

Ökologische Verantwortung

Für eine ganzheitliche Betrachtung des Wasserdargebots einer Region müssen neben den Ansprüchen von Wirtschaft und Gesellschaft auch diejenigen der Umwelt berücksichtigt werden. Diese umfassen den Zustand der Ökosysteme sowie Wasserqualität und -menge von Grundwasser und Oberflächengewässern (Abb. 7).

In der Region Crans-Montana-Sierre fliesst das **Grundwasser** vorwiegend durch Hohlräume im Kalkgestein und erreicht über Karstquellen die Oberfläche (Abb. 8). Diese Quellen können im Normalfall kaum übernutzt werden. Dies gilt auch für die grossen Grundwasserleiter im Lockermaterial der Talsohle, die von der Rhone durch Infiltration immer wieder Wasser erhalten.

Trotz der reichlichen Wasservorkommen in der Region ist der Wasserstand in kleineren Gebirgsbächen tief (z.B. Liène). Hier muss die Wasserkraft bei der Wasserentnahme die **Restwasserbestimmungen** von 1991 noch nicht berücksichtigen. Im Einzugsgebiet der Liène werden diese erst mit der Erneuerung der **Wasserkraftkonzession** im Jahr 2037 umgesetzt. Wann und wie Restwassermengen für die landwirtschaftliche **Bewässerung** gelten, ist unklar.

Die meisten Häuser in der Region sind ans Abwassernetz von Sierre angeschlossen. Der kleine Anteil an intensiver landwirtschaftlicher Nutzung führt zu geringen Wasserverunreinigungen der Ökosysteme mit Dünger und Pestiziden (Abb. 9). Jedoch treten bei der Viehhaltung gelegentlich Probleme auf und in einigen Teichen ist Algenwachstum infolge von übermässigem **Nährstoffeintrag** (Eutrophierung) zu beobachten. Gewässer in Karstregionen werden wenig von Verunreinigungen gefiltert, weil das Wasser schnell durch die Hohlräume abfliesst. In Grundwasserleitern aus festem porösem Gestein oder Lockergestein ist die Filterwirkung besser.

- Kosten, Nutzen und Risiken zwischen allen Beteiligten gerecht und solidarisch verteilen
- Entscheidungen zur Wasserverteilung transparent, juristisch korrekt und partizipativ fällen
- Bedeutung der Gewässer für Kultur, Erholung und Freizeit erhalten
- Grundbedürfnisse an Trinkwasser und Abwasserentsorgung gewährleisten



Abb. 7: Kriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Wasser (nach Schneider F. et al., 2014; Weingartner R. et al., 2014; Schmid F. et al., 2014)

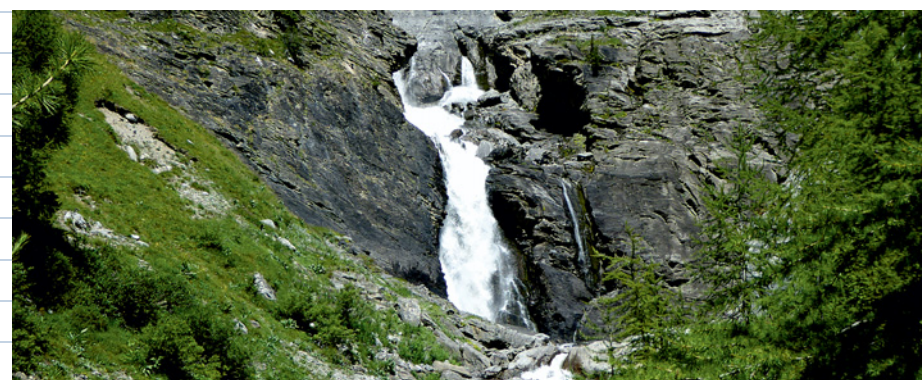


Abb. 8: Karstquelle Loquesse (Foto: Tom Reist)

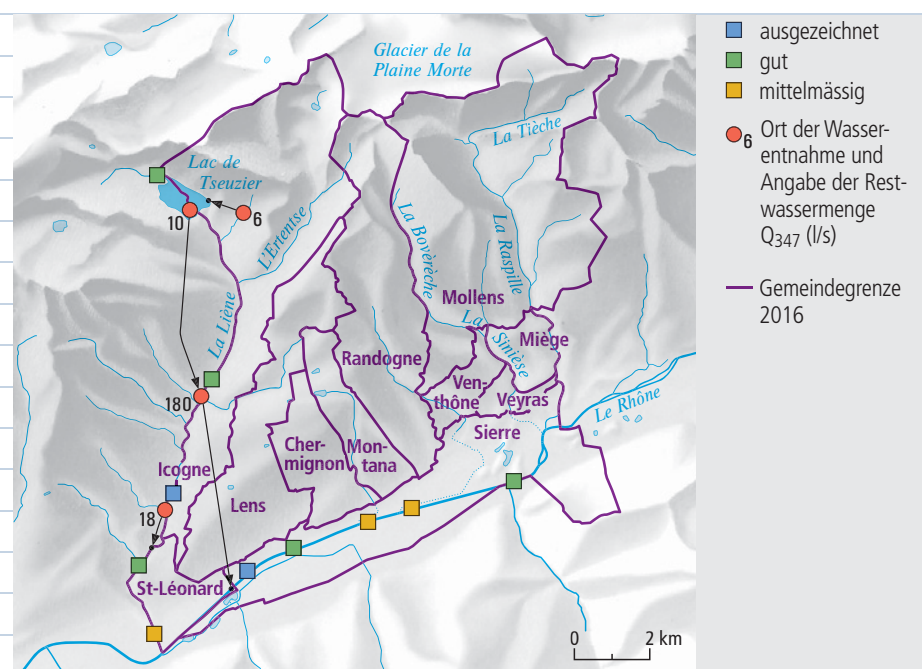


Abb. 9: Biologischer Index und Restwassermengen Q_{347} (nach Bonriposi M., 2014; HADES-Tafel 5.10)

Wasserdargebot

Die Alpen als natürliche Barriere zwingen Luftmassen zum Aufsteigen, was zu höheren jährlichen Niederschlagsmengen im Vergleich zum Vorland führt. Gebirge und Höhenlage beeinflussen so das **Wasserdargebot**. Dies ist jener Anteil des Niederschlags, der nicht verdunstet und daher in Bächen und Flüssen abfliest sowie in Seen, Grundwasser und Gletschern zwischengespeichert wird. Diese Speicher sind über mehrere Jahre ausgeglichen, im Gegensatz zum Schnee, der (fast) jedes Jahr abschmilzt.

In der Region Crans-Montana-Sierre im Wallis ist das Wasserdargebot durch die hochalpine Lage geprägt (Abb. 1 und 2). Während der **Jahresniederschlag** im Rhonetal weniger als 600 mm beträgt, erreicht er im Gebirge 2500 mm. Mit der Schnee- und Gletscherschmelze im Sommer ergibt die jahreszeitliche Verteilung der Abflüsse für diesen Raum ein **glazio-nivales Abflussregime** (Abb. 3).

Seit dem Jahr 1850 (vorindustrielle Zeit) ist es in der Schweiz um 1.8 Grad wärmer geworden. Mit dem **Klimawandel** ändern sich neben der Lufttemperatur auch Niederschlagsmenge und -intensität und damit die Abflussmenge und das Wasserdargebot.

Schreitet die heutige weltweite Entwicklung fort, prognostizieren Szenarien bis zum Jahr 2085 für die Alpennordseite eine Temperaturerhöhung um rund 3 °C. Die jährliche Niederschlagsmenge wird gleich bleiben, im Sommer jedoch um rund ein Fünftel zurückgehen und in den übrigen Jahreszeiten entsprechend zunehmen. Weil die Schneefallgrenze im gleichen Zeitraum um rund 400–500 m ansteigt, wird ein grösserer Anteil des Niederschlags direkt abfliessen und nicht mehr in Form von Schnee und Eis zwischengespeichert.



Abb. 1: Die rund 100 km² grosse Region Crans-Montana-Sierre VS reicht vom Rhonetal mit 520 m ü.M. bis zu den höchsten Bergen mit rund 3000 m ü.M. (Foto: Emmanuel Rey)

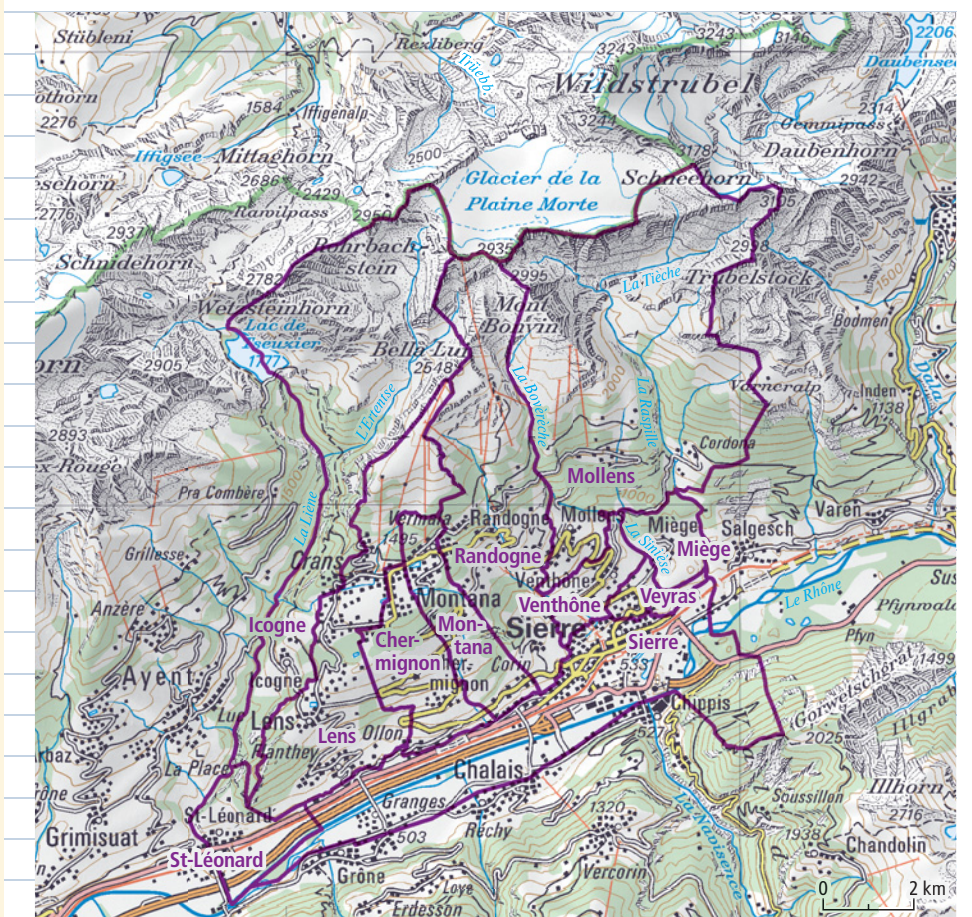


Abb. 2: Gemeinden in der Region Crans-Montana-Sierre VS 2016

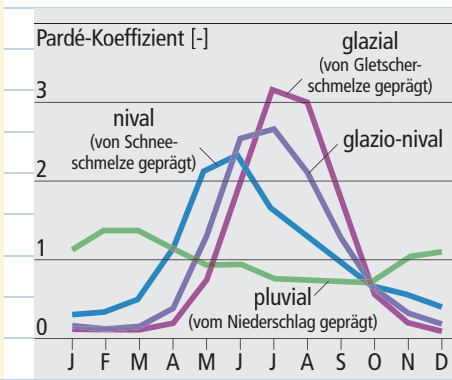


Abb. 3: Hauptregimetypen und glazio-nivales Abflussregime (Pardé-Koeffizient = mittlerer Monatsabfluss / mittlerer Jahresabfluss)

Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Das jährliche Wasserdargebot einer Region hängt von verschiedenen Faktoren ab: der klimatischen Situation (z.B. Niederschlag, Temperatur), der hydrologischen Situation (z.B. Schneeschmelze, Abflussverhalten), der glaziologischen Situation (z.B. Gletscherrückgang oder -vorstoss) und der hydrogeologischen Situation (z.B. Grundwasser, Quellen). Entscheidend für die saisonale Verteilung des Wasserdargebots sind die beiden Speicher Schnee und Gletscher, welche den Niederschlag zwischenspeichern und so den Abfluss verändern.

Als Teil des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung» hat das Projekt MontanAqua die aktuellen und zukünftigen Wasservorkommen und -nutzungen in der Region Crans-Montana-Sierre unter Berücksichtigung des Klimawandels und der sozioökonomischen Veränderungen untersucht. Hauptziel der Studie war es, anhand der Erkenntnisse mögliche Strategien für eine **nachhaltige Wasserbewirtschaftung** in dieser eher trockenen inneralpiner Region zu entwickeln. Im Folgenden werden die Erkenntnisse der Studie zum Wasserdargebot in dieser Region ausgeführt.

Hydroklimatische Situation

Zum rund 100 km² grossen Gebiet von Crans-Montana-Sierre gehört mit dem Rhonetal (520 m ü.M.) eines der trockensten Gebiete der Schweiz. Berge umschliessen dieses **inneralpine Trockental** und zwingen die feuchten Luftmassen zum Aufsteigen. Während in den Gipfelregionen durch den **Stau-effekt** und die **Konvektion** jährlich Niederschlagssummen von rund 2500 mm fallen, sind es im Rhonetal weniger als 600 mm (Abb. 4). Insgesamt wird das **Wasserdargebot** der Region durch die hochalpine Lage geprägt (glazio-nivales Abflussregime, Abb. 3).

Die mittlere Abflussmenge aus den oberen **Einzugsgebieten** (Liène/Lienne, Vatseret, Ertentse, Boverèche und Tièche) beträgt durch-

schnittlich rund 106 Millionen Kubikmeter pro Jahr (entspricht einem Würfel mit 475 m Kantenlänge). Sie variiert im Jahresverlauf beträchtlich: In der kalten Wintersaison (November bis März) fliesst nur wenig Wasser aus **Quellen** und in Bächen der Region (Abb. 5). Im Frühjahr (April bis Juni) wird der Abfluss von der Schneeschmelze dominiert, ab Juli von der Gletscherschmelze, im September und Oktober überwiegt Regenwasser. So steigen die Abflüsse in der Schmelzwassersaison bis im Juni an, anschliessend nehmen sie wieder deutlich ab. Die saisonale Verteilung des Abflusses wird demnach von der Höhe und der räumlichen Ausdehnung der Schneedecke, von der Gletscherschmelze sowie der zeitlichen Verteilung des Niederschlags und der Verdunstung geprägt. Ein trockener Frühling, kombiniert mit einer dünnen Schneedecke, führt zu erheblich geringeren Abflüssen im Sommer. Beispielsweise erreichten im Jahre 2011 infolge einer trockenen Periode im Frühjahr die Abflüsse nur 80 Prozent des Mittelwertes der Jahre 2007–2012 (Abb. 5).

Bis Ende des 21. Jahrhunderts werden gemäss Modellrechnungen die höheren Temperaturen in Winter und Frühling bereits im Mai saisonale Abflussspitzen auslösen, statt wie bisher im Juni (Abb. 5). Diese Veränderungen führen zusammen mit dem vollständigen Abschmelzen des Plaine-Morte-Gletschers um das Jahr 2085 zu einem **nivalen Abflussregime** (Abb. 3) mit einer jahreszeitlich früheren Schmelzwasserspitze und einer verlängerten nachfolgenden, wasserarmen Periode. Bis 2050 steigt der Jahresabfluss jedoch wegen zunehmender Gletscherschmelze vorübergehend an. Mit dem Verschwinden der Gletscher ab 2085 könnte der Jahresabfluss in der Region um rund 9 Prozent gegenüber heute abnehmen (Tab. 1). Mit dem Rückgang von Schnee und Eis folgt das Abflussverhalten mehr dem Niederschlagsgeschehen. Deshalb werden die Abflussmengen von Jahr zu Jahr stärker als heute schwanken. Trockenperioden mit **Niedrigwasser**, ähnlich denjenigen von 2003 oder

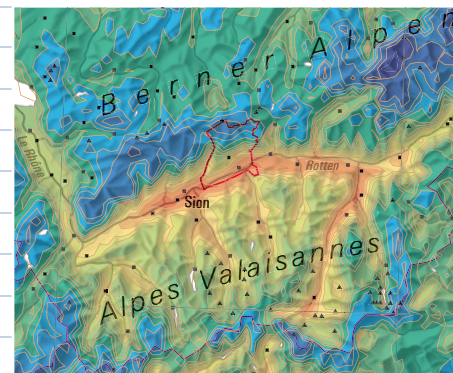


Abb. 4: Mittlere jährliche Niederschlagshöhen 1971–1990 (nach HADES-Tafel 2.6)

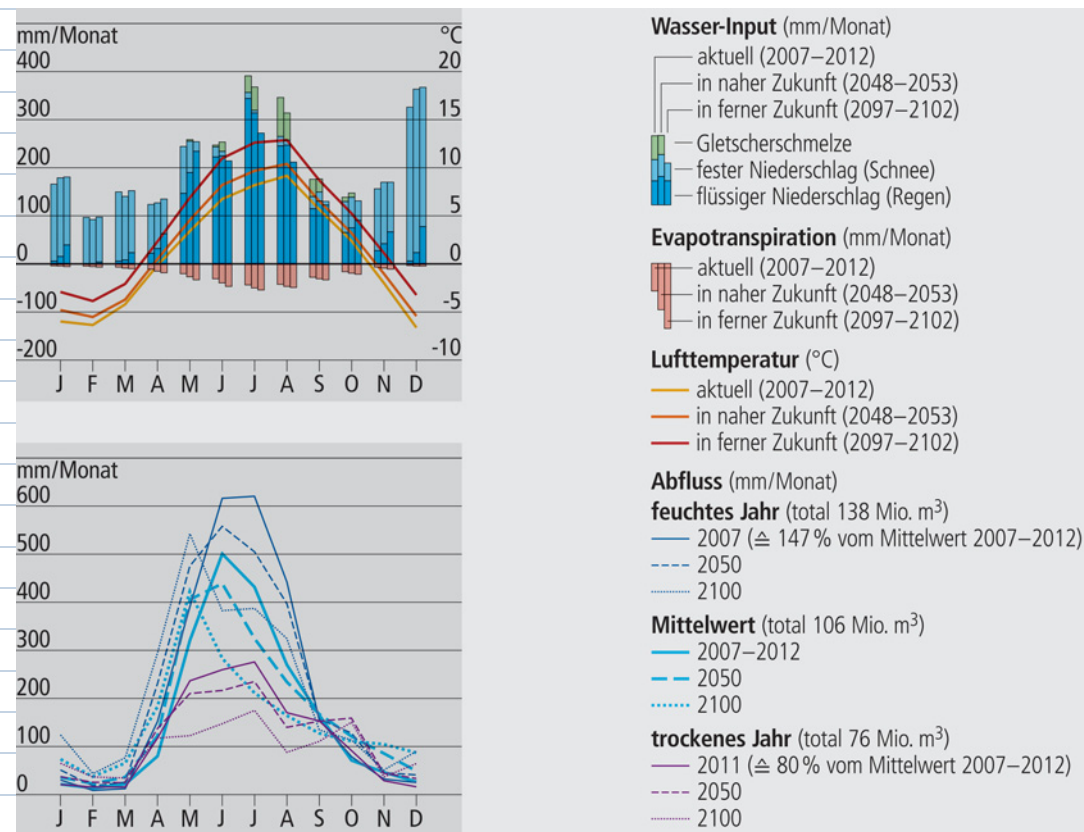


Abb. 5: Wasserhaushalt in den oberen Einzugsgebieten der Region Crans-Montana-Sierre (nach Kauzlaric M., 2015)

	aktuell (2007–2012)	nahe Zukunft (2048–2053)	ferne Zukunft (2097–2102)
Niederschlag (Input I)	2280 mm	2306 mm (+ 1.2 %)	2203 mm (– 3.4 %)
Gletscherschmelze (I)	166 mm	167 mm	0 mm
Abfluss (Output O)	2079 mm	2101 mm (+ 1.1 %)	1896 mm (– 8.8 %)
Evaporation (O)	210 mm	253 mm	288 mm
Speicher, z.B. Schnee (O)	157 mm	119 mm	19 mm

Tab. 1: Mittelwerte der Wasserhaushaltsgrössen (mm/Jahr) in den oberen Einzugsgebieten der Region Crans-Montana-Sierre (Veränderung in Prozent bezogen auf die aktuelle Situation) (Daten: Kauzlaric M., 2015)



Abb. 6: Untersuchung der Abflusswege auf dem Plaine-Morte-Gletscher mit Markierversuchen (Foto: Flurina Schneider)

2011, dürften häufiger vorkommen. Die Abflüsse werden insbesondere im Spätsommer kleiner werden, wegen fehlender Gletscherschmelze, früherer Schneeschmelze und abnehmendem Niederschlag.

Mit den ansteigenden Temperaturen nehmen auch die Verdunstung über Land- und Wasserflächen (**Evaporation**) und die **Transpiration** der Pflanzen bis ins Jahr 2100 leicht zu (Abb. 5 und Tab. 1). Für den Wasserhaushalt in hochalpinen Einzugsgebieten sind **Evapotranspiration** (Evaporation und Transpiration) und **Bodenfeuchte** jedoch kaum von Bedeutung: wegen der tiefen Temperaturen, der länger dauernden Schneebedeckung, der flachgründigen Böden, der Fels- und Eisflächen und der spärlichen Vegetation mit kurzer Wachstumszeit.

Glaziologische und hydrogeologische Situation

Der Plaine-Morte-Gletscher ist mit einem Volumen von knapp einem Kubikkilometer (~ 0.8 km³) ein bedeutender Wasserspeicher. Die mittlere Dicke dieses mittelgrossen Gletschers liegt heute bei 96 m, mit einem Maximum bei rund 235 m. Zurzeit verliert der Gletscher jedes Jahr rund einen Meter an Dicke (entspricht einem Würfel mit 200 m Kantenlänge), in trockenen und warmen Jahren, wie 2011, durchaus auch zwei Meter. Wegen des relativ hohen Jahresniederschlags von rund 2200 mm im Einzugsgebiet bleibt das Wasserdargebot aus dieser Region auch nach dem Abschmelzen des Gletschers im Jahr 2085 bedeutend.

Der Plaine-Morte-Gletscher liegt in einem **Karstgebiet**, wo das Kalkgestein durch Kohlensäureverwitterung typische Verwitterungsformen aufweist (z.B. ausgedehnte Höhlensysteme, Karrenfelder). Der Zusammenhang zwischen Eis- und Schneeschmelze und Abflusswegen ist im Karstgebiet von Crans-Montana-Sierre kompliziert und jahreszeitlich unterschiedlich. Hydrologische Untersuchun-

gen mit fluoreszierenden Tracern (Markierversuche, Abb. 6), und Modellrechnungen zeigen die Abflusswege im Karst auf:

- In Frühling und Herbst versickert das meiste Schmelzwasser des Gletschers im karstigen Untergrund, wo es über zahlreiche Hohlräume vorwiegend die südlich gelegenen **Karstquellen** (z.B. Quelle Loquesse) im Einzugsgebiet der Liène im Kanton Wallis erreicht (Abb. 2).
- Im Sommer übersteigt die starke Eisschmelze das Aufnahmevermögen des karstigen Untergrunds; der Wasserstand steigt im Gletscher an. In dieser Zeit fliesst das Wasser vorwiegend durch Eiskanäle im Gletscher rasch in Richtung Norden zum Trübbach ins Simmental. Deswegen erreicht im Sommer der grössere Teil des Schmelzwassers den Kanton Bern.
- Im Winter hat es sehr wenig Schmelzwasser und die Abflusskanäle sind nahezu geschlossen.

Nach 2050 könnte sich mit dem deutlichen Gletscherrückgang die Aufteilung der Abflüsse in Richtung Nord und Süd ändern. Das Abflusssystem hängt vor allem von der Felsoberfläche ab, die heute noch unter dem Gletscher verborgen ist. So wird der Anteil der Abflüsse an der Oberfläche und im kalkigen Untergrund in Zukunft von der veränderten Topografie und dem abgelagerten feinen Grundmoränenmaterial beeinflusst, das den Karst abdichten könnte.

Nach dem Verschwinden des Gletschers um 2085 wird der unterirdische Abfluss grösser werden als der oberirdische Abfluss in Bächen. Dadurch wird ein grösserer Teil des Wassers ins südlich gelegene Wallis abfliessen. Im Spätsommer werden die Karstquellen weniger Wasser führen oder sogar versiegen. Es müssen also rechtzeitig Anpassungen in der Wassernutzung geplant werden, damit auch in Zukunft die Wasserversorgung für Bevölkerung und Wirtschaft (Tourismus, Landwirtschaft, Wasserkraft) gewährleistet werden kann (vgl. Themenblatt «Wasserverteilung»).



Arbeitsblatt: Wasserdargebot

Insgesamt steht der Schweiz auch in Zukunft genügend Wasser zur Verfügung. Der Klimawandel führt jedoch regional und saisonal vermehrt zu Wasserknappheit.

Fokus

Wie wird sich die saisonale Verfügbarkeit der verschiedenen Wasserressourcen in der Region Crans-Montana-Sierre mit dem Klimawandel verändern?

Begründen Sie Ihre Einschätzungen mit Hilfe der Materialien im Fokus. Stellen Sie hierzu in der Tabelle die verschiedenen Wasserressourcen von heute und für die Zukunft zusammen und schätzen Sie deren saisonale Verfügbarkeit sowie die Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit ab.

Natürliches Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre

Wasserressource	saisonale Wasserverfügbarkeit heute (inkl. Begründung)	Veränderung der saisonalen Wasserverfügbarkeit durch Klimawandel (inkl. Begründung)

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit heute:

-
-
-

Konsequenzen für die Wasserverfügbarkeit in Zukunft:

-
-
-

Wissen

Überprüfen Sie Ihre Hypothesen zum heutigen und zukünftigen Wasserdargebot in Crans-Montana-Sierre. Übertragen Sie hierzu die wissenschaftlichen Erkenntnisse mit anderer Farbe in die Tabelle (oben), indem Sie Ihre Hypothesen aus der vorherigen Aufgabe (Fokus) korrigieren, bestätigen und differenzieren.

Transfer

Eine ganzheitliche Betrachtung der Wasserressourcen einer Region muss neben den Ansprüchen von Gesellschaft und Wirtschaft auch diejenigen des Ökosystems berücksichtigen.

Wie zeigt sich die Situation des Wasserdargebots bezüglich der Ökologie in der Region Crans-Montana-Sierre?

Bewerten Sie die vier Umweltkriterien in Abbildung 7 für den Untersuchungsraum anhand der Informationen in Wissen und Transfer mit «sehr gut», «gut», «mittelmässig», «schlecht» oder «sehr schlecht» und begründen Sie.

Literatur

Björnsen Gurung A., Stähli M., 2014: Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.

Blanc P., Schädler B., 2013: Das Wasser in der Schweiz – ein Überblick. Schweizerische Hydrologische Kommission. Bern.

Bonriposi M., 2014: Analyse systématique et prospective des usages de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Suisse). Géovisions 43, Lausanne.

Kauzlaric M., 2015: A physically based hydrological framework to assess the effects of climate change in a data sparse alpine environment. Bern.

Schmid F. et al., 2014: Wege zur nachhaltigen Wassergouvernanz. In: «Aqua & Gas», Nr. 11, Zürich.

Schneider F. et al., 2014: Assessing the sustainability of water governance systems: the sustainability wheel. In: Journal of Environmental Planning and Management, London.

Weingartner R. et al., 2014: MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel. Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61, Bern.