

Abflüsse mesoskaliger Einzugsgebiete

Zusammenfassung

Die Karte zeigt die Veränderungen der mittleren monatlichen, saisonalen und jährlichen Abflüsse sowie der Niedrigwasserkenngrossen $NM7Q$ und Q_{347} unter dem Einfluss des Klimawandels für die drei Emissionsszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5. Die Projektionen basieren auf dem Hydro-CH2018-Abfluss-Ensemble und veranschaulichen die Veränderungen in drei zukünftigen Zeitperioden: 2035 (2020–2049), 2060 (2045–2074) und 2085 (2070–2099). Für die Kenngrösse Q_{347} werden die Werte nach Konvention [1] auf der Grundlage von 10-Jahresperioden in der Mitte der jeweiligen Zeitperiode angegeben. Dargestellt sind in dieser Karte mesoskalige Einzugsgebiete. Abflüsse grosser Einzugsgebiete finden sich in der Karte L02. Stark vergletscherte alpine Einzugsgebiete werden in Karte L03 behandelt. Es ist zu beachten, dass sich die Methodik zur Herleitung der drei Karten jeweils unterscheidet.

Autorinnen und Autoren: Regula Mülchi¹, Ole Rössler², Jan Schwanbeck¹, Rolf Weingartner¹, Olivia Martius¹

¹ Universität Bern, Geographisches Institut und Oeschger Centre for Climate Change Research, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

² Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, D-56068 Koblenz

1 Einleitung

Projektionen der Abflüsse in Fließgewässern bilden eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der hydrologischen Auswirkungen der Klimaänderung und die darauf basierende Planung und Umsetzung von Anpassungsmassnahmen in verschiedenen Bereichen wie Landwirtschaft, Industrie, Tourismus, Ökologie usw. Sie verdeutlichen auch den erheblichen Nutzen von Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen. Die vorliegende Karte basiert auf dem Hydro-CH2018-Abfluss-Ensemble [2], das im Rahmen des Hydro-CH2018-Projekts erstellt und vom Bundesamt für Umwelt finanziert wurde. Die Karte zeigt die projizierten Veränderungen des Abflussregimes in 91 mesoskaligen Einzugsgebieten mit Flächen zwischen 14 und 1700 km². Die Einzugsgebiete umfassen die verschiedenen Abflussregimetyperen von glazial über nival bis pluvial [3]. Die Karte zeigt die Veränderungen der monatlichen, saisonalen und jährlichen Mittelwerte sowie der Niedrigwasserkenngrossen $NM7Q$ dreier 30-Jahresperioden für drei verschiedene Emissionsszenarien, eines mit niedrigen (RCP2.6), eines mit mittleren (RCP4.5) und eines mit hohen Treibhausgasemissionen (RCP8.5). Die Kenngrösse Q_{347} ist analog aufbereitet, die Werte beziehen sich aber nach Konvention auf 10-Jahresperioden [1].

2 Daten und Methoden

Das Hydro-CH2018-Abfluss-Ensemble umfasst für die drei Emissionsszenarien modellierte tägliche Abflusswerte für den Zeitraum 1981–2099. Das Ensemble wurde mit dem hydrologischen Modellsystem PREVAH [4] simuliert. PREVAH wurde für hydrologische Modellierungen in komplexem Gelände entwickelt und enthält verschiedene Teilmodelle, welche Prozesse wie die Veränderungen der Bodenfeuchte, die Schneeschmelze und die Gletscherschmelze miteinbeziehen. Die Schätzung der potentiellen Evapotranspiration beruht auf der temperaturbasierten Formel von Hamon [5]. Diese wurde aufgrund ihrer Einfachheit gewählt, da sie lediglich die Temperatur als meteorolo-

gische Eingangsvariable voraussetzt. PREVAH wurde für jedes Einzugsgebiet erfolgreich kalibriert und validiert. Dazu wurde es mit gemessenen meteorologischen Eingangswerten angetrieben; die simulierten Abflüsse wurden anschliessend anhand gemessener Abflusswerte beurteilt. Für die Kalibrierung wurden einerseits die gerasterten Datensätze der täglichen Niederschlagswerte [6] und Temperaturwerte [7] als meteorologischer Input und andererseits tägliche Abflusswerte (Bundesamt für Umwelt BAFU [8]) verwendet. Die Kalibrierung erfolgte mit dem PEST-Algorithmus [9]. Dazu wurden die geraden Jahre im Zeitraum 1985–2014 beigezogen. Die anschliessende Validierung erfolgte auf den ungeraden Jahren im selben Zeitraum. Die Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse sind insgesamt zufriedenstellend: Die mittlere Nash-Sutcliffe-Effizienz aller Einzugsgebiete beträgt in der Kalibrierungs- und Validierungsperiode jeweils 0.82 und die mittlere Kling-Gupta-Effizienz 0.89. Die saisonalen Abflussveränderungen innerhalb des Kalibrierungs- und Validierungszeitraums stimmen ebenfalls gut mit den Messwerten überein.

Um den Abfluss für den Zeitraum 1981–2099 zu simulieren, wurden die neuen Schweizer Klimaszenarien CH2018 als meteorologischer Input verwendet. CH2018 liefert gerasterte tägliche Niederschlags- und Temperaturdaten von 1981 bis 2099 in einer Auflösung von 2 km · 2 km. Die verwendeten Klimamodellketten, ihre Auflösung und die entsprechenden Emissionsszenarien sind in Tabelle 1 aufgeführt (vgl. Karten K01 und K02). Da das Hydro-CH2018-Abfluss-Ensemble nur auf Temperatur und Niederschlag beruht, ist die Anzahl der verfügbaren Modelle pro Emissionsszenario etwas grösser als bei Karte L02. Weitere Informationen über CH2018, die dazugehörigen Modellketten und die zugrundeliegenden Annahmen finden sich im Begleittext zur Karte K01. Für die Simulationen wurde die Landnutzung über das 21. Jahrhundert in unvergletscherten Einzugsgebieten konstant gehalten. In vergletscherten Einzugsgebieten wurden die Gletscherflächen alle fünf Jahre gemäss den Gletscherprojektionen von Zekollari et al. ([10]; dargestellt in

GCM	init	RCM	RCP8.5		RCP4.5		RCP2.6	
			0.11°	0.44°	0.11°	0.44°	0.11°	0.44°
ICHEC-EC-EARTH	r1i1p1	KNMI-RACMO22E		☑		☑		
		r3i1p1	DMI-HIRHAM5	☑		☑		☑
		r12i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	☑		☑		
			CLMcom-CCLM5-0-6		☑			
			SMHI-RCA4	☑		☑		☑
MOHC-HadGEM2-ES	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	☑		☑			
		CLMcom-CCLM5-0-6		☑				
		ICTP-RegCM4-3						
		KNMI-RACMO22E		☑		☑		☑
		SMHI-RCA4	☑		☑		☑	
MPI-M-MPI-ESM-LR	r1i1p1	CLMcom-CCLM4-8-17	☑		☑			
		CLMcom-CCLM5-0-6		☑				
		MPI-CSC-REM02009						
		SMHI-RCA4	☑		☑		☑	
	r2i1p1	MPI-CSC-REM02009	☑		☑		☑	
MIROC-MIROC5	r1i1p1	CLMcom-CCLM5-0-6		☑				
		SMHI-RCA4		☑		☑	☑	
CCCma-CanESM2	r1i1p1	SMHI-RCA4		☑		☑		
CSIRO-QCCCE-CSIRO-Mk3-6-0	r1i1p1	SMHI-RCA4		☑		☑		
IPSL-IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	SMHI-RCA4	☑		☑			
NCC-NorESM1-M	r1i1p1	SMHI-RCA4		☑		☑	☑	
NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M	r1i1p1	SMHI-RCA4		☑		☑		

Tabelle 1. Das Modellensemble der Klimaszenarien CH2018 resultiert aus verschiedenen Modellketten (Simulationen). Diese stellen eine Abfolge von globalen (GCM) und regionalen Klimamodellen (RCM) dar und werden teilweise auf Grundlage unterschiedlicher Ausgangsbedingungen (init) initiiert. Der Begleittext zur Karte K01 oder K02 gibt einen Überblick über alle in CH2018 verfügbaren Modellläufe. In der rechten Hälfte der Tabelle sind die in der vorliegenden Studie zur Berechnung der Ensemble-Statistik (Median, Minimum, Maximum) berücksichtigten Modellläufe – aufgeteilt nach Emissionsszenarien (RCP) und deren räumlicher Auflösung (0.11° oder 0.44°) – gekennzeichnet (☑). Der Vergleich dieser Tabelle mit derselben aus anderen Karten (K01/K02 und L02 bis L04) zeigt die Unterschiede in den berücksichtigten Modellläufen auf. Tabelle auf Grundlage von [11] umgesetzt.

Karte L04) angepasst, um so den Rückgang der Gletscher zu berücksichtigen. Weitere Informationen zu den Methoden und der Modellevaluation finden sich in Muelchi et al. [2]. Als Niedrigwasserindikatoren werden der 30-Jahres-Mittelwert der kleinsten, über 7 aufeinanderfolgende Tage gemittelten Abflüsse (NM7Q) innerhalb eines Jahres oder einer Saison dargestellt. Für die Kenngrösse Q₃₄₇ wird das 5%-Perzentil der mittleren täglichen Abflüsse über 10 Jahre verwendet.

3 Resultate

Die durch den Klimawandel bedingten Veränderungen der mittleren monatlichen Abflüsse zeigen je nach Abflussregimetyp unterschiedliche Muster. Die folgenden ausgewählten Einzugsgebiete geben einen repräsentativen Überblick über die Veränderungen der Regimes in der Schweiz bis 2085 unter RCP8.5 und RCP2.6 (Abbildung 1): Rosegbach–Pontresina (glazial, 22% vergletschert), Kander–Hondrich (glazionival, 5% vergletschert), Plessur–Chur (nival), Emme–Emmenmatt (pluvio-nival), Venoge–Ecublens (pluvial) und Verzasca–Lavertezzo (pluvial, südalpin).

Generell steigt der Winterabfluss wegen der zunehmenden Winterniederschläge und des erhöhten Anteils des flüssigen Niederschlags am Gesamtniederschlag. Im Gegensatz dazu sinkt der Sommerabfluss, und zwar einerseits wegen der durch höhere Temperaturen verursachte Zunahme der Evapotranspiration und andererseits durch die Abnahme des Sommerniederschlags. In vergletscherten Einzugsgebieten wird der Rückgang des Sommerabflusses wegen der fehlenden Gletscherschmelze bei abnehmenden Gletschervolumen langfristig verstärkt. Unter RCP8.5 und bis Ende des Jahrhunderts verändert sich das Abflussregime des stark vergletscherten Einzugsgebiets des Rosegbachs von einem typischen glazialen zu einem eher nivalen Regime, mit

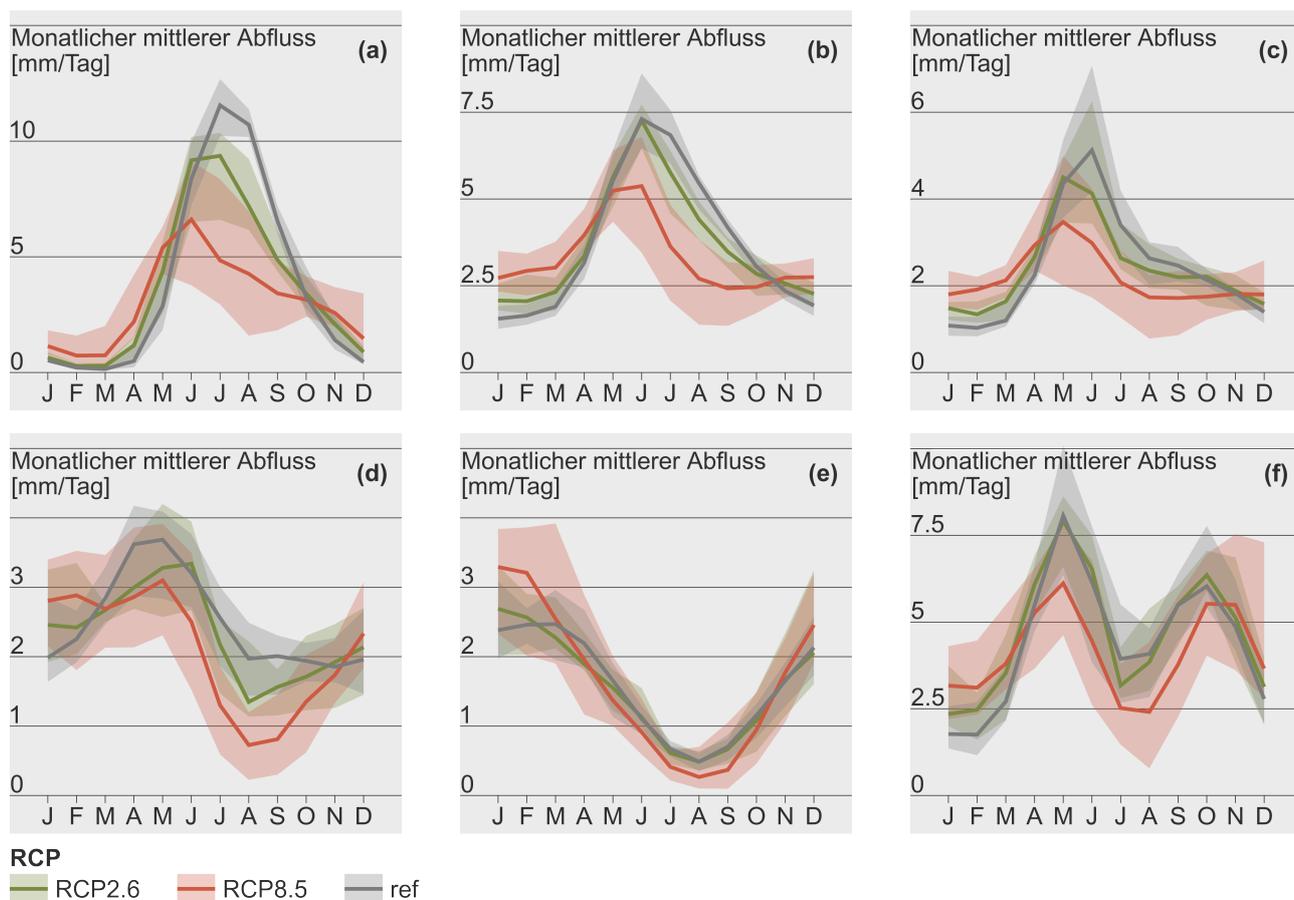


Abbildung 1. Die Abflussregimes von Rosegbach (a), Kander (b), Plessur (c), Emme (d), Venoge (e) und Verzasca (f). Die dick ausgezogenen Linien zeigen den Median aller Modelle für die Referenzperiode (grau), für 2085 unter RCP2.6 (grün) und für 2085 unter RCP8.5 (rot). Der schattierte Bereich zeigt die gesamte Bandbreite aller Modelle [12].

den grössten Monatsabflüssen im späten Frühjahr bzw. Frühsommer statt im Spätsommer. Der mittlere Abfluss zwischen Juni und September sinkt aufgrund des Gletscherrückgangs und der geringeren Schneeschmelze drastisch, während der Winterabfluss zunimmt. Der Beitrag des Winterabflusses zum Jahresvolumen bleibt jedoch gering. Das Regime des weniger vergletscherten Einzugsgebiets der Kander zeigt ebenfalls eine Zunahme des Winterabflusses und eine starke Abnahme des Sommerabflusses sowie eine Verschiebung der grössten Monatsabflüsse vom Sommer ins späte Frühjahr bzw. in den Frühsommer. Anders als im stark vergletscherten Einzugsgebiet gewinnt der Winterabfluss hier jedoch an Bedeutung. Im nivalen Einzugsgebiet der Plessur verschiebt sich der maximale Monatsabfluss vom Juni in den Mai. Durch die Zunahme des Abflusses im Winter und die Abnahme im Sommer flacht die Regimekurve ab, d.h. die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen mittleren Monatsabfluss verringert sich unter RCP8.5. Im pluvio-nivalen Einzugsgebiet der Emme nimmt der Abfluss im Sommer und Frühherbst stark ab und die typische Spitze im Frühjahr aufgrund der Schneeschmelze verschwindet allmählich. Die pluviale Form des Abflussregimes der Venoge bleibt bestehen; allerdings erhöht sich die Amplitude des Regimes gegenüber der Referenzperiode aufgrund der höheren Winterabflüsse und der niedrigeren Sommerabflüsse. Das südalpine pluviale Einzugsgebiet der Verzasca schliesslich zeigt in der Referenzperiode ein Regime mit zwei Spitzen, eine im späten Frühjahr und eine im Herbst. Dieses Muster ist auch am Ende des Jahrhunderts noch vorhanden, aber die Ausprägung der Spitzen verringert sich.

Qualitativ gesehen entspricht die Richtung der Veränderungen (Zunahme/Abnahme) unter RCP2.6 in fast allen Monaten und Einzugsgebieten dem Signal unter RCP8.5. Allerdings sind die Abweichungen vom jeweiligen Regime der Referenzperiode 1981–2010 deutlich geringer als unter RCP8.5. Ausserdem zeigt sich, dass die Ergebnisse stark von der Höhenlage abhängen. Während die klimabedingten Veränderungen in den alpinen Einzugsgebieten in Winter, Frühling und Sommer am stärksten ausfallen, sind tiefer gelegene Einzugsgebiete stärker von Veränderungen in Spätsommer und Herbst betroffen. Diese Höhenabhängigkeit zeigt sich auch bei den Niedrigwassersituationen. Im Mittelland, im Jura und auf der Alpensüdseite werden die Abflüsse in Niedrigwassersituationen in Zukunft abnehmen. Es wird also dann weniger Wasser zur Verfügung stehen und Niedrigwassersituationen werden sich häufen. In den Alpen, wo die Abflüsse bisher im Winter am geringsten waren, steigen die Abflussmengen während Niedrigwassersituationen. Die Simulationen zeigen also je nach Lage und Eigenschaften der Einzugsgebiete unterschiedliche Auswirkungen des Klimawandels. Weitere Ergebnisse sind in Muelchi et al. [12] und Muelchi et al. [13] nachzulesen.

4 Hinweise zu Interpretation und Nutzung

Die folgenden Hinweise sollten bei der Verwendung der Ergebnisse des Hydro-CH2018-Abfluss-Ensembles berücksichtigt werden:

- Hydrologische Projektionen basieren auf einer langen Kette unterschiedlicher Modelle. Darin enthalten sind Emissionsszenarien, die daraus resultierenden Ergebnisse der Klimamodelle sowie die hydrologischen Modelle. Jedes Modell in dieser Modellkette beinhaltet Unsicherheiten. Diese Unsicherheiten werden im Hydro-CH2018-Abfluss-Ensemble zu einem gewissen Grad berücksichtigt, indem eine grosse Anzahl von Klimamodellen und drei Emissionsszenarien als Grundlage für die hydrologische Modellierung verwendet werden. Hingegen wurde nur ein einziges hydrologisches Modell eingesetzt. Die Verwendung weiterer hydrologischer Modelle könnte daher zu (leicht) anderen Resultaten führen. Ein Vergleich der Modellresultate für die wenigen Einzugsgebiete, für welche Ergebnisse aus anderen hydrologischen Modellen verfügbar waren, zeigte allerdings eine gute Übereinstimmung bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf den Abfluss [14].
- Es wird dringend empfohlen, langjährige Mittelwerte zu verwenden (z. B. 30-Jahres-Perioden) und das gesamte Modellensemble (alle Modellketten) zu berücksichtigen. Dies reduziert den Einfluss der internen Klimavariabilität und erhöht die Robustheit der Resultate. So ergibt der Median aller Modellläufe die sogenannte «beste Schätzung». Allerdings entspricht jede Projektion einer gleich wahrscheinlichen Schätzung des Abflusses. Die Verwendung des Medians als beste Schätzung und die Berücksichtigung der Werteverteilung des gesamten Ensembles liefern in der Kombination einen Hinweis auf die Robustheit der Projektion. Man beachte, dass in der Karte die «minimale Schätzung» und die «maximale Schätzung» tatsächlich dem Minimum bzw. dem Maximum aller Modelle entsprechen. Dadurch unterscheidet sich die vorliegende Karte von den Niederschlags- und Temperaturkarten K01 und K02, wo die Bandbreite mittels der 5%- und 95%-Perzentile beschrieben wird. Da bei der vorliegenden Karte für die Berechnung weniger Modelle zur Verfügung standen, lassen sich die 5%- und 95%-Perzentile hier nicht sinnvoll bestimmen.
- Zu beachten ist ferner, dass für die verschiedenen Emissionsszenarien unterschiedlich viele Klimamodellketten zur Verfügung standen (Tabelle 1): Für RCP2.6 waren es acht, für RCP4.5 sechzehn und für RCP8.5 zwanzig Modellketten. Diese Unterschiede in der Ensemblegrösse können bestimmte Analysen beeinflussen (z. B. die Ensemblestatistik).

5 Anwendungsbeispiel

Die Karte L01 zeigt alle 91 Stationen, für die Abflusssimulationen verfügbar sind. Nach einem Klick auf eine der Stationen führt der Link «Abflussszenarien» über Reiter zur Darstellung von vier Parametern, welche die berechnete künftige Entwicklung des Abflusses veranschaulichen, sowie zu einer Zusammenstellung der Grundlagendaten.

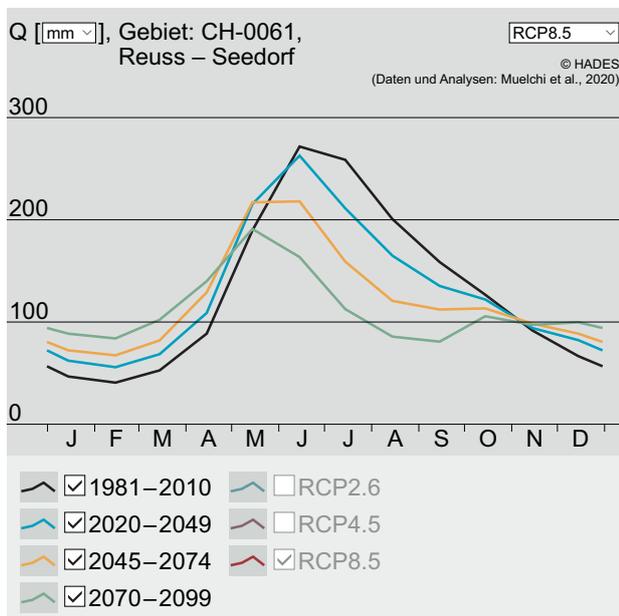


Abbildung 2. Reuss–Seedorf: Veränderung des Abflussregimes bis Ende des 21. Jahrhunderts

Der erste Reiter «Abflussregime» zeigt die monatlichen mittleren Abflüsse. Es besteht die Möglichkeit, die Regimes verschiedener Perioden und Emissionsszenarien zu vergleichen. Um die Übersicht zu verbessern, können dazu mittels der Kontrollkästchen in der Legende einzelne Kurven oder das Vertrauensintervall ein- oder ausgeblendet werden. Weiter ist es möglich, die Einheit der y-Achse von absoluten [mm] auf relative Werte [%] umzustellen. Letztere beziehen sich auf die modellierte Referenzperiode. In der Mitte oberhalb der Grafik kann schliesslich das gewünschte Emissionsszenario bzw. die Zeitperiode gewählt werden. **Abbildung 2** zeigt die Entwicklung der mittleren monatlichen Abflüsse für die verschiedenen Perioden am Beispiel der Reuss bei Seedorf unter dem Emissionsszenario RCP8.5: Während in den Sommermonaten mit einer Abnahme des Abflusses zu rechnen ist, nimmt er in den Wintermonaten zu.

Im zweiten Reiter «Mittlere Abflüsse» kann die zeitliche Entwicklung der mittleren Abflüsse einzelner Monate, Jahreszeiten oder Jahre für die drei Emissionsszenarien verglichen werden. **Abbildung 4** zeigt, dass der mittlere Jahresabfluss bei der Reuss abnimmt. Dies weist darauf hin, dass die Abnahme der Sommerabflüsse grösser ausfällt als die Zunahme der Winterabflüsse.

In den Reitern drei und vier wird – in analoger Weise zum Reiter zwei – die künftige Entwicklung der Niedrigwasserkennwerte NM7Q bzw. Q₃₄₇ dargestellt.

Im fünften Reiter «Grundlagendaten» werden die Niederschlags-, Temperatur- und Gletscherszenarien, welche zur Abflussmodellierung berücksichtigt wurden, für das angezeigte Einzugsgebiet zusammengefasst. Diese Informationen können zur weiteren Interpretation der Abflussszenarien beigezogen werden. Bezogen auf die Reuss deuten diese Informationen darauf hin, dass im Winter die Niederschläge zunehmen und die Temperaturen steigen (erhöhter Abfluss im Winter), während der Niederschlag im Sommer abnimmt und die vergletscherte Fläche schrumpft (verringertes Abfluss im Sommer).

Schliesslich ist es möglich, die räumlichen Muster der Abflussveränderungen von Einzugsgebieten ähnlicher Grössenordnung untereinander zu vergleichen. Dazu können in der linken Seitenleiste bei L01 «Einzugsgebiete» gewählt und mittels des Pull-down-Menüs die gewünschte Einzugsgebietsfläche definiert werden. Nun können in der rechten Seitenleiste die gewünschte Abflusskenngrösse (MQ, NM7Q, Q₃₄₇), das gewünschte Emissionsszenario, die Zeitperiode usw. gewählt werden. **Abbildung 3** zeigt die relativen Veränderungen der Frühlingsabflüsse bis Ende des 21. Jahrhunderts unter dem Emissionsszenario RCP8.5. In tiefer gelegenen Einzugsgebieten nehmen die Abflüsse ab, wohingegen höher gelegene, vergletscherte Einzugsgebiete eine Zunahme der Frühlingsabflüsse verzeichnen.

6 Versionen

Tabelle 2. Versionen

Version	Beschreibung
v1.0 (2020)	Der Datensatz und die zugrundeliegenden Methoden werden in Muelchi et al. [2] beschrieben. Die Daten sind verfügbar unter: https://doi.org/10.5281/zenodo.3937485
v2.0 (2022)	Erweiterung der Karten durch die Niedrigwasserkennwerte NM7Q und Q ₃₄₇ . Anpassung des Kartentitels.

Literatur

- [1] Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (1991). Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer, Gewässerschutzgesetz GSchG. In: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de.
- [2] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J. und Martius Rompain, O. (2021a). An ensemble of daily simulated runoff data (1981–2099) under climatechange conditions for 93 catchments in Switzerland (Hydro-CH2018-Runoff ensemble). In: *Geoscience Data Journal*. DOI: 10.1002/gdj3.117.

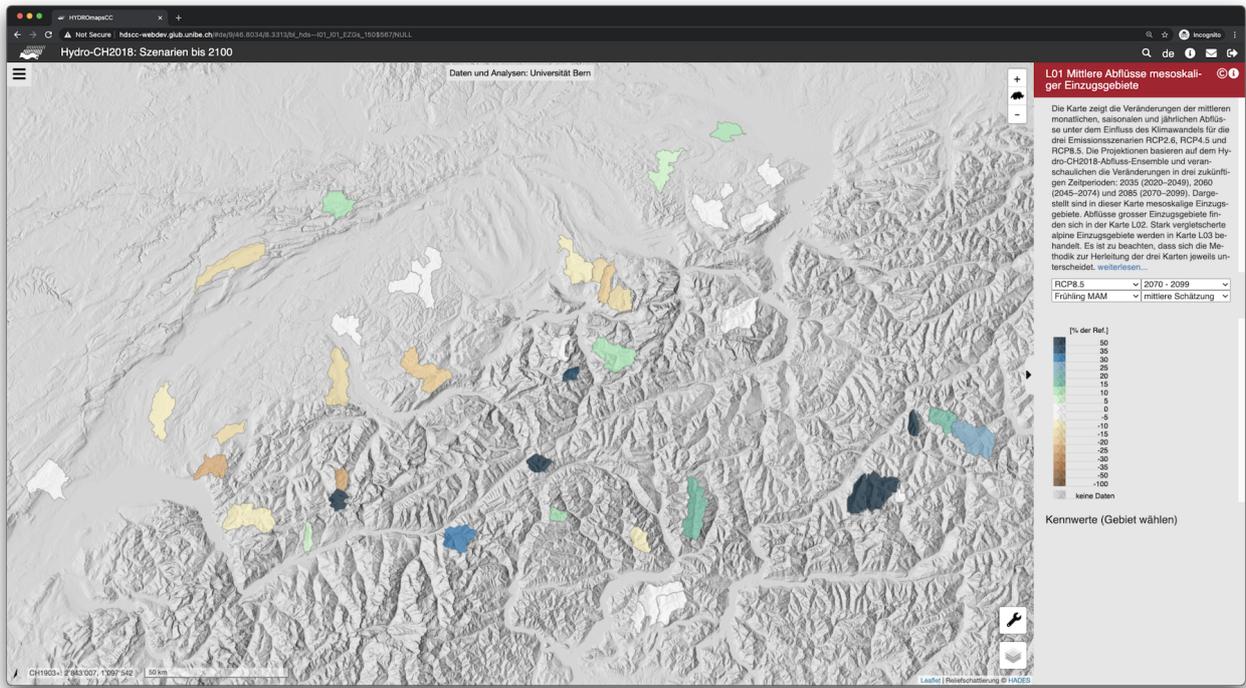


Abbildung 3. Relative Veränderungen der Frühlingsabflüsse bis Ende des 21. Jahrhunderts unter RCP8.5

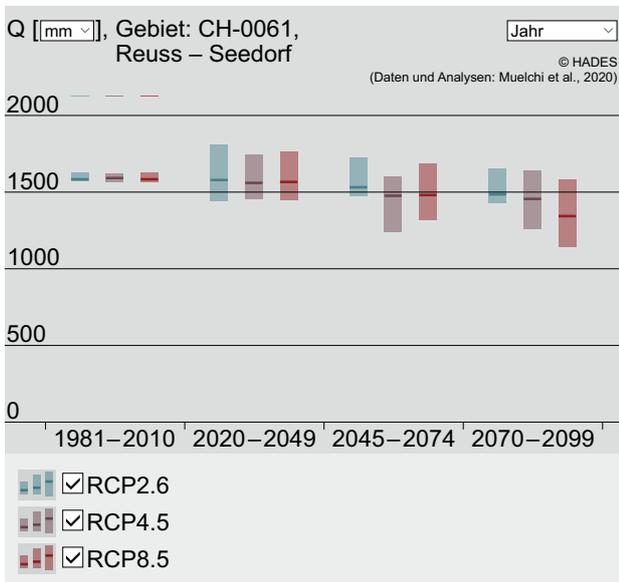


Abbildung 4. Reuss-Seedorf: Abnahme des Jahresabflusses bis Ende des 21. Jahrhunderts unter RCP2.6 (blau), RCP4.5 (violett) und RCP8.5 (rot)

- [3] Weingartner, R. und Aschwanden, H. (1992). Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz*. Hrsg. von Bundesamt für Umwelt BAFU. Bd. 1. Tafel 5.2. <https://hydrologischeratlas.ch/produkte/druckausgabe/fliessgewasser-und-seen/tafel-5-2>. Bern: Bundesamt für Landestopographie swisstopo.
- [4] Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J. und Weingartner, R. (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. In: *Environmental Modelling & Software* 24.10. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815209000875>, S. 1209–1222. ISSN: 13648152. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.04.001.
- [5] Hamon, W. (1961). Estimating Potential Evapotranspiration. In: *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 87, S. 107–120.
- [6] MeteoSwiss ed. (2019a). *Daily Precipitation (field analysis): RhiresD*. https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publicationen/produkt/raeumliche-daten-niederschlag/doc/ProdDoc_RhiresD.pdf.
- [7] MeteoSwiss ed. (2019b). *Daily Mean, Minimum and Maximum Temperature: TabsD, TminD, TmaxD*. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/content/dam/meteoswiss/de/service-und-publicationen/produkt/raeumliche->

daten-temperatur/doc/ProdDoc_TabsD.pdf.

- [8] Bundesamt für Umwelt BAFU (2021a). Datenservice Hydrologie für Fließgewässer und Seen. In: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/daten/messwerte-zum-thema-wasser-beziehen/datenservice-hydrologie-fuer-fliessgewaesser-und-seen.html>.
- [9] Dorthey, J. (2005). *PEST: Model-Independent Parameter Estimation, User Manual*. Brisbane, Australia: Watermark Numerical Computing.
- [10] Zekollari, H., Huss, M. und Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. In: *The Cryosphere* 13.4. <https://tc.copernicus.org/articles/13/1125/2019/>, S. 1125–1146. ISSN: 1994-0424. DOI: 10.5194/tc-13-1125-2019.
- [11] CH2018 (2018). *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report*. Zurich: National Centre for Climate Services.
- [12] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R. und Martius, O. (2021b). River runoff in Switzerland in a changing climate—runoff regime changes and their time of emergence. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 25.6, S. 3071–3086. DOI: 10.5194/hess-25-3071-2021.
- [13] Muelchi, R., Rössler, O., Schwanbeck, J., Weingartner, R. und Martius Rompainen, O. (2021c). River runoff in Switzerland in a changing climate – changes in moderate extremes and their seasonality. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 25.6, S. 1209–2021. DOI: 10.5194/hess-25-3577-2021.
- [14] Bundesamt für Umwelt BAFU (2021b). *Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweizer Gewässer. Hydrologie, Gewässerökologie und Wasserwirtschaft*. Umwelt-Wissen. <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/schweizer-hydroszenarien/synthesebericht.html>. Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU.