

# Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz

## Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS)

■ KOHS

### Fazit

Der Einfluss der Klimaänderung auf zukünftige Hochwasserereignisse in der Schweiz kann heute erst als Trend vorausgesagt werden. Von den Experten wird erwartet, dass künftig vermehrt Hochwasser auftreten und die Extremwerte zunehmen werden.

Die aktuellen Grundsätze für den Hochwasserschutz erweisen sich mit Blick auf die zu erwartenden Auswirkungen der Klimaänderung als weitsichtig. Sie behalten deshalb ihre Gültigkeit und müssen weiter konsequent umgesetzt werden.

Die Schutzwirkung bestehender Anlagen ist periodisch zu überprüfen, das Schadenpotenzial ist zu beurteilen und allenfalls notwendige Verbesserungen sind auszuführen.

Bei der Beurteilung bestehender und der Planung neuer Massnahmen ist deren Verhalten im Überlastfall zu prüfen. Neue Projekte sind, falls noch nicht erfolgt, gemäss Überlastfall zu testen.

Die Dimensionierungsgrössen (Abflussmenge, Wasserfracht, Geschiebe) sind vorausschauend im oberen Entscheidungsbereich festzulegen.

Die Entscheidungsträger und beteiligten Akteure sind auf den Handlungsbedarf aufmerksam zu machen.

Die erforderlichen Mittel sind bereitzustellen.

der natürlichen Lebensgrundlagen und der Schutz grosser Sachwerte mit einem ökonomisch vertretbaren Aufwand. Der Umgang mit Hochwasser stützt sich auf die Beantwortung folgender Fragen:

- Was kann passieren?
- Was darf passieren?
- Wie können wir uns schützen?
- Wie lassen sich Restrisiken minimieren?

### 2.1 Was kann passieren?

Basis für die Beurteilung der Gefährdung sind unter anderem die Dokumentation und Auswertung vergangener Ereignisse. Die Gefahrenkarte zeigt die durch Naturgefahren bedrohten Flächen sowie die Stärke der möglichen Gefährdungen. Sie dient als Grundlage für weitergehende Analysen der Risiken.

### 2.2 Was darf passieren?

Die Frage, was bei Hochwasser passieren darf, wird mit Hilfe von Risikobewertungen unter Berücksichtigung gesellschaftspolitischer, ökologischer und ökonomischer Aspekte beantwortet.

### 2.3 Wie können wir uns schützen?

Der Umgang mit den Naturgefahren erfordert ein integrales Risikomanagement. Dabei stützt man sich auf eine breite Palette von Massnahmen ab. Dazu gehören das Meiden von gefährdeten Gebieten durch raumplanerische Massnahmen, ein zweckmässiger Unterhalt der Gewässer, bautechnische Schutzmassnahmen, die Alarmierung und Evakuierung sowie Versicherungen.

Die Planung von Schutzmassnahmen hat zum Ziel, ein Ereignis bestimmter Grösse, das so genannte Dimensionierungsereignis, schadlos zu bewältigen. Die Projektierung basiert somit auf Dimensionierungsgrössen, wie beispielsweise dem Hochwasserabfluss. Die Ermittlung solcher Dimensionierungsgrössen stützt sich unter anderem auf die statistischen

## 1. Einleitung

Die KOHS ist die Fachkommission des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes für Fragen des Hochwasserschutzes. Sie vereinigt Fachleute des Bundes, der Kantone, der Hochschulen und der Praxis.

Mit diesem Grundsatzdokument nimmt die KOHS Stellung zum aktuellen Problem «Klimaänderung und Hochwasserschutz».

Darin wird dargelegt, wie nach Ansicht der KOHS die Klimaänderung im Hochwasserschutz berücksichtigt werden muss und welche Massnahmen bei Hochwasserschutzprojekten in Zukunft zu treffen sind.

Das Grundsatzdokument fasst die heutigen Erkenntnisse über die Klimaänderung und ihre Auswirkungen auf das Niederschlag-Abflussverhalten zusammen und leitet daraus Empfehlungen für die Praxis ab. Es wurde im Rahmen eines Workshops der KOHS vom 13./14. November 2006 erarbeitet, an welchem rund fünfzehn Fachspezialisten aus verschiedenen Bereichen der Meteorologie, der Hydrolo-

gie, des Wasserbaus und des Hochwasserschutzes teilgenommen haben.

Die letzten drei Jahrzehnte sind geprägt durch eine grosse Zahl von Hochwasserereignissen mit beträchtlichen Schäden. In der gleichen Periode hat zudem auch die Siedlungsdichte und die Konzentration von Sachwerten entlang der Gewässer erheblich zugenommen.

Hochwasserschäden entstehen durch Überschwemmung, Erosion, Ablagerung von Sedimenten, Murgänge und Verstopfung von Engnissen (z.B. Brücken und Durchlässe) durch Schwemmholtz. Für den Hochwasserschutz ist es von Bedeutung, wie solche Prozesse durch den Klimawandel beeinflusst werden.

Es stellt sich die Frage, ob die Grundsätze des Hochwasserschutzes im Hinblick auf die Klimaänderung genügen oder ob Anpassungen notwendig sind.

## 2. Grundsätze des Hochwasserschutzes

Der Hochwasserschutz orientiert sich am Grundsatz der Nachhaltigkeit. Ziel ist der Schutz von Menschenleben, der Erhalt



Auswertungen von Beobachtungen. Eines der Hauptprobleme ist, dass die verfügbaren Messreihen meist kurz sind, was zuverlässige Aussagen über Extremereignisse erschwert. Hochwasser sind immer von Erosionen, Sedimenttransport und Schwemmholz begleitet. Diese Prozesse treten in unterschiedlichen und teils zufälligen Kombinationen auf. Massgeblichen Einfluss hat aber auch die jeweilige Vorgeschichte. So hat beispielsweise die Sättigung des Bodens durch Vorregen einen massgeblichen Einfluss auf die Bildung eines Hochwassers. Dieser Variabilität der natürlichen Prozesse kann bei der Planung von Massnahmen nur beschränkt Rechnung getragen werden. Deshalb wird der Planung eine repräsentative Auswahl an Prozesskombinationen – so genannte Szenarien – zugrunde gelegt.

## 2.4 Wie lassen sich Restrisiken minimieren?

Ein vollständiger Schutz gegen Hochwasser ist nicht möglich. Seltene Grossereignisse führen zu einer Überlastung der für ein bestimmtes Schutzziel ausgelegten technisch-präventiven Massnahmen. Die damit verbundenen Restrisiken müssen



Bild 1. Die Töss mit Hochwasser.



Bild 2. Die Feuerwehr von Lufingen im Einsatz.

erkannt und mit geeigneten Vorkehrungen minimiert werden. Alarmierung und Evakuierung, Objektschutz sowie Versicherungen zur Deckung von Schäden sind zentrale Elemente im Umgang mit Restrisiken.

Bauliche Hochwasserschutzmassnahmen müssen robust und überlastbar sein. Damit wird gewährleistet, dass sie nicht plötzlich versagen und die Schäden nicht schlagartig zunehmen. Dazu wird ihr Verhalten bei einer deutlichen Überbelastung im Rahmen der Projektierung beurteilt. Die Ermittlung der im Überlastfall betroffenen Gebiete ist zudem die Grundlage zur Beurteilung der Restrisiken.

## 3. Grundlagen und Fakten zu Klimaänderung und extremen Hochwasserereignissen

Die Aussagen zu den möglichen hydrologischen Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz innerhalb der nächsten 50 Jahre, insbesondere bezüglich der Entwicklung der Hochwasser, beruhen auf Einschätzungen von Experten anhand des heutigen Wissensstands. Die detaillierte Darstellung dieser Einschätzung befindet sich im Anhang dieses Dokuments.

### 3.1 Abfluss-Regime

Die jährlichen Niederschlagsvolumen verringern sich um etwa 7%. Im Sommerhalbjahr ist mit einer Abnahme zu rechnen, während im Winter eher grössere Niederschlagsmengen fallen dürften. Da die Verdunstung zusätzlich ansteigt, dürfte sich das mittlere jährliche Abflussvolumen um ca. 10% verringern. Die Schneeschmelze beginnt früher und ist, da ein Anstieg der Schneegrenze erwartet wird, in mittleren und tieferen Lagen geringer. Niedrigwasser im Sommer und Herbst sind ausgeprägter.

### 3.2 Hochwasser

Gebiete unterhalb 1500 m ü.M. Im Winter sind durch stärker gesättigte Böden (Niederschlags-Zunahme) und durch verstärkte Niederschlags-Intensitäten höhere Hochwasserspitzen zu erwarten. Trotz Erwärmung ist auch im Mittelland gelegentlich mit einer Schneedecke und mit kombinierten Schmelz-/Regenereignissen zu rechnen. Der Einfluss von Schmelzereignissen nimmt mit der Höhenlage der Einzugsgebiete zu. Sie können sich bis ins Frühjahr erstrecken. In diesen höher gelegenen Gebieten treten bereits heute im Winter oder Frühjahr die Jahreshochwasser auf. Entsprechend werden diese Spitzenabflüsse grösser.

Im Sommer werden die Hochwasser besonders in tieferen Lagen geringer ausfallen, weil die Abflussbereitschaft der Böden durch verringerte Niederschläge und höhere Verdunstung deutlich reduziert ist. Allerdings ist zu beachten, dass im Sommer immer auch mit Gewittern (konvektive Starkniederschläge) zu rechnen ist, welche hauptsächlich in kleinen Einzugsgebieten zu Hochwasser führen können.

Gebiete in den (Nord-) Alpen über 1500 m ü.M. Die Abflüsse steigen im Winter wegen gelegentlicher Regenfälle etwas an. Im Frühjahr gibt es kleine Schmelzhochwasser, die Spitzen sind jedoch grösser als heute. Die Jahreshochwasser werden jedoch wie heute im Sommer auftreten und voraussichtlich nicht grösser werden. Im Herbst sind kaum Veränderungen zu erwarten. Inneralpine Gebiete (Wallis, Engadin), die durch übergreifenden Regen von Süden her betroffen sind, verhalten sich analog zu Gebieten auf der Alpensüdseite.

Gebiete auf der Alpensüdseite. Auf der Alpensüdseite werden mangels Differenzie-



Bild 3. Zürcher Hochwasser 1878, an der Seefeldstrasse.

zungsmöglichkeiten keine Höhenbereiche unterschieden. Im Winter und Frühjahr werden in Folge der grösseren Niederschlags-Summen und Niederschlags-Intensitäten die Hochwasser grösser werden. Im Sommer werden wegen abnehmender Niederschlags-Summen kleinere Abflussspitzen erwartet. Massgebend für die Jahreshochwasser bleiben die Hochwasser im Herbst; diese werden eher noch grösser.

### 3.3 Feststofftransport

Das Volumen der erosionsgefährdeten Feststoffe nimmt in den Alpen in hohen Lagen deutlich zu. Gründe sind der Rückzug der Gletscher und das Auftauen von Permafrost in Gebieten zwischen ca. 2300 und 2800 m ü.M. Weil zudem mehr Niederschlag in Form von Regen anstatt Schnee fallen wird und infolge der höheren Niederschlags-Intensitäten nimmt der Feststofftransport zu.

### 3.4 Hangrutschungen

In den Voralpen nehmen im Winter das Volumen und die Intensität der Niederschläge in Form von Regen zu, die Verbreitung der Schneedecke jedoch ab. Der Boden in den Voralpen kann deshalb über längere Zeit im Winter und Frühjahr gesättigt sein. Mit intensiveren Niederschlägen steigt die Gefahr von Hangrutschungen und Murgängen. Dadurch nimmt der Feststoffeintrag in die Gewässer zu.

## 4. Beurteilung der aktuellen Hochwasserschutzstrategie hinsichtlich der Auswirkungen der Klimaänderung

Aufgrund der vorangehenden Einschätzung kann davon ausgegangen werden, dass sich in der Schweiz Häufigkeit und Ausmass der Hochwasser verändern. Dabei sind regional und saisonal grössere Unterschiede zu erwarten. Generell ist vor allem im Winterhalbjahr mit einer Zunahme der Hochwasserspitzen und -volumen zu rechnen. Der Feststofftransport wird insgesamt zunehmen. Saisonal erhöhte Hochwasserabflüsse und grössere Sedimentfrachten bedingen entsprechende Gerinnequerschnitte und Ablagerungsräume. Daraus leitet sich ab, dass unsere Fliessgewässer mehr Raum als heute beanspruchen werden.

Derzeit fehlen in der Schweiz verlässliche Grundlagen, um die Folgen der Klimaänderung bei der Ermittlung der Dimensionierungsgrössen für Hochwasserschutzmassnahmen quantitativ zu berücksichtigen.

Die heute gültigen Grundsätze des Hochwasserschutzes, obwohl nicht auf Klimaänderung ausgerichtet, weisen aber eine grosse Flexibilität auf. Sie erlauben über die Berücksichtigung entsprechender Szenarien ein Eingehen auf Veränderungen. Aufgrund dieses vorläufig eher qualitativ ausgerichteten Vorgehens kommt der Betrachtung von Überlastszenarien, welche den Dimensionierungsfall deutlich übertreffen, eine grosse Bedeutung bei.

Die erwähnten Grundsätze des Bundes und der Kantone sind zukunftsgerichtet, aber erst in relativ wenigen Fällen umgesetzt. Das Hochwasserereignis im August 2005 hat gezeigt, dass überall dort, wo Projekte gemäss den Grundsätzen des modernen Hochwasserschutzes realisiert waren, bedeutend grössere Schäden vermieden werden konnten.

Der Handlungsbedarf im Hochwasserschutz ist jedoch gross, weil noch viele der vorhandenen Schutzmassnahmen den erhöhten Anforderungen nicht mehr genügen. Sie erweisen sich oft als nicht überlastbar und lassen sich nur mit grossem Aufwand der erhöhten Hochwassergefahr und den sich ändernden Bedürfnissen anpassen. Weitere Defizite werden sich zudem bei der Erstellung der noch ausstehenden Gefahrenkarten zeigen.

Hochwasserschutz ist eine Daueraufgabe, denn die Umsetzung der aktuellen Hochwasserschutzstrategie braucht entsprechend Zeit und Ressourcen.

## 5. Empfehlungen der KOHS

Ein nachhaltiger Schutz vor Hochwasser bedingt eine konsequente Umsetzung des integralen Risikomanagements.

- Bei der Planung von Massnahmen ist die Auswirkung der Klimaänderung durch geeignete Szenarien zu berücksichtigen.
- Es sind die schlimmsten zu erwartenden Szenarien zu betrachten, um daraus den Raumbedarf der Fliessgewässer zur Ableitung von Extremereignissen festzulegen; dieser Raum ist zu sichern.
- Bautechnische Schutzmassnahmen müssen so konzipiert sein, dass sie sich mit vertretbarem Aufwand anpassen lassen. Konstruktive Hochwasserschutzmassnahmen müssen robust und überlastbar sein.
- Der Berücksichtigung des Überlastfalls bei der Planung und Realisierung von Massnahmen kommt im Zusammenhang mit der Klimaänderung eine erhöhte Bedeutung zu.

- Restrisiken lassen sich nie vermeiden, sind aber durch sekundäre Massnahmen (Objektschutz) und organisatorische Vorkehrungen (Notfallplanung und Notfallkonzepte) zu minimieren.

Die Schliessung bestehender Wissenslücken ist von zentraler Bedeutung – umfassende Grundlagen sind eine wichtige Voraussetzung für den risikogerechten Umgang mit Naturgefahren.

- Zur Quantifizierung der hydrologischen Auswirkungen aktueller Klimaszenarien werden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Wasserhaushalt- und Abfluss-Modelle benötigt. Dies bedingt eine entsprechende Verdichtung der hydrologischen Messnetze.
- Die Planungsarbeit mit Szenarien bedingt eine gründliche Kenntnis der Prozesse sowie der Wirkungsweise von Massnahmen. Die vertiefte Analyse von Ereignissen ist Voraussetzung zur Erweiterung des Wissens und zur Reduktion der Unsicherheiten.

Die Öffentlichkeit ist verstärkt zu sensibilisieren, was die Vermittlung von Basiswissen über Hochwassergefahren zur Wahrnehmung der Eigenverantwortung einschliesst.

- Durch einfache Anpassungen an Gebäuden und Anlagen lassen sich Schäden bei Extremereignissen mindern. Das entsprechende Wissen muss Bauherren, Architekten und Planern durch Öffentlichkeitsarbeit und im Rahmen der Ausbildung vermittelt werden.
- Einbezug der Gebäudeversicherung zur Förderung der Eigenverantwortung durch entsprechende Aufklärung und Prämiengestaltung.

Die für den Hochwasserschutz verfügbaren Mittel sind begrenzt. Die bereits heute erforderlichen Massnahmen lassen sich nicht gleichzeitig umsetzen. Überall dort, wo Hochwasserschutzprojekte nicht sofort realisiert werden können, sind jedoch oft mit kostengünstigen Massnahmen aus anderen Bereichen des integralen Risikomanagements wie Raumsicherung, Objektschutz oder Notfallplanung die vorhandenen Risiken massgeblich reduzierbar.

## 6. Schlussbemerkungen

Die unverzügliche und dauerhafte Bekämpfung der Ursachen des Klimawandels ist eine vorrangige Aufgabe der Gesellschaft. Mit Hochwasserschutzmassnahmen kann letztlich nur den einzelnen Symptomen der Klimaänderung begegnet werden.

# Grundlagen zum Klima

■ Bruno Schädler, Christoph Frei, Dietmar Grebner, Hans Peter Willi

## 1. Klima und Starkniederschläge

### 1.1 Grundlagen

Die hier beschriebenen Szenarien stützen sich auf umfangreiche Simulationen mit globalen und regionalen Klimamodellen in Europäischen Klimaforschungsprojekten (PRUDENCE: Christensen et al., 2007; STARDEX: Goodess, 2003), und deren spezifischen Auswertung für den Alpenraum (Frei, 2006, Frei et al., 2006, Schmidli et al., 2007). Die Szenarien geben den aktuellen Wissensstand (Anfang 2007) wieder. Der Einbezug verschiedener Abschätzungen der zukünftigen Emission von Treibhausgasen erlaubt eine quantitative Beschreibung der involvierten Unsicherheiten. Die Szenarien beschreiben die Änderungen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2050) im Vergleich zum Ende des 20. Jahrhunderts (1990).

### 1.2 Mittlere Entwicklung des Klimas

**Temperatur:** Aktuell rechnet man für die Schweiz mit einer Temperaturzunahme von 1 bis 3,5 °C. Die Jahreszeiten unterscheiden sich dabei nur wenig und regionale Erwärmungsunterschiede sind kleiner als der abschätzbare Unsicherheitsbereich (Bild 1).

**Schnee- und Permafrostgrenze:** Als Folge der Erwärmung verschiebt sich die vertikale Temperaturstruktur in der Atmosphäre. Damit wird erwartet, dass die mittlere Schneegrenze und die Permafrostgrenze um 150 bis 600 m ansteigen.

**Niederschlag:** Im Gegensatz zur Temperatur ändert sich der mittlere Jahresgang der Niederschlagsmengen erheblich, mit Zunahmen von 0–20 % im Winter (Dezember–Februar) und Abnahmen von 5–30 % im Sommer (Juni–August). Im Frühling und Herbst liegen die Änderungen dazwischen. Die Verschiebung zu trockeneren Sommern dominiert die Änderung in den Jahresniederschlagsmengen, für welche eine Abnahme um 5–10 % geschätzt wird (Bild 1).

### 1.3 Entwicklung der Starkniederschläge

Die Auswertungen der Klimasimulationen erlauben eine grobe Quantifizierung der Niederschlagsextremwerte für Jährlichkeiten zwischen 5 und 50 Jahren. Es zeigen sich nur geringe Unterschiede für die Extreme mit einer Dauer zwischen 1 und 5 Tagen. Die saisonalen und regionalen Änderungen ergeben sich wie folgt:

**Herbst, Winter, Frühling:** Im Herbst wird mit einer Zunahme der Extremwerte bis zu 10 % auf der Alpennordseite respektive 20 % auf der Alpensüdseite gerechnet.

Im Winter und Frühling liegt die Zunahme beidseits der Alpen zwischen 0 und 20 %. Im ungünstigsten Fall kann ein heute 100-jährliches Ereignis in Zukunft zu einem 20-jährlichen werden (Frei et al. 2006). Im Winter und Frühling wird als Folge der Kombination von höheren Spitzen und längerer Dauer eine Zunahme der Niederschlagsvolumen erwartet.

**Sommer:** Für den Sommer erlauben die grosse Variabilität der Resultate sowie das eingeschränkte Vertrauen in die Modellsimulationen keine Aussagen. Allenfalls sind Tendenzen für eine Zunahme nordalpin und eine Abnahme südalpin erkennbar.

### 1.4 Vergleich mit beobachteten Veränderungen

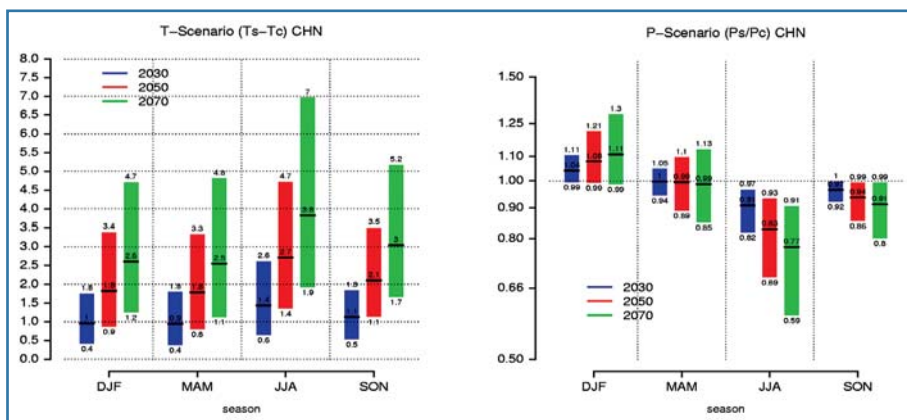
Die beschriebenen Szenarien für die Zukunft sind qualitativ konsistent mit den während des 20. Jahrhunderts beobachteten Änderungen des Klimas im Alpenraum, d.h. Zunahme der mittleren Temperatur, der Winterniederschläge und der Häufigkeit von intensiven Niederschlägen.

## 2. Hydrologie

### 2.1 Grundlagen

Die Aussagen zu den hydrologischen Auswirkungen, insbesondere der Entwicklung der Hochwasser, beruhen auf qualitativen Beurteilungen anhand des heutigen Wissensstands. Sie müssen in Zukunft quantifiziert werden.

Die nachfolgenden Einschätzungen drücken die mittlere Entwicklung aus. Der extreme Einzelfall lässt sich noch nicht abbilden, da hierfür wesentliche Informationen fehlen. Dazu zählen der zukünftige Verlauf des Niederschlags in Ereignissen und Episoden, die Entwicklung von Vorregen, des Bodenwassergehalts, der Grundwasserstände, ebenso wie die Schneedeckenentwicklung (Aufbau, Schmelze) sowie die Kombination dieser Einflüsse (BWG, 2000; und Bild 2). Erhöhte Niederschlagsintensitäten allein bedeuten nicht automatisch erhöhte Abflussspitzen (BWG, 2000). Und schliesslich sind komplexe Prozesse in Einzugsgebieten, z.B.



**Bild 1.** Änderung der mittleren Temperatur (links, in Grad) und des mittleren Niederschlags (rechts, Verhältnis Zukunft/Gegenwart) in den vier Jahreszeiten für die Nordschweiz. Die Balken zeigen die Unsicherheiten und die Linien die jeweils beste Schätzung der Änderung. Die Änderungen sind dargestellt für die Perioden 2020–2040 (blau), 2040–2060 (rot), 2060–2080 (grün) gegenüber 1980–2000. (Aus Frei, 2006).

der Einfluss von Seen und ihrer Bewirtschaftung, schwer einschätzbar.

## 2.2 Mittlere Entwicklung des Abflusses

**Abfluss-Regimes:** Die Regimes verändern sich um 1–2 Klassen in Richtung nival und pluvial. Modellberechnungen von Horton et al. (2006) stützen diese Aussage. Die Schneeschmelze beginnt früher und ist in mittleren und tieferen Lagen von abnehmender Bedeutung. Die Niedrigwasser im Sommer und Herbst werden ausgeprägter.

**Abfluss-Volumen:** Die jährlichen Niederschlagsvolumen verringern sich um etwa 5 bis 10 %. Da die Verdunstung hingegen ansteigt, dürfte sich das mittlere jährliche Abflussvolumen um 7 bis 12 % verringern. Die Beiträge des Schmelzwassers der Gletscher sind mit weniger als 1 % des Abflusses in grossen Flüssen vergleichsweise gering und können den Rückgang auch vorübergehend nicht kompensieren.

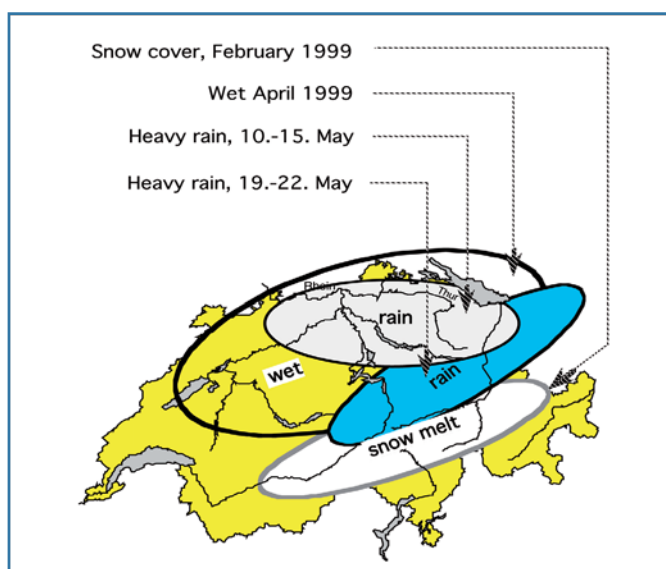
## 2.3 Entwicklung der Hochwasser

Aussagen zur Entwicklung der Hochwasserabflüsse sind saisonal, regional und auch bezogen auf die Einzugsgebietsgrösse differenziert zu betrachten.

**Hochwasser in nordalpinen Gebieten unter 1500 m ü.M.:** Im Winter sind durch erhöhte Bodenwassergehalte und durch höhere Niederschlagsleistungen höhere Hochwasserspitzen zu erwarten. Trotz Erwärmung bleiben im Mittelland Schneedecken und damit kombinierte Schmelz-/Regenereignisse weiter möglich (z.B. BWG, 2000). Der Einfluss von Schmelzereignissen nimmt wie bisher mit der Höhenlage der Einzugsgebiete im betrachteten Höhenbereich zu. In diesen Gebieten treten bereits heute im Winter und Frühjahr die Jahreshochwasser auf. Sie können auch in Zukunft bis ins Frühjahr vorkommen, werden aber dem Klima entsprechend höher.

Im Sommer werden die Hochwasser besonders in tieferen Lagen geringer ausfallen, weil die Abflussdisposition der Böden durch verringerte Niederschläge und höhere Verdunstung deutlich reduziert ist. Allerdings ist zu beachten, dass im Sommer immer auch mit konvektiven Starkniederschlägen zu rechnen ist, welche hauptsächlich in kleinen Einzugsgebieten zu Hochwasser führen können.

**Hochwasser in den nord- und inneralpinen Gebieten über 1500 m ü.M.:** Die Regimes in den Alpen wechseln von glazialer zu nivaler Prägung. Im Winter steigen die Abflüsse wegen gelegentlicher Regenfälle



**Bild 2. Schema der zeitlichen Folge und räumlichen Verteilung der Abflussbeiträge in der Hochwasserperiode Mai und Juni 1999. Grosse Ellipse: Hochwassergebiet. (Grebner und Gurtz, 2003).**

etwas an. Daraus ergeben sich jedoch keine wirklichen Hochwasser. Im Frühjahr sind kleine Schmelzhochwasser möglich, die Spitzen werden grösser als heute. Die Jahreshochwasser werden jedoch wie heute im Sommer auftreten und voraussichtlich nicht grösser werden. Im Herbst sind kaum Veränderungen zu erwarten. **Anmerkung:** Inneralpine Gebiete, die durch übergreifenden Regen von Süden her betroffen sind, verhalten sich analog zur Alpensüdseite.

**Alpensüdseite:** Hier werden mangels Differenzierungsmöglichkeiten keine Höhenbereiche unterschieden. Im Winter und Frühjahr lassen die stärker wachsenden Niederschlagsleistungen auch eine entsprechende Hochwasserzunahme erwarten. Im Sommer deuten abnehmende Niederschläge auf kleinere Abflussspitzen hin. Massgebend für die Jahreshochwasser bleiben die hydrometeorologischen Bedingungen im Herbst. Dabei lassen die höheren Niederschlagsleistungen eine Zunahme der Hochwasser erwarten.

**Feststofftransport:** Durch den Rückzug der Gletscher und das Auftauen von Permafrost nimmt in Gebieten zwischen ca. 2300 und 2800 m ü.M. das Feststoffpotenzial deutlich zu. Intensivere flüssige Niederschläge steigern auch das Potenzial für den Transport von Feststoffen.

**Hangrutschungen:** In den Voralpen lassen die erwähnten künftigen hydrometeorologischen Bedingungen (Niederschlag, Schneedecke, Verdunstung) im Winter und Frühjahr über längere Phasen auf wassergesättigte Böden schliessen. Daraus leitet sich eine zunehmende Gefahr von Hangrutschungen und auch Feststofftransporten ab.

Kommissionsmitglieder und Klima-Experten, die am Workshop vom 12.–14. November 2006 teilgenommen respektive an diesem Dokument mitgearbeitet haben:

Prof. Dr. Anton Schleiss, Präsident der Kommission, Laboratoire de constructions hydrauliques ETH Lausanne.

Prof. Dr. Walter Meier, a. Direktor Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik in Tänikon (Moderation Workshop).

Dr. Gian Reto Bezzola, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention (Redaktionsteam).

Dr. Dominique Bérod, Service des routes et des cours d'eau, Kanton Wallis.

Andri Bischoff, Tiefbauamt des Kantons Graubünden, Chef Abteilung Wasserbau.

Laurent Filippini, Ufficio dei corsi d'aqua, Cantone Ticino.

Dr. Christoph Frei, MeteoSchweiz, Zürich.

Christian Göldi, vorm. Abteilung Wasserbau Kanton Zürich (Redaktionsteam).

Dr. Dietmar Grebner, Institut für Atmosphäre und Klima ETH Zürich (Redaktionsteam).

Urs Gunzenreiner, Tiefbauamt des Kantons St.Gallen, Abteilung Gewässer, St. Gallen.

Dr. Walter Hauenstein, Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband, Baden.

Dr. Christoph Hegg, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.

Wolfgang Hennegriff, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

PD Dr. Martin Jäggi, Beratender Ingenieur für Flussbau und Flussmorphologie, Ebmatingen  
Prof. Dr. Hans Kienholz, Geografisches Institut Universität Bern.

Prof. Dr. Erwin Minor, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich.

Dr. *Dieter Müller*, Colenco Power Engineering AG, Abteilung Wasserbau und Umwelt, Baden.  
Dr. *Matthias Oplatka*, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Wasserbau, Zürich.  
Dr. *Hans Romang*, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.  
Dr. *Bruno Schädler*, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Hydrologie, Bern.  
*Rolf Studer*, Direction de l'aménagement de l'environnement et des constructions, Kanton Freiburg.  
Dr. *Heinz Willi Weiss*, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich.  
*Hans Peter Willi*, BAFU Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Bern.  
Dr. *Benno Zarn*, Hunziker, Zarn + Partner AG, Domat/Ems.

#### Literatur/Bibliographie/Letteratura

BWG, 2000: Hochwasser 1999 – Analyse der Ereignisse. Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Studienbericht Nr. 10.

*Christensen, J.H., T.R. Carter, und M. Rummukainen*, 2007: Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project. *Clim. Change*, (in press).  
*Frei, C.*, 2006: Die Klimazukunft der Schweiz – Eine probabilistische Projektion. Erhältlich unter [http://www.occc.ch/Products/CH2050/ch2050\\_scenario\\_d.html](http://www.occc.ch/Products/CH2050/ch2050_scenario_d.html), und <http://www.meteoschweiz.ch>.  
*Frei, C., R. Schöll, S. Fukutome, J. Schmidli, und P.L. Vidale*, 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res.*, 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.  
*Grebner, D. und A. Gurtz*, 2003: Hochwasser als Phänomen – Wahrnehmung und Differenzierung. *Bulletin – Magazin der Eidgenössischen Hochschule Zürich*, Nummer 289, 22–25.  
*Goodess, C. M.*, 2003: Statistical and regional dynamical downscaling of extremes for European regions: STARDEX, EGG5, 6.  
*Horton, P., B. Schaeffli, A. Mezghani, B. Hingray*

und *A. Musy*, 2006: Assessment of climate-change impacts on alpine discharge regimes with climate model uncertainty. *Hydrol. Process.* 20, 2091–2109.  
PRUDENCE: Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects. Forschungsprojekt der Europäischen Union. <http://prudence.dmi.dk/>.  
*Schmidli, J., C. M. Goodess, C. Frei, M. R. Haylock, Y. Hundechea, J. Ribalaygua, und T. Smith*, 2007: Statistical and dynamical downscaling of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps. *J. Geophys. Res.*, 112, (in press).  
STARDEX: Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. Forschungsprojekt der Europäischen Union. <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/>.