventory 6.0 (RGI Consortium, 2017) sowie dem Global Glacier Evolution Model (GloGEM; Huss and Hock, 2015) und der neuen, erweiterten Version von GloGEM (GloGEMflow; Zekollari et al., 2019). Für Gletscher mit einer Länge > 1 km wurde zur Berechnung der Gletscherausdehnung GloGEMflow verwendet, für kürzere Gletscher GloGEM (Zekollari et al., 2019).

Die Abflusssimulationen werden dann für die vier Perioden zusammengefasst. Dabei ist zu beachten, dass auch die Referenzperiode zwischen den RCPs abweicht. Dies liegt daran, dass es sich hierbei um Simulationen und nicht um effektive Messungen handelt. Dies erklärt die Unterschiede zwischen den Emissionsszenarien. Die Kalibrierung des Modells

findet hingegen mit Messdaten statt, wie oben beschrieben. In dieser räumlich-gegitterten Version entspricht dann jeder Pixel dem Abfluss, der auf dieser Fläche generiert wird.

Tabelle 1: Die 39 verwendeten Modellketten basierend auf den CH2018 Klimaszenarien (CH2018, 2018). Die Kombination aus TEAM (verantwortliches Institut), RCM (Regionales Klimamodell), GCM (Globales Zirkulationsmodell), RES (räumliche Auflösung) und RCP ("Representative Concentration Pathway" = Emissionsszenario) ergibt den Namen der jeweiligen Modellkette.

TEAM	RCM	GCM	RES	RCP	TEAM	RCM	GCM	RES	RCP
DMI	HIRHAM	ECEARTH	EUR11	RCP2.6	CLMCOM	CCLM4	HADGEM	EUR44	RCP8.5
KNMI	RACMO	HADGEM	EUR44	RCP2.6	CLMCOM	CCLM5	ECEARTH	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	ECEARTH	EUR11	RCP2.6	CLMCOM	CCLM5	HADGEM	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	ECEARTH	EUR44	RCP2.6	CLMCOM	CCLM5	MIROC	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	HADGEM	EUR44	RCP2.6	CLMCOM	CCLM5	MPIESM	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	MIROC	EUR44	RCP2.6	DMI	HIRHAM	ECEARTH	EUR11	RCP8.5
SMHI	RCA	MPIESM	EUR44	RCP2.6	DMI	HIRHAM	ECEARTH	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	NORESM	EUR44	RCP2.6	KNMI	RACMO	ECEARTH	EUR44	RCP8.5
DMI	HIRHAM	ECEARTH	EUR11	RCP4.5	KNMI	RACMO	HADGEM	EUR44	RCP8.5
DMI	HIRHAM	ECEARTH	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	CCCMA	EUR44	RCP8.5
KNMI	RACMO	ECEARTH	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	ECEARTH	EUR11	RCP8.5
KNMI	RACMO	HADGEM	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	ECEARTH	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	CCCMA	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	HADGEM	EUR11	RCP8.5
SMHI	RCA	ECEARTH	EUR11	RCP4.5	SMHI	RCA	HADGEM	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	ECEARTH	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	MIROC	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	HADGEM	EUR11	RCP4.5	SMHI	RCA	MPIESM	EUR11	RCP8.5
SMHI	RCA	HADGEM	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	MPIESM	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	MIROC	EUR44	RCP4.5	SMHI	RCA	NORESM	EUR44	RCP8.5
SMHI	RCA	MPIESM	EUR11	RCP4.5					
SMHI	RCA	MPIESM	EUR44	RCP4.5					
SMHI	RCA	NORESM	EUR44	RCP4.5					

Weiterverarbeitung

Die hier zur Verfügung gestellten Daten wurden anschliessend weiter aufgewertet. Das separat simulierte Poschiavo wurde hinzugefügt, der Raster auf 500x500 gerechnet und an den Rändern mit Daten von früheren Studien ergänzt. Immer noch fehlende Rasterquadrate am Rand wurden anschliessend mit einer Natural Neighbour Funktion interpoliert. Schlussendlich wurde die Karten auf das BAFU Referenzraster, ohne Seen, zugeschnitten. Für jedes Emissionsszenario gibt es also für jede der Perioden je eine Datei mit monatlichen Maxima, Minima sowie Mittelwerten und jährlichen Summen. Das Dateiformat ist ASCII.

Limitationen und Bemerkungen zur Verwendung

Wie bei allen Klimastudien gibt es auch hier erhebliche Unsicherheiten. Diese stammen von der gesamten Modell-Kaskade, vom Emissionsszenario zum globalen Klimamodell, zum regionalen Klimamodell, zu den CH2018 Szenario, bei den Gletscherprojektionen und auch im hydrologischen Modell. Deshalb ist es wichtig, mindestens die Spannweite der Werte anzugeben. Ausserdem empfiehlt es sich in den meisten Fällen die relative Veränderung anzuschauen, also die Veränderung zwischen der Referenzperiode und der Periode in der Zukunft.

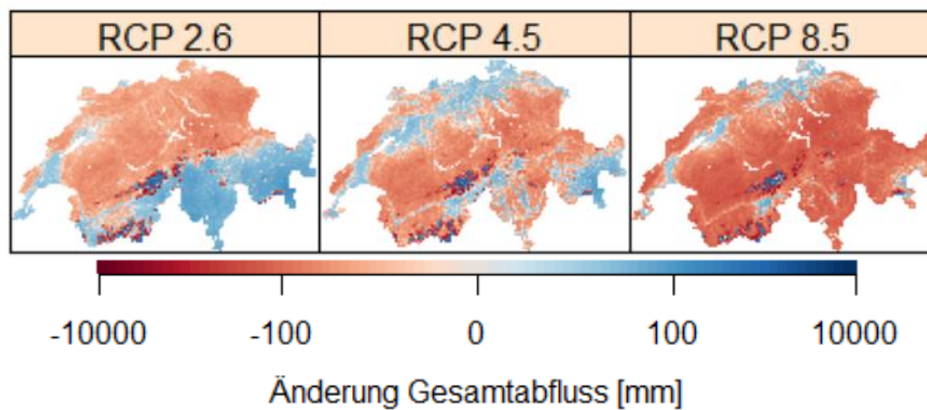


Abbildung 1: Grafische Darstellung der simulierten Änderung der jährlichen Abflusssumme [mm] am Ende des Jahrhunderts im Vergleich zur Referenzperiode für die drei Emissionszenarien. Die Farbschattierung ist logarithmisch um auch kleinere Veränderungen sichtbar zu machen.

Struktur der Daten

- Format: ASCII Grid, 500x500, CH1903_LV95
- 3 Klimaszenarien – 4 Perioden – monatliche Mittelwerte, Minima, Maxima, mittlere Jahressumme
- Kontrolllauf – monatliche Mittelwerte, Minima, Maxima, mittlere Jahressumme

Referenzen

- Bernhard, L., Zappa, M., 2012. Schlussbericht CCHydrologie: Teilprojekt WHH- CH-Hydro: Natürlicher Wasserhaushalt der Schweiz und ihrer bedeutendsten Grosseinzugsgebiete. Birmensdorf.
- Brunner, M.I., Björnsen Gurung, A., Zappa, M., Zekollari, H., Farinotti, D., Stähli, M., 2019. Present and future water scarcity in Switzerland: Potential for alleviation through reservoirs and lakes. *Sci. Total Environ.* 666, 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.169>
- CH2018, 2018. CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report. National Centre for Climate Services, Zurich.
- Huss, M., Hock, R., 2015. A new model for global glacier change and sea-level rise. *Front. Earth Sci.* 3, 22. <https://doi.org/10.3389/feart.2015.00054>
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland.
- Jörg-Hess, S., Fundel, F., Jonas, T., Zappa, M., 2014. Homogenisation of a gridded snow water equivalent climatology for Alpine terrain: methodology and applications. *Cryosph.* 8, 471–485. <https://doi.org/10.5194/tc-8-471-2014>
- Köplin, N., Viviroli, D., Schädler, B., Weingartner, R., 2010. How does climate change affect mesoscale catchments in Switzerland? – a framework for a comprehensive assessment. *Adv. Geosci.* 27, 111–119. <https://doi.org/10.5194/adgeo-27-111-2010>
- Michel, A., Brauchli, T., Lehning, M., Schaefli, B., Huwald, H., 2020. Stream temperature and discharge evolution in Switzerland over the last 50 years: annual and seasonal

behaviour. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 24, 115–142. <https://doi.org/10.5194/hess-24-115-2020>

RGI Consortium, 2017. Randolph Glacier Inventory –A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0: Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space. Colorado, USA. <https://doi.org/https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60>

Speich, M.J.R., Bernhard, L., Teuling, A.J., Zappa, M., 2015. Application of bivariate mapping for hydrological classification and analysis of temporal change and scale effects in Switzerland. *J. Hydrol.* 523, 804–821. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.086>

Viviroli, D., Mittelbach, H., Gurtz, J., Weingartner, R., 2009a. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part II: Parameter regionalisation and flood estimation results. *J. Hydrol.* 377, 208–225. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.022>

Viviroli, D., Zappa, M., Schwanbeck, J., Gurtz, J., Weingartner, R., 2009b. Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part I: Modelling framework and calibration results. *J. Hydrol.* 377, 191–207. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.023>

Zekollari, H., Huss, M., Farinotti, D., 2019. Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Cryosph.* 13, 1125–1146. <https://doi.org/10.5194/tc-13-1125-2019>