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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 98 (2006)

Heft: 3

Artikel: Dauerregen, Schauer oder Schmelze : welche Ereignisse lösen in der Schweiz die Jahreshochwasser aus?

Autor: Helbling, Andreas / Kan, Caroline / Vogt, Stephan

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-939354

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 25.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dauerregen, Schauer oder Schmelze – welche Ereignisse lösen in der Schweiz die Jahreshochwasser aus?

■ *Andreas Helbling, Caroline Kan, Stephan Vogt*

Zusammenfassung

Die Hochwasserdatenbank der Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt[1] (BAFU) enthält neu Angaben zu den auslösenden Ereignissen der Jahreshochwasser ab 1957. Die auslösenden Ereignisse werden mit Hilfe der Witterungsberichte der MeteoSchweiz bestimmt. Im vorliegenden Artikel wird die verwendete Methode beschrieben und die ersten Auswertungen dieses Datensatzes werden vorgestellt. Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem auslösenden Ereignis und der Einzugsgebietsgrösse beziehungsweise dem Regimetyp besteht und wie die grössten aufgetretenen Hochwasserereignisse verursacht werden.

Regionaler Witterungsverlauf — *August 2005*

Tag	Wetterlage	Deutschschweiz, Nord- und Mittelbünden	Westschweiz und Wallis	Alpensüdseite und Engadin
Mo 1. Di 2. Mi 3.	Eine kräftige Gewitterstörung aus W bringt weiten Landesteilen ergiebigen Regen und im N eine deutliche Abkühlung.	Zuerst sonnig, nachm. Bewölkungszunahme. Max. 23–27, im S 28–31 °C. Abends zunehmend Schauer/Gewitter. Am 2. vor allem in den Alpen und im Süden teils sehr ergiebiger Regen, auch Gewitter. Ganz im N und in Südostbünden weniger Regen. 14–21 °C. Am 3. am Alpennordhang bis nachm. Regen, sonst bald trocken, im S rasch sonnig, im NW und W abends aufhellend. Max. 16–23, im S 28–30 °C.		
Do 4. Fr 5.	Ein Ausläufer des Azorenhochs bringt vorübergehend den Sommer zurück.	Am 4. in den zentralen und östl. Alpen örtl. Schauer, wie im NE wenig Sonne. Sonst zieml. sonnig. Am 5. sonnig und Max. 22–26 °C. Nachts im N erster Regen.		Am 4. im Engadin stark bewölkt, lokal Schauer. Sonst sonnig. Max. 28 °C.
Sa 6. So 7.	Ein Skandinavientief führt feuchte Polarluft vor allem zur Deutschschweiz.	Wenig Sonne. Vor allem in den Alpen Schauer, am 7. auch Gewitter. 9–23 °C.	Zeitw. sonnig. Ab und zu Schauer. Am 7. nachm. nördl. der Alpen sonniger.	In den Bergen bewölkt, zeitw. Schauer/Gewitter. Im S zieml. sonnig.

Bild 1. Ausschnitt aus einem Witterungsbericht (MeteoSchweiz, Witterungsbericht August 2005).

1. Einleitung

Im Nachgang zum Hochwasserereignis von 1999 wurde an der Landeshydrologie[1] der Aufbau einer Hochwasserdatenbank in Angriff genommen. Als Basis dienten die Mitteilungen «Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern» der Landeshydrologie und -geologie (Spreafico et al., 1986–1991), auch «Hochwasserbände» genannt. Seither wird die Datenbank jährlich aktualisiert und sporadisch mit neuen Funktionen und Parametern erweitert. Um die Dienstleistungen der Landeshydrologie im Bereich der Hochwasserstatistik möglichst gut auf die Wünsche der Kunden abzustimmen, wurde 2004 eine Bedürfnisabklärung durchgeführt. Dabei zeigte sich unter anderem, dass die Hälfte der Befragten Interesse an Auswertungen bezüglich des auslösenden Ereignisses der Abflussspitzen hat.

Unter dem Begriff «auslösendes Ereignis» werden die hydrometeorologischen Prozesse verstanden, welche zu hohen Abflüssen führen können. Dazu gehören der Niederschlag und die Schmelzprozesse. Die Kenntnis der auslösenden Ereignisse der jährlichen höchsten Abflussspitzen kann aus den verschiedensten Gründen von Interesse sein. So kann etwa untersucht werden, ob sich die Wiederkehrperioden der Jahreshochwasser ändern, wenn die Berechnungen für jeden Typ von auslösendem Ereignis separat durchgeführt werden.

In dieser Arbeit wird nur der unmittelbare Auslöser der Jahreshochwasser betrachtet. Natürlich spielt bei einem Hochwasser immer auch die Vorgeschichte eine wichtige Rolle, insbesondere die Vorregenmenge und die Bodensättigung. Aus praktischen Gründen konnten diese Aspekte jedoch nicht miteinbezogen werden (vgl. Methodenbeschreibung).

2. Methode

Zur Charakterisierung der auslösenden Ereignisse von Abflussspitzen existieren verschiedene Methoden. Merz (2002) hat zum Beispiel für jedes Hochwasserereignis Karten mit allen wichtigen Parametern erstellt. Für die Bestimmung der Bodenfeuchte, der Schneeschmelze und des Abflusskoeffizienten hat er ein Niederschlags-Abfluss-Modell verwendet.

Für die Erweiterung der Hochwasserdatenbank der Abteilung Hydrologie wurden dagegen die auslösenden Ereignisse der Jahreshochwasser mit Hilfe der Witterungsberichte der MeteoSchweiz bestimmt. In diesen Berichten ist der Witterungsverlauf in Textform beschrieben (siehe *Bild 1*). Diese Vorgehensweise ermöglichte die Bestimmung der auslösenden Ereignisse der Jahreshochwasser sämtlicher Stationen der Hochwasserdatenbank. Sie ist im operationellen Betrieb für die jährliche Aktualisierung anwendbar und nicht zu aufwändig. Vor 1957 liegen die Witterungsberichte noch nicht in tabellarischer Form vor. Es gibt nur einen kurzen Text, in dem nicht zu allen Tagen Angaben zu finden sind. Deshalb wurde die Typisierung erst ab 1957 vorgenommen.

Folgende Typen von auslösendem Ereignis werden unterschieden::

1) «Reiner Dauerregen»: Niederschläge, welche länger als sechs Stunden dauern.
2) «Reiner Schauer»: Gewitter und Schauer; können bis zu sechs Stunden dauern.

[1] *Die Landeshydrologie des ehemaligen Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) ist seit dem 1. Januar 2006 Teil des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und heisst neu Abteilung Hydrologie.*

3) «Dauerregen mit Schauer»: Mehr als sechs Stunden dauernde Niederschläge, welche Phasen mit schauerartigen Regenfällen aufweisen.
4) «Schmelze mit Dauerregen»: Zu den Schmelzprozessen zählen sowohl die Schnee- als auch die Gletscherschmelze.
5) «Schmelze mit Schauer»
6) «Schmelze»: Kein Niederschlag, nur Schnee- und/oder Gletscherschmelze.
7) «nicht witterungsbedingt»: Verschiedene Ereignisse sind möglich, beispielsweise ein Seeausbruch verursacht durch einen Eissturz.
8) «anthropogen beeinflusst»: Jahreshochwasser, welche durch Kraftwerksregulierungen bedingt sind.

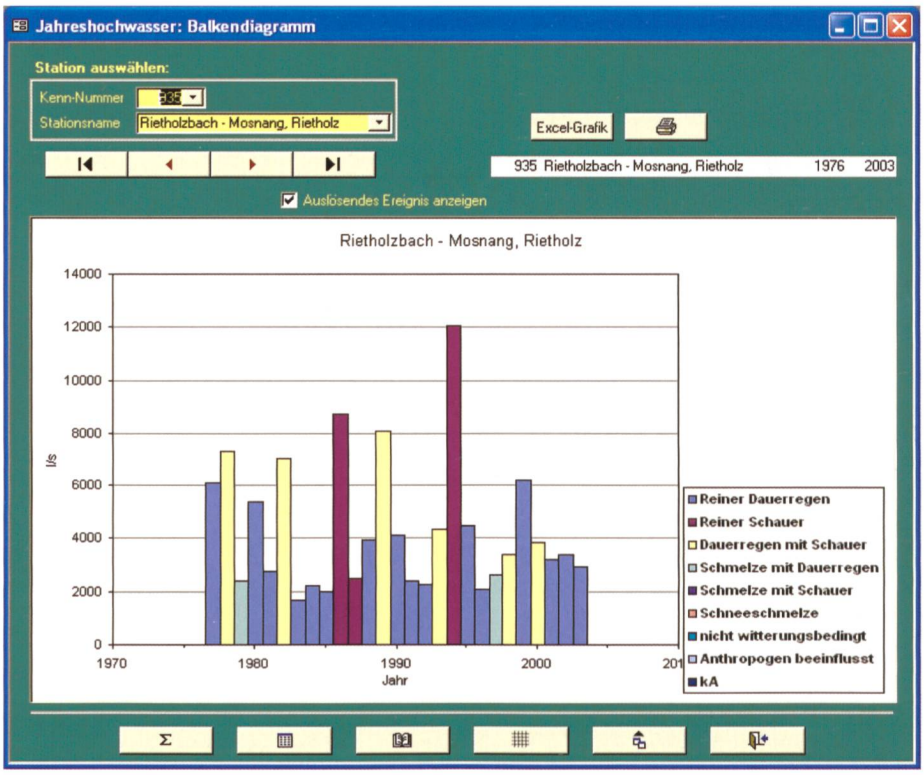

Bild 2. Beispiel aus der Datenbank. Jahreshochwasser mit den dazugehörigen auslösenden Ereignissen.

2.1 Abschätzung der Schmelzprozesse

In den Witterungsberichten steht sehr selten explizit etwas zur Schneeschmelze. Die Gletscherschmelze wird überhaupt nie erwähnt. Folglich müssen in den meisten Fällen die Schmelzprozesse abgeschätzt werden. In den Wintermonaten ist dies meistens mit den Angaben über den Verlauf der Schneefallgrenze möglich. Ausserhalb der Wintermonate wird die Schneefallgrenze jedoch selten beschrieben und Hinweise, bis in welche Höhe noch eine Schneedecke vorhanden ist, sind nicht zu finden. Für diese Fälle sind verschiedene Vorgehensweisen möglich, zum Beispiel die Analyse der Abflussganglinien oder die Auswertung der Schneeberichte der Eidgenössischen Anstalt für Schnee- und Lawinenforschung (SLF). In dieser Arbeit wurde das Regressionsmodell aus der HADES-Tafel 3.6 – Variationen der Schneegrenze – verwendet (Apfl et al., 1995):

E = -0.0386 * Höhe + 140.89
A = 0.0752 * Höhe + 128.89
E mittleres Datum des Einschneiens [Tage nach dem 1. September]
A mittleres Datum des Ausaperns [Tage nach dem 1. September]
Höhe Höhe über Meer [m]

Weil das mittlere Datum nur als Anhaltspunkt verwendet wird, kann die Formel für die gesamte Schweiz angewendet werden, obwohl sie eigentlich nur für die Alpennordseite gültig ist. In den Witterungsberichten sind Angaben über die Besonderheiten des Wetters zu finden, beispielsweise ob der Winterbeginn früh war oder ob es im Frühsommer in den Bergen noch einmal einen Wintereinbruch gab. Damit kann beurteilt werden, ob das mittlere Datum des Einschneiens und Ausaperns für das zu betrachtende Jahr zutrifft.

Es wird davon ausgegangen, dass die Schneeschmelze nur dann bei der Entstehung eines Hochwassers von Bedeutung ist, wenn mindestens die Hälfte des Einzugsgebietes schneebedeckt ist und im Witterungsbericht das Wetter als warm charakterisiert wurde.

Wenn keine Schneedecke mehr vorhanden ist, kann je nach Vergletscherungsgrad die Gletscherschmelze eine Rolle spielen. Es wird davon ausgegangen, dass die Gletscherschmelze nur dann ein wichtiger Prozess bei der Entstehung einer Abflussspitze ist, wenn der Gletscheranteil mindestens 20% beträgt (Regimetypen 1 und 2) und warmes Wetter herrscht. Bei einer sehr heissen Wetterperiode, das heisst in den tieferen Lagen Temperaturen über 30° C, ist die Gletscherschmelze auch bei einem Vergletscherungsgrad kleiner 20% von Bedeutung.

Die Schmelze bleibt ein schwer abschätzbarer Faktor. Mit einem vertretbaren Aufwand ist eine bessere Abschätzung jedoch nicht möglich.

2.2 Überprüfung der Methode

Anhand der Niederschlagsdaten vom Einzugsgebiet des Rietholzbaches wurde die Methode exemplarisch überprüft. Das Beispiel Rietholzbach wurde aus zwei Gründen ausgewählt: 1) Es stehen die stündlichen Niederschlagsdaten von 1976 bis 2004 zur Verfügung. 2) Die gemessenen Niederschlagsdaten sind für das gesamte Einzugsgebiet repräsentativ, weil sich die Wetterstation innerhalb des kleinen Einzugsgebietes befindet. Für jedes Jahreshochwasser wurde beurteilt, ob die Niederschlagsdaten die mit dem Witterungsbericht vorgenommene Zuordnung bestätigen.

Die verwendete Methode mit den Witterungsberichten liefert für den Rietholzbach sehr gute Resultate. Nur in zwei Jahren besteht eine kleine Abweichung. In beiden Fällen wurde das Jahreshochwasser aufgrund der Witterungsberichte als «Dauerregen mit Schauer» klassiert, die Niederschlagsdaten deuten hingegen auf einen Schauer hin. Die Abschätzung der Schmelzprozesse konnte allerdings nicht überprüft werden.

Gesamthaft gesehen ist die Methode bis zu einem gewissen Grad subjektiv. Einzelne Ereignisse werden nicht alle dem gleichen Typ von auslösendem Ereignis zugeordnet. Aber bei der Mehrzahl der Fälle kommen verschiedene Personen zur selben Klassierung.

3. Produkt

Die auslösenden Ereignisse der Jahreshochwasser wurden für sämtliche 264 Stationen der Hochwasserdatenbank der Abteilung Hydrologie für den Zeitraum von 1957 bis 2003 bestimmt und in die Datenbank integriert. In Kreisdiagrammen wird

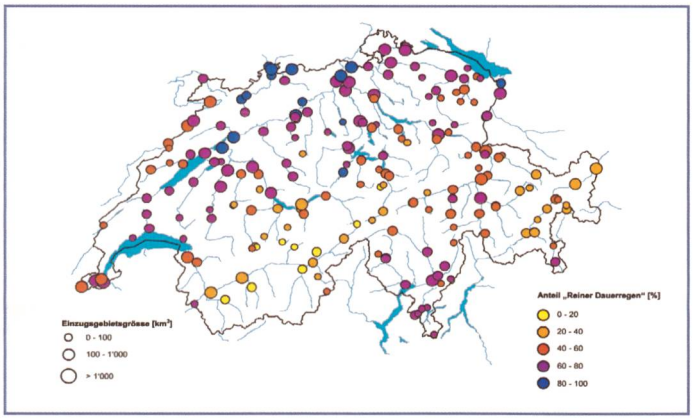

Bild 3. Anteil «Reiner Dauerregen» als Auslöser der Jahreshochwasser.

Einzugsgebietsklasse [km²]	Dauerregen [%]	Schauer [%]	Dauerregen mit Schauer [%]	Schmelze [%]	Anzahl Stationen
0-50	56	30	13	1	39
50-100	65	23	10	1	29
100-250	67	20	12	1	42
250-500	73	16	10	1	31
500-1000	69	19	10	1	19
1000-10000	73	14	11	1	31
10000-50000	86	5	9	0	10

Tabelle 1. Mittlere Verteilung pro Einzugsgebietsklasse.

für jede Station angegeben, wie häufig welches auslösende Ereignis vorkommt. In Balkendiagrammen werden die jährlichen Abflussspitzen und die dazugehörigen auslösenden Ereignisse dargestellt (siehe *Bild 2*).

4. Auswertungen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluss die Einzugsgebietsgrösse und der Regimetyp auf die Art der Auslösung der Jahreshochwasser haben und wie die höchsten aufgetretenen Hochwasser ausgelöst werden. Ausgewertet wurden die Stationen mit einer Zeitreihe von mindestens 20 Jahren. 202 Stationen erfüllen dieses Kriterium. Bei jeder Station wurde die prozentuale Verteilung der verschiedenen Typen von auslösendem Ereignis berechnet.

4.1 Überblick

Über alle Stationen betrachtet werden die meisten Jahreshochwasser durch «Reinen Dauerregen» (57%) ausgelöst; deutlich weniger durch «Reinen Schauer» (13%), «Dauerregen mit Schauer» (11%), «Schmelze mit Dauerregen» (11%) oder «Schmelze mit Schauer» (7%). Nur 1% der jährlichen Abflussspitzen werden durch reine Schmelzprozesse ausgelöst. Berechnet wurden diese prozentualen Anteile durch Mittelung der Verteilungen der einzelnen Stationen.

Im *Bild 3* wird der Anteil an «Reinem Dauerregen» für jede Station in einer Karte dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der Anteil im Mittelland und im Tessin am grössten ist. Im Jura und in den Voralpen ist er etwas kleiner und in den Alpen am kleinsten. In dieser Region sind die Typen häufig, bei denen Schmelzprozesse beteiligt sind.

Insbesondere bei regionalen Aussagen muss beachtet werden, dass zu jeder Station auch ein Einzugsgebiet gehört, das aus grafischen Gründen auf der Karte nicht dargestellt werden kann. Die Information gilt also nicht nur für den Punkt, sondern für das gesamte dazugehörige Einzugsgebiet. Auf der Karte wird die Grösse des Einzugsgebietes durch die Grösse des Kreissymbols dargestellt.

4.2 Einfluss der Einzugsgebietsgrösse

Ausgangspunkt der Auswertung nach der Einzugsgebietsgrösse war eine gängige hydrologische These: In grossen Einzugsgebieten werden Hochwasser durch Dauerregen ausgelöst, in kleinen durch Schauer.

Die These wird damit begründet, dass Hochwasser nur entstehen können, wenn der Niederschlag über das gesamte Einzugsgebiet niedergeht. Schauer sind zwar intensiver als lang anhaltende Niederschläge, aber sie sind räumlich begrenzt. Deshalb lösen sie nur in kleinen Einzugsgebieten grosse Abflussspitzen aus.

Um diese These zu überprüfen, wurden die Einzugsgebiete in sieben Grössenklassen eingeteilt. Pro Einzugsgebietsklasse wurden dann die Verteilungen der auslösenden Ereignisse der einzelnen Stationen gemittelt (siehe *Tabelle 1*). Die Anteile an «Reinem Dauerregen» und «Schmelze mit Dauerregen» wurden für diese Auswertung zusammengefasst und sind in der *Tabelle 1* unter «Dauerregen» aufgeführt. «Reiner Schauer» und «Schmelze mit Schauer» wurden entsprechend zu «Schauer» zusammengefasst.

Tatsächlich gilt, dass mit zunehmender Einzugsgebietsgrösse der Anteil an «Dauerregen» grösser wird. Ein gegenteiliger Trend ist beim «Schauer» feststellbar: Je kleiner das Einzugsgebiet, desto grösser ist der Anteil an «Schauer». Offensichtlich besteht ein Zusammenhang zwischen Einzugsgebietsgrösse und der Art wie die jährlichen Abflussspitzen ausgelöst werden. In dieser Hinsicht wird die These bestätigt. Der Trend ist jedoch derart schwach, dass sicherlich noch andere Faktoren eine Rolle spielen und die These erweitert werden muss.

In allen Einzugsgebietsklassen werden die meisten Jahreshochwasser durch «Dauerregen» ausgelöst. Der Anteil liegt zwischen 56% und 86%. Deutlich weniger Jahreshochwasser werden durch «Schauer» ausgelöst. Auch in kleinen Einzugsgebieten ist der Anteil klein, nur 30% bei den Einzugsgebieten mit einer Grösse zwischen 0 und 50 km² und 23% bei der Klasse 50 bis 100 km². In dieser Hinsicht stimmt die These nicht. Es kann nicht pauschal gesagt werden, dass in kleinen Einzugsgebieten die Jahreshochwasser durch Schauer ausgelöst werden. Offenbar werden grundsätzlich weniger Jahreshochwasser durch Schauer als durch Dauerregen ausgelöst, unabhängig von der Einzugsgebietsgrösse. Dafür gibt es zwei mögliche Erklärungen: 1) Schauer sind meistens lokale Ereignisse. In einem bestimmten Einzugsgebiet kommen sie im Vergleich zu lang andauernden Niederschlägen weniger häufig vor. 2) Ein Dauerregen kann auch konvektive Elemente enthalten, was dazu führt, dass zwischenzeitlich die Niederschlagsintensität ansteigt. Dadurch können grössere Abflussspitzen erreicht werden. Mit der verwendeten Methode konnten diese Mischformen von Dauerregen und Schauer nicht immer erfasst werden.

Im *Bild 4* ist der relative Anteil von «Schauer»-ausgelösten Jahreshochwassern im Vergleich zu der Einzugsgebietsgrösse dargestellt. Bis zu einer Einzugsgebietsgrösse von etwa 5000 km² ist die Variationsbreite sehr gross. Bei grösseren Einzugsgebieten nimmt sie stark ab. Praktisch alle Jahreshochwasser werden bei diesen Stationen durch «Dauerregen» ausgelöst. Zu beachten ist, dass abgesehen von Rhein-Diepoldsau alle diese Sta-

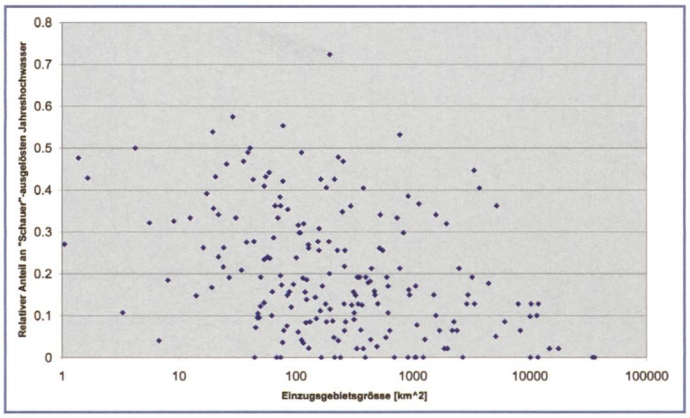

Bild 4. Relativer Anteil an «Schauer»-ausgelösten Jahreshochwassern im Vergleich zur Einzugsgebietsgrösse.

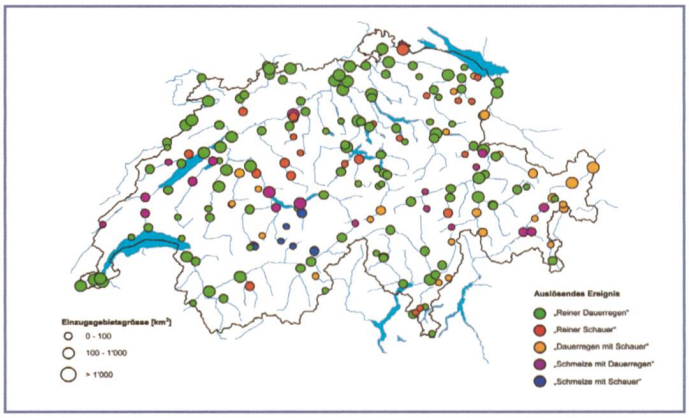

Bild 5. Auslösendes Ereignis der HHQ.

tionen unterhalb von Seen liegen, welche die Hochwasserwellen dämpfen. Aufgrund der grossen Variationsbreite kann angenommen werden, dass neben der Einzugsgebietsgrösse noch andere Faktoren eine wichtige Rolle bei der Auslösung der Jahreshochwasser spielen. Aus Sicht der Autoren sind es die folgenden drei:

- Eigenschaften der Böden und geologischen Ablagerungen: Einzugsgebiete reagieren sehr unterschiedlich auf Starkregen. Die verschiedenen Reaktionsarten lassen sich vor allem auf Unterschiede in der Speicherfähigkeit der Gebiete zurückführen. Bei Flächen mit geringem Speichervermögen verläuft die Abflussbildung schneller als in Gebieten mit grossem Speichervermögen. Letzteres ist abhängig von den Eigenschaften der Böden und geologischen Ablagerungen (vgl. Naef et al., 1998). In der HADES-Tafel 5.7 werden die Reaktionen von sechs Einzugsgebieten auf Starkniederschläge präsentiert und es wird erläutert, wie in diesen Gebieten grosse Hochwasser entstehen. Diese Angaben stimmen sehr gut mit den vorliegenden Resultaten überein.
- Saisonalität der Jahreshochwasser: Treten die meisten Hochwasser im Winter auf, können sie jahreszeitlich bedingt praktisch nicht durch Schauer ausgelöst werden.
- Vorgeschichte: Der Zustand des Einzugsgebietes zum Zeitpunkt des Ereignisses, welches das Hochwasser auslöst, ist von Bedeutung. Scherrer (1997) zeigt, dass feuchtere Vorbedingungen in den meisten Fällen die Abflussbildungszeit verkürzen. Allerdings ist dies nicht bei allen Böden gleich ausgeprägt. Auch eine Schneedecke verkürzt die Abflussbildungszeit. Nach Kölla (1989) begünstigt sie den Oberflächenabfluss, da sie die Vegetation zusammendrückt und damit die Oberfläche verdichtet. Zudem garantiert sie sehr feuchte Vorbedingungen im Bodenspeicher. Wenn die Böden gefroren sind, dann vermindert sich die Infiltrationskapazität noch zusätzlich (siehe Naef et al., 1998).

Einzugsgebietsklasse [km²]	Dauerregen [%]	Schauer [%]	Dauerregen mit Schauer [%]	Schmelze [%]	Anzahl Stationen
0-50	46	26	28	0	39
50-100	59	28	14	0	29
100-250	64	26	10	0	42
250-500	87	3	10	0	31
500-1000	95	0	5	0	19
1000-10000	94	0	6	0	31
10000-50000	90	10	0	0	10

Tabelle 2. Verteilung pro Einzugsgebietsklasse bei den HHQ.

4.3 Wie werden die grössten beobachteten Ereignisse ausgelöst?

Um diese Frage zu beantworten, wurde pro Station nur das grösste beobachtete Jahreshochwasser (HHQ) der Periode 1957 bis 2003 betrachtet. Weitaus am meisten der HHQ werden durch «Reinen Dauerregen» (62%) ausgelöst, gefolgt von «Reinem Schauer» (12%), «Dauerregen mit Schauer» (12%), «Schmelze mit Dauerregen» (11%) und «Schmelze mit Schauer» (3%). Diese Resultate unterscheiden sich nur unwesentlich von denjenigen in Kapitel 4.1, wo alle Jahreshochwasser untersucht wurden.

Das auslösende Ereignis der HHQ wird im *Bild 5* für jede Station in einer Karte dargestellt. Es ist ersichtlich, dass in der gesamten Schweiz «Reiner Dauerregen» als Auslöser der grössten gemessenen Abflussspitzen vorkommt. Durch «Reinen Schauer» werden die HHQ vor allem im Voralpengebiet ausgelöst, durch «Dauerregen mit Schauer» vorwiegend in den östlichen Alpen, durch «Schmelze mit Dauerregen» im westlichen Jura und in den Alpen und durch «Schmelze mit Schauer» in einem Gebiet des Berner Oberlandes und des Wallis.

Wie im Kapitel 4.2 wurde erneut für jede Einzugsgebietsklasse die Verteilung berechnet. Dieses Mal wurden jedoch nur die HHQ miteinbezogen. Die Resultate sind in der *Tabelle 2* dargestellt. Bei den kleinsten Einzugsgebieten (0–50 km²) fällt auf, dass der Anteil an «Dauerregen» ziemlich stark abnimmt, dafür der Anteil an «Dauerregen mit Schauer» stark zunimmt. Trotzdem werden viele HHQ durch «Dauerregen» ausgelöst (46%). Die Bedeutung der «Schauer» nimmt zwar bei der Auslösung der grössten beobachteten Ereignisse in den kleinen Einzugsgebieten (< 250 km²) ganz leicht zu, jedoch lange nicht in dem Masse wie das erwartet wurde. Offenbar spielen die im vorherigen

Kapitel erwähnten Faktoren auch hier eine wichtige Rolle.

Andererseits ist ersichtlich, dass ab einer bestimmten Einzugsgebietsgrösse «grosse» Hochwasser nicht mehr durch «Schauer» ausgelöst werden können. Bei Einzugsgebieten grösser als 250 km^2 wurden die grössten registrierten Abflüsse durch Dauerregenereignisse, zum Teil in Kombination mit Schmelze oder Schauer, ausgelöst. Dies kann mit den langen Konzentrationszeiten in grossen Einzugsgebieten erklärt werden. Ein Niederschlag muss eine gewisse Weile dauern, bis das gesamte Gebiet zum Abfluss beiträgt und dadurch eine sehr grosse Abflussspitze entstehen kann.

In der *Tabelle 2* fällt auf, dass bei Rhein-Rheinklingen das HHQ trotz einer Einzugsgebietsgrösse von 11517 km^2 durch einen «Schauer» ausgelöst wird. Rhein-Rheinklingen liegt gerade unterhalb des Ausflusses des Bodensees. Der Abfluss dieser Station wird durch den Bodensee gepuffert. Dieses Beispiel illustriert sehr gut, dass es bei solchen Stationen manchmal schwierig ist, den unmittelbaren Auslöser des Hochwassers zu bestimmen.

4.4 Einfluss des Regimetyps

Für diese Auswertung wurde die Regimetypisierung nach Aschwanden und Weingartner (1985) verwendet. Als Regime werden die langjährigen mittleren saisonalen Schwankungen bezeichnet. Wie viele Stationen pro Regimetyp in die Auswertung eingingen, ist in der *Tabelle 3* aufgeführt. Pro Regimetyp wurden die Verteilungen der auslösenden Ereignisse der einzelnen Stationen gemittelt. Die Stationen mit einem Mischregime (> 500 km^2 oder unterhalb eines Sees) wurden nicht betrachtet.

Regime -typ	Regimebezeichnung	Anzahl Stationen
1	a-glaciaire	6
2	b-glaciaire	5
3	a-glacio-nival	11
4	b-glacio-nival	10
5	nivo-glaciaire	11
6	nival alpin	11
7	nival de transition	7
8	nivo-pluvial préalpin	18
9	pluvial supérieur	5
10	pluvial inférieur	12
11	nivo-pluvial jurassien	9
12	pluvial jurassien	9
13	nival méridional	11
14	nivo-pluvial méridional	2
15	pluvial-nival méridional	4
16	pluvial méridional	-

Tabelle 3. Abflussregimetypen der Schweiz gemäss Aschwanden und Weingartner (1985).

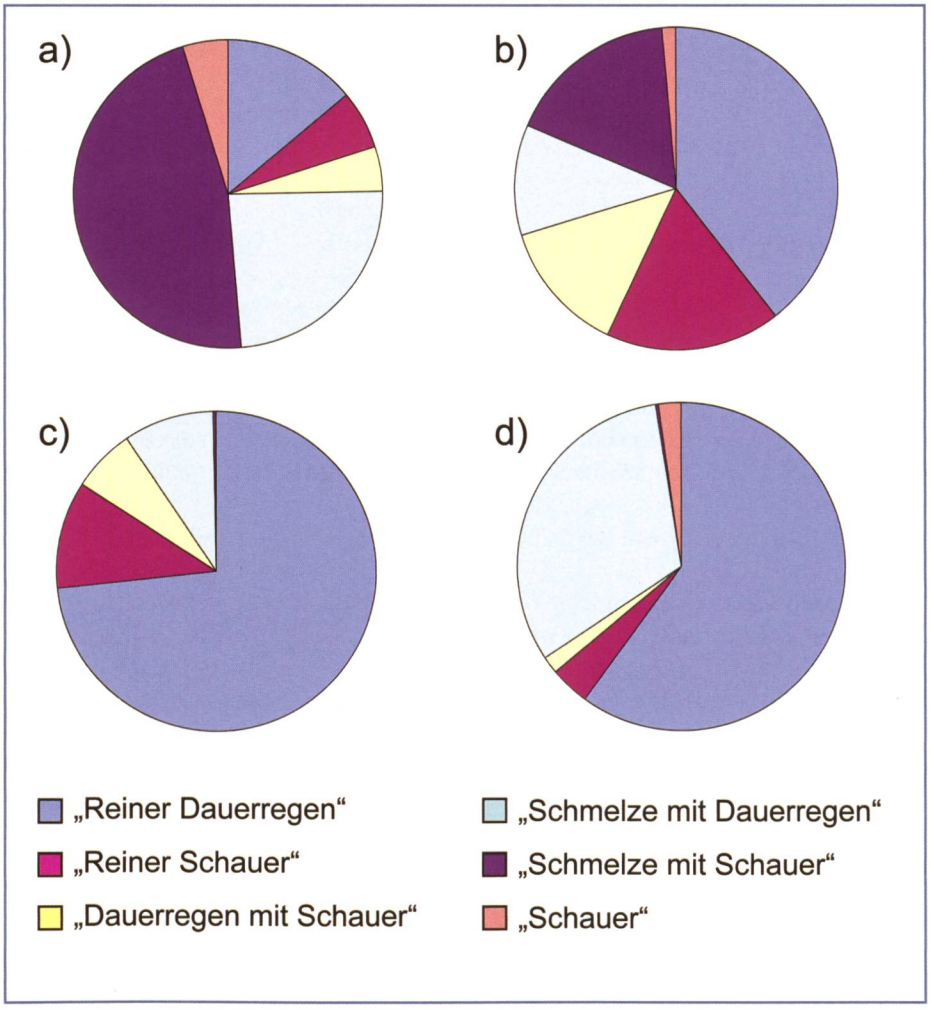

Bild 6. Verteilung der auslösenden Ereignisse pro Regimetyp: a) a-glaciaire (1) b) a-glacio-nival (3) c) pluvial inférieur (10) d) nivo-pluvial jurassien (11).

Erwartungsgemäss dominieren bei den glazialen Regimetypen die Prozesse, bei welchen die Schmelze in einer Form beteiligt ist: 75% bei Regimetyp 1 und 68% bei Regimetyp 2. Am häufigsten kommt «Schmelze mit Schauer» vor (siehe *Bild 6a*). Bereits in den restlichen alpinen Regimetypen (3–6) spielen die Schmelzprozesse nicht mehr generell eine wichtige Rolle. Bei manchen Stationen sind sie noch von grosser Bedeutung, bei anderen kaum mehr. Im *Bild 6b* ist ersichtlich, dass alle Typen von auslösendem Ereignis relativ häufig vorkommen. Mit abnehmender Einzugsgebietshöhe nimmt der Anteil an «Reinem Dauerregen» zu. Im Regimetyp 10 werden rund 70% der Jahreshochwasser durch «Reinen Dauerregen» ausgelöst (siehe *Bild 6c*).

Im Regimetyp 11 werden im Mittel rund 60% der Jahreshochwasser durch «Reinen Dauerregen» und rund 30% durch «Schmelze mit Dauerregen» ausgelöst. «Schauer» spielen hingegen keine Rolle (siehe *Bild 6d*). Dieses Resultat lässt sich mit der Saisonalität erklären. Im Jura treten die meisten Jahreshochwasser im Winterhalbjahr auf (siehe auch Pfaundler et al., 2006). Piock et al. (2000) vermuten, dass die Böden des Juras ein sehr ausgeprägtes Niederschlagsrückhaltevermögen aufweisen und die Verkarstung des Gebietes zu einer Erhöhung der Infiltration führt. Da im Winter/Frühjahr die Bodenfeuchte am höchsten ist, dürfte zu diesen Jahreszeiten die Abflussbereitschaft grösser sein und somit häufiger Jahreshochwasser auftreten. In dieser Periode ist die Schaueraktivität jedoch sehr gering. Im Regimetyp 12 nimmt die Bedeutung des «Reinen Dauerregens» noch zu (72%), dafür werden weniger Jahreshochwasser durch «Schmelze mit Dauerregen» (15%) ausgelöst.

Im Regimetyp 13 werden die meisten Jahreshochwasser durch «Reinen Dauerregen» ausgelöst (56%). Daneben sind noch «Reine Schauer» und «Dauerregen mit Schauer» von Bedeutung. Bei den restlichen südalpinen Regimetypen ist entweder die Datengrundlage sehr schlecht oder gar nicht vorhanden.

Nicht alle Stationen eines Regimetyps verhalten sich genau gleich. Eine gewisse Variabilität ist immer festzustellen. Trotzdem kann mit Hilfe des Regimetyps ungefähr angegeben werden wie die Jah-

reshochwasser ausgelöst werden. Die Regimetypisierung eignet sich folglich, um in einem Einzugsgebiet ohne Messdaten Abschätzungen über die Verteilung der auslösenden Ereignisse der Jahreshochwasser zu machen.

5. Schlussfolgerungen

Die verwendete Methode zur Klassierung der Hochwasser bezüglich ihres auslösenden Ereignisses liefert mit einem vertretbaren Aufwand gute Resultate. Dabei muss beachtet werden, dass die Abschätzung der Schmelzprozesse nicht überprüft werden konnte und deshalb hinsichtlich dieses Aspektes keine Aussagen über die Güte der Methode gemacht werden können.

Die gängige hydrologische These – in grossen Einzugsgebieten werden Hochwasser durch Dauerregen ausgelöst, in kleinen durch Schauer – ist nicht grundsätzlich falsch. Aufgrund der Resultate dieser Arbeit können jedoch differenziertere Aussagen gemacht werden. Ab einer Einzugsgebietsgrösse von ungefähr 5000 km^2 werden praktisch alle Jahreshochwasser durch «Dauerregen» ausgelöst. Darunter ist die Variationsbreite sehr gross. Neben der Einzugsgebietsgrösse spielen noch andere Faktoren eine wichtige Rolle bei der Auslösung von Abflussspitzen. Es sind dies die Eigenschaften der Böden und geologischen Ablagerungen, die Saisonalität der Jahreshochwasser und die Vorgeschichte.

Gesamthaft gesehen werden am meisten Jahreshochwasser durch «Dauerregen» ausgelöst, sowohl in grossen wie in kleinen Einzugsgebieten. Dies gilt ebenfalls, wenn nur die HHQ betrachtet werden. Ab einer Einzugsgebietsgrösse von 250 km^2 werden alle HHQ durch Dauerregenereignisse verursacht.

Der Regimetyp gibt einen Hinweis darauf, wie die Jahreshochwasser ausgelöst werden. Dies ist insbesondere dann von Interesse, wenn für ein Einzugsgebiet keine Messdaten vorliegen.

6. Ausblick

Es besteht die Absicht, die auslösenden Ereignisse der Jahreshochwasser jährlich zu bestimmen und die Datenbank dementsprechend laufend zu aktualisieren. Weitere Verfeinerungen der Methode sind möglich.

Es steht nun eine gute Grundlage für Auswertungen zur Verfügung, bei denen diese Typisierung von Interesse ist. Die Daten sind bei der Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) auf Anfrage hin erhältlich. Dabei muss aber beachtet werden, dass die einzelnen Jahreshochwasser nicht genauer analysiert wurden. Es wurde eine Methode ausgewählt, welche die Bestimmung für möglichst viele Stationen und Jahre mit einem vertretbaren Aufwand ermöglichte. Für die Analyse an einzelnen Stationen oder bestimmter Ereignisse müssen die jeweiligen Jahreshochwasser noch genauer betrachtet werden. Dazu sollten Daten bezüglich des Niederschlagverlaufes, der Schneedecke, der Temperatur und wenn vorhanden über die Bodenfeuchte und Schmelzprozesse beigezogen werden.

Dank

Dr. *Joachim Gurtz* vom Institut für Atmosphäre und Klimawissenschaft der ETH Zürich hat uns freundlicherweise die Niederschlagsdaten des Rietholzbaches zur Verfügung gestellt.

Literatur

Apfl G., Barben M., Baumgartner M., Holzer T. und *Weingartner R.*, 1995: Variationen der Schneegrenze. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Blatt 3.6. Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Aschwanden H. und *Weingartner R.*, 1985: Die Abflussregimes der Schweiz. Geographisches Institut der Universität Bern. Publikation Gewässerkunde Nr. 65.

Merz R., 2002: Understanding and estimating flood probabilities at the regional scale. Wiener Mitteilungen, Band 181, Wien.

Kölla E., 1989: Vom Regen in den Bach – Künstliche Simulation natürlicher Abflussvorgänge. Geowissenschaften, 7. Jg., Nr. 2, pp. 38–43.

MeteoSchweiz, 1957–2003: Witterungsberichte. MeteoSchweiz, Zürich.

Naef F., Scherrer S. und *Zurbrügg C.* 1998: Grosse Hochwasser – unterschiedliche Reaktionen von Einzugsgebieten auf Starkregen. hydrologischer Atlas der Schweiz, Blatt 5.7. Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Pfaundler M. und *Wüthrich T.*, 2006: Saisonalität Hydrologischer Extreme. Wasser, Energie, Luft, 98. Jahrgang, pp. 77–82.

Piock-Ellena U., Pfaundler M., Blöschl G., Burlando P. und *Merz R.*, 2000: Saisonalitätsanalyse als Basis für die Regionalisierung von Hochwässern. Wasser, Energie, Luft, 92. Jahrgang, pp. 13–21.

Scherrer S, 1997: Abflussbildung bei Starkniederschlägen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Nr. 147, Zürich.

Spreafico M. und *Stadler K.*, 1986: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern, Band I, Hydrologische Mitteilungen Nr. 7, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Spreafico M. und *Stadler K.*, 1988: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern, Band II, Hydrologische Mitteilungen Nr. 8, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Spreafico M. und *Aschwanden H.*, 1991: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern, Band III, Hydrologische Mitteilungen Nr. 16, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Spreafico M. und *Aschwanden H.*, 1991: Hochwasserabflüsse in schweizerischen Gewässern, Band IV, Hydrologische Mitteilungen Nr. 17, Landeshydrologie und -geologie, Bern.

Anschrift der Verfasser

Andreas Helbling, Caroline Kan und *Stephan Vogt*, Bundesamt für Umwelt (BAFU)
CH-3003 Bern-Ittigen
andreas.helbling@bafu.admin.ch