



Hochwasser im Ötztal bei Umhausen während des Alpenhochwassers am 23. August 2005.



Das niederbayerische Deggen-
dorf an der Donau nach der Flut
am 13. Juni 2013.

Hydrologie und Meteorologie

Hochwasser aus den Alpen

Mit zerstörerischer Kraft schießt Wasser immer wieder aus Europas zentralem Gebirge und richtet enorme Schäden in den Anrainerstaaten an. Welche Rolle spielen die Alpen selbst bei der Entstehung solcher Hochwasserkatastrophen, und was kann man dagegen tun?

VON MARKUS WEBER UND LUDWIG BRAUN

VIELE LESERINNEN und Leser dürften sich an die Bilder des letzten Frühsommers 2013 erinnern, sei es aus eigener Anschauung oder aber aus den Fernsehnachrichten: lehmig braune Fluten fast bis an den Horizont, mittendrin Hausdächer wie Boote im See, Sandsäcke, verzweifelte Anwohner vor den Resten ihres mit Schlamm bedeckten Hausstandes ...

Dabei nahm die Katastrophe wie so oft eigentlich eher unspektakulär ihren Anfang: Nach einem ungewöhnlich nassen Frühjahr begann es Ende Mai entsprechend der Prognosen der Wetterdienste entlang der Alpennordseite wieder einmal zu regnen. Zwar wurden in den Wetternachrichten energische Warnungen vor einer so genannten Vb-Wetterlage mit extremen Niederschlägen besonders an den Alpen ausgegeben, aber es schien im Alpenvorland niemand besonders beunruhigt, denn die wenigsten Bayern wohnen an großen Flüssen. In München fielen allein am 2. Juni im Stadtzentrum 65 l Regen pro Quadratmeter (das entspricht einer Niederschlagshöhe von 65 mm) bei gerade einmal knapp zweistelligen Temperaturen. Das war zu kalt für die Jahreszeit, die Regenmenge aber gut die Hälfte dessen, was sonst im ganzen Monat Mai oder Juni fällt. Auch in den Tagen davor herrschte eine wenig sommerliche Witterung, es regnete in der Summe weitere 50 mm.

Direkt am Nordrand der Alpen fiel noch mehr Regen: 259 mm wurden vom 29. Mai bis zum 3. Juni in Salzburg registriert, 403 mm waren es in Aschau im Chiemgau. Zeitgleich begannen die Pegel der Flüsse zu steigen. Am Abend des 3. Juni erreichte die Scheitelwelle des Donau-

Hochwassers am Pegel Passau das Allzeithoch von 12,89 m, entstanden durch die Flutwelle des Inn. In der Folge wurden im Stadtgebiet 1.186 Gebäude überflutet, der Schaden wurde allein in Passau mit 190 Millionen Euro beziffert, bayernweit sogar mit 1,3 Milliarden Euro. Betroffen waren neben Deutschland insgesamt acht mitteleuropäische Länder, darunter Alpenanrainer wie Österreich, die Schweiz oder die Slowakei. Insgesamt waren 25 Todesopfer zu beklagen. Damit reiht sich das Hochwasser vom Sommer 2013 in die Serie der „Jahrhunderthochwasser“ im Alpenraum ein, nur noch übertroffen von dem Ereignis vom 15. August 1501.

Hochwasser im Alpenraum seit 1954

Hochwasser sind dem Namen nach ein meist natürliches Phänomen, bei dem der Wasserstand im Gerinne vorübergehend über dem Durchschnitt liegt. Wird dabei die Transportkapazität des Gewässerlaufs überschritten, kommt es zur Ausuferung und damit häufig in der näheren Umgebung des Wasserlaufs zu beachtlichen privat- und volkswirtschaftlichen Schäden. Wo und weshalb diese eintreten, ergibt sich meist als Folge eines sehr komplexen Zusammenspiels mehrerer Faktoren. Zu nennen wären in erster Linie die herrschende Witterung, die Füllstände und Kapazitäten der vorhandenen natürlichen und künstlichen Wasserspeicher sowie die Beschaffenheit der Gerinne. Menschliche Eingriffe in das System (z. B. Versiegelung und Wasserbaumaßnahmen) haben auch einen beachtlichen Einfluss und führen gegebenenfalls zu einer höheren oder geringeren Hochwasserneigung.

Gebirgsketten wie die Alpen spielen in diesem Mechanismus eine besondere Rolle. Sie beeinflussen einerseits direkt das Wetter und fördern die Niederschlagsbildung, geben aber andererseits das gesammelte Wasser wegen der Höhenunterschiede rasch in die engen Täler ab und produzieren dabei gegenüber dem Flachland hohe und schnelle Abflüsse mit teilweise zerstörerischer Kraft. Diese weiß die Energiewirtschaft schon seit längerer Zeit zu nutzen. Ereignen sich dabei Unfälle, wie beispielsweise der Bruch der Malpasset-Staumauer bei Fréjus (Frankreich) am 2. Dezember 1959 oder der des Tesero-

Die Dreiflüssestadt Passau nach der Flut am 13. Juni 2013.



Hochwasserereignisse im Alpenraum seit 1954

Datum	Region	Auslöser und Klassifikation der Wetterlage	Regenmenge / Zeit	Opfer	Schadensvolumen	Bemerkung
11.5. – 18.5.2014	Balkan	Starkregen, Vb	120 mm in 24 h	>44	k. A.	Auswirkungen im Alpenraum gemildert wegen Absinken der Schneegrenze, atypisch langsam für eine Vb-Wetterlage
31.5. – 2.6.2013	Mitteleuropa	Starkregen, Vb	403 mm in 96 h	>25	6,68 Mrd. € (Deutschland)	„Jahrhunderthochwasser“, großräumig
4.11. – 8.11.2011	Nordwestitalien, Südfrankreich	Starkregen, Genuatief	600 mm in 72 h	11	0,8 Mrd. €	Hochwasser südlich des Alpenhauptkammes
30.6.2011	München (West)	Starkregen, Gewitter	90 mm in 1 h	0	k. A.	Sehr lokales Ereignis
19.6. – 29.6.2009	Mitteleuropa	Starkregen, Va/b	207 mm in 48 h	k. A.	0,1 Mrd. €	In Deutschland an Isar und Inn, Donau ab Passau betroffen
9.8.2007	Schweiz, Österreich	Starkregen, Gewitter	45 mm in 1 h	k. A.	96 Mio. €	Regionales Ereignis
20.8. – 23.8.2005	Ostalpenraum, Süddeutschland, Balkan	Starkregen, Vb	286 mm in 48 h	>30	3 Mrd. €	„Alpenhochwasser“
6.8. – 13.8.2002	Mitteleuropa, Alpenraum	Starkregen, Vb	300 mm in 24 h	>45	15 Mrd. €	Mehrere aufeinanderfolgende Hochwasserereignisse
20.5. – 22.5.1999	Bayern	Nordstau + Schneeschmelze	180 mm in 72 h	5	345 Mio. €	Bekannt als „Pfungsthochwasser“
4.8.1998	Vernagtbach, Österreich	Starkregen, Gewitter + Eisschmelze	20 mm in 1 h	0	k. A.	Sehr lokales Ereignis
4.8. – 8.8.1997	Österreich	Starkregen, Vb	k. A.	9	3 Mrd. €	„Großer Regen“ (zuvor im Juli in Deutschland „Oderflut“)
Juli 1994	Niederösterreich, Bisamberg	Starkregen, Gewitter	45 mm in 3 h	1	Millionenschäden	Lokales Ereignis
31.7. – 5.8.1991	Donauraum, Salzach, Inn, Enns	Starkregen, Vb	60 mm in 36 h	6	72,7 Mio. €	Schwerstes Hochwasser seit 1954
25.8.1987	Ötztal, Österreich	Starkregen + Eis-/Schneeschmelze	100 mm in 72 h	13	200 Mio. €	Aufgleitniederschläge aus Südwesten, danach Ausbau des Hochwasserschutzes
31.8. – 4.9.1965	Kärnten, Osttirol	Starkregen, Vb, Schneeschmelze	181 mm in 48 h	2	43 Mio. €	Mehrere aufeinanderfolgende Hochwasserereignisse
4.7. – 11.7.1954	Bayern, Österreich	Starkregen, Höhentief + Vb	400 mm in 96 h	12	120 Mio. €	„Jahrhunderthochwasser“, Absinken der Schneegrenze auf 600 m

Dammes in Südtirol am 19. Juli 1985, kommt es für die Anrainer zu einer Hochwasserkatastrophe ungeheuren Ausmaßes. Aber derartige Ereignisse sind zumindest in Europa bislang eher selten und lokal begrenzt geblieben. Sie stellen damit keine umfassende Bedrohung für die Mehrzahl der Bewohner in und um die Alpen dar.

Das Bedrohungspotential durch ein natürliches Hochwasser ist dagegen selbst in einigem Abstand von den Alpen erfahrungsgemäß ungleich höher. Die Tabelle auf Seite 61 listet chronologisch Ereignisse unterschiedlichen Ausmaßes im Bereich der Ostalpen und dem Alpenvorland seit 1954 zum Zwecke der Ursachenforschung auf. Die Liste stellt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und eignet sich daher auch nicht dazu, zu untersuchen, ob sich die Häufigkeit solcher Ereignisse verändert. Soweit verfügbar, dienen

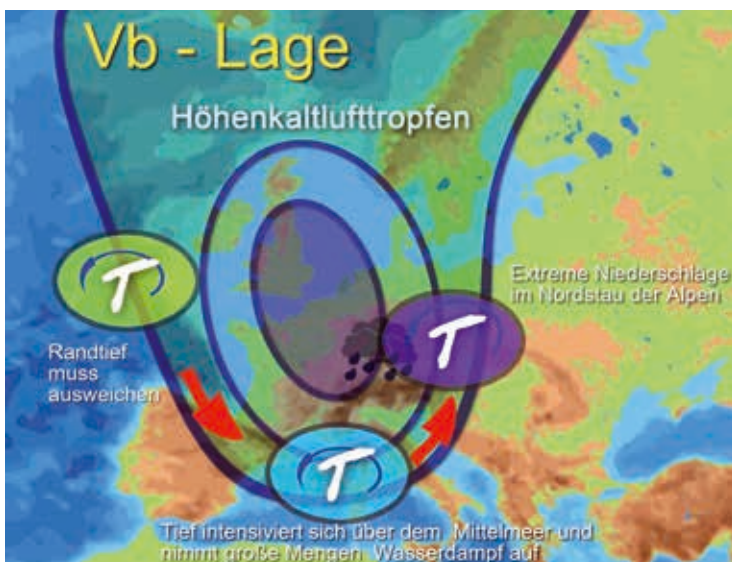


Die Alpen als Wetterküche

Allen Ereignissen in der Tabelle ist gemeinsam, dass sie ausschließlich im Sommerhalbjahr in Verbindung mit einer Wetterlage mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen auftraten. Sie lassen sich ihrer Ursache nach grob in drei Gruppen unterteilen:

- Am häufigsten sind Hochwasser im Einzugsgebiet der oberen Donau und des Inns nach flächendeckendem, mehrere Tage andauernden Niederschlag, ausgelöst durch großräumige Hebungsprozesse mit Stauregen und Gewitterlinien (z. B. Hochwasser 1954, 1991, 2005, 2013).
- Sehr viel seltener entstammt das Wasser einer vermehrten Schneeschmelze nach großräumigem Regen in eine mächtige durchnässte Schneedecke (Pfungsthochwasser 1999, Ötztal 1987).
- Gelegentlich ereignen sich kleinräumige Hochwasser innerhalb der Alpen durch lokale Starkregenfälle, sehr selten auch in Überlagerung mit der Abflusswelle der zuvor gebildeten Eisschmelze von Gletschern.

Die erste Gruppe von Hochwassern ist eng mit dem meteorologischen Begriff der Vb-Wetterlage verbunden. Dieser geht auf den Meteorologen Wilhelm Jacob van Beber (1841–1909) zurück, der 1891 in der „Meteorologischen Zeitschrift“ eine Typologie der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten in Europa als Hilfsmittel für die Wettervorhersage veröffentlichte. Im Zeitalter der numerischen Prognose wurde diese praktisch bedeutungslos, verlagern sich doch



Schematischer Ablauf einer Vb-Wetterlage in Mitteleuropa.

die Angaben über die Zahl der Opfer und die Bezifferung des materiellen Schadens als Bewertungskriterium für die Schwere der Katastrophe, wenn sich auch im Laufe der Zeit das Gefährdungspotential geändert haben mag.

Die Altstadt von Passau wurde demnach in der Vergangenheit sehr häufig überschwemmt. Dies hängt nicht zuletzt mit ihrer Lage am Zusammenfluss der Donau mit zwei weiteren Flüssen zusammen, wobei das Einzugsgebiet des größeren davon – des Inn – weit in die Alpen reicht. Kommt es großräumig im Raum Donau-Inn zu einem Flutereignis, ist in der Regel auch die Region um Passau davon betroffen.



die wetterbestimmenden Störungen im Bodendruckfeld (Zyklone) mit der Höhenströmung der Troposphäre und unterliegen somit keinem erkennbaren Ordnungsprinzip.

Eine Ausnahme bildet jedoch die von Bebbert mit Vb klassifizierte Zugbahn von der Adria über den Rand des östlichen Alpenbogens nach Norden. Nimmt ein Tiefdruckgebiet ungefähr diese Route, spricht man auch heute noch von einer Vb-Wetterlage als Ausdruck einer gewissen Reproduzierbarkeit. Voraussetzung für deren Entstehung ist jedoch zunächst, dass sehr kalte Luft in den oberen Schichten der Atmosphäre nach Mitteleuropa bis zu den Alpen fließt: Es bildet sich ein ortsfester „Höhenkaltlufttropfen“ (Abb. S. 62). Dieser produziert schon allein durch seine sehr labile thermodynamische Schichtung in der Höhe Schauer- und Gewitterwolken, sofern nur genügend Nachschub an feuchter Luft in tieferen Schichten erfolgt. Eine derartige Wetterlage ist meist schon der Garant für instabiles Wetter im Alpenraum, in dessen Verlauf örtlich mit Unwetter und Starkregen zu rechnen ist.

Bei der klassischen Vb-Wetterlage findet aber zusätzlich eine Wechselwirkung der unteren mit den oberen Schichten der Atmosphäre statt. Bildet sich auf der Westseite der Höhenkaltluft eine schwache zyklonale Störung (ein bodennahes Tiefdruckgebiet), so wird diese durch den Kaltlufttropfen gezwungen, nach Süden in

das Mittelmeer auszuweichen. Dabei kommen erstmals die Alpen als Hindernis ins Spiel: Beim Überqueren wird der horizontal gelagerte Luftwirbel durch die Erhebungen der Alpen vertikal gestaucht. Wegen des so genannten Pirouetten-Effektes intensiviert sich in der Folge die gegen den Uhrzeigersinn gerichtete Drehbewegung. Über dem warmen Golf von Genua und der Adria wird die Zyklone dann mit großen Mengen Wasserdampf beladen und anschließend entlang der Ostflanke der Höhenkaltluft wieder nach Norden geführt.

In dieser Phase kann das Vb-Wettertief zur Höchstform auflaufen: Erneut intensiviert, schiebt es unablässig feuchte Luftmassen gegen die Nordseite der Alpen. Diese werden am Alpenrand zum Aufsteigen gezwungen und bilden dadurch hochreichende Bewölkung in der Höhenkaltluft, welche wiederum ihre unheilvolle nasse Fracht über dem Alpenvorland entlädt. Eine solche Wetterkonstellation ist erstaunlich stabil, so dass die ergiebigen Niederschläge über Tage andauern können, bis sich die Struktur endlich wieder auflöst. 1954 oder 2013 ergoss sich auf das Einzugsgebiet des Inns innerhalb von vier Tagen eine Wassermenge, mit der man den Starnberger See zweimal hätte füllen können. Normalerweise verschwindet ein beträchtlicher Anteil des Wassers zunächst im Bodenspeicher. Sind die Böden jedoch nach einem vorangegangenen nassen Witterungsabschnitt gesättigt oder großflächig versiegelt, fließt das Wasser fast vollständig über das nächstgelegene Gerinne ab. Darin bilden sich dann die gefürchteten Hochwasserwellen, die mit Verzögerung flussabwärts laufen und sich an Mündungsverzweigungen wie bei Passau ungünstig überlagern können. Der Scheitel des Hochwassers tritt üblicherweise erst einige Tage nach dem Einsetzen der Niederschläge ein. So mag es eine Ironie des Schicksals gewesen sein, dass dieselbe Wetterlage, die am 4. Juli 1954 maßgeblich zum Sieg der deutschen Fußballnationalmannschaft bei der Weltmeisterschaft in Bern beigetragen haben soll, wenige Tage später Bayern und Österreich ein Jahrhunderthochwasser bescherte.

Ein natürlicher Schutzmechanismus der Alpen gegen Hochwasser

Innerhalb der Alpen können die Auswirkungen einer Vb-Wetterlage zum Alpenhauptkamm hin deutlich entschärft werden, wenn durch den charakteristischen Temperatursturz zu Beginn die Schneegrenze erst einmal bis in die Täler absinkt. Dann fällt der Niederschlag in den höheren Lagen überwiegend als Schnee, und dieser muss erst wieder geschmolzen werden, bevor er

Überschwemmung in Umhausen während des Alpenhochwassers am 23. August 2005.

DIE AUTOREN

Dr. Markus Weber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Er ist dort in der Abteilung Glaziologie zuständig für den Bereich Meteorologie und hat das Projekt GLOWA-Danube betreut. Dr. Ludwig Braun ist wissenschaftlicher Leiter der Abteilung Glaziologie, sein Forschungsschwerpunkt ist die Hydrologie.

zum Abfluss beiträgt. Auch die Eisschmelze auf Gletschern, die üblicherweise während Strahlungswetterlagen im August am größten ist, wird durch den Temperatursturz augenblicklich unterbunden. Dieser als eine Art Selbstsicherung im Hochgebirge wirkende Mechanismus hat in einigen Fällen eine Hochwasserkatastrophe im Alpenraum verhindert, so zuletzt im Mai 2014, als sich ein Adria-Tief zum Glück für die Bewohner in Bayern ungewöhnlich langsam nach Norden verlagerte, dafür aber den Balkanländern die Katastrophe brachte.

In der Regel hilft dieser Mechanismus aber nur kurzzeitig, denn die Schneegrenze steigt unvermeidlich wieder an, wenn die Kaltfront vorübergezogen ist. Dann wird die Schneeschmelze durch Regen auf die Schneedecke sogar noch gefördert. Die rasche Erwärmung des gesamten Schneepaketes auf den Schmelzpunkt bietet die ideale Voraussetzung dafür, dass der Schnee sehr effizient geschmolzen werden kann. Regen ist daher der klassische „Schneefresser“, auch im Tiefland. Besonders in Jahren mit einem schneereichen Winter stellen Vb-Wetterlagen im Frühjahr somit eine weitere potentielle Gefahr für Hochwasser dar, wobei der Abfluss nicht allein aus dem Regen, sondern zusätzlich auch aus der Schneeschmelze resultiert. Ein typisches Beispiel war das Pfingsthochwasser im Mai 1999, bei dem die spontan einsetzende Schneeschmelze im Alpenraum einen erheblichen Beitrag zur Katastrophe leistete.

Auf ähnliche Weise kann auch eine sommerliche Schneeaufgabe auf Gletschern zu einem Problem werden. Eindrucksvoll demonstriert dies das Beispiel der Überflutung des Ötztals im August 1987 nach intensiven Aufgleitniederschlägen aus Südwesten.

Muss man zukünftig mit mehr Hochwassern rechnen?

Ob Hochwasser im Rahmen des Klimawandels häufiger und intensiver werden, ist unter den Hydrologen umstritten. Zu komplex sind die Zusammenhänge und noch zu unsicher die Details der Klimaprognosen, als dass hierzu klare Aussagen möglich wären. Prinzipiell wäre eine Zunahme des Hochwasserpotentials physikalisch allein auf Grund der positiven Rückkopplung zwischen der Temperatur und dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre plausibel. Andererseits deutet die Erfahrung der jüngeren Vergangenheit eher darauf hin, dass



die Entwicklung der großräumigen Wetterlage zusammen mit einigen mehr oder weniger zufälligen Faktoren für die lokale Ausprägung der Katastrophen verantwortlich war.

Deshalb ist es wenig verwunderlich, dass auch eine im Rahmen des Verbundprojekts GLOWA-Danube durchgeführte Untersuchung, in der das Zusammenwirken relativ vieler der angesprochenen Faktoren in einem komplexen Rechenmodell berücksichtigt wurde, für die nächsten 50 Jahre keinen eindeutigen Trend zu mehr Hochwassern im Einzugsgebiet der oberen Donau zeigt. Die Ergebnisse lassen für den Pegel Achleiten bei Passau nicht auf signifikante Änderungen der Hochwasserspitzen unter der Bedingung eines wärmeren Klimas schließen. In den Alpentälern und Kopfeinzugsgebieten dagegen muss mit einer Erhöhung der Abflüsse bis zum Faktor drei gerechnet werden, hervorgerufen durch die Veränderung der Niederschlagsart in den alpinen Regionen und der damit verbundenen Reduzierung des Schneespeichers.

Tatsächlich sind die Ansprüche an die Detailliertheit der Szenarien für die prozessbasierte Analyse des Hochwasserpotentials sehr hoch. Das Projekt GLOWA-Danube konnte diese auf Grund der angewandten Methodik nur eingeschränkt erfüllen. Die Hochwasserneigung wird über längere Wetter- und Witterungsabschnitte geprägt, die in den Szenarien realistisch wiedergegeben werden müssen. Dazu gehört die wichtige Frage, ob die Häufigkeit von Vb-Wetterlagen unter einem wärmeren Klima zu- oder abnimmt, und wie die zeitliche Abfolge sein wird.



Derzeit existiert noch keine deterministische Lösung, um diese Fragen zu beantworten. Eine neuere empirisch-statistische Untersuchung aus der Schweiz, die auf der Rekonstruktion von 842 Hochwasserereignissen im Alpenraum während der letzten 2.500 Jahren basiert, kommt allerdings zu der interessanten Erkenntnis, dass Flutkatastrophen häufiger in vergleichsweise kühlen Sommern stattfanden. Da die Klimawissenschaftler im Verlauf des anthropogenen Klimawandels mit einer Häufung heißer Sommer rechnen, kann man also davon ausgehen, dass Hochwasser wegen Vb-Wetterlagen künftig seltener auftreten. Allerdings kann die Studie im Gegensatz zu GLOWA-Danube keine Aussage zur Intensität der Ereignisse machen. Extremere Hochwasserkatastrophen können folglich nicht ausgeschlossen werden.

Kann man Hochwasser im Alpenraum vorbeugen?

Auch wenn die Wissenschaft derzeit noch keine exakten Vorhersagen machen kann, sollte man nicht verkennen, dass die Wetterprognose mittlerweile erheblich genauer geworden ist. Dies gilt insbesondere für die regionale Mittelfristvorhersage über einen Zeitraum bis zu einer Woche, welche die Entwicklung von Vb-Wetterlagen inklusive der zu erwartenden Niederschlagsmengen in den letzten Jahren sehr gut benennen konnte. Es fehlte auch nicht an Warnhinweisen.

Kann man einer Hochwasserkatastrophe also mit technischen Mitteln begegnen? Zweifellos wird man das Wetter selbst nicht beeinflussen

können, und die Mittel für einen wirksamen Hochwasserschutz sind beschränkt. Aber die Stadt München an der Isar zeigt, was möglich ist: Nach dem Ausbau des Sylvensteinspeichers verfügt die Isar für ihr Einzugsgebiet von 1.138 km² im Karwendelgebirge über ein zusätzliches Speichervolumen von 124 Mio. m³. Dieses kann einen flächendeckenden Niederschlag von 100 mm auffangen. Dank der Vorhersagen konnte der Speicher in der Vergangenheit mehrfach rechtzeitig abgelassen und damit die Stadt München erfolgreich vor zu hohen Wasserständen der Isar geschützt werden.

Im Bereich der Donau und des Inn sind zwar die erforderlichen Speicherkapazitäten für ein umfassendes Hochwassermanagement noch nicht verfügbar, es wäre aber zumindest theoretisch möglich, durch mehr Speichervolumen die ganz großen Katastrophen abzumildern.

Im Gegensatz dazu scheint es geradezu unmöglich, die Überschwemmung von Kellern nach einem lokalen Gewitterregen zu verhindern. Überschreitet die Intensität eines Starkregens innerhalb einer Stunde die Schwelle von 30 bis 50 mm, wird die Abflusskanalisation üblicherweise überfordert. Gleichzeitig ist die Kurzfristprognose solcher Ereignisse noch völlig unbefriedigend. In den Wettermodellen fallen lokale Gewitter durch das Modellraster, und die mit moderner Satelliten- und Radartechnologie präsentierte Detailgenauigkeit im Internet trügt, denn es handelt sich dabei nicht um eine Vorausschau, sondern um eine Nachschau des Ereignisses: Der Schauer wird erst angezeigt, nachdem er bereits eingesetzt hat. Noch ungenauer ist die Methodik im Gebirge, denn das Radar benötigt eine direkte Sichtverbindung mit dem Objekt, welche in vielen Alpentälern bei der gegenwärtigen Abdeckung mit Niederschlagsradargeräten gar nicht gewährleistet ist. Insofern wird immer ein nicht unerhebliches Restrisiko verbleiben, doch noch nasse Füße zu bekommen ... ■

**Schwere Unwetterfront
am Flughafen Innsbruck,
20. Juli 1985.**

Literatur und WWW

L. Braun, M. Weber, Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher?, in: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie (≈ Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 24), S. 47–66, München 2002.

L. Glur et al., Frequent floods in the European Alps coincide with cooler periods of the past 2500 years, in: Scientific Reports article no.: 2770, doi:10.1038/srep02770, 2013.

GLOWA Danube-Projekt: www.glowa-danube.de