

Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz = Répercussions des changements climatiques sur la protection contre les crues en Suisse = Conseguenze dei cambiamenti climatici sulla protezione contro le piene in Svizzera

Autor(en): [s.n.]

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **99 (2007)**

Heft 1

PDF erstellt am: **14.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-940112>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz

Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS)

Seite 55

Répercussions des changements climatiques sur la protection contre les crues en Suisse

Prise de position de la Commission pour la Protection contre les Crues de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (KOHS)

Page 60

Conseguenze dei cambiamenti climatici sulla protezione contro le piene in Svizzera

Una presa di posizione della Commissione sulla Protezione contro le Piene dell'Associazione svizzera di economia delle acque (KOHS)

Pagina 65

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.

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 Schwemmholz. 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

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

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.

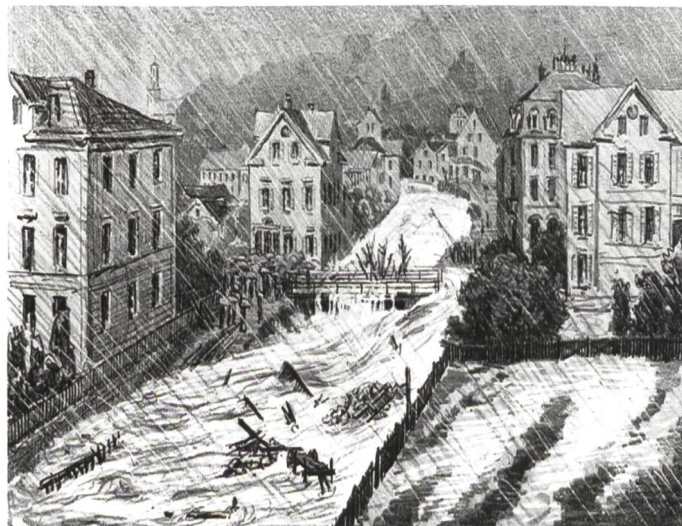


Bild 3. Zürcher Hochwasser 1878, an der Seefeldstrasse.

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-

rungsmöglichkeiten 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.

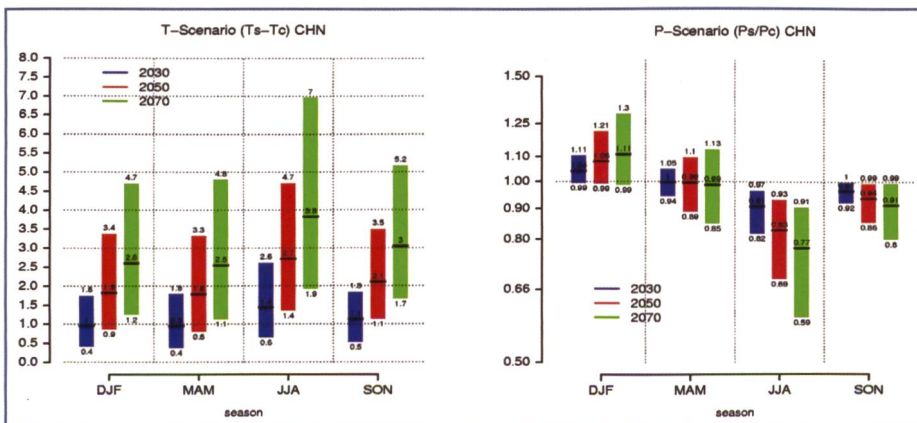


Bild 1. Änderung der mittleren Temperatur (links, in Grad) und des mittleren Niederschlags (rechts, Verhältnis Zukunft/Gegenwart) in den vier Jahreszeiten für die Nordschweiz. Die Balken zeigen die Unsicherheiten und die Linien die jeweils beste Schätzung der Änderung. Die Änderungen sind dargestellt 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 Hochwas-

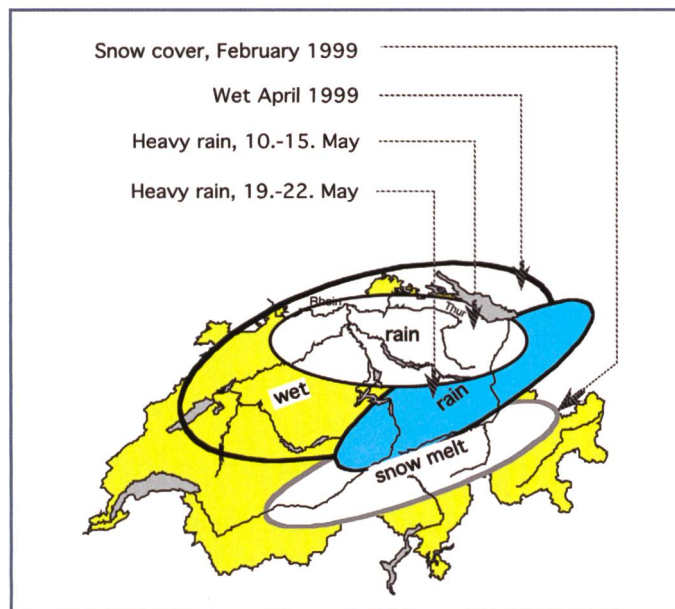


Bild 2. Schema der zeitlichen Folge und räumlichen Verteilung der Abflussbeiträge in der Hochwasserperiode Mai und Juni 1999. Grosse Ellipse: Hochwassergebiet. (Grebner und Gurtz, 2003).

ser 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 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 Hö-

henbereiche 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.

Répercussions des changements climatiques sur la protection contre les crues en Suisse

Prise de position de la Commission pour la Protection contre les Crues de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux (KOHS)

■ KOHS

En bref

L'influence des changements climatiques sur les événements de crues ne peut être pronostiquée aujourd'hui que sous forme de tendance. Les experts tablent sur une augmentation du nombre de crues et sur une intensification des valeurs extrêmes.

Les principes actuels qui régissent la protection contre les crues restent pertinents face aux effets attendus des changements climatiques. Ils gardent ainsi toute leur validité et il faut en poursuivre la mise en œuvre rationnelle.

Pour être du côté de la sécurité, les grandeurs de dimensionnement (débit, volume d'eau, charriage) doivent être choisies vers le haut de la fourchette des valeurs possibles.

La fonction protectrice des installations existantes et le potentiel de dommages devront être réévalués périodiquement; des adaptations seront prévues le cas échéant.

Le comportement du système de protection sera vérifié dans les cas de surcharge, tant pour les nouveaux projets qu'à l'occasion de contrôles d'ouvrages existants.

Les décideurs et les acteurs concernés doivent être rendus attentifs à la nécessité d'entreprendre des actions.

Les moyens nécessaires devront être mis à disposition.

1. Introduction

La KOHS est la commission technique traitant des questions de protection contre les crues au sein de l'Association suisse pour l'aménagement des eaux. Elle réunit des spécialistes de la Confédération, des Cantons, des Hautes Ecoles et de la pratique.

Par ce document de base, la KOHS prend position sur une question d'actualité: «Changements climatiques et protection contre les crues».

La KOHS y présente comment les changements climatiques doivent être pris en compte dans la protection contre les crues; elle montre les mesures qu'il convient de prendre dorénavant dans les projets de protection contre les crues.

Ce document de base récapitule les connaissances actuelles sur les changements climatiques et leurs effets sur les relations pluie-débit et en déduit des recommandations pour la pratique. Il a été élaboré dans le cadre d'un atelier de la KOHS tenu mi-novembre 2006, auquel ont participé une quinzaine de spécialistes œuvrant dans les secteurs de la météorologie, de l'hydrologie, des ouvrages hydrauliques et de la protection contre les crues. Les trois dernières décennies ont

été marquées par un nombre important d'événements de crues ayant causé des dommages considérables. Cette même période a connu par ailleurs une forte croissance de la densité d'urbanisation et de la concentration de biens matériels le long des cours d'eau.

Les dégâts de crues sont dus aux inondations, à l'érosion, aux dépôts sédimentaires, aux laves torrentielles et à l'obstruction de rétrécissements (par ex. ponts et passages sous route) par des bois flottants. Lors de l'élaboration de projets de protection contre les crues, il importe de savoir comment les changements climatiques agissent sur ces processus.

Il convient de déterminer si les principes régissant la protection contre les crues sont suffisants face aux changements climatiques, ou si des adaptations sont requises.

2. Principes régissant la protection contre les crues

La protection contre les crues repose sur le principe de la durabilité. Son but est de protéger la vie humaine, de maintenir les conditions naturelles d'existence et de protéger les biens importants à un coût

économiquement acceptable. La gestion des crues doit répondre aux questions suivantes:

- Que peut-il se passer?
- Que peut-on tolérer?
- Comment pouvons-nous nous protéger?
- Comment minimiser les risques résiduels?

2.1 Que peut-il se passer?

L'évaluation de la menace est basée entre autres sur la documentation et l'analyse d'événements passés. La carte des dangers décrit les surfaces menacées par les dangers naturels ainsi que l'ampleur des menaces possibles. Elle sert de base à des analyses plus approfondies des risques.

2.2 Que peut-on tolérer?

Le risque acceptable est évalué en tenant compte des aspects sociopolitiques, écologiques et économiques.

2.3 Comment pouvons-nous nous protéger?

La gestion des dangers naturels exige une gestion intégrale des risques; pour ce faire, on s'appuie sur une vaste palette de mesures, parmi lesquelles on compte: les mesures d'aménagement du territoire visant à éloigner les zones d'activités des périmètres menacés, l'entretien approprié des cours d'eau, les mesures de protection structurales, l'alerte et l'évacuation, ainsi que la couverture des dégâts par des assurances.

La planification des mesures de protection a pour objectif de maîtriser sans dommage un événement bien défini: l'événement de dimensionnement, par exemple un débit de crue. La détermination de telles grandeurs de dimensionnement s'appuie entre autres sur le traitement statistique d'observations. Un des problèmes essentiels est que les séries de mesures disponibles sont souvent courtes, ce qui rend difficile l'estimation des événements

extrêmes. Les crues sont toujours accompagnées d'érosions, de charriage et de bois flottants. Ces processus se conjuguent, souvent aléatoirement, dans différentes combinaisons. De plus, les conditions antécédentes jouent également un rôle prépondérant. La saturation du sol par exemple, par les pluies antécédentes qui précèdent l'événement, joue ainsi un rôle important sur la formation des crues. Cette variabilité des processus naturels ne peut être prise en compte que dans une mesure limitée lors de l'élaboration des mesures. C'est pourquoi la planification repose sur un choix représentatif de combinaisons de processus – appelées scénarios.

2.4 Comment minimiser les risques résiduels?

Une protection totale contre les crues n'est pas possible. Des événements rares mais violents surchargent les systèmes de protection préventifs et structuraux, fixés pour un objectif de protection défini. Les risques résiduels qui en découlent doivent être identifiés, puis minimisés par des dispositifs appropriés. L'alerte et l'évacuation, les protections d'objets spécifiques ainsi que la couverture des dommages par des

assurances sont des éléments essentiels de la gestion des risques résiduels.

Les mesures structurales de protection contre les crues doivent être robustes et résister aux surcharges, de manière à ce qu'elles ne se rompent pas brusquement et que les dommages consécutifs n'augmentent pas brutalement. Le comportement en cas de surcharge importante doit être évalué dans le cadre de l'élaboration du projet. La délimitation des périmètres concernés en cas de surcharge constitue la base de l'évaluation des risques résiduels.

3. Changements climatiques et crues extrêmes: bases et faits

Les assertions relatives aux effets possibles des changements climatiques sur l'hydrologie en Suisse dans les 50 prochaines années, et tout spécialement sur l'évolution des crues, procèdent d'estimations établies par des experts s'appuyant sur l'état des connaissances actuelles. Une présentation détaillée de ces estimations est annexée à ce document.

3.1 Régime d'écoulement

Les volumes des précipitations annuelles diminuent d'environ 7%. Le semestre d'été verra les précipitations diminuer, alors que la tendance en hiver ira vers une pluviométrie accrue. L'évaporation étant en outre plus élevée, le volume d'écoulement annuel moyen devrait diminuer d'environ 10%. La fonte des neiges débute plus tôt et la limite de la neige devrait être plus élevée; les précipitations sous forme neigeuse seraient moindres dans les zones de moyenne et basse altitude. Les basses eaux en été et en automne seront plus marquées.

3.2 Crues

Régions inférieures à 1500 m d'altitude: En hiver, du fait d'une saturation plus importante des sols (en raison de l'augmentation des précipitations) et de l'accroissement de l'intensité des précipitations, il faut s'attendre à des pointes de crue plus élevées. Sur le Plateau suisse et malgré le réchauffement, il faut en outre s'attendre occasionnellement à la présence d'une couverture neigeuse et à l'apparition d'événements combinant fonte de neige et pluie. L'influence des événements de fonte augmente avec l'altitude des bassins versants; ils peuvent se produire jusqu'au printemps. Dans cette gamme d'altitudes, les crues exceptionnelles se manifestent aujourd'hui déjà en hiver ou au printemps: leurs débits de pointe seront plus élevés.

En été, les crues vont s'affaiblir – particulièrement dans les basses altitudes – la prédisposition à l'écoulement des sols étant notablement réduite au vu des précipitations moindres et de l'évaporation plus élevée. Il n'en reste pas moins qu'en été, il faut toujours s'attendre à des orages (fortes précipitations convectives) qui peuvent provoquer des crues, principalement dans les petits bassins versants.

Régions alpines et nord alpines au-dessus de 1500 m d'altitude: Les écoulements augmentent quelque peu en hiver en raison de chutes de pluie occasionnelles. Au printemps il y a de faibles crues de fonte de neige dont les pointes seront toutefois plus importantes qu'aujourd'hui. Les crues exceptionnelles vont se manifester comme aujourd'hui en été et ne devraient pas être plus importantes selon toute vraisemblance. A l'automne, guère de changements. Les régions centre alpines (Valais, Engadine) qui subissent les pluies débordant du Sud ont un comportement analogue à celui des régions du Sud des Alpes.

Régions du Sud des Alpes: Dans le Sud des



Figure 1. La Töss en crue.



Figure 2. Les pompiers de Lufingen en intervention.



Figure 3. Crue de 1878 à Zurich (Seefeldstrasse).

Alpes, aucune différenciation en fonction de l'altitude n'est possible. En hiver et au printemps, les crues vont augmenter en raison des volumes et des intensités de précipitations plus importants. En été, la diminution des volumes précipités conduira à des débits de pointe plus faibles. L'automne reste la saison privilégiée pour les crues annuelles, avec des pointes vraisemblablement supérieures.

3.3 Transport de sédiments

Le volume de matières solides mobilisables par l'érosion augmente notablement dans les Alpes en haute altitude. Les causes en sont le recul des glaciers et le dégel du permafrost dans les régions situées environ entre 2300 et 2800 m d'altitude. Le transport de sédiments augmentera également en raison de précipitations qui se produiront plus sous forme de pluie que de neige, avec des intensités plus importantes.

3.4 Glissement de terrain

Dans les Préalpes, le volume et l'intensité des précipitations sous forme de pluie augmentent et l'étendue de la couverture neigeuse diminue. De ce fait, le sol dans les Préalpes peut être saturé sur une longue durée en hiver et au printemps. Les précipitations plus intenses augmentent le risque de glissements de terrain et de laves torrentielles. En conséquence, la charge sédimentaire dans les cours d'eau augmente.

4. Evaluation de la stratégie actuelle de protection contre les crues face aux répercussions des changements climatiques

Compte tenu de l'appréciation ci-dessus on peut admettre qu'en Suisse la fréquence et l'ampleur des crues se modifient, avec d'importantes différences régionales et saisonnières. Très généralement, une augmentation des volumes et des pointes de crues est à craindre surtout dans le semestre d'hiver. Le transport de sédiments va globalement augmenter. Les débits de crues saisonnièrement accrus et d'importantes charges en sédiments exigent des sections d'écoulement appropriées et la mise à disposition de zones de dépôts des sédiments. On peut en conclure que nos cours d'eau vont nécessiter plus d'espace qu'aujourd'hui.

Cependant, on manque actuellement en Suisse de bases fiables permettant de définir les conséquences des changements climatiques sur l'estimation des grandeurs de dimensionnement pour les mesures de protection contre les crues.

Bien qu'ils n'aient pas été ciblés sur les changements climatiques, les principes régissant actuellement la protection contre

les crues présentent cependant une grande flexibilité. Ceux-ci permettent d'anticiper les changements grâce à la prise en compte de scénarios appropriés. Sur la base de cette démarche pour le moment encore qualitative, la prise en considération de scénarios de surcharge – qui dépassent considérablement l'événement de dimensionnement – revêt une grande importance.

Les principes fédéraux et cantonaux mentionnés permettent une certaine anticipation, mais ne sont que peu mis en pratique. Les crues d'août 2005 ont toutefois montré que des dommages bien plus importants encore ont pu être évités là où des projets avaient été réalisés selon les principes d'une protection moderne contre les crues.

Les besoins en protection contre les crues sont toutefois très importants, car nombre de mesures de protection existantes ne satisfont plus aux exigences. Il s'avère souvent qu'elles ne supportent pas de surcharge et que leur adaptation à l'augmentation du risque de crues dévastatrices n'est possible qu'à grand prix. D'autres déficits vont en outre apparaître avec les cartes des dangers qui ne sont pas encore établies.

La protection contre les crues est une tâche de longue haleine, la mise en place de la stratégie actuelle de protection contre les crues a besoin de temps et de ressources.

5. Recommandations de la KOHS

Une protection durable contre les crues exige une réalisation bien pensée de la gestion intégrale des risques.

- La planification des mesures doit tenir compte de la répercussion des changements climatiques par des scénarios appropriés.
- L'espace nécessaire aux cours d'eau pour le passage des événements extrêmes doit être établi sur la base des scénarios les plus défavorables; cet espace doit être réservé.
- La conception des mesures de protection structurales doit permettre des adaptations futures à un coût acceptable. Ces mesures structurales doivent être robustes et résister aux surcharges.
- La prise en compte des cas de surcharge dans la planification et la réalisation des mesures de protection gagne en importance avec les changements climatiques.
- Les risques résiduels ne sont pas tous évitables, mais on peut cependant en minimiser les conséquences par des mesures complémentaires (protections d'objets) et des dispositifs organisationnels (planifications et concepts d'urgence).

Comblant les lacunes présentes dans nos connaissances revêt une importance cruciale: des bases solides constituent le fondement d'une gestion adéquate des risques naturels.

- La quantification des répercussions des scénarios climatiques actuels sur l'hydrologie exige des modèles à haute résolution temporelle et spatiale du régime des eaux. Ceci implique une densification conséquente des réseaux de mesures hydrologiques.
- L'étude des mesures basée sur des scénarios exige une connaissance approfondie tant des processus naturels que du fonctionnement des dispositifs prévus. L'analyse détaillée des événements contribue à l'augmentation des connaissances et à la réduction des incertitudes.

L'opinion publique doit être mieux sensibilisée, ce qui implique le transfert des connaissances dans le domaine des dangers inhérents aux crues, afin que chacun prenne conscience de sa responsabilité individuelle.

- Des mesures constructives simples sur les bâtiments et les installations permettent de diminuer les dommages résultant d'événements extrêmes. Les connaissances nécessaires doivent être dispensées aux maîtres d'ouvrage, architectes et planificateurs par des publications et dans le cadre de la formation.
- L'implication des assurances immobilières dans la promotion de la responsabilité personnelle par une information adaptée et le calcul adéquat des primes revêt également une grande importance.

Les ressources disponibles pour la protection contre les crues sont limitées. Toutes les mesures déjà requises aujourd'hui ne peuvent être réalisées simultanément. Là où des projets de protection contre les crues doivent être mis en attente, des mesures issues d'autres secteurs de la gestion intégrale des risques peuvent avantageusement prendre le relais pour assurer une réduction appréciable des risques, notamment: la réservation d'espaces, la protection d'objets ou encore la planification d'urgence.

6. Conclusion

La lutte immédiate et durable contre les causes des changements climatiques est une priorité de notre société. En tout état de cause, les mesures de protection contre les crues ne s'attaquent qu'aux divers symptômes des changements climatiques, et non à leur source.

1. Climat et fortes précipitations

1.1 Bases

Les scénarios décrits ci-après s'appuient sur des simulations étendues des modèles climatiques globaux et régionaux dans les projets de recherche de l'Union Européenne (PRUDENCE: Christensen et al., 2007; STARDEX: Goodess, 2003), et leur évaluation spécifique pour l'arc alpin (Frei, 2006, Frei et al., 2006, Schmidli et al., 2007). Les scénarios expriment l'état actuel des connaissances (début 2007). La prise en compte de diverses estimations des futures émissions de gaz à effet de serre permet une description quantitative des incertitudes en jeu. Les scénarios décrivent les changements attendus jusqu'au milieu du 21e siècle (2050) par rapport à la fin du 20e siècle (1990).

1.2 Evolution moyenne du climat

Température: On table actuellement pour la Suisse sur une augmentation de température de 1 à 3,5 °C. Cet accroissement dépend peu des saisons et les différences régionales du réchauffement sont inférieures à la fourchette d'incertitude. (Fig. 1).

Limite de la neige et du permafrost: Le réchauffement induit un déplacement de la structure verticale des températures at-

mosphériques. On s'attend ainsi à ce que la limite moyenne de la neige et du permafrost s'élève de 150 à 600 m.

Précipitations: Contrairement à la température, la variation annuelle moyenne de la pluviométrie se modifie considérablement avec des hausses de 0–20% en hiver (décembre – février) et des baisses de 5–30% en été (juin – août). Au printemps et en automne les variations se situent entre ces valeurs. Une évolution vers des étés plus secs représente la caractéristique principale des variations de volumes annuels précipités, dont on estime la diminution à 5–10% (Fig. 1).

1.3 Evolution des fortes précipitations

L'analyse des simulations climatiques permet une quantification grossière des valeurs de précipitations extrêmes pour des temps de retour compris entre 5 et 50 ans. Seules de petites différences se présentent pour les extrêmes d'une durée comprise entre 1 et 5 jours. Les changements saisonniers et régionaux sont décrits ci-dessous:

Automne, hiver, printemps: En automne, on table sur une croissance des valeurs extrêmes allant jusqu'à 10% au Nord des Alpes et jusqu'à 20% au Sud des Alpes. En hiver et au printemps, l'augmentation se

situe pour les deux côtés des Alpes entre 0 et 20%. Dans le cas le plus défavorable, un événement aujourd'hui centennal peut à l'avenir devenir vingtennal (Frei et al. 2006). En hiver et au printemps on s'attend à une augmentation des volumes de précipitations en raison de la combinaison de pics plus élevés et de durées allongées des événements.

Eté: Pour l'été, l'importante variabilité des résultats ainsi que la confiance limitée dans les modèles de simulation ne permettent pas de se prononcer valablement. Tout au plus peut-on déceler des tendances à la hausse sur le versant nord alpin et à la baisse sur le versant sud alpin.

1.4 Comparaison avec les variations observées

Les scénarios décrits pour l'avenir sont qualitativement cohérents et reflètent bien les changements climatiques observés durant le 20e siècle sur l'arc alpin, à savoir la croissance de la température moyenne, les précipitations hivernales et la fréquence des précipitations intenses.

2. Hydrologie

2.1 Bases

Les assertions relatives aux répercussions hydrologiques, s'agissant en particulier de l'évolution des crues reposent sur des évaluations qualitatives, seules autorisées en l'état actuel des connaissances. Il s'agira de les quantifier à l'avenir.

Les estimations ci-dessous expriment une évolution moyenne. En l'absence d'informations essentielles, les cas extrêmes ne peuvent pas être cernés actuellement. Entrent en jeu le futur déroulement des précipitations, que ce soit pour des événements isolés ou des longues périodes, l'évolution des pluies précèdent un événement majeur, la teneur en eau du sol, les niveaux des eaux souterraines, l'évolution de la couverture neigeuse (constitution, fonte) ainsi que la combinaison de ces éléments (OFEG, 2000; et Fig. 2). A lui seul, un accroissement des intensités des précipitations ne conduit pas forcément à des débits exceptionnels (OFEG,

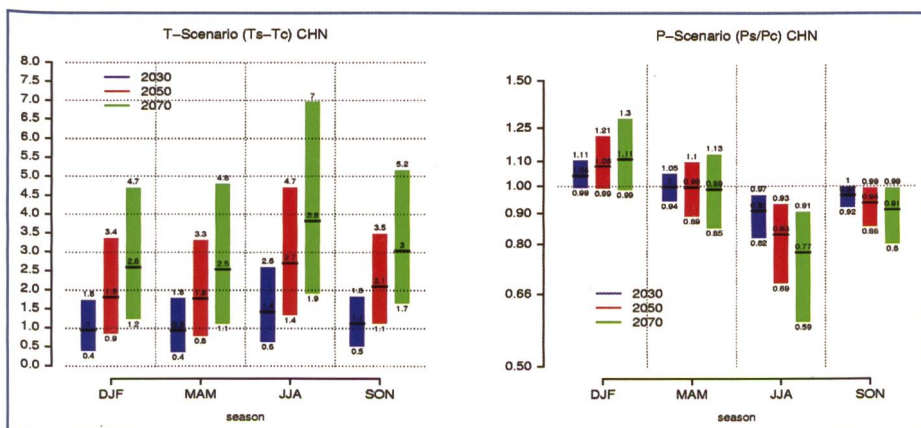


Figure 1. Variation de la température moyenne (à gauche, en degrés) et des précipitations moyennes (à droite, relation avenir/présent) dans les quatre saisons pour le Nord de la Suisse. Les barres montrent les incertitudes et les lignes la meilleure estimation du changement dans le cas concerné. Les changements sont présentés pour les périodes 2020–2040 (bleu), 2040–2060 (rouge), 2060–2080 (vert) par rapport à 1980–2000. (Frei, 2006).

2000). Il convient de préciser enfin que les processus complexes se déroulant dans les bassins versants, à l'exemple de l'influence et la gestion des lacs sont difficiles à quantifier.

2.2 Evolution moyenne des débits

Régimes d'écoulement: Les régimes varient de 1–2 classes vers les modes nival et pluvial. Les simulations de Horton et al. (2006) étayent cette assertion. La fonte des neiges débute plus tôt et son importance diminue dans les zones de moyenne et basse altitude. Les étiages en été et en automne deviennent plus marqués.

Volumes d'écoulement: Les volumes des précipitations annuelles diminuent d'environ 5 à 10%. Comme en outre l'évaporation s'élève, le volume d'écoulement annuel devrait se réduire de 7 à 12%. Les apports d'eau de fonte des glaciers, qui participent pour moins de 1% à l'écoulement dans les grandes rivières sont comparativement faibles et ne peuvent compenser la diminution attendue, même temporairement.

2.3 Evolution des crues

Les hypothèses sur l'évolution des débits des crues sont à distinguer selon les saisons, les régions et selon la taille des bassins versants.

Crues dans les régions nord alpines en dessous de 1500 m d'altitude: En hiver, du fait des teneurs en eau accrues dans le sol et d'apports de précipitations plus élevés, il faut s'attendre à des pointes de crues plus grandes. Malgré le réchauffement, des couvertures neigeuses peuvent encore être présentes dans le Plateau et des événements combinés de fonte/pluie sont ainsi toujours possibles (par ex. OFEG, 2000). L'influence des événements de fonte augmente comme à présent avec l'altitude des bassins versants dans la gamme d'altitude considérée. Dans ces régions, des crues exceptionnelles se manifestent d'ores et déjà en hiver ou au printemps. Elles peuvent encore à l'avenir

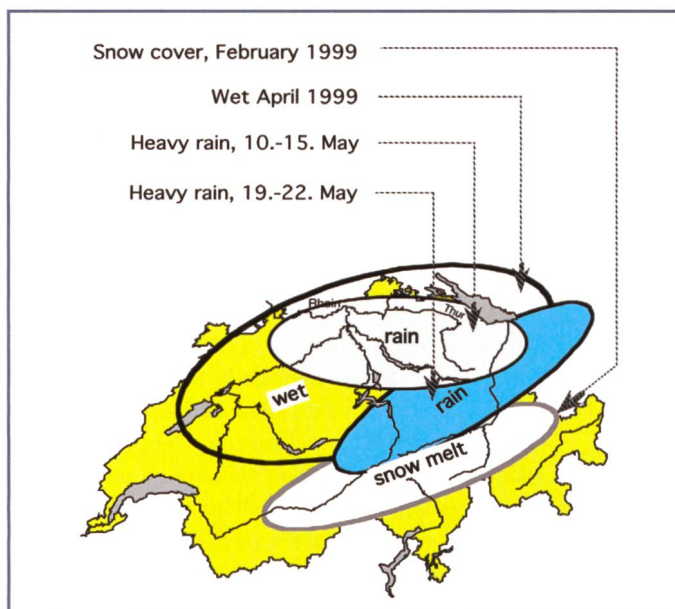


Figure 2. Schéma de la distribution spatio-temporelle des apports des débits dans la période des crues en mai et juin 1999. Grande ellipse: régions d'inondations (Grebner et Gurtz, 2003).

avoir lieu jusqu'au printemps, mais seront plus importantes en raison du climat.

En été, les crues vont s'affaiblir – particulièrement dans les basses altitudes – la prédisposition à l'écoulement des sols étant notablement réduite en raison de précipitations moindres et d'une évaporation plus élevée. Il n'en reste pas moins qu'en été il faut toujours s'attendre à des fortes précipitations convectives, qui peuvent induire des crues principalement dans les petits bassins versants.

Crues dans les régions nord alpines et centre alpines au-dessus de 1500 m d'altitude: Les régimes dans les Alpes passent du caractère glacial au caractère nival. En hiver les débits augmentent quelque peu à la faveur de chutes de pluies occasionnelles. Mais il n'en résulte pas pour autant de réelles crues. Au printemps de petites crues de fonte sont possibles, les pointes en seront plus grandes qu'aujourd'hui. Les crues annuelles vont se manifester comme aujourd'hui en été et probablement ne pas être plus importantes. En automne il n'y aura guère de changements. Enfin, il convient de noter que les régions centre alpines qui subissent des précipitations débordant du Sud ont un comportement analogue à celui des régions du Sud des

Alpes.

Versant sud des Alpes: aucune différenciation en fonction de l'altitude n'est possible. En hiver et au printemps, la forte croissance des précipitations provoquera une augmentation des crues. En été, les précipitations en baisse impliquent des débits de pointe plus faibles. L'automne reste la saison privilégiée pour les crues annuelles; les précipitations plus élevées font craindre une augmentation des crues.

Transport de sédiments: Le recul des glaciers et le dégel du permafrost induit un potentiel sédimentaire notablement plus important dans les régions situées entre 2300 et 2800 m d'altitude environ. Des précipitations liquides plus intenses accroissent encore le potentiel de transport de sédiments.

Glissements de terrain: Dans les Préalpes, les futures conditions hydrométéorologiques susmentionnées (précipitations, couverture neigeuse, évaporation) impliquent en hiver et au printemps des sols saturés d'eau sur de longues périodes. On peut en déduire un risque accru de glissements de terrain et donc de transports sédimentaires.

Conseguenze dei cambiamenti climatici sulla protezione contro le piene in Svizzera

Una presa di posizione della Commissione sulla Protezione contro le Piene dell'Associazione svizzera di economia delle acque (KOHS)

■ KOHS

Riassunto

L'influsso esercitato dai cambiamenti climatici sulle piene, può essere oggi pronosticato solo a livello tendenziale. In futuro gli esperti si attendono una maggiore frequenza di tali eventi con un aumento dei valori estremi.

I principi attuali concernenti la protezione contro le piene, alla luce dei probabili effetti dei cambiamenti climatici restano adeguati. Mantengono quindi la loro validità e devono essere attuati in maniera razionale e sistematica.

I parametri di dimensionamento (portata, portata cumulata, trasporto solido) devono essere scelti prudenzialmente nella fascia superiore dei valori possibili.

La funzione di protezione svolta dagli impianti esistenti e i potenziali pericoli devono fare oggetto di controlli periodici. I miglioramenti necessari saranno quindi da prevedere.

I nuovi progetti e le opere esistenti devono essere oggetto di verifica in base al caso di sovraccarico.

Occorre attirare l'attenzione dei decisori e degli attori coinvolti sulla necessità di agire.

I mezzi necessari devono essere messi a disposizione.

1. Introduzione

Gli ultimi tre decenni sono stati contrassegnati da un gran numero di eventi con piene che hanno causato notevoli danni. Nello stesso periodo è stato registrato un notevole aumento della densità degli insediamenti e una concentrazione di valori materiali lungo i corsi d'acqua.

Le piene provocano danni in seguito a inondazioni, erosioni, deposito di sedimenti, flussi detritici e intasamenti di passaggi stretti (ad es. ponti e passaggi) causati da legname alluvionale. A scopo di protezione contro le piene è importante conoscere l'influsso esercitato dai cambiamenti climatici su questi processi.

È aperta la questione a sapere se i principi della protezione contro le piene sono sufficienti, in considerazione del cambiamento climatico o se si rendono necessari adattamenti.

2. Principi della protezione contro le piene

La protezione contro le piene si indirizza al principio della sostenibilità.

L'obiettivo consiste nella protezione delle vite umane, nel mantenimento

delle condizioni di base per la vita e nella protezione dei valori materiali considerabili, con un impegno economicamente sostenibile.

Il modo di comportarsi in presenza di piene si basa sulla risposta alle seguenti domande:

- Cosa può accadere?
- Cosa può essere accettato?
- Come possiamo proteggerci?
- Come minimizzare i rischi residui?

2.1 Cosa può accadere?

La base per la valutazione del pericolo è, tra l'altro, la documentazione e l'analisi degli avvenimenti passati. La carta dei pericoli (piano delle zone di pericolo) mostra le superfici minacciate da pericoli naturali e relativa intensità. Essa serve da base per più ampie analisi dei rischi.

2.2 Cosa può essere accettato?

Alla domanda su cosa può essere accettato in caso di evento si può rispondere con l'aiuto di analisi del rischio, consideranti aspetti politico-sociali, ecologici ed economici.

2.3 Come possiamo proteggerci?

La convivenza con le forze della natura esige una gestione dei rischi integrale. Questa si basa su una vasta gamma di provvedimenti. Tra questi la capacità di escludere le zone a rischio mediante provvedimenti di pianificazione territoriale, un'adeguata manutenzione dei corsi d'acqua, le misure tecniche di protezione delle opere, i sistemi d'allarme e l'evacuazione, nonché le assicurazioni.

La progettazione delle misure di protezione persegue lo scopo di applicare provvedimenti atti a superare indenni un evento di una determinata dimensione, il cosiddetto evento di dimensionamento. La progettazione si basa quindi su parametri di calcolo, come ad esempio la portata di piena. La determinazione di questi parametri di calcolo si basa tra l'altro su valutazioni statistiche delle osservazioni. Uno dei problemi principali è che le serie di misurazioni disponibili sono quasi sempre insufficienti per permettere di fare affermazioni affidabili su eventi estremi. Le piene sono accompagnate sempre da erosioni, trasporto di sedimenti e legname alluvionale. Questi processi si manifestano in varie combinazioni, in parte casuali, in cui la fase preliminare svolge un ruolo determinante. Per esempio la saturazione del terreno causata dalle precedenti piogge svolge un influsso determinante sulla formazione di una piena. Durante la progettazione dei provvedimenti si può tenere solo limitatamente conto della variabilità dei processi naturali. Per questo motivo alla base della progettazione si colloca una selezione rappresentativa di processi combinati, i cosiddetti scenari.

2.4 Come minimizzare i rischi residui?

Una protezione totale contro le piene non è possibile. Eventi estremi rari conducono ad un sovraccarico dei provvedimenti tecnici, concepiti in funzione di un determi-

nato obiettivo di protezione. I rischi residui collegati ad essi devono potere essere individuati e minimizzati mediante adeguati provvedimenti. Allarme ed evacuazione, protezione di oggetti singoli nonché assicurazioni a copertura dei danni, sono alla base della gestione dei rischi residui.

I provvedimenti costruttivi di protezione contro le piene devono essere robusti e capaci di sopportare sovraccarichi. Si intende così assicurare che non cedano improvvisamente, con conseguente repentino aumento dei danni. Nell'ambito della progettazione si valuta inoltre il loro comportamento durante un sovraccarico di misura. La determinazione delle zone colpite in caso di sovraccarico costituisce la base per la valutazione dei rischi residui.

3. Basi e fatti sul cambiamento climatico ed eventi estremi di piena

Le affermazioni relative ai possibili effetti idrologici causati dai cambiamenti climatici in Svizzera nel corso dei prossimi 50 anni, in particolare inerenti lo sviluppo delle piene, si basano su stime di esperti rilasciate in base all'attuale livello di cono-

scenza. La presentazione dettagliata di questa stima è stata riportata in appendice a questo documento.

3.1 Il regime di deflusso

I volumi annuali delle precipitazioni meteoriche si riducono di circa il 7%. Nel semestre estivo ci si aspetta una riduzione, mentre in inverno dovrebbero verificarsi precipitazioni di volume tendenzialmente maggiore. Considerando l'ulteriore aumento dell'evaporazione, il volume del deflusso medio annuale dovrebbe ridursi di circa il 10%. Lo scioglimento delle nevi inizia più presto nella stagione. A media e bassa quota, visto l'innalzamento previsto del limite della neve, esso è meno importante. Le magre in estate e in autunno saranno più accentuate.

3.2 Piene

Zone a quote inferiori a 1500 m: In inverno, in seguito alla maggiore saturazione dei terreni (aumento delle precipitazioni) e all'aumentata intensità delle precipitazioni sono attese punte di piena maggiori. Nonostante il riscaldamento, anche nel Mittelland si attende saltuariamente la formazione di un manto nevoso e una combinazione di eventi di scioglimento delle nevi e precipitazioni piovose. L'influsso degli eventi causati dallo scioglimento aumenta con l'altitudine dei bacini imbriferi. Possono estendersi fino a primavera. In queste zone situate a maggiori altitudini, in inverno o primavera si formano già oggi piene annuali. Questi deflussi massimi aumentano di conseguenza.

In estate, le piene risulteranno inferiori particolarmente a bassa quota, perché la disposizione al deflusso dei terreni risulta chiaramente ridotta in seguito alle minori precipitazioni meteoriche e alla maggiore evaporazione. Occorre però considerare

che in estate non si possono mai escludere temporali (forti precipitazioni convettive) che possono causare delle piene specie in piccoli bacini imbriferi.

Zone a nord delle Alpi, a quote superiori ai 1500 m: In inverno, saltuarie nevicate causano un lieve aumento dei deflussi. In primavera si verificano piccole piene da disgelo, le punte massime sono però superiori a quelle odierne. Le piene annuali continueranno a verificarsi come oggi in estate, e prevedibilmente non saranno maggiori. In autunno non si attendono cambiamenti di rilievo. Le zone alpine interne (Vallese, Engadina), colpite dalla propagazione delle piogge provenienti da sud, si comportano analogamente alle zone a sud delle Alpi.

Zone a sud delle Alpi: A sud delle Alpi, in mancanza di possibilità di differenziazione, non si fanno distinzioni di altitudine. In inverno e in primavera, in seguito ai maggiori volumi e intensità delle precipitazioni, si verificheranno piene di maggiore importanza. In estate, in seguito alla riduzione dei volumi delle precipitazioni, si attendono punte di deflusso inferiori. Determinante per le piene annuali saranno le piene che si verificano in autunno; queste saranno verosimilmente ancora maggiori.

3.3 Trasporto di materiale solido

Il volume di materiale solido esposto al pericolo d'erosione in altitudine nelle Alpi aumenta chiaramente. I motivi sono il ritiro dei ghiacciai e lo scioglimento del permafrost nelle zone situate a quote comprese fra 2300 e 2800 m. Considerato che aumenteranno le precipitazioni meteoriche sotto forma di pioggia invece che di neve e vista la tendenziale maggiore intensità delle stesse, ci si attende un aumento del trasporto solido.



Immagine 1. La Töss in piena.



Immagine 2. Intervento dei pompieri di Lufingen.



Immagine 3. Piena in città di Zurigo, 1878, Seefeldstrasse.

3.4 Smottamenti

Nelle prealpi, in inverno il volume e l'intensità delle precipitazioni sotto forma di pioggia aumenta, l'estensione del manto nevoso invece diminuisce. In inverno e in primavera nelle prealpi il terreno può quindi risultare per lungo tempo saturo. Con precipitazioni intense aumenta il pericolo di smottamenti e flussi detritici. Aumenta di conseguenza il contenuto di materiale solido nelle acque.

4. Valutazione dell'attuale strategia per la protezione contro le piene in considerazione degli effetti del cambiamento climatico.

Sulla base delle stime menzionate in precedenza, è lecito affermare che in Svizzera sono in atto cambiamenti della frequenza e dell'entità delle piene. Sono da attendere differenze regionali e stagionali importanti. In generale vi è da aspettarsi un aumento delle punte massime e dei volumi delle piene, soprattutto nel semestre invernale. Il trasporto solido complessivo aumenterà. Maggiori deflussi di piena e maggiori carichi di sedimenti stagionali impongono adeguate sezioni di deflusso e spazi per i depositi. Ne risulta una maggiore esigenza di spazio per i corsi d'acqua rispetto ad oggi.

Attualmente mancano in Svizzera basi affidabili per permettere una considerazione quantitativa delle conseguenze dei cambiamenti climatici per il dimensionamento dei provvedimenti contro le piene.

I principi della protezione contro le piene in uso, anche se non propriamente creati in vista dei cambiamenti climatici, presentano una grande flessibilità. Permettono, tenuto conto di rispettivi scenari, di adattarsi ai cambiamenti. In questo procedimento prettamente qualitativo, la presa in considerazione di scenari di sovraccarico con superamenti sensibili dei parametri di dimensionamento riveste grande significato. I principi della Confederazione e dei Cantoni menzionati sono indirizzati al futuro, ma applicati per ora solo in relativamente pochi casi. La piena di agosto 2005 ha dimostrato come, ove siano stati realizzati progetti conformi ai principi della moderna protezione contro le piene, sia stato possibile evitare danni altrimenti notevolmente maggiori.

La necessità di azione nel campo della protezione contro le piene è tuttavia grande. Esistono ancora troppe opere di protezione inadeguate alle esigenze crescenti. Tali misure risultano spesso inadatte al sovraccarico. Un loro adattamento

al crescente pericolo di piena e alle conseguenti nuove esigenze richiede un grosso impegno. Ulteriori insufficienze verranno evidenziate con la preparazione delle carte di pericolo ancora in programma.

La protezione contro le piene è un compito continuo e a lungo termine; la realizzazione dell'attuale strategia di protezione contro le piene esige un adeguato impiego di tempo e di risorse.

5. Raccomandazioni della KOHS

Una protezione contro le piene sostenibile esige una realizzazione conseguente della gestione del rischio integrale.

- Per la progettazione dei provvedimenti, gli effetti del cambiamento climatico devono essere valutati sulla base di appositi scenari.
- Devono essere considerati i peggiori scenari pensabili e immaginabili, per stabilire il fabbisogno di spazio dei corsi d'acqua necessario al deflusso di eventi estremi; questo spazio dev'essere assicurato.
- Le misure di protezione tecnico-costruttive devono essere concepite in modo da poter essere applicate con un impegno sopportabile. I provvedimenti costruttivi di protezione contro le piene devono essere robusti e capaci di sopportare sovraccarichi.
- Nel considerare il caso di sovraccarico, durante la progettazione e la realizzazione dei provvedimenti occorre dare una maggiore importanza al fattore del cambiamento climatico.
- I rischi residui non potranno mai essere evitati, possono però essere minimizzati mediante misure secondarie (protezione delle opere) e provvedimenti organizzativi (programmazione e concetti per i casi d'emergenza).

Colmare le attuali lacune della conoscenza è d'importanza centrale; ampie basi conoscitive sono una premessa importante per la convivenza con i rischi impliciti ai pericoli naturali.

- Per quantificare gli effetti idrologici degli scenari climatici attuali sono necessari modelli idraulici ed idrologici ad alta risoluzione temporale e spaziale. Questo implica una densificazione delle reti di misurazione idrologiche.
- Il lavoro di pianificazione con scenari implica una approfondita conoscenza dei processi nonché dei modi in cui agiscono i provvedimenti. L'analisi approfondita di eventi è la premessa per l'ampliamento delle conoscenze e per contenere le incertezze.

L'opinione pubblica dovrà essere maggiormente sensibilizzata; ciò permette la divulgazione delle conoscenze di base sui pericoli derivanti dalle piene e la presa di coscienza delle responsabilità individuali.

- Semplici adattamenti a edifici e impianti permettono di ridurre i danni causati da eventi estremi. Le rispettive conoscenze devono essere trasmesse ai committenti, architetti e progettisti mediante informazioni pubbliche e nell'ambito dell'istruzione.
- Il coinvolgimento delle assicurazioni immobiliari nella promozione della responsabilizzazione individuale avviene mediante appropriata informazione e una definizione adeguata dei premi.

I mezzi disponibili per la protezione contro le piene sono limitati. I provvedimenti attualmente necessari non possono essere realizzati tutti contemporaneamente. Ovunque non sia possibile realizzare subito i progetti per la protezione contro le piene, i rischi esistenti possono spesso essere ridotti in maniera significativa. Vanno applicati provvedimenti economici, derivanti da altri settori della gestione integrale del rischio quali la messa a disposizione dello spazio per i corsi d'acqua, la protezione puntuale delle opere e la pianificazione delle misure per i casi d'emergenza.

6. Osservazioni finali

La lotta tempestiva e conseguente contro le cause del cambiamento climatico è viepiù un compito prioritario della nostra società. Con provvedimenti di protezione contro le piene possiamo in ultima analisi solo contrapporci a singoli sintomi del cambiamento climatico.

Questo documento di base «Cambiamento climatico e protezione contro le piene» è stato elaborato dalla KOHS in occasione di un workshop del 12-14 novembre 2006 e approvato a Zurigo nella seduta del 18 gennaio 2007.

Dati di base per il clima

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

1. Clima e precipitazioni intense

1.1 Documenti di base

Gli scenari qui descritti si basano su ampie simulazioni eseguite su modelli climatici globali e regionali concernenti progetti europei di ricerca sul clima (PRUDENCE: Christensen et al., 2007; STARDEX: Goodness, 2003), e sulla loro valutazione specifica per la zona alpina (Frei, 2006, Frei et al., 2006, Schmidli et al., 2007). Gli scenari rispecchiano l'attuale stato della conoscenza (inizio 2007). La presa in considerazione di diverse stime delle future emissioni di gas a effetto serra permette una descrizione quantitativa delle incertezze implicate. Gli scenari descrivono i cambiamenti attesi fino a metà del 21° secolo (2050) in confronto allo stato alla fine del 20° secolo (1990).

1.2 Sviluppo medio del clima

Temperatura: attualmente, in Svizzera si prevede un aumento della temperatura da 1 a 3,5 °C. I decenni si differenziano in modo minimo e le differenze regionali del riscaldamento sono inferiori rispetto al margine di incertezza stimato (fig. 1).

Limite delle nevicate e del permafrost: come conseguenza del riscaldamento si verifica uno spostamento della

struttura verticale delle temperature nell'atmosfera. Di conseguenza si prevede un innalzamento del limite medio della neve e permafrost di 150 fino a 600 m.

Precipitazioni: contrariamente alla temperatura, il decorso annuale medio dei volumi delle precipitazioni subisce un notevole cambiamento, con aumenti da 0–20% in inverno (dicembre – febbraio) e riduzioni di 5–30% in estate (giugno–agosto). In primavera e in autunno i cambiamenti si situano tra questi valori. Il passaggio a estati più asciutte risulta dominante per il cambiamento dei volumi delle precipitazioni annuali, per i quali si stima una riduzione di 5–10% (fig. 1).

1.3 Sviluppo delle forti precipitazioni

Le valutazioni delle simulazioni climatiche permettono una quantificazione approssimativa dei valori estremi delle precipitazioni durante periodi tra 5 e 50 anni. Emergono solo piccole differenze concernenti le precipitazioni estreme, con una durata tra 1 e 5 giorni. I cambiamenti stagionali e regionali risultano essere i seguenti:

Autunno, inverno, primavera: in autunno si prevede un aumento dei valori estremi fino a 10% a nord delle Alpi, rispettivamente di 20% a sud delle Alpi. In inverno e in primavera l'aumento sui due

versanti delle Alpi si situa tra 0 e 20%. Nel caso più sfavorevole, un evento considerato oggi secolare in futuro potrà verificarsi ogni 20 anni (Frei et al. 2006). In inverno e in primavera si prevede un aumento del volume delle precipitazioni, come conseguenza della combinazione tra punte massime più elevate e maggiori durate.

Estate: per l'estate, la grande variabilità dei risultati e la limitata affidabilità nelle simulazioni in base ai modelli non permettono di formulare previsioni attendibili. Si individuano tuttavia tendenze ad un aumento a nord delle Alpi e una riduzione a sud.

1.4 Confronto sulla base di cambiamenti osservati

Gli scenari descritti per il futuro sono qualitativamente consistenti con i cambiamenti climatici osservati nella regione alpina nel corso del 20° secolo. Essi prevedono un aumento della temperatura media, delle precipitazioni invernali e della frequenza delle precipitazioni intense.

2. Idrologia

2.1 Documenti di base

Le affermazioni relative alle conseguenze idrologiche, in particolare l'evoluzione delle piene, poggiano su valutazioni qualitative in base allo stato delle conoscenze attuali. Dovranno essere quantificate in futuro.

Le successive stime esprimono uno sviluppo medio. Singoli eventi estremi non si lasciano ancora raffigurare, a causa della mancanza di informazioni essenziali. Tra di esse il futuro decorso delle precipitazioni durante eventi ed episodi, l'evoluzione della pioggia precedente, del contenuto d'acqua nel terreno, dei livelli della falda freatica e lo sviluppo del manto nevoso (costituzione e scioglimento), nonché la combinazione di questi influssi (UFAEG, 2000; e fig. 2). Il solo aumento dell'intensità delle precipitazioni non significa automaticamente maggiori punte di deflusso (UFAEG, 2000). Inoltre, i processi complessi nei bacini imbriferi, ad es. l'influsso esercitato dai laghi e il loro sfruttamento, sono difficilmente stimabili.

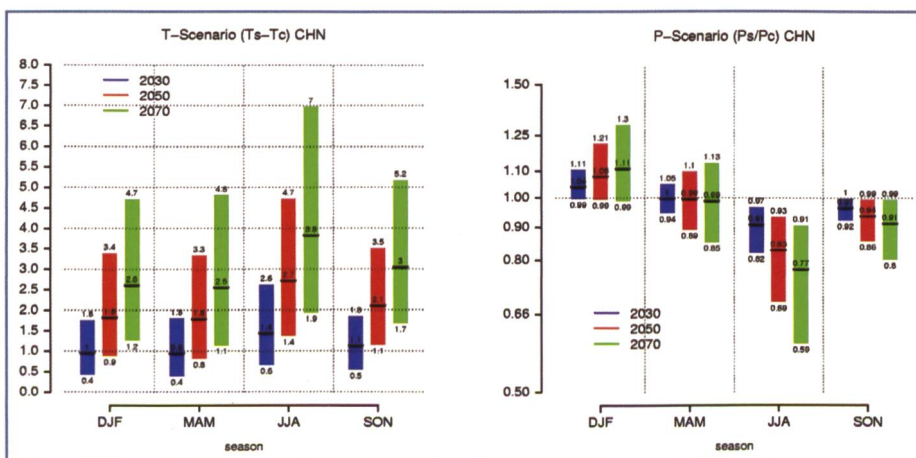


Fig. 1. I cambiamenti della temperatura media (sinistra, in gradi) e delle precipitazioni medie (destra, rapporto situazione futura/attuale) nelle quattro stagioni per la Svizzera settentrionale. Le colonne indicano le incertezze e le linee la rispettiva migliore stima del cambiamento. I cambiamenti sono raffigurati per i periodi 2020–2040 (blu), 2040–2060 (rosso), 2060–2080 (verde) rispetto al periodo 1980–2000. (Da Frei, 2006).

2.2 Sviluppo medio del deflusso

I regimi di deflusso: i regimi cambiano di 1–2 classi in direzione nivale e pluviale. Modelli di calcolo di Horton et al. (2006) sostengono questa affermazione. Lo scioglimento delle nevi inizia prima e ad altitudini medie e basse è d'importanza decrescente. In estate e autunno, le magre si accentuano.

Volumi di deflusso: i volumi annuali delle precipitazioni meteoriche si riducono dal 5 al 10% circa. Considerando l'aumento dell'evaporazione, il volume annuale dei deflussi dovrebbe ridursi dal 7 al 12%. I contributi dell'acqua di disgelo dei ghiacciai ammontano a meno dell'1% del deflusso dei grandi fiumi. Sono proporzionalmente piccoli e non possono compensare nemmeno temporaneamente la riduzione delle precipitazioni.

2.3 Sviluppo delle piene

Le affermazioni relative allo sviluppo dei deflussi delle piene devono essere considerate in modo differenziato tenuto conto della stagione e della regione, nonché delle dimensioni dei bacini imbriferi.

Piène nelle zone a nord delle Alpi a quote inferiori ai 1500 m: in inverno, in seguito al maggiore contenuto d'acqua del terreno e alle maggiori precipitazioni, si attendono piene con punte massime più elevate. Nonostante il surriscaldamento, nel Mittelland continuano ad essere possibili manti nevosi e quindi eventi di disgelo/pioggia combinati (ad es. UFAEG, 2000). L'influsso degli eventi causati dal disgelo aumenta con l'altitudine dei bacini imbriferi, alle quote considerate. In queste zone, in inverno e primavera si verificano già oggi le piene annuali. Anche in futuro le stesse potranno verificarsi fino a primavera e, tenuto conto del clima, saranno più importanti.

In estate, le piene risulteranno inferiori, particolarmente a basse quote, siccome la predisposizione al deflusso dei terreni risulta chiaramente ridotta in seguito alle minori precipitazioni meteoriche e alla maggiore evaporazione. Occorre però osservare che, in estate, sono sempre possibili forti precipitazioni convettive che, particolarmente in bacini imbriferi di dimensione ridotta, possono causare delle piene.

Piène nelle regioni a nord e interne delle Alpi a quote superiori ai 1500 m: i regimi nelle Alpi passano dal carattere glaciale a quello nivale. In inverno i deflussi aumentano leggermente in seguito a saltuarie precipitazioni piovose. Da esse non risultano però vere e proprie piene. In pri-

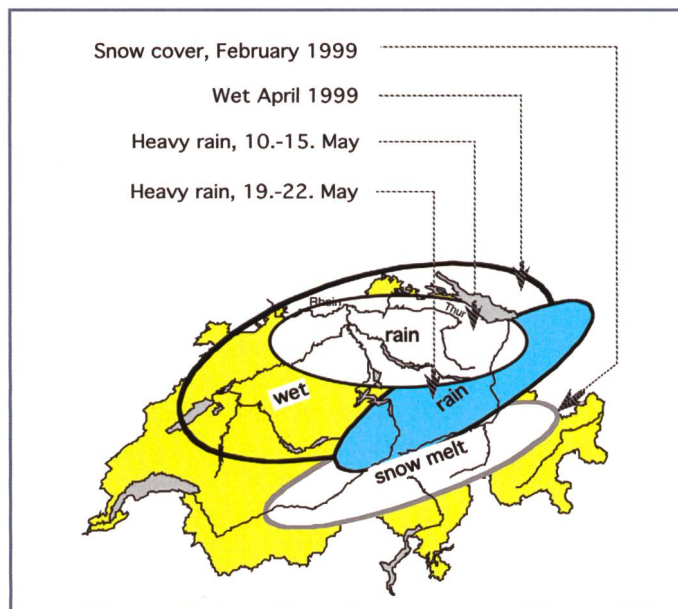


Fig. 2. Schema della sequenza cronologica e della distribuzione spaziale dei contributi ai deflussi durante il periodo della piena maggio e giugno 1999. Grande ellisse: Zona della piena. (Grebner e Gurtz, 2003).

mavera si verificano piccole piene da disgelo, le punte saranno superiori a quelle attuali. Le piene annuali continueranno a verificarsi come oggi in estate e presumibilmente senza aumentare. In autunno non si attendono praticamente cambiamenti. - Osservazione: le zone alpine interne, influenzate dalla propagazione delle precipitazioni provenienti da sud si comportano analogamente alle regioni a sud delle Alpi.

Versante sud delle Alpi: In mancanza di possibilità di differenziazione in questa regione, non si distinguono differenze di altitudine. In inverno e in primavera le precipitazioni sempre più crescenti fanno presumere anche un rispettivo aumento delle piene. In estate, la riduzione delle piogge indica punte massime inferiori delle piene. Le condizioni idrometeorologiche in autunno rimangono determinanti per le piene annuali. Le maggiori intensità delle precipitazioni fanno presumere un aumento delle piene.

Trasporto solido: in seguito al ritiro dei ghiacciai e al disgelo del permafrost, nelle zone situate ad altitudini tra ca. 2300 e 2800 m, la disponibilità di materiale solido aumenta sensibilmente. Precipitazioni sottoforma di pioggia più intense contribuiscono ad aumentare il potenziale per il trasporto solido.

Smottamenti: nelle prealpi, le future condizioni idrometeorologiche invernali e primaverili menzionate (precipitazioni, manto nevoso, evaporazione) lasciano presumere suoli saturi d'acqua per lunghi periodi. Ne risulta un accresciuto pericolo di smottamenti e un aumento del trasporto solido.

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

Membres de la commission et experts en climat qui ont participé à l'atelier du 12 au 14 novembre 2006 ou qui ont collaboré à ce document:

Membri della commissione e esperti per fenomeni climatici, che hanno partecipato al workshop del 12–14 novembre 2006, rispettivamente che hanno collaborato alla redazione di questo documento:

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 Béro, 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'acqua, 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 Forsch-

ungsanstalt 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, 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, EGGS, 6.

Horton, P., B. Schaefli, 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. Hindecha, 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/>.

Profitieren Sie von unserem Angebot!

Auf CD erhalten Sie zum Preis von CHF 150.–, eine hochaufgelöste PDF-Datei, mit ihrem in «Wasser Energie Luft» veröffentlichten Artikel. Mit dieser Datei können Sie entweder genau die benötigte Anzahl Exemplare selber auf Ihrem Farblaserdruker printen oder aber in der Druckerei Ihrer Wahl einen hochwertigen Nachdruck produzieren.

Infos:

Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (SWV)
Manuel Minder, Produktion WEL und Anzeigenberatung

Rütistrasse 3a, CH-5401 Baden
Telefon 056 222 50 69, Fax 056 221 10 83
E-Mail: m.minder@swv.ch

Adobe PDF

(Portable Document Format) ist ein von Adobe Systems entwickeltes offenes Dateiformat, das von Standardisierungsgremien weltweit für den sicheren und zuverlässigen Austausch von elektronischen Dokumenten verwendet wird.