

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**

Die Niederschlagsverhältnisse beim Unwetter von November 2002 in der Schweiz

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

Weite Gebiete der Schweiz, namentlich in den Kantonen Graubünden, Tessin und Genf, waren Mitte November 2002 durch ein schweres Unwetter betroffen. Als Beitrag für die Ereignisanalyse werden im vorliegenden Bericht die Niederschlagsverhältnisse und der synoptisch-meteorologische Hintergrund dieses Unwetters untersucht und dokumentiert.

2. Datengrundlage

Die Auswertungen der Niederschlagsverhältnisse basieren auf Messungen von 435 Stationen der MeteoSchweiz (Tab. 1). Berücksichtigt sind somit alle Stationen aus dem Niederschlags-Messnetz der MeteoSchweiz, mit Ausnahme von Zervreila, Weissfluhjoch, Vättis, Gütsch, Isenthal, Grimsel-Hospiz, Visp, Cimetta und Corvatsch. Bei diesen Stationen deutet ein Vergleich mit den Messungen aus der Umgebung auf spürbare, teilweise windbedingte Messfehler hin. Von 63 der 435 Stationen existieren stündliche Messungen des Niederschlags.

In Tabelle 1 sind die Tagesniederschläge vom 13.-17.11.2002 zusammengestellt.

Tabelle 2 enthält die Stundenniederschläge vom 13.-17.11.2002. In der letzten Spalte steht der Mittelwert über die zehn Stationen Disentis, Hinterrhein, Davos-Dorf, Chur, Vaduz, Glarus, Altdorf, Piotta, Comprovasco und San Bernardino. Ziel dieses Mittelwertes ist es, eine Vorstellung vom mittleren Niederschlagsverhalten eines grösseren Gebietes mit Zentrum Vorderrheintal zu erhalten, wo die Unwetter zu bedeutenden Schäden führten. Die zehn Stationen befinden sich in einem Umkreis von 50 km um Ilanz. Sieben der Stationen liegen auf der Alpennordseite und drei knapp südlich des Alpenkammes.

Unten in Tabelle 2 sind die Niederschläge über 24 h, 12 h und 1 h aufgeführt. Beim Stundenniederschlag handelt es sich um das Maximum über die ganze betrachtete Periode. Bei den Intervallen von 24 h und 12 h wurden jene fixen Zeitfenster betrachtet, die im Mittel über die diskutierte Gruppe von zehn Stationen am niederschlagsreichsten waren. Diese fixen Zeitfenster haben folgende Grenzen:

24 h	15.11.2002, 20 UTC - 16.11.2002, 20 UTC,
12 h	16.11.2002, 08 UTC - 16.11.2002, 20 UTC,

wobei UTC die Weltzeit bezeichnet, die gegenüber der Mitteleuropäischen Winterzeit um eine Stunde nachgeht.

Um Aussagen über die Schneefallgrenze machen zu können, sind Temperaturdaten erforderlich. Sie wurden von den ANETZ-Stationen der MeteoSchweiz übernommen. Zudem wurden die Daten der Station Puzzetta beim Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) beschafft (Kontaktperson: Manfred Steiniger). Diese Station des IMIS-Messnetzes (Interkantonales Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung) liegt in der Nähe von Disentis auf 2195 m ü.M. Die Landeskoordinaten lauten 709.050 / 164.875.

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 13.11.2002 lag vor Westeuropa von Irland bis zum Golf von Biscaya ein grossräumiger Trog (Abb. 1 a). Auf seiner Ostseite stellte sich über dem Alpenraum eine Strömung aus dem Sektor West bis Südwest ein. Der Trog weitete sich ab 14.11.2002 über Nordspanien aus und blieb in dieser Form bis am 16.11.2002 bestehen (Abb. 1 b). Die Strömungsrichtung drehte dadurch in den Sektor Südwest bis Süd gegen die Alpensüdseite. Dieses Druck- und Strömungsmuster war vertikal in allen Niveaus bis über 9000 m ü.M. gleich. Die Strömungsgeschwindigkeit nahm von weniger als 20 km/h in Bodennähe bis gegen 180 km/h in gut 9000 m ü.M. zu.

Die für das Niederschlagsereignis massgebende Grenze zwischen der Kaltluft und der Warmluft im Trog wurde von Portugal (13.11.2002) nach Osten bewegt und lag vom 14. bis 16.11.2002 etwa parallel zur Höhenströmung über dem Schweizer Alpenraum. In der Bodenkarte wird die Luftmassengrenze als Frontlinie markiert (Abb. 1 b). Die Position der Front war für die Lage und die Ausrichtung des Niederschlagsfeldes im späteren Schadensgebiet bestimmend. Die eingetretene Situation ist für Starkniederschläge in der Region vom Grand St. Bernard bis ins Engadin typisch (GREBNER & ROESCH 1998, GREBNER ET AL. 1999). Das Temperaturgefälle quer zur Front ist für die Niederschlagsleistung entscheidend.

Während dieses grossräumigen Verteilungszustandes von Druck, Temperatur und Strömung traten an der Front kleinräumige Tiefdruckzentren auf. Diese sogenannten Wellen wanderten der Front entlang von Südspanien nach Nordosten. Ihre Wanderung über den Alpenraum hinweg drückt sich jeweils durch eine Zunahme der Niederschläge aus (Kap. 5).

Das Niederschlagsende trat bei den meisten Stationen rasch ein, nachdem eine ab 16.11.2002 nach Nordosten durchziehende Welle sich zum Tief weiterentwickelt hatte. Von dem Zeitpunkt an, wo sich das Tief auf seiner Bahn nördlich der Alpen befand, wurde auf seiner Südseite die Kaltluft weiter nach Osten vorgeschoben (Abb. 1 c). Dadurch rückte am 16.11.2002 auch die südliche Strömung vom Schadensgebiet nach Osten ab. Gleichzeitig entstand am Gebirgshang der Nordostschweiz für einige Stunden eine Stauströmung.

Der beschriebene Grundzustand der Druck- und Strömungsverteilung tritt des öfteren auf. Die bereits als typisch bezeichnete Lage und Form des Niederschlagsfeldes ist stark mit der Richtung der Strömungsachse, deren Position über den Alpen und dem vertikalen Strömungsprofil korreliert.

Eine Besonderheit des Ereignisses war die Dauer hoher Niederschlagsintensitäten von annähernd drei Tagen (Kap. 5). Vergleichbare und sehr wirkungsvolle Fälle in der Vergangenheit dauerten meistens weniger als 40 Stunden. Die lange Ereignisdauer drückt sich auch in der Wiederkehrperiode des Gesamtniederschlags aus (Kap. 7).

Das Auftreten der erwähnten Wellen an der Front und deren Konsequenzen sind von Ereignis zu Ereignis verschieden.

4. Räumliche Verteilung des Niederschlags

Ausgehend von den Daten in Tabelle 1, wurden Karten des Tagesniederschlags vom 14., 15. und 16.11.2002 erstellt (Abb. 2 bis Abb. 4) sowie eine Karte der Niederschlagssumme über diese drei Tage (Abb. 5).

Die räumliche Niederschlagsverteilung der drei Tage, vom 14. bis 16.11.2002, zeigt in der Schweiz eine annähernd vollständige Überregnung mit zwei Schwerpunkten, allerdings von unterschiedlicher Dauer. Am 14.11.2002 erstreckte sich eine sekundäre Niederschlagszone von Genf über den Jura bis nach Basel (Abb. 2). Sie war die Folge der von West nach Ost durchziehenden Front (Kap. 3). Die Ursache für das Zentrum, das sich bei Genf abzeichnete, ist in der individuellen zeitlich-räumlichen Dynamik der Front zu vermuten. Im Lee des Jura und vor allem der Alpen ergab sich in der südwest- bis südlichen Strömung der Atmosphäre vom unteren Wallis bis zum Bodensee eine Zone mit vergleichsweise geringen Tagessummen unter 25 mm.

Das Hauptmaximum des Ereignisses trat auf der Alpensüdseite auf und hielt mit annähernd gleichbleibendem Intensitätsniveau vom 14. bis 16.11.2002 an. Massgebend dafür waren die Strömungs- und die Temperaturverteilung der Atmosphäre (Kap. 3). Das Zentrum lag an allen drei Tagen im westlichen Tessin (Abb. 2 bis Abb. 4). Von dort war die Achse des Niederschlagsfeldes nach Nordost gerichtet. Die Starkniederschläge griffen an allen 3 Tagen auf eine kammnahe Zone vom Grand St. Bernard bis zum oberen Wallis und entsprechend der Strömungsrichtung der Atmosphäre vor allem auch auf das Engadin und das Puschlav über. Dies ist ein typisches Verteilungsmuster, wie die Analyse von über 50 Vergleichsfällen zeigte (GREBNER & ROESCH 1998, GREBNER ET AL. 1999).

Am 14. und 15.11.2002 reichte das von Süden generierte Niederschlagsfeld etwa bis zum Alpennordrand (Abb. 2 und Abb. 3). Unter anderen Schichtungsbedingungen der Atmosphäre können sich derartige Niederschlagsfelder bis zum Bodensee erstrecken. Vom intensivsten Teil war ausser der Alpensüdseite besonders das inneralpine Gebiet des Hinter- und Vorderrheins betroffen.

Nach nur geringen Änderungen in der Struktur der räumlichen Niederschlagsverteilung an den beiden ersten Tagen, dehnte sich das Feld am 16.11.2002 deutlich weiter auf die Alpennordseite sowie auch ins obere Wallis aus (Abb. 4). Die Lage des Zentrums blieb aber gleich. Die Feldänderung wurde durch die in Kapitel 3 erwähnte Entwicklung einer frontalen Welle am 16.11.2002 zum Tief und dessen Wanderung nach Nordosten verursacht.

Für die Alpensüdseite sind die beobachteten Niederschläge der einzelnen Tage kaum spektakulär. Durch die Dauer über fast drei ganze Tage war die Gesamtsumme jedoch auch für dortige Verhältnisse bereits beachtlich. Sie lag aber deutlich unter der Niederschlagsleistung des Ereignisses vom Oktober 2000 (BWG 2002).

Als besonders betroffen ist das Gebiet Hinterrhein zu bezeichnen. Bereits die täglichen Niederschläge ohne Unterbrechung mit jeweils deutlich über 100 mm waren sehr intensiv. Der Seltenheitsgrad nimmt mit betrachteter Dauer zu (Kap. 7). Die über drei Tage erreichten Mengen von nahezu 500 mm sind für dieses Gebiet extrem.

Eine Zunge des Niederschlagsfeldes erstreckte sich auch ins Vorderrheintal. Die absoluten Niederschlagsmengen nahmen zwar gegen Norden ab, doch für das Vorderrheintal waren die beobachteten Niederschläge über die drei Tage mit bis fast 300 mm ebenfalls extrem (Abb. 5).

Im Raum Genf erreichten die stärksten beobachteten Tagesniederschläge gegen 100 mm. Dies ist, bezogen auf die dortigen Verhältnisse, ebenfalls erheblich, aber durch die nur eintägige Dauer insgesamt nicht zu vergleichen mit den Verhältnissen im Raum Hinterrhein und Vorderrhein sowie auf der Alpensüdseite.

Die grossen Linien der Niederschlagsverteilung in den Abbildungen 2 bis 5 dürfen als gesichert gelten. Natürlich können lokale Abweichungen überlagert sein, doch sind diese im vorliegenden Fall besonders auf der Alpennordseite deutlich weniger kritisch als bei Gewittern und anderen Starkniederschlägen, bei denen ausgeprägte kleinräumige Schauerzellen vorkommen.

Die Karten des Tagesniederschlags in den Abbildungen 2 bis 4 beziehen sich auf die Messungen, die jeweils um 6 UTC des Folgetages durchgeführt werden. Durch diese sogenannt kalendarischen Messungen wird im allgemeinen nicht das niederschlagsreichste 24-stündige Intervall getroffen. Dieses Intervall wurde deshalb zusätzlich untersucht. Ebenfalls behandelt wurde noch das niederschlagsreichste 12-stündige Intervall.

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. Ausgewählt wurden jene Zeitfenster, die für das Hauptschadensgebiet im Vorderrheintal am niederschlagsreichsten waren. Für die Intervalle von 24 h und 12 h sind dies nach Kapitel 2 die folgenden:

24 h	15.11.2002, 20 UTC - 16.11.2002, 20 UTC
12 h	16.11.2002, 08 UTC - 16.11.2002, 20 UTC

Bei den Stationen, von denen keine stündlichen Messungen existieren, muss der 24-stündige und 12-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.

In den Abbildungen 6 und 7 finden sich die resultierenden Karten des 24-stündigen und des 12-stündigen Niederschlags. Die Grundzüge der Niederschlagsverteilung sind gleich wie in den Abbildungen 2 bis 5. Der Hauptunterschied besteht darin, dass beim 24-stündigen und 12-stündigen Niederschlag die Zunge des Niederschlagsfeldes breiter ist und weiter nach Norden übergreift. Obwohl sich die Niederschlagsdauer in den beiden Karten unterscheidet, reicht die Isohyete von 50 mm beim 24-stündigen und 12-stündigen Niederschlag nahezu gleich weit nach Norden, nämlich etwa bis Sargans. Dies zeigt, dass die Starkniederschläge in den nördlichen Gebieten relativ kurz dauerten.

5. Zeitliche Verteilung des Niederschlags

Die Vorperiode war in den Kantonen Graubünden, Tessin und Genf ab 26.10.2002 zunächst annähernd niederschlagsfrei. Im Tessin blieb es auch danach niederschlagsarm. In den Schadensgebieten auf der Alpennordseite hingegen stellte sich vom 2. bis 11.11.2002 eine weitgehend regnerische Phase ein, besonders im Vorderrheintal und im Raum Genf (Abb. 8). Bedingt durch das wolkige Wetter und die fortgeschrittene Jahreszeit war dort überdies die Verdunstung unbedeutend, so dass die Vorbelastung der Böden bis zum Ereignis als relativ hoch einzustufen ist. Dies belegen auch die Abflüsse zu Beginn des 14.11.2002.

Die Niederschläge des Ereignisses selbst begannen in der gesamten Schweiz am 14.11.2002 mit meist nur geringen zeitlichen Unterschieden – im Raum Genf, auf der Alpensüdseite und in den östlichen inneralpinen Zonen etwa um 7 UTC, in den weniger betroffenen Gebieten spätestens gegen Mittag (Abb. 9).

Wie die hochauflösenden Messungen der ANETZ-Stationen zeigen, verliefen die stündlichen Intensitäten in periodischen Schwankungen von etwa 12 Stunden und mit ebenfalls nur geringen zeitlichen Unterschieden von Ort zu Ort (Abb. 9). Die Niederschlagsschübe waren die Folge der im Kapitel über die Wetterentwicklung beschriebenen Aktivitätsschwankungen an der Front bzw. in der sogenannten Frontalzone (Kap. 3).

Die sich zum Tief entwickelnde frontale Welle am 16.11.2002 erzeugte ein nochmaliges Niederschlagsmaximum in der gesamten Schweiz. Ihm folgte in den östlichen Landesteilen durch die nach Osten abziehende Kaltfront abschliessend eine kurze Intensitätsspitze und danach das erwähnte rasche Ende des Niederschlags (Kap. 3). Der letzte wirbelbezogene Niederschlagsschub bewirkte ungefähr vom Alpenkamm an nordwärts, dass das Niederschlagsmaximum am Ereignisende auftrat (Abb. 9). Diese Position des Niederschlagsmaximums begünstigt bekanntlich die Entstehung von Unwetterschäden, weil die Starkniederschläge auf sehr feuchte Böden treffen, die kaum mehr zusätzliches Wasser zu speichern vermögen.

Abgesehen von den erwähnten, fast regelmässigen Schwankungen zeigten die stündlichen Intensitäten einen verhältnismässig glatten Verlauf. Im Hinterrheingebiet lagen die Intensitäten in den starken Phasen um 10 mm/h. Im Vorderrheingebiet wurden solche Werte am 16.11.2002 erreicht. Davor lagen die Intensitäten um 5 mm/h. In Richtung Norden nahmen sie bei qualitativ gleichem Verlauf systematisch ab (Abb. 9).

Auf der Alpensüdseite lagen die grössten Intensitäten erwartungsgemäss etwas höher, bis rund 15 mm/h. Zum Niederschlagszentrum hin waren auch die Schwankungen von Stunde zu Stunde höher, aber im Vergleich zu vergangenen Ereignissen nicht aussergewöhnlich.

Oft verbergen sich hinter stündlichen Niederschlagssummen kurzzeitig und kleinräumig sehr hohe Intensitätsspots, die am betroffenen Ort eine hohe Abfluss- und Schadenswirkungen haben können. Im vorliegenden Ereignis lassen die verfügbaren kalendarisch

10-minütigen Registrierungen kaum auf extreme Zustände dieser Art schliessen. Allerdings stösst das Messnetz dabei an seine Informationsgrenze, und die räumliche Interpolation ist nicht in der Lage, reale Intensitätsspots an nicht gemessenen Orten zu ermitteln. Aufgrund des übereinstimmenden Gesamtbildes aus den Niederschlagsmessungen sowie den atmosphärischen Eigenschaften erscheinen lokal schwerwiegende Abweichungen vom gemessenen Intensitätscharakter nicht wahrscheinlich. Die Bedeutung des Ereignisses in den inner- und auch südalpinen Gebieten wird deshalb primär in der langen Dauer mit durchgehend beachtlichen Intensitäten gesehen. Im Raum Genf ist der Periode vor dem beachtlichen eintägigen Niederschlag ein erhebliches Gewicht beizumessen.

6. Schneefallgrenze

Massgebend für die Schneefallgrenze ist das vertikale Temperaturprofil in der freien Atmosphäre. Näherungsweise lässt sich die Schneefallgrenze allerdings auch aus Temperaturmessungen an Bodenstationen ableiten. Nach diesen Messungen befand sich die Nullgradgrenze während dem Ereignis auf rund 2000-2200 m ü.M. (Abb. 10). Die Schneefallgrenze liegt - je nach Ereignis - etwa 200-500 m unter der Nullgradgrenze. Beim Unwetter von November 2002 fiel somit der Niederschlag auf weiten Flächen der Alpen als Schnee und lieferte kein Wasser für den Ereignisabfluss. Wenn der beobachtete Niederschlag bei höheren Temperaturen aufgetreten, d.h. bis in hohe Lagen in Form von Regen gefallen wäre, dann hätte man mit massiv grösseren Schäden rechnen müssen. Umgekehrt hätten tiefere Temperaturen zu Schnee bis in tiefere Lagen und zu geringeren Schäden geführt.

7. Wiederkehrperiode

Eine detaillierte Analyse der Wiederkehrperioden gehört nicht zu den Zielsetzungen des vorliegenden Berichtes. Um dennoch eine Vorstellung von den Grössenordnungen zu vermitteln, wurden exemplarisch die Wiederkehrperioden für die Intervalle von 24 h und 48 h an sechs Stationen untersucht. Je zwei dieser Stationen liegen in den Kantonen Graubünden, Tessin und Genf, die vom Unwetter am stärksten betroffen waren.

Die Niederschlagssummen der niederschlagsreichsten 24 h und 48 h sowie die zugehörigen Wiederkehrperioden nach ZELLER ET AL. (1976, 1980) und RÖTHLISBERGER ET AL. (1991) belaufen sich für die sechs Stationen auf:

Station	Niederschlag		Wiederkehrperiode	
	24 h [mm]	48 h [mm]	24 h [a]	48 h [a]
Disentis	148	243	70	>500
Hinterrhein	203	386	150	>500
Comprovasco	147	247	45	200
Locarno-Monti	170	277	5	15
Jussy	82	86	40	10
Genève	93	99	100	20

Nach diesen Abschätzungen hatte der 24-stündige Niederschlag in den Hauptniederschlagsgebieten des Kantons Graubünden Wiederkehrperioden im Bereich von 70-150 Jahren. Im Kanton Tessin ergaben sich geringere Wiederkehrperioden im Bereich von 5-45 Jahren, obwohl die Niederschlagssummen in der gleichen Grössenordnung lagen wie bei den beiden Vergleichsstationen im Kanton Graubünden. Der Unterschied widerspiegelt die bekannte Tatsache, dass Starkniederschläge auf der Alpensüdseite häufiger sind als nördlich des Alpenkammes. Der Unterschied zwischen Comprovasco und Locarno-Monti weist ausserdem darauf hin, dass auch innerhalb des Kantons Tessin ein Gradient besteht, mit abnehmender Häufigkeit der Starkniederschläge vom Raum Locarno in Richtung Alpenkamm. In der Region Genf war der 24-stündige Niederschlag deutlich geringer als in den Kantonen Graubünden und Tessin, entsprach aber Wiederkehrperioden von beachtlichen 40-100 Jahren.

Ein Vergleich zwischen den Wiederkehrperioden für die Intervalle von 24 h und 48 h zeigt, dass in den Kantonen Graubünden und Tessin die Seltenheit des Ereignisses für Intervalle über 24 h markant zunahm. Für Disentis und Hinterrhein ergaben sich für den 48-stündigen Niederschlag Wiederkehrperioden von über 500 Jahren. Auch in Comprovasco war die Wiederkehrperiode mit 200 Jahren sehr gross, während der Wert von 15 Jahren in Locarno-Monti belegt, dass dort langandauernde Starkniederschläge nicht aussergewöhnlich sind. Im Kanton Genf hielt der Starkniederschlag lediglich einen Tag an, weshalb die Wiederkehrperioden für längere Intervalle nicht relevant sind.

Wie diese Ergebnisse bestätigen, lag die Besonderheit des Unwetters von Mitte November 2002 im Kanton Graubünden und den nördlichen Gebieten des Kantons Tessin in der langen Dauer mit durchgehend hohen Niederschlagsintensitäten. Die Bedeutung dieser Aussage wird noch dadurch unterstrichen, dass die Starkniederschläge nicht bloss zwei, sondern rund drei Tage andauerten, aber schon für das Intervall von 48 h zu Wiederkehrperioden von mehreren hundert Jahren führten. Leider existieren keine Frequenzanalysen für 72 h, um auch die Seltenheit für das Gesamtereignis untersuchen zu können.

Zu den ermittelten Wiederkehrperioden müssen zwei Bemerkungen angebracht werden:

Erstens ist festzuhalten, dass sich die verwendeten Auswertungen von ZELLER ET AL. (1976, 1980) und RÖTHLISBERGER ET AL. (1991) im wesentlichen auf Messreihen aus der Periode 1901-1970 stützen. In den letzten Jahrzehnten sind jedoch Starkniederschläge gehäufter aufgetreten, was einen Einfluss auf die Frequenzanalysen hat. Es ist deshalb anzunehmen, dass man mit den Messreihen aus der Periode 1901-1970 die Häufigkeit von Starkniederschlägen systematisch unterschätzt.

Zweitens ist zu berücksichtigen, dass Mitte November 2002 der Niederschlag in den höheren Lagen als Schnee fiel und daher nicht direkt zur Hochwasserbildung beitragen konnte (Kap. 6). In den Einzugsgebieten, die bis in hohe Lagen hinaufreichen, war somit das Ausmass der Schäden deutlich geringer als es den extremen Wiederkehrperioden der Starkniederschläge entspricht. In anderen Worten liefern die abgeschätzten Wiederkehrperioden zwar eine Vorstellung von der Seltenheit der Starkniederschläge, erlauben aber nur beschränkte Rückschlüsse auf deren hydrologische Auswirkungen.

8. Literatur

BWG (2002): Hochwasser 2000 - Les crues 2000. - Berichte des BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie), Serie Wasser, Nr. 2, Bern.

GREBNER, D. & ROESCH, T. (1998): Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte in der Schweiz, Schlussbericht NFP 31. - vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich.

GREBNER, D., ROESCH, T. & SCHWARB, M. (1999): Extreme Gebietsniederschläge unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1981-1993. In: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 2.5. - Landeshydrologie und -geologie, Bern.

RÖTHLISBERGER, G., GEIGER, H. & ZELLER, J. (1991): Starkniederschläge im Schweizer Mittelland und Jura, Bd. 8 (Genf, Neuenburg, Jura, Basel-Land, Basel-Stadt, Solothurn, Nördliche Teile von Waadt, Freiburg, Bern). - Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf.

ZELLER, J., GEIGER, H. & RÖTHLISBERGER, G. (1976): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 1 (Kanton Graubünden). - Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf.

ZELLER, J., GEIGER, H. & RÖTHLISBERGER, G. (1980): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes, Bd. 5 (Wallis / Tessin). - 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

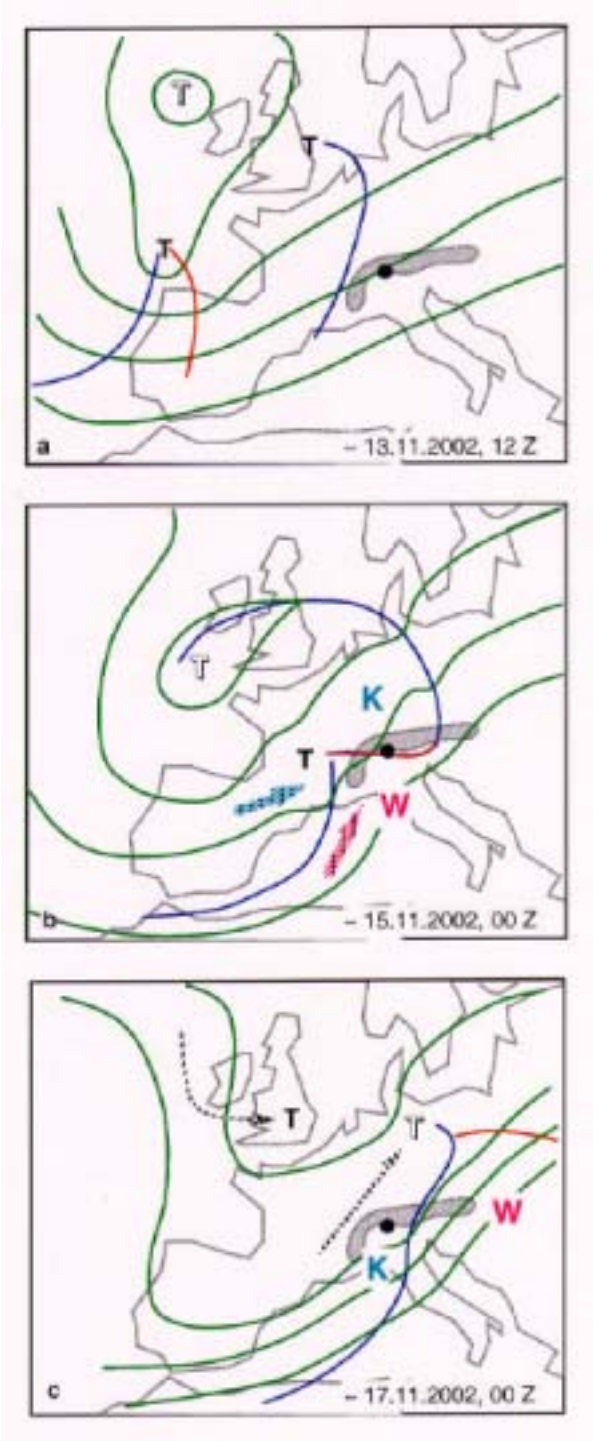


Abbildung 1: Schematisierte Druck- und Strömungszustände über Europa (a) vor dem Ereignis am 13.11.2002, näherungsweise um 12 UTC; (b) während des Ereignisses; (c) beim Abbruch der Niederschläge am 17.11.2002, näherungsweise 00 UTC. Grün: qualitativ dargestellte Isobaren; blau: Kaltluft und Kaltfront; rot: Warmluft und Warmfront; Pfeile: Bewegungs- und Verlagerungsrichtung. Gerastert: Alpenbogen näherungsweise oberhalb von 1000 m ü.M.

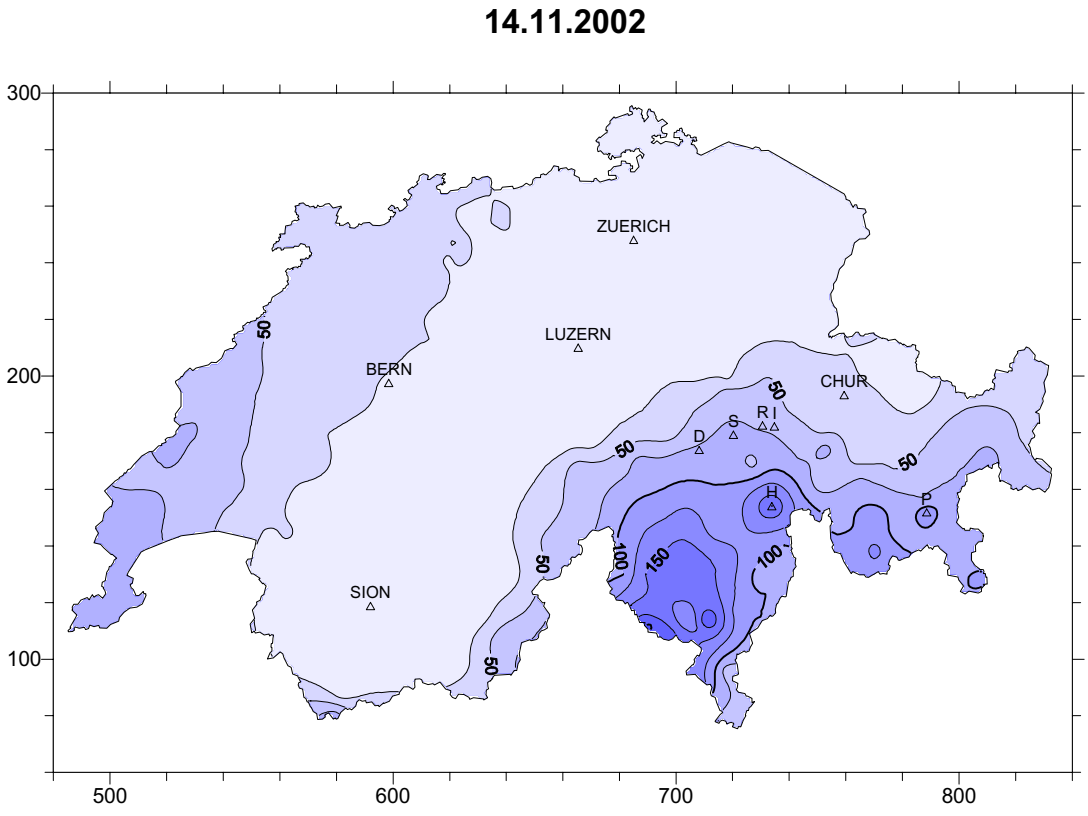


Abbildung 2: Karte des Tagesniederschlags vom 14.11.2002 (von 6 UTC bis 6 UTC am Folgetag). Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

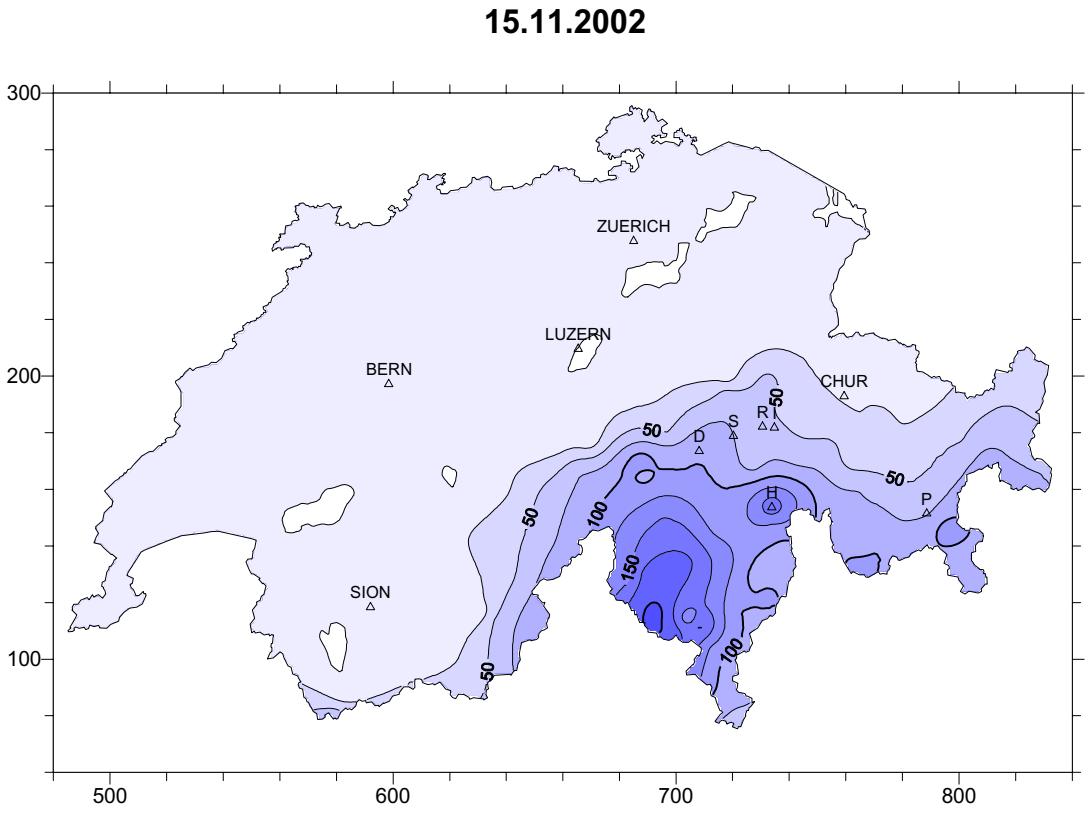


Abbildung 3: Karte des Tagesniederschlags vom 15.11.2002 (von 6 UTC bis 6 UTC am Folgetag). Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

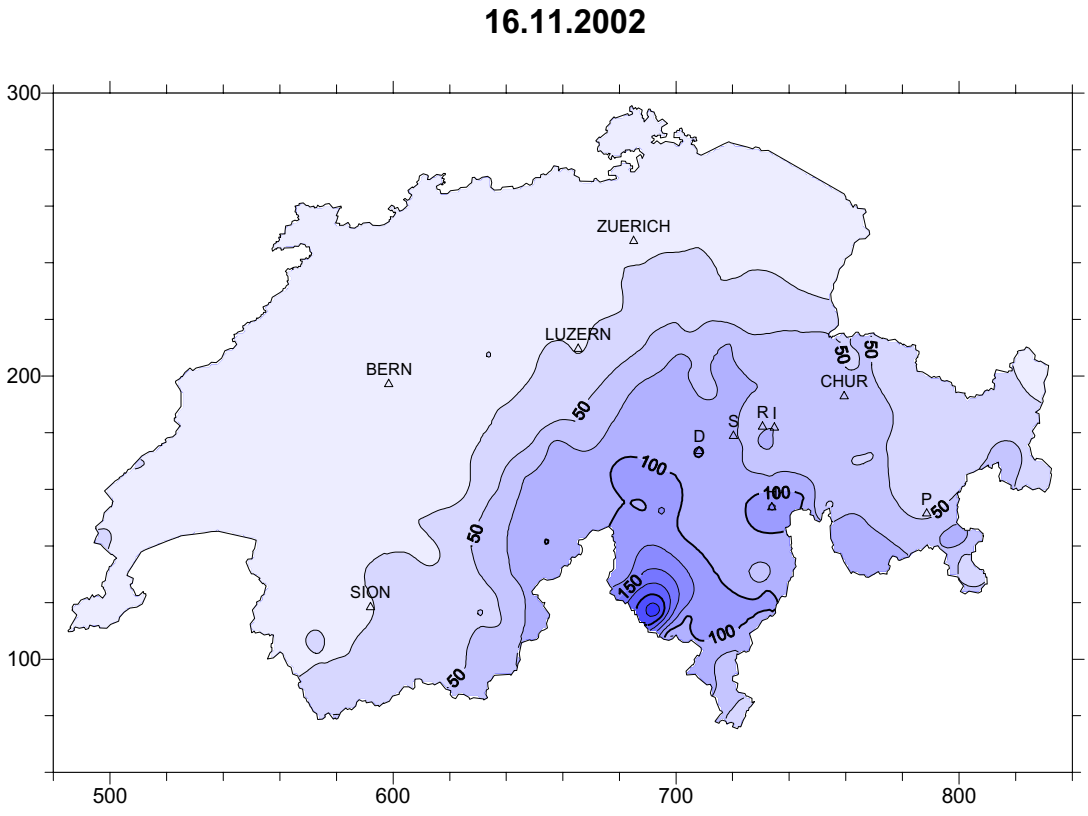


Abbildung 4: Karte des Tagesniederschlags vom 16.11.2002 (von 6 UTC bis 6 UTC am Folgetag). Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

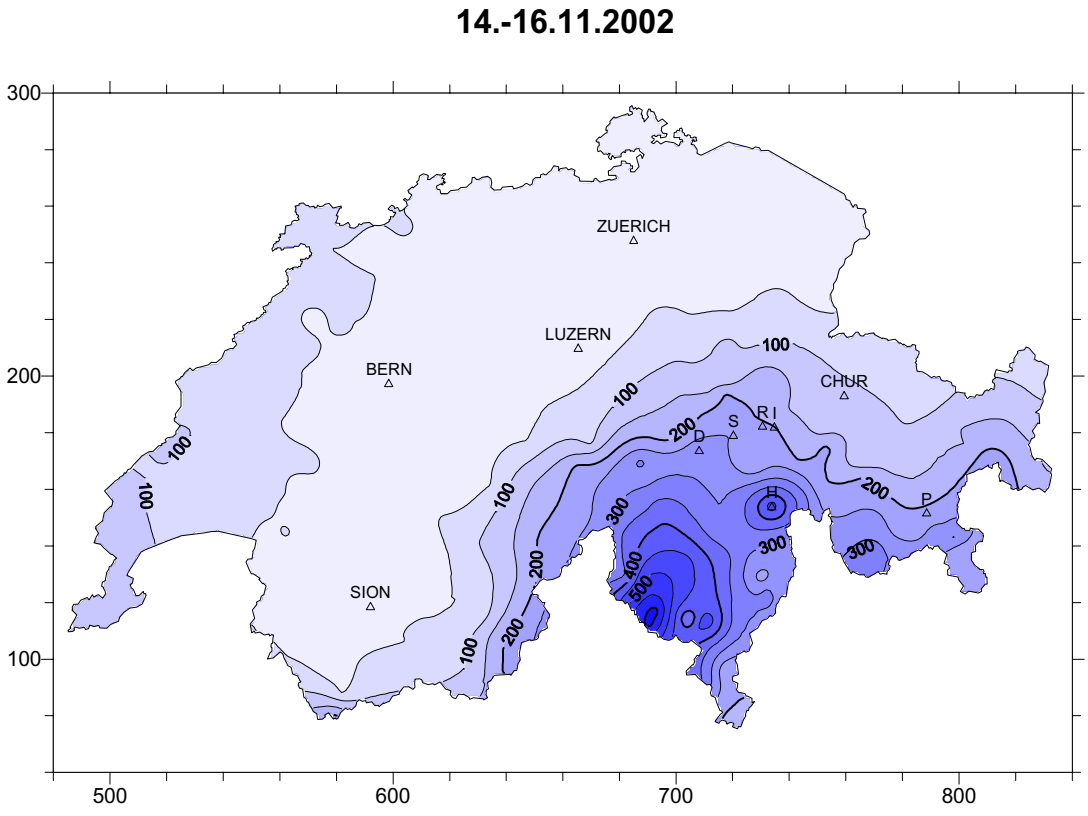


Abbildung 5: Karte des 3-tägigen Niederschlags vom 14.-16.11.2002 (d.h. vom 14.11.2002, 06 UTC bis 17.11.2002 , 06 UTC). Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

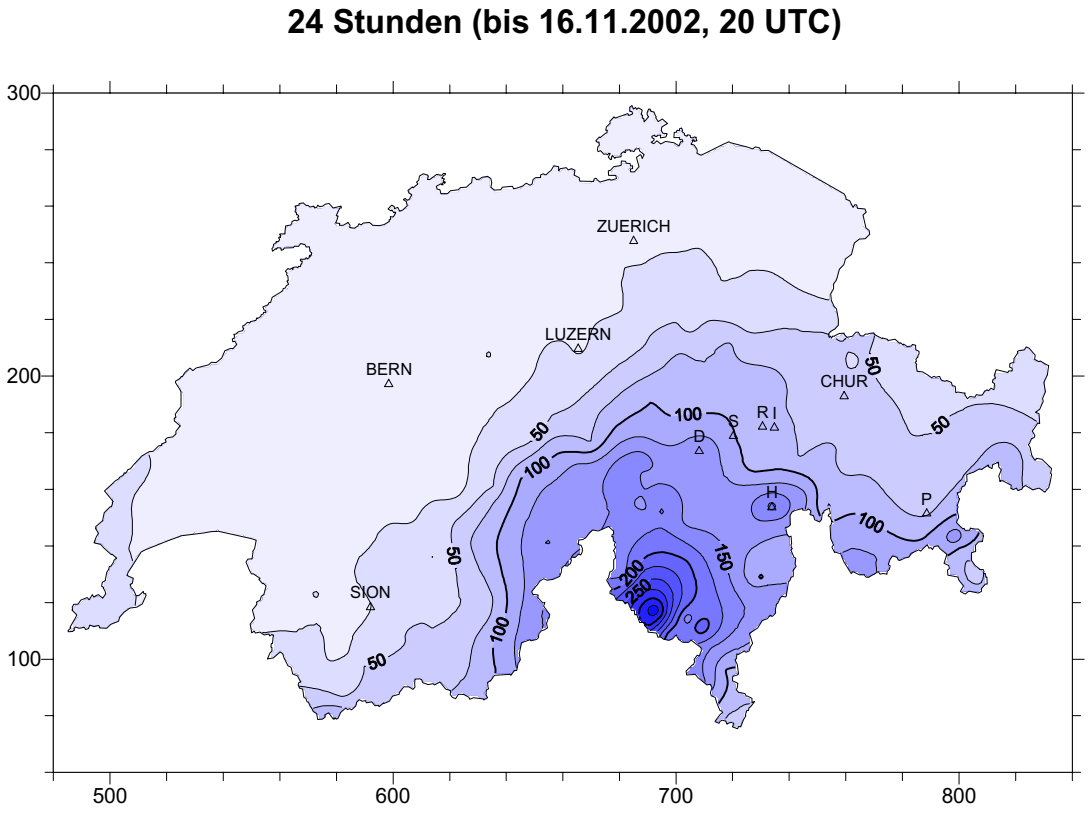


Abbildung 6: Karte des 24-stündigen Niederschlags vom 15.11.2002, 20 UTC bis 16.11.2002, 20 UTC. Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

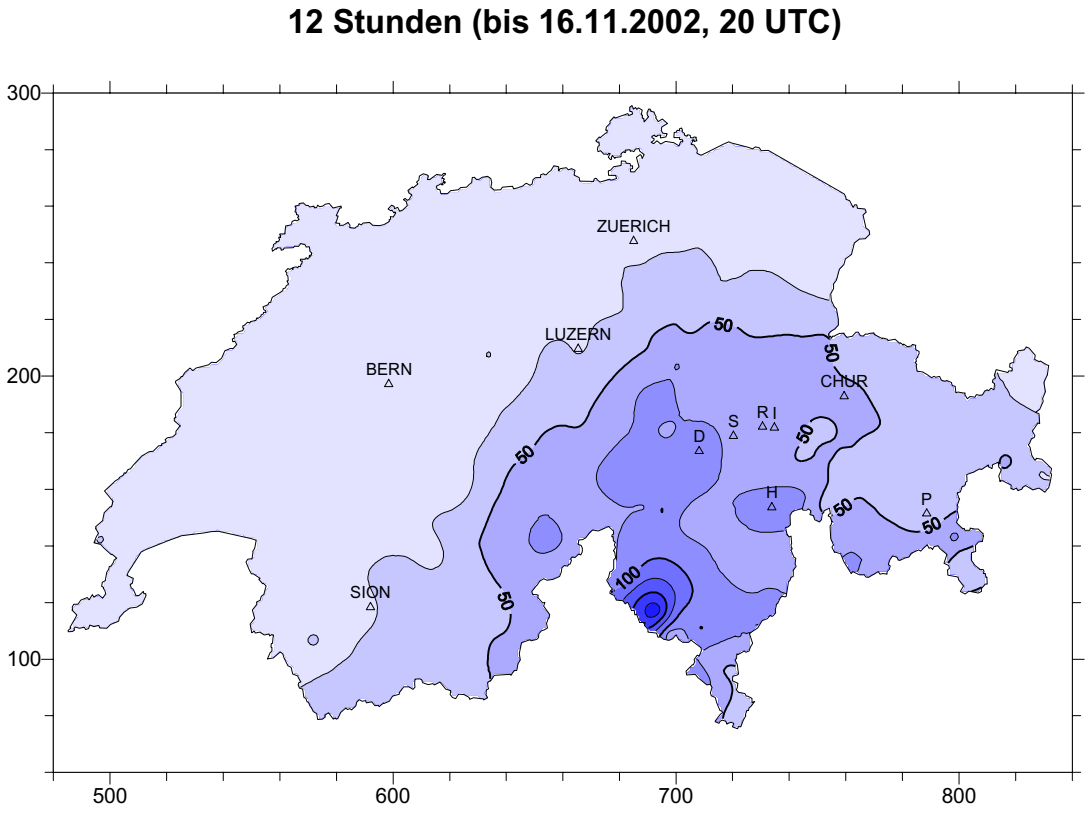
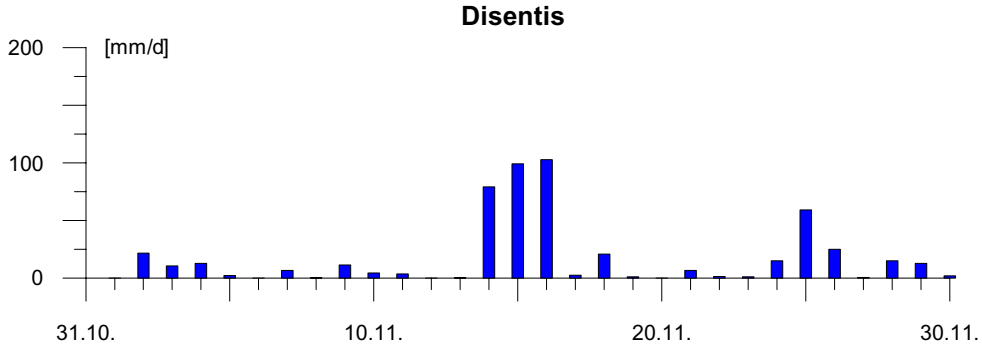


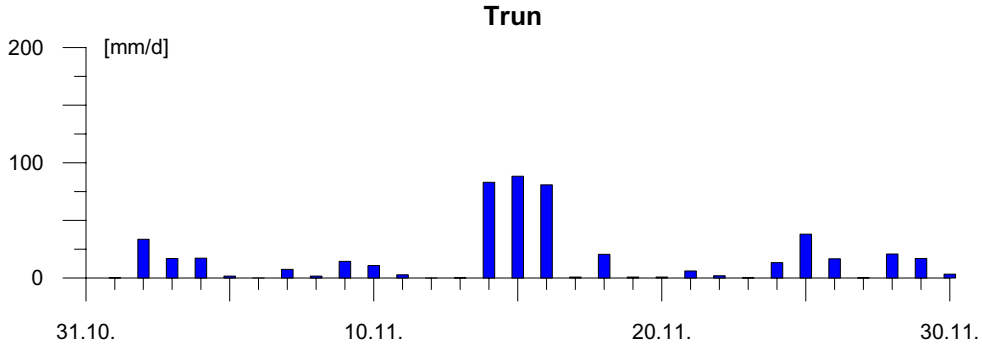
Abbildung 7: Karte des 12-stündigen Niederschlags vom 16.11.2002, 08 UTC bis 16.11.2002, 20 UTC. Die Abkürzungen bedeuten: D = Disentis, H = Hinterrhein, I = Ilanz, P = Pontresina, R = Rueun und S = Schlans.

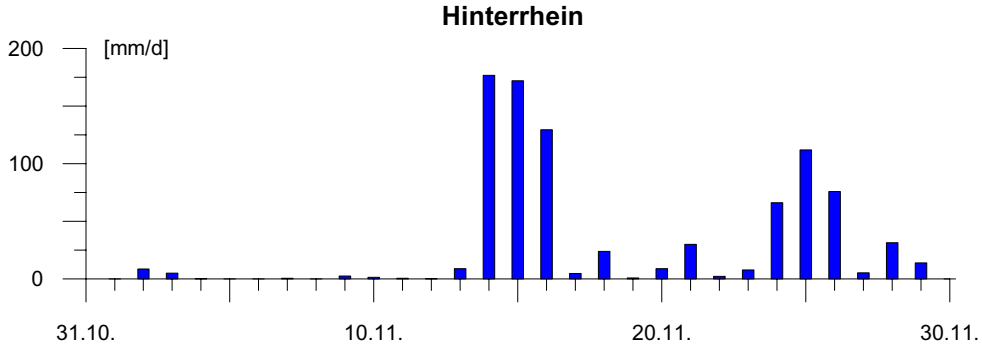
Legende zu den folgenden Seiten

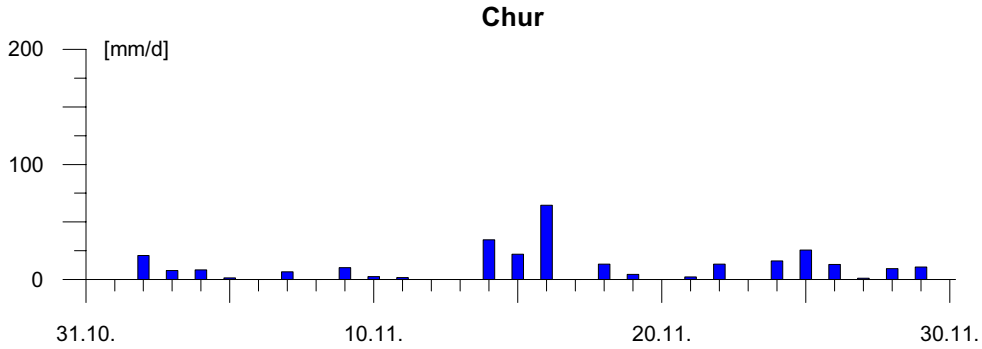
Abbildung 8: Tagesniederschläge im November 2002 bei je vier Stationen in den Kantonen Graubünden, Genf und Tessin.

Chur	S. 18
Comprovasco	S. 20
Disentis	S. 18
Genève-Aire	S. 19
Genève-Cointrin	S. 19
Hinterrhein	S. 18
Jussy	S. 19
La Croix-de-Rozon	S. 19
Magadino	S. 20
Piotta	S. 20
Robiei	S. 20
Trun	S. 18

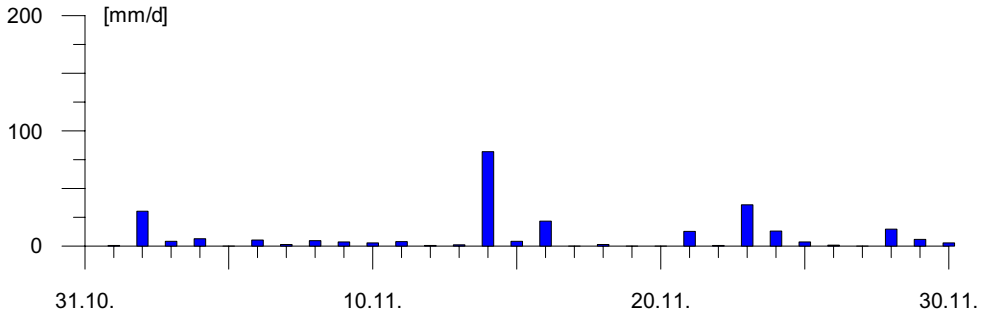

Disentis
200
[mm/d]
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.


Trun
200
[mm/d]
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.

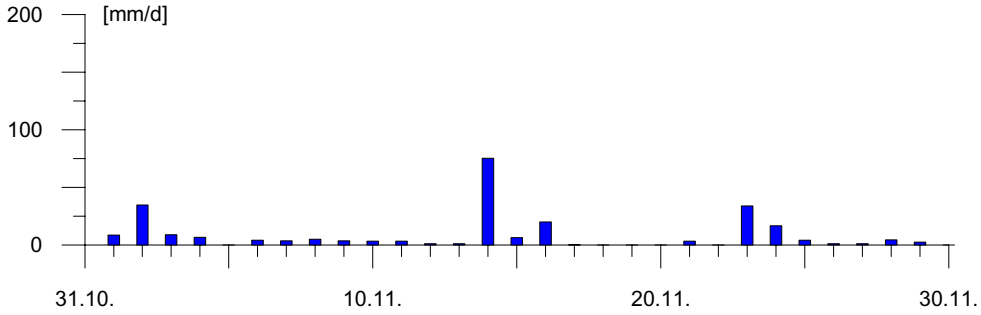

Hinterrhein
200
[mm/d]
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.


Chur
200
[mm/d]
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.

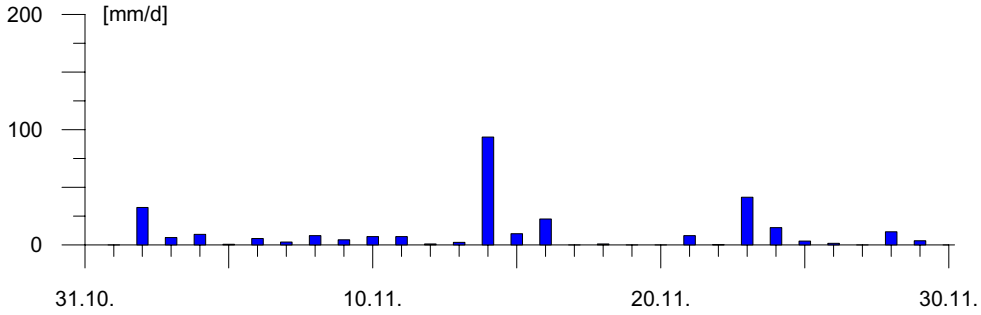
Jussy



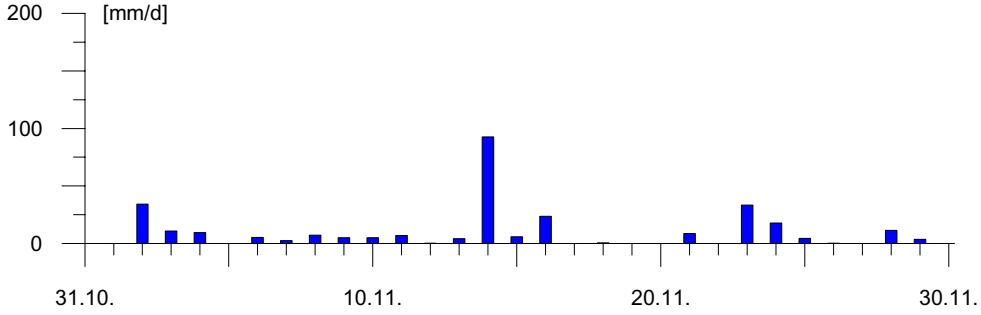
La Croix-de-Rozon

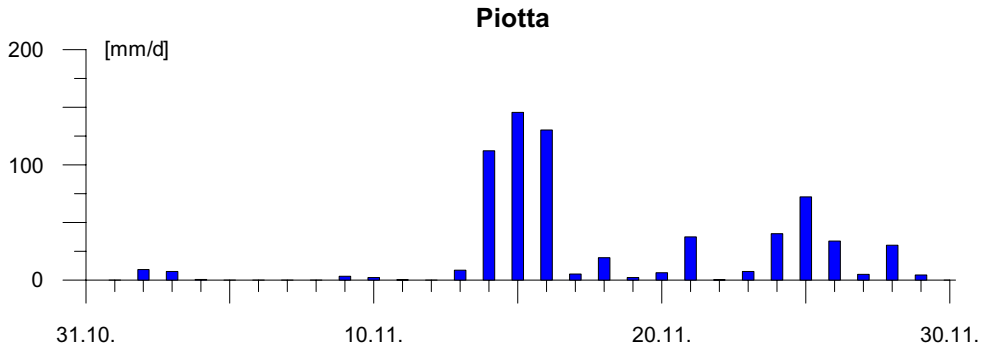


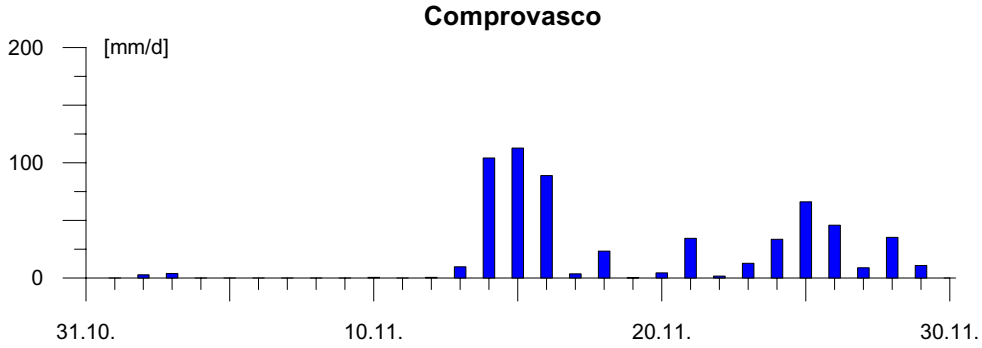
Genève-Aire

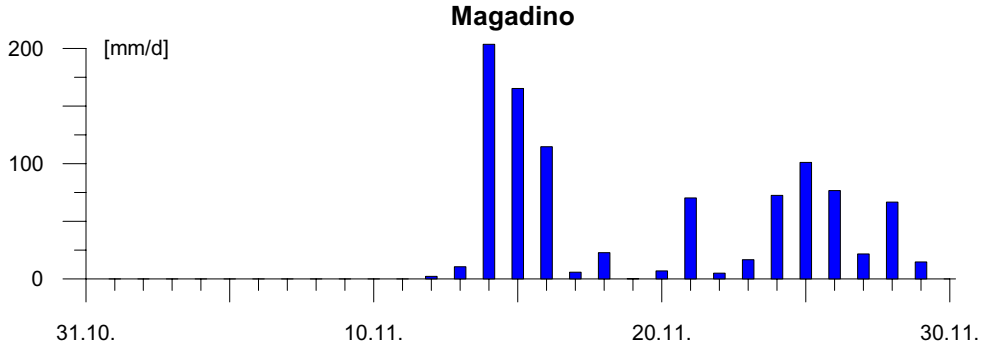


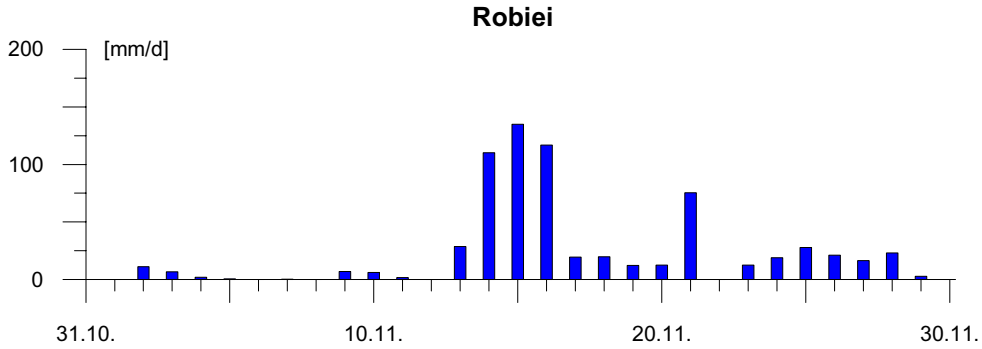
Genève-Cointrin




Piotta
[mm/d]
200
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.


Comprovasco
[mm/d]
200
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.

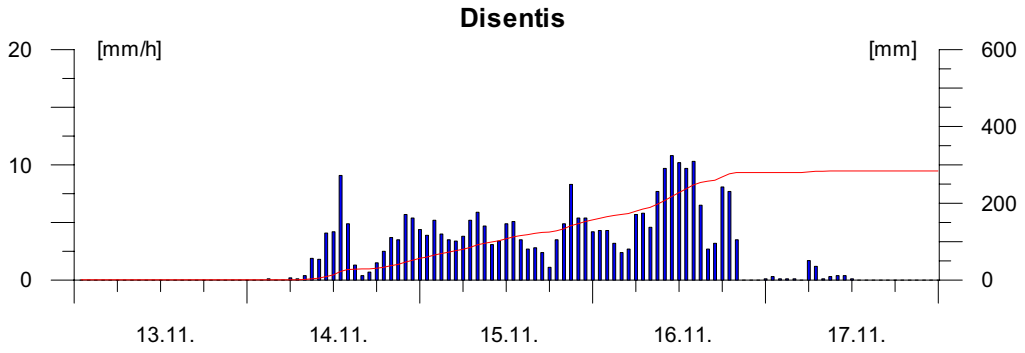

Magadino
[mm/d]
200
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.

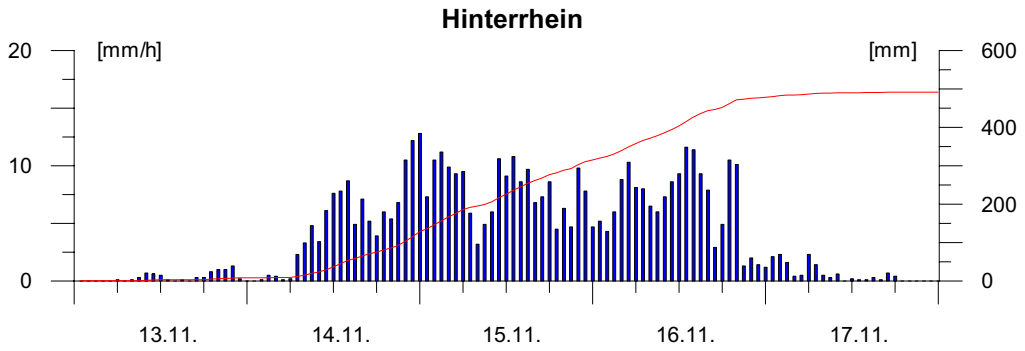

Robiei
[mm/d]
200
100
0
31.10.
10.11.
20.11.
30.11.

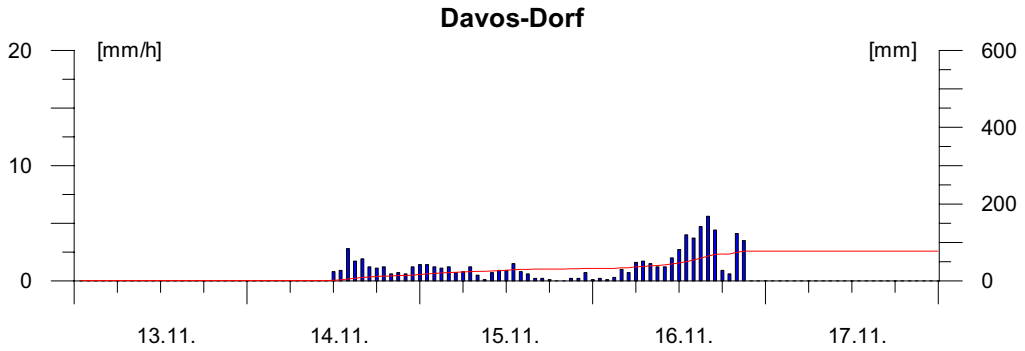
Legende zu den folgenden Seiten

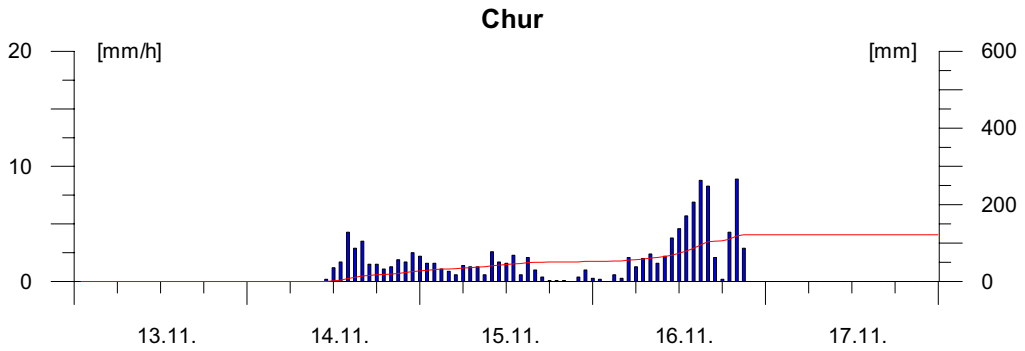
Abbildung 9: Stündliche Niederschlagsintensität (Säulen) und kumulierter Niederschlag vom 13.-17.11.2002 für 19 Stationen und für einen Mittelwert über zehn Stationen. Die Stationen sind auf wie folgt gruppiert: 1) Kanton Graubünden nördlich des Alpenkamms, 2) weitere Gebiete nördlich des Alpenkamms, 3) Kanton Genf und Umgebung, 4) Alpensüdseite und Mittelwert. Die Zeitangaben beziehen sich auf Weltzeit. Diese geht gegenüber der Mitteleuropäischen Winterzeit um eine Stunde nach (UTC = MEZ - 1 h).

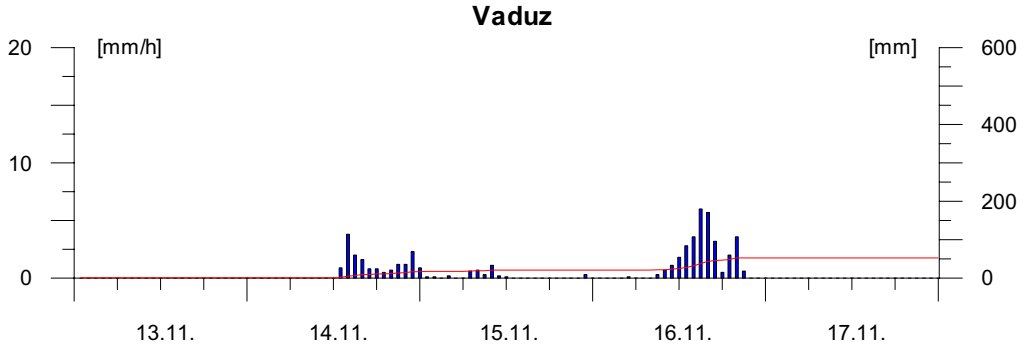
Altdorf	S. 23
Changins	S. 24
Chur	S. 22
Comprovasco	S. 25
Davos-Dorf	S. 22
Disentis	S. 22
Genève-Cointrin	S. 24
Glarus	S. 23
Hinterrhein	S. 22
La Dôle	S. 24
Locarno-Monti	S. 26
Lugano	S. 26
Magadino	S. 25
Piotta	S. 25
Pully	S. 24
Robiei	S. 26
San Bernardino	S. 25
Ulrichen	S. 23
Vaduz	S. 23
Mittel (10 Stationen)	S. 26

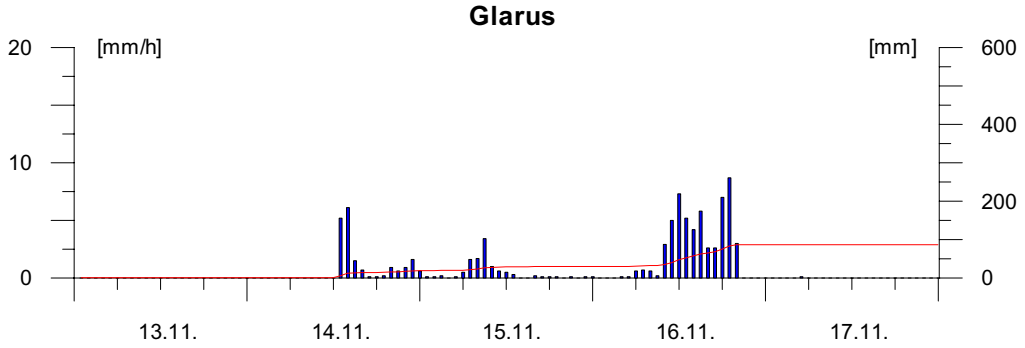

Disentis
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

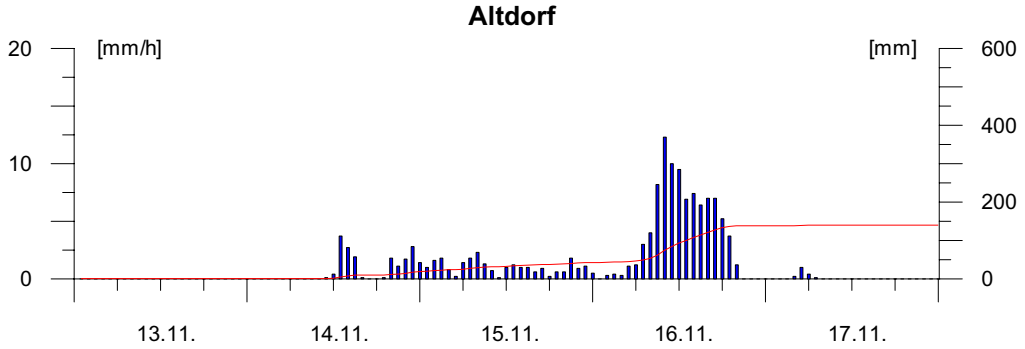

Hinterrhein
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

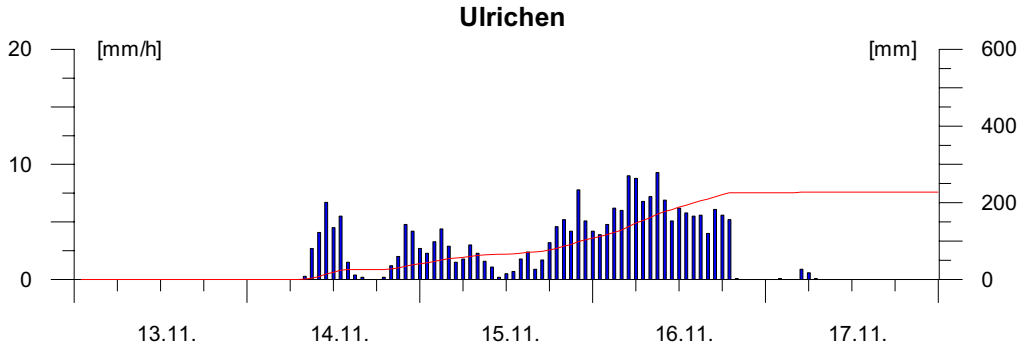

Davos-Dorf
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.


Chur
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

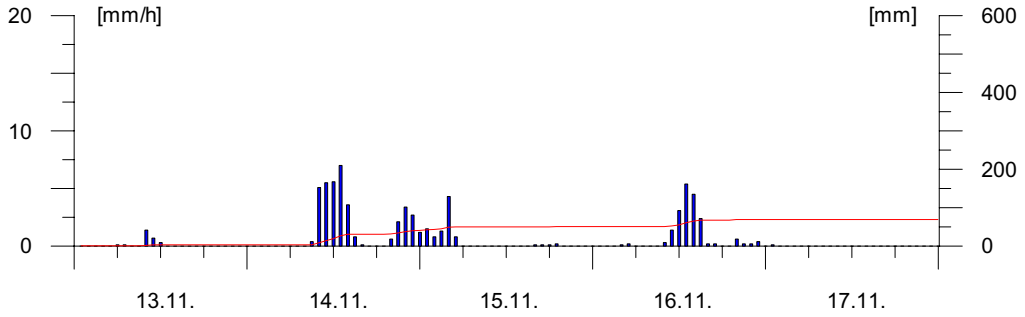

Vaduz
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.


Glarus
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

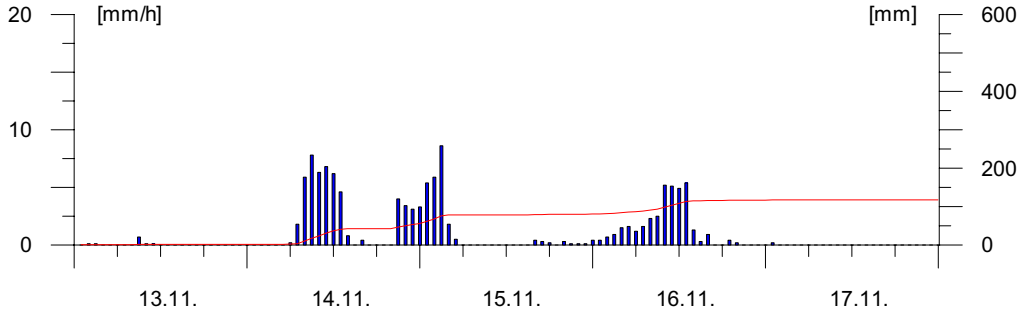

Altdorf
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.


Ulrichen
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

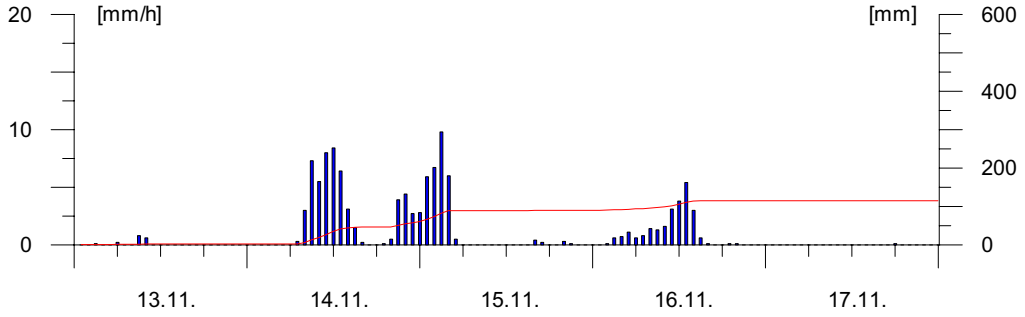
Pully



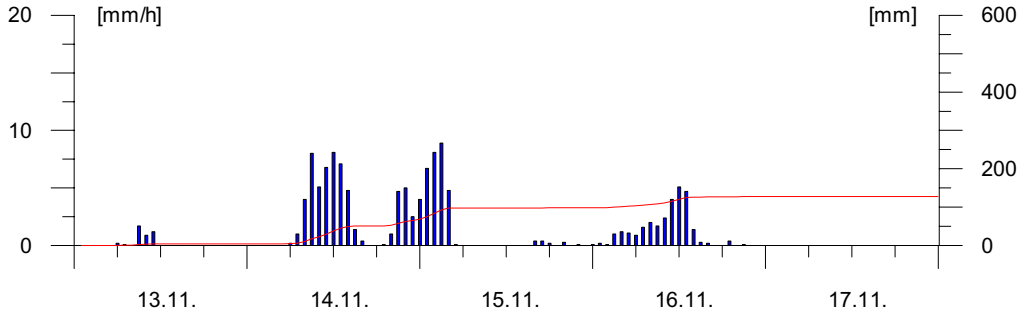
La Dôle

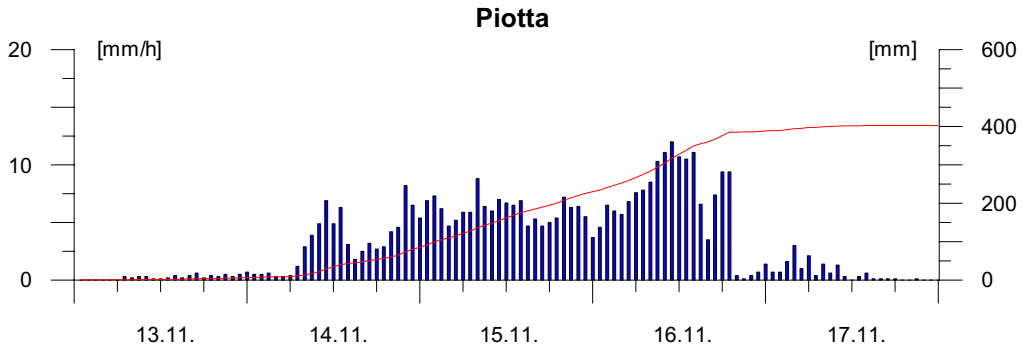


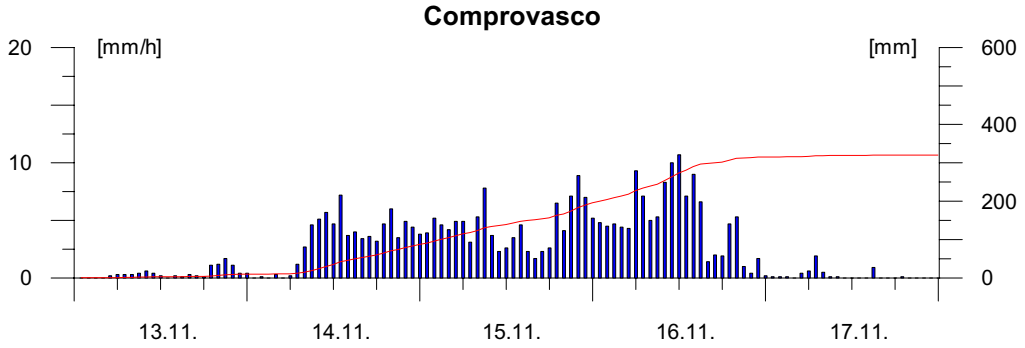
Changins

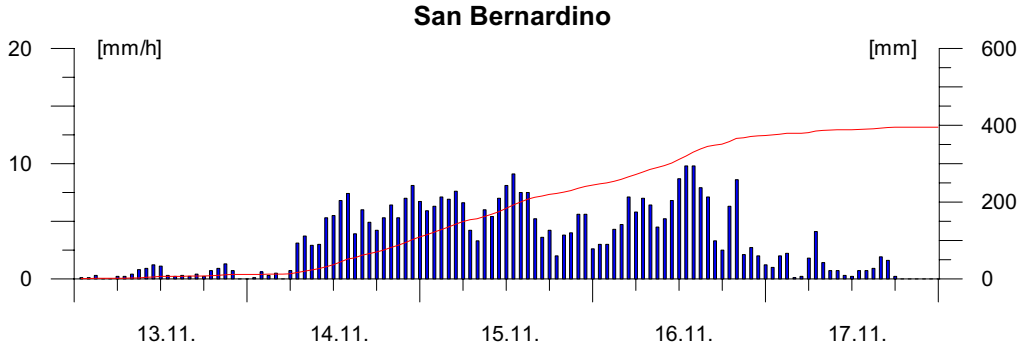


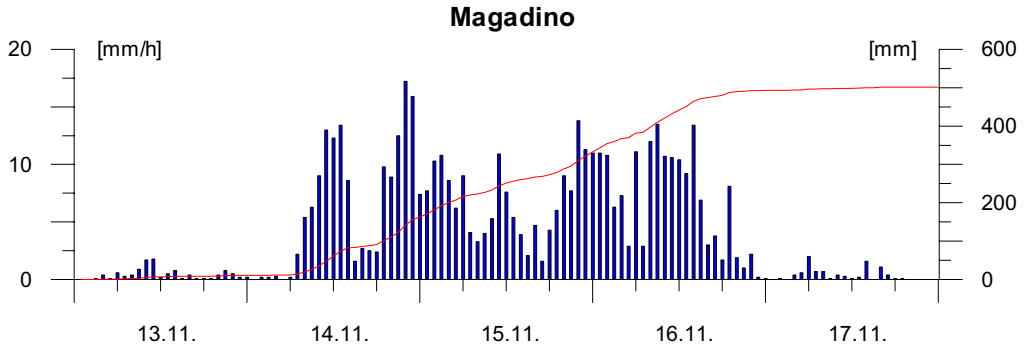
Genève-Cointrin



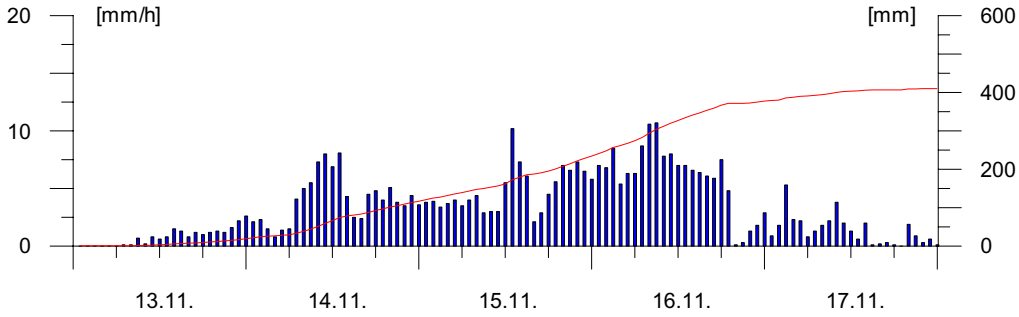

Piotta
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.


Comprovasco
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

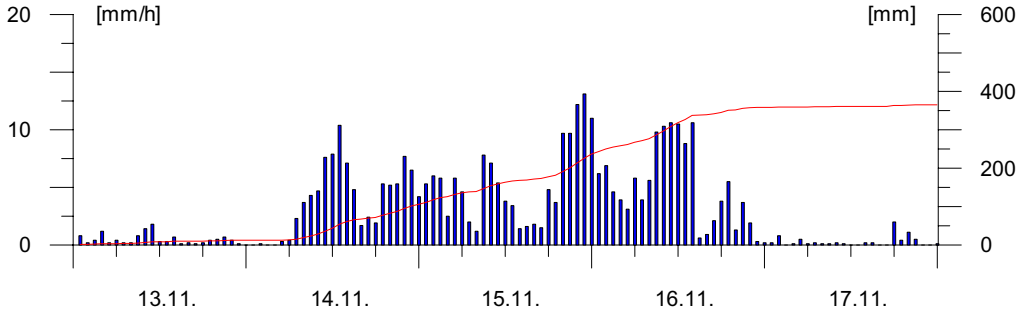

San Bernardino
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.


Magadino
[mm/h]
[mm]
20
10
0
600
400
200
0
13.11.
14.11.
15.11.
16.11.
17.11.

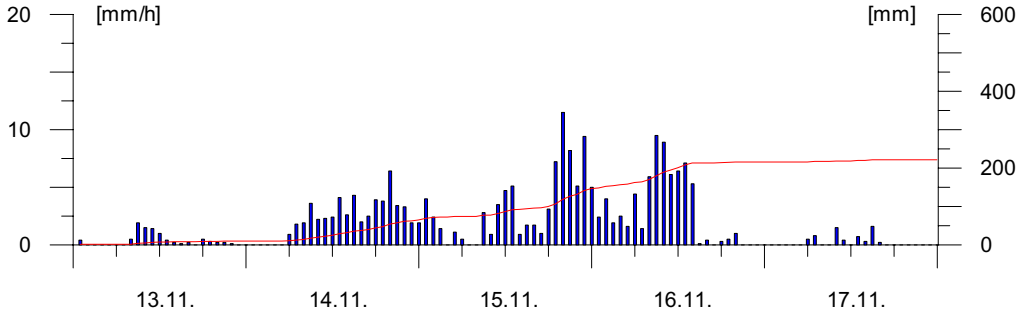
Robiei



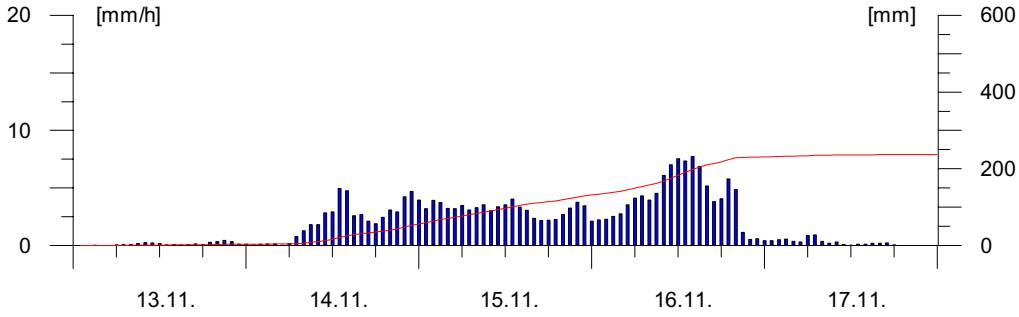
Locarno-Monti



Lugano



Mittel (10 Stationen)



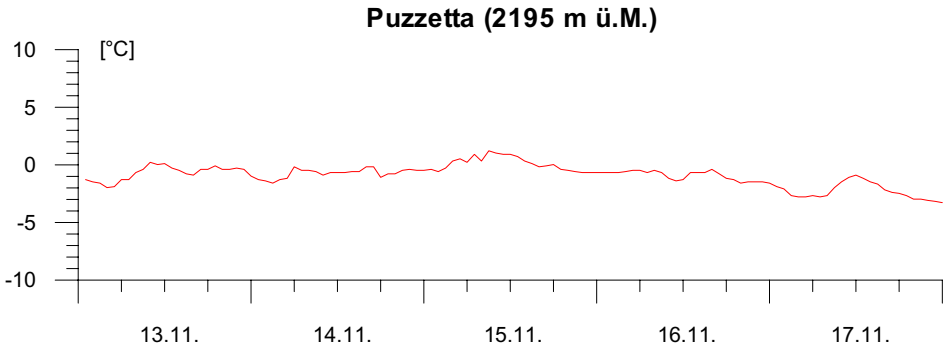


Abbildung 10: Temperaturverlauf bei der IMIS-Station Puzzetta vom 13.-17.11.2002.