

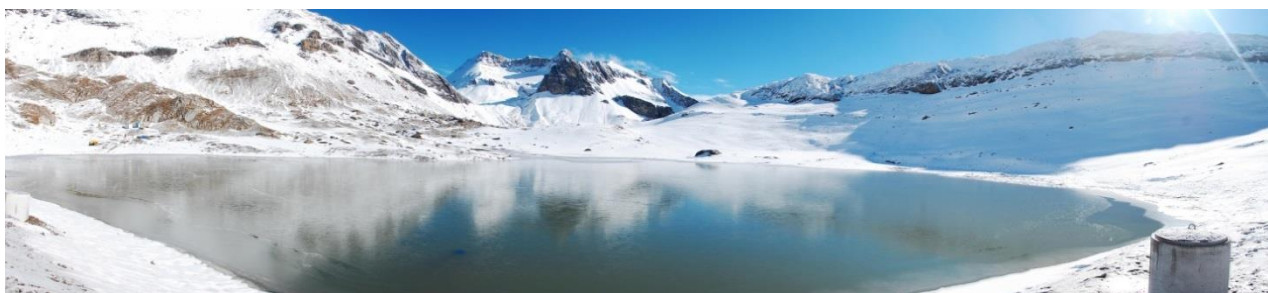


CANTON DU VALAIS  
KANTON WALLIS

# Das Wallis angesichts des Klimawandels

Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung  
und Naturgefahren

Synthesepapier



Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogrammes zur Anpassung an den Klimawandel, gefördert durch das Bundesamt für Umwelt BAFU. Für den Inhalt des Berichts sind allein die Autoren verantwortlich.

## Vorbemerkungen

Dieses Synthesepapier fasst verfügbare Befunde zusammen zu den Auswirkungen des Klimawandels in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren sowie zu möglichen Anpassungsmassnahmen im Kanton Wallis (Stand Sommer 2015). Neben wissenschaftlichen Quellen sind auch Einschätzungen von Fachleuten aus der Verwaltung des Kantons Wallis eingeflossen.

Dokumentiert werden in erster Linie Befunde aus der Fachliteratur, wo aufgrund verschiedener Quellen ein Konsens (oder zumindest eine klare Konvergenz) besteht. Wo der Kenntnisstand keine eindeutige Aussage zulässt, wird der Sachverhalt als unsicher charakterisiert. Auf unterschiedliche Entwicklungen in Teilbereichen des Wallis sowie in kurz-, mittel- und langfristiger Perspektive wird eingegangen, soweit verallgemeinerbare Aussagen dazu möglich sind.

Wie es der Natur einer Synthese entspricht, erhebt der vorliegende Bericht weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch auf wissenschaftliche Detailtreue. Der Fokus ist gerichtet auf Sachverhalte, die direkt oder indirekt relevant sind für die Anpassungspraxis in den Regionen und Gemeinden des Kantons Wallis.

### Wichtige Hinweise:

- Grundlagen und Annahmen zur Klimaentwicklung

Wo nichts anderes vermerkt ist, basieren die nachfolgenden Aussagen auf

a) dem SRES A1B-Emissionsszenario des IPCC (= rasch fortschreitende Globalisierung, Anstieg der globalen Treibhausgas-Emissionen bis 2050, anschliessend Abnahme);

b) Klimaszenarien für Europa aus dem ENSEMBLES-Projekt (Auflösung 25km) und deren Aufbereitung für die Schweiz im Rahmen der CH2011 Initiative (Referenzperiode: 1980-2009).

Die mit diesen Szenarien verbundenen Unsicherheiten gelten auch für alle Aussagen in diesem Bericht.

- Umschreibung von Zeithorizonten

Der Begriff "kurzfristig" im Bericht bezieht sich auf den Zeitraum 2030-2040.

Der Begriff "mittelfristig" im Bericht bezieht sich auf den Zeitraum 2050-2060.

Die Begriffe "längerfristig" bzw. "langfristig" beziehen sich auf den Zeithorizont 2. Hälfte / gegen Ende des 21. Jahrhunderts.

- Verwendete Grundlagen

Zahlen in eckigen Klammern [...] verweisen auf das Literaturverzeichnis am Ende dieses Berichts.

Projektleitung: Dienststelle für Wald und Landschaft, Sektion Naturgefahren, 1950 Sion,

<https://www.vs.ch/web/sfp/dangers-naturels>

Verfasser: Markus Nausser, dialog:umwelt GmbH, Schwarzenburgstr. 11, 3007 Bern, [www.dialogumwelt.ch](http://www.dialogumwelt.ch)

Sion/Bern, Herbst 2016

## **Inhaltsübersicht**

1 – Klimazustand / Klimaentwicklung .....	4
2 – Entwicklung Naturraum.....	5
3 – Wassernutzung / Wasserbewirtschaftung .....	8
4 – Naturgefahren .....	11
5 – Folgerungen für die Anpassung.....	14
Anhang.....	18
Verwendete Quellen (gemäss Verweisen im Text) .....	21
Verwendete Quellen (alphabetisch) .....	24
Abkürzungen.....	27

An der Review dieses Berichts haben mitgewirkt:

Dr. Hugo Aschwanden, BAFU  
Dr. Peter Brang, WSL Birmensdorf  
Dipl. Geol. Gabriel Chevalier, DWL, Kt. Wallis  
Dr. Pierre Christe, DUS, Kanton Wallis  
Dr. Andreas Fischer, MeteoSchweiz  
Prof. Martin Funk, VAW ETH Zürich  
Dipl. Ing. Christian Küchli, BAFU  
Dr. Mark Liniger, MeteoSchweiz  
Dipl. Ing. Roland Métral, DWL, Kt. Wallis  
Dipl. Ing. Christian Pernstich, DWL, Kt. Wallis  
Dr. Thomas Probst, BAFU  
Dipl. Ing. Jean-Christophe Putallaz, DSVF, Kt. Wallis  
Dr. Hugo Raetzo, BAFU  
Dipl. Ing. Arthur Sandri, BAFU  
Dr. Bruno Schädler, Uni Bern  
Dipl. Ing. Pascal Stoebener, DWL, Kt. Wallis  
Prof. Markus Stoffel, Uni Bern/Uni Genf  
Dr. David Volken, BAFU  
Prof. Rolf Weingartner, Uni Bern  
Dipl. Geol. Frédéric Zuber, DEW, Kt. Wallis

Der Verfasser dankt diesen Personen für die kritische Durchsicht und konstruktive Rückmeldungen.

## 1 – Klimazustand / Klimaentwicklung<sup>1</sup>

relevante  
Quellen

### Allgemein

1.1 Im Alpenraum schränken kleinräumige, sehr variable klimatische Verhältnisse die Generalisierbarkeit von Aussagen zur zukünftigen Klimaentwicklung stark ein. Der vorliegende Bericht stützt sich vor allem auf diejenigen Aspekte, für die auch auf regionaler Ebene klare Trends erkennbar sind.

[1], [5], [59]

### Temperatur

1.2 Im Rhonetal wurde bereits bisher eine überdurchschnittliche Erwärmung beobachtet. Mittelfristig wird im Wallis mit einem weiteren Anstieg der Durchschnittstemperatur gerechnet (siehe Anhang, Abb. 1). Dieser Anstieg liegt je nach Jahreszeit und Höhenlage bei ca. 2–3°C (Unsicherheitsbereich ±1°C) und setzt sich bis Ende des 21. Jahrhunderts weiter fort.

[1], [2], [3], [6],  
[8], [42], [49],  
[57]

Die erwartete Erwärmung im Wallis liegt leicht über dem gesamtschweizerischen Durchschnitt. Sie ist deutlich höher als die bisherige natürliche Variabilität. Bis in 40 Jahren dürfte ein durchschnittlicher Sommer in etwa dem Hitzesommer 2003 entsprechen.

1.3 Tage mit Maximaltemperaturen über 30°C (sog. Hitzetage) treten im Wallis vergleichsweise häufig auf. An Messstationen in der Ebene des Rhonetals wird die schweizweit höchste Anzahl Hitzetage pro Jahr (im Durchschnitt der Periode 1981-2010 rund 16, aktuell gut 20 pro Jahr) registriert (siehe Anhang, Tabelle 1).

[3], [4], [50]

1.4 Die Anzahl der Frosttage (Minimaltemperatur unter 0°C) nimmt mittelfristig um rund 40 bis 45 ab, in Gipfellagen (1981-2010 > 280 Frosttage/J.) tendenziell etwas stärker als in Lagen unter 800 m.ü.M. (1981-2010 < 100 Frosttage/J.). Zum Stand der Frosttage an ausgewählten Messstationen im Wallis, siehe Anhang, Tabelle 2.

[1], [3]

### Niederschlag

1.5 Die Streubreite der Niederschlagsmengen zwischen dem niederschlagsreichen Hochgebirge und den trockenen Talböden ist im Wallis sehr gross. Bei der Abschätzung von Entwicklungstrends müssen die komplexe Topographie sowie lokalklimatische Einflüsse berücksichtigt werden.

[1], [21]

1.6 Von West nach Ost nimmt im Talboden die Niederschlagsmenge infolge Abschirmung durch die umgebenden Berge deutlich ab. Die mittlere jährliche Niederschlagssumme beträgt im Westen bei Bex 1051 mm, am Rhoneknie bei Martigny 855 mm und sinkt im zentralen Teil zwischen Sion und Visp und im unteren Teil der Vispertäler örtlich auf Werte unter 600 mm. Östlich von Brig steigen die Niederschlagssummen mit zunehmender Höhe wieder auf deutlich über 1000 mm an (z.B. Ulrichen: 1212 mm).

[3], [36]

1.7 Das Zentralwallis unterscheidet sich klimatisch in verschiedener Hinsicht von den übrigen Gebieten der Schweiz.

[42], [50]

- Es ist die trockenste Region der Schweiz (gemessen an der mittleren Jahresniederschlagssumme).
- Es weist im Sommerhalbjahr (April-September) weniger Regen auf als im Winterhalbjahr; in allen anderen Regionen der Schweiz ist es umgekehrt.
- Es erfährt häufigere Perioden ausgeprägter Trockenheit; die Variabilität der Niederschläge von Jahr zu Jahr ist grösser als in den übrigen Regionen der Schweiz (Visp: minimale Jahresniederschlagssumme < 400 mm).

1.8 Aussagen zur zukünftigen Niederschlagsentwicklung sind mit grossen Unsicherheiten be-

[1], [2], [6], [9],

<sup>1</sup> Daten zu Stand und Entwicklung des Klimas an ausgewählten Messstationen im Rhonetal finden sich im Anhang.

- haftet; erst nach der Mitte des 21. Jahrhunderts zeichnet sich im Wallis eine deutliche Abnahme der Sommerniederschläge ab (Sion 9-28%; Gr.St.Bernhard 6-15%); im niederschlagsreicheren Winter und bei den Jahresniederschlagssummen ist auch langfristig kein eindeutiger Trend erkennbar (siehe Anhang, Abb. 2). [25], [49]
- 1.9 Auch ohne Rückgang der Niederschläge werden höhere Temperaturen zu mehr Verdunstung und damit zu einer Verschärfung von Trockenheitsrisiken führen. [21], [42]
- 1.10 Vor allem in mittleren Lagen (ca. 1000-2000 m.ü.M.) werden die Niederschläge vermehrt in Form von Regen statt Schnee fallen. Auch in hohen Lagen (oberhalb 2500 m.ü.M.) nimmt der Anteil der Niederschläge in Form von Regen gegenüber dem Schnee um 10-20% zu. [9], [57]
- 1.11 Die Schneefallgrenze steigt pro Grad Erwärmung um 150-200 m. Sie dürfte mittelfristig um gut 300 m und bis Ende des Jahrhunderts um über 500 m ansteigen. Oberhalb 1500 m.ü.M. ist mittelfristig mit einer Abnahme der Anzahl Tage mit Neuschnee um rund 20-30% zu rechnen. [1], [8], [43], [48]
- Witterungsextreme
- 1.12 Extreme Wetterereignisse (insbesondere warme Extreme, sommerliche Hitzewellen, Trockenperioden im Sommer/Herbst) werden mittelfristig häufiger, tiefe Wintertemperaturen werden seltener. [1], [57], [60]  
Die kurz-/mittelfristige Entwicklung von Starkniederschlägen (inkl. intensive Schneefälle und die damit verbundene Lawinengefahr) ist mit grossen Unsicherheiten verbunden; längerfristig dürften Starkniederschläge im Frühjahr und Herbst und Trockenperioden vor allem im Sommer zunehmen.
- ## 2 – Entwicklung Naturraum
- Gletscher
- 2.1 Fläche: Die vergletscherte Fläche im Einzugsgebiet der Rhone hat zwischen 1973 und 2010 um rund ein Fünftel abgenommen. Bis 2050 ist mit einer Abnahme um weitere 20% zu rechnen. Langfristig dürfte sich die Gletscherfläche gegenüber dem Stand zu Beginn des 21. Jahrhunderts halbieren. [7], [10], [54]
- 2.2 Volumen: Im Wallis befindet sich mit 80% des vorhandenen Eisvolumens ein Grossteil der Schweizer Gletscher. Im Vergleich zur Periode 1980/2009 dürfte mittelfristig rund die Hälfte, langfristig mehr als zwei Drittel des Volumens der Walliser Gletscher abgeschmolzen sein. [7], [9]
- 2.3 Einzelne Gletscher (z.B. Gries, Trient, Ferret, Plaine Morte) werden aufgrund ihrer Grösse und Lage bis 2100 weitgehend verschwunden sein, von anderen (z.B. Rhone, Mattmark) werden nur noch kleine Reste übrig bleiben. Gegenüber dem Stand 2010 dürfte die Fläche der Gletscher im Aletschgebiet bis gegen Ende des 21. Jahrhunderts um 70% und das Volumen um über 90% abnehmen. [7], [9], [11], [14], [55]

### Permafrost

2.4 Die Permafrostgrenze in den Alpen liegt auf einer durchschnittlichen Höhe von rund 2400 m.ü.M. Sie hat sich in den letzten 100 Jahren um 150 bis 200 m nach oben verschoben. Die Schneebedeckung, das Gestein, die Exposition, die Topographie und die Hydrologie eines Gebietes beeinflussen die Temperaturen des Untergrunds. Der Permafrost hat sich in den letzten Jahrzehnten in 10 m Tiefe um durchschnittlich rund 0.4 °C pro Jahrzehnt erwärmt. Gleichzeitig stiegen die Temperaturen in der Auftauschicht im Sommer um 0.8 °C an. Im Laufe des 21. Jahrhunderts könnte sich die untere Verbreitungsgrenze des Permafrosts je nach Exposition, Mächtigkeit und Beschaffenheit des Untergrunds um weitere 200 bis 750 m nach oben verschieben. Die Unsicherheiten über die zukünftige Entwicklung sind relativ gross.

[30]<sup>2</sup>, [43], [51], [56]

### Abflüsse

2.5 Dank bedeutender Schmelzwasserreserven (Schnee und Eis) im Zentral- und Oberwallis ist der natürliche Abfluss heute in vielen Walliser Fliessgewässern auch während längerer Trockenzeiten im Sommer relativ gross. Dies gilt nicht für Gewässer aus unvergletscherten Einzugsgebieten oder für den Unterlauf von Stauseen.

[7], [42]

2.6 Die Einzugsgebietshöhe spielt für die Veränderung des Abflussregimes eine bedeutende Rolle, da der Grad der Vergletscherung und der zunehmende Anteil von Regen am Gesamtniederschlag eng daran gekoppelt sind. Viele Walliser Fliessgewässer weisen aufgrund der hoch gelegenen und oft mittel bis stark vergletscherten Einzugsgebiete eine relativ hohe Sensitivität gegenüber der Klimaänderung auf. Bei wenig oder unvergletscherten Einzugsgebieten hingegen sind mittelfristig aufgrund des Klimawandels keine signifikanten Auswirkungen auf die Jahresabflussmengen zu erwarten.

[7], [8]

2.7 Bei tiefer gelegenen Gletschern stagniert die Jahresabflussmenge bereits heute oder sie weist sogar schon einen abnehmenden Trend auf (z.B. Trift-, Mattmark-, Griesgletscher). Bei Gletschern, deren Einzugsgebiet höher hinauf reicht, kann sie aber auch noch zwei bis drei Jahrzehnte zunehmen, um erst in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts zurückzugehen (z.B. Aletsch-, Fiescher-, Gornergletscher).

[7], [8]

2.8 Kurz- und mittelfristig wird der Einfluss der Klimaänderung überlagert durch die grosse natürliche Variabilität der Abflüsse sowie – wo relevant – durch die Effekte der Nutzung von Wasserkraft auf die Wasserführung.

[7], [8], [24], [49]

Längerfristig werden die Abflussmengen zunehmend geprägt durch:

- abnehmende Niederschläge im Sommerhalbjahr (vgl. Ziffer 1.8),
- häufigere/längere Trockenperioden,
- evtl. häufiger auftretende Starkniederschläge.

Die Variabilität der Abflüsse dürfte langfristig zunehmen, weil der ausgleichende Effekt von Schnee- und Eisschmelze wegfällt.

2.9 Saisonale Abflussspitzen treten in Zukunft (infolge der früheren Schneeschmelze) im Vergleich zur Periode 1980/2009 jeweils 1-2 Monate früher auf (vergletscherte Einzugsgebiete: Ende Juni, Anfang Juli). In noch stark vergletscherten Gebieten werden sie im Vergleich zu heute vorübergehend höher ausfallen. Langfristig, d.h. bei fortgeschrittenem Gletscherschwund, werden die saisonalen Abflussspitzen wieder deutlich zurückgehen. Das Abflussvolumen in den Monaten Juni bis August wird im Vergleich zur Periode 1980/2009 deutlich sinken, trockenere Sommer können zusätzlich zu sehr niedrigen Abflüssen bis in den Herbst führen.

[7], [8], [26], [27], [42]

2.10 Die jahreszeitliche Schüttung von Quellen im Gebirge und ihre Empfindlichkeit gegen-

[15], [16]

<sup>2</sup> gestützt auf CIPRA (2002): Klimawandel und Alpen - Ein Hintergrundbericht

über den Einflüssen des Klimawandels hängt ab:

- von der Entwicklung der Art (Schnee vs. Regen) und Menge der Niederschläge,
- vom Wasservolumen, das in Gletschern im Einzugsgebiet gespeichert ist,
- von Veränderungen des Zeitpunkts der Schnee-/Eisschmelze,
- von der Aufnahme- und Speicherfähigkeit des Untergrunds im Einzugsgebiet,
- von der Grösse des Einzugsgebiets.

Diese von Ort zu Ort sehr unterschiedlichen Bedingungen bedeuten, dass jede Quelle unterschiedlich auf Klimaeinflüsse reagiert. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts dürfte die Variabilität der Quellschüttung generell zunehmen.

### Geschiebe

2.11 Mit der zunehmenden Variabilität der Abflüsse nimmt auch die Variabilität der Geschiebefrachten zu. Die mittleren transportierten Geschiebemengen verändern sich mit dem Abflussregime (vgl. vorhergehender Abschnitt 'Abflüsse'). Die mittel- bis längerfristig abnehmende Transportkapazität der Fliessgewässer in vergletscherten Einzugsgebieten führt zu vermehrten Ablagerungen an der Gewässersohle. Dadurch steigt das Überschwemmungsrisiko bei Hochwasser.

Über die Geschiebemengen, die bei Hochwasserereignissen transportiert werden, kann keine generelle Aussage gemacht werden. Diese sind stark von den lokalen Bedingungen im Einzugsgebiet (Umfang der Freisetzung von Lockermaterial beim Gletscherrückzug oder beim Anstieg der Permafrostgrenze) beeinflusst.

[8], [17] - [19]

### Wald

2.12 Wälder reagieren auf Temperatur- und Niederschlagsänderungen, ihr Wachstum wird insbesondere durch Trockenheit und tiefe Temperaturen beeinträchtigt.

Trockenheit ist ein Stressfaktor, der die Anfälligkeit gegenüber Schadorganismen erhöht und die Regenerationsfähigkeit von Wäldern nach Störungen (z.B. durch Stürme, Borkenkäferbefall, Waldbrände oder Lawinen) einschränkt. Die Reaktion des Waldes hängt stark ab von den aktuellen Standortbedingungen (Lokalklima, Bodeneigenschaften) und vom aktuellen Waldzustand (Nutzungsgeschichte, Baumarten- und Altersstruktur).

[33] - [36], [43], [45]

2.13 Sehr trockene Verhältnisse und hohe Temperaturen machen die Vegetation in Tieflagen des Zentralwallis empfindlich gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels (Absterben von Waldfähren auf Trockenstandorten unterhalb 1200 m ü. M.). In Hochlagen hingegen wirken sich steigende Temperaturen positiv auf die Waldentwicklung aus (rascheres Wachstum, Ausbreitung von Arve und Fichte).

Mittelfristig profitieren die Walliser Wälder in Hochlagen vom Klimawandel, die Biomasse nimmt zu, die Wälder werden dichter. Allerdings sind dichtere Wälder anfälliger auf Waldbrände, Borkenkäferbefall, Windwurf und Schneebruch. Auch relativiert die in den Walliser Südtälern lokal beobachtete Zunahme von Steinschlägen die verbesserten klimatischen Bedingungen für die Waldentwicklung.

Langfristig, falls die Niederschläge im Sommerhalbjahr weiter abnehmen und längere Trockenperioden häufiger werden, verschlechtern sich die Standortbedingungen für die meisten einheimischen Baumarten deutlich, die Biomasse nimmt ab.

[33], [36], [40] - [42], [45]

2.14 Untersuchungen über die mögliche Waldentwicklung oberhalb der Ortschaft St. Niklaus Dorf bei einem Szenario mit starker Klimaerwärmung (SRES A2) zeigen, dass sich die Schutzwirkung des Waldes insgesamt verschlechtern und die Steinschlaggefahr langfristig zunehmen würde. Dies hätte Auswirkungen auf die weitere Entwicklung des Siedlungsraums (Meidung besonders gefährdeter Gebiete). Allerdings sind die Ergebnisse nur sehr beschränkt auf andere Standorte übertragbar.

[34]

2.15 Die prioritäre Funktion von 87% des Walliser Waldes liegt im Schutz von Personen und Infrastrukturen gegenüber Naturgefahren (Steinschlag, Lawinen, Murgänge, Erdbeben). Schutzwälder spielen für das Naturgefahrenmanagement eine zentrale Rolle. Wälder mit einer guten Durchmischung von Bäumen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Grösse bieten optimale Voraussetzungen zur Erfüllung der Schutzfunktion. Zunehmende Trockenheit in tiefen, längerfristig auch in mittleren Höhenlagen erschwert besonders an flachgründigen, sonnenexponierten Standorten die Verjüngung und führt zum Absterben von Bäumen, was die Schutzwirkung beeinträchtigt. In höheren Lagen hingegen, wo der Temperaturanstieg das Baumwachstum begünstigt, dürfte sich die Schutzwirkung des Waldes tendenziell verbessern.

[37] - [39], [41]

### **3 – Wassernutzung / Wasserbewirtschaftung**

#### Stand und Entwicklungstrends

3.1 Das Wallis ist – im Rahmen der bisher bekannten Variabilität – an Situationen mit lokal knapper Wasserverfügbarkeit gut angepasst, u.a. dank der aufwendigen, traditionellen Bewässerungssysteme (Suonen). Wo der Wasserbedarf nicht über Grundwasserfassungen gedeckt wird, kommt der Versorgung mit und Verteilung von Wasser mittels Suonen eine wichtige Rolle zu. Speicherseen, Reservoirs sowie lokale Verbundnetze ergänzen und ersetzen in zunehmendem Mass die traditionellen Bewässerungssysteme. Wo der Wasserbedarf aufgrund spezifischer Bedürfnisse (z.B. Bewässerung, Beschneigung) zunimmt, wird primär durch den Ausbau der Speicherkapazitäten und die situative, technische Steuerung der Wasserverteilnetze reagiert.

[22], [23], [27],  
[28], [30], [44]

3.2 Für den zukünftigen Wasserverbrauch sind zwei Faktoren massgebend: der Klimawandel und der sozioökonomische Wandel (ökonomische/demografische Entwicklung). Verschiedene Studien – z.B. das Projekt MontanAqua in der Region Crans-Montana-Sierre – zeigen, dass der Wasserverbrauch und die Versorgungssituation mittelfristig primär durch den sozioökonomischen Wandel geprägt sein werden. Langfristig nimmt allerdings der Einfluss des Klimawandels zu.

[21], [22], [27],  
[28]

3.3 Unbekannt bzw. unsicher sind Lage und Ausmass von potenziell nutzbaren Wasserressourcen im Untergrund. Insbesondere bei den im Kanton Wallis verbreiteten Karst- und Kluftgrundwasserleitern sind bedeutende noch ungenutzte Ressourcen nicht auszuschliessen.

[15], [27], [29]

3.4 Wichtige klimaunabhängige Einflussfaktoren auf Wasserbedarf/-verfügbarkeit<sup>3</sup> sind

- Bevölkerungsentwicklung,
- Wirtschaftsentwicklung,
- Energiegewinnung mit Wasserkraft,
- Wassernutzung für Freizeit und Tourismus (Swimmingpools/Bäder, Beschneigung),
- Entwicklung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsflächen; Änderungen der Subventionierungspraxis im Bereich Bewässerung,
- Vorgaben betreffend Restwassermengen.

[21], [22], [27],  
[28], [30]

Die nachstehenden Beispiele illustrieren das Spektrum möglicher Entwicklungspfade für

<sup>3</sup> Die Wasserstrategie des Kantons Wallis [44] geht davon aus, dass die Bevölkerung im Kanton Wallis bis 2030 um ca. 8% zunehmen wird. Sie erwartet, dass die landwirtschaftlichen Flächen insgesamt abnehmen, der Umfang der bewässerten Flächen hingegen zunimmt. Beim Tourismus führt kurz-/mittelfristig die Beschneigung im Winter, langfristig der steigende Stellenwert des Sommertourismus zu einem zunehmenden Wasserbedarf. Bei der Industrie ist kein klarer Trend erkennbar.



Crans-Montana-Sierre bis 2050:

- Szenario 'Wachstum': mittlerer Wasserbedarf +24%, Spitzenbedarf inkl. Bewässerung in trockenen Sommern bis +60% im Vergleich zur Periode 2007-2011;
- Szenario 'Mässigung': mittlerer Wasserbedarf -13%, Spitzenbedarf inkl. Bewässerung in trockenen Sommern +18% im Vergleich zur Periode 2007-2011.

3.5 Bereiche mit klimabedingt steigendem Wasserbedarf sind

- Bewässerung für landwirtschaftlich genutzte Flächen, Grünanlagen, Golfplätze, Gärten (Sommertrockenheit, evtl. steigende Verdunstungsrate),
- künstliche Beschneigung (Abnahme der Anzahl Tage mit Neuschnee),
- Kühlwasserbedarf für industrielle/gewerbliche Zwecke,
- Verdünnung gereinigter Abwässer vor Einleitung in die Vorfluter (bei Niedrigwasser),
- Löschwasser/-vorräte (Sommertrockenheit).

3.6 Die hohe monatliche Variabilität des Wasserbedarfs wird in Zukunft weiter zunehmen. Der Druck auf die (Oberflächen- und Grund-)Wasserressourcen steigt v.a. im Winter (Kunstschneeproduktion, Bedarfsspitzen in touristischen Gebieten) sowie für die Bewässerung im (Spät-)Sommer, weil dann die Quellschüttung gering ist und Fliessgewässer Niedrigwasser führen. Phasen extremer Trockenheit verschärfen diese Situation. Steigende Wassertemperaturen dürften sich zudem auf die Wasserqualität auswirken.

3.7 Der Gletscherschwund wird dazu führen, dass je nach Topografie des Untergrunds lokal neue Seen entstehen werden. Diese können neue Chancen eröffnen als Wasserspeicher, für die Energiegewinnung oder als touristische Attraktion.

#### Handlungsbedarf/Handlungsoptionen

##### Auf lokaler Ebene

3.8 Lokale Wasserversorgungen genügen nicht überall dem Spitzenbedarf oder sind den saisonalen Schwankungen des Wasserdargebots nicht angepasst. Sie werden aufgrund sozio-ökonomischer Entwicklungen und klimatischer Extremsituationen vermehrt in kritische Situationen kommen, z.B. in Wintertourismusorten während der Hochsaison oder während sehr niederschlagsarmen Perioden im Sommer.

- Die Integration in regionale Versorgungsnetze und der Bedarf nach zusätzlichem Speicherraum sind zu prüfen.
- Die Erneuerung der Versorgungsinfrastrukturen (Fassungen, Wasserspeicher, Suonen, Verteilnetze) ist von den Gemeinden vorrangig anzugehen; dabei ist auch den hydrogeologischen Gegebenheiten (Grundwasser) in den entsprechenden Einzugsgebieten Rechnung zu tragen.

3.9 Versorgungsinfrastrukturen werden zuweilen sehr kleinräumig betrieben, was einen Zusatzaufwand für den Unterhalt bedeutet.

- Die Kooperation zwischen benachbarten Gemeinden und mit dem Kanton ist zu fördern und zu optimieren, um die Instandhaltung und den effizienten Betrieb der Anlagen sicherzustellen.

##### Auf regionaler Ebene

3.10 Die zentrale Herausforderung auf regionaler Ebene besteht in der Planung und Koordination der Wasserbewirtschaftung. Die regional verfügbaren Ressourcen im Einzugsgebiet sowie die verschiedenen Nutzer mit situationsspezifischen Bedürfnissen sind aufeinander abzustimmen. Dies unter Respektierung der Verfügungshoheit der Gemeinden über die Wasserressourcen.

Zur Planung effizienter und nachhaltiger Wasserinfrastrukturen fehlen vielerorts die entsprechenden Grundlagen; Informationsflüsse erfolgen oft unkoordiniert.

- Das Wasserdargebot (inkl. Charakterisierung der Quellen hinsichtlich ihrer Empfind-

[22], [27], [28],  
[44]

[27], [28], [30],  
[57]

[8], [52], [53]

[7], [15], [16],  
[21] - [23], [25] -  
[30], [44]

lichkeit gegenüber klimatischen Einflüssen, neu entstehende Seen), der Wasserverbrauch und die Entwicklung des Bedarfs der verschiedenen Nutzer müssen systematisch erfasst und analysiert werden; die Zusammenarbeit zwischen Gemeinden, Regionen und Kanton ist zu verbessern.<sup>4</sup>

→ Zwischen Kanton und Gemeinden sind Massnahmen zur kontinuierlichen Überwachung von Wasserquantität und –qualität zu erarbeiten. Die Potenziale zur effizienteren Erfassung und Bewirtschaftung der Daten durch alle beteiligten Partner (Kanton, Gemeinden, Private) sind zu nutzen.

3.11 Kurzfristig geht es darum, besser auf häufigere Situationen der Wasserknappheit und der verschärften Konkurrenz um die Ressource Wasser vorbereitet zu sein. Kleinräumige, sektorale Strukturen der Wasserwirtschaft sind schlechter auf solche Situationen vorbereitet als integrierte Netze auf regionaler Ebene.

→ Flexible Regeln zur Deckung der verschiedenen Bedürfnisse in Knappheitssituationen sind festzulegen (z.B. saisonal prioritäre<sup>5</sup> Nutzungen).

3.12 Studien belegen, dass neben den klimatischen vor allem die sozioökonomischen Entwicklungen für die Wasserversorgungssituation entscheidend sind.

→ Bei Entscheidungen zur Regionalentwicklung müssen sowohl sozio-ökonomische als auch klimatische Einflüsse auf Dargebot und Bedarf an Wasser berücksichtigt werden.

#### Auf kantonaler Ebene

3.13 Eine wichtige Aufgabe des Kantons besteht darin, die (Re-)Organisation der Wasserbewirtschaftung innerhalb und zwischen Gemeinden zu fördern, damit auf häufigere Situationen von Wasserknappheit rechtzeitig und angemessen reagiert werden kann.

→ Erarbeitung detaillierter Grundlagen zum Wasserkreislauf "von den Bergen bis zum Tal" (Art und Menge der Niederschläge, Stand und Veränderung ober- und unterirdischer Abflüsse und Speicher). Bestehende Messsysteme sind zu ergänzen.

→ Optimierte Nutzung der im Kanton vorhandenen Datenbanken mit Grundlagendaten zum Thema Wasserressourcen. Die Koordination zwischen den verschiedenen involvierten Stellen und die Inwertsetzung der verfügbaren Daten als Entscheidungshilfe sind zu verbessern.

→ Es ist sicherzustellen, dass neue Informationen zu Veränderungen von Wasserdargebot und –nachfrage (z.B. sich verändernde Bedarfsspitzen unter verschiedenen Szenarien) berücksichtigt werden, z.B. bei der Neuverhandlung der regionalen Wasserrechte ("Konzessionsablauf als Chance").

#### Generell

3.14 In nicht vergletscherten Gebieten sowie an Orten, wo die Gletschervolumen stark abgenommen haben, wo die Gletscher ganz abschmelzen oder wo die Speicherkapazität des Untergrunds gering ist (Karst), werden die zukünftigen Abflussverhältnisse insbesondere durch die Veränderung der Art der Niederschläge geprägt sein (höherer Anteil von Regen im Winter, frühere Schneeschmelze im Frühjahr, geringere Abflussmengen im Sommer). Die Variabilität der Abflüsse und des Grundwasserspiegels wird zunehmen. Die Verfügbarkeit von Wasser wird in Zukunft weniger berechenbar sein und die Abhängigkeit von künstlichen Wasserspeichern – z.B. Stauseen – vergrößert sich. Der Bedarf nach zusätzlichem Speicherraum für eine multifunktionale Nutzung und die Bedeutung der Mehr-

<sup>4</sup> z.B. im Rahmen der Umsetzung der Wasserstrategie des Kantons Wallis (Massnahmen A1: Informationsplattform Wasser; C1: Übersicht über die Trinkwasserversorgung in den Gemeinden)

<sup>5</sup> vgl. Wasserstrategie Kanton Wallis [44], S. 21: Prioritätenordnung bei notwendigen Interessenabwägungen

1. Trinkwasser

2. Schutz der Ressource Wasser / Schutz der Menschen vor (Wasser-)Naturgefahren

3. Inwertsetzung des Wassers für andere Zwecke

zwecknutzung bestehender Stauseen werden zunehmen.

Die traditionellen Regelungen zur Verteilung der Wasserressourcen (z.B. fixe, vom Zufluss unabhängige Nutzungsmengen) werden in solchen Gebieten nicht mehr ausreichen. Komplizierte rechtliche Verhältnisse wirken zusätzlich erschwerend.

→ Es braucht technische Anpassungen und eine umfassende Überarbeitung bzw. Vereinfachung der rechtlichen Grundlagen zur Wassernutzung.

→ Der Kenntnisstand zu den im Untergrund verfügbaren Wasserressourcen, die für die Wasserbewirtschaftung in Zukunft eine wichtige Rolle spielen könnten, ist zu verbessern.

3.15 Es mangelt an Wertschätzung für die Ressource Wasser. Vielerorts fehlt das Bewusstsein für die Grenzen der Nutzung.

→ Wichtige Verbrauchergruppen sind vermehrt zu informieren und zu sensibilisieren.

→ Massnahmen zur Reduktion des Wasserbedarfs resp. gegen Wasserverschwendung sollten zur Diskussion gestellt und umgesetzt werden (z.B. alternative bzw. optimierte Bewässerungssysteme; Wirkungsgrad der Beschneigungsanlagen; Sparpotenziale Hotellerie; Anpassung der Bezugspreise, Abgaben zur Finanzierung von Wasserprojekten).

## 4 – Naturgefahren

### Stand und Entwicklungstrends

#### Gefährliche Gletscher

4.1 Das schweizerische Inventar gefährlicher Gletscher erfasst 84 Gletscher, von denen 53 als gefährlich beurteilt werden. Als gefährlich gilt ein Gletscher, wenn nach heutiger Beurteilung in den nächsten 10 bis 20 Jahren Ereignisse möglich sind, die Schäden an Siedlungen, Verkehrsverbindungen, anderen Anlagen oder an durch den Menschen genutzten Flächen verursachen könnten. 32 der 53 gefährlichen Gletscher der Schweiz liegen im Kanton Wallis.

Mit dem Rückzug der Gletscher sind verschiedene Gefahren verbunden. Mit fortschreitendem Schwund der Gletscher nimmt die Gefährdung wieder ab.

[12], [30], [52],  
[53]

#### Murgänge

4.2 Die Murgangaktivität hängt im Wesentlichen ab von den Niederschlagsmustern sowie von der Verfügbarkeit von Feststoffen (freigesetztes Lockermaterial durch auftauenden Permafrost, Gletscherschwund und durch Moränenmaterial aufgestaute Seen an der Gletscherfront). Über die zukünftige Häufigkeit und das jahreszeitliche Auftreten von Starkniederschlägen als auslösende Faktoren können keine verlässlichen Aussagen gemacht werden.

[24], [25], [56] -  
[58], [61]

4.3 Der Anteil finanzieller Schäden durch Geschiebetransport (inkl. Schwemmholz) betrug 35% der gesamten Unwetterschäden in der Schweiz im Zeitraum zwischen 1972 und 2011. Der durchschnittliche Anteil der Geschiebeschäden für den Kanton Wallis beträgt 60%. 124 von 142 Walliser Gemeinden (= 87%) waren 1972-2011 von Geschiebeschäden betroffen. Die Variabilität von Jahr zu Jahr ist allerdings sehr gross. Das Unwetter von Brig im September 1993 trug rund 75% bei zur Gesamtsumme der Schäden durch Geschiebetransport im Wallis im untersuchten Zeitraum.

[20]

#### Hochwasser

4.4 Die grössten Hochwasser in alpinen Gebieten entstehen in den nordwestlich exponierten Voralpen und in der Südschweiz. In inneralpinen Tälern fallen Starkniederschläge weit geringer aus. In stark vergletscherten Gebieten sind Hochwasserspitzen selten. Solange die

[21], [44]

Gletscher schneebedeckt sind, wirkt die Vergletscherung dämpfend auf den Abfluss bei Starkniederschlägen.

4.5 Mit dem Rückgang der Gletscher, der Erhöhung der Schneegrenze sowie dem früheren Einsetzen der Schneeschmelze steigen die Spitzenabflüsse vorübergehend an und der Zeitraum mit erhöhten Abflüssen wird tendenziell länger (eher höhere Winterabflüsse, Abflussspitzen im Frühling/Anfang Sommer, Wassertiefstände im Sommer/Herbst) mit punktuellen Hochwasserspitzen aufgrund von Starkniederschlägen.

[7], [8], [21]

4.6 Starkniederschläge sind der wichtigste Auslöser für Hochwasser und Überschwemmungen. Die zukünftige Entwicklung von Starkniederschlagsereignissen ist ungewiss, möglicherweise werden diese längerfristig im Frühling und Herbst häufiger. Über die zukünftige Entwicklung von Hochwasserereignissen kann aus heutiger Sicht keine gesicherte Aussage gemacht werden.

[1], [57]

4.7 Das Grundwasserregime und die Grundwasserneubildung werden vor allem durch die Niederschläge, in geringerem Umfang auch durch die Pegelstände der Fliessgewässer beeinflusst (vgl. Ziffer 3.14). Bei Grundwasserhochstand sind vor allem die Gemeinden im Rhonetal gefährdet.

[21], [29]

#### Rutschungen

4.8 Starkniederschläge spielen auch als Auslöser für Rutschungen eine zentrale Rolle, insbesondere wenn sie auf bereits wassergesättigte Böden fallen. Die in Zukunft geringere Schneehöhe und die kürzere Dauer der Schneebedeckung dürften das Auftreten von Rutschungen – insbesondere im Frühjahr – begünstigen. Gleichzeitig könnten Rutschungen in Jahreszeiten, wo die Gesamtniederschlagsmenge abnimmt, seltener werden.

[21], [30], [56]

#### Felssturz/Steinschlag

4.9 Auftauender Permafrost erhöht die Wahrscheinlichkeit von Steinschlagaktivität. Mit zunehmendem Gletscherrückgang und fortschreitender Erwärmung steiler Permafrostflanken dürfte auch die Häufigkeit von Felsstürzen zunehmen. In Höhenlagen, wo infolge der Klimaerwärmung Frost-Tau-Zyklen häufiger werden, nimmt das Risiko von Sturzprozessen zu, falls die geologischen Voraussetzungen dazu gegeben sind. Umgekehrt sinkt das Risiko in tieferen Lagen, wo die Häufigkeit der Frost-Tau-Zyklen tendenziell abnimmt.

[30], [51], [56], [60]

#### Lawinen

4.10 Das Ausmass und die Häufigkeit von Lawinen dürften mittelfristig zumindest in den tieferen Lagen aufgrund des Anstiegs der Schneefallgrenze und der Zunahme des Anteils von Regen am Gesamtniederschlag eher abnehmen. Da Starkniederschläge in Zukunft häufiger im späten Herbst und in Frühjahr erwartet werden, ist aber nicht auszuschliessen, dass es in grösserer Höhe weiterhin zu intensiven Schneefällen und grossen Schadenlawinen kommt. Auch dürfte der Anteil an Nassschneelawinen in einem wärmeren Klima tendenziell zunehmen.

[51], [60], [61]

#### Handlungsbedarf/Handlungsoptionen

##### Gefährliche Gletscher

4.11 Neben Hochwasserereignissen durch Ausbrüche von Gletscherseen (durch Eis oder Moränen gestaute Seen) oder Wassertaschen (wassergefüllte Hohlräume im Gletscher) zählt der Abbruch von Eismassen an der Gletscherfront (auch in Gletscherseen, mit Flutwellen als möglicher Folge) zu den wichtigsten Gefahren.

[7], [13], [18], [19], [21], [26], [30], [32], [34], [37] - [42], [44], [47], [52], [59],

- Überwachung/Beobachtung von gefährlichen Gletschern<sup>6</sup> und Permafrostgebieten; Installation von Warnanlagen überall dort, wo ein relevantes Schadenpotenzial gegeben ist.

[61], [62]

4.12 Mit dem Abschmelzen der Gletscher werden Vertiefungen im Gelände freigelegt, in welchen neue Seen entstehen, die auch aus Sicht der Wasserkraftnutzung von Interesse sein könnten. Dieser Prozess konnte in den letzten Jahren bereits bei zahlreichen grossen Talgletschern beobachtet werden (z. B. Rhone-, Chüebodengletscher). Die Seen können Überschwemmungsrisiken im Unterlauf mit sich bringen (Fels-/Bergstürze in die Seen mit darauf folgenden Flutwellen). Die Auftretenswahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse ist allerdings klein.

- Massnahmen zur Gefährdungsreduktion, z.B. künstliche Abflüsse bei neu entstandenen Seen.

#### Murgänge/Felssturz/Steinschlag

4.13 Der Anstieg der Permafrostgrenze könnte zu Murgängen bisher ungekannten Ausmasses und an bisher von solchen Ereignissen nicht betroffenen Orten führen. Auch Felssturz und Steinschlag können neu in Gebieten auftreten, die bisher wenig betroffen waren. Nach heutiger Einschätzung wird für die Walliser Südtäler trotz des Anstiegs der Permafrostgrenze nicht mit einer Zunahme der Häufigkeit, aber möglicherweise mit einer Zunahme der Grösse von Murgängen gerechnet.

- Erstellung, Ergänzung bzw. periodische Aktualisierung von Gefahrenkarten hinsichtlich neuer Risiken ("Gefahrenerwartungszonen"), raumplanerische Sicherung von Risikogebieten.
- Technische Sicherung von Risikogebieten durch bauliche Schutzmassnahmen (Auffang-, Ablenkdamme, Mauern, Objektschutzmassnahmen, Erstellung von und Anpassungen an Geschiebesammlern, etc.; Berücksichtigung klimabedingter Entwicklungstendenzen bei der Dimensionierung).

#### Hochwasser/Rutschungen

4.14 Der Hochwasserschutz berücksichtigt mögliche Auswirkungen des Klimawandels noch kaum. Die allfällige Zunahme von Starkniederschlägen würde auch im Wallis das Risiko von Schäden durch Hochwasser an Gebäuden und Arealen erhöhen. Rutschungen können zusätzliches Material (z.B. Baumstämme) in Fliessgewässer transportieren und so dort die Risiken verschärfen.

- Mit dem Anstieg der Schneefallgrenze fällt Regen vermehrt in Gebieten, wo das Rückhaltevermögen des Bodens gering ist. Wo die saisonalen Spitzenabflüsse sinken, während gleichzeitig der Geschiebeeintrag zunimmt, werden mehr Sedimente abgelagert. Das Risiko von Überschwemmungen steigt, weil das Fassungsvermögen des Gerinnes kleiner wird.
- Nutzung von Stauseen als Mehrzweckspeicher, Festlegung zusätzlicher Rückhaltevolumen.
  - Je nach örtlichen Voraussetzungen, Anpassung des Unterhalts von Anlagen zur Wasserkraftnutzung an die sich verändernden Geschiebeeinträge.
  - Vorsorgliche Massnahmen beim Unterhalt der Bäche (Ausbaggern, Entfernen von Schwemmholz, Bekämpfung von Neophyten, die die Ufer destabilisieren).

#### Schutzwald/Lawinenschutz

4.15 Viele Wälder im Wallis werden zu wenig genutzt, sie sind zu dicht und weisen keine Struktur auf, die eine permanente Erneuerung der Schutzwirkung erlauben würde. Waldpflege und -nutzung sollten – z.B. durch gezielte Unterhaltsmassnahmen, die Förderung von an die zukünftigen Standortbedingungen angepassten Arten sowie Schutz vor Wild-

<sup>6</sup> Im Wallis gemäss Überwachungs-/Beobachtungskonzept [13] insbes. Goms, Mattertal, Lötschental, Aletsch, Saastal

verbiss – auf die Erreichung und dauerhafte Erhaltung der Schutzfunktion ausgerichtet sein.

Unter dem Einfluss des Klimawandels wird mittelfristig die Schutzwirkung von Wäldern gegen Steinschlag und Lawinen in tieferen Lagen abnehmen. Umstürzende Bäume in überalterten Beständen können zusätzlich zum Steinschlagrisiko beitragen. Trockenes Feinmaterial (Totholz) führt zu einer deutlichen Zunahme der Waldbrandgefährdung, insbesondere in den tieferen Lagen des Rhonetals. Waldbrände wirken sich negativ auf den Erosions- und Steinschlagschutz aus und die Wiederherstellung der Schutzfunktion kann hohe Folgekosten nach sich ziehen.<sup>7</sup>

- Intensivierte Bewirtschaftung und Pflege in Schutzwäldern, Förderung von trockenheitsresistenteren Baumarten, Schutz vor Wildverbiss.
- Massnahmen zur Verminderung des Waldbrandrisikos, Ausarbeitung bzw. Umsetzung von Notfallplänen zur Waldbrandbekämpfung.

## **5 – Folgerungen für die Anpassung**

### **5.1 Klimawandel: Ein Grund mehr für vorausschauendes Handeln**

Die Walliser Bevölkerung ist den Umgang mit Wasserknappheit und Naturgefahren gewohnt. Der Klimawandel wird nach heutigem Kenntnisstand kurz- bis mittelfristig keine dramatischen Auswirkungen auf die Verfügbarkeit von Wasser und die Naturgefahrensituation haben. Es ist darum verständlich, dass in der Öffentlichkeit und in der Politik bisher kaum ein Handlungsbedarf wahrgenommen wurde.

Allerdings nehmen dort, wo Bevölkerung oder Wirtschaft stark wachsen, der Druck auf die Ressource Wasser und die Risikoexposition gegenüber Naturgefahren zu. Der Klimawandel verschärft vor allem in diesen Gebieten den bestehenden Handlungsbedarf und liefert zusätzliche Argumente, um vorausschauend zu handeln.

Die Tragweite möglicher Auswirkungen ist stark davon abhängig, ob langfristig wirksame Entscheide (z.B. Waldbewirtschaftung, Ausbau von Infrastrukturen, Planung der Wasserbewirtschaftung, Dimensionierung von Gefahrenzonen) den potenziellen Chancen und Risiken des Klimawandels Rechnung tragen.

Kurzfristig ist es einerseits wichtig, das Bewusstsein für die mittel- und längerfristigen Folgen zu verbessern. Nur so wird der Handlungsbedarf rechtzeitig erkannt. Andererseits geht es darum, Synergiepotenziale zu nutzen: Aktuelle Vorhaben in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren können oft mit geringem Zusatzaufwand an die heute absehbaren Folgen des Klimawandels angepasst werden.

Eine lokale und sektorale Perspektive reicht aber oft nicht aus, um vorhandene Synergiepotenziale zu erkennen. Eine regionale, Sektoren übergreifende Betrachtung und ein breit abgestütztes Vorgehen, bei dem Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten und Kompetenzen stufengerecht zwischen Privaten, Gemeinden, Regionen und Kanton aufgeteilt sind, bieten dafür bessere Voraussetzungen.

### **5.2 Wassernutzung: Auf Erfahrung aufbauen – neue Realitäten berücksichtigen**

Traditionelle Formen der Wasserbewirtschaftung haben sich während Jahrhunderten bewährt. In Zukunft werden sie aber nicht mehr ausreichen, denn

- der Wasserbedarf steigt in Gebieten, die sich sozioökonomisch stark entwickeln und wo die Auswirkungen des Klimawandels zunehmen; Knappheitssituationen werden häufi-

[21], [22], [26] -  
[28], [34]

[22], [23], [25] -  
[28], [46], [57]

<sup>7</sup> Gesamtkosten bis 2007 für Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren und zur Pflege des Jungwalds nach dem Waldbrand von Leuk im Jahr 2003: ca. CHF 2,5 Mio.

- ger und die Konkurrenz um die Ressource Wasser wächst;
- Veränderungen in Wasserdargebot und -nachfrage erfordern die Neuregelung der Verteilung und die situationsangepasste, gezielte Verwendung als Trink-, Brauch-, Lösch- bzw. Bewässerungswasser;
- die optimale Planung der Wasserinfrastrukturen und die effiziente Nutzung der Wasserressourcen bedingt eine koordinierte, überkommunale Organisation der Wasserbewirtschaftung.

Eine gut für zukünftige Herausforderungen gerüstete Wasserbewirtschaftung

- baut auf der vorhandenen Erfahrung im Umgang mit lokalen und saisonalen Situationen der Wasserknappheit auf;
- hinterfragt althergebrachte Regelungen aufgrund der Entwicklung von einer landwirtschaftlich geprägten zu einer Industrie-, Dienstleistungs- und Konsumgesellschaft;
- regelt die Wassernutzung so, dass sie auch den zukünftigen Bedürfnissen aller Anspruchsgruppen gerecht wird und zur Vermeidung von Konflikten beiträgt;
- strebt eine regional organisierte Wasserbewirtschaftung an und nutzt die Synergiepotenziale, die durch Zusammenarbeit und Vernetzung entstehen;
- geht von einem passiven Management des Dargebots ("man nimmt, was man hat"), zu einem proaktiven Management des Verbrauchs über;
- sucht nach Möglichkeiten zur sparsameren, koordinierten Nutzung von Wasser, im Wissen, dass das Angebot nicht beliebig ausgebaut werden kann;
- ist sich bewusst, dass die Wasserbewirtschaftung nebst der lokalen zunehmend eine regionale, nationale, bis hin zu einer internationalen Dimension hat (Wasserrückhalt bei Hochwasser, Wasserbevorratung bei Knappheitssituationen);
- nutzt sich bietende Gelegenheitsfenster (z.B. Neukonzessionierungen von Wasserkraftanlagen), um auch langfristig tragfähige Lösungen für den Umgang mit Wasser – insbesondere die Mehrfachnutzung von Speicherräumen – zu finden;
- informiert und sensibilisiert Öffentlichkeit und besonders betroffene Kreise für die anstehenden Herausforderungen und zieht diese frühzeitig in Planungsprozesse mit ein.

### 5.3 Naturgefahren: Neue Unsicherheiten bewältigen

In einer von Gefahren und Risiken geprägten Umwelt, wie sie für alpine Lebensräume typisch ist, gehört vorausschauendes Handeln zum Alltag. Auch der Klimawandel ist ein Prozess, der es notwendig macht, mit Gefahren und Risiken umzugehen und auf unerwartete Ereignisse vorbereitet zu sein. Bei der Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels kann an verschiedene Prinzipien, die sich als Leitplanken im Umgang mit Naturgefahren bewährt haben, angeknüpft werden:

- Entscheidungsgrundlagen bereitstellen und verbessern (Interpretation von Ereignissen der jüngeren Vergangenheit im Lichte des Klimawandels seit 1850, Beobachtung/Dokumentation aktueller Trends, Austausch der erfassten Daten).
- Krisensituationen analysieren und aus Erfahrungen lernen; Öffentlichkeit und besonders betroffene Kreise einbeziehen.
- Periodische Neubeurteilung von Risiken und Strategien, insbesondere wenn neue Erkenntnisse zum Klimawandel verfügbar werden (z.B. für Gebiete, wo schwindender Permafrost zu neuen Schadenpotenzialen führt).
- Mittelfristige Auswirkungen des Klimawandels auch im Rahmen von Planungsprozessen berücksichtigen (z.B. Revision der Ortsplanung, Ausbau von Verkehrswegen).
- Unterschiedliche Handlungsalternativen evaluieren (technisch-baulich, biologisch, organisatorisch, planerisch) und erproben, gleichzeitig den Handlungsspielraum durch anpassbare, flexible Lösungen wahren.

[26], [30], [34],  
[61]

- Worst-case-Szenarien prüfen und robuste Lösungen erarbeiten, die den Überlastfall mit einbeziehen.
- Gefahrenstellen überwachen, Warnsysteme aufbauen und betroffene Kreise (inkl. Touristen) informieren und für angepasstes Verhalten sensibilisieren.
- Waldbewirtschaftung stärker an den Anforderungen eines wirksamen und dauerhaften Schutzes vor Naturgefahren ausrichten.

#### 5.4 Bewusstsein für gefährdete Leistungen der Natur stärken

[34], [39], [46]

Ein bewusster Umgang mit den Folgen des Klimawandels bedeutet auch zu verstehen, was natürliche Ökosysteme und naturräumliche Gegebenheiten im Interesse von Gesellschaft und Wirtschaft leisten. Beispiele sind die Schutzfunktion von Wäldern oder die Ausgleichs- und Speicherfunktion von Schnee und Eis.

Der Wegfall solcher Leistungen kann nicht nur zu hohen Kosten führen, er erhöht (im Falle des Wassers) auch das Konfliktpotenzial zwischen verschiedenen Anspruchsgruppen, die um knapper werdende Ressourcen konkurrieren. Zur Anpassung an den Klimawandel gehört darum auch eine höhere Wertschätzung der Leistungen, die die Natur erbringt und deren Berücksichtigung bei der Abwägung zwischen kurz- und langfristigen Interessen.

#### 5.5 Heute für morgen handeln

[25] - [29], [57]

Wichtige Planungs- und Investitionsentscheide können heute ohne grossen Zusatzaufwand so gefällt werden, dass die absehbaren Folgen des Klimawandels berücksichtigt sind. Dazu braucht es aber ein minimales Problembewusstsein und Engagement, sowohl auf kantonaler als auch auf kommunaler Ebene.

##### Ebene Kanton

Generell ist es Sache des Kantons, die notwendigen Grundlagen für die Planung von Schutzmassnahmen sowie für die Wasserbewirtschaftung bereitzustellen. Dabei sind auch längere Zeithorizonte, wie sie mit dem Klimawandel verbunden sind, einzubeziehen. Zeitlich und räumlich gut aufgelöste Datenreihen sind eine notwendige Voraussetzung, um zweckmässige Strategien umsetzen zu können.

Mit seiner Wasserstrategie hat der Kanton Wallis verschiedene Ziele und Massnahmen formuliert, um den Umgang mit Wasser zu lenken und zu koordinieren. Er kann die Gemeinden bei der Planung der Bewirtschaftung der Gewässer durch Beratung, Subventionen, Auflagen etc. unterstützen und Anreize setzen für die vermehrte gemeindeübergreifende Zusammenarbeit – bis hin zur gemeinsamen Infrastrukturplanung und -nutzung innerhalb der Wassereinzugsgebiete.<sup>8</sup>

Auch beim Hochwasserschutz kann der Kanton die Gemeinden verstärkt darin unterstützen, den Unterhalt der Gewässer (z.B. Beseitigung von Schwemmholz) sicherzustellen, bauliche Schutzmassnahmen zu ergreifen, im regionalen Rahmen koordiniert vorzugehen und Synergiepotenziale zu nutzen. Zudem kommt ihm eine wichtige Rolle bei Vereinbarungen zur Mehrfachnutzung von Stauseen zu (Konzessionsverträge mit den Eigentümern der Wasserkraftwerke).

Schliesslich kann der Kanton als Genehmigungsinstanz der kommunalen Nutzungspläne, bei der Prüfung kommunaler Pläne für die Bewältigung von Risiken wie Hochwasser, Waldbrand, etc. sowie durch die allfällige Anpassung von Bau- und Nutzungsvorschriften auf die Berücksichtigung klimabedingter Risiken Einfluss nehmen.

##### Ebene Gemeinden

Die Gemeinden des Kantons Wallis verfügen über eine grosse Autonomie, insbesondere was den Umgang mit der Ressource Wasser betrifft. Damit tragen sie eine hohe Verantwortung für die Befriedigung der verschiedenen Nutzerbedürfnisse, auch unter sich an-

<sup>8</sup> vgl. Wasserstrategie Kanton Wallis [44], S. 23-24



dernden Klimabedingungen.

Die Gemeinden sind aufgrund der klimatischen, hydrologischen, geologischen und topographischen Voraussetzungen sehr unterschiedlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Sowohl die Verfügbarkeit von Wasser als auch der Bedarf an Wasser unterscheiden sich räumlich bereits heute stark. Beide Faktoren werden sich in den nächsten Jahrzehnten je nach örtlicher Situation sehr verschieden entwickeln.

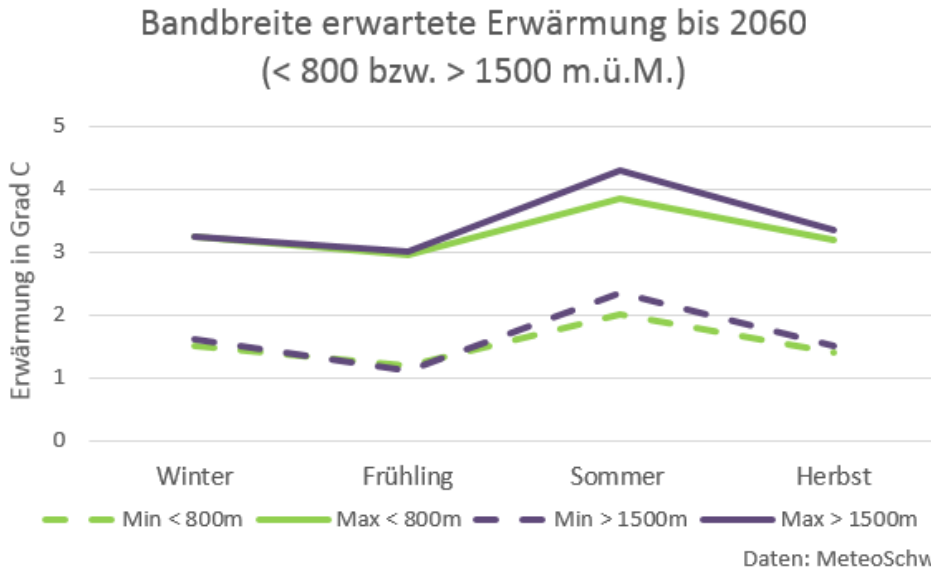
Auch die Betroffenheit durch Naturgefahren variiert von Ort zu Ort stark. Je nach lokaler Situation stellen Lawinen und Steinschlag, Rutschungen und Murgänge, Hochwasser oder Waldbrände das grösste Risiko dar. Die Bedeutung der einzelnen Gefahren dürfte sich in Abhängigkeit von den lokalen Voraussetzungen im Verlauf des 21. Jahrhunderts deutlich verändern.

Es ist darum wichtig, dass die Gemeinden bewusst mit den Risiken des Klimawandels umgehen. Aufgrund des heutigen Kenntnisstands kommt der verstärkten Zusammenarbeit über die Gemeindegrenzen hinweg und mit dem Kanton in Zukunft steigende Bedeutung zu.

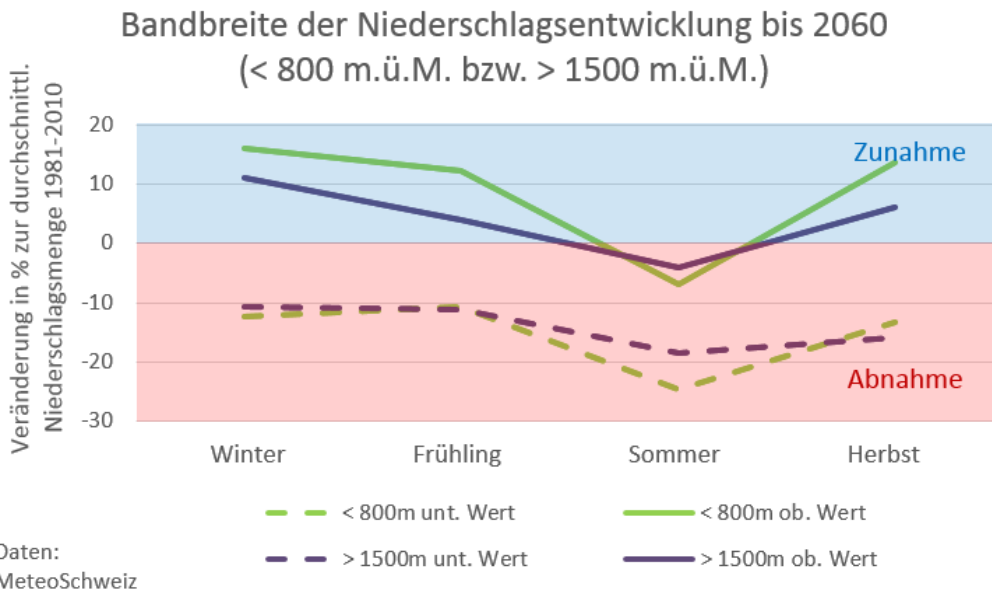
Anhang

**A) Temperatur- und Niederschlagsentwicklung bis 2060 (2045-2074, Szenario A1B)**

Dargestellt sind die untere und obere Schätzung der erwarteten Abweichungen vom langjährigen Mittelwert für 2045-2074. Grundlage sind je 4 Stationen, die unter 800 m.ü.M. bzw. über 1500 m.ü.M. gelegen sind (tief gelegene Stationen = Aigle, Sion, Visp, Fey; hoch gelegene Stationen: Blatten, Zermatt, Evolène, Col du Grand St-Bernard).



**Abbildung 1** Für den Zeithorizont 2060 (langjähriger Durchschnitt der Periode 2045-2074) dürfte der Anstieg der Durchschnittstemperaturen im Schweizer Rhonetal gegenüber der Normperiode 1981-2010 ohne entschlossenes, koordiniertes Handeln auf internationaler Ebene (= Szenario A1B des IPCC) unabhängig von der Höhenlage zwischen 1 und 3 Grad C im Frühling und zwischen 2 und 4 Grad C im Sommer liegen. Nur im Sommer zeigt sich ein leichter Unterschied des Temperaturanstiegs in Abhängigkeit von der Höhenlage.



**Abbildung 2** Für den Zeithorizont 2060 (langjähriger Durchschnitt der Periode 2045-2074) sind keine eindeutigen Aussagen über die Entwicklung der jahreszeitlichen Niederschlagsmengen gegenüber der Normperiode 1981-2010 möglich, mit Ausnahme des Sommers (Juni – August), wo besonders ausgeprägt in tieferen Lagen, aber auch in hohen Lagen mit einer Abnahme der Niederschlagssummen um rund 5% bis rund 20% gerechnet wird. In den anderen Jahreszeiten ist aufgrund des heutigen Kenntnisstands sowohl eine Zu- als auch eine Abnahme der Niederschlagssummen möglich.

**B) Normwerte (Durchschnitt der Periode 1981-2010) an Messstationen von MeteoSchweiz im Rhonetal**

**Tabelle 1: Hitzetage (Tage mit Maximum 30°C oder höher) / Maximale mittlere Juli-Temperatur**

Höhe (m.ü.M.)	Messstation	Durchschnittl. Anzahl Hitzetage pro Jahr, 1981-2010	Mittelwert der täglichen Maximum-Temperaturen im Juli, 1981-2010
381	Aigle	3.1	24.7
482	Sion	16.0 <sup>1</sup>	27.0
639	Visp	15.4 <sup>2</sup>	26.7
1345	Ulrichen	0.3	21.5
1427	Montana	0.1	20.5
1538	Blatten	0.1	20.5
1605	Grächen	0.1	21.1
1638	Zermatt	0.1	19.9
1825	Evolène / Villa	0.0	17.7
2472	Col du Grand St-Bernard	0.0	11.5

<sup>1</sup> höchster Wert aller Messstationen von MeteoSchweiz

<sup>2</sup> dritthöchster Wert aller Messstationen von MeteoSchweiz

**Tabelle 2: Frosttage (Tage mit Minimum tiefer als 0°C) / Eistage (Tage mit Maximum tiefer als 0°C)**

Höhe (m.ü.M.)	Messstation	Durchschnittl. Anzahl Frosttage pro Jahr, 1981-2010	Durchschnittl. Anzahl Eistage pro Jahr, 1981-2010
381	Aigle	77.7	6.7
482	Sion	93.6	7.6
639	Visp	113.6	19.3
1345	Ulrichen	192.9	52.6
1427	Montana	148.6	36.2
1538	Blatten	204.4	44.6
1605	Grächen	138.7	27.4
1638	Zermatt	178.2	44.8
1825	Evolène / Villa	162.1	51.0
2472	Col du Grand St-Bernard	237.6	146.9

**C) Normwerte im Vergleich zur erwarteten Entwicklung aufgrund von Klimaszenario A1B**

**Tabelle 3: Saisonales Temperaturmittel im Winter 1981-2010 und 2045-2074 (DJF = Dez. – Jan. – Feb.)**

Höhe (m.ü.M.)	Messstation	Mittelwerte der Temperatur DJF, 1981-2010	Erwartete Mittelwerte DJF, 2045-2074
381	Aigle	1.5	2.9 – 4.8
482	Sion	0.8	2.3 – 4.0
639	Visp	-0.2	1.4 – 3.1
1345	Ulrichen	-6.5	-5.1 – -3.4
1427	Montana	-1.5	0.1 – 1.8
1538	Blatten	-5.2	-3.6 – -1.9
1638	Zermatt	-3.7	-2.1 – -0.4
1825	Evolène / Villa	-2.5	-0.9 – 0.7
2472	Col du Grand St-Bernard	-7.1	-5.5 – -3.9

**Tabelle 4: Saisonales Temperaturmittel im Sommer 1981-2010 und 2045-2074 (JJA = Juni – Juli – August)**

Höhe (m.ü.M.)	Messstation	Mittelwerte der Temperatur JJA, 1981-2010	Erwartete Mittelwerte JJA, 2045-2074
381	Aigle	18.2	20.0 – 21.7
482	Sion	19.1	21.2 – 23.1
639	Visp	18.4	20.4 – 22.3
1345	Ulrichen	13.2	15.4 – 17.3
1427	Montana	13.7	15.9 – 17.8
1538	Blatten	12.1	14.3 – 16.2
1638	Zermatt	12.4	14.7 – 16.6
1825	Evolène / Villa	11.5	13.9 – 15.8
2472	Col du Grand St-Bernard	7.0	9.5 – 11.5

**Tabelle 5: Niederschlagssumme im Sommer 1981-2010 und 2045-2074 (JJA = Juni – Juli – August)**

Höhe (m.ü.M.)	Messstation	Durchschnittl. Niederschlagssumme JJA, 1981-2010	Erwartete Niederschlagssumme JJA, 2045-2074
381	Aigle	323	229 – 293
482	Sion	169 <sup>1</sup>	129 – 158
639	Visp	132 <sup>2</sup>	103 – 126
1345	Ulrichen	275	223 – 271
1538	Blatten	274	225 – 265
1638	Zermatt	187	151 – 181
1825	Evolène / Villa	239	193 – 228
2472	Col du Grand St-Bernard	430	355 – 407

<sup>1</sup> Messstation der MeteoSchweiz mit der drittiefsten Jahresniederschlagssumme (603mm/Jahr)

<sup>2</sup> Messstation der MeteoSchweiz mit der zweittiefsten Jahresniederschlagssumme (596mm/Jahr)

Die Station mit der tiefsten durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme ist Ackersand (Gemeinde Stalden) mit 545mm/Jahr.

**Informationen von MeteoSchweiz zu den im Anhang verwendeten Daten zur Klimaentwicklung**

Bei der Verwendung der Daten sollten folgende Limitierungen beachtet werden:

- Lokale klimatische Effekte in Alpentälern und lokale Rückkopplungen können von Klimamodellen nicht wiedergegeben werden. Die Modelle sind auch nicht in der Lage, die Höhe der Alpen ausreichend genau wiederzugeben. Aussagen für hohe Lagen und Alpentäler sind deshalb mit einer besonders grossen Unsicherheit behaftet.
- Die gezeigten Temperatur- oder Niederschlagsänderungen repräsentieren den langjährigen Mittelwert, positive und negative jährliche Schwankungen um diesen Mittelwert werden aber nach wie vor Teil des zukünftigen Klimas sein. Änderungen dieser jährlichen Schwankungen, Änderungen in der Abfolge von Ereignissen oder Änderungen in Extremen werden mit dem Ansatz hier nicht berücksichtigt.
- Beim Verwenden von Temperatur- und Niederschlagsänderungen ist keine Kombination von unterer oder oberer Schätzung am wahrscheinlichsten. Das bedeutet, dass beispielsweise keine Aussage darüber gemacht werden kann, ob die obere Schätzung der Temperaturänderung wahrscheinlicher mit der oberen oder mit der unteren Schätzung der Niederschlagsänderung auftritt.
- Das zukünftige Klima kann von Jahreszeit zu Jahreszeit mit gleicher Wahrscheinlichkeit der oberen oder der unteren Schätzung folgen.

*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*

**Verwendete Quellen (gemäss Verweisen im Text)**

1	MeteoSchweiz	Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht, Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 243	2013
2	MeteoSchweiz	Daten saisonale Temperaturmittel und Niederschlagssummen. Internes Datenfile im Rahmen des Pilotprogramms 'Anpassung an den Klimawandel' (in Ergänzung zum MeteoSchweiz-Fachbericht Nr. 243)	2015
3	MeteoSchweiz	Klima-Normwerte <a href="http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimanormwerte.html">http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimanormwerte.html</a> (Zugriff: 30.05.2016)	2015
4	MeteoSchweiz	Klima-Indikatoren <a href="http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html">http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html</a> (Zugriff: 30.05.2016)	2015
5	Bosshard, Thomas et al.	Lokale Klimaszenarien für die Klimaimpaktforschung in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.267-272	2011
6	Kotlarski, Sven	Wärmer und weniger Schneefall. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.48f	2012
7	Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.)	Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt "Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro). BAFU-Reihe Umwelt-Wissen Nr. 1217	2012
8	SGHL und CHy (Hrsg.)	Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38	2011
9	VAW (ETHZ)	VAW Gletscher- und Abflussveränderungen im Zeitraum 1900-2100 in sieben Einzugsgebieten der Schweiz. VAW-Teilprojekt von CCHydro. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (unveröffentlicht)	2011
10	Fischer, Mauro et al.	Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980–2010. In: The Cryosphere Discuss., 8, pp.4581-4617	2014
11	VAW (ETHZ)	Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900-2100 – Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. Fachbericht. Im Auftrag von Kanton Wallis (Dienststelle für Energie und Wasserkraft) und Forces Motrices Valaisannes FMV SA	2011
12	VAW (ETHZ)	Naturgefahren Gletscher. Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. <a href="http://glaciology.ethz.ch/inventar/inventar.html">http://glaciology.ethz.ch/inventar/inventar.html</a> (Zugriff: 16.02.2015)	2015
13	Schnyder, Benedikt	Zum Überwachungs-/Beobachtungskonzept gefährlicher Gletscher im Wallis. Teilbeitrag. Berichterstattung nach dem achten Beobachtungsjahr 2013	2013
14	VAW (ETHZ)	Gletscher- und Abflussentwicklung im südöstlichen Einzugsgebiet des Kraftwerks Emosson 1933-2100. Im Auftrag der Electricité d'Emosson SA (unveröffentlicht)	2014
15	Canton du Valais - Programme Opérationnel de Coopération Transfrontalière Italie-Suisse 2007-2013 INTERREG	Projet STRADA – Stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques naturels. Action 3.2 : Gestion et monitoring des sources de montagne, Rapport final	2014
16	Christe, Pierre et al.	Global warming in the Alps: vulnerability and climatic dependency of alpine springs in Regione Valle d'Aosta (Italy) and Canton Valais (Switzerland). In: European Geologist 05/2013; EGM(35), pp.64-69	2013
17	Raymond Pralong, Mélanie et al.	Klimaänderung und Wasserkraft. Auswirkung der Klimaänderung auf die Geschiebefracht – Sektorielle Studie Wallis. Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung, Modul D	2011
18	Raymond Pralong, Mélanie et al.	Auswirkungen der Klimaänderung auf die Geschiebefracht in Einzugsgebieten von Kraftwerksanlagen im Kanton Wallis. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.278-285	2011
19	IDEALP Ing. Sàrl et al.	Gewässersanierung Kanton Wallis. Präsentation für die Gemeinden. Einzugsgebiet Vispa und Anniviers. <a href="http://slideplayer.org/slide/914584/">http://slideplayer.org/slide/914584/</a> (Zugriff: 30.05.2016)	nicht dat.
20	Andres, Norina et al.	Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 106. Jg., Heft 3, pp.210-214	2014

*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*

21	Björnsen Gurung, Astrid et al.	Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"	2014
22	Lanz, Klaus et al.	Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"	2014
23	European Environment Agency EEA	Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Report No 8/2009	2009
24	Beniston, Martin et al.	Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1129–1137	2013
25	Hill Clarvis, Margot et al.	Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhone basin. In: Environ Sci Pol, Vol. 43, pp.56–67	2013
26	Beniston, Martin et al.	Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? In: Environ Sci Pol, Vol. 14, pp.734–743	2011
27	Weingartner, Rolf et al.	MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel – Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61	2014
28	Reynard, Emmanuel et al.	Projet MontanAqua: Les principaux résultats – où comment communiquer avec les acteurs locaux. In: Aqua & Gas No11/2014, pp.50-57	2014
29	Christe, Pierre	Plate-forme hydrogéologique cantonale STRATES-VS : Saisie, Traitement, Référencement et Accès aux informations relatives à la Terre et aux Eaux Souterraines en Valais (Rapport technique SPE/DTEE)	2015
30	econcept AG	Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet. Fallstudie Saastal. Schlussbericht	2011
31	Fatichi, Simone et al.	Does internal climate variability overwhelm climate change signals in streamflow? The upper Po and Rhone basin case studies. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1171–1182	2013
32	Delaloye, Reynald et al.	Blockgletscher und Hangrutschungen in Permafrostgebieten. Projekt "Mattertal" (2009-2013) - Gemeinde St.-Niklaus und Randa. Abschlussbericht 2013 vom 31.01.2014	2014
33	Brang, Peter et al.	Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Synthese der ersten Programmphase 2009 - 2011. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU	2012
34	Bebi, Peter et al.	Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht im Rahmen des Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel". Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU	2012
35	Rigling, Andreas et al.	Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp. In: Schweiz Z Forstwes 163 (2012) 12, pp.481–492	2012
36	Rigling, Andreas et al.	Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Forum für Wissen, pp.23–33	2006
37	Kanton Wallis	Führer durch den Walliser Wald. Dienststelle für Wald und Landschaft (Hrsg.)	2014
38	Kanton Wallis	Wald und Klimawandel im Wallis. Dienststelle für Wald und Landschaft (Hrsg.)	2015
39	WSL (Hrsg.)	Schutzwald – Kostengünstig und naturnah: Über 40 Prozent des Schweizer Waldes schützt vor Naturgefahren. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 1 2013, pp. 10-13	2013
40	WSL (Hrsg.)	Klimawandel – Zunehmende Trockenheit hinterlässt Spuren im Walliser Wald. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 2 2013, pp. 16-20	2013
41	WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Hrsg.)	Schutzwald und Klimawandel <a href="http://www.slf.ch/ueber/organisation/oekologie/gebirgsoekosysteme/projekt_e/wald_und_klimawandel/index_DE">www.slf.ch/ueber/organisation/oekologie/gebirgsoekosysteme/projekt_e/wald_und_klimawandel/index_DE</a> (Zugriff: 30.05.2016)	2015
42	Wohlgemuth, Thomas et al.	Leben mit Waldbrand. Merkblatt für die Praxis Nr. 46. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL	2010
43	Oeschger Centre for Climate Change Research OCCR et al. (Hrsg.)	CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland	2014

*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*

44	Staatsrat des Kantons Wallis	Wasserstrategie des Kantons Wallis. Herausforderungen, Ziele, Stossrichtungen und Massnahmen. Schlussbericht der "Steuerungsgruppe Wasser Wallis" zuhanden des Staatsrates	2013
45	Engesser, Roland et al.	Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. In: Schweiz Z Forstwes 159 (2008) 10, pp.344–351	2008
46	Huber, Robert et al.	Sustainable Land Use in Mountain Regions Under Global Change: Synthesis Across Scales and Disciplines. In: Ecology and Society 18(3): 36	2013
47	Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern AUE	Adaptationsstrategie Klimawandel Kanton Bern. Grundlagenbericht. Wirkungen, Folgen und Handlungsfelder im Überblick, Schlussbericht vom 21. Dezember 2010	2010
48	Marty, Christoph et al.	Schneegrenze steigt um 500 Meter. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.50-51	2012
49	Fischer, Andreas et al.	CH2011 Extension Series No 2: Climate scenarios of seasonal means: extensions in time and space; in revision.	2015
50	Volken, David	Mesoklimatische Temperaturverteilung im Rhone- und Vispental, Diss. ETH Zürich Nr. 17705	2008
51	Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU	Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 zur kantonalen Klimastrategie	2015
52	Haerberli, Wilfried et al.	Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge. Chancen und Risiken. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61	2013
53	Haerberli, Wilfried et al.	Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen. Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft. In: Wasser Energie Luft, 104. Jg., Heft 2, pp.93-102	2012
54	Fischer, Mauro et al.	The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. In: Arctic, Antarctic and Alpine Research, 46(4), pp.933-945	2014
55	Farinotti, Daniel et al.	Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900–2100. Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.273-278	2011
56	Stoffel, Markus et al.	Effects of climate change on mass movements in mountain environments. In: Progress in Physical Geography 36(3) pp.421–439	2012
57	Beniston, Martin et al. (Hrsg.)	Assessing climate impacts on the quantity and quality of water. The EU/FP7 ACQWA Project Science and Policy Brief. University of Geneva	2013
58	Stoffel, Markus et al.	Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. In: Climatic Change (2014) 122, pp.141–155	2014
59	Gobiet, Andreas et al.	21st century climate change in the European Alps – A review. In: Sci Total Environ 493 (2014), pp.1138–1151	2014
60	Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.)	Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri	2015
61	AG NAGEF	Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern, Amt für Wald (KAWA)	2015
62	Geotest AG / econcept AG	Strategien zur Geschiebemanagement im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Schlussbericht im Rahmen des Pilotprogramms "Anpassung an den Klimawandel" des BAFU	2015

## **Verwendete Quellen (alphabetisch)**

- AG NAGEF (2015): Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen. Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern, Amt für Wald (KAWA)
- Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern AUE (2010): Adaptationsstrategie Klimawandel Kanton Bern. Grundlagenbericht. Wirkungen, Folgen und Handlungsfelder im Überblick, Schlussbericht vom 21. Dezember 2010
- Amt für Natur und Umwelt Graubünden ANU (2015): Klimawandel Graubünden. Analyse der Risiken und Chancen. Arbeitspapier 3 zur kantonalen Klimastrategie
- Andres, Norina et al. (2014): Schäden durch Geschiebetransportprozesse in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 106. Jg., Heft 3, pp.210-214
- Bebi, Peter et al. (2012): Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels. Schlussbericht im Rahmen des Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel". Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU
- Beniston, Martin et al. (2011): Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? In: Environ Sci Pol, Vol. 14, pp.734–743
- Beniston, Martin et al. (2013): Assessing the impacts of climatic change on mountain water resources. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1129–1137
- Beniston, Martin et al. (Hrsg.) (2013): Assessing climate impacts on the quantity and quality of water. The EU/FP7 ACQWA Project Science and Policy Brief. University of Geneva
- Björnsen Gurung, Astrid et al. (2014): Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"
- Bosshard, Thomas et al. (2011): Lokale Klimaszenarien für die Klimaimpaktforschung in der Schweiz. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.267-272
- Brang, Peter et al. (2011): Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Synthese der ersten Programmphase 2009 - 2011. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL & Bundesamt für Umwelt BAFU
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2012): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt "Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro). BAFU-Reihe Umwelt-Wissen Nr. 1217
- Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.) (2015): Klimabedingte Risiken und Chancen 2060. Regionale Fallstudie Kanton Uri
- Canton du Valais - Programme Opérationnel de Coopération Transfrontalière Italie-Suisse 2007-2013 INTERREG (2014): Projet STRADA – Stratégie d'adaptation aux changements climatiques pour la gestion des risques naturels. Action 3.2 : Gestion et monitoring des sources de montagne, Rapport final
- Christe, Pierre et al. (2013): Global warming in the Alps: vulnerability and climatic dependency of alpine springs in Regione Valle d'Aosta (Italy) and Canton Valais (Switzerland). In: European Geologist 05/2013; EGM(35), pp.64–69
- Christe, Pierre (2015): Plate-forme hydrogéologique cantonale STRATES-VS : Saisie, Traitement, Référencement et Accès aux informations relatives à la Terre et aux Eaux Souterraines en Valais (Rapport technique SPE/DTEE)
- Delaloye, Reynald et al. (2014): Blockgletscher und Hangrutschungen in Permafrostgebieten. Projekt "Mattertal" (2009-2013) - Gemeinde St.-Niklaus und Randa. Abschlussbericht 2013 vom 31.01.2014
- econcept AG (2011): Anpassung an die Klimaänderung im Berggebiet. Fallstudie Saastal. Schlussbericht
- Engesser, Roland et al. (2008): Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. In: Schweiz Z Forstwes 159 (2008) 10, pp.344–351



*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*

- European Environment Agency EEA (2009): Regional climate change and adaptation. The Alps facing the challenge of changing water resources. EEA Report No 8/2009
- Farinotti, Daniel et al. (2011): Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900–2100. Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.273-278
- Fatichi, Simone et al. (2013): Does internal climate variability overwhelm climate change signals in streamflow? The upper Po and Rhone basin case studies. In: Sci Total Environ, Vol. 493, pp.1171–1182
- Fischer, Andreas et al. (2015): CH2011 Extension Series No 2: Climate scenarios of seasonal means: extensions in time and space; in revision
- Fischer, Mauro et al. (2014): Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980–2010. In: The Cryosphere Discuss., 8, pp.4581-4617
- Fischer, Mauro et al. (2014): The new Swiss Glacier Inventory SGI2010: Relevance of using high-resolution source data in areas dominated by very small glaciers. In: Arctic, Antarctic and Alpine Research, 46(4), pp.933-945
- Geotest AG / econcept AG (2015): Strategien zur Geschiebemanagement im Zusammenhang mit dem Klimawandel. Schlussbericht im Rahmen des Pilotprogramms "Anpassung an den Klimawandel" des BAFU
- Gobiet, Andreas et al. (2014): 21st century climate change in the European Alps – A review. In: Sci Total Environ 493 (2014), pp.1138–1151
- Haerberli, Wilfried et al. (2012): Gletscherschwund und neue Seen in den Schweizer Alpen. Perspektiven und Optionen im Bereich Naturgefahren und Wasserkraft. In: Wasser Energie Luft, 104. Jg., Heft 2, pp.93-102
- Haerberli, Wilfried et al. (2013): Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge. Chancen und Risiken. Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61
- Hill Clarvis, Margot et al. (2013): Governing and managing water resources under changing hydro-climatic contexts: The case of the upper Rhone basin. In: Environ Sci Pol, Vol. 43, pp.56–67
- Huber, Robert et al. (2013): Sustainable Land Use in Mountain Regions Under Global Change: Synthesis Across Scales and Disciplines. In: Ecology and Society 18(3), p.36
- IDEALP Ing. Sàrl et al. (n.dat.): Gewässersanierung Kanton Wallis. Präsentation für die Gemeinden. Einzugsgebiet Vispa und Anniviers. <http://slideplayer.org/slide/914584/> (Zugriff: 30.05.2016)
- Kanton Wallis (2014): Führer durch den Walliser Wald. Dienststelle für Wald und Landschaft (Hrsg.)
- Kanton Wallis (2015): Wald und Klimawandel im Wallis. Dienststelle für Wald und Landschaft (Hrsg.)
- Kotlarski, Sven (2012): Wärmer und weniger Schneefall. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.48–49
- Lanz, Klaus et al. (2014): Bewirtschaftung der Wasserressourcen unter steigendem Nutzungsdruck. Thematische Synthese 2 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 "Nachhaltige Wassernutzung"
- Marty, Christoph et al. (2012): Schneegrenze steigt um 500 Meter. In: Die Alpen, Juni 2012, pp.50–51
- MeteoSchweiz (2013): Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht, Fachbericht Nr. 243
- MeteoSchweiz (2015): Daten saisonale Temperaturmittel und Niederschlagssummen. Internes Datenfile im Rahmen des Pilotprogramms 'Anpassung an den Klimawandel' (in Ergänzung zum MeteoSchweiz-Fachbericht Nr. 243)
- MeteoSchweiz (2015): Klima-Normwerte.  
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimanormwerte.html> (Zugriff: 30.05.2016)
- MeteoSchweiz (2015): Klima-Indikatoren.  
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/gegenwart/klima-indikatoren.html> (Zugriff: 30.05.2016)
- Oeschger Centre for Climate Change Research OCCR et al. (Hrsg.) (2014): CH2014-Impacts. Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland
- Raymond Pralong, Mélanie et al. (2011): Klimaänderung und Wasserkraft. Auswirkung der Klimaänderung auf die Geschiebefracht – Sektorielle Studie Wallis. Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung, Modul D

*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*

- Raymond Pralong, Mélanie et al. (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Geschiebefracht in Einzugsgebieten von Kraftwerksanlagen im Kanton Wallis. In: Wasser Energie Luft, 103. Jg., Heft 4, pp.278–285
- Reynard, Emmanuel et al. (2014): Projet MontanAqua. Les principaux résultats – où comment communiquer avec les acteurs locaux. In: Aqua & Gas No11/2014, pp.50–57
- Rigling, Andreas et al (2006): Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Forum für Wissen, pp.23–33
- Rigling, Andreas et al. (2012): Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp. In: Schweiz Z Forstwes 163 (2012) 12, pp.481–492
- Schnyder, Benedikt (2013): Zum Überwachungs-/Beobachtungskonzept gefährlicher Gletscher im Wallis. Teilbeitrag. Berichterstattung nach dem achten Beobachtungsjahr 2013
- SGHL und CHy (Hrsg.) (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz, Nr. 38
- Staatsrat des Kantons Wallis (2013): Wasserstrategie des Kantons Wallis. Herausforderungen, Ziele, Stossrichtungen und Massnahmen. Schlussbericht der "Steuerungsgruppe Wasser Wallis" zuhanden des Staatsrates
- Stoffel, Markus et al. (2012): Effects of climate change on mass movements in mountain environments. In: Progress in Physical Geography 36(3) pp.421–439
- Stoffel, Markus et al. (2014): Possible impacts of climate change on debris-flow activity in the Swiss Alps. In: Climatic Change (2014) 122, pp.141–155
- VAW (ETHZ) (2011): VAW Gletscher- und Abflussveränderungen im Zeitraum 1900-2100 in sieben Einzugsgebieten der Schweiz. VAW-Teilprojekt von CCHydro. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (unveröffentlicht)
- VAW (ETHZ) (2011): Veränderung der Gletscher und ihrer Abflüsse 1900-2100 – Fallstudien Gornergletscher und Mattmark. Fachbericht. Im Auftrag von Kanton Wallis (Dienststelle für Energie und Wasserkraft) und Forces Motrices Valaisannes FMV SA
- VAW (ETHZ) (2014): Gletscher- und Abflussentwicklung im südöstlichen Einzugsgebiet des Kraftwerks Emosson 1933-2100. Im Auftrag der Electricité d'Emosson SA (unveröffentlicht)
- VAW (ETHZ) (2015): Naturgefahren Gletscher. Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. <http://glaciology.ethz.ch/inventar/inventar.html> (Zugriff: 30.05.2016)
- Volken, David (2008): Mesoklimatische Temperaturverteilung im Rhone- und Vispental, Diss. ETH Zürich Nr. 17705
- Weingartner, Rolf 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
- Wohlgemuth, Thomas et al. (2010): Leben mit Waldbrand. Merkblatt für die Praxis Nr. 46. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
- WSL (Hrsg.) (2013): Schutzwald – Kostengünstig und naturnah: Über 40 Prozent des Schweizer Waldes schützt vor Naturgefahren. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 1 2013, pp.10–13
- WSL (Hrsg.) (2013): Klimawandel – Zunehmende Trockenheit hinterlässt Spuren im Walliser Wald. In: WSL-Magazin Diagonal Nr. 2 2013, pp.16–20
- WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Hrsg.) (2015): Schutzwald und Klimawandel [www.slf.ch/ueber/organisation/oekologie/gebirgsoekosysteme/projekte/wald\\_und\\_klimawandel/index\\_DE](http://www.slf.ch/ueber/organisation/oekologie/gebirgsoekosysteme/projekte/wald_und_klimawandel/index_DE) (Zugriff: 30.05.2016)

## **Abkürzungen**

BAFU	Bundesamt für Umwelt, Bern-Ittigen
CH2011	2011 publizierte Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz, die auf den Berichten und Szenarien des IPCC aufbauen.
DEW	Dienststelle für Energie und Wasserkraft, Kt. Wallis
DSVF	Dienststelle für Strassen, Verkehr und Flussbau
DUS	Dienststelle für Umweltschutz, Kt. Wallis
DWL	Dienststelle für Wald und Landschaft, Kt. Wallis
ENSEMBLES	EU-Projekt, das im Zeitraum 2004-2009 auf Basis der IPCC-Arbeiten Klimasimulationen für Europa erarbeitete.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderung
MeteoSchweiz	Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, Zürich-Flughafen
SRES A1B	Szenario, das für den Special Report on Emissions Scenarios (2000) des IPCC entwickelt und im 3. und 4. Sachstandsbericht des IPCC verwendet wurde. SRES-Szenarien beschreiben, wie sich die globalen Treibhausgasemissionen unabhängig von koordinierten klimapolitischen Massnahmen entwickeln werden und welche Folgen für das zukünftige Klima sich daraus ergeben. A1-Szenarien beruhen auf einer zukünftigen Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung sowie rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Das Szenario A1B bezieht sich auf eine Variante mit ausgewogener Nutzung aller Energiequellen (fossil, nuklear, erneuerbar).
VAW ETH	Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich
WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf

*Das Wallis angesichts des Klimawandels – Auswirkungen und Anpassungsoptionen  
in den Bereichen Wasserbewirtschaftung und Naturgefahren (Synthesepapier)*



CANTON DU VALAIS  
KANTON WALLIS

Département des transports, de l'équipement et de l'environnement  
Service des forêts et du paysage  
Service de la protection de l'environnement  
Service des routes, transports et cours d'eau

Département de l'économie, de l'énergie et du territoire  
Service de l'énergie et des forces hydrauliques



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Projet mis en oeuvre dans le cadre du programme pilote Adaptation aux  
changements climatiques, soutenu par l'Office fédéral de l'environnement  
OFEV. Seuls les auteurs du rapport portent la responsabilité de son contenu.

---

**crealp** Centre de recherche sur l'environnement alpin  
Zentrum für alpine Umweltforschung  
Research center on alpine environment



Fondation pour le développement durable  
**des régions de montagne**



dialog:umwelt

---