

(Über)Nutzung des Wassers in den Alpen

von Carmen de Jong

Keywords: Klimawandel, Wasserhaushalt Alpen, Landnutzung, Stauseen, Speicherbecken

Die heute dominierenden politischen und wissenschaftlichen Ansätze ermöglichen es nicht, Probleme der Wassernutzung und Übernutzung in den Alpen generell zu erkennen und zu lösen. Während die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie im Gebirge immer mehr Aufmerksamkeit auf sich ziehen, werden die Auswirkungen von Landnutzungswandel und Wassermanagement kaum beachtet. Dies wird durch eine breite Palette von hydrologischen Beispielen belegt: von Bächen und Flüssen zu Seen und Feuchtgebieten bis hin zu Stau- und Speicherbecken für die Wasserkraft, den Wintertourismus und die landwirtschaftliche Bewässerung. Die hydrologischen Veränderungen werden fast immer nur lokal betrachtet und nicht in ihrer Bedeutung für ganze Gebirgsketten dargestellt. Insgesamt nimmt die Wasserverfügbarkeit, der gute Zustand der Gewässer und der wasserabhängigen Ökosysteme in den Alpen und Pyrenäen ab. Die Niedrigwasserstände und extremen Hochwasserereignisse gewinnen an Bedeutung und die Saisonalität verschiebt sich. Dies betrifft sowohl die verfügbaren Wasserreserven von Gletschern bzw. Schnee als auch die Abflüsse sowie Seespiegel von kleinen und großen Bächen, Flüssen, Seen und Feuchtgebieten. Stauseen und Speicherbecken für Wasserkraft, Trinkwasser und Kunstschnee werden von diesen Auswirkungen auch nicht verschont, obwohl sie gebaut wurden, um Probleme der Wasserverfügbarkeit zu lösen. Trotzdem bzw. gerade deswegen steigen die Wasserentnahmen besonders im Zusammenhang mit dem Wintertourismus und führen zur lokalen Wasserübernutzung mit teilweise irreversiblen Auswirkungen. Es wird im Zusammenhang mit Wasserkraft- und Kunstschneeausbau regelrecht gegen die EU-Wasserrahmenrichtlinie verstoßen. Beispielsweise werden in Skigebieten sehr gut eingestufte Wasserkörper quasi ohne Kontrollen zu Kunstgerinnen umgebaut oder der Gewässerzustand eines Flusses wird kurzerhand von "sehr gut" auf "gut" herabgestuft, um ein Wasserkraftwerk zu bauen. In vielen Zusammenhängen werden aktuelle Wasserkonflikte entweder verschönert, kleingeredet oder selbst in Wassermanagementplänen ganz ausgeklammert. An punktuellen Beispielen – vorwiegend aus dem Alpenraum – wird versucht, die Problematik umfassend aufzuzeigen.

Today's dominant political and scientific approaches do not enable the general recognition and solving of problems related to water use and overuse in the Alps. While more and more attention is focused on the impacts of climate change on mountain hydrology, impacts of land use change and water management are hardly considered. This is documented by a large palette of hydrological examples ranging from: streams and rivers, lakes and wetlands to dams and snowmaking reservoirs for hydroelectricity and winter tourism and agricultural irrigation. Hydrological changes are mostly observed only locally and their importance is not demonstrated in the context of whole mountain chains. In general, water availability and the good state of water bodies and water-dependent eco-

systems are decreasing in the Alps and Pyrenees. Low water flow and extreme flood events are increasing in significance and seasonality is shifting. This concerns both available water reserves from glaciers and snow as well as discharge and lake levels of small and large streams, rivers, lakes and wetlands. Dam reservoirs and water holding reservoirs for hydropower, drinking water and artificial snow production are not exempt from these impacts, even though they were constructed to solve problems of water availability. In spite of this and because of this, water abstraction is increasing especially in association with winter tourism and leading to local water overuse with partially irreversible effects. The EU Water Framework Directive is literally violated with relation to hydropower and artificial snow development. For example, water bodies in ski areas classified as having a very good status are transformed virtually without control into artificial channels or the status of a river is downgraded from “very good” to “good” in order to develop hydropower. In many contexts current water conflicts are either embellished, minimalized or even totally excluded from water management plans. With the help of selected examples - mainly from the Alpine Space - an attempt is made to highlight this issue comprehensively.

Einleitung

Die jetzigen hydrologischen Prozesse in den Alpen werden nicht umfassend genug erfasst, obwohl es außerordentlich wichtig ist, ihre Veränderungen durch den Klimawandel gut voraus zu sagen. Außerdem sind die anthropogenen Einflüsse auf die Hydrologie der Alpen derartig komplex und schnell und die Planungen oft so intransparent, dass Wissenschaftler und Betroffene kaum den Veränderungen folgen können. Durch die anschließenden Ausführungen zu einigen wichtigen hydrologischen Bereichen wird versucht, über eine vergleichende Analyse, auf wesentliche Probleme hinzuweisen und Anstöße für umfassendere Aufarbeitungen und Analysen zu geben.

1. Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Gebirgshydrologie

1.1 Schnee und Gletscher

In den Gebirgen und auch in den Alpen ist der Klimawandel am besten durch den Gletscherrückgang und dem Rückgang von Schneehöhe und Schneedauer zu erkennen. Der Rückgang der Gletscher ist in den Alpen sehr gut dokumentiert und zeigt generell eine exponentielle Abnahme der Gletschervolumen. Damit verbunden ist natürlich auch ein schneller Abbau der hochalpinen Wasserreserven. Als Beispiel ist die Entwicklung der in den Schweizer Gletschern gespeicherten Wasservolumen (Einzugsgebiete Rhone und Rhein, Engadin und Tessin) seit Ende der kleinen Eiszeit in Abb. 1 dargestellt. Im Jahr 1850 waren in der Schweiz noch 98 km^3 Wasserreserven als Gletscher gespeichert. Diese sind im Jahr 2013 mit etwa 50 km^3 auf die Hälfte gesunken. Bis zum Jahr 2100 (in den nächsten 87 Jahren) sollen die Wasserreserven auf etwa 15 km^3 zurückgehen. In allen Einzugsgebieten mit mehr oder weniger Gletscherflächen wird dieser Rückgang starke Auswirkung auf die sommerlichen und herbstlichen Abflüsse und die Grundwasserstände haben. In kleineren Einzugsgebieten, deren Sommerabflüsse von der Gletscherschmelze gespeist werden, kann es zeitweise selbst zur Abflusslosigkeit kommen (KOBOLTSCHNIG et al. 2008).

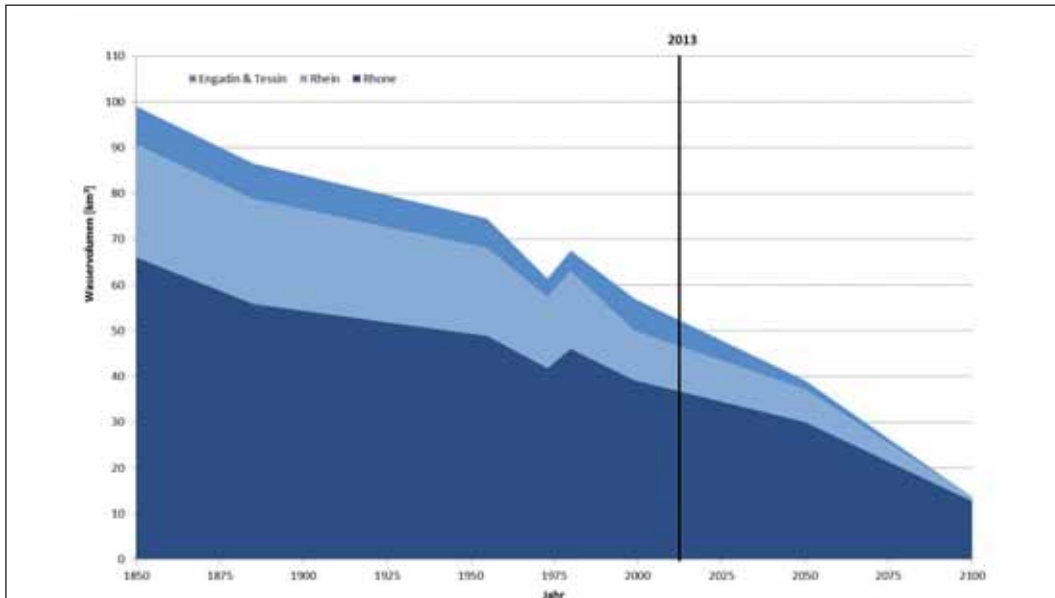


Abb. 1: Entwicklung der in den Schweizer Gletscher gespeicherten Wasserreserven (am Beispiel Rhone- und Rhein-Einzugsgebiet, Engadin & Tessin) seit Ende der kleinen Eiszeit ca. 1850- 2100. (Quellenangabe: BAFU, 2012: Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesenbericht zum Projekt "Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz" (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.).

1.2 Bäche und Flüsse

Alpine aquatische Ökosysteme reagieren nicht nur sehr sensibel auf Veränderungen von Niederschlägen und Temperaturen. Die Abflüsse werden zunehmend auch durch verstärkte Verdunstung und Landnutzungsänderungen beeinflusst. Die Abflusshöhen der Pyrenäenflüsse belegen diese Tendenzen und Veränderungen am besten, ein beredtes Zeugnis dafür sind die Rückgänge der Abflusshöhen im Ebro-Einzugsgebiet (DE JONG 2009, DE JONG et al. 2012, LUDWIG et al. 2009)(Abb. 2). Verglichen mit den Alpen, hat der Klimawandel in den Pyrenäen bereits viel stärker Auswirkungen auf die Hydrologie (DE JONG 2009).

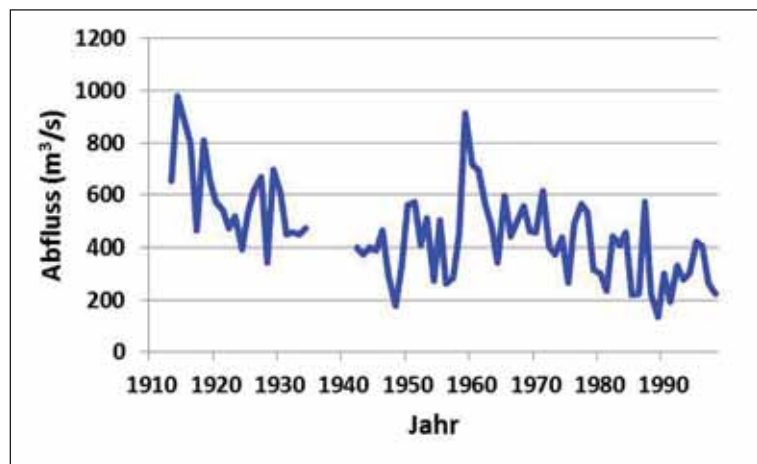


Abb. 2: Starke Abnahme der gemessenen Abflusshöhen (schwarze Linie) vom Ebro, Spanien, seit 1913 (LUDWIG 2009).

Der Rückgang der Schneedecke und der Schneedauer hat wichtige Auswirkungen auf die Hydrologie. In den Alpen fehlen jedoch in den Bereichen über den Wäldern weithin meteorologische und hydrologische Langzeitmessungen. Das Abflussregime der alpinen Bäche und Flüsse hat sich während der letzten 20 Jahre stark verändert. Die Abnahme der Mächtigkeit der winterlichen Schneedecke und die Reduktion der Zeit der Schneeschmelze führen zu kürzeren Hochwasserwellen mit höheren Spitzenabflüssen. Nach ALLAMANO et al. (2009) wird in Zukunft bei einer 2°C Temperaturerhöhung und 10% Zunahme des Niederschlags das hundertjährige Hochwasser fünf Mal häufiger auftreten, d.h. durchschnittlich alle 20 Jahre. Die Schmelzwasserabflüsse treten im Frühling früher auf, die Schneedecke als Wasserpuffer wird schneller abgebaut und reduziert damit auch die sommerlichen Abflüsse. Die sommerlichen Niedrigwasserperioden treten ebenfalls früher auf, sind deutlicher ausgeprägt und halten länger an. In Karstgebieten prägt sich dies besonders stark aus (DE JONG 2012 a). Besonders am Ende des Sommers und während des Herbstanfangs können langanhaltende Niedrigwasserabflüsse zu Wasserknappheiten führen. Die Abflüsse z. B. des Auerbachs bei Bad Trissl östlich des Skigebietes Suldelfeldes in Oberbayern sind dafür ein gutes Beispiel (Abb. 3).

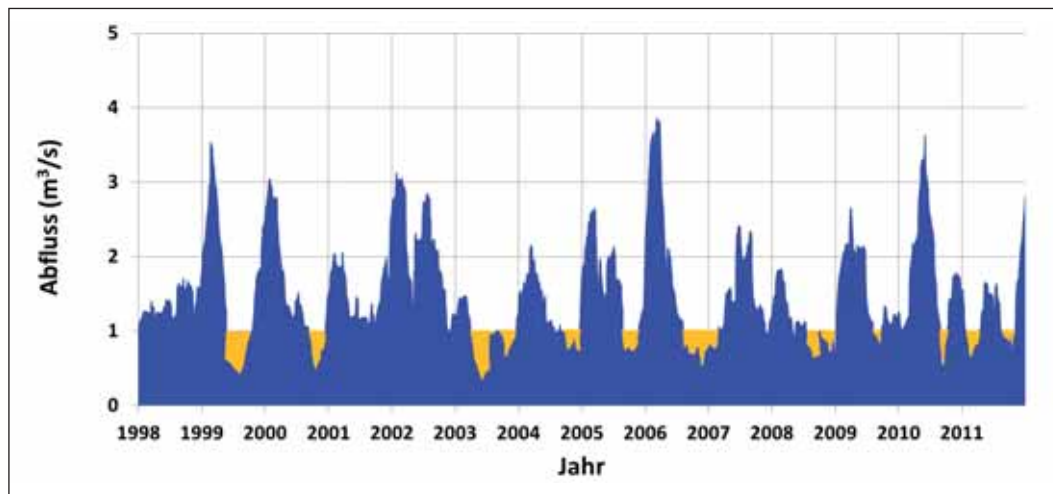


Abb. 3: Abflüsse des Auerbachs (Mangfallgebirge) bei Bad Trissl/Oberaudorf (504 m)/Oberbayern zwischen 1998 – 2011. Mittlere tägliche Abflüsse gemittelt durch den drei-monatigen gleitenden Mittelwert. Die gelben Täler zeigen Zeiten mit Niedrigwasserabflüssen. Seit 1999 gibt es mit Ausnahmen in jedem Jahr ausgedehnte Phasen mit Niedrigwasser (DE JONG 2013c).

Entsprechende Regimeveränderungen zeigt das Einzugsgebiet der Piave (Provinz Belluno/I; Venezianische Alpen) am Pegel Boite (1320 m Höhe; der Boite ist ein rechter Nebenfluss der Piave). Die Piave ist einer der wenigen alpinen Flüssen mit Langzeit-Messungen im obersten Einzugsgebiet (82 km²) seit 1938. Seit 1993 hat sich das hydrologische Regime stark verändert (Abb. 4). Die sommerlichen Abflüsse zwischen Mitte Mai und Mitte September nahmen zwischen 30 – 40% ab. Selbst die winterlichen Abflüsse gingen leicht zurück. Gleichzeitig haben sich die herbstlichen Hochwässer verstärkt. Insgesamt ist das Abflussregime erratischer geworden – die weichen, langanhaltenden Mittel- und Hochwasserganglinien werden zunehmend von spitzigeren Abflussgipfeln unterbrochen. Diese Veränderungen beschränken sich nicht nur auf kleinere Alpenflüsse, selbst größere, von den Alpen gespeiste Flüsse (z.B. der Po, Rhein und die Rhone) zeigen die Tendenz der Abflussabnahme. Die Rhoneabflüsse spiegeln aber nicht nur eine Abnahme der Gletscherabflüsse, sondern auch die Zunahme der

Abb. 4: Die mittleren Abflüsse der Piave bei Boite, Podestagno, Venezianische Alpen (1320 m). Die Periode 1938 – 65 wird verglichen mit der Periode 1993 – 2010. Modifiziert nach RAMPAZZO und VECCELIO (2011).

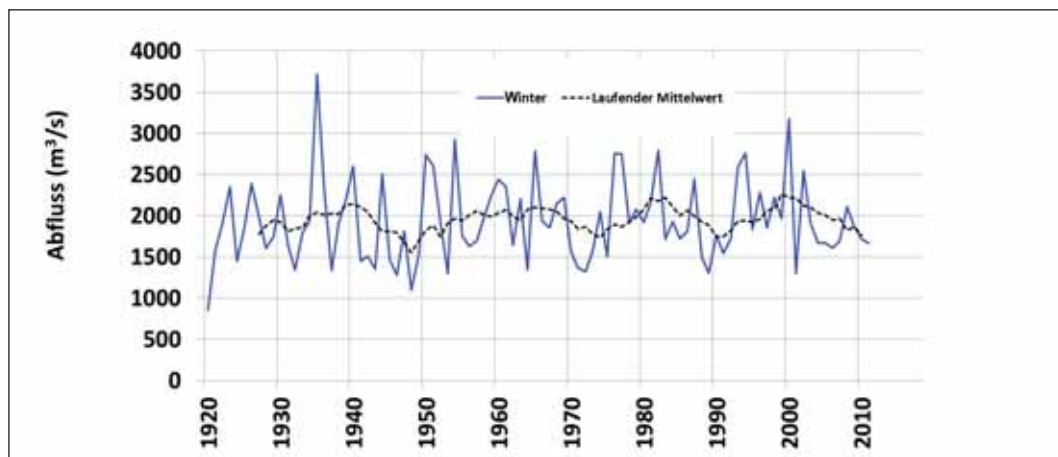
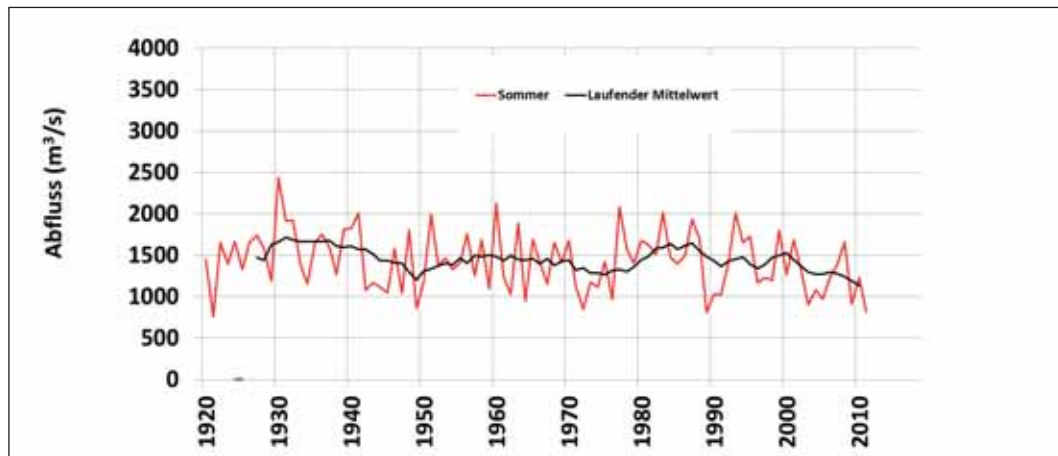


Abb. 5a und Abb. 5b: Saisonaler Abfluss (Sommer und Winter) der Rhone in Beaucaire bei Avignon, Frankreich, seit 1920 (Daten DREAL, Rhone-Alpes 2012).

Verdunstung bei steigenden Temperaturen (Abb. 5). Wie die kleineren alpinen Flüsse, so zeigt auch die Rhone seit 1990 einen deutlichen Abflussrückgang sowohl für das Sommer- als auch für das Winterhalbjahr. Im Sommerhalbjahr ist die Abnahme jedoch am deutlichsten. Darüber hinaus müssen bei dem Rückgang des Abflussvolumens auch die veränderte Landnutzung und die Wasserentnahmen berücksichtigt werden (vergleiche Abschnitt 2.2).

1.3 Seen

Als Beispiel für den Klimawandel werden in Abb. 6 die Schwankungen im Wasserspiegel von zwei typischen alpinen Seen, dem größten natürlichen französischen See, dem Lac du Bourget (3,6 km³, Département Savoyen) und dem Genfer See (89 km³) vergleichend dargestellt. Beide Seen zeigen trotz der künstlichen Regulierung während der letzten 100 Jahre eine Abnahme der Wasserspiegel. Diese Abnahme ist eine Reflektion der abnehmende Schnee- und/oder Gletschervolumina und der zunehmenden Frühjahrs- und Sommerdürren im alpinen Einzugsgebiet der Rhone. Einerseits wird in diesen Zeiträumen weniger Wasser in die Seen eingespeist, andererseits verdunstet in den trockenen und heißen Perioden mehr Wasser aus den Seen. Der Bodensee reagiert ähnlich auf die klimatologischen und hydrologischen Veränderungen. Die saisonalen Veränderungen sind hier stark ausgeprägt (Abb. 7).

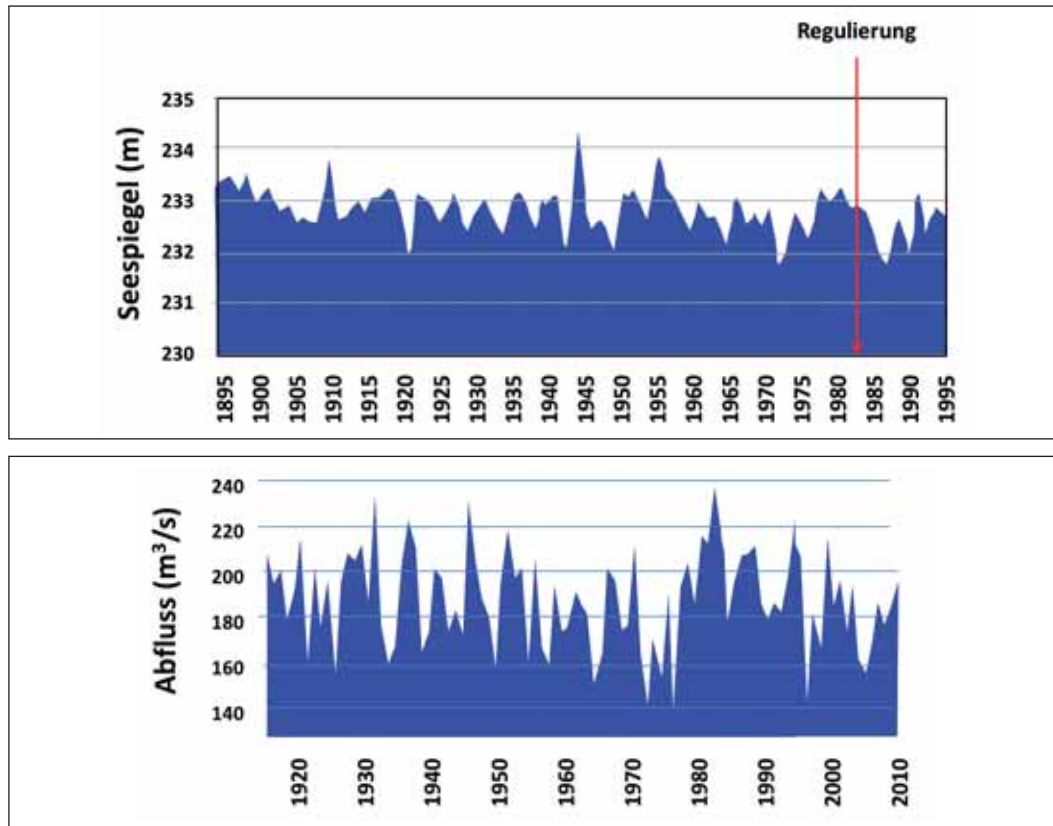
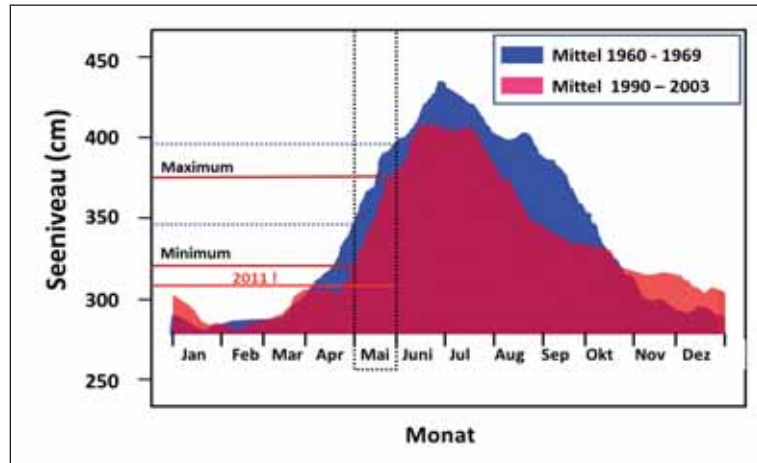


Abb. 6a: Jährliche Schwankungen des mittleren Wasserspiegels des Lac du Bourget seit 1895. Seit 1982 wird er reguliert (Daten modifiziert nach CISALB 2012). Abb. 6b: Jährliche Schwankungen der mittleren jährlichen Abflüsse zwischen 1914 -2010 am Pegel La Porte du Scex, 5 km stromaufwärts von der Rhone-Mündung in den Genfer See (modifiziert nach LOIZEAU & DOMINIK 2010, RAPIN & KLEIN 2010).

Abb. 7: Mittlere tägliche Seespiegelschwankungen am Bodensee, Pegel Konstanz. Ein Vergleich der Periode 1960 – 69 mit der Periode 1990 – 2003. Die Maxima und Minima für den Monat Mai sind für die beiden Perioden in den jeweiligen Farben angegeben. Die Dürre im Mai 2011 liegt noch 10 cm tiefer. (modifiziert nach Wahl 2007 mit Daten vom Institut für Seeforschung, LUBW, & GKB).



Entsprechend den alpinen Flüssen (Abb. 4: Piave), weist der Bodensee während der vergangenen 20 Jahre eine starke Veränderung in seiner Dynamik auf. Besonders im Frühjahr, Spätsommer und Herbst liegt das Wasserniveau deutlich unter dem langjährigen Mittel. Nur im Spätherbst und im Winter ist der Seespiegel höher als im langjährigen Mittel. Während der Frühjahrsdürre im Mai 2011 lag das Seeniveau weit unterhalb aller Minima zwischen 1990 und 2003. Die Minimalwerte der Seehöhe wirken sich deutlich auf die Nutzer und Nutzung aus (Abb. 8) – nicht nur die Bootsanlegestellen liegen im Trockenen!



Abb. 8: Große Teile des Hafens von Konstanz / Bodensee liegen bei der Dürre im Mai 2011 trocken. (Foto Internet).

Noch bedeutender ist die Erhöhung der Seetemperaturen durch die Klimaerwärmung für die Dynamik und Ökologie des Sees. In allen großen und kleinen alpinen und randalpinen Seen wird ein stetiger Anstieg der Jahresmitteltemperatur beobachtet. Zum Beispiel ist die Temperatur der Seeoberfläche seit 1960 in 13 österreichischen Seen inklusive dem Bodensee, um ca. 1°C gestiegen (DOKULIL 2013). Es besteht ein direkter Zusammenhang mit den zunehmenden Lufttemperaturen. Bis 2050 wird eine Temperaturerhöhung der Seeoberfläche für die österreichischen Seen um 3°C prognostiziert. Dies wird sehr wahrscheinlich vielfach zu einer klimainduzierten Eutrophierung der Seen führen und damit unter anderem die Algen "Blooms" (Algenblüte) fördern.

1.4 Feuchtgebiete

Feuchtgebiete in den Alpen sind meistens sehr klein (< 1 ha im Durchschnitt, nicht sehr tief (meistens geringer als 1 m) und auf Höhen bis zu 2500 m sehr heterogen verteilt. Sie bilden sich bei Quellaustritten und an Stellen mit stagnierendem Grundwasser, in Depressionen und flachen Gebieten meist unterhalb von Schutthalden, Felswänden, Moränen und Blockgletschern, im Vorgletschergebiet oder vor und unterhalb von perennierenden Schneefeldern oder in Kombination mit Seen bzw. am Rand von Seen. Feuchtgebiete im Hochgebirge sind aufgrund ihres begrenzten Umfangs, ihrer geringen Tiefe und den sehr wechselhaften Rahmenbedingungen extrem anfällig für klimatologische und hydrologische Veränderungen. Einige Wochen Trockenheit genügen bereits, um ein Feuchtgebiet vorübergehend trocken zu legen (Abb. 9).



Abb. 9: Auswirkung der Sommerdürre im August 2009 auf ein Feuchtgebiet auf 2400 m im Clarée Tal, bei Briançon, Hautes Alpes. Fast alle Feuchtgebiete waren auf dieser Höhe ausgetrocknet. Foto: de Jong 2009.

Feuchtgebiete und Seen spielen eine wichtige Rolle für das Reinigen und das Filtern von Wasser, aber auch als Temperaturregulatoren, als Biodiversitäts-Zentren und als CO₂-Senken.

Trotz ihrer ökologischen Bedeutung gibt es für die Alpen keinen Atlas über die Verteilung der Feuchtgebiete. Schätzungen zufolge sind in den Alpen bereits mehr als 50% der Feuchtgebiete verschwunden, meist verursacht durch eine Kombination von Klimawandel- und Nutzungsauswirkungen.

1.5 Stauseen und Speicherbecken

Wegen der starken topographischen Gegensätze befindet sich die höchste Konzentration von Stauseen in den Bergen. Die Stauseen sind vom Klimawandel gegenüber den natürlichen Seen noch stärker betroffen. Besonders gravierend sind extreme Dürren bzw. extreme Hochwässer für Ketten von miteinander verbundenen Stauräumen. Sie vermitteln über die Jahre die scheinbare Sicherheit einer "sauberen" Energieerzeugung und sind zugleich unter den Bedingungen des Klimawandels wahre Zeitbomben. Im Fall von gehäuft auftretenden Dürren zeigen sich dann rasch die mangelhafte Flexibilität und die ungenügende Rentabilität derartiger Investitionen. Als extremes Beispiel sei auf den Rio Grande und seine Stauanlagen im Südwesten der USA verwiesen. Das extreme Gegenteil sind die bei anhaltenden Niederschlägen auftretenden Hochwässer, welche die natürlichen Hochwasserwellen noch durch den aus Sicherheitsgründen erforderlichen Grundablass steigern (Beispiel: Schweiz Dezember 2011 oder Arc Fluss, Frankreich Mai 2008). In diesen Fällen entstehen Schäden, die wesentlich höher sein können als die Schäden von normalen Hochwässern. Bei kleineren Hochwässern werden dem gegenüber die Abflussspitzen abgeschnitten, dadurch dass sie im Stauraum abgespeichert werden. Der Fluss unterhalb verliert dabei an Wasser- und Sedimentdynamik.



Abb. 10: Dramatische Auswirkungen der Dürre 2003 auf den Stausee Mis bei Belluno, Venezianischen Alpen/I. (Foto: Vecellio).

Ein Beispiel für die Auswirkung von Dürren auf Stauseen im Sommer 2003 ist in Abb. 10 dargestellt. Der Stauraum von Mis bei Belluno in den Venezianischen Alpen/Italien zeigt die Komplexität des Problems, verursacht durch die mangelnden Niederschläge und Schneeschmelzabflüsse sowie durch hohe Verdunstung und hohe Wasserentnahme für Bewässerung. Er ist nur noch mit 5% seiner Kapazität gefüllt und trägt nicht mehr zum Ausgleich der regionalen Wasserdefizite bei.

Alle Stauräume sind Sedimentfallen und je nach Erosionsanfälligkeit der Einzugsgebiete werden die Stauräume verfüllt und in ihrer Kapazität und Funktion reduziert. Im Hochgebirge sind die Erosionsraten besonders hoch. Im Extremfall sind einige kleine Stauräume in den Alpen bereits zusedimentiert und die Abflüsse fließen ungestört über die Staumauer. Viele Talsperren in den Alpen wurden vor 50 – 80 Jahre gebaut und ihre Lebensdauer ist bereits stark reduziert. Auch die vielfach vorgeschlagene Erhöhung der Dammkrone führt nur vorübergehend zu einer Erhöhung der Speicherkapazität und Lebensdauer. Damit werden auch Extremabflüsse und Hydropeaking vorübergehend gesteigert.

Die Auswirkungen von extremen Wetterbedingungen auf die Speicherbecken für künstliche Beschneigung sind ähnlich.

2. Nutzungswandel und seine Auswirkung auf die Hochgebirgshydrologie

2.1 Schnee und Gletscher

Es gibt Hinweise darauf, dass Liftanlagen und Pistenbearbeitung auf Gletschern die Schmelze von kleinen Gletschern erheblich beschleunigen. Dies ist im Wesentlichen eine Folge der erhöhten Albedo der Infrastruktur (z.B. Schneelanzen, Liftpfeiler) usw. und dem Skibetrieb selbst. Die erhöhte Strahlungsabsorption führt zu erhöhter Schmelze.

Auch der Schnee wird in Skistationen durch Pistenfahrzeuge stark bearbeitet und zusätzlich in Form von Kunstschnee erzeugt. Diese Veränderungen haben lokal und regional starke Auswirkungen auf den Wasserhaushalt. Der Oberflächenabfluss wird erheblich erhöht (teilweise um 30%) und beschleunigt. Dies führt auch verstärkt zu kleinen Hochwässern (siehe Abschnitt 2.2).

2.2 Bäche und Flüsse

Fast alle alpine Bäche und Flüsse sind verbaut. Weniger als 10% der 13 000 km der alpinen Flüsse waren am Ende des letzten Jahrtausend noch naturnah (HAMBERGER et al. 1998). Im Einzugsgebiet der Region Rhone-Mittelmeer-Korsika sind mindestens 60% aller Flussläufe verbaut. Nur knapp die Hälfte der Flussläufe sind in einem guten bis sehr guten Zustand, der Rest ist weit entfernt von den Zielen der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Ein Drittel der Abflüsse wird künstlich reguliert, entweder über die Wasserkraft oder als Reservoir für die Landwirtschaft, Speicherbecken für die künstliche Beschneigung oder zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen. Der Fischbestand ist von der Abnahme der Abflüsse stark betroffen, vor allem wenn sich die Niedrigwasserabflüsse durch Verdunstung noch weiter verringern und gleichzeitig die Konzentration der Verschmutzung wächst. Durch etwa 20 000 Staudämme, Sperren und Wehre wird die Hälfte der Flüsse stark beeinflusst. Sie blockieren die Bewegung der Sedimente und beeinträchtigen die Wanderbewegung der Fische. Manche Arten sind direkt in ihrer Existenz bedroht (z.B. die Forelle und Hecht).

Die Anzahl von umgebauten Bächen in Skigebieten wächst extrem. Als Beispiel sei auf Abb. 11 a, b und c verwiesen. In allen Fällen wurde das vormalige natürliche Bachbett durch ein Pflaster von Grobblöcken in seiner Geometrie und seinen Funktionen beschränkt und gegen Erosion stabilisiert, um die benachbarten Pisten auszubauen und zu vergrößern. Dies wirkt sich insbesondere durch die mangelnde Flussbettdynamik auf Sedimenthaushalt und Ökologie nachhaltig negativ aus. Auch die Hydro-



Abb. 11: Verbaute Gebirgsbäche im Bereich von Skipisten. a) Bach am Brauneck-Speicherbecken/Lenggries/Obb., b) Torrent de Pécelet/ Val Thorens/Département Savoyen, c) Bach unter dem Monte Valgusera im Skigebiet Foppolo/Bergamasker Alpen. (Fotos: de Jong).

logie ist betroffen. Die Hochwasserspitzen werden dabei im Zusammenhang mit dem Bachausbau und durch den Ausbau von Skipisten und Straßen mit ihrem mangelhaften Infiltrationspotential generell gesteigert. Derartige Ausbauten auf Kosten der Bäche haben sich in Skigebieten weitflächig durchgesetzt. Sie widersprechen der EU-Wasserrahmenrichtlinie, da sie vormalige Bäche von einem sehr guten Zustand in einen schlechten bis sehr schlechten Zustand umwandeln.

Die Alpenflüsse und Bäche bleiben dabei nicht von Verschmutzung verschont. Eine Karte der Region Rhône Alpes über die Dioxin- und PCB-Belastung vom Frühjahr 2013 zeigt, dass im Grunde alle alpinen Einzugsgebiete mit PCB belastet sind, und dass sowohl die Flüsse, als auch die Seen vielfach Verbote des Verzehrs von Frischwasserfischen aufweisen. Für die Leysse zwischen Chambéry und ihrer Mündung in den Lac Bourget gibt es ein Totalverbot für den Fischverzehr – andere Bäche und Seen, inklusive dem See von Annecy, sind ebenfalls durch Teilverbote des Fischverzehrs beeinträchtigt (DREAL 2013).

In den Pyrenäen ist der Ebro durch Klima- und Landnutzungsänderungen einer der am stärksten betroffenen Gebirgsflüsse (Ludwig et al. 2009). Infolge der Abnahme von Wasserressourcen bei gleichzeitig wachsenden Entnahmen für die Bewässerung und der erhöhten Verdunstung hat er seit 1960 fast 50% seines Abflusses verloren.



Abb. 12: Wiesenbewässerung durch Sprinkelanlage in Gimillian/Cogne im Aostatal (1800m) (Foto: de Jong).

2.3 Bewässerungsanlagen

Nicht nur in den typischen alpinen Trockentälern waren bis in die Zeiten zwischen den Weltkriegen auf den Hängen Kleinkanäle (in Südtirol Waale, im Wallis Suonen, Bissen oder Fuhren) zur Bewässerung der Wiesen und Felder zu finden (NAHRATH et al. 2011). Damals wurde das Wasser direkt aus Bächen in die Kanäle abgeleitet und durch ein komplexes System von kleinen Nebenkanälen in den Wiesen- und Feldböden infiltriert. Dabei wurde die Verdunstung während der Bewässerung minimiert. Das Wasser wurde unterwegs langsam erwärmt. Außer im Wallis und Südtirol, wo sie die Gemeinden im Zusammenhang mit dem Tourismus noch im alten Stil unterhalten, gibt kaum noch Restbestände. In den meisten Gebieten sind die Kanäle durch Wasserrohre ersetzt und die Verteilung auf den Wiesen übernehmen Sprinkleranlagen (Abb. 12). Heutzutage wird allerdings das Wasser meistens direkt aus dem Talbach hochgepumpt. Das Wasser ist dann viel kälter, enthält die Ionen des benachbarten Vorfluters und es gehen viel höhere Wassermengen durch Verdunstung und Verwehung verloren. Die neue Technik erlaubt dem einzelnen Betreiber fast unbeschränkt die Bewässerungsvolumina zu steigern. Andererseits haben die Bewässerungsanlagen früher oft eine bedeutende Rolle bei der Entwässerung von Hängen gespielt. Durch das Auflassen der Kanäle wird in manchen Regionen durch mangelhafte Entwässerung die Gefahr von Massenbewegungen/Muren auf Hängen erhöht (pers. Mitteilung GIRARD 2013).

Inzwischen führt regional die Verteilung des Wassers zu immer mehr Konflikten (DE JONG 2013 b). Zum Beispiel wird für die künstliche Beschneidung der Skipisten von Verbier/Wallis/Schweiz auch das Wasser aus den alten Suonen, die noch aktiv für die Landwirtschaft genutzt werden, entnommen. Diese Bewässerungsanlagen sind auf die sommerlichen Bedürfnissen für die Bauern beschränkt und beeinflussen die regionale Hydrologie nicht nachhaltig.

2.4 Seen

Im Prinzip werden heutzutage alle alpinen und voralpinen Seen an ihren Ausflüssen reguliert, um das Seenniveau für den Tourismus, die künstliche Beschneidung oder die Wasserkraftproduktion zu optimieren. Dabei werden die täglichen, monatlichen und jährlichen Schwankungen weitgehend geglättet. Dies gilt sowohl für die großen alpinen Seen, wie Garda, Como, Maggiore und Genfer See, als auch für kleinere Seen wie Annecy und Lac du Bourget usw.

Der Lac du Bourget ist einer von vier weltweit einzigartigen Seen. Unter Normalbedingungen fließt die Leysse aus den Karstbergen des regionalen Geoparks Bauges in den Lac du Bourget und dieser entwässert dann nördlich in die Rhone. Bis 1982 wurde er bei Hochwasser jedoch aus zwei Flüssen, der Rhone und der Leysse, gleichzeitig gespeist. Dabei kam es zu einer inversen Abflussrichtung, der Ausfluss des Sees wurde zum Einfluss. Heute ist diese Situation extrem selten geworden. Im Zuflusskanal Savière gab es häufig drei bis vier Mal täglich eine Richtungsänderung, mit Niveauschwankungen von mehr als einem halben Meter. Die Wellen des Sees bei Hochwasser drangen sogar einige Kilometer landeinwärts nach Süden vor bis in die Region, wo sich heute Savoie Technolac und der Flughafen Chambéry entwickelt. Seit 1982 wird der Lac du Bourget durch eine Pipeline reguliert, um einerseits einen kontinuierlichen Abfluss mit Bootsverkehr im Kanal zwischen dem Lac du Bourget und der Rhone zu gewährleisten und um mehr Bauland am Seeufer und im Deltabereich zu gewinnen. Während vor der Regulierung saisonale Schwankungen im Seenniveau von bis zu 1.75 m möglich waren, beschränken sich diese jetzt auf weniger als 30 cm. Diese Veränderungen haben den einzigartigen Wasserhaushalt des Lac du Bourget zerstört und die Wasserqualität und Ökologie stark verändert. Die

mangelnde Dynamik der Trocken- und Feuchtphasen des Ufers verursacht einen starken Rückgang des Uferschilfs. Im See von Annecy ist das Schilf durch ähnliche Regulierung von entsprechenden Problemen betroffen.

Im Lac du Bourget, Genfer See und Bodensee wirken sich trotz der Regulierung die aktuellen Trockenperioden auf das Seeniveau deutlich aus.

Wie im Abschnitt 2.3 erwähnt, haben sowohl der Lac du Bourget als auch der See von Annecy eine hohe, über der Norm liegende Dioxin- und PCB-Belastung. Im Lac du Bourget liegt dieser Wert in der Nähe der Flussmündung bei der Fabrik, die in den 60er Jahren PCB produziert hat, teilweise 100-fach über dem Grenzwert. Der Fischverzehr in diesem See ist seit 2008 untersagt bzw. er wird in begrenzten Mengen nur für spezielle Fischarten empfohlen. Im See von Annecy gibt es seit 2008 ein Teilverbot für den "Ombre Chevalier" (*Salvelinus alpinus*; Seesaibling). Das Verbot bezieht sich auf die Fischgröße und die damit verbundene Konzentration von PCB. Wenn der Fisch grösser als 39 cm im Genfer See oder grösser als 40 cm im See von Annecy ist, ist sein Verzehr wegen zu hoher PCB-Dosen nicht erlaubt.



Abb. 13: Reste eines Feuchtgebietes (2225 m) am Rand des Speichersbeckens für die künstliche Beschneigung unter dem Roc du Diable über Belle Plagne bei La Plagne/Savoyen/F. (Foto: de Jong 2011).

2.5 Feuchtgebiete

Feuchtgebiete in den Alpen sind durch Verbauung und Drainagen ein Hauptopfer der Landnutzungsänderung in den letzten Jahrzehnten geworden. In manchen stark verbauten Gebieten sind sie bis zu 70% zurückgegangen. Dies betrifft sowohl kleine Feuchtgebiete in Nischen auf großen Höhenlagen als auch große Feuchtgebiete in Flussauen und Tälern. Die kleinen und mittleren Feuchtgebiete werden meistens Opfer von Speicherbecken für die künstliche Beschneung und im Zusammenhang mit dem Wintertourismus für den Bau von Skipisten, Seilbahnstationen, Straßen, Parkplätzen, Kleinflugplätzen, Restaurants und Häusern (im Zusammenhang mit Zweitwohnungen) vernichtet. Abb. 13 zeigt die Reste eines Feuchtgebietes im Skigebiet La Plagne/Savoyen/Frankreich. Bis auf einen kleinen Rest wurde das Feuchtgebiet überbaut und es droht durch die Unterbrechung der hydrologischen Flüsse zwischen Oberfläche und Grundwasser noch mehr zu schrumpfen. In Val Thorens wurde ebenfalls durch den Bau eines Speicherbeckens und eines kleinen Flugfelds (Abb. 14) der Umfang des Feuchtgebietes stark reduziert. Andere Feuchtgebiete verlieren an Fläche und Umfang durch das Abpumpen von Wasser in höher gelegene Speicherbecken.

Manche Feuchtgebiete gehen auch durch erhöhte Sedimenteinträge von Pisten, Straßen oder durch die Umleitung von Gebirgsbächen verloren. In Abb. 15 wurde im Zusammenhang mit dem Bau einer neuen Skipiste in Foppolo (Bergamo, Italien) ein Bach in den Wald verlegt. Sein neues Bachbett mün-



Abb. 14: Reste eines Feuchtgebietes am Rand des neugebauten Speicherbeckens für die künstliche Beschneung bei La Moutière (2500 m) südlich von Val Thorens/Savoyen/F. Teile des Feuchtgebietes wurden bereits im Zusammenhang mit dem Ausbau des Landplatzes drainiert. (Foto: de Jong).



Abb. 15: Fortschreitende Sedimentation durch einen neu angelegten Bach in einem Feuchtgebiet (1640 m) in den Endmoränen im Skigebiet Popollo/Bergamasker Alpen/Italien. Die Existenz des Feuchtgebietes im Vordergrund des Bildes ist bedroht (Foto: de Jong 2013).

det in einem kleinen künstlichen Delta, das durch seinen Sedimenteintrag das lokale Feuchtgebiet langsam zuschütten wird.

Die größeren Feuchtgebiete befinden sich in den Flussauen in den Tälern. Sie gehen meist durch den Bau von Parkplätzen und Supermärkten sowie für den Wohnungsbau aber auch durch die Drainagen/Entwässerungen durch die Landwirtschaft verloren. Der Verlust von Feuchtgebieten in den Auen verursacht große Störungen in Hydrologie und Ökosystem, denn es erhöhen sich Hochwasserspitzen und Sedimenttransport.

2.6 Stauseen

Die Stauseen der Alpen entstanden ca. seit den 1920/30er Jahren im Zusammenhang mit dem Bau von Wasserkraftanlagen. Erst neuerdings gibt es im Zusammenhang mit dem Tourismus die Anlage von Trinkwasserspeichern durch den Überstau von kleineren Seen (Abb. 16).

Die Wasserkraftanlagen in den Alpen haben seit Jahrzehnten sehr große Auswirkungen auf die Hydrologie und Geomorphologie der Alpenflüsse (BRUNO et al. 2010, DE JONG 2007, MARNEZY 1999). Wesentliche Folgen sind:

- das Kontinuum der Abflüsse wird permanent unterbrochen
- "Hydropeaking" durch den täglichen Ablass von kleinen Hochwasserwellen in Folge des Strombedarfs
- die Reduktion der Abflüsse, vor allem im Sommer
- Austrocknung von Flussauen, Feuchtgebieten und Seen unterhalb
- die Unterdrückung von kleineren Hochwässern
- eine Verminderung des Geröll- und Sedimenttransports
- eine Überformung und Reduktion von verzweigten Flusssystemen
- eine starke Erosion und Sohleintiefung des Hauptgerinnes
- die Verlandung der Stauseen
- Segmentierung der ökologischen Situation (Stauräume versus Fließräume)
- Verlust von Delta- und Küstenbereichen wegen mangelnder Sedimentnachfuhr



Abb. 16: Aufgestauter natürlicher See Les Blanchets (2400 m) zur Trinkwasserversorgung der Skistation La Plagne/Savoien/F in 2400 m Höhe (Foto: de Jong 2011).

Hydropeaking ist der folgenreichste Eingriff von Wasserkraftanlagen auf die alpine Hydrologie. Es werden fast in allen Fällen kurzfristig kleine Hochwasserwellen erzeugt, oft im täglichen Rhythmus, die danach plötzlich abgeschaltet werden und die betroffenen Bach- oder Flussbetten bis zur nächsten Hochwasserwelle ganz oder fast ganz trockenlegen. Nur wenige Ökosysteme überstehen diese extremen Abflussschwankungen.

Trotz dieser Vielzahl von überwiegend negativen Folgeerscheinungen gibt es kaum umfassende Analysen über die Folgen des Wasserkraftausbaus. Selbst die unter politischem Schutz in Österreich an vielen Stellen durchgeführten großen Aktionen für die Entwicklung von sogenannten Kleinwasser-

kraftwerken wurde von wissenschaftlicher Seite kaum begleitet. Die Sedimentprobleme und auch die Lebensdauer der Stauseen der Alpen bedürfen vielerorts mehr Aufmerksamkeit. Dies betrifft nicht nur die Stauräume selbst, sondern auch die aktuellen geomorphologischen Entwicklungen in den Einzugsgebieten. Ein besonderes Problem sind dabei die sedimentierten Feinmaterialien, die unter anaeroben Bedingungen hohe Methankonzentrationen abgeben. Dies wurde seit Ende der 1970er Jahre zunächst nur in den Stauräumen der Flüsse in den Mittelgebirgen beobachtet (ZAISS et al. 1979). In den Alpen hat allein die EAWAG dazu einen ersten Bericht mit Schweizer Beispielen veröffentlicht (DELSONDRO et al. 2010).

2.7 Speicherbecken für Kunstsnee

Auch die Entnahme von Wasser aus Bächen, Feuchtgebieten, Seen, Grundwasser, Gletscher- und Schneeschmelzwasser zur Füllung von Speicherbecken für die künstliche Beschneigung hat große lokale und regionale Auswirkungen auf den Wasserhaushalt im Gebirge. Für die potentiellen Schwierigkeiten bei den Wasserentnahmen aus Bächen oder kleineren Flüssen ist der obere Auerbach am Randgebiet des bayerischen Skigebiets Sudelfeld ein gutes Beispiel (Abb. 17). Am Beispiel des Winters 2006/7 wird deutlich, dass unter den existierenden Abflussbedingungen und bei dem Restwasserabfluss (40 l/Sekunde) die Speicherbeckenfüllung nicht immer gewährleistet ist und dem Bach fast alle Hochwasserspitzen entnommen werden.

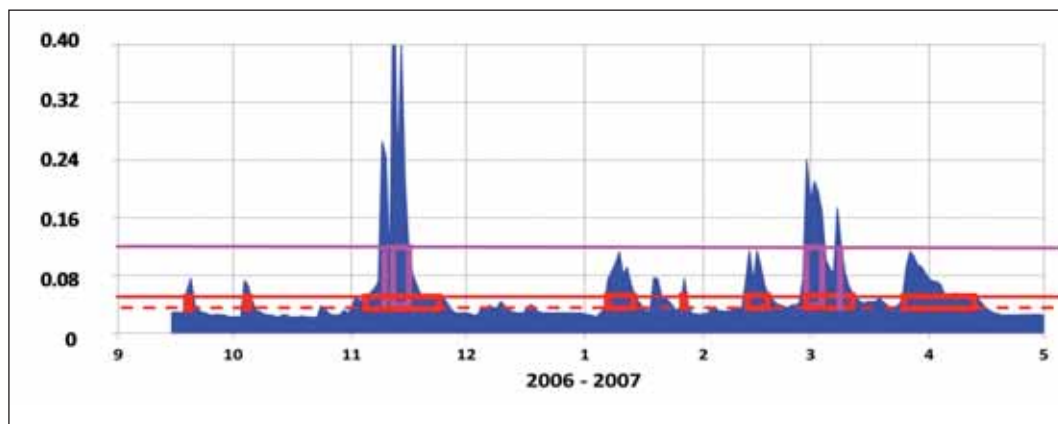


Abb. 17: Potentielle Wasserentnahme, für die Beschneigung des Skigebiets Sudelfelds/Bayrischzell/Obb. aus dem obersten Auerbach für den schneearmen Winter 2006/7. Die Mindestabflussmenge (40l/Sekunde) und die Dauer der Wasserentnahme, um das geplante halbvolle Speicherbecken am Sudelfeld mit 27 oder 81 l/Sekunde zu füllen, sind eingetragen. Daten vom LfU 2013.

Die künstliche Beschneigung für den Skibetrieb ist zu einer wahren Wasserindustrie geworden. Durch den Bau von Speicherbecken und die Verlegungen von Wasser- und Druckluftrohren hat diese Technik in den Alpen vor allem in großen Höhenlagen große Auswirkungen auf den Wasserkreislauf nicht nur durch die Umverteilung des Wassers, sondern auch durch die veränderten Hangwasserdrainagen durch das unterirdische Verlegen der Leitungen.

Heutzutage sind die meisten Speicherbecken durchschnittlich 20 m tief und haben Volumina zwischen 50 000 und 400 000 m³. Sie werden oft in Bereichen vormaliger Feuchtgebiete oder kleinerer Seen entwickelt (Abb. 18). Damit gehen natürlich zahlreiche wertvolle Ökosysteme verloren. Mittlerweile wird z.B. in Frankreich sogar von einem "politischen" oder "kommerziellen" Schnee gesprochen

(SÉVENIER 2013). Von dem großflächigen Wassertransfers sind nicht nur die Hydrologie und die aquatischen Ökosysteme betroffen, sondern selbst die Stabilität von benachbarten Hängen wird beeinträchtigt. Bereits zweimal ist durch einen Rohrbruch in den Kunstschnelleitungen unbeachtet Wasser über längere Zeiträume in die Hänge ausgetreten und verursachte Rutschungen von Teilen der Piste. Stromleitungen, Seilbahnstation bzw. die Seilbahn selbst wurden in gefährlichem Ausmaß zerstört (in St. Vigil/Cianross/südtirolerDolomiten 2006 und an der Venetbahn/Zams/Tirol, 2013).

Weiterhin kann auch der Bau von Speicherbecken lokal die Stabilität des Untergrunds gefährden. So können in Zukunft Speicherbecken durch das Auftauen von Permafrost beschädigt worden und sich plötzlich entleeren. In der Arktis kommt dieses Problem im Zusammenhang mit Ingenieurbauwerken immer häufiger vor.

Wie bereits im letzten VzSB-JahrbuchArtikel erwähnt (DE JONG 2012), wurden in den Alpen Anfang 2013 schätzungsweise 300 Million m^3 Wasser auf 50 000 ha Pistenfläche beschneit. Der Wasserbedarf kann durchaus noch höher sein. Schätzungen zufolge wird ca. 6000 m^3 Wasser pro ha beschneite Fläche benötigt. Davon gehen beispielsweise am Kitzsteinhorn in Österreich ca. 3600 m^3 (oder 60%) durch Verdunstung aus den Speicherbecken, durch Leitungsverluste, Schneeverwehungen und Sublimation von Kunstschnee verloren (pers. Mitteilung BREILING 2013). Der Wasserverbrauch nimmt nicht parallel, sondern exponentiell mit den stetig wachsenden, beschneiten Flächen zu. Damit hat sich z.B. in Frankreich der Wasserverbrauch von 7 auf 21 Millionen m^3 in nur 10 Jahren verdreifacht, während sich die beschneite Fläche "nur" verdoppelte. In Kitzbühel/Österreich steigt der Wasserverbrauch für die Kunstschneeerzeugung jedes Jahr drastisch an. So waren es noch 2005-2006 633 000 m^3 , 2006-2007 bereits



Abb. 18: Mangelnde Wasserqualität im halbvollem neuen Speicherbecken am Brauneck / Lenggries / Obb. (Foto: F. Speer, 5.11.2012).



Abb. 19: Der Wasserspiegel des natürlichen Sees Moro im Skigebiet Foppolo-Carona/Bergamasker Alpen/Italien wurde durch eine Staumauer um 2 m erhöht, um ca. 60 000 m³ Wasser für die Kunstschneeproduktion zu speichern. Die Feuchtgebiete unterhalb sind gefährdet. (Foto: Ergenzinger 2013).

800 000 m³ und 2007-2008 991.555 m³ Wasser (Bergbahnen Kitzbühel 2007). Das Wasser wird dort in sechs Speicherseen gespeichert und durch 728 Schneilanzes verbreitet.

Dies führt zu einer immer angespannteren Lage bei der Suche nach verfügbarem Wasser und erfordert einen exponentiellen Zuwachs an Speichervolumen. Der Bau von Speicherbecken weckt jedoch falsche Erwartungen. Weder wird dadurch der Umfang der winterlichen Wasserentnahmen aus Bächen eingeschränkt, noch wird verhindert, dass zunehmend größere Mengen aus den Trinkwasservorkommen – gerade unter den knappen Bedingungen im Winter – entnommen werden (DE JONG 2012). In Einzugsgebieten mit großen Skistationen kommt es immer häufiger zu einem Wasserüberverbrauch im Vergleich zu den verfügbaren Wasserressourcen. Das Wasser muss dann aus anderen Einzugsgebieten, vom Talboden oder aus den Speichern der Wasserkraft entnommen werden. Diese Umverteilung von Wasser bringt häufig wiederum andere Einzugsgebiete unter Wasserstress. In Crans-Montana im Wallis/Schweiz ist wegen des hohen Wasserverbrauchs für den Kunstschnee und für die Touristen bereits Anfang Dezember die Wassernachfrage höher als das verfügbare Wasservolumen (ACCM 2008). Diese kritische Situation hält bis Ende März an. Es entstehen Trinkwasserkonflikte besonders dort, wo das Wasser viele hundert Meter hochgepumpt wird und/oder es sich um Karstgebiete handelt. Die Umverteilung des Wassers verschlechtert seine Qualität. Während der winterlichen Hochsaison wird in Skigebieten immer häufiger von Magen-Darm-Erkrankungen berichtet.

Wegen der steigenden Kosten für das Wasser zur Beschneigung wird in manchen Orten das Wasser für die Beschneigung subventioniert. Bei den Lienzer Bergbahnen in Österreich kostet beispielsweise das Beschneigungswasser nur noch halb so viel wie das Trinkwasser. In anderen Orten, wie im Salzburger Land, ist das Wasser für die Beschneigung kostenlos – wenn es aus öffentlichen Gewässern stammt. Nach Artikel 9 der EU-WRRRL müssen Wassernutzer jedoch einen angemessenen Beitrag zur Deckung der Kosten der Wasserdienstleistungen erbringen. Die unzureichende Umsetzung dieser Vorschrift aus dem Jahr 2000 führte in vielen betroffenen alpinen Ländern bereits zu mehreren Vertragsverletzungsverfahren.

3. Management und seine Auswirkungen auf die Hochgebirgshydrologie

Ein erfolgreiches Wassermanagement in den Alpen erfordert eine Vielfalt von Wissenschaftlern, Experten, Technikern, Politikern und Betroffenen, um die komplizierten und interdisziplinären Beziehungen zu identifizieren, zu verstehen und um Lösungen vorzuschlagen, zu begleiten und zu begutachten. Vielerorts wird die Notwendigkeit für ein gutes Wassermanagement in den Bergen bereits anerkannt (CORTAY 2013), es wird jedoch nicht klar genug dargestellt, wie akut die jetzige hydrologische Situation und die Wasserprobleme sind (APA 2008). Meistens wird mit dem Argument abgelenkt, dass es noch keine ernsthaften Probleme gibt und diese sich in naher Zukunft nicht auswirken werden. Es wird auch nicht dargestellt, wie sich fehlendes Management auf die lokale Hydrologie auswirkt oder auswirken kann.

Ein Beispiel für die Probleme des Wassermanagements in den Skigebieten in den französischen Alpen ist die Gemeinde Les Gets in Hochsavoyen. Im Dürrejahr 2003 brach hier im Winter die Wasserversorgung zusammen, die Touristen wurden mit LKW antransportiertem Flaschenwasser nur noch unzureichend versorgt. Der damalige Bürgermeister Alain Boulogne ordnete daraufhin einen Baustopp für Ferienwohnungen an, der bis 2005 durchgehalten wurde (CIPRA 2013b). Aber bereits 2006/7 kam der nächste dürre, schneearme Winter. Auch dieses Mal kam es zu Konflikten. Das verfügbare Wasser genügte nicht für die Kunstschneeproduktion und für die Bedürfnisse der Touristen. Die Kunstschneeproduktion musste eingestellt werden. Trotz allem wurde wieder weiter entwickelt, und wurden neue Wohnungen und Kunstschneeleitungen errichtet. Das nächste vorübergehende Ende der "Schneeballentwicklung" wird mit der nächsten Dürre kommen.

Auch im Zusammenhang mit der Entwicklung von Berghütten kommen neue Probleme zustande, wenn die eingebauten Installationen für die Wassergewinnung und die Abwasserbeseitigung nicht hinreichend funktionieren und die Zahl der Besucher die lokal verfügbaren Kapazitäten übersteigen. So muss zum Beispiel auf der neuen Refuge du Goûter (3835 m) der Gemeinde St. Gervais les Bains (Haute-Savoie) am Mont Blanc während des Spitzenbetriebs mehrmals täglich das Wasser für den Gebrauch der Touristen im Hubschrauber hoch geflogen werden. Auf dem Rückflug wird Abwasser zurück transportiert. Das Schneeschmelz-System funktioniert nicht, da es auf der Nordseite der Hütte angebracht wurde.

Die Arve und ihre Seitenflüsse, die durch Hochsavoyen/Frankreich fließen, wurden kürzlich unter "intensive Beobachtung" gesetzt. Die Entscheidung wurde nicht begründet, doch sie scheint notwendig zu sein. Im Rahmen der Vereinigung zum Management der Arve (SM3A) soll nun die Umweltqua-

lität in den Wasserläufen und im aquatischen Milieu verbessert werden mit der Perspektive, die Wasserqualität zu sanieren, Menschen und Güter zu schützen, das geomorphologische Gleichgewicht zu erhalten, die Ökosysteme wieder herzustellen, die Entwicklung und Inwertsetzung des aquatischen Milieus und die Bewusstseinsbildung über die verschiedenen Wassernutzungen zu fördern. Der Ansatz scheint vernünftig zu sein, enttäuschend ist nur, dass der gesamte Tourismus- und Sportbereich und auch das Management der Sedimentdynamik des Flusses nicht miteinbezogen wurden. Dadurch, dass die zwei wichtigsten wirtschaftlichen Nutzungen des Flusses weggelassen werden, ist es nicht möglich, ein interdisziplinäres Gesamtwassermanagement zu erarbeiten. Es ist nicht nur widersprüchlich, von einem geomorphologischen Gleichgewicht zu sprechen, wenn die Sedimententnahme und Ablagerung nicht berücksichtigt werden. Ebenso wenig ist es erlaubt von einer Wiederherstellung der Wasserqualität zu sprechen, ohne die hohen Wasserentnahmen für Wasserkraft und den Tourismus zu quantifizieren. Die steigenden Wasserentnahmen für den Wintertourismus (für die künstliche Beschneigung und Touristen) verursacht heute schon vielfältige Wasserprobleme in der Arve. Es wird von Wassermanagement und der Wiederherstellung von Ökosystemen gesprochen, ohne die Basis der Pyramide, das Wasser und seine Nutzungen, umfassend zu berücksichtigen.

Ähnliche Probleme treten im Zusammenhang mit dem Wassermanagement auf der Skala der gesamten Alpen auf. Bei der CIPRA-Tagung 2013 "Wassertrog Alpen – wer gibt, wer nimmt, wer bestimmt?" (CIPRA 2013a), wird das Wasserthema fast ohne Wasserexperten diskutiert. Die eingeladenen Wissenschaftler stammen vorwiegend aus Meteorologie und dem Tourismusbereich und sind weit von der Hydrologie entfernt. Auch die anderen Experten sind oft nur politische Schutzschilder, die wenig bis gar nichts mit der Materie Wasser zu tun haben und schon in ihren Vorankündigungen Falschaussagen machen, z.B. dass der Annecy See – "als Vorbild" -der sauberste See Europas sei. Wie kann man solch ein Vorbild kritisieren? Damit werden von vornherein jegliche Wasserprobleme kleingeredet. Dass dieser See durch PCB verschmutzt ist und seit 2008 ein Teilverbot für den Fischverzehr hat, wird elegant übergangen. Andererseits läuft gleichzeitig eine Tagung in Hochsavoyen zum Thema "Das Wasser und seine neuen Verschmutzungen". Wie immer werden Wasserprobleme im Zusammenhang mit Wintertourismus ausgeklammert und unabhängige Experten nicht eingeladen.

Das Problem der "falschen Experten" ist im Zusammenhang mit der Tourismus- und Wasserbranche in den Alpen weit verbreitet (DE JONG, C. im Druck). Im Fall der Hochgebirgshydrologie wird damit bewusst vermieden, dass die Probleme sauber erfasst, diskutiert und verbessert werden. In manchen Gutachten werden von Wissenschaftlern sogar bewusst Falschaussagen über die deutschen Alpen gemacht (z.B. dass durch die Errichtung des Speichersees... trotz beträchtlicher Vergrößerung der Schneeflächen und der beantragten Änderung der Wasserentnahme aus dem Bach" es "...zu einer *deutlichen Verbesserung der Gewässerökologie* im Bach sowie den nachfolgenden Bächen und Flüssen gegenüber dem Ist-Zustand" kommt).

Anstelle von Politikern, deren Interessensgebiete in den meisten Fällen weit von der Hydrologie entfernt liegen, sollten verstärkt Fischer, Fischerverbände, hydrologisch-orientierte Umweltvereine und lokale Einwohner der See- und Flussufer von ihren Erfahrungen zeugen und in den Komitees gleichrangig bestellt werden. Es sollten auch Gesundheitsexperten herangezogen werden, die z.B. über die Auswirkungen von PCB auf die menschliche Gesundheit berichten. Sehr wichtig dabei ist, dass in Abwesenheit von Langzeitdaten und Messungen die Umweltbeobachtungen und Erfahrungen von

den lokal Betroffenen erfasst und dokumentiert werden und mit den vorhandenen wissenschaftlichen Thesen oder Daten verglichen werden.

Um den Klimawandel zu vermeiden, ist der Erhalt und die Wiederherstellung von Feuchtgebieten, Seen und Flussauen von außerordentlicher Bedeutung, da sie zum Konzept von "Klimaneutralen Alpen 2050" einen wichtigen Beitrag leisten können. Benötigt werden strikte Regulierungen und Kontrollen, um den weiteren Verlust der aquatischen Ökosysteme im Hochgebirge zu verhindern und ihre regulierende Rolle vorwärts zu bringen. Es soll dabei bedacht werden, dass die Zeit für die Erholung der aquatischen Ökosysteme nach ihrer Drainage oft mehrer Jahrhunderte und nicht nur Jahrzehnte betragen kann.

In Österreich wurde vor kurzem der Bau eines Kraftwerkes an der Schwarzen Sulm/Steiermark trotz großem und auch fachlichem Widerstand genehmigt. Dabei wurden die Vorgaben der Bestimmungen der WRRL manipuliert und der Gewässerzustand des Flusses kurzerhand von "sehr gut" auf "gut" herabgestuft.

Es geht weiterhin nicht an, dass sowohl lokale, als auch regionale Auswirkungen von Kunstschnee und Wasserverbrauch von Touristen auf den Wasserhaushalt und die Wasserqualität nicht umfassend und öffentlich als Problem behandelt werden. In Zukunft ist es dringend erforderlich, alpenweit eine genaue Wasserbilanz für die künstliche Beschneigung zu erstellen. Der heutige Zustand und die raschen Entwicklungen in der Tourismus- und Baubranche im Hochgebirge führen, wie anhand von zahlreichen Beispielen angeführt, oft zu Verstößen gegen die EU-Wasserrahmenrichtlinie bzw. die EU-Trinkwasserrichtlinie.

4. Schlussfolgerungen und Perspektiven

Über hydrologische Probleme im Hochgebirge, speziell der Alpen, wird in der Fachliteratur nur wenig berichtet und es fehlen zusammenfassende Darstellungen. Es besteht dabei die Tendenz, die hydrologischen Probleme der Region auf das Gemeindeniveau zu transponieren und sie im Zusammenhang mit den örtlichen Bedingungen lokal durch technische Maßnahmen zu lösen. Dieses Vorgehen hat sich mit der Skientwicklung alpenweit durchgesetzt und wird zunehmend auch auf andere Problemfelder übertragen. Bemerkenswert ist, wie sich in diesem Zusammenhang auch gut dotierte Gutachtergruppen entwickeln, die fast alpenweit immer mit den gleichen Argumenten die geplanten Maßnahmen begleiten befürworten. Außerdem werden noch immer Betroffene bei den Beratungen und Entscheidungen nicht berücksichtigt.

Die heute vorherrschende Addition von technischen Lösungen steigern in Zeiten des Klimawandels die Wasserübernutzung und Wasserknappheit und führen generell zu keinen dauerhaften Lösungen. Es mangelt in den Einzugsgebieten der betroffenen Speicherbecken an hydrologischen Langzeitbeobachtungen. Auch eine Neudefinition der Restwasserabflüsse im Hinblick auf den Klimawandel ist in Zukunft erforderlich. Deshalb erfordert das integrierte Management von Einzugsgebieten im Gebirge mehr angewandte Forschungen in Kooperation mit Ingenieuren, Geowissenschaftlern, Ökonomen, Biologen und Betroffenen.

Solange die Übernutzung des Wasserpotentials in den Alpen als Problem nur in die Zukunft geschoben und nicht als ein bereits existierendes Problem anerkannt wird, werden die Alpenbewohner in naher Zukunft vor einer ökologisch und ökonomisch irreparablen Situation stehen.

Literaturverzeichnis

- ACCM (2008) : Plan directeur intercommunal eau 6 novembre 2008, Bureau ArcAlpes.
- ALLAMANO, P., CLAPS, P., & LAIO, F. (2009): Global warming increases flood risk in mountainous areas, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L24404, doi:10.1029/2009GL041395.
- APA (Austria Presse Agentur) (2008): Gebirge verlieren Wasserturm-Funktion. Ergebnis der Pressekonferenz, geleitet von Carmen de Jong (Präsidentin der Kryosphärenwissenschaften) an der Europäischen Wissenschaftlichen Union. <http://derstandard.at/3302946>.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU (Hrsg.) (2012): Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1217: 76 S.
- BRUNO, M. C., MAIOLINI, B., CAROLLI, M., SILVERI, L. (2010): Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Limnologia*, 40(4), S. 281-290.
- BERGBAHNEN KITZBÜHEL (2008): Geschäftsbericht 2006/7, SS. 30.
- CIPRA (2013a): Wassertrog Alpen – wer gibt, wer nimmt, wer bestimmt? <http://www.cipra.org/de/CIPRA/cipra-international/veranstaltungen/jahresfachtagungen/jahresfachtagungen/jahresfachtagung-2013>.
- CIPRA (2013b): SZENE ALPEN, N. 98.
- CISALB (2012): Interkommunales Komitee für Sanierung des Lac du Bourget. <http://www.cisalb.com/main.php>.
- CORTAY, P. (2013): Des eaux sous haute surveillance. *Environnement. Adhésion directe de la communauté de communes au SM3A (Wasser unter starker Beobachtung. Umwelt. Direkte Mitgliedschaft der Verbund der Kommunen an die SM3A)*. Dauphiné Libéré, 6. Jan, S. 7.
- DE JONG, C. & BARTH, T. (2007): Challenges in Hydrology of Mountain Ski Resorts under Changing Climatic and Human Pressures. (Hrsg.) BENVENISTE, J.; BERRY, P.; CALMANT, S.; GRABS, W.; KOSUTH, P, *Proceedings of the 2nd Space for Hydrology Workshop Surface Water Storage and Runoff: Modeling, In-Situ data and Remote Sensing*, ESA Publication WPP-280, Genf.
- DE JONG, C. (2007): Impounded rivers: aridification and geomorphological risks, Reducing the Vulnerability of Societies to Water Related Risks at the Basin Scale (Proceedings of the third International Symposium on Integrated Water Resources Management, Bochum, Germany, September 2006). *IAHS Publ.* 317, S. 123 – 129.
- DE JONG, C. (2009): Mountain Hydrology under increasing climate variability and anthropogenic pressure. *Mountain Research Initiative Newsletter* 50 no. 2, S. 50 – 53.
- DE JONG, C. (2012a): Les impacts du changement global sur l'eau en montagne karstique (Die Auswirkungen vom globalen Wandel auf Karsthydrologie im Hochgebirge. *Le petit écho des Entremonts*, 70: 38.
- DE JONG, C. (2012b): Zum Management der Biodiversität von Tourismus- und Wintersportgebieten in einer Ära des globalen Wandels. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*. 76/77, S. 131 – 168.

- DE JONG, C., GÜRER, A., RIMMER, I., SHABAN, A. & WILLIAMS, M. (2012): Climate and hydrology (Klimatologie und Hydrologie). *Mediterranean Mountain environments* (Hrsg.) I. V. VOGIATZAKIS, J. WILEY and Sons: 87 – 112.
- DE JONG, C. (2013 a): Linking ICT and society in early warning and adaptation to hydrological extremes in mountains). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13 : 1–18.
- DE JONG, C. (2013 b): Généalogie d'un conflit d'usage (Verlauf eines Nutzungskonfliktes). *M3 Société urbaine et action publique*, 5: 54 – 57.
- DE JONG, C. (2013 c): Wissenschaftliche Stellungnahme im Auftrag des Bund Naturschutz in Bayern, des Deutschen Alpenvereins und des Vereins zum Schutz der Bergwelt zu Detailspekten der "Umweltverträglichkeitsstudie für Ausbaumaßnahmen zur technischen Beschneigung mit Speicherteich, Pistenausbau und Neubau der Waldkopfbahn im Skigebiet Sudelfeld" (Stand 07.09.2011) der Arbeitsgruppe für Landnutzungsplanung, Institut für ökologische Forschung, St. Andrästr. 8a, D-82398 Etting – Polling; unveröffentlicht, SS.30.
- DE JONG, C. (im Druck): A White Decay of Winter Tourism. *Climate Change Adaptation Manual. Lessons learned from European and other industrialized countries*, (Hrsg.) PRUTSCH, A., MCCALLUM, S., GROTHMANN, T., SWART, R. & SCHAUER, I. ROUTLEDGE, S. 15.
- DELSANTO, T, MCGINNIS, D.F, SOBEK, S., OSTROVSKY, I., WEHRLI, B. (2010): Extreme Methane Emissions from a Swiss Hydropower reservoir: contribution from bubbling sediments. *Environmental Science and Technology* 44, S. 2419 – 2425.
- DOKULIL, M. (2013): Predicting summer surface water temperatures for large Austrian lakes in 2050 under climate change scenarios. *Hydrobiologia*; DOI 10.1007/s10705-013-1550-5.
- DREAL (2013): Eau biodiversité et ressources minérales. Direction régional de l'environnement, de l'aménagement et du logement.
<http://www.rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/ressource-en-eau-r908.html>.
- HAMBERGER, S., BAUMEISTER, O., ERLACHER, R. UND ZÄNGL, W. (1998): *Schöne neue Alpen – Eine Ortsbesichtigung*. Raben Verlag; SS. 240.
- KOBOLTSCHNIG, G.R., SCHÖNER, W. HOLZMANN, H. & ZAPPA, M. (2008): Glaciers melt of a small basin contributing to runoff under the extreme climate conditions in the summer of 2003, *Hydrological Processes*, DOI: 10.1002/hyp.7203.
- LOIZEAU, J.L. & DOMINIK, J. (2010): Evolution of the Upper Rhone River discharge and suspended sediment load during the last 80 years and some implications for Lake Geneva, *Aquatic Sciences*, 62, S. 54–67.
- LUDWIG, W., DUMONT, E., MEYBECK, M. & HEUSSNER, S. (2009): River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Seas: major drivers for ecosystem changes during past and future decades? *Progress in Oceanography* 80, S. 199 – 217.
- MARNEZY, A. (1999): Effect of hydroelectric diversions on torrential hydrology and morphodynamics. *Quaternaire*, 10, 1, SS. 49 – 59.
- NAHRATH, S. PAPILOID, J.H., REYNARD, E. (2011): Actes des Colloque international: Les Bisses. *Economies, société, patrimoine. Annales vallaisannes 2010- 2011*, SS. 552.
- RAMPAZZO, R. AND VECCELLIO, C. (2011): *Alp-Water-Scarce – Strategie di gestione dell'acqua contro la Scarsità d'Acqua nelle Alpi: il sito pilota del Fiume Piave, (Alp-Water-Scarce – Water management strategies for limited water supply in the Alps: the Piave River pilot site)*, Youth Initiative, Initiative of the Institute of Research on Water Resources of the CNR – National Research Center, *Assetto Istituzionale nel governo della risorsa idrica: il ruolo dello stato e le competenze delle regioni*, 1–3, available at:

<http://www.hydrica.org/pdf/Convegna%20Hydrica%202011/Venerdi%201%20Aprile%202011/Iniziativa%20Giovani/AWS-PIAVE-%20Rampazzo-Vecellio.pdf>.

RAPIN, F. & KLEIN, A. (2010): Assessment of the input from the tributaries into Lake Geneva and into the Rhone downstream of Geneva, Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne, S. 157-178.

SEVENIER, L. (2013): La neige de culture, Terra Modana, S. 2.

ZAISS, U., BLAß, H. & KALTWASSER, H. (1979): Produktion und Verbrauch von Methan und Wasserstoff durch Mikroorganismen in der Saar. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 23: S. 1-6.

Nachtrag nach Redaktionsschluss:

Seit 23.9.2013 wird der 5. Zustandsbericht des Weltklimarates (IPCC) zur Erderwärmung verfasst, dieser wird im Oktober 2014 veröffentlicht.

(<http://www.ipcc14.de/>,

http://de.wikipedia.org/wiki/F%C3%BCnfter_Sachstandsbericht_des_IPCC,

<http://www.scilogs.de/wblogs/blog/klimalounge/klimadaten/2013-09-27/der-neue-ipcc-klimabericht>).

Zu den früheren IPCC-Berichten 1990, 1992, 2001, 2007:

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml.

(alle Internetadressen verfügbar 3.10.2013).

Anschrift der Verfasserin:

Prof. Dr. Carmen de Jong
Pôle Montagne
Université de Savoie
73376 Le Bourget du Lac
Frankreich
e-mail: dejong.carmen@neuf.fr