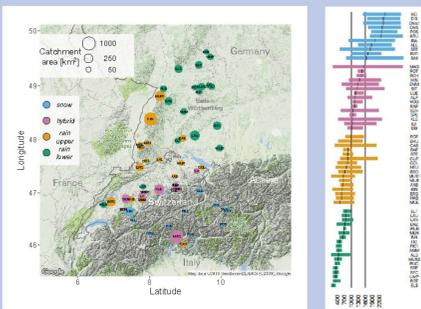


Hintergrund

Viele große Flussgebiete haben ihren Ursprung in alpinen Kopfeinzugsgebieten (Headwaters). Gerade während Trockenperioden stützen die kleineren Kopfeinzugsgebiete den Basisabfluss flussabwärts. Dies ist entscheidend für die Gewässerökologie und die Wasserverfügbarkeit der Unterlieger. Bisher wird immer noch davon ausgegangen, dass die kleinen alpinen Kopfeinzugsgebiete aufgrund ihres hohen Gefälles, den wenig entwickelten Böden und der geringen Vegetationsdichte hauptsächlich durch schnelle Abflussprozesse geprägt sind. Dies liegt u.a. daran, dass häufig die saisonale Schnee- oder Gletscherschmelze im Fokus der Untersuchung liegt.

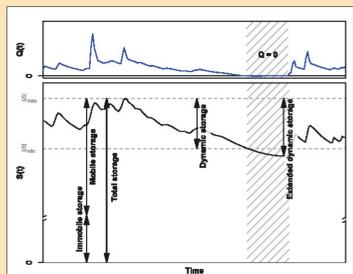
Winterliche Rezessionsverläufe (Dez-Apr) in den Abflussdaten der alpinen Kopfeinzugsgebieten zeigen jedoch, dass der Basisabfluss häufig in der Größenordnung 1 mm/d über mehrere Monate liegen kann. Die Summe des Basisabflusses während des Winters lässt vermuten, dass alpine Kopfeinzugsgebiete häufig verhältnismäßig große Gebietspeicher aufweisen und wichtig für die zukünftige Wasserverfügbarkeit sein können. Dieser Beitrag zeigt unterschiedliche methodische Ansätze aus verschiedenen Studien, welche es zum Ziel hatten die Gebietspeicher in alpinen Kopfeinzugsgebieten zu quantifizieren.

Untersuchungsgebiete



In den vorgestellten Studien wurden bis zu 60 Einzugsgebiete (häufig 50-250km², generell < 1000 km²) und deren Abflusshöhen (Tageswerte, Zeitraum 1970er - 2010er) ausgewertet. Die Klassifikation der Gebiete in dominierende Abflussprozesse erfolgte entlang der mittleren und maximalen Einzugsgebiethöhe (Abb. rechts, mit Schwellenwerten in Metern über NN).

Speicher-Konzepte



Storage term	Description	Estimation method	Method in this paper
Dynamic storage	Storage that controls streamflow dynamics. In case of zero streamflow, there is also zero dynamic storage.	Streamflow data (recursive)	SD method HBV method TRAPTOP method
Extended dynamic storage	Similar to dynamic storage, but including all catchment flows (streamflow and groundwater) leaving a catchment, irrespective from where all flows leaving a catchment occur.	Runoff modeling	HBV method WB method
Total storage	Comprises all water that is stored in the catchment and includes mobile and immobile water storage.	Theoretically from aquifer, groundwater level and soil moisture information	
Mobile storage	The mobile part of the total storage is the storage that participates in the catchment water fluxes and is connected to streamflow, but with large differences in water age.	Tracer methods	TRAPTOP method
Immobile storage	The immobile part of the total storage is the storage that does not participate in the catchment water fluxes.	Difference between total storage and mobile storage	

Staudinger et al. 2017, Hyd. Proc.

Zusammenfassung

Neben isopten-basierten Ansätzen und Messungen während Feldkampagnen bieten hydrometrische Methoden zahlreiche Möglichkeiten (u.a. durch einfache Datenanalyse oder mit Hilfe von konzeptionellen N-A-Modellen), um Gebietspeicher in (alpinen) Gebieten zu charakterisieren und zu quantifizieren. Für alpine Kopfeinzugsgebiete in der Schweiz wurden abfluss-maßgebliche Gebietspeicher in der Größenordnung 200-300 mm/a identifiziert.

1 | Box-Modelle wie HBV in Kombination mit Speicher-Konzepten können helfen Abflussbeiträge verschiedener Gebietspeicher (z. B. Grundwasser, Boden, Schnee) gegenüberzustellen und zu quantifizieren.

2 | Das bisherige Quickflow/ Baseflow-Konzept ist in alpinen Gebieten ungenügend und sollte durch detaillierter Indices ersetzt werden. Häufig werden sonst Grundwasser- und Schneeschmelzebeiträge vermischt und gegen Niederschlagsereignisse (Quickflow) abgetrennt.

3 | Winterliche Rezessionen in alpinen Gebieten sind häufig über mehrer Monate ausgeprägt. Analysen dieser Abflussrezessionen sind hilfreich, um den grundwasserbürtigen Abflussanteil in alpinen Gebieten zu quantifizieren.

4 | Temperaturdaten ermöglichen die Identifizierung eines "frozen states" des Einzugsgebiets. Dann wird der Abfluss vornehmlich aus dem Grundwasser gespeist. Dieser Ansatz kann die Analyse winterlicher Rezessionen noch verfeinern.

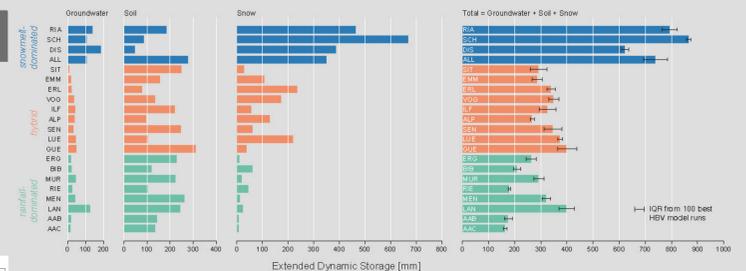
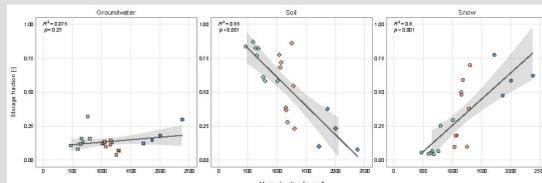
5 | Die Rezessionsdynamik ist bekannt, aber die Speicher- ausgangslage der Rezessionen nicht (Memory). Mit virtuellen Rezessionen können Gebiete über bisherige Niedrigwasserabflüsse hinweg weiter bis zum Null-Abfluss auslaufen.

? | Welche weiteren Methoden lassen sich nutzen oder entwickeln, um Gebietspeicher zu quantifizieren oder zu charakterisieren?

Methoden zur Bestimmung von Gebietspeichern in alpinen Gebieten

1 | Attribution von Speicherräumen

Mit HBV light wurden 21 Einzugsgebiete für den Zeitraum 1992-2013 mit GAP-Optimierung kalibriert und je 100 beste Läufe extrahiert. Für jeden Lauf ergeben sich in den HBV-Boxen maximale Speicherfüllungen für Grundwasser (GW), Boden (Soil) und Schnee (Snow). Schneespeicher wurde dabei mit einem Grad-Tag-Verfahren berechnet. Der Mittelwert der Abschätzungen aus den Läufen repräsentiert den „Extended Dynamic Storage“.

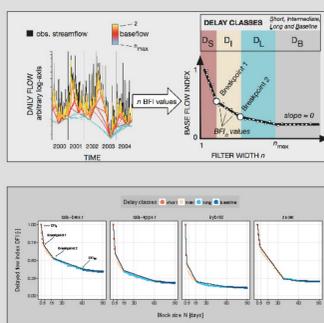


Rainfall-dominated (bis 800 m asl) Hybrid (800-1600m asl) Snowmelt-dominated (über 1600 m asl)

Tiefer liegende Einzugsgebiete haben größeren Anteil Bodenspeicher, höher liegende Gebiete größeren Anteil Schneespeicher. Gebiete in der Klasse "snowmelt-dominated" haben überdurchschnittlich große Grundwasser-Speicher (100-200mm). Der relative Anteil des Grundwasserspeichers zum Gesamtspeicher sinkt nicht mit zunehmender Einzugsgebiethöhe, sondern steigt sogar leicht an (Abb. links). Die Speicherabschätzungen sind auch innerhalb der 100 Modellläufe relativ stabil, auch wenn verschiedene Parameterisierungen innerhalb des HBV-Modells verwendet werden.

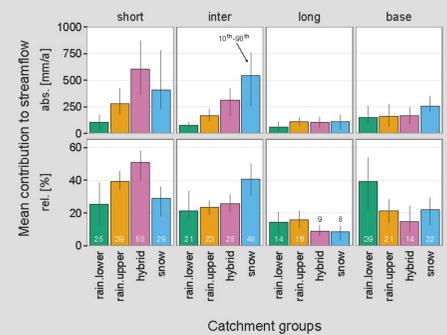
Staudinger et al. 2017, Hyd. Proc.

2 | Delayed Flow ersetzt Quick- und Baseflow-Abtrennung



Graphische Methoden zur Abtrennung des Basisabflusses werden häufig verwendet, vor allem wenn nur Abflussdaten verfügbar sind. Die UK-IH-Methode unterteilt die Abflussreihe in 5-Tages-Blöcke. Basisabfluss des Blocks ist der Minimumabfluss, wenn 90% dieses Abflusses kleiner als die Minimumabflüsse der benachbarten Blöcke sind. Vollständige Basisabflusszeitreihe wird durch lineare Interpolation zwischen den gemessenen Minima abgeleitet, dabei darf der Basisabfluss den gemessenen Abfluss nicht übersteigen. Der Quotient der Summen aus Basisabfluss und Abfluss ist der BFI (Baseflow Index).

Der Delayed Flow Index (DFI) berechnet diesen Quotienten neu für alle Blockgrößen zwischen 1 und 90 Tagen. Hierdurch entstehen spezifische Delay Curves (Abb. links), welche durch Bruchpunkt-Analyse in 4 lineare Segmente geteilt werden können. Nun lassen sich absolute (mit MQ des Gebiets) und relative Abflussbeiträge in "short", "intermediate", "long" und "baseline" (Kurve zeigt slope=0 nach 60 Tagen) berechnen (Abb. rechts).

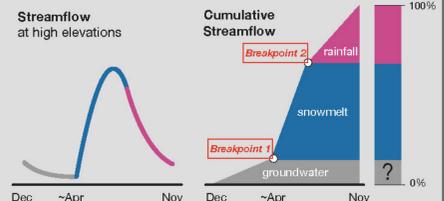


Catchment groups

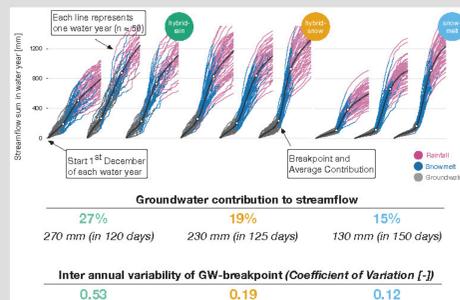
3 | Bruchstellen im kumulierten Abflussregime

Alpine Kopfeinzugsgebiete mit keiner oder wenig Vergletscherung lassen sich in der Schweiz in drei typische Saisonalitäten einteilen. Winterliche Rezessionen (Dez-Apr), Schneeschmelze (Apr-Sommer) und eine Übergangssaison geprägt durch jährlich variablen Niederschlagsinput (Sommer bis Nov/Dez). Insbesondere für hoch-alpine, sogenannte "snow-dominated" Einzugsgebiete ergeben sich in der kumulativen Darstellung der jährlichen Abflusssummen (Dez-Nov) eindeutige Bruchstellen, welche die Saisons gegeneinander abtrennen lassen.

Catchments	Mean Daily Streamflow (mm/d)	Area (km ²)	Mean Elevation (m asl)	Slope [%]
Glacier < 4%	3.40	45	2377	26
Dischma	2.49	25	2372	31
Ova Da Cluoza	1.62	55	2326	24
Allenbach	3.64	30	1863	24
Simme	3.01	345	1641	22
Grande Eau	3.21	130	1562	24
Emme	3.07	125	1281	18
Sitter	2.16	75	1257	21
Sense	3.40	350	1072	14

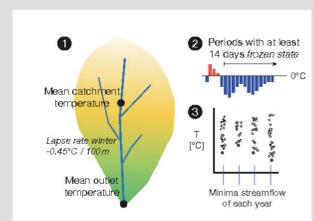


Hybride Einzugsgebiete (hybrid-rain und hybrid-snow) sind durch höhere Variabilität in den kumulierten Abflusssummen von Jahr zu Jahr gekennzeichnet, hier wird mit zunehmender Einzugsgebiethöhe eine schärfere Abgrenzung der Saisons durch Bruchpunktanalyse möglich. Alpine Gebiete (snowmelt) zeigen für die grundwasser-dominierte Saison relativ konstante Abflussumulierungen bis zum Einsetzen der Schneeschmelze (vgl. Coef. of Var.). Dies ist ein Hinweis darauf, dass in dieser Saison vornehmlich grundwasserbürtiger Abfluss auftritt (Abb. unten).

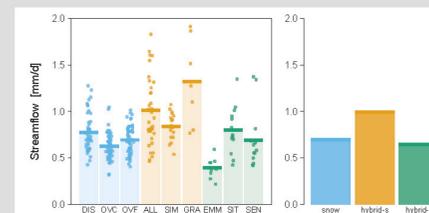


4 | Das „eingefrorene“ Einzugsgebiet

Liegt die Temperatur in einem Einzugsgebiet unter dem Gefrierpunkt, kommen viele Wasserflüsse zum Erliegen. Niederschlag fällt dann als Schnee und es sind geringe Grundwasserneubildung zu erwarten. Die Gewässer alpiner Gebiete fallen aber während dieses "frozen states" häufig nicht trocken. Auf Basis der Temperatur auf mittlerer Gebietshöhe (1) werden Zeitabschnitte identifiziert (2), während auch für den Pegel von einem "frozen state" ausgegangen werden kann. Die Minimumabflüsse (3) dieser Perioden aus allen Jahren werden gemittelt und als Abschätzung für den Basisabfluss herangezogen.



In als "snow-dominated" klassifizierten Gebieten (blau) treten auch am Ende des Winters noch Basisabflüsse von 0.5 bis zu 1.0 mm/d auf. Da gegen Ende des Winters die Gebietspeicher generell eher geleert sind, können diese Werte als untere Grenze des Basisabflusses interpretiert werden.

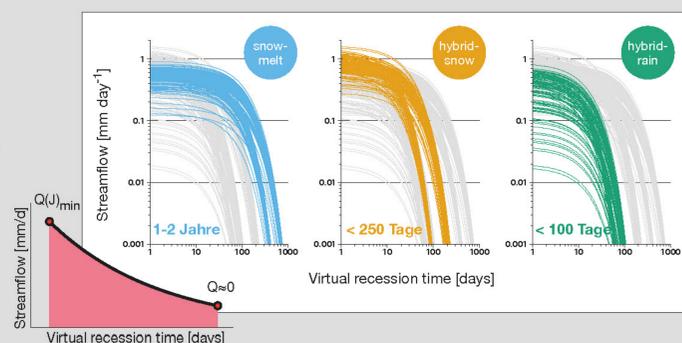


5 | Virtuelle Rezession: Wann sind die Speicher leer?

Üblicherweise beobachten wir unvollständige Abflussrezessionen bei unvollständigem Füllstand der Gebietspeicher.

In diesem Experiment laufen virtuelle Rezessionen jeweils beginnend beim jährlichen Minimumabfluss ab (Q(J)min), bis kein Abfluss (< 0.001 mm/d) mehr auftritt. Grundlage ist ein Einzellinearspeicher, dessen Speicherkonstante auf Basis gebietspezifischer Master Recession Curves (MRCs) abgeleitet wurde.

Rezessionsanalysemethode: "Correlation Method Q_t - Q_{t-1", Zeitraum: Dez-Mär, mind. 7-tägige Rezessionen unter Q_{T0}.}



Weiterlesen!

- Staudinger, M. et al. (2017): Catchment water storage variation with elevation. Hydrological Processes. 2017. <https://doi.org/10.1002/hyp.11158>
- Stölzle, M. et al. (2015): Improved baseflow characterization in mountainous catchments, EGU General Assembly Conference Abstracts, 17, 10281 (Poster-Download: https://www.researchgate.net/profile/Michael_Stoelzle)
- McNamara, J.P. et al. (2011): Storage as a metric of catchment composition. Hydrological Processes, 25(21), 3364-3371.
- Jasechko, S. et al. (2016): Substantial proportion of global streamflow less than three months old. Nature Geoscience, 9(2), 126-129.