



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

Der Niederschlag beim Unwetter vom 31. August bis 1. September 2002 im Raum Appenzellerland

**Bericht im Auftrag des
Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG), Biel**

Mai 2003

Tergeso AG
Stadterwingert 4
7320 Sargans

Tel. 081 723 20 70
Fax 081 723 67 70
E-Mail: tergeso@pop.agri.ch

1. Einleitung

In der Nacht vom 31. August bis 1. September 2002 waren Gebiete in den Kantonen Appenzell Ausserrhoden, Appenzell Innerrhoden und St. Gallen durch ein schweres Unwetter betroffen. Als Beitrag für die Ereignisanalyse werden im vorliegenden Bericht die Niederschlagsverhältnisse dieses Unwetters untersucht. Das Ziel der Arbeiten besteht darin, eine Dokumentation der Niederschlags-Messwerte zu liefern und die synoptisch-meteorologische Situation zu charakterisieren.

2. Datengrundlage

Die Auswertungen der Niederschlagsverhältnisse stützen sich auf Messungen von 80 Stationen im Untersuchungsgebiet und seiner näheren Umgebung (Tab. 1, Abb. 1). Die Messungen von 59 dieser Stationen stammen von der MeteoSchweiz. Die Daten der übrigen 21 Stationen wurden bei folgenden Stellen zusammengetragen:

Abwasserverband Altenrhein (AVA), 9423 Altenrhein

Stationen: Altenrhein, St. Margrethen, Thal, Rorschach, Heiden,
Eggersriet (AVA)

Kontaktperson: Ernst Hohl

Abwasserwerk Rosenbergsau (AWR), 9434 Au

Stationen: ARA Rosenbergsau, Fallbach, Ländernach, Nollen, Rebstein

Kontaktperson: Hans Züst

Institut für Atmosphäre und Klima der ETH, 8057 Zürich

Station: Rietholzbach (Büel)

Kontaktperson: Dr. Joachim Gurtz

Landeswasserbauamt Bregenz, Abt. Hydrographie, A-6900 Bregenz

Stationen: Meiningen, Fussach, Lustenau, Ebnit, Dornbirn, Hohenems,
Bregenz, Altach, Weiler

Kontaktpersonen: Ralf Grabher, Karl-Heinz Winder

Zur Absicherung wurden auch noch folgende Daten in die Auswertungen einbezogen:

Oberforstamt des Kantons Appenzell Ausserrhoden, 9102 Herisau

Station: Teufen (Forstpflanzgarten Gmünden)

Kontaktperson: Peter Ettliger

Die Messungen aus Teufen passen gut ins Bild der umliegenden Stationen. Dennoch wurden sie vorsichtshalber nicht in die Datentabellen aufgenommen, erstens weil der Niederschlagsschreiber während dem Unwetter Abheberungs-Probleme aufwies und zweitens weil mit Wochenstreifen die genaue zeitliche Zuordnung von Stundenwerten unsicher ist.

Von 19 Stationen existieren für die Unwetterphase lückenlose Messreihen des Niederschlags in hoher zeitlicher Auflösung (mindestens Stundenniederschläge). Vier dieser Stationen gehören zum Messnetz der MeteoSchweiz und die übrigen 15 zu den Messnetzen der genannten anderen Betreiber.

In Tabelle 1 sind die Tagesniederschläge vom 31.08.-01.09.2002 zusammengestellt.

Tabelle 2 enthält die Stundenniederschläge vom 31.08.-01.09.2002. In der letzten Spalte steht der Mittelwert über jene acht Stationen im Teilgebiet zwischen St. Gallen und Lustenau, bei denen der Tagesniederschlag am 31.08.2002 über 75 mm lag. Es sind dies die Stationen St. Gallen, St. Margrethen, Heiden, Eggersriet (AVA), ARA Rosenbergsau, Fallbach, Rebstein und Lustenau. Unten in der Tabelle sind die Niederschläge über 12 h, 6 h und 1 h aufgeführt, jeweils in Millimeter und in Prozent des Tagesniederschlags vom 31.08.2002. Dabei sind bei jeder Dauerstufe zwei Varianten berücksichtigt, nämlich 1) eine Variante mit einem variablen Zeitfenster, das den Höchstwert für die betrachtete Station liefert und 2) eine Variante mit einem fixen Zeitfenster, das für die Mehrheit der Stationen am niederschlagsreichsten war. Die fixen Zeitfenster haben folgende Grenzen:

12 h	31.08.2002, 15 UTC - 01.09.2002, 03 UTC,
6 h	31.08.2002, 19 UTC - 01.09.2002, 01 UTC,
1 h	31.08.2002, 22 UTC - 31.08.2002, 23 UTC,

wobei UTC die Weltzeit bezeichnet, die gegenüber der Mitteleuropäischen Sommerzeit um zwei Stunden nachgeht. Der Beginn des 12-stündigen Intervalls wurde so gewählt, dass auch der frühe Starkniederschlag in Tänikon eingeschlossen ist. Die Festlegung der Grenzen für das 6-stündige Intervall richtete sich nach dem Zeitfenster, in welchem der diskutierte Mittelwert über acht Stationen das Maximum lieferte. Das gleiche Kriterium wurde für die Wahl des 1-stündigen Intervalls verwendet.

Für die Analyse der Wetterentwicklung wurden die täglichen Karten der "Wetterübersicht" der MeteoSchweiz, die "Berliner Wetterkarten" sowie Karten des Deutschen Wetterdienstes herangezogen.

3. Wetterentwicklung

Am 30. August 2002 lag Mitteleuropa unter einer Hochdruckbrücke zwischen dem Azorenhoch über dem Nordatlantik und einem Hochdruckzentrum südlich von Moskau. Zwischen den beiden Hochdruckgebieten erstreckte sich eine Kaltfront quer durch die Hochdruckbrücke von Skandinavien nach Spanien (Abb. 2). Durch die Wanderung des Azorenhochs nach Irland wurde die Kaltfront über Mitteleuropa nach Osten geschoben. Eine erste Welle erreichte am Vormittag des 31.08.2002 die Schweiz und erklärte vereinzelte zwei- bis dreistündige Niederschlagsspitzen bis 25 mm pro Stunde im späteren Schadensgebiet.

Die Hauptkaltfront erreichte den Raum Appenzell in der zweiten Tageshälfte. Das Temperaturgefälle quer zur Front, als Mass für die Frontintensität und als wesentlicher Antrieb für Niederschlagsbildung, war mit zum Teil über 10 °C hoch. Allerdings bestand dieser Zustand nur in einer Schicht bis etwa 2000 m Höhe, so dass die Front selbst während ihres bis sechsständigen Durchgangs, zusammen mit einer gewissen Stauwirkung, noch keine hinreichende Erklärung ergibt für die sehr hohen Niederschlagssummen, die kleinräumig (nämlich zwischen Wattwil und St. Margrethen) bis über 100 mm in 4 Stunden erreichten.

Im Bereich sogenannter Sattelpunkte zwischen Druckzentren besteht die Möglichkeit zur Ausbildung von Tiefdruckwirbeln. Die Analyse der Luftdruckkarten zeigt eine Wirbelbildung an der erwähnten zweiten Front (Abb. 2). Die Entwicklung blieb jedoch kleinräumig und war kurzlebig, zeigte aber auf der Spur des Wirbels eine erhebliche Niederschlagswirksamkeit. Die Zuggeschwindigkeit entsprach derjenigen der Front selbst. Die Bahn ist von Saarbrücken über den östlichen Bodensee zum Alpenkamm zu approximieren.

Die Antwort zur Frage nach einer eventuell besonderen Gefährdung des betroffenen Gebietes durch derartige Ereignisse leitet sich aus der Beschreibung ab. Die Alpen wirken natürlich auf die atmosphärische Entwicklung vor einem Starkniederschlag ein. Dies ist jedoch nur eine der Einflusskomponenten, so dass insbesondere auf der Alpen-nordseite Ort, Lebensdauer, Bahn und Intensität vor allem bei kleinräumigen Entwicklungen als zufällig einzuordnen sind.

Abschliessend sei noch eine interessante Nebenbemerkung angeführt. Aufgrund der Beschriftung von Barometern besteht landläufig die Vorstellung, dass zumindest sehr starke Niederschläge an tiefen Luftdruck gebunden sind. Im vorliegenden Fall war am Barometer ein Druck von 1020 hPa (= mb) abzulesen. Das ist ein Zustand, der in den Sektor 'veränderlich bis schön' fällt und stellt ein schönes Beispiel dar, dass in der Atmosphäre wie in der Hydraulik primär Potentialgefälle und nicht Potentiale von Bedeutung sind.

4. Räumliche Verteilung des Niederschlags

Ausgehend von den Daten in Tabelle 1, wurde eine Karte des Tagesniederschlags vom 31.08.2002 erstellt (Abb. 3). Die Karte zeigt ein langgestrecktes Niederschlagsfeld, das rund 5 km südlich von St. Gallen von WSW nach ENE verläuft. Das Maximum der Messungen liegt bei Eggen mit 171 mm. Eine praktisch gleich grosse Summe, nämlich 167 mm, ist rund 35 km weiter westlich bei Mogelsberg zu erkennen. Der Gradient ist nördlich des Hauptmaximums am grössten. Dort nimmt der Niederschlag vom Bodensee in südlicher Richtung stark zu und zwar von Altenrhein bis Eggen um 140 mm auf eine Distanz von nur 6.4 km.

Die grossen Linien der Niederschlagsverteilung in Abbildung 3 dürfen als gesichert gelten. Man muss jedoch davon ausgehen, dass lokal spürbare Abweichungen überlagert sein können (Kap. 6). Diese Abweichungen treten auf, weil sich mit dem vorhandenen Messnetz die kleinräumigen Spitzen nur beschränkt erfassen lassen.

Die Messungen des Tagesniederschlags werden jeweils um 6 UTC des Folgetages durchgeführt. Der Messwert für den 31.08.2002 schliesst somit sämtlichen Niederschlag des Unwetters ein, auch den Anteil, der in den ersten Stunden des 01.09.2002 fiel. Das Ereignis dauerte jedoch weniger lang als 24 Stunden. Somit ist es erforderlich, auch noch den Niederschlag für kürzere Intervalle zu behandeln. Untersucht werden im folgenden der 12-stündige und 6-stündige Niederschlag. Auf kürzere Intervalle wurde verzichtet, weil die Unsicherheit der Abschätzungen unterhalb sechs Stunden stark zunimmt.

Der grösste Niederschlag über ein gegebenes Intervall tritt in der Regel nicht bei allen Stationen zur gleichen Zeit auf. Um eine Niederschlagskarte zeichnen zu können, muss man sich jedoch auf ein einheitliches Zeitfenster festlegen. Hydrologisch von Bedeutung sind jene Zeitfenster, die für die Mehrheit der Stationen am niederschlagsreichsten waren. Für die Intervalle von 12 h und 6 h sind dies nach Kapitel 2 die folgenden:

12 h	31.08.2002, 15 UTC - 01.09.2002, 03 UTC
6 h	31.08.2002, 19 UTC - 01.09.2002, 01 UTC

Bei den Stationen, von denen keine stündlichen Messungen existieren, muss der 12-stündige und 6-stündige Niederschlag aus dem Tagesniederschlag abgeleitet werden. Die Abschätzung wurde mit Reduktionsfaktoren durchgeführt. Diese Faktoren wurden an den Stationen mit stündlichen Messungen bestimmt und durch räumliche Interpolation auf die Stationen übertragen, von denen nur Tageswerte vorliegen.

Der 12-stündige und 6-stündige Niederschlag für die Stationen ohne stündliche Messungen ergab sich als Produkt aus dem jeweiligen Reduktionsfaktor und dem Tagesniederschlag am 31.08.2002.

Abbildung 4 zeigt die resultierende Karte des 12-stündigen Niederschlags. Die Grundzüge des Bildes sind gleich wie in der Karte des Tagesniederschlags vom 31.08.2002 (Abb. 3). Im kürzeren Intervall ist jedoch das sekundäre Maximum bei Mogelsberg deutlich weniger ausgeprägt und beläuft sich nur noch auf 106 mm. Das östliche Maximum bei Eggen ist hingegen mit 164 mm nahezu unverändert gross. Die Differenz bei Mogelsberg widerspiegelt die Tatsache, dass die Niederschläge im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes etwas früher einsetzen und dass deshalb dort mit dem gewählten Zeitfenster die Anfangsphase des Starkniederschlags abgeschnitten wird. Dies ist jedoch kein Grund für ein weiteres Zeitfenster, weil die betreffende Information bereits in der Karte des Tagesniederschlags enthalten ist.

In Abbildung 5 findet sich die Karte des 6-stündigen Niederschlags. Verglichen mit Abbildung 4 ist das sekundäre Maximum bei Mogelsberg mit 53 mm deutlich vermindert. Auch das Maximum bei Eggen liegt tiefer, erreicht aber mit 144 mm immer noch einen beachtlichen Wert. Der Verlauf der Isolinie von 25 mm in der Südost-Ecke des Gebietes dürfte weitgehend ein Artefakt sein.

5. Zeitliche Verteilung des Niederschlags

Als Grundlage zur Beurteilung des Vorregens sind in Abbildung 6 die Tagesniederschläge im August 2002 für vier Stationen im Untersuchungsgebiet dargestellt, nämlich für Eggen, Tanne-Wald, Mogelsberg und Teufen. Wie aus der Abbildung ersichtlich, war der Monatsbeginn ziemlich feucht. Recht ausgiebige Niederschläge fielen vom 09.-12. August. Anschliessend folgte bis am 19. August eine niederschlagsfreie Periode. In dieser Periode wurde der Bodenwassergehalt durch Tiefensickerung und Verdunstung stark abgebaut. Infolge der fortgeschrittenen Jahreszeit war die Verdunstungsrate allerdings bereits etwas tiefer als bei Sonnenhöchststand. Am 20. August fielen bei den betrachteten Stationen erneut Niederschläge von 15-35 mm. In den folgenden Tagen bis am 28. August regnete es ab und zu schwach. Diese Regenfälle erhöhten den Boden-

wassergehalt nicht nennenswert, aber die wolkige Witterung verlangsamte die Verdunstung.

Obige Daten und auch die Abflüsse der Region zeigen, dass zu Beginn des Unwetters die Bodenspeicher weitgehend entleert waren und dass lediglich die träge reagierenden Komponenten der Bodenspeicher noch vom Vorregen beeinflusst waren. Wenn man berücksichtigt, dass für Hochwasser vor allem der Vorregen unmittelbar vor dem Ereignis relevant ist, dann spielte der Vorregen im vorliegenden Fall eine untergeordnete Rolle.

Fortschreitend vom Groben zum Feinen sollen nun im nächsten Schritt die Stundenniederschläge untersucht werden. Abbildung 7 zeigt die stündliche Niederschlagsintensität und den kumulierten Niederschlag vom 31.08.-01.09.2002 für 18 Stationen im Untersuchungsgebiet und für einen Mittelwert über acht Stationen. Dargestellt sind die Zeitreihen aus Tabelle 2, mit Ausnahme der Zeitreihe von Güttingen, weil dort die Niederschläge sehr schwach waren.

Ein Vergleich der Niederschlagsverläufe verschiedener Stationen zeigt beträchtliche Unterschiede, deren Charakter als schauerartig zu bezeichnen ist. Auch die Intensitätsschwankungen innerhalb der einzelnen Zeitreihen zeigen entsprechende Eigenschaften.

Die höchste stündliche Intensität wurde in Heiden mit 32.6 mm/h registriert. Bemerkenswert ist, dass die Intensität in den angrenzenden Stundenintervallen lediglich 1.5 und 1.6 mm/h betrug. Beachtliche Maxima der stündlichen Intensität wurden auch an weiteren Stationen verzeichnet, beispielsweise 32.1 mm/h in Eggersriet (AVA), 26.8 mm/h in Lustenau, 26.6 mm/h in St. Margrethen, 25.7 mm/h in Fallbach und 25.3 mm/h in Tänikon.

Die ersten Niederschläge des Ereignisses wurden am 31.08.2002 zwischen 6 und 9 UTC verzeichnet und zwar bei den Stationen Rietholzbach und Säntis sowie - sehr schwach - auch in Vaduz. Von 9 bis 14 UTC blieb es bei allen Stationen praktisch trocken. Um 16 UTC begann es bei mehreren Stationen zu regnen.

Beim Niederschlagsverlauf ab 16 UTC lassen sich verschiedene Formen erkennen. Einige Stationen zeigen einen spontanen Beginn, gefolgt von einigen niederschlagsärmeren Stunden und danach einer zusammenhängenden Phase mit relativ hohen Intensitäten. Zu dieser Gruppe gehören St. Gallen, Heiden und Eggersriet (AVA). Bei anderen Stationen fehlt die niederschlagsärmere Zwischenphase. Zu dieser Gruppe gehören vor allem die Stationen weit im Osten, beispielsweise St. Margrethen, ARA Rosenbergsau und Rebstein.

Ein Vergleich zwischen benachbarten Stationen zeigt zwar gewisse Gemeinsamkeiten, belegt aber erneut in erster Linie den schauerartigen Charakter des Ereignisses. Trotz der relativ hohen Dichte von Stationen mit stündlichen Messungen im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes, müssen die Details des Niederschlagsverlaufs als stochastisch bezeichnet werden. In anderen Worten lässt sich in der raum-zeitlichen Struktur kaum Einheitlichkeit erkennen.

Wenn man hingegen die mittleren Verhältnisse für ein Teilgebiet betrachtet, sieht das Ergebnis anders aus. Der in Tabelle 2 definierte Mittelwert über eine Gruppe von acht Stationen im Nordosten des Untersuchungsgebietes beispielsweise zeigt einen verblüf-

gend gleichmässigen Verlauf (Abb. 7). Nach einer 7-stündigen Anstiegsphase erreicht der Niederschlag um 23 UTC das Maximum mit 18.1 mm. Dann folgen zwei Stunden mit abnehmenden, aber immer noch hohen Intensitäten und schliesslich eine längere Ausklingphase.

Wenn man kürzere Intervalle als eine Stunde betrachtet, wiederholt sich das von schauerartigen Niederschlägen geprägte Bild. Gemäss Angaben der lokalen Bevölkerung war zu beobachten, dass kurze Phasen mit schwachen und mit sehr starken Regenfällen schlagartig abwechselten. Die vorhandenen Niederschlagsmessungen stützen diese Angaben, sind aber zu wenig einheitlich für eine detaillierte quantitative Untersuchung.

6. Variabilität der Niederschlagsintensität

Für die Auslösung von Massenbewegungen an Hängen sind Hangneigung, Bodeneigenschaften, Wassersättigungsgrad und die Intensität des Niederschlags massgebend. Die Vorstellungen der Intensität sind meist durch stündliche Werte geprägt. In Realität setzt sich jedoch der Niederschlag an einem Ort in einer Stunde aus Intervallen mit unterschiedlichen Niederschlagsaktivitäten zusammen. Ein ausgeprägtes Intervall kann – hochgerechnet auf 1 Stunde – ohne weiteres mehrere 100 mm erreichen und dadurch für die Auslösung von Massenbewegungen an einem labilisierten Hang entscheidend sein, ohne dass die Intensität der gesamten Stunde darauf schliessen lässt. Im vorliegenden Fall zeichnen sich Schwankungen ebenfalls ab (Kap. 5). Obwohl die Schichtung der Atmosphäre im betroffenen Gebiet nicht auf Schwankungen mit kurzfristig extremen Spitzen hindeutet, können sie vereinzelt durchaus ein entscheidender Impuls gewesen sein.

7. Wiederkehrperiode

Problematik der Abschätzungen

Die Unsicherheiten von Frequenzaussagen entstehen erfahrungsgemäss aus den Eigenschaften des Messnetzes, den verfügbaren Messperioden der Stationen und der Grösse des betrachteten Einzugsgebietes. Im Einzelnen sind vor allem zu nennen:

- a) zu grosse Stationsabstände für eine detaillierte Erfassung von Schauer-
niederschlägen, vor allem bei den Stationen mit hoher zeitlicher Auflösung
der Messungen,
- b) zu geringe Zahl von extremwertstatistisch analysierten Stationen und vor allem
wenige Analysen für Zeitintervalle unter 1 Tag,
- c) uneinheitliche, oft relativ kurze Messperioden mit unterschiedlicher
Starkniederschlagsaktivität,
- d) grosse Vertrauensintervalle bei seltenen Ereignissen,
- e) Unterschiede zwischen Punktniederschlag und Gebietsniederschlag.

Tagesniederschlag

Beim Unwetter vom 31.08.-01.09.2002 wurde der höchste Tagesniederschlag in Eggen mit 171 mm beobachtet (Tab. 1). Für diese Station der MeteoSchweiz existieren jedoch keine extremwertstatistischen Auswertungen (ZELLER ET AL. 1977). Deshalb stützt sich die nachfolgende Abschätzung auf die Näherung, dass sich die Wiederkehrperiode mit Hilfe der Daten von umliegenden Stationen eingrenzen lässt, soweit diese eine vergleichbare klimatische Lage aufweisen. Die zugezogenen Stationen sind:

St. Margrethen	Heiden	Trogen
St. Gallen	Teufen	Gäbris (Gais)
Schwäbrig (Gais)		

Der erwähnte höchste Tagesniederschlag von 171 mm besitzt bei diesen Stationen eine Wiederkehrperiode zwischen 15 und 110 Jahren. Das arithmetische Mittel beträgt 65 Jahre.

Wird der Vergleich auf die vier Stationen mit den geringsten Distanzen zu Eggen beschränkt (nämlich auf St. Margrethen, Heiden, Trogen und Schwäbrig), erhält man das gleiche Resultat, nämlich eine Wiederkehrperiode im Bereich von 15-110 Jahren und einen Mittelwert von 65 Jahren.

Ein Bezug auf Stationen mit einem vergleichbaren Zeitfenster aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts (d.h. ein Bezug auf Trogen und Gäbris) liefert eine Wiederkehrperiode von 15 Jahren. In jenem Zeitfenster wurden im betrachteten Gebiet in kurzen Abständen mehrere bedeutende Starkniederschläge beobachtet.

Umgekehrt ergeben die Stationen mit der Messperiode 1901-1970 (d.h. die Stationen Heiden, St. Gallen, Teufen und Schwäbrig) eine längere Wiederkehrperiode. Sie liegt zwischen 80 und 110 Jahren, bei einem Mittelwert von 95 Jahren. Die Periode 1901-1970 zeichnete sich in der Schweiz gesamthaft durch eine relativ geringe Starkniederschlagsaktivität aus.

In den letzten Jahrzehnten sind mehrere grosse Starkniederschläge vorgekommen, die einen Einfluss auf die Extremwertstatistiken haben. Es ist nicht auszuschliessen, dass man mit den Daten von ZELLER ET AL. (1977) aus der Periode 1901-1970 die Häufigkeit von Starkniederschlägen (und damit die aktuelle Hochwassergefahr) systematisch unterschätzt.

Unter Berücksichtigung aller diskutierten Aspekte ist der Tagesniederschlag von 171 mm als ungefähr 20- bis 60-jährliches Ereignis einzuordnen.

4-stündiger Niederschlag

Das betrachtete Unwetter war von schauerartigen Niederschlägen geprägt. Bei solchen Ereignissen konzentriert sich der Hauptniederschlag auf kürzere Zeitintervalle als 1 Tag. Von der Station Eggen existieren jedoch ausschliesslich Messungen des Tagesniederschlags. Der höchste 4-stündige Niederschlag für Eggen wurde deshalb mit einem Reduktionsfaktor aus dem Tagesniederschlag abgeleitet. Der Reduktionsfaktor wurde für diejenigen fünf Stationen mit stündlichen Messungen bestimmt, die beim Unwetter vom

31.08.-01.09.2002 die höchsten Tagesniederschläge aufwiesen. Es handelt sich dabei um die Stationen St. Gallen, St. Margrethen, Heiden, Eggersriet (AVA) und Fallbach. Ihre Tagessummen liegen zwischen 92 und 124 mm. Der Reduktionsfaktor ist das Verhältnis zwischen dem höchsten 4-stündigen Niederschlag und dem Tagesniederschlag. Er schwankt zwischen 56 und 72 %, mit einem Mittelwert von 62 %. Unter Verwendung dieses Mittelwertes ergeben sich in Eggen rund 100 mm für den höchsten 4-stündigen Niederschlag. Diese Intensität lässt sich mit Hilfe der extremwertstatistischen Auswertungen von ZELLER ET AL. (1977) für drei Stationen in der Stadt St. Gallen einordnen. Man erhält eine Wiederkehrperiode von 30-70 Jahren, mit einem Mittelwert von 55 Jahren.

Die Messungen der drei verwendeten Stationen aus der Stadt St. Gallen beziehen sich auf Zeitfenster zwischen 1924 und 1975. Sie stammen somit aus einer Periode, die sich - wie oben diskutiert - durch eine relativ geringe Starkniederschlagsaktivität auszeichnete. Analog zu den Überlegungen beim Tagesniederschlag, sollte daher auch für den 4-stündigen Niederschlag von einer Wiederkehrperiode in der unteren Hälfte des Wertebereichs ausgegangen werden, also von einer Wiederkehrperiode von 30-50 Jahren.

8. Literatur

ZELLER, J., GEIGER, H. & RÖTHLISBERGER, G. (1977): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Band 2 (Fürstentum Liechtenstein, St. Gallen, Appenzell Innerrhoden, Appenzell Ausserrhoden, Zürich). - Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

Sargans und Zürich, Mai 2003

Dr. Hans Müller-Lemans, Tergeso AG

Dr. Dietmar Grebner, Institut für Atmosphäre und Klima der ETH

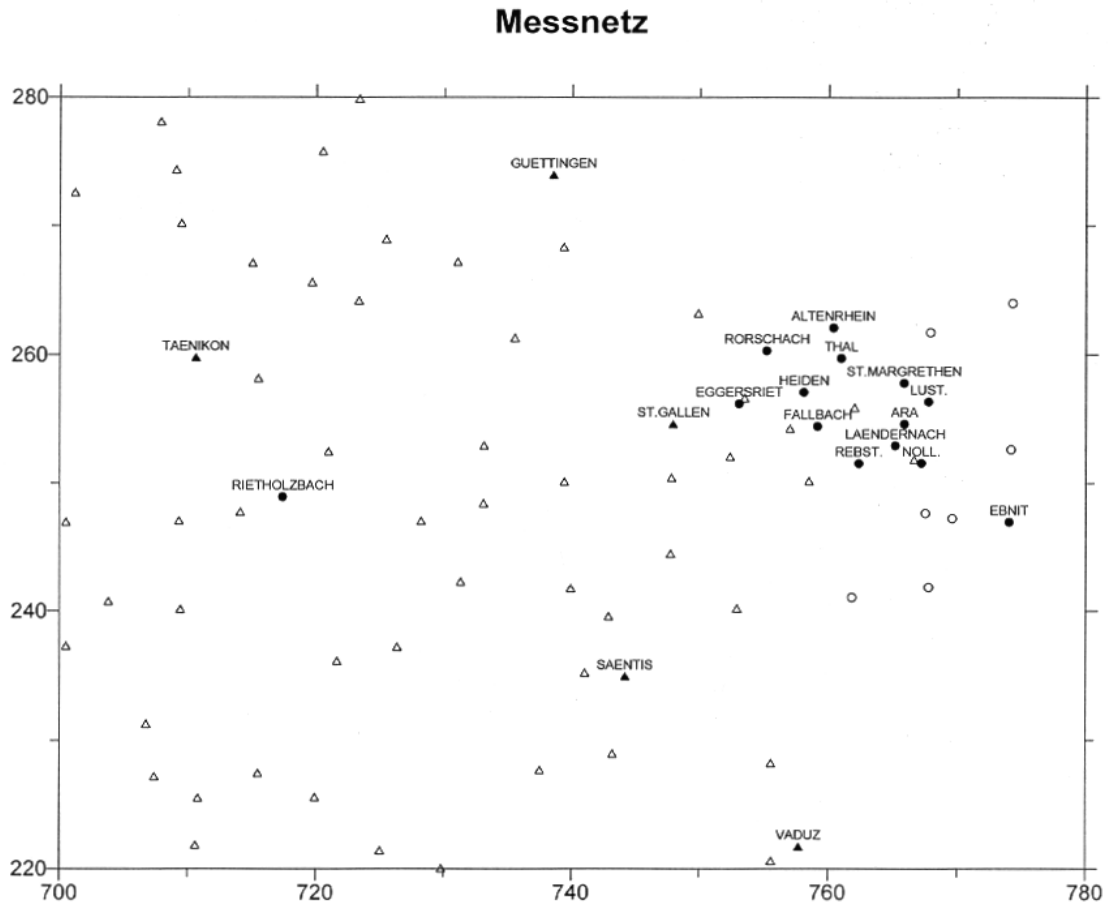


Abbildung 1: Lage der Niederschlags-Messstationen im Untersuchungsgebiet und seiner näheren Umgebung. Die Abbildung soll in erster Linie eine Vorstellung von der Dichte des Messnetzes liefern. Einzelheiten zu den Stationen (Name, Landeskoordinaten und Höhe über Meer) finden sich in Tabelle 1. Die Symbole haben folgende Bedeutung: *Dreiecke* - Stationen der MeteoSchweiz, *Kreise* - Stationen von anderen Stellen, *nicht ausgefüllte Symbole* - Stationen ohne Stundenniederschläge, *ausgefüllte Symbole* - Stationen mit Stundenniederschlägen. Die Stationen mit Stundenniederschlägen sind beschriftet.

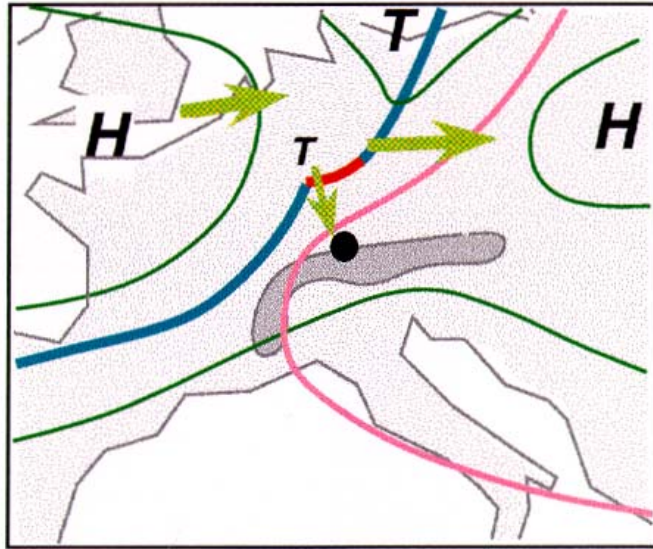


Abbildung 2: Schematisierte Wettersituation über Mitteleuropa am 31.08.2002, Vormittag. - Dunkelgrau: Alpenbogen etwa oberhalb 1000 m ü.M.; grün: Druckverteilung; rot: Warmfront; blau: Kaltfront; hellrot: gealterte Front (Okklusion); hellgrüne Pfeile: Bewegungsrichtung bis zum Folgetag.

31.08.2002

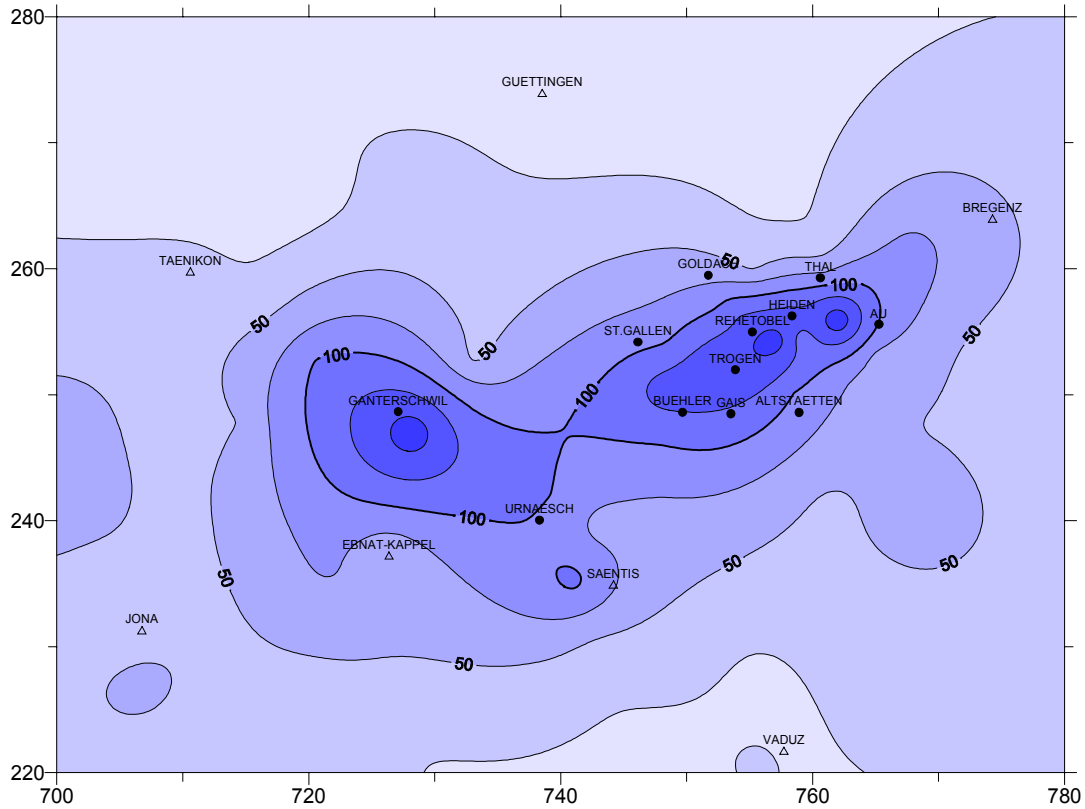


Abbildung 3: Karte des Tagesniederschlags vom 31.08.2002 (von 6 UTC bis 6 UTC am Folgetag). Kreise bezeichnen ausgewählte Schadenorte. Mit Dreiecken sind als Orientierungshilfe einige weitere Ortschaften markiert.

12 Stunden (bis 01.09.2002, 3 UTC)

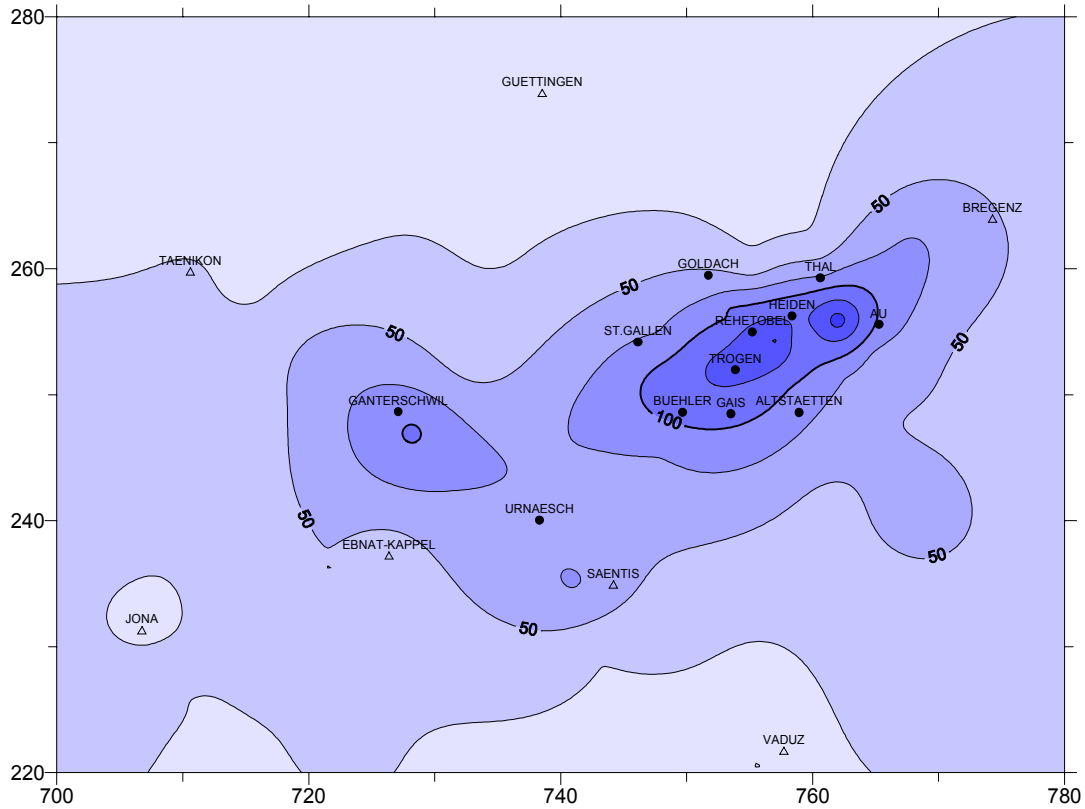


Abbildung 4: Karte des 12-stündigen Niederschlags vom 31.08.2002, 15 UTC bis 01.09.2002, 03 UTC. Kreise bezeichnen ausgewählte Schadenorte. Mit Dreiecken sind als Orientierungshilfe einige weitere Ortschaften markiert.

6 Stunden (bis 01.09.2002, 1 UTC)

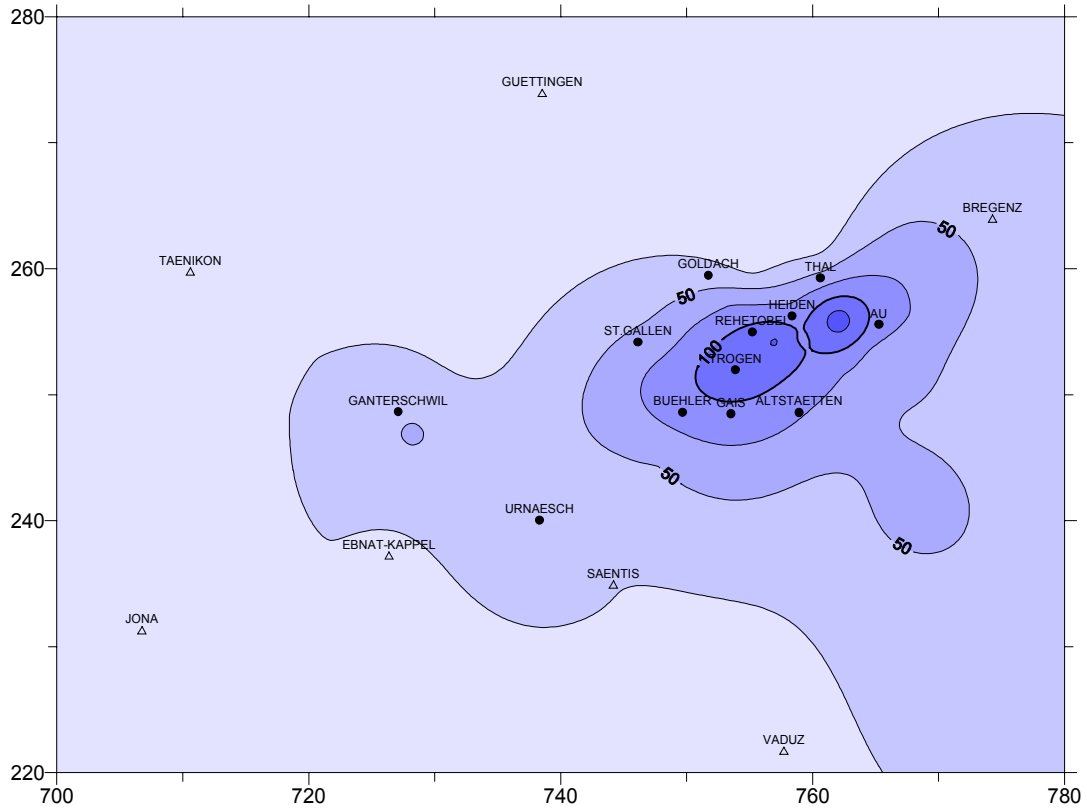


Abbildung 5: Karte des 6-stündigen Niederschlags vom 31.08.2002, 19 UTC bis 01.09.2002, 01 UTC. Kreise bezeichnen ausgewählte Schadenorte. Mit Dreiecken sind als Orientierungshilfe einige weitere Ortschaften markiert.

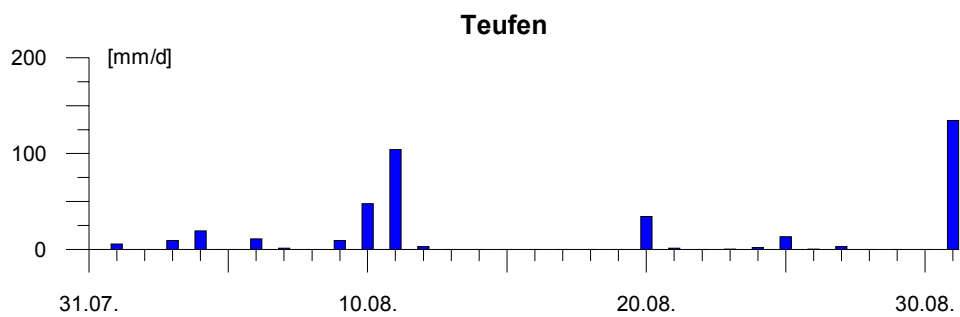
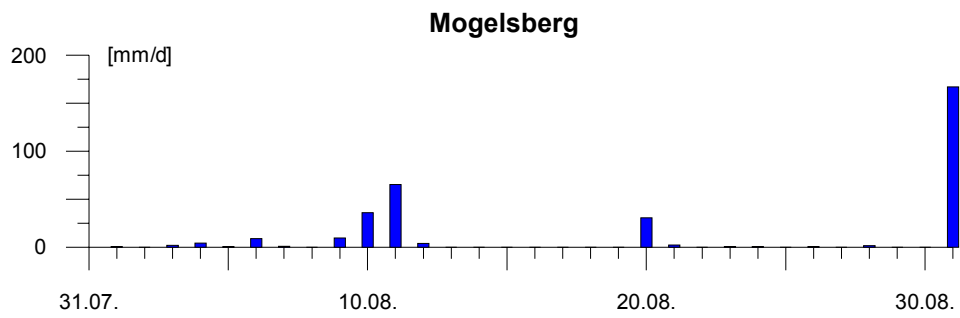
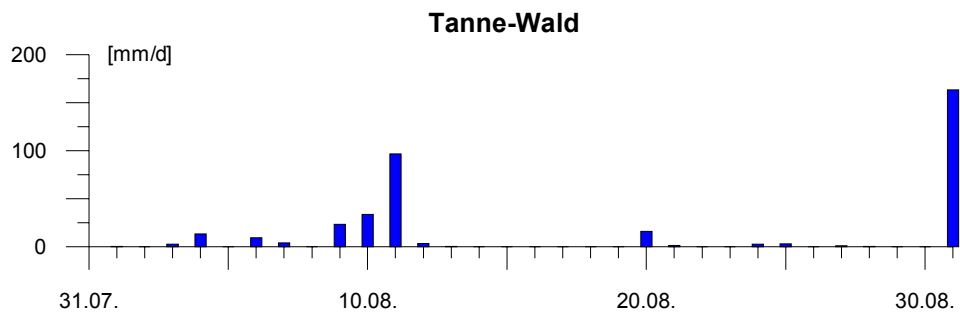
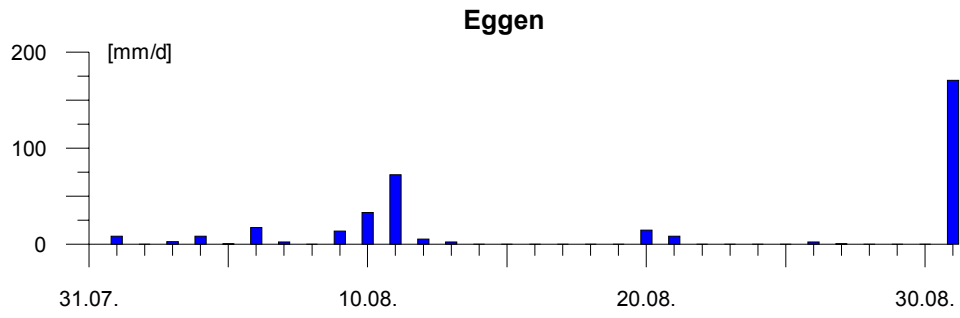
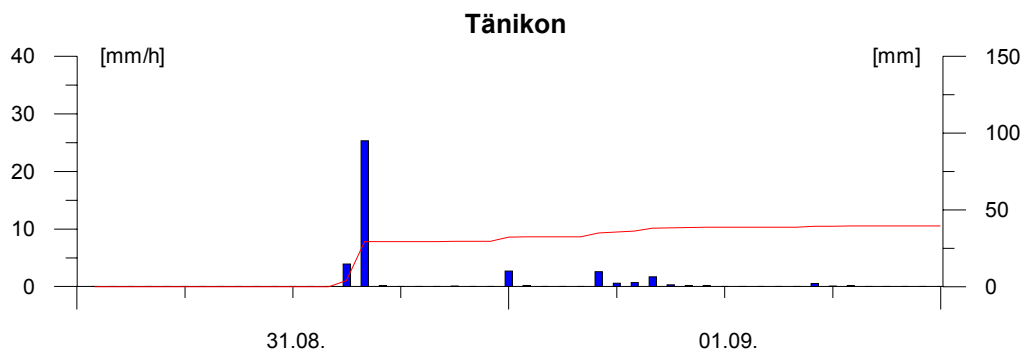
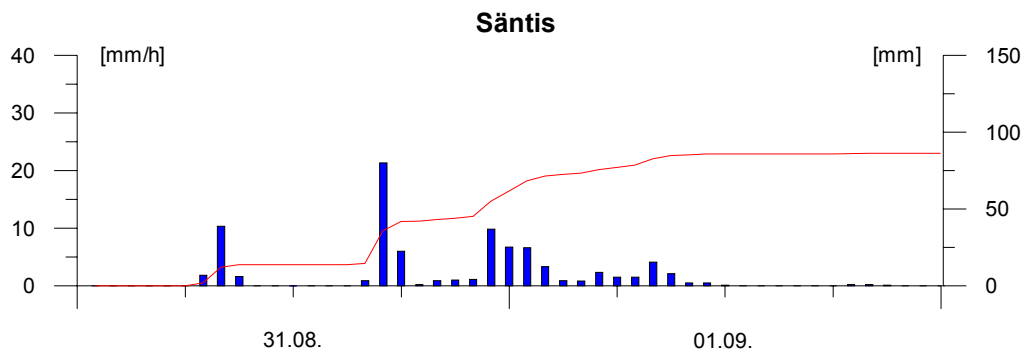
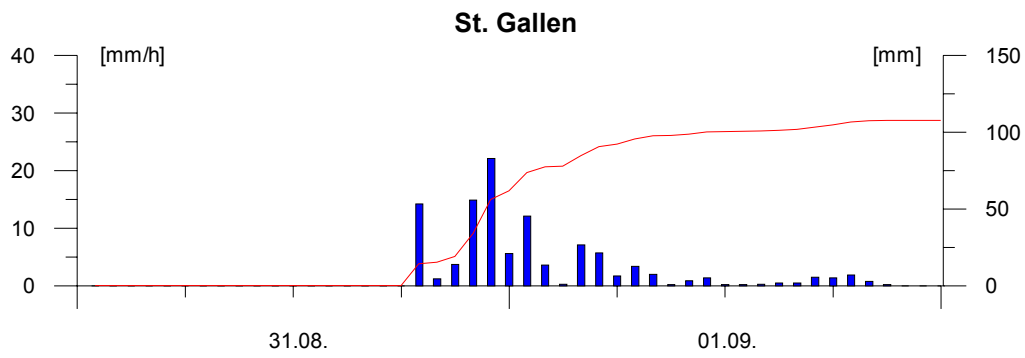
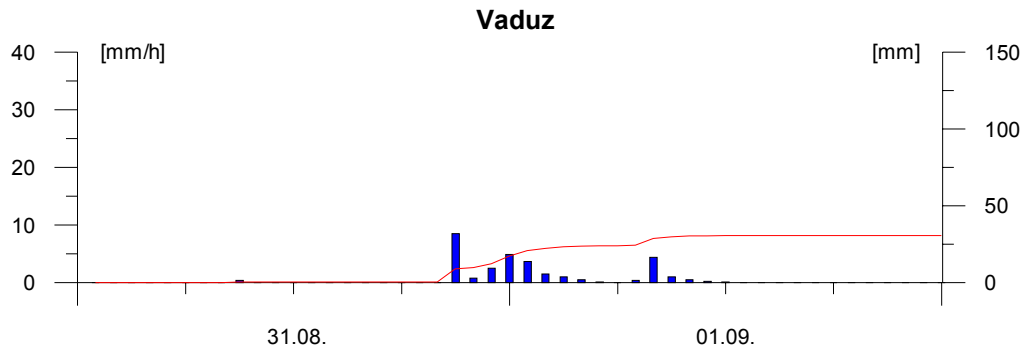


Abbildung 6: Tagesniederschläge im August 2002 bei den Stationen Eggen, Tanne-Wald, Mogelsberg und Teufen.

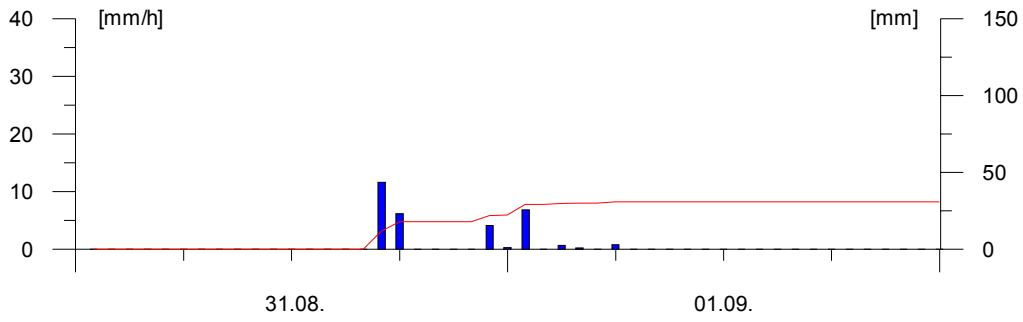
Legende zu den folgenden Seiten

Abbildung 7: Stündliche Niederschlagsintensität (Säulen) und kumulierter Niederschlag vom 31.08.-01.09.2002 für 18 Stationen im Untersuchungsgebiet und für einen Mittelwert über acht Stationen. Die Zeitangaben beziehen sich auf Weltzeit. Diese geht gegenüber der Mitteleuropäischen Sommerzeit um zwei Stunden nach (UTC = MESZ - 2 h).

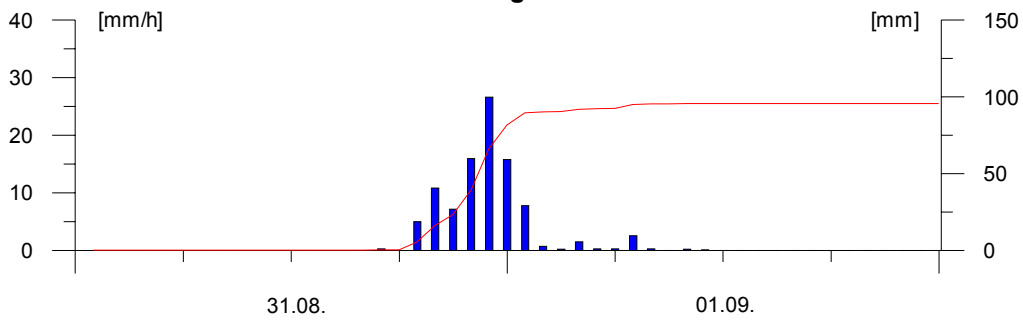
Altenrhein	S. 18
ARA Rosenbergsau	S. 19
Ebnit	S. 21
Eggersriet (AVA)	S. 19
Fallbach	S. 19
Heiden	S. 19
Ländernach	S. 20
Lustenau	S. 21
Nollen	S. 20
Rebstein	S. 20
Rietholzbach (Büel)	S. 20
Rorschach	S. 18
Säntis	S. 17
St. Gallen	S. 17
St. Margrethen	S. 18
Tänikon	S. 17
Thal	S. 18
Vaduz	S. 17
Mittel (8 Stationen)	S. 21



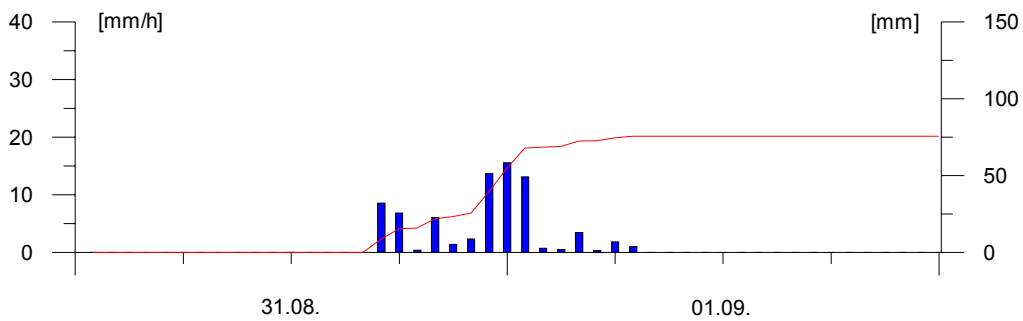
Altenrhein



St. Margrethen



Thal



Rorschach

