



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 222

Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007

Christoph Schmutz, Marco Arpagaus, Lorenzo Clementi, Christoph Frei, Sophie Fukutome, Urs Germann, Mark Liniger, Felix Schacher



Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 222

Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007

Autoren: Christoph Schmutz, Marco Arpagaus, Lorenzo Clementi, Christoph Frei, Sophie Fukutome, Urs Germann, Mark Liniger, Felix Schacher

Edition: Monika Kremer

Diese Analyse wurde im Auftrag des BAFU (Bundesamt für Umwelt) erarbeitet.

Interessierte Stellen können die beschriebenen Datensätze bei der MeteoSchweiz als CD bestellen, wenn diese zu Forschungszwecken genutzt werden.

Bitte zitieren Sie diesen Arbeitsbericht folgendermassen

Schmutz C, Arpagaus M, Clementi L, Frei C, Fukutome S, Germann U, Liniger M, Schacher F: 2008, Meteorologische Ereignisanalyse des Hochwassers 8. bis 9. August 2007, *Arbeitsberichte der MeteoSchweiz*, **222**, 30 pp.

Herausgeber

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2008

MeteoSchweiz
Krähbühlstrasse 58
CH-8044 Zürich
T +41 44 256 91 11
www.meteoschweiz.ch

Weitere Standorte
CH-8058 Zürich-Flughafen
CH-6605 Locarno Monti
CH-1211 Genève 2
CH-1530 Payerne

ZUSAMMENFASSUNG

Starke und großflächige Niederschläge führten am 8. und 9. August 2007 vor allem im Seeland, im Mittelland und in der Nordwestschweiz zu Überschwemmungen. Der vorliegende Bericht beleuchtet das Ereignis aus meteorologischer und klimatologischer Sicht.

Im Gesamtüberblick war das ganze Ereignis (6. bis 9. August) vor allem zu Beginn durch konvektive Niederschläge geprägt, später führte die Tiefdruckbildung westlich der Alpen zu Aufgleitprozessen im Alpenraum, welche von ergiebigen großflächigen Niederschlägen begleitet waren. Eher sekundär erscheinen dabei die Niederschlagsbeiträge, die aus einer Staukomponente an den Alpen resultierten. Es fiel verbreitet mehr als 100 bis 120 mm Niederschlag, lokale Stationen meldeten mehr als 160 mm.

Im Vergleich zu anderen Starkniederschlagsereignissen der jüngeren Vergangenheit zeichnet sich dieses Ereignis durch die ausgesprochen gleichmäßige Niederschlagsverteilung aus.

Die klimatologische Auswertung zeigt vor allem am 8. August deutlich erhöhte Jährlichkeiten der Tagesniederschlagssummen. Das ganze Ereignis betrachtend wird an den meisten Stationen der Alpennordseite jedoch kaum eine Jährlichkeit von 20 Jahren erreicht.

Von den Einsatzzentralen der betroffenen Kantone wurden die Unwetterwarnungen der MeteoSchweiz als gerechtfertigt, nützlich und in weiten Teilen als zutreffend beurteilt. Insgesamt wurden in der Zeit vom 6. bis 9. August 16 Unwetterwarnungen erstellt.

Die zum damaligen Zeitpunkt laufende Demonstrationsphase von MAP D-PHASE, ein internationales Projekt mit dem Ziel der Vorhersage von Starkniederschlägen und Überschwemmungen in Echtzeit, lieferte miteinander gekoppelte meteorologische und hydrologische Vorhersagen. Bereits zu Beginn des Ereignisses, am 6. August, konnten damit erste Hinweise auf ein großes Ereignis gegeben werden. Die Praxisauglichkeit wurde eindrücklich unter Beweis gestellt.

Zusätzlich zu den vorliegenden meteorologischen und klimatologischen Analysen wurden ein Niederschlags- und ein Radardatensatz aufbereitet. Der Niederschlagsdatensatz, mit täglichen Analysen aus Stationsdaten, liegt in einer räumlichen Auflösung von 2 km und für alle Tage des Augusts 2007 vor. Die Radaranalysen, die über den Zeitraum des Gesamt-Ereignisses erfasst wurden, haben eine räumliche Auflösung von 1 km. Das Resultat sind vorprozessierte Bilder zur direkten Verwendung in Berichten, sowie numerische Daten für quantitative Analysen.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-----|--|----|
| 1 | EINLEITUNG UND GLIEDERUNG | 7 |
| 2 | SYNOPTISCHE ENTWICKLUNG DER NIEDERSCHLÄGE..... | 8 |
| 2.1 | VORGESCHICHTE, 4. BIS 5. AUGUST | 8 |
| 2.2 | WETTERENTWICKLUNG, 6. BIS 7. AUGUST | 8 |
| 2.3 | WETTERENTWICKLUNG AM 8. AUGUST | 9 |
| 2.4 | WETTERENTWICKLUNG AM 9. AUGUST | 9 |
| 2.5 | NIEDERSCHLAGSVERLAUF..... | 10 |
| 2.6 | NIEDERSCHLAGSSUMMEN | 12 |
| 3 | KLIMATOLOGISCHE EINORDNUNG | 15 |
| 3.1 | METHODE..... | 15 |
| 3.2 | TÄGLICHE EREIGNISANALYSE | 15 |
| 3.3 | 4-TAGES NIEDERSCHLAG | 17 |
| 4 | ABLAUF DER UNWETTERWARNUNGEN..... | 19 |
| 4.1 | DIE UNWETTERWARNUNGEN DER METEOSCHWEIZ | 19 |
| 4.2 | BEURTEILUNG DER WARNUNGEN..... | 21 |
| 5 | MAP D-PHASE: NEUE PRODUKTE UND INSTRUMENTE | 22 |
| 5.1 | INTERNETPLATTFORM MIT GEFAHRENINFORMATIONEN IN ECHTZEIT | 22 |
| 5.2 | NEUE PRODUKTE..... | 23 |
| 5.3 | ERFAHRUNGEN WÄHREND DES HOCHWASSEREREIGNISSES 8.-9. AUGUST 2007..... | 24 |
| 6 | ERKENNTNISSE..... | 25 |
| 7 | AUSBLICK | 26 |
| 8 | NIEDERSCHLAGSDATENSÄTZE DER METEOSCHWEIZ | 27 |
| 8.1 | NIEDERSCHLAGSANALYSEN AUS STATIONSDATEN..... | 27 |
| 8.2 | RADARANALYSEN | 27 |
| 9 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 29 |

1 EINLEITUNG UND GLIEDERUNG

Der vorliegende Beitrag der MeteoSchweiz zur Ereignisanalyse des Hochwassers am 8./ 9. August 2007 beinhaltet die nachfolgend kurz beschriebenen Unterkapitel.

Einleitend wird die synoptische Lage unmittelbar vor und während des Niederschlagsereignisses dargestellt (Kapitel 2). Die registrierten Niederschlagssummen, die räumliche Verteilung und die zeitliche Dynamik während des Ereignisses werden anhand spezifisch aufbereiteter Analysen aus den Daten der Niederschlags- und Radarnetze der MeteoSchweiz diskutiert. In Kapitel 3 werden die Niederschläge klimatologisch eingeordnet. Interessanterweise weisen die geschätzten Jährlichkeiten in den interessierenden Gebieten verbreitet Werte unter 50 aus. Die Beschreibung des Warnablaufs (Kapitel 4) in der Zeit vom 6. bis zum 9. August zeigt auf, dass die MeteoSchweiz insgesamt 16 Unwetterwarnungen wegen Starkniederschlag erstellt hat (inklusive Entwarnungen am 9. August). Während des Ereignisses im August 2007 konnten aus dem Betrieb von MAP D-PHASE ¹ wertvolle Erfahrungen gewonnen werden (Kapitel 5). Die wichtigsten Erkenntnisse werden in Kapitel 6 zusammengefasst und in Kapitel 7 wird ein Ausblick getätigt. Ganz zum Schluss des Kapitels 8 werden die verwendeten Niederschlags- und Radardaten eingehender beschrieben.

¹ Die Internetplattform MAP D-PHASE mit Informationen zu meteorologischen und hydrologischen Gefahren wurde im Sommer 2007 experimentell betrieben.

2 SYNOPTISCHE ENTWICKLUNG DER NIEDERSCHLÄGE

2.1 VORGESCHICHTE, 4. BIS 5. AUGUST

Über das Wochenende des 4./ 5. Augusts war die Wetterlage durch ein kräftiges Hochdruckgebiet über Mitteleuropa geprägt. Am Samstag lag dessen Zentrum in Mitteleuropa, am Sonntag weiter nördlich über den Polen. Auf der Höhenwetterkarte zeigte sich ein Hochdruckrücken vom Mittelmeer bis nach Skandinavien. Durch einen Kaltluftausbruch in Richtung Britische Inseln und Biskaya begann sich westlich davon ein Trog auszubilden. In der Folge drehten die Winde im zentralen Alpenraum auf Südwest. Von Südfrankreich her wurde sehr warme und vorerst noch trockene Luft in unsere Breiten geführt.

2.2 WETTERENTWICKLUNG, 6. BIS 7. AUGUST

Zu Wochenbeginn wurde die Druckverteilung über Mitteleuropa flach und damit die Schichtung der Luftmasse zunehmend instabiler. Der Trog kam am Montag (6. August) weiter nach Süden und Osten voran und wies einen abgeschlossenen Kern über den Britischen Inseln auf. In der Folge lagen die Alpen im so genannten „Sattelpunkt“, mit grosser Hebung und starker Gewitteraktivität. Vor allem in den zentralen und westlichen Teilen der Schweiz entstanden gewittrige Schauer, welche zu lokalen Überschwemmungen und Erdbeben führten und vielerorts die ohnehin schon feuchten Böden weiter ansättigten.

Am Dienstag früh (7. August) erfasste die wetteraktive Kaltfront die Schweiz und kam bis zum Abend knapp östlich des Bodensees über Süddeutschland zum Stillstand (Abb. 1).

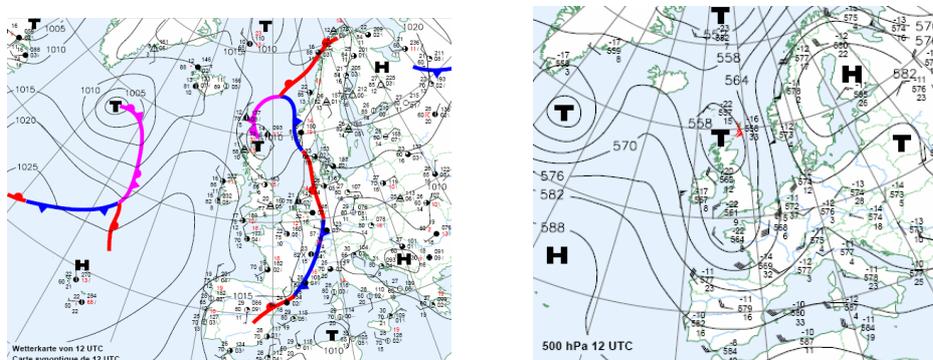


Abbildung 1: Bodendruckfeld (links) mit eingezeichneten Fronten und Höhendruckfeld auf 500 hPa (rechts) für den 7. August 12 UTC.

2.3 WETTERENTWICKLUNG AM 8. AUGUST

Schliesslich kam es am Mittwoch (8. August) zum eigentlichen Hauptereignis, als sich ein abgeschlossenes Höhentief westlich des Alpenraums bildete (Abb. 2). Dieses Höhentief führte während der Phase der intensivsten Niederschläge in der Höhe erneut sehr feuchte Luftmassen aus südwestlicher, später südöstlicher Richtung in unsere Breiten. Diese Luft glitt auf die potentiell kühlere Luft auf, welche mit nordwestlichen Winden in Bodennähe auf der Alpennordseite einfluss. Es folgten zwei intensive Niederschlagsphasen innerhalb von wenig mehr als 12 Stunden.

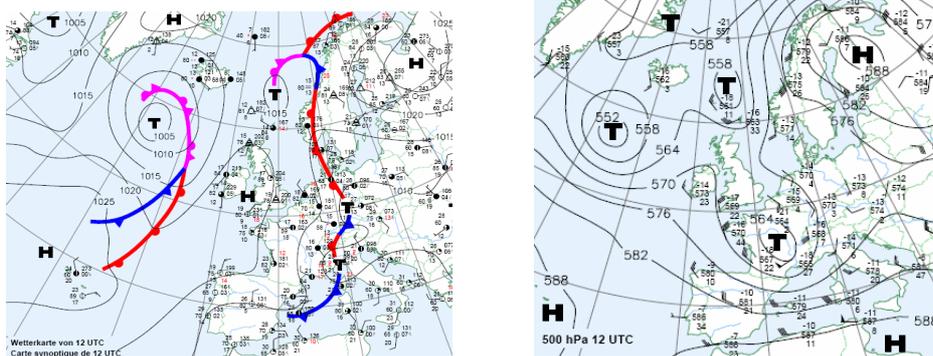


Abbildung 2: Bodendruckfeld (links) mit eingezeichneten Fronten und Höhendruckfeld auf 500 hPa (rechts) für den 8. August 12 UTC.

2.4 WETTERENTWICKLUNG AM 9. AUGUST

Am Donnerstag liessen die dynamischen Aufgleit-Prozesse über der Schweiz mit der Verschiebung des Höhentiefs über Italien nach Osten nach (Abb. 3). Die Winddrehung auf Nord in den unteren Luftschichten bewirkte, dass die herangeführte Luft an den Alpen gestaut wurde. Allerdings war die Kaltluft deutlich weniger feucht und die Niederschlagsmengen geringer. Die aktiveren Niederschlagszonen über Süddeutschland wurden mit der Ostströmung in der Höhe im Norden des Juras nach Frankreich geführt.

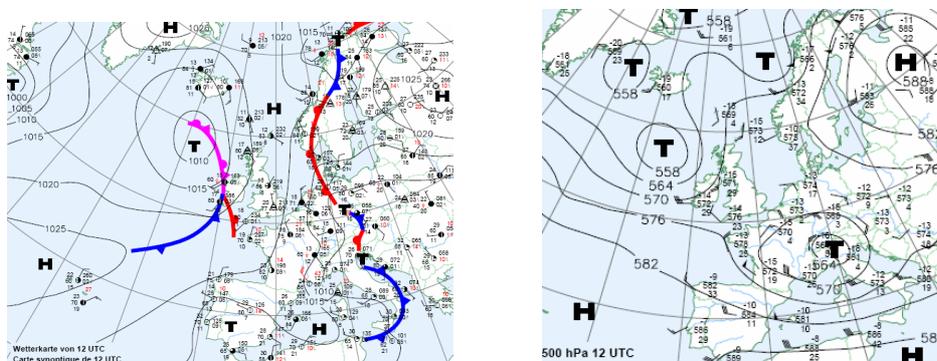


Abbildung 3: Bodendruckfeld (links) mit eingezeichneten Fronten und Höhendruckfeld auf 500 hPa (rechts) für den 9. August 12 UTC.

2.5 NIEDERSCHLAGSVERLAUF

In den 4 Tagen vom 6. bis 9. August 2007 sind in der Schweiz zusammengefasst während drei Phasen intensive Niederschläge gefallen. Im Folgenden wird der Niederschlagsverlauf anhand von ausgewählten Radarmessungen der Niederschlagsintensität (Abb. 4) und anhand der täglichen Niederschlagssummen (Abb. 5) illustriert.

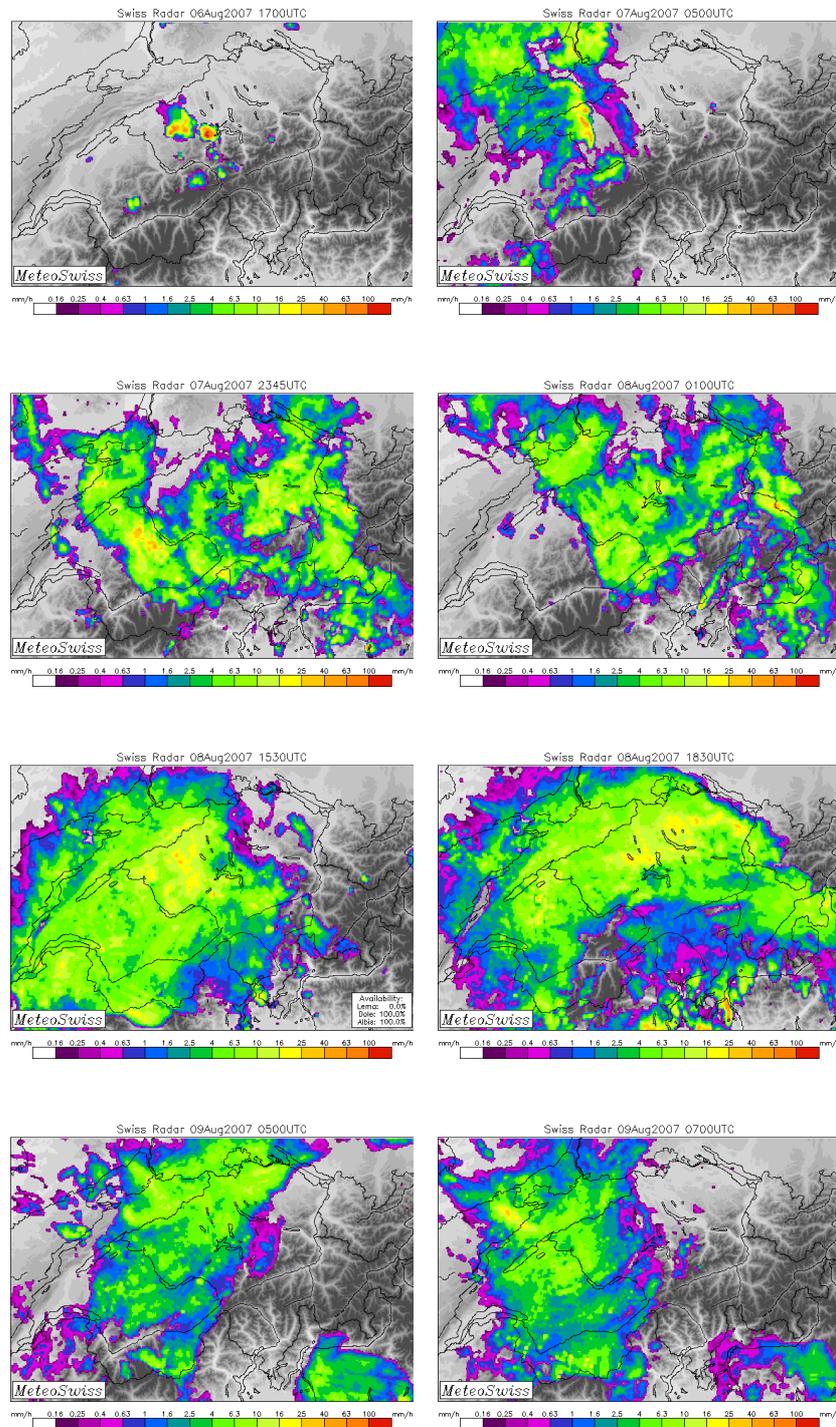


Abbildung 4: Niederschlagsablauf vom 6. bis 9. August 2007. Niederschlagsintensität (mm pro Stunde) aus dem Schweizer Radarmessnetz für ausgewählte Zeitpunkte (kleine graue Schrift über den Bildern).

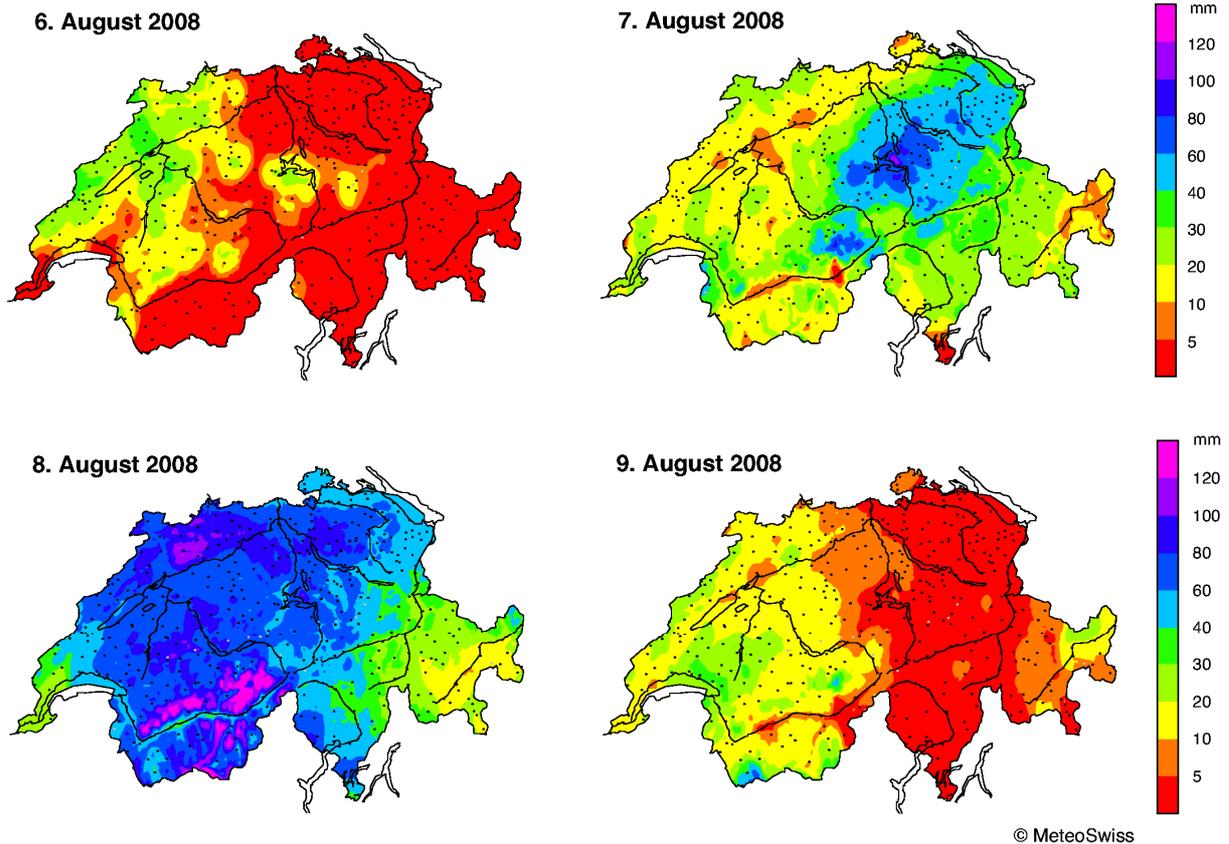


Abbildung 5: Tägliche Niederschlagssummen (in Millimeter) jeweils für den Zeitraum von 06:00 bis 06:00 UTC am Folgetag. Punkte: In der räumlichen Analyse berücksichtigte Niederschlagsstationen der MeteoSchweiz (schwarz) und des SLF (IMIS, grau).

In einer ersten Phase entwickelte sich am Nachmittag des 6. August im Jura ein kompakter Gewitterkomplex der anschliessend über das Napfgebiet in die Innerschweiz und die Glarneralpen zog. In der Nacht auf den 7. August zogen weitere Gewitter schnell über die westlichen Landesteile (Abb. 4). Diese erreichten vor allem im Jura und im westlichen Mittelland höhere Intensitäten. Insgesamt sind in dieser Phase in Teilen der Westschweiz, sowie in der Innerschweiz, 10-35 mm Regen gefallen (Abb. 5).

Im Laufe des 7. August fiel auf der Alpennordseite und teilweise in den Alpen weiterhin Regen, dieser erreichte aber kaum bemerkenswerte Intensitäten. Erst am Abend (Beginn ca. 20:30 UTC) wurde die Schweiz von einem grossflächigen Niederschlagssystem erfasst, welches vor allem in den zentralen und östlichen Voralpen anhaltend intensiven Regen brachte (Ende ca. 06:30 UTC am 8. August; siehe Abb. 4). Während dieser zweiten Phase sind vom Entlebuch/Vierwaldstättersee bis zum Zürichsee verbreitet mehr als 60 mm Regen gefallen (Abb. 5). Lokal wurden sogar Werte von mehr als 80 mm gemessen (Stationen Zugerberg, Gersau und Küsnacht am Rigi).

Das eigentliche Hauptereignis setzte am frühen Nachmittag des 8. August ein. Von Süden her, über das Wallis und die Berner Alpen, breiteten sich schnell grossflächige intensive Niederschläge aus.

Diese erreichten zuerst das zentrale und westliche Mittelland, später auch die Ostschweiz. Während mehrerer Stunden fiel über der ganzen Alpennordseite, sowie in den Berner und Walliser Alpen grossflächiger Dauerregen mit Intensitäten von 10 mm pro Stunde und mehr (Abb. 4). Am späten Abend liess der Regen vorübergehend an Intensität nach, bis am Morgen des 9. August schliesslich eine letzte Welle intensiver Regenfälle von Ost nach West über die Alpennordseite zog (Abb. 4). Bis zum Mittag nahm der Regen auch in der Westschweiz ein Ende.

Während des Hauptereignisses sind auf der gesamten Alpennordseite sowie in den westlichen und zentralen Alpen 60-100 mm Niederschlag gefallen (8. August, Abb. 5). An einigen Stationen wurde die 100 mm Marke auch überschritten (Grand St. Bernhard: 119 mm, Mervelier: 104 mm, Eptingen: 104 mm, Nesselboden: 103 mm, Barmelweid: 100 mm). Nördlich des Alpenhauptkamms war vor allem der östliche Teil des Juras, die Freiburger und Berner Voralpen sowie die Kantone Aargau und Zürich betroffen. Grosse Niederschlagsmengen dürften gemäss Analyse aber auch in den Hochalpen der Kantone Bern und Wallis gefallen sein. (Werte von mehr als 120 mm wurden zwar an keiner Station gemessen. Die hohen Schätzungen beruhen auf der Berücksichtigung der Topographie in der räumlichen Analyse.) In diesen Höhenlagen sind die Niederschläge aber primär als Schnee gefallen und deshalb nicht direkt zum Abfluss gekommen.

2.6 NIEDERSCHLAGSSUMMEN

Die Wetterereignisse von Anfang August haben der ganzen Schweiz, mit Ausnahme vom Engadin, erhebliche Niederschlagsmengen gebracht. In der intensivsten Phase, 7./8. August (48 Stunden, Abb. 7 links), sind in der Zentral- und Ostschweiz, sowie in der Nordwestschweiz mehr als 120 mm Regen gefallen. Lokal wurden sogar Werte über 150 mm gemessen (Küsnacht am Rigi: 157 mm, Gersau: 156 mm). Die in Abb. 5 und 7 dargestellten hohen Niederschlagssummen in den hochalpinen Gebieten der Berner und Walliser Alpen sind nicht explizit durch Stations-Messungen nachgewiesen, sie beruhen auf einer Extrapolation von Messungen in tieferen Meereshöhen. Zudem zeigen die Radaranalysen in der Abb. 6 ähnlich hohe Werte.

Zählt man die Gewitter vom 6. August sowie den Ausklang am Morgen des 9. August zum Ereignis dazu (4-Tages Summe, Abb. 7, rechts), wurden im westlichen Mittelland (Einzugsgebiete der Saane und der Aare sowie im Jura) Niederschlagssummen erreicht, welche mit den hohen Werten in der Zentralschweiz und im Kanton Zürich vergleichbar sind. An 6 Stationen wurden Werte von mehr als 160 mm gemessen (Stans: 176 mm, Küsnacht am Rigi: 170 mm, Gersau: 170 mm, Isenthal: 169 mm, Eigenthal: 168 mm, Kurzeneialp: 165 mm).

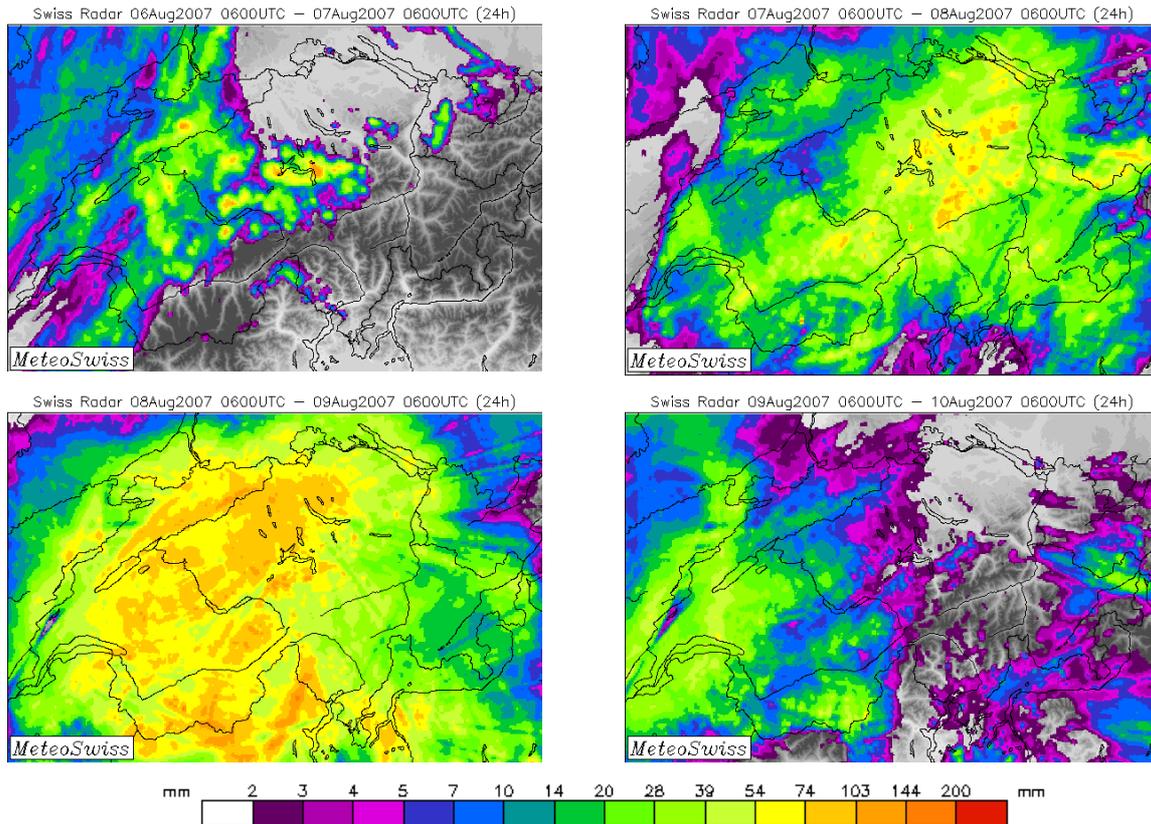


Abbildung 6: Tägliche Niederschlagssumme aus der Radaranalyse (berechnet jeden Tag um 06:00 UTC), 6.–9. August 2007.

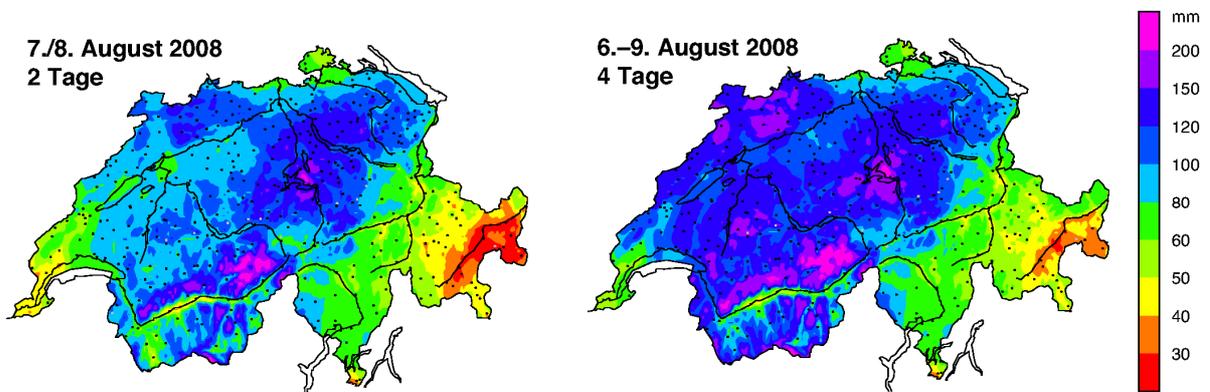


Abbildung 7: Mehrtages-Niederschlagssummen (Millimeter). Links: 48-Stunden Summe 7.–9. August 06–06 UTC. Rechts: 96-Stunden Summe 6.–10. August 06–06 UTC. (Die Farbskala unterscheidet sich von derjenigen in den Abbildungen 5 und 8.)

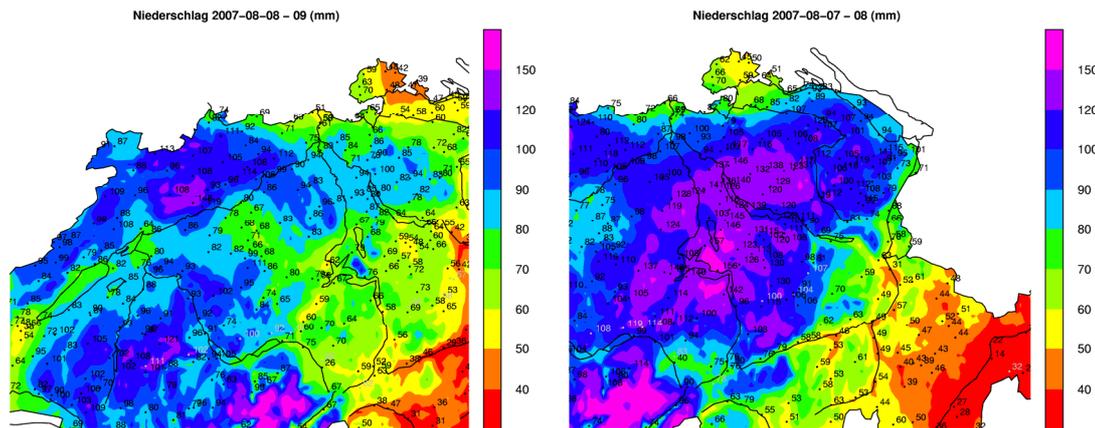


Abbildung 8: 48-Stunden Niederschlagssummen mit gemessenen Stationswerten (Millimeter). Jeweils die grösste 2-Tages Summe für die Westschweiz (links, 8.–9. August) und die Ostschweiz (rechts, 7.–8. August). Schwarz: Stationen der MeteoSchweiz, Grau: berücksichtigte IMIS-Stationen. (Die Farbskala unterscheidet sich von derjenigen in den Abbildungen 5 und 7.)

Im Vergleich zu anderen Starkniederschlägen der jüngeren Vergangenheit zeichnet sich das Ereignis vom August 2007 durch eine ausgesprochen gleichmässige Niederschlagsverteilung aus (Abb. 7 und 8). Die Messwerte in der näheren Umgebung einer Station variieren in der Regel um weniger als 10%. (Ausnahmen können durch topographische Expositionen erklärt werden.) Im August 2005 wurden massiv grössere Variationen auf kleinen Raumskalen beobachtet (siehe Abb. 3.7 in MeteoSchweiz 2006).

3 KLIMATOLOGISCHE EINORDNUNG

Angesichts der beträchtlichen Mengen an Niederschlag, welche in weiten Teilen der Schweiz gefallen sind, stellt sich die Frage, wie oft oder eben selten solche Werte auftreten. Durch den Vergleich mit vergangenen Beobachtungen können mit statistischen Methoden Wiederkehrperioden bzw. Jährlichkeiten und deren Unsicherheit abgeschätzt werden.

3.1 METHODE

Um die Jährlichkeit des Ereignisses zu schätzen wird für diesen Bericht Extremwertstatistik angewendet (Coles 2001). Dazu wird eine verallgemeinerte Extremwertverteilung an die jährlichen Maxima von Niederschlagssummen über eine bestimmte Zeitperiode (z.B. 24h oder vier Tage) angepasst. Aus dieser Verteilung können Jährlichkeiten von gewählten Niederschlagsmengen berechnet werden. Um das Ereignis räumlich einzuordnen, werden die Wiederkehrperioden zu den beim Ereignis im August 2007 an jeder Station gemessenen Niederschlagsmengen auf einer Karte der Schweiz dargestellt. Es werden qualitätsgeprüfte Daten aus den Niederschlagsstationen verwendet. Für die räumliche Darstellung werden Stationen gewählt mit Beobachtungsreihen von mindestens 40 Jahren seit 1961. Für die Extremwertanalyse an einzelnen Stationen werden – wo dies möglich ist – Beobachtungsreihen ab 1900 verwendet. Angegebene Rekorde sind seit Messbeginn der jeweiligen Station.

3.2 TÄGLICHE EREIGNISANALYSE

Abbildung 9 zeigt die Jährlichkeit des 1-Tages Niederschlages für jeden einzelnen Tag des Ereignisses. Die Gewitter vom 6. August und in der Nacht zum 7. August im Jura und im westlichen Mittelland haben eine Jährlichkeit von unter 2 Jahren. Auch am 9. August beim Abklingen des Ereignisses sind die Niederschlagsintensitäten klimatologisch unbedeutend. Im südöstlichen Teil der Schweiz bleibt die Jährlichkeit während des ganzen Ereignisses unverändert tief. Dies ist keine Überraschung angesichts der Häufigkeit von Starkniederschlägen auf der Alpensüdseite (MeteoSchweiz, 2004).

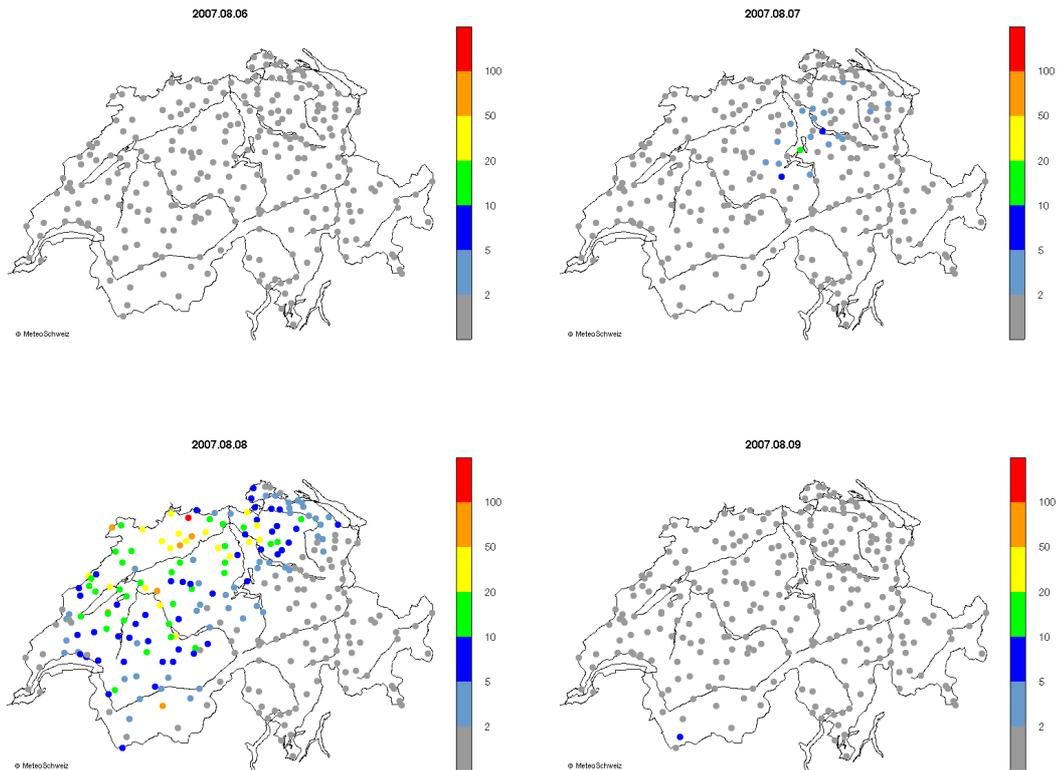


Abbildung 9: Geschätzte Jährlichkeit der 1-Tages Niederschlagssummen am 6., 7., 8. und 9. August 2007 an den Stationen mit mindestens 40 Jahre langen Beobachtungsreihen seit 1961.

Der intensive Regen in den zentralen und östlichen Voralpen am 7. August ist klar erkennbar aber erreicht kaum eine Jährlichkeit von 10-20 Jahren, da es sich um eine Region handelt, die relativ oft von starkem Niederschlag über 24 Stunden betroffen ist.

Während des Hauptereignisses am 8. August sind die Regionen mit intensivem Niederschlag sehr gut sichtbar. Besonders prominent ist die Nordwestschweiz, wo die Jährlichkeit 20 bis 100 Jahre erreicht. Ein neuer Rekord für den Monat August wird an diesem Tag an den Stationen Mervelier, Reigoldswil und Basel (mit nur 76 mm) erreicht. Sogar Jahresrekorde wurden in Fahy, Löwenburg, Arisdorf, Barmelweid, Eptingen, Balsthal, Nesselboden verzeichnet.

Entlang der Aare im westlichen Mittelland erreichten mehrere Stationen eine Jährlichkeit zwischen 20 und 50 Jahren. Trotz der relativ tiefen Werte in Bern und Belp (81 bzw. 78 mm) sind diese beiden Messungen Augustrekorde. Auch einige Stationen in den Kantonen Zürich und Aargau zeigten eine Wiederkehrperiode von 20-50 Jahren mit Augustrekorden in Zürich Fluntern, Zürich-Kloten, Unterkulm und Aesch. Die Bergstation Grimentz im Wallis hat eine Jährlichkeit zwischen 50 und 100 Jahren. Mit 84 mm wurde der Jahresrekord verzeichnet.

3.3 4-TAGES NIEDERSCHLAG

Die Jährlichkeitskarte der 4-Tages Niederschlagssumme (6.-9. August) zeigt, dass das Ereignis auf das ganze Jahr gesehen generell nicht ausserordentlich war (Abb. 10).

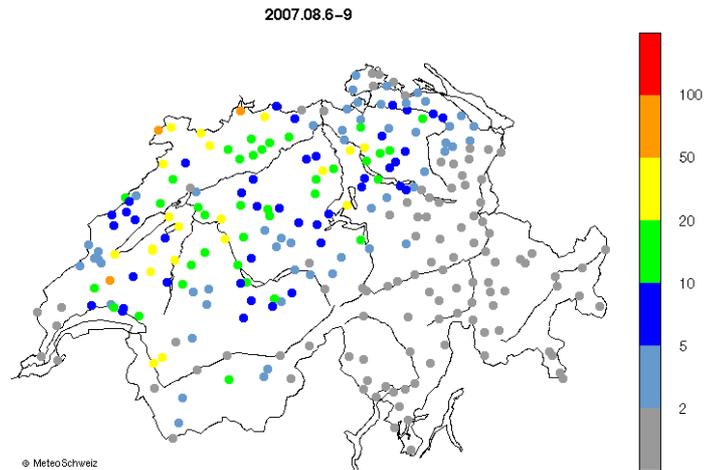


Abbildung 10: Geschätzte Jährlichkeit der 4-Tages Niederschlagssumme vom 6. zum 9. August 2007 an den Stationen mit mindestens 40 Jahre langen Beobachtungsreihen seit 1961.

Für den grössten Teil der Stationen wird kaum eine Jährlichkeit von 20 erreicht. Allerdings sind die betroffenen Regionen im östlichen Jura, im Wallis, in der Nordwestschweiz, in der Region Bern und westlich davon sowie in der Zentralschweiz durch Stationen mit Jährlichkeiten über 20 Jahren klar gekennzeichnet. Bei vielen dieser Stationen wird mit diesem Niederschlagsereignis ein neuer August-Rekord für 4-Tagesniederschlagssummen gesetzt. Für die meisten Stationen, besonders im Jura und in den Berner Alpen liegen die klimatologischen Niederschlagsmaxima über vier Tage aber im Herbst oder im Winter, so dass das Ereignis stark relativiert wird. Werden nur die Sommermonate Juni bis August in der Extremwertanalyse berücksichtigt, dann weisen diese Stationen bedeutend höhere Jährlichkeiten auf (nicht gezeigt). Das Ereignis vom 6.-9. August 2007 zeigt jedoch nicht die regional klar ausdifferenzierte Struktur, welche das Ereignis vom 21.-22. August 2005 aufwies (Abb. 3.9 in MeteoSchweiz 2006).

Detaillierte Analysen wurden für eine Auswahl von Stationen aus den vier Hauptgebieten des Ereignisses durchgeführt. Abbildung 11 zeigt die Niederschlagsmenge als Funktion der Wiederkehrperiode für den 4-Tages Niederschlag in Basel-Binningen, Aesch, Bern-Zollikofen und Gryon. Auf den Abbildungen wird die beste Schätzung der Extremwertverteilung mit den 90% Konfidenzintervallen gezeigt. Kürzere Datenbestände haben breitere Konfidenzintervalle, so dass die statistisch gesehen möglichen Wiederkehrperioden zu einem bestimmten Ereignis eine grössere Spannweite aufweisen (siehe z.B. Gryon). In allen Fällen ist das Ereignis vom August 2007 unter den fünf stärksten Ereignissen.

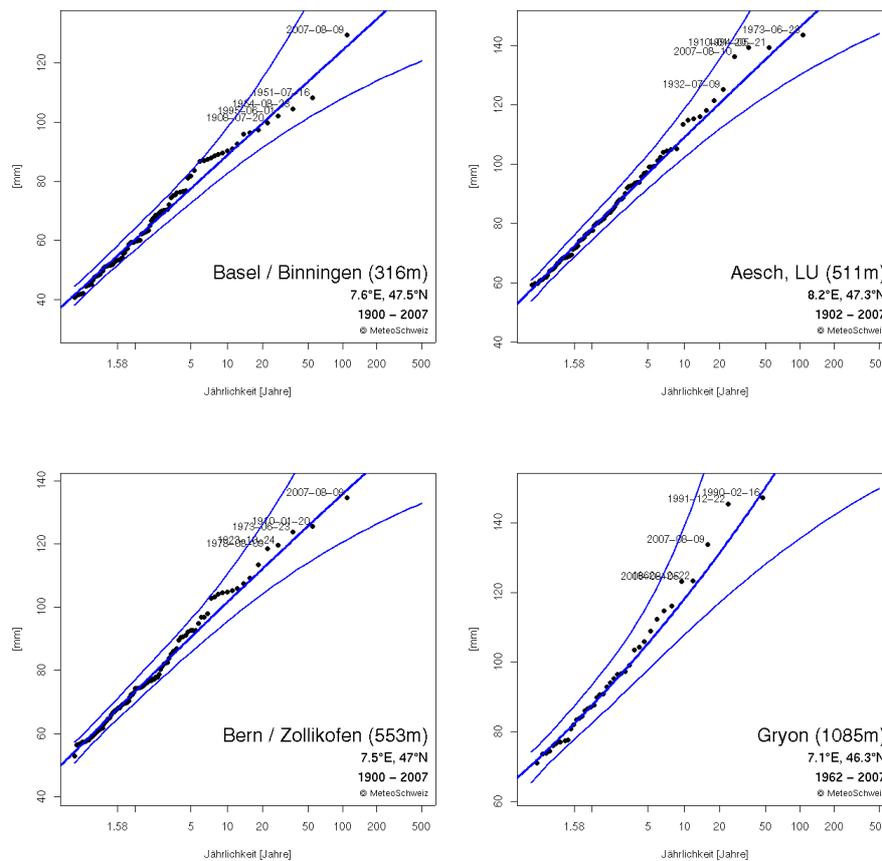


Abbildung 11: Extremwert-Diagramme für die Stationen Basel-Binningen, Aesch, Bern-Zollikofen, Gryon. Beziehung zwischen 4-Tages Niederschlagssumme (mm, Ordinate) und Jährlichkeit (T, Abszisse). Beste Schätzung der verallgemeinerten Extremwertverteilung (dicke blaue Linie) und 90% Konfidenzintervalle (dünne Linien). Die Punkte zeigen die beobachteten Jahresmaximalwerte, die 5 stärksten Ereignisse sind mit dem Datum versehen.

Das Ereignis im August 2007 entspricht in Basel für das 90% Konfidenzintervall einer möglichen Jährlichkeit zwischen 30 und mehr als 1000 Jahren, in Bern zwischen 30 und etwa 500 Jahren. Die relativ tiefe Wiederkehrperiode für die Station Aesch, zwischen 20 und 200 Jahren, kann dadurch erklärt werden, dass intensive 4-Tages Niederschlagsereignisse in der Zentralschweiz recht häufig sind. In Gryon im Wallis erreicht die Jährlichkeit nur 10 bis 100 Jahre.

4 ABLAUF DER UNWETTERWARNUNGEN

Auf Grund der im Kapitel 2 beschriebenen Ausgangswetterlage wurde bei MeteoSchweiz bereits am Wochenende vom 5./6. August die Ausgabe einer Unwetterwarnung in Erwägung gezogen. Die synoptische Situation liess starke Gewitter im Vorfeld und während der Kaltfront erwarten. Zudem gaben die globalen Wettervorhersagemodelle, insbesondere jenes des EZMW (Europäisches Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage) Hinweise darauf, dass die in den Alpenraum vorankommende Störung hier liegen bliebe und damit auch das dazu gehörende Tiefdruckgebiet und Höhentief. Die verfügbaren Modellunterlagen wiesen auf eine äusserst unsichere Wetterentwicklung hin, insbesondere was die Zugbahn, die zeitliche Abfolge, die Ausdehnung und Intensität des Tiefdruckwirbels betraf. Bis und mit Sonntag, 5. August gab es keine genügend starken und konsistente Anzeichen, welche eine Warnung gerechtfertigt hätten.

4.1 DIE UNWETTERWARNUNGEN DER METEOSCHWEIZ

Bis Montag, 6. August, verdichteten sich die Anzeichen auf anhaltende und ergiebige Niederschläge für die kommenden Tage, so dass um 11 Uhr (Lokalzeit, LT) eine erste Warnung ausgegeben wurde. Die weiteren Warnungen bis hin zur Entwarnung erfolgten auf Grund der jeweiligen synoptischen Betrachtungen, der Hinweise der verschiedenen numerischen Modelle (grossräumige und feinmaschige), als auch im Vergleich zu früheren, analogen Wetterlagen. Der detaillierte Warnablauf ist in den Tabellen 1 bis 3 aufgelistet. Es werden dort die Ausgabezeit, die Gefahrenstufe, die voraussichtlich vom Unwetter betroffene Regionen und – in zusammengefasster Form – die Kernaussage über die jeweils erwarteten Niederschlagsmengen dargestellt.

Zwei Aspekte zeigen sich:

Die Warnungen wurden generell betrachtet vom 6./7. August (Tabelle 1) zum 8./9. August (Tabellen 2 und 3) von der Stufe 1 (gelb) auf die Stufen 2 und 3 (orange, rot) angehoben.

Die erwarteten Niederschlagsschwerpunkte lagen am 6./7. August (Tabelle 1) eher in Nord- und Mittelbünden sowie am Alpennordhang. Demgegenüber wurde am 8./9. August (Tabellen 2 und 3) verstärkt für die Regionen Berner Oberland, Mittelland, Zentralschweiz und Nordwestschweiz Warnungen ausgegeben.

Tabelle 1: Warnungen der MeteoSchweiz von Montag 6. und Dienstag, 7. August

| Datum, LT | Gefahrenstufe | Regionen | nähere Angaben |
|----------------------|----------------|--|---|
| 06.08.2007, 10:51 LT | Stufe 1 (gelb) | Alpennordseite, Nord- und Mittelbünden, insbesondere Alpennordhang | "... von Dienstag bis Donnerstag sind in 48 Stunden Mengen von 50-90 Liter pro Quadratmeter ..." |
| 07.08.2007, 11:15 LT | Stufe 1 (gelb) | Alpennordseite, Nord- und Mittelbünden, insbesondere Alpennordhang | "... Niederschlagsmengen von 60 bis 110 Liter pro Quadratmeter ... Schwerpunkt Alpennordhang ..." |

| | | | |
|----------------------|----------------|--|--|
| 07.08.2007, 17:44 LT | Stufe 1 (gelb) | Alpennordseite, Nord- und Mittelbünden, insbesondere Alpennordhang | " ... von Dienstagmorgen bis Donnerstagabend 60 bis 110 Liter zu erwarten ..." |
|----------------------|----------------|--|--|

Tabelle 2: Warnungen der MeteoSchweiz vom Mittwoch, 8. August

| Datum, Zeit | Gefahrenstufe | Regionen | nähere Angaben |
|----------------------|------------------|---|---|
| 08.08.2007, 05:35 LT | Stufe 2 (orange) | Alpennordhang vom Berner Oberland über die Zentralschweiz bis zur Alpsteinregion sowie zentrales Mittelland | " ... bis Donnerstagabend weitere 60 bis 100 Liter ... Schwergewicht Alpennordhang und Westschweiz, dort 70 bis 120 Liter ..." |
| 08.08.2007, 11:29 LT | Stufe 2 (orange) | Alpennordhang vom Berner Oberland über die Zentralschweiz bis zur Alpsteinregion sowie zentrales Mittelland | " ... im Berner Mittelland und Teilen des Juras 40 bis 80 Liter gefallen ... bis Freitagvormittag werden 60 bis 100 Liter hinzukommen ... am Alpennordhang bis 120 Liter möglich ..." |
| 08.08.2007, 11:32 LT | Stufe 1 (gelb) | Nordwestschweiz, östliches Mittelland, Nord- und Mittelbünden | " ... bis 60 Liter gefallen ... bis Freitagvormittag werden 30 bis 60 Liter hinzukommen, punktuell bis 70 Liter möglich ..." |
| 08.08.2007, 17:28 LT | Stufe 3 (rot) | westlicher und zentraler Alpennordhang | " ... 30 bis 50 Liter gefallen ... bis Freitagvormittag weitere 90 bis 140 Liter erwartet ..." |
| 08.08.2007, 17:32 LT | Stufe 2 (orange) | östlicher Alpennordhang sowie zentrales Mittelland | " ... 20 bis 30 Liter gefallen, am östlichen Alpennordhang 50 bis 80 Liter ... bis Freitagvormittag nochmals 60 bis 100 Liter erwartet ..." |
| 08.08.2007, 17:37 LT | Stufe 1 (gelb) | Nordwestschweiz, östliches Mittelland, Nord- und Mittelbünden | " ... in der Nordwestschweiz 10 bis 20 Liter gefallen, sonst 20 bis 50 mm ... bis Freitagvormittag nochmals 30 bis 60 Liter ..." |

Tabelle 3: Warnungen und Entwarnung der MeteoSchweiz vom Donnerstag, 9. August

| Datum, Zeit | Gefahrenstufe | Regionen | nähere Angaben |
|---|------------------|---|---|
| 09.08.2007, 07:46 LT | Stufe 1 (gelb) | Nord- und Mittelbünden | " ... 40 bis 60 Liter gefallen ... bis Freitagmorgen weitere 10 bis 20 Liter ..." |
| 09.08.2007, 07:48 LT | Stufe 2 (orange) | Gesamtes Mittelland, Nordwestschweiz und östliche Voralpen | " ... verbreitet 80 bis 100 Liter, in der Region Zürich und östliche Voralpen 140 bis 150 Liter gefallen ... bis Freitagmorgen weitere 30 bis 50 Liter ..." |
| 09.08.2007, 07:51 LT | Stufe 3 (rot) | Berner Oberland und Zentralschweiz | " ... verbreitet 90 bis 150 Liter gefallen ... bis Freitagmorgen weitere 20 bis 40 Liter in der Zentralschweiz, im Berner Oberland weitere 30 bis 50 Liter ..." |
| 09.08.2007, 11:17 LT | Stufe 2 (orange) | Berner Oberland und Zentralschweiz | " ... insgesamt verbreitet 100 bis 150 Liter gefallen ... bis am Freitagmorgen in der Zentralschweiz weitere 15 bis 40 Liter, im Berner Oberland weitere 20 bis 40 Liter ..." |
| 09.08.2007, 11:19 LT (11:38 und 12:18LT erneut gesendet wegen techn. Problemen) | Stufe 1 (gelb) | Gesamtes Mittelland, Nordwestschweiz, und östliche Voralpen | " ... verbreitet 90 bis 120 Liter, in den Regionen Zürich und Bern 140 bis 150 Liter zusammengekommen ... bis am Freitagmorgen weitere 20 bis 40 Liter ..." |
| 09.08.2007, 11:33 LT | Entwarnung | Nord- und Mittelbünden | " ... verbreitet 40 bis 60 Liter ... bis Freitagmorgen können noch 10 bis 20 Liter hinzukommen ..." |
| 09.08.2007, 17:50 LT | Entwarnung | Ganze Deutschschweiz | " ... seit Montag verbreitet über 100 Liter gefallen ... Zürich, Pilatus und Plaffeien über 140 Liter ..." |

4.2 BEURTEILUNG DER WARNUNGEN

Nach jeder ausgegebenen Unwetterwarnung werden von MeteoSchweiz routinemässig Beurteilungen von den Einsatzzentralen der betroffenen Kantone eingeholt. Die Auswertung zeigt, dass die Warnungen als gerechtfertigt, nützlich und in weiten Teilen auch als zutreffend aufgenommen wurden.

In der Detailanalyse stellt sich heraus, dass der Niederschlagsschwerpunkt der präfrontalen Gewitter in der Nacht auf den 7. August nicht wie erwartet in den Voralpen, sondern vor allem im Jura, in der Westschweiz und isoliert in den zentralen Voralpen lag. Ebenso fielen beim Hauptniederschlagsereignis vom 8. August die grössten Regenmengen nicht nur im zentralen Voralpengebiet, sondern auch im Berner Oberland, Kanton Bern, zentralen Mittelland und in der Nordwestschweiz.

5 MAP D-PHASE: NEUE PRODUKTE UND INSTRUMENTE

Das internationale Projekt D-PHASE (Demonstration of Probabilistic Hydrological and Atmospheric Simulation of flood Events in the Alpine region) hat sich zum Ziel gesetzt, Führungsstäben, Fachstellen für Naturgefahren und Anwendern aus der Wirtschaft die neuesten Erkenntnisse von Wissenschaft und Technik – basierend vor allem auf den Resultaten des internationalen Forschungsprogramms „Mesoscale Alpine Programme“ (MAP, 1995-2006) – für die Vorhersage von Starkniederschlägen und Überschwemmungen im Alpenraum in Echtzeit zur Verfügung zu stellen (Arpagaus et al. 2008).

5.1 INTERNETPLATTFORM MIT GEFAHRENINFORMATIONEN IN ECHTZEIT

Unter der Federführung von MeteoSchweiz und mit tatkräftiger Unterstützung von WSL, ETHZ und BAFU sowie zahlreicher weiterer Institutionen aus dem Alpenraum und darüber hinaus wurde eine experimentelle² Internetplattform entwickelt, auf der sich die Anwender des gesamten Alpenraums während einer Demonstrationsperiode von sechs Monaten (Juni bis November 2007) über aktuelle Wetter- und Hochwasservorhersagen informieren konnten (Rotach et al. 2008). Auf der Plattform wird die aktuelle Gefahrensituation, wie sie von einer Vielzahl von atmosphärischen und hydrologischen Modellen vorhergesagt wird, in einfacher Art und Weise und mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad, dargestellt. Neben einer Übersichtskarte für den ganzen Alpenraum werden für 6 Alpenregionen Gefahreninformationskarten in Echtzeit hergestellt, die mit einer Tabelle mit den Gefahreninformationen aus allen individuellen Modellen ergänzt ist (Abb. 12). Damit lässt sich schnell eruieren, ob in einer Region für die nächsten 5 Tage Gefahreninformationen existieren, und wie konsistent diese von verschiedenen Modellen vorhergesagt werden. Für weitere Details (zeitlicher Verlauf der Gefahreninformationen) stehen für jedes Teilgebiet und Abflussstation weitere Darstellungen zur Verfügung.

² MAP D-PHASE stellt nur experimentelle Gefahreninformationen zur Verfügung. Die operationellen Warnungen werden nach wie vor über die gewohnten Kanäle und durch die offiziellen Warn-Institutionen verbreitet.

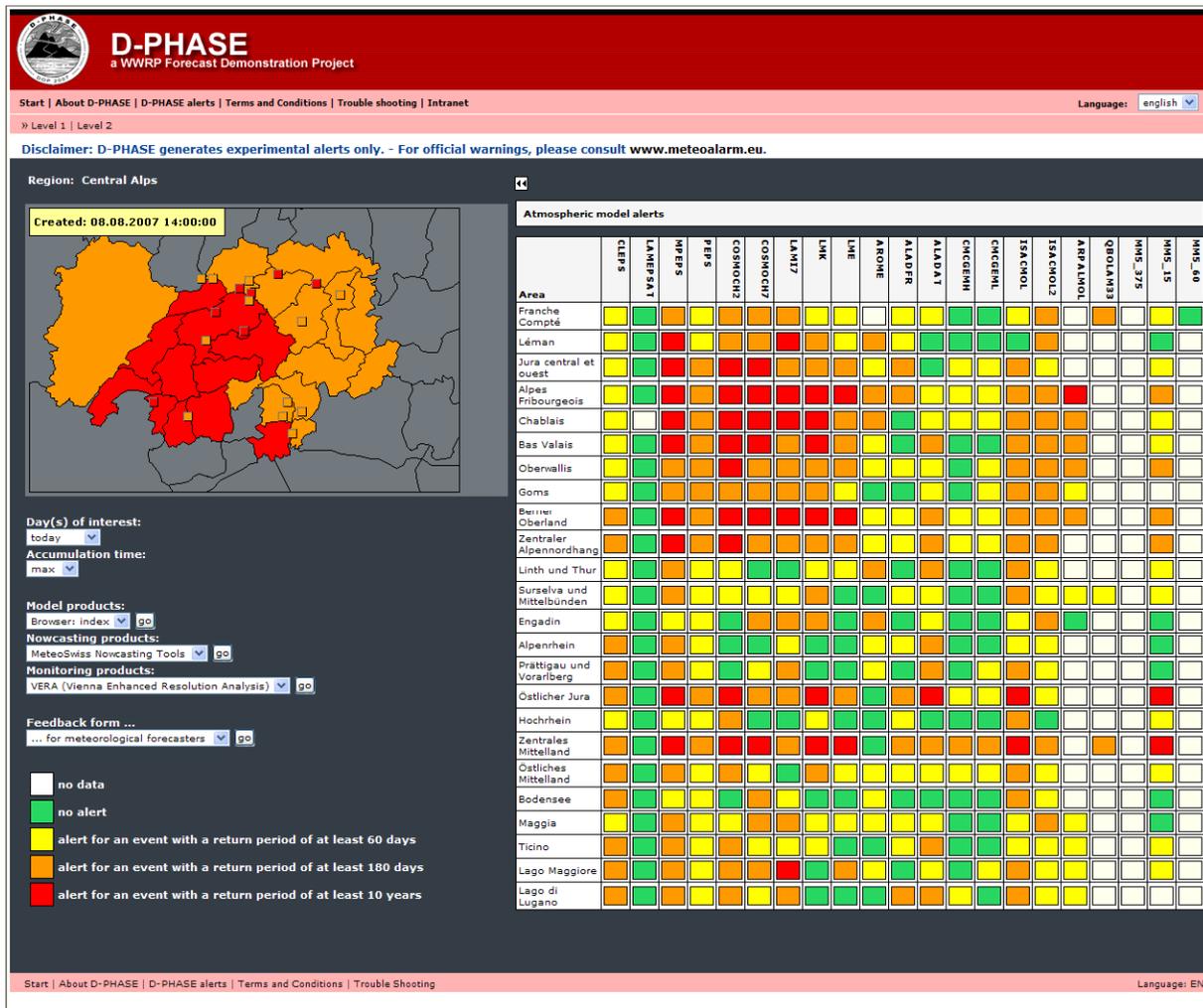


Abbildung 12: D-PHASE Plattform, wie sie sich am 8.8.2007 um 14:00 Lokalzeit für die Region „Central Alps“ präsentiert hat (level 2). Höchste Gefahrenstufe (rot) für zahlreiche Gebiete der Schweiz (Karte links), konsistent vorhergesagt durch eine Vielzahl von Modellen (Tabelle rechts: Gefahrenstufe einzelner Modelle (horizontal) für alle in der Karte dargestellten Gebiete (vertikal)).

5.2 NEUE PRODUKTE

Das innovative Vorhersagesystem mit seiner einfach verständlichen Internetplattform macht den Endbenutzern zahlreiche neue Entwicklungen und Produkte zugänglich, unter anderem:

- Gekoppelte Vorhersagesysteme, die in Echtzeit numerische Niederschlagsvorhersagen mit der Abflussvorhersage verbinden (Zappa et al 2008). – Für die Schweiz sind neben 15 weiteren Abflussstationen insbesondere Abflussvorhersagen für die Aare in Murgenthal und Brugg, die Reuss in Mellingen und die Limmat in Baden erhältlich.
- Hochaufgelöste Modelle der neuesten Generation, wie sie momentan an verschiedensten Wetterdiensten in Europa und Amerika entwickelt werden. Einheitliche Darstellung, Höhenschnitte.
- Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für das Eintreffen eines bestimmten Ereignisses, welche nicht nur die erwarteten Niederschlags- und Abflussmengen prognostizieren, sondern im

gleichen Schritt auch die Zuverlässigkeit (resp. die Unsicherheit) der gemachten Vorhersage angeben. Neben zahlreichen probabilistischen atmosphärischen Modellen sind insbesondere auch für die Abflussstationen in der Schweiz probabilistische Vorhersagen erhältlich.

- Qualitativ massiv verbesserte und neue Radarprodukte, die das Verfolgen und Prognostizieren einer Gewitterentwicklung wesentlich vereinfachen. – Zugang zu den neuen Nowcasting-Radarprodukten der MeteoSchweiz wie „Precipitation amount“ oder „Thunderstorms cell ranking“ wurden von den Benutzern sehr gut aufgenommen.

5.3 ERFAHRUNGEN WÄHREND DES HOCHWASSEREREIGNISSES 8. BIS 9. AUGUST 2007

Das Hochwasserereignis des 8. bis 9. Augusts 2007 war das mit Abstand grösste Ereignis während der D-PHASE Operations Period (DOP, Juni-November 2007) im ganzen Alpenraum. D-PHASE fand also gewissermassen zum genau richtigen Zeitpunkt statt. Da das Ereignis aber relativ früh und insbesondere ohne ein kleine(re)s vorangehendes „Lern-Ereignis“ innerhalb der DOP auftrat, waren sicher noch nicht alle Benutzer bestens mit dem System vertraut. Trotzdem lassen sich aus den Rückmeldungen folgende Schlüsse ziehen:

- Die gekoppelten hydrologischen Vorhersagen haben bereits am Montag (6. August) erste Hinweise auf ein grosses Ereignis gegeben, haben aber von Modell zu Modell und von Vorhersage zu Vorhersage allerdings stark variiert. Am Dienstag (7. August), spätestens aber am Mittwochmorgen (8. August, ca. 11:00) wurde das Ereignis von den Modellen erfasst. – Die probabilistischen Modelle lieferten keine perfekten Vorhersagen, haben aber die Vorhersageunsicherheit (und damit die Möglichkeit für ein grosses Ereignis) bereits relativ frühzeitig eindrücklich demonstriert. Die mit dem hochaufgelösten Modell COSMO-2 gekoppelte Abflussvorhersage für die Aare in Murgenthal vom 8. August (ca. 11:00) war ausserordentlich gut.
- Der Echtzeit-Zugriff auf die umfangreichen Radarprodukte ist das wichtigste Werkzeug für die Beurteilung der aktuellen Wetterlage und die sehr lokale Kurzzeit-Vorhersage sowie die darauf basierenden Interventionsentscheide.
- Neben der Qualität der Gefahreninformationen und Vorhersagen sowie der weiteren Produkte auf der D-PHASE Internetplattform schätz(t)en die Einsatzorganisationen der Kantone die Plattform aus folgenden Gründen sehr:
 - Orientierung über langfristige Prognose und momentanes Wettergeschehen, standort-unabhängig, jederzeit und immer aktuell.
 - Effizientere Rückfragen bei den Fachdiensten (MeteoSchweiz, BAFU, etc.) dank umfangreicherem Vorwissen bereits vor der Kontaktaufnahme mit den Experten.
 - Bessere (da vollständigere) Entscheidungsgrundlage.

6 ERKENNTNISSE

Im Gesamtüberblick war das ganze Ereignis (6.-9. August 2007) vor allem zu Beginn durch konvektive Niederschläge geprägt, später führte die Tiefdruckbildung westlich der Alpen zu Aufgleit-Prozessen im Alpenraum, welche von ergiebigen grossflächigen Niederschlägen begleitet waren. Eher sekundär erscheinen dabei die Niederschlagsbeiträge, die aus einer Staukomponente an den Alpen resultierten.

Nimmt man alle vier Tage zusammen, so sind auf der ganzen Alpennordseite verbreitet mehr als 100 mm bis 120 mm Regen gefallen, lokal gab es Stationen mit deutlich mehr als 160 mm Niederschlag. Die Regionen mit den grössten Niederschlagsmengen waren die Nordwestschweiz, das westliche Mittelland im Einzugsgebiet der Saane, die Berner Alpen, die Voralpen (insbesondere zentrale Voralpen), das zentrale und östliche Mittelland. Damit wird klar, dass eine relativ grosse Fläche vom Ereignis betroffen war.

In diesen Gebieten konnte eine ausgesprochen gleichmässige Verteilung der Niederschlagssummen verzeichnet werden.

Bei der klimatologischen Einordnung des Ereignisses stellt man fest, dass vor allem am 8. August deutlich erhöhte Jährlichkeiten der Tagesniederschlagssummen verzeichnet wurden. Zieht man das ganze Ereignis (6.-9. August) in Betracht, so erreicht der grösste Teil der Stationen auf der Alpennordseite kaum eine Jährlichkeit von 20 Jahren. Einzig in der Nordwestschweiz, im Jura, im Seeland, im zentralen Mittelland, in der Region Bern und im unteren Wallis wiesen Stationen Jährlichkeiten von deutlich über 20 auf.

Die Unwetterwarnungen der MeteoSchweiz wurden von den Nutzern (Einsatzorganisationen) als gerechtfertigt, nützlich und in weiten Teilen als zutreffend beurteilt. Im Verlaufe des Ereignisses wurden die Warnungen vom 6./7. August zum 8./9. August von der Stufe 1 (gelb) auf die Stufen 2 und 3 (orange, rot) angehoben und der erwartete Niederschlagsschwerpunkt verlagerte sich von Nord- und Mittelbünden sowie dem Alpennordhang in die Regionen Berner Oberland, Mittelland, Zentral- und Nordwestschweiz.

MAP D-PHASE war – nach Einschätzung der zahlreichen Benutzer – ein grosser Erfolg und hat im Hochwasserereignis vom 8./9. August die Praxistauglichkeit der verwendeten Konzepte eindrücklich unter Beweis gestellt. Die auf MAP D-PHASE dargestellten mit meteorologischen Vorhersagemodellen gekoppelten hydrologischen Vorhersagen haben bereits am Montag (6. August) erste Hinweise auf ein grosses Ereignis gegeben.

7 AUSBLICK

Ergänzend zu dieser allgemeinen, grossflächigen Analyse des Ereignisses vom August 2007 sind spezifische Radar-Studien in Arbeit, welche direkt in die Planung von Folge-Projekten einfließen werden. Insbesondere wird untersucht, inwieweit die Radarmessungen in Echtzeit verwendet werden können, um bei kritischen Situationen im Einzugsgebiet der Emme schneller zu reagieren. Dies beinhaltet eine Beurteilung der Qualität der Radarniederschlagsschätzung im Raum Emme, sowie exemplarische Fallstudien mit Schwellwerten auf akkumulierten Niederschlagsfeldern für laufende Zeitfenster mit vordefinierter Periode (1h, 3h, 6h, 12h, 24h, 48h und 72h). Die Resultate dieser Studien werden separat diskutiert und dokumentiert.

Eine im Rahmen von COST-731 erstellte Analyse deutet auf eine signifikante Abhängigkeit der orographischen Stark-Niederschläge von der mesoskaligen Strömung und der Luftmassenstabilität (Panziera und Germann, 2008) hin. Geplant ist, diese Abhängigkeit für eine operationelle Nowcasting-Applikation nutzbar zu machen, um den Wetterprognostikern und den Einsatzorganen eine zusätzliche Hilfe bei der Abschätzung des Gefahrenpotentials von stationären Starkniederschlagszellen über der Orographie zu bieten.

Obschon die Demonstrationsperiode von MAP D-PHASE vorüber ist, wird auf Wunsch der Endbenutzer (und dank Finanzierung durch das BAFU) die D-PHASE Internetplattform in reduzierter Form und auf experimenteller Basis weiter betrieben. Eine noch ausstehende, detaillierte Auswertung der von Juni bis November 2007 gesammelten Erfahrungen soll beim Bau der geplanten operationellen „Gemeinsamen Informationsplattform Naturgefahren (GIN)“ genutzt werden.

8 NIEDERSCHLAGSDATENSÄTZE DER METEOSCHWEIZ

Begleitend zu den vorliegenden meteorologischen und klimatologischen Analysen des Hochwassers im August 2007 wurden ein gegitterter Niederschlags- und ein Radardatensatz aufbereitet. Die Herleitung dieser Datensätze ist weitgehend analog zu denjenigen für die Ereignisanalyse 2005. Dieses Kapitel rekapituliert die wichtigsten Eigenschaften der Datensätze. Bei ihrer praktischen Anwendung sollte unbedingt die Interpretationshilfe (Frei und Germann 2007) und die detaillierte Gegenüberstellung im zweiten Teil der Ereignisanalyse 2005 (Frei et al. 2008) berücksichtigt werden.

8.1 NIEDERSCHLAGSANALYSEN AUS STATIONSDATEN

Der aufbereitete digitale Datensatz mit täglichen Niederschlagsanalysen aus Stationsdaten hat eine räumliche Auflösung von 2 km (Schweiz-Koordinaten) und liegt für alle Tage des Augusts 2007 vor. Die berechneten Tagessummen beziehen sich jeweils auf den Zeitraum 06 – 06 UTC des Folgetags. Die Berechnung der gegitterten Analyse entspricht derjenigen für die Ereignisanalyse 2005 (MeteoSchweiz 2006). Konkret wurden 427 Stationen der MeteoSchweiz verwendet, sowie 11 Stationen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF (IMIS Stationen). Anders als in der Analyse für August 2005 wurden nur diejenigen IMIS-Stationen berücksichtigt, welche unterhalb der Schneefallgrenze lagen. Eine kurze Einführung in das verwendete Analyseverfahren findet man in MeteoSchweiz (2006). Frei et al. (2008) beschreiben die quantitativen Unsicherheiten solcher Analysen.

8.2 RADARANALYSEN

Die hier verwendeten Radaranalysen umfassen eine Qualitätskontrolle der Radarmessungen, die offline Aneicherung der operationellen Radarniederschlagskarten an den gegitterten Pluviometerdatensatz auf der Zeitskala des gesamten Ereignisses (6.-9. August), die Akkumulation der Radarniederschlagsraten in 5 min Auflösung über die gewünschten Perioden (1h, 3h, 6h, 12h, 24h), die Unterdrückung von restlichen Störechos mittels für die Hydrologie entwickelter Restclutterfilter, sowie das Generieren des entsprechenden Datensatzes in numerischer und grafischer Form. Die räumliche Auflösung des Datensatzes beträgt 1km. Die Vorgehensweise und die eingesetzten Methoden sind weitgehend analog zur Analyse des Hochwassers 2005, siehe MeteoSchweiz (2006). Für eine ausführliche Beschreibung der von der MeteoSchweiz in Zusammenarbeit mit der Industrie und Forschungs-Instituten aus dem Ausland spezifisch für alpine Gebiete entwickelten Verfahren für die Radarniederschlagsmessung wird auf Joss und Lee (1995), Germann und Joss (2004) und Germann et al. (2006) verwiesen.

Der Radardatensatz umfasst vorprozessierte Bilder für direkte Verwendung in Berichten, sowie die entsprechenden Daten in numerischem Format für quantitative Analysen. Die hier verwendeten Abbildungen sind ausgewählte Sequenzen aus dem Bilddatensatz und illustrieren die in den Radaranalysen enthaltene Information der räumlichen und zeitlichen Dynamik der Niederschlagssysteme.

Hochaufgelöste, in Echtzeit zur Verfügung stehende quantitative Radarniederschlagsschätzungen werden bei der MeteoSchweiz seit 2003 operationell für die Überwachung sowie das Erstellen von Warnungen von Starkniederschlägen eingesetzt (Abschnitt 6 in Germann et al., 2006). Für die Identifikation, Charakterisierung und Extrapolation von Gewitterzellen wird ein eigens dafür entwickeltes System namens TRT verwendet (Hering et al., 2008). Diese Radar-Nowcasting-Applikationen standen auf der MAP D-PHASE Plattform auch zur Verfügung.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Arpagaus M, Rotach MW, Ambrosetti P, Ament F, Appenzeller C, Bauer HS, Bouttier F, Buzzi A, Corazza M, Davolio S, Denhard M, Dorninger M, Fontannaz F, Frick J, Fundel F, Germann U, Gorgas T, Grossi G, Hegg C, Hering A, Jaun S, Keil C, Liniger MA, Marsigli C, McTaggart-Cowan R, Montani A, Mylne K, Ranzi R, Richard E, Rossa A, Santos-Muñoz D, Schär C, Seity Y, Staudinger M, Stoll M, Vogt S, Volkert H, Walser A, Wang Y, Werhahn J, Wulfmeyer V, Wunram C, Zappa M, 2008: MAP D-PHASE: Demonstrating forecast capabilities for flood events in the Alpine region. Veröffentlichungen der MeteoSchweiz, 78. Erhältlich unter www.meteoschweiz.admin.ch > Forschung > Publikationen > Publikationsreihen > Veröffentlichungen der MeteoSchweiz.

Coles S, 2001: An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer, London.

Frei, C and U Germann, 2007: Räumliche Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005, Interpretationshilfe zu den Datensätzen von MeteoSchweiz. Version 1.0 vom 7. Sep. 2007. Erhältlich unter www.meteoschweiz.admin.ch > Forschung > Publikationen > Einzelschriften.

Frei, C, U Germann, S Fukutome and M Liniger, 2008: Möglichkeiten und Grenzen der Niederschlagsanalysen zum Hochwasser 2005. In: Ereignisanalyse Hochwasser 2005 Teil 2 (Eds.: Bezzola GR and C Hegg), Bundesamt für Umwelt, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. (im Druck).

Germann U, G Galli, M Boscacci and M Bolliger, 2006: Radar precipitation measurement in a mountainous region. *Q J R Meteorol Soc*, 132, 1669-1692.

Germann U and J Joss, 2004: Operational measurement of precipitation in mountainous terrain. In *Weather radar: Principles and advanced applications*, editor P Meischner, Springer Verlag, 52-77.

Hering A, U Germann, M Boscacci and S Sényesi, 2008: Operational nowcasting of thunderstorms in the Alps during MAP D-PHASE. *Proceedings of European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD)*, Helsinki, 30.6-4.7.08.

Joss J and R Lee, 1995: The application of Radar-Gauge Comparisons to Operational Precipitation Profile Corrections, *J Appl Meteorol*, 34, 2612-2630.

MeteoSchweiz, 2004: Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung, Veröffentlichung MeteoSchweiz, 68. Erhältlich unter www.meteoschweiz.admin.ch > Forschung > Publikationen > Publikationsreihen > Veröffentlichungen der MeteoSchweiz.

MeteoSchweiz, 2006: Starkniederschlagsereignis August 2005, Arbeitsbericht MeteoSchweiz, 211. Erhältlich unter www.meteoschweiz.admin.ch > Forschung > Publikationen > Publikationsreihen > Arbeitsberichte der MeteoSchweiz.

Panziera L and U Germann, 2008: Orographic forcing and Doppler winds, the key for nowcasting heavy precipitation in the mountains. Proceedings of 13th AMS conference on Mountain Meteorology, Whistler, 11-15.8.08.

Rotach MW, Ambrosetti P, Ament F, Appenzeller C, Arpagaus M, Bauer HS, Bouttier F, Buzzi A, Corazza M, Davolio S, Denhard M, Dorninger M, Fontannaz L, Frick J, Fundel F, Germann U, Gorgas T, Hegg C, Hering A, Keil C, Liniger MA, Marsigli C, McTaggart-Cowan R, Montani A, Mylne K, Ranzi R, Richard E, Rossa A, Santos-Muñoz D, Schär S, Seity Y, Staudinger M, Stoll M, Volkert H, Walser A, Wang Y, Werhahn J, Wulfmeyer V, Zappa M, 2008: MAP D-PHASE: Real-time Demonstration of Weather Forecast Quality in the Alpine Region, subm Bulletin Amer Meteorol Soc.

Zappa M, Rotach MW, Arpagaus M, Dorninger M, Hegg C, Montani A, Ranzi R, Ament F, Germann U, Grossi G, Jaun S, Rossa A, Vogt S, Walser A, Werhan J and Wunram C, 2008: MAP D-PHASE: real-time demonstration of hydrological ensemble prediction systems, Atmos Sci Let, DOI: 10.1002/asl.183

Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

- 220** Ambühl J: 2008, Optimization of Warning Systems based on Economic Criteria, 79pp, CHF 75,-
- 219** Ceppi P, Della-Marta PM, Appenzeller C: 2008, Extreme Value Analysis of Wind Observations over Switzerland, 43pp, CHF 67.-
- 217** Begert M: 2008, Die Repräsentativität der Stationen im Swiss National Basic Climatological Network (Swiss NBCN), 40pp, CHF 66.-
- 216** Della-Marta PM, Mathis H, Frei C, Liniger MA, Appenzeller C: 2007, Extreme wind storms over Europe: Statistical Analyses of ERA-40, 80pp., CHF 75.-
- 215** Begert M, Seiz G, Foppa N, Schlegel T, Appenzeller C, Müller G: 2007, Die Überführung der klimatologischen Referenzstationen der Schweiz in das Swiss National Climatological Network (Swiss NBCN), 47 pp., CHF 68.-
- 214** Schmucki D, Weigel A, 2006, Saisonale Vorhersage in Tradition und Moderne: Vergleich der "Sommerprognose" des Zürcher Bööggs mit einem dynamischen Klimamodell, 46pp, CHF 68.-
- 213** Frei C: 2006, Eine Länder übergreifende Niederschlagsanalyse zum August Hochwasser 2005. Ergänzung zu Arbeitsbericht 211, 10pp, CHF 59.-
- 212** Z'graggen, L: 2006, Die Maximaltemperaturen im Hitzesommer 2003 und Vergleich zu früheren Extremtemperaturen, 74pp, CHF 75.-
- 211** MeteoSchweiz: 2006, Starkniederschlagsereignis August 2005, 63pp, CHF 72.-
- 210** Buss S, Jäger E and Schmutz C: 2005: Evaluation of turbulence forecasts with the aLMo, 58pp, CHF 70.-
- 209** Schmutz C, Schmuki D, Duding O, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Sion LSGS, 77pp, CHF 25.-
- 208** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Grenchen LSZG, 73pp, CHF 24.-
- 207** Moesch M, Zelenka A: 2004, Globalstrahlungsmessungen 1981-2000 im ANETZ, 83pp, CHF 26.-
- 206** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information St.Gallen LSZR, 78pp, CHF 25.-
- 205** Schmutz C, Schmuki D, Ambrosetti P, Gaia M, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Lugano LSZA, 81pp, CHF 26.-
- 204** Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Bern LSZB, 80pp, CHF 25.-
- 203** Duding O, Schmuki D, Schmutz C, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Geneva LSGG, 104pp, CHF 31.-
- 202** Bader S: 2004, Tropische Wirbelstürme – Hurricanes – Typhoons – Cyclones, 40pp, CHF 16.-
- 201** Schmutz C, Schmuki D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, CHF 34.-
- 200** Bader S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, CHF 14.-
- 199** Frei T, Dössegger R, Galli G, Ruffieux D: 2002, Konzept Messsysteme 2010 von MeteoSchweiz, 100pp, CHF 32.-
- 198** Kaufmann P: 2002, Swiss Model Simulations for Extreme Rainfall Events on the South Side of the Alps, 40pp, CHF 20.-
- 197** WRC Davos (Ed): 2001, IPC - IX, 25.9. - 13.10.2000, Davos, Switzerland, 100pp, CHF 32.-
- 196** Hächler P et al.: 1999, Der Föhnfall vom April 1993, 139pp, CHF 40.-

Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

- 77** Rossa AM: 2007, MAP-NWS – an Optional EUMETNET Programme in Support of an Optimal Research Programme, Veröffentlichung MeteoSchweiz, 77, 67 pp., CHF 73.-
- 76** Bagginstos D: 2007, Probabilistic verification of operational monthly temperature forecasts, 52 pp., CHF 69.-
- 75** Fikke S, Ronsten G, Heimo A, Kunz S, Ostrozlik M, Persson PE, Sabata J, Wareing B, Wichura B, Chum J, Laakso T, Sääntti K, Makkonen L: 2007, COST 727: Atmospheric Icing on Structures Measurements and data collection on icing: State of the Art, 110pp, CHF 83.-
- 74** Schmutz C, Müller P, Barodte B: 2006, Potenzialabklärung für Public Private Partnership (PPP) bei MeteoSchweiz und armasuisse Immobilien, 82pp, CHF 76.-
- 73** Scherrer SC: 2006, Interannual climate variability in the European and Alpine region, 132pp, CHF 86.-
- 72** Mathis H: 2005, Impact of Realistic Greenhouse Gas Forcing on Seasonal Forecast Performance, 80pp, CHF 75.
- 71** Leuenberger D: 2005, High-Resolution Radar Rainfall Assimilation: Exploratory Studies with Latent Heat Nudging, 103pp, CHF 81.-
- 70** Müller G und Viatte P: 2005, The Swiss Contribution to the Global Atmosphere Watch Programme – Achievements of the First Decade and Future Prospects, 112pp, CHF 83.-
- 69** Müller WA: 2004, Analysis and Prediction of the European Winter Climate, 115pp, CHF 34.
- 68** Bader S: 2004, Das Schweizer Klima im Trend: Temperatur- und Niederschlagsentwicklung seit 1864, 48pp, CHF 18.-
- 67** Begert M, Seiz G, Schlegel T, Musa M, Baudraz G und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schluss-bericht des Projektes NORM90, 170pp, CHF 40.-
- 66** Schär Christoph, Binder Peter, Richner Hans (Eds.): 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp, CHF 100.
- 65** Stübi R: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp, CHF 27.-
- 64** Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp, CHF 36.-
- 63** Favaro G, Jeannet P, Stübi R: 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, CHF 33.-
- 62** Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, CHF 12.-
- 61** Richner H, et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, CHF 42.-
- 60** Gisler O: 1999, Zu r Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, CHF 36.-
- 59** Bettems J-M: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, CHF 25.-
- 58** Baudenbacher, M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, CHF 50.-