



# Hydrologie der Schweiz

Ausgewählte Aspekte und Resultate

M. Spreafico und R. Weingartner

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, Série Eaux – Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque  
Nr. 7 – Bern 2005



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**

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,  
Energie und Kommunikation  
Département fédéral de l'environnement, des transports,  
de l'énergie et de la communication  
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti,  
dell'energia e delle comunicazioni

# Hydrologie der Schweiz

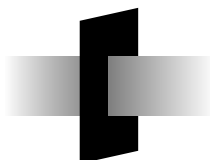
Ausgewählte Aspekte und Resultate

M. Spreafico und R. Weingartner

Berichte des BWG, Serie Wasser – Rapports de l'OFEG, Série Eaux – Rapporti dell'UFAEG, Serie Acque  
Nr. 7 – Bern 2005

Mit Beiträgen von:

M. Auer, Ch. Graf, A. Grasso, Ch. Hegg, A. Jakob, A. Käab, Ch. Könitzer, Ch. Lehmann, R. Lukes, M. Maisch  
R. Meister, F. Paul, T. Reist, B. Schädler, M. Spreafico, J.-P. Tripet, R. Weingartner



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**

## 2 Niederschlag

### Kennziffern

Mittlerer Jahresniederschlag Schweiz (1961–1990)	1458 mm		Quelle: SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002a
Tiefster mittlerer Jahresniederschlag (1951–1980)	522 mm	Ackersand (VS)	Quelle: KIRCHHOFER & SEVRUK 1992
Höchster mittlerer Jahresniederschlag (1951–1980)	3142 mm	Mönchsgrat (VS/BE)	Quelle: KIRCHHOFER & SEVRUK 1992
Höchster Jahresniederschlag	5910 mm	Mönchsgrat (VS/BE) 1939/40	Quelle: MeteoSchweiz
Höchster Tagesniederschlag	500 mm	Maggia (TI), 10.9.1983	Quelle: GEIGER et al. 1991
Höchster Stundenniederschlag	105 mm	Sternberg (ZH), 23.6.1930	Quelle: GEIGER et al. 1991
Höchster 10-Minuten-Niederschlag	50 mm	Heiden (AR), 26.7.1895	Quelle: GEIGER et al. 1991
Längste Trockenperiode	77 Tage	Lugano (TI), 6.12.1988–20.2.1989	Quelle: MeteoSchweiz

### 2.1 Niederschlag messen

*Im Prinzip kann der Niederschlag überall mit einfachen Mitteln aufgefangen und gemessen werden. In der Realität sieht sich die Niederschlagsmessung aber mit grossen Problemen konfrontiert. Für die Verwendbarkeit der Daten ist entscheidend, in welchem Intervall die Ableseung/Messung erfolgt. Vier gesamtschweizerische Messnetze liefern Niederschlagswerte in Jahres-, Tages-, Halbtages- und 10-Minuten-Auflösung.*

#### 2.1.1 Entwicklung der Messnetze

An einigen Standorten wird der Niederschlag ab dem 18. Jahrhundert gemessen. Die systematische Erfassung des Niederschlags beginnt in der Schweiz aber 1863 mit dem Betrieb von anfangs rund 40, mit einem Niederschlagsmesser ausgerüsteten Klimastationen durch die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft. 1881 übernimmt die neugegründete Meteorologische Zentralanstalt die bestehenden Stationen. In den folgenden Jahren steigt die Zahl der Stationen stark an und bereits um 1900 werden die Niederschläge täglich an 345 Stationen abgelesen (vgl. Fig. 2-1).

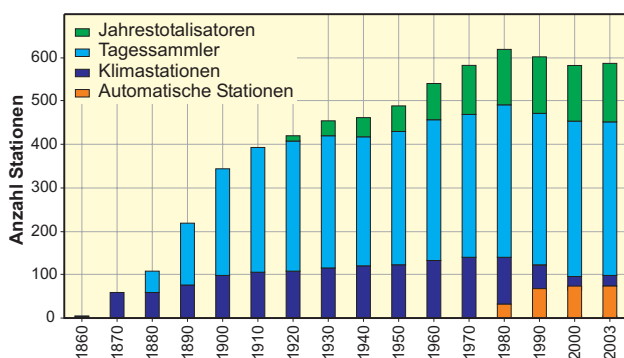


Fig. 2-1: Entwicklung der schweizerischen Niederschlagsmessnetze (nach WEINGARTNER 1992; Daten ab 1990: MeteoSchweiz).

Eine tägliche direkte Ableseung erfordert leicht zugängliche Stationen. Die Folge ist eine Konzentration der Messstellen in tieferen Lagen und ganzjährig bewohnten Gebieten. Ab 1914 werden die Lücken im Hochgebirge durch das Netz der Jahrestotalisatoren verkleinert. Mit dem Aufbau des automatischen Messnetzes (ANETZ) ab 1978 stehen Niederschlagsdaten hoher zeitlicher Auflösung für alle Regionen der Schweiz zur Verfügung. Zur selben Zeit (1977) nehmen die beiden ersten Wetterradarstationen ihren operationellen Betrieb auf. Von den ab 1995 eingerichteten automatischen Stationen des Ergänzungsnetzes (ENET) messen einige ebenfalls den Niederschlag. Nebst diesen nationalen gibt es verschiedene kantonale, private und spezielle (z.B. Flughafen-) Messnetze, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

#### 2.1.2 Niederschlagsmessnetze der MeteoSchweiz

Die niederschlagsmessenden Netze der MeteoSchweiz umfassen rund 600 Stationen (vgl. Tab. 2-1). Mit einer durchschnittlichen Stationsdichte von 1 Station pro 70 km<sup>2</sup> steht für die Bestimmung von Jahresniederschlagsmengen ein auch im globalen Vergleich sehr dichtes Messnetz zur Verfügung. Allerdings variiert die Dichte von Region zu Region (vgl. Fig. 2-2) und nimmt im Gebirge ab (vgl. Fig. 2-3). Dadurch wird der Niederschlag in höheren Lagen räumlich nicht genügend detailliert erfasst. Beispielsweise sind in der Höhenzone oberhalb 2000 m ü.M. nur noch 9 Tagesmessstationen verfügbar (1 Station pro 1073 km<sup>2</sup>).

Messnetz	zeitliche Auflösung	Stationen
Klima	Halbtagesummen	25
Niederschlag (NIME)	Tagessummen	351
Jahrestotalisatoren	Jahressummen	137
ANETZ	10-Minuten-Intensitäten	68
ENET	10-Minuten-Intensitäten	5
<b>Total</b>		<b>586</b>

Tab. 2-1: Niederschlagsmessnetze der MeteoSchweiz (Stand 2003; 2002 bei Jahrestotalisatoren) (Quelle: MeteoSchweiz).



Figur 2-3 ermöglicht den Vergleich der Höhenverteilung der Messnetze verschiedener zeitlicher Auflösung mit der Höhenverteilung der Landoberfläche. Bei optimaler Verteilung wären die einzelnen Kurven deckungsgleich. In der Realität ist die Höhenverteilung bei den Stationen mit einem Messintervall von mindestens einem Tag wenig repräsentativ. 90 % aller ANETZ- und ENET-Stationen und beinahe 100 % der Klimastationen und Tagessammler, jedoch nur 77 % der Landoberfläche liegen unterhalb von 2000 m ü.M.

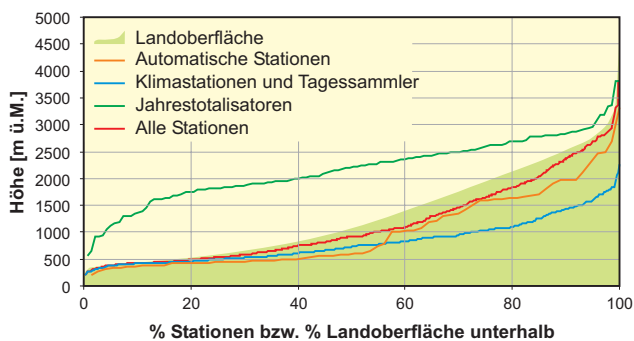


Fig. 2-3: Höhenverteilung von Landoberfläche und Niederschlagsstationen in der Schweiz (Daten: MeteoSchweiz).

### 2.1.3 Messgeräte und Messfehler

Die genauesten Niederschlagsmessungen sind Punktmessungen. Ein Pluviometer sammelt Regentropfen, Hagelkörner und Schneeflocken, die seine Auffangfläche treffen (200 cm<sup>2</sup> bei den Regenmessern nach Hellmann und Joss-Tognini). Je nach Intervall der Ablesung werden verschiedene Messgeräte eingesetzt, die sich vor allem in ihrem Fassungsvermögen unterscheiden (vgl. Fig. 2-4 und Fig. 2-5). Pluviographen sind zusätzlich mit einer Vorrichtung zur kontinuierlichen, analogen oder digitalen Aufzeichnung der Niederschläge versehen (vgl. Fig. 2-5 und Fig. 2-6). Die Messgeräte werden in einer Höhe von 1,5 m (2 m im Gebirge, 4 m bei Totalisatoren) über dem Boden und mit genügend seitlichem Abstand zu Bäumen und Gebäuden installiert. Auch sehr windexponierte oder stark abgeschirmte Standorte werden nach Möglichkeit gemieden. Bei tiefen Temperaturen ist ein Betrieb nur noch mit beheizten Messgeräten möglich.

Wie jedes Objekt verändert auch ein Niederschlagsmesser das Windfeld in seiner Nähe. Windgeschwindigkeit und Turbulenzen nehmen zu und lenken vor



Fig. 2-4: Pluviometer (Monatstotalisator nach Hellmann) auf der Alp Gibel (BE), Wildbach-Testgebiet Leissigen des Geographischen Instituts der Universität Bern.



Fig. 2-5: Niederschlagsmessgeräte der ANETZ-Station Rünenberg (BL). Mitte: Pluviograph (Wippe nach Joss-Tognini), rechts: Pluviometer (nach Hellmann).



Fig. 2-6: Niederschlagsmessgeräte im hydrologischen Testgebiet der ETHZ (Rietholz bach, SG); von links nach rechts: Pluviograph (nach Joss-Tognini), Pluviometer (Jahrestotalisator nach Mougin mit Windschutzring), Pluviograph (Belfort-Waage, analoge Datenaufzeichnung), Pluviograph (Belfort-Waage, digitale Datenaufzeichnung).

allen leichtere Tropfen und Schneeflocken vom Messgerät ab. Der sich ergebende Messfehler steigt mit zunehmender Windgeschwindigkeit, weshalb an besonders windexponierten Standorten spezielle Windschutzvorrichtungen angebracht werden (vgl. Fig. 2-6 und Fig. 2-7). Verluste durch Spritzwasser, Verdunstung aus dem Gefäss und Ungenauigkeiten bei der Ablesung sind weitere Fehlerquellen. Insgesamt ist der Messfehler bei Schneefall und in hohen Lagen am grössten. Im Jahresmittel muss damit gerechnet werden, dass Punktmessungen den wahren Niederschlag um bis zu 25 % unterschätzen (vgl. Fig. 2-8). In Einzelfällen kann der Fehler aber auch grösser als 30 % werden.



Fig. 2-7: Pluviograph (Waage, Ott pluvio 250) mit Windschutzvorrichtung im forsthydrologischen Testgebiet Sperbelgraben (BE) der WSL und des Geographischen Instituts der Universität Bern.

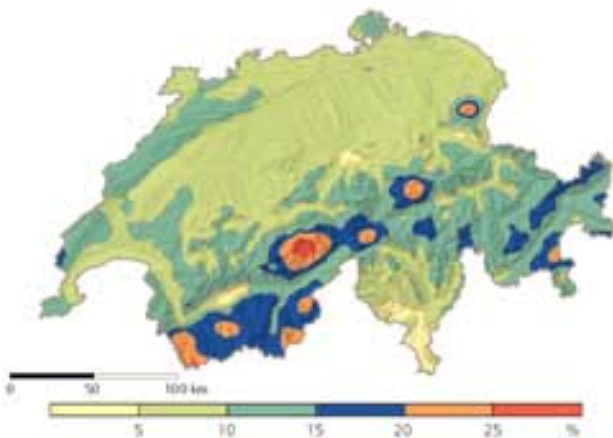


Fig. 2-8: Schätzung des mittleren Fehlers, der bei einer Niederschlagsmessung in diesem Gebiet beim Jahresniederschlag zu erwarten wäre (in % des gemessenen Niederschlags) (nach SEVRUK & KIRCHHOFFER 1992).

## 2.2 Vom Punkt zur Fläche

Für hydrologische Anwendungen sind die gemessenen Punktniederschläge oft nicht direkt verwendbar. Gesucht sind die in einem bestimmten Gebiet gefallenen Niederschlagsmengen (Gebietsniederschlag). Verschiedene Methoden stehen zur Übertragung der punktuellen Niederschlagsmessungen auf die Fläche zur Verfügung (vgl. Fig. 2-9). Zur Kontrolle dient der Ansatz der Wasserbilanzmethode.

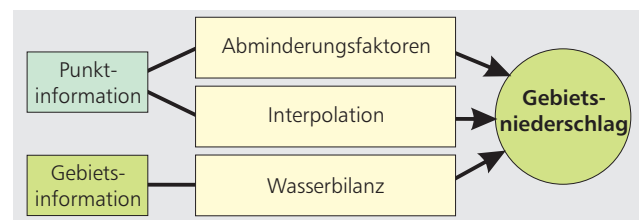


Fig. 2-9: Methoden zur Abschätzung des Gebietsniederschlags.

### 2.2.1 Abminderungsfaktoren

Punktmessungen sind nur für den Messort und seine nähere Umgebung repräsentativ, je nach Topographie und Niederschlagsprozess für maximal 10–100 km<sup>2</sup>. Die Niederschlagsmenge sinkt mit zunehmender Distanz zum Niederschlagszentrum in charakteristischer Weise (vgl. Fig. 2-10). Die Abnahme, als Abminderungskurve bezeichnet, wird von der Dauer des Ereignisses und der Niederschlagsintensität bestimmt. Schauer (konvektive Niederschläge) sind von kurzer Dauer und überdecken nur kleine Flächen. Landregen (advective Niederschläge) sind grossflächiger, aber weniger intensiv. Regionale Abminderungsfaktoren für die gesamte Schweiz sind in GREBNER et al. (1999) publiziert.

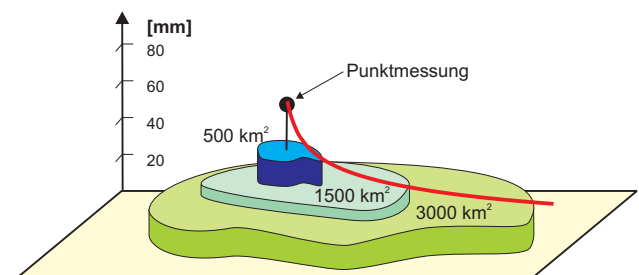


Fig. 2-10: Prinzipskizze der Abminderungskurve für ein dreistündliches Niederschlagsereignis mit Gebietsniederschlagsmengen (nach GREBNER et al. 1999).

## 2.2.2 Interpolation

Interpolationen versuchen, die Informationslücken zwischen den Messstellen zu schliessen. Die Qualität einer Interpolation hängt dabei in entscheidendem Mass von der Anzahl und der Verteilung der Messstellen und der Wahl der Interpolationsmethode ab.

Die älteste und oftmals recht genaue Methode besteht darin, die Niederschlagsverteilung unter Einbezug der Messstellen, der Topographie und der lokalen klimatischen Verhältnisse subjektiv abzuschätzen und durch Linien derselben Niederschlagshöhe (Isohyeten) darzustellen (vgl. Abschnitt 2.2.4). Objektive Methoden können ebenfalls gute Resultate erbringen, wenn sie den Verhältnissen entsprechend angewendet werden. Die im Folgenden vorgestellte Bestimmung des Gebietsniederschlags im Einzugsgebiet der Reuss (vgl. Fig. 2-11) mit drei gebräuchlichen Methoden (Thiessen-Polygone, Distanzgewichtung und Höhenregression) zeigt, welche Unterschiede sich ergeben können.

Bei der Thiessen-Polygon-Methode wird der Stationswert als repräsentativ für ein Gebiet angesehen, das methodisch bis zur halben Entfernung zu den Nachbarstationen reicht. Die Methode der Distanzgewichtung berücksichtigt alle um einen zu interpolierenden Ort liegenden Stationen, misst aber den nähergelege-

nen mehr Gewicht bei als weiter entfernten. Höhenregressions-Methoden berechnen aus den verfügbaren Stationswerten Höhengradienten, welche dann bei der Niederschlagsinterpolation weiterverwendet werden.

Bei den ersten beiden Methoden wird die Interpolation stark von den im Gebiet liegenden Stationen bestimmt (vgl. Fig. 2-12). Zuverlässige Abschätzungen sind vor allem im flachen Relief möglich, wo Niederschlagsmessungen für ein weites Gebiet repräsentativ sind. In gebirgigen Gegenden sind mit Höhenregressionen berechnete Gebietsniederschläge in der Regel genauer (vgl. Tab. 2-2). Allerdings hängt das Ergebnis stark von der Auswahl der Stationen zur Bestimmung des Niederschlagsgradienten ab, wie das folgende Beispiel zeigt. Der aus den Jahresniederschlägen der Stationen Altdorf, Andermatt und Gütsch berechnete Gradient

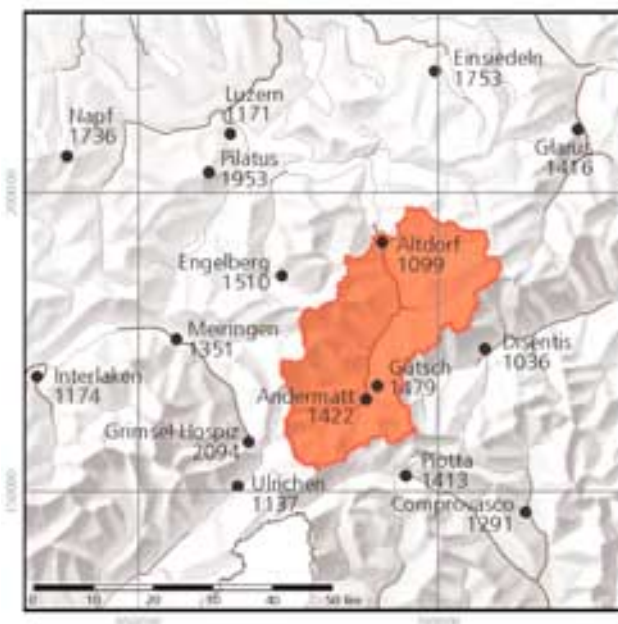


Fig. 2-11: Niederschlagsstationen im Bereich des Einzugsgebiets der Reuss (Abflussmessstation Seedorf): Mittlere Jahresniederschlagssummen in mm der Periode 1961–1990 (Daten: MeteoSchweiz).

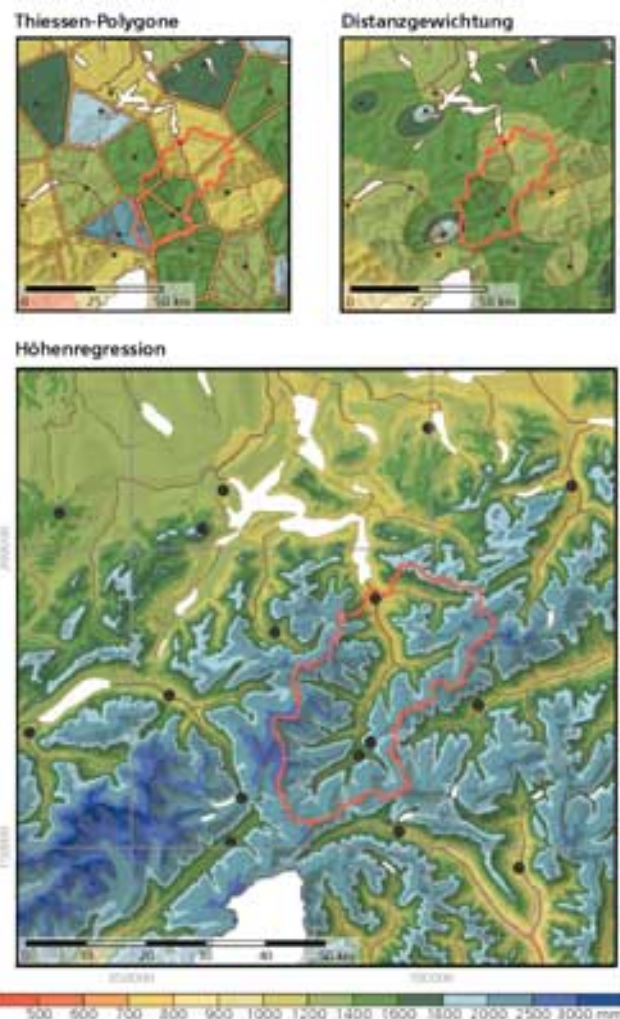


Fig. 2-12: Vergleich dreier Interpolationsmethoden: Räumlich interpolierte Jahresniederschlagssummen, Niederschlagsstationen (Punkte) und das Einzugsgebiet Reuss – Seedorf (rote Linie).

von 21 mm/100 m führt im Einzugsgebiet der Reuss zu einer starken Unterschätzung des Gebietsniederschlags. Ursache dafür ist, dass zwischen den beiden höhergelegenen Stationen Andermatt (1442 m ü.M.) und Gütsch (2287 m ü.M.) kein Gradient mit der Höhe vorhanden ist, da an beiden Stationen annähernd gleich viel Niederschlag gemessen wird (vgl. Fig. 2-11). Verwendet man statt Gütsch die Station Grimsel Hospiz (1980 m ü.M., 2094 mm), resultiert ein Gradient von 60 mm/100 m und damit ein Gebietsniederschlag in der Höhe des Referenzwerts (vgl. Tab. 2-2).

Methode	Jahresniederschlag [mm]
Thiessen-Polygone	1340
Distanzgewichtung	1387
Höhenregression (Altdorf, Andermatt, Gütsch)	1465
Höhenregression (Altdorf, Andermatt, Grimsel)	1981
Referenzwert aus der Wasserbilanz	2000

Tab. 2-2: Vergleich der interpolierten Jahresniederschlagswerte (Periode 1961–1990) für das Einzugsgebiet Reuss – Seedorf mit dem Referenzwert nach SCHÄDLER & WEINGARTNER (2002a).

### 2.2.3 Wasserbilanzmethode

Der Wasserhaushalt eines Gebietes wird durch seine Wasserbilanz beschrieben (vgl. Kap. 10). Der gefallene Niederschlag muss restlos aus Abfluss, Verdunstung, Speicheränderung und unterirdischen Zu- oder Abflüssen erklärt werden können. Die Fehler bei der Bestimmung von Abfluss- und Verdunstungswerten sind gegenüber den grossen Unsicherheiten bei der Messung und Interpolation von Niederschlägen im Gebirge relativ klein, in der Regel kleiner als 10 %. Der indirekte Weg über die Wasserbilanz darf damit als genaueste Methode zur Bestimmung von Gebietsniederschlägen im Gebirge gelten (SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002b).

### 2.2.4 Niederschlagskarten

Gesamtschweizerische Niederschlagskarten wurden schon wenige Jahre nach der Gründung des Niederschlagsmessnetzes entworfen. Für die «Schweizerische Flussgebietskarte mit Niederschlagskurven» (WOLF 1871) standen rund 40 Stationen zur Verfügung. Bemerkenswerterweise stimmen die verwendeten Stationswerte trotz der kurzen Messperiode gut mit den Standardwerten der Periode 1961–1990 überein (vgl. Tab. 2-3). Die grossen Distanzen zwischen den Stationen liessen allerdings nur eine grobe Interpolation mit Isohyeten zu (vgl. Fig. 2-13).



Fig. 2-13: Entwicklung der Niederschlagskarten, dargestellt an demselben Ausschnitt (Farbsignaturen haben in jeder Karte eine andere Bedeutung).

In der «Regenkarte der Schweiz» (BROCKMANN 1923) wurden erstmals Daten der Jahrestotalisatoren aus Hochgebirgsregionen verwendet. Das Messnetz umfasste um 1920 bereits mehr als 400 Stationen und ermöglichte eine viel detailliertere Interpolation. Die «Niederschlagskarte der Schweiz» (UTTINGER 1949) basiert auf 230 Bezugsstationen mit Beobachtungsreihen ab 1900. 500 weitere Messreihen, darunter diejenigen von 142 Jahrestotalisatoren, wurden anhand der Bezugsstationen korrigiert und/oder ergänzt und ebenfalls in der Karte verwendet. In Gegensatz zu den vorhergehenden Karten wurden hier bei der subjektiven Interpolation auch Höhengradienten verwendet. Mit der Karte «Mittlere jährliche korrigierte Niederschlags-höhen 1951–1980» (KIRCHHOFER & SEVRUK 1992) wird der Übergang zu objektiven Interpolationsmethoden vollzogen. Rund 400 Stationswerte standen für das kombinierte Verfahren aus Höhenregression und Distanzgewichtung (Kriging) zur Verfügung. Die Unterschiede bei den Stationswerten (vgl. Tab. 2-3) sind in erster Linie auf die vorgängige Korrektur des systematischen Messfehlers zurückzuführen. Eine vereinfachte Version der aktuellsten Karte von SCHWARB et al. (2001a) ist in Figur 2-15 dargestellt.

Autor und Jahr	Periode	Zürich	Einsiedeln
WOLF 1871	1864–1869	1050	1700
BROCKMANN 1923	–	1140	1600
UTTINGER 1949	1901–1940	1070	1680
KIRCHHOFER & SEVRUK 1992	1951–1980	1218	1807
Normwerte (MeteoSchweiz)	1961–1990	1086	1753

Tab. 2-3: Normwerte der Jahresniederschläge in mm im Vergleich mit Werten anderer Perioden und Autoren.

Die Überprüfung verschiedener Niederschlagskarten mit wasserhaushaltlich abgestützten Gebietsniederschlägen zeigt, dass objektive Verfahren (KIRCHHOFER & SEVRUK 1992, SCHWARB et al. 2001a) nicht genauer sind (vgl. Tab. 2-4). Interessanterweise ergibt die Karte von UTTINGER (1949), bei der subjektives Expertenwissen eingeflossen ist, das beste Ergebnis.

Autor und Jahr	Niederschlag	Abweichung
UTTINGER 1949	1461	0
KIRCHHOFER & SEVRUK 1992	1681	15
SCHWARB et al. 2001a	1385	-5
Referenzwert	1458	0

Tab. 2-4: Jahresniederschlagssummen in mm für die Schweiz nach unterschiedlichen Autoren und Abweichung vom Referenzwert aus der Wasserbilanz in % (SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002b).

## 2.3 Niederschlagsverhältnisse

Der durchschnittliche Jahresniederschlag der Schweiz von 1458 mm (SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002a) sagt nur wenig über die effektiven Verhältnisse innerhalb des Landes aus. Niederschlagsprozesse werden durch die Lage der Gebirge entscheidend beeinflusst. Zwischen Talboden und Gipfelregion, Luv- und Leelage, Alpennord- und Alpensüdseite entsteht eine Vielfalt verschiedenster Niederschlagsklimata.

### 2.3.1 Jahresniederschläge

Am offensichtlichsten zeigt sich der Einfluss der Gebirge in der Zunahme der Niederschläge mit der Höhe. Auf der Alpennordseite nimmt der Niederschlag im Mittel um rund 70–80 mm pro 100 m Höhe zu. Dieser allerdings nicht sehr straffe Zusammenhang gilt vor allem für die Gebiete unterhalb 1500 m ü.M. (vgl. Fig. 2-14). Aktuelle Niederschlagskarten (SCHWARB et al. 2001a) berücksichtigen den Gebirgseffekt differenzierter. Die abgebildete Karte der Jahresniederschlagssummen (s. Fig. 2-15) verwendet rund 10'000 lokale Gradienten.

Die niederschlagsreichste Zone erstreckt sich entlang des nördlichen Alpenkamms mit einem Maximum in den Berner und Walliser Alpen. Überdurchschnittlich viel Niederschlag erhält zudem der gesamte Kanton Tessin. Die Gebiete mit den geringsten Jahresniederschlagsmengen liegen im Niederschlagschatten der Alpenkämme. Anhand zweier Nord-Süd-Profile lässt sich der Einfluss der Gebirge auf den Niederschlag verdeutlichen (vgl. Fig. 2-15).

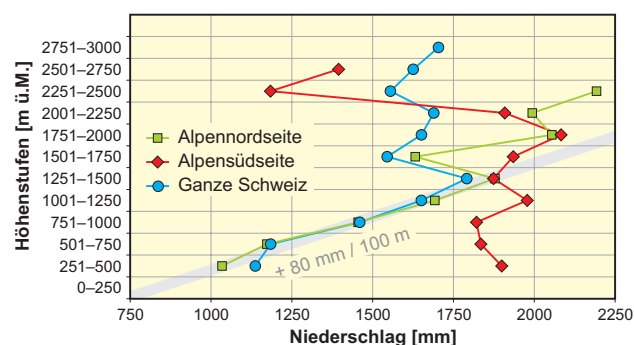


Fig. 2-14: Mittlerer Jahresniederschlag der nach Höhenzonen gegliederten Bilanzierungsgebiete (Periode 1961–1990, nach SCHÄDLER & WEINGARTNER 2002b), ergänzt mit dem linearen Niederschlagsgradienten (+ 80 mm/100 m) von KIRCHHOFER & SEVRUK (1992).

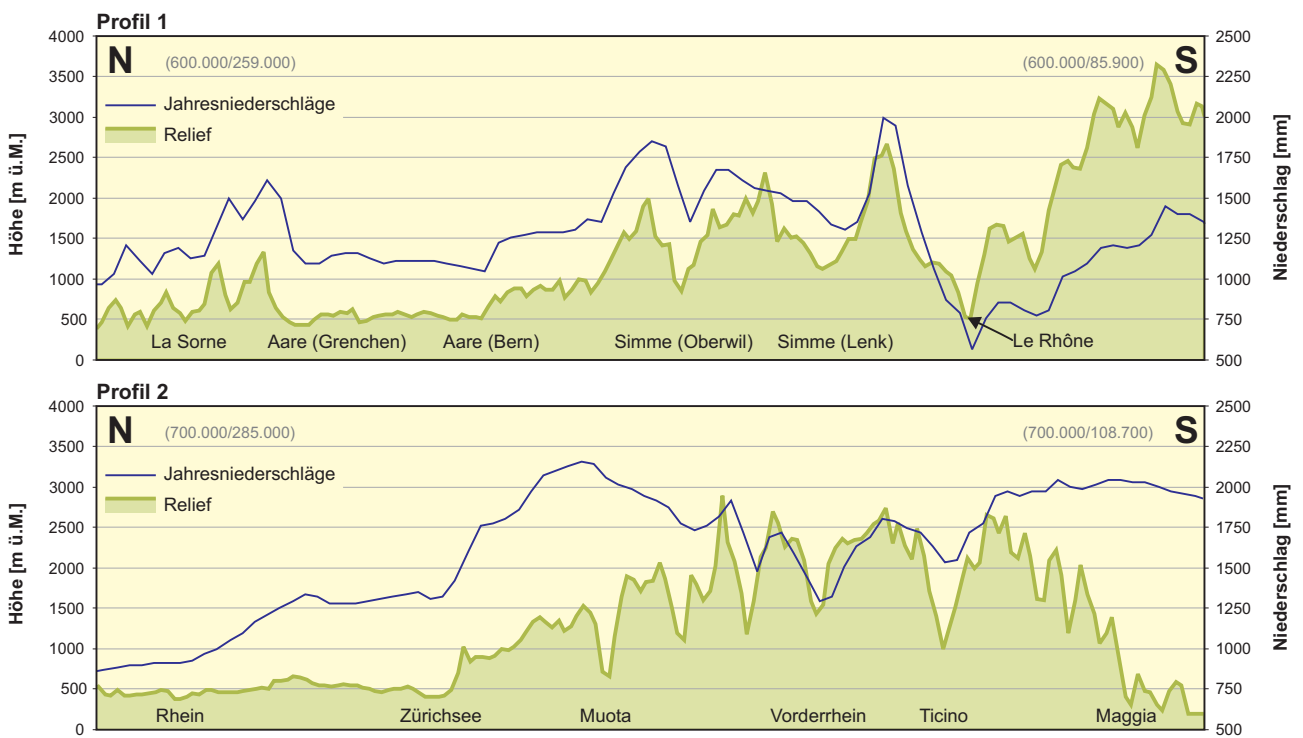
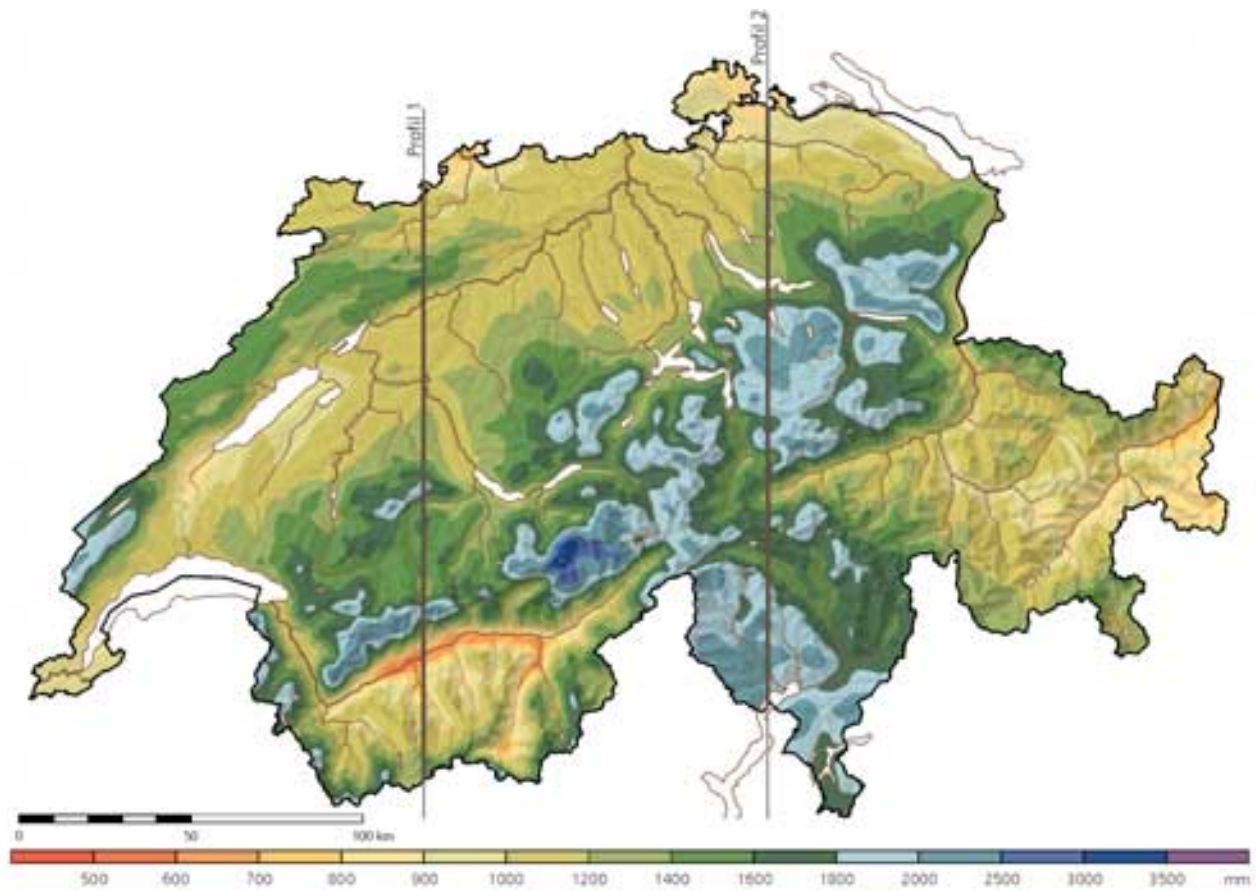


Fig. 2-15: Karte der Jahresniederschlagssummen (Periode 1971–1990) mit zwei Profilschnitten (Daten: SCHWARB et al. 2001a).

### 2.3.2 Saisonale Niederschlagsverteilung

Die Verteilung der Niederschläge ist in der Schweiz saisonal betrachtet recht ausgeglichen (vgl. Tab. 2-5). Im Winter fällt am wenigsten, im Sommer am meisten Niederschlag. Frühling und Herbst sind gleich niederschlagsreich. Von Juni bis August werden grosse Niederschlagsmengen hauptsächlich durch Schauer verursacht. Die Verteilung gleicht dabei stark derjenigen der Jahresniederschläge mit Spitzenwerten am Alpennordrand und im Tessin (vgl. Fig. 2-16).

Die im Winter vorherrschenden Strömungslagen führen vor allem den im Westen gelegenen Gebieten viel Niederschlag zu (vgl. Fig. 2-17). Die zentralen und öst-

Frühling	Sommer	Herbst	Winter
25	29	25	21

Tab. 2-5: Mittlere saisonale Verteilung der Jahresniederschläge in der Schweiz in % (Periode 1971–1990) (nach SCHWARB et al. 2001b).

lichen Alpengebiete dagegen erreichen in dieser Jahreszeit ihr Niederschlagsminimum. Im Frühling und Herbst führen häufige Anströmungen aus Südwesten zu Starkniederschlägen in den Südalpen.



Fig. 2-17: Jahreszeit mit der höchsten Niederschlagsmenge (Periode 1971–1990) (nach SCHWARB et al. 2001b).

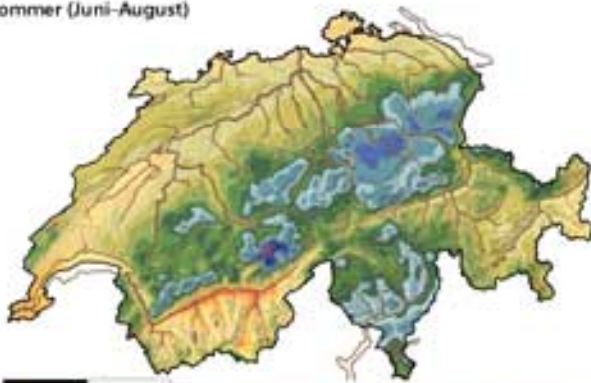
Frühling (März–Mai)



Herbst (September–November)



Sommer (Juni–August)



Winter (Dezember–Februar)



Fig. 2-16: Saisonale Niederschlagssummen (Periode 1971–1990) (Daten: SCHWARB et al. 2001b).

## 2.4 Extremwerte

Bei Starkniederschlägen ist der Zusammenhang zwischen der Dauer eines Ereignisses und der Menge des gefallenen Niederschlags besonders stark. Niederschlagsextreme werden daher mit Niederschlagsmenge und -dauer oder direkt mit Niederschlagsintensitäten in mm/h angegeben. Trockenperioden werden ausschliesslich durch ihre Dauer zu Extremereignissen.

### 2.4.1 Starkniederschläge

Die Einstufung als «Starkniederschlag» ist abhängig von der Definition. Als Kriterien dienen Schwellenwerte, eine Anzahl stärkster Ereignisse oder die jährlich höchsten Niederschläge. Für die höchsten, in der Schweiz gemessenen Niederschläge ist eine Unterteilung in Alpennord- und Alpensüdseite sinnvoll (vgl. Fig. 2-18). Starkniederschläge von kurzer Dauer erreichen auf der Alpennordseite höhere Niederschlagsintensitäten. Diese Ereignisse gehen auf einzelne Schauer während der Monate Juni bis September zurück. Starkniederschläge längerer Dauer werden von grossskaligen Wettersystemen bestimmt und können das ganze Jahr hindurch auftreten. Besonders niederschlagsreich sind sie auf der Alpensüdseite (advective Lage), wo Fronten und Tiefdruckgebiete oft einen starken Feuchtetransport aus dem Mittelmeerraum gegen die Südalpen bewirken. Die Niederschlagsintensitäten längerer Dauer (Wochen, Monate) in Figur 2-18 sind aus Niederschlagssummen der angegebenen Dauer berechnet. Allgemein gilt, dass die Intensität mit zunehmender Dauer abnimmt.

Die stärksten, an einem Ort gemessenen Ereignisse werden zu Extremwertserien zusammengestellt und nach ihrer Eintreffenswahrscheinlichkeit klassiert. Gebräuchlich ist die Darstellung der 2,33- und der 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten bestimmter Dauer in Niederschlags-Intensitäts-Diagrammen (s. Fig. 2-19).

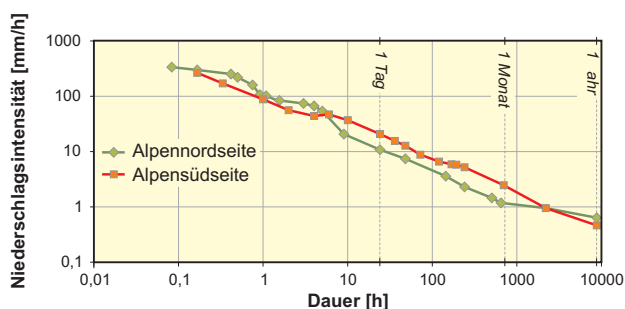


Fig. 2-18: Höchste in der Schweiz bis 1990 beobachtete Niederschläge (nach GEIGER et al. 1991).

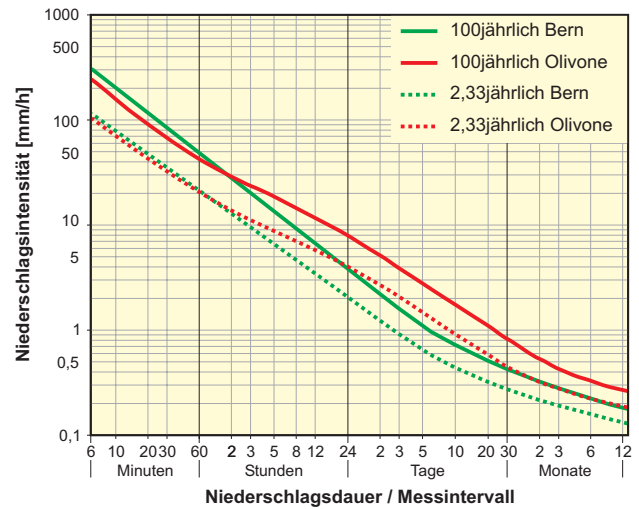


Fig. 2-19: Niederschlags-Intensitäts-Diagramm für Bern und Olivone (TI) (nach GEIGER et al. 1991).

In Form von Karten extremer Punktniederschläge verschiedener Dauer und Wiederkehrperioden stehen diese Informationen flächendeckend zur Verfügung (vgl. Fig. 2-20). Dies ermöglicht eine Abschätzung zu erwartender Starkniederschläge für jede beliebige Stelle der Schweiz.

Die extremsten Niederschlagsintensitäten treten ausser- und voralpin auf. In den Alpen nimmt die Konvektionsleistung und damit die Intensität der Schauer ab. Das Abregnen anströmender, feuchter Luftmassen (Gebirgseffekt) kann dagegen für ergiebige Tagesniederschlagsmengen sorgen. Im Südtessin werden an jährlich rund 10 Tagen Niederschlagsmengen von mehr als

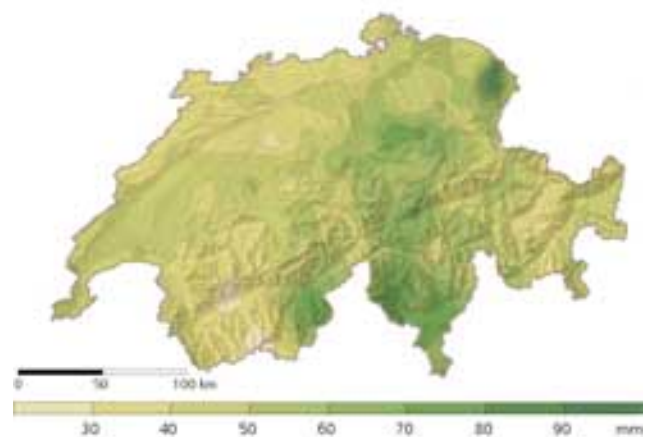


Fig. 2-20: Extreme 100-jährliche Punktniederschläge von 1 Stunde Dauer (nach JENSEN et al. 1997).

50 mm gemessen. Dieselbe Tagesmenge fällt im nördlichen Alpenvorland nur 1 bis 2 mal pro Jahr.

Die hohen Niederschlagsintensitäten während Starkniederschlagsereignissen wirken sich positiv auf die Genauigkeit der Messungen aus. Die Grösse der Regentropfen nimmt zu, so dass diese weniger vom Messgerät abgelenkt werden. Bei den statistisch ermittelten 100jährigen Werten in einem Niederschlags-Intensitäts-Diagramm muss mit einem mittleren Fehler von  $\pm 10$  bis 30 % gerechnet werden (GEIGER et al. 1991).

### 2.4.2 Trockenheit

Zur Identifikation von Trockenperioden eignen sich, nebst dem Abfluss (vgl. Abschnitt 5.2.3), auch rein meteorologische Indizes. Je nach den verfügbaren Daten können niederschlagsarme Perioden oder Trockenperioden bestimmt werden.

Niederschlagsarme Perioden können definiert werden als Zeitraum von mindestens fünf aufeinanderfolgenden Tagen, in denen die Tagesniederschlagsmenge weniger als 0,5 mm beträgt. Einzelne Tage mit mehr als 0,5 mm sind in einer längeren niederschlagsarmen Periode möglich. Fällt an einem Tag mehr als 1 mm Niederschlag, wird die niederschlagsarme Periode in jedem Fall als beendet betrachtet (MAURER 1975). Bestimmend für den Wasserhaushalt ist vor allem das Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung. Da die Gefahr von Trockenheit nur dann besteht, wenn deutlich mehr Wasser verdunstet als durch den Niederschlag zugeführt werden kann, ist für eine Bestimmung

sogenannter Trockenperioden der Einbezug weiterer Daten nötig. Bisher liegen zu den Trockenperioden in der Schweiz keine flächendeckenden Untersuchungen vor. Punktuell Analysen von MÜHLETHALER (2004) zeigen aber, dass Trockenperioden vor allem im Sommerhalbjahr auftreten, wenn die Verdunstung hohe Werte erreicht.

Niederschlagsarme Perioden kommen dagegen in allen Jahreszeiten etwa gleich häufig vor. Pro Jahr können in weiten Teilen der Alpen und des Juras 8 bis 10, im Mittelland und einigen Alpentälern 11 bis 15 und in einzelnen Regionen im Tessin bis zu 18 niederschlagsarme Perioden beobachtet werden (Periode 1961–1989). Addiert man die einzelnen Perioden zur mittleren jährlichen Gesamtdauer, so fallen je nach Region zwischen 68 und 188 Tage in eine niederschlagsarme Periode (vgl. Fig. 2-21) (MÜHLETHALER 2004).

Extreme Trockenheit herrscht in der Schweiz nur selten. Das Jahr 2003 stellt diesbezüglich eine Ausnahme dar. In weiten Landesteilen dauerte die Phase mit unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen von Februar bis September. Gesamtschweizerisch war vor allem die erste Jahreshälfte aussergewöhnlich niederschlagsarm, in einigen Regionen wurden sogar die tiefsten Werte seit 1901 registriert (vgl. Fig. 2-22). Im 20. Jahrhundert waren die Jahre 1921, 1929 und 1944 zu Beginn ähnlich trocken; noch weniger Niederschlag wurde lediglich in der ersten Jahreshälfte 1976 gemessen. Das Sommerhalbjahr 2003 war im oberen Wallis, im Gotthardgebiet, im Tessin sowie im Bündnerland trockener als im bisher extremsten Sommer 1947 (BUWAL / BWG / MeteoSchweiz 2004).

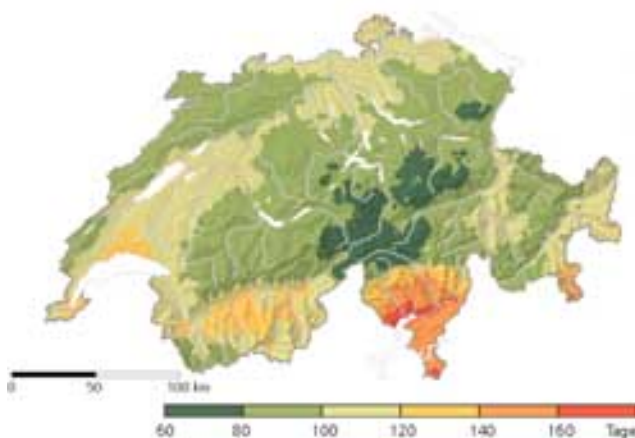


Fig. 2-21: Mittlere jährliche Gesamtdauer niederschlagsarmer Perioden zwischen 1961 und 1989 (nach MÜHLETHALER 2004).



Fig. 2-22: Niederschlagssumme Januar–Juni 2003 verglichen mit den Halbjahressummen seit 1901 (nach ZBINDEN 2003).

## 2.5 Vertiefende Aspekte

In den vorangehenden Abschnitten wurde meist der flüssige Niederschlag (Regen) als wichtigste Form des Niederschlags thematisiert. Nebst dem Niederschlag in Form von Schnee (vgl. Kap. 3) müssen verschiedene Spezialfälle des Niederschlags beachtet werden: Bestandesniederschlag, Nebelniederschlag und Hagel.

### 2.5.1 Bestandesniederschlag

Unter einer Vegetationsdecke ist der Niederschlagseintrag in der Regel geringer als im Freiland, da ein Teil des Wassers an den Pflanzen hängen bleibt und den Boden nicht erreicht (Interzeption). Die Höhe der Interzeptionsverluste ist vom Bewuchs, der Dauer und Intensität des Niederschlags sowie den Bedingungen für die Verdunstung abhängig. Der Bestandesniederschlag, also der am Boden messbare Niederschlag, setzt sich aus Stammabfluss, durchfallendem und abtropfendem Niederschlag zusammen (vgl. Fig. 2-23).



Fig. 2-23: Erläuterungsskizze zum Begriff des Bestandesniederschlags.

Figur 2-24 zeigt die Niederschlagsverteilung auf einer bewaldeten, rund 100 m<sup>2</sup> grossen Testparzelle am 31. August 2003. Im Freiland fallen an diesem Tag 54,4 mm Niederschlag. Der Verlust durch die Interzeption beträgt durchschnittlich 18,4 mm (33,8 %). Einige Niederschlagsmesser stehen unter einer Krautschicht, was die starke Abschirmung einzelner Standorte erklärt. Im umgekehrten Fall kann die Vegetation aber auch zu einer Konzentration des Niederschlags und damit zu höheren Niederschlagsmengen als im Freiland führen. Mit einem Anteil in der Grössenordnung

von 10–50 % des Jahresniederschlags (GEIGER 1985) muss die Interzeption als wichtiger Prozess im Wasserhaushalt vegetationsbedeckter Flächen berücksichtigt werden.

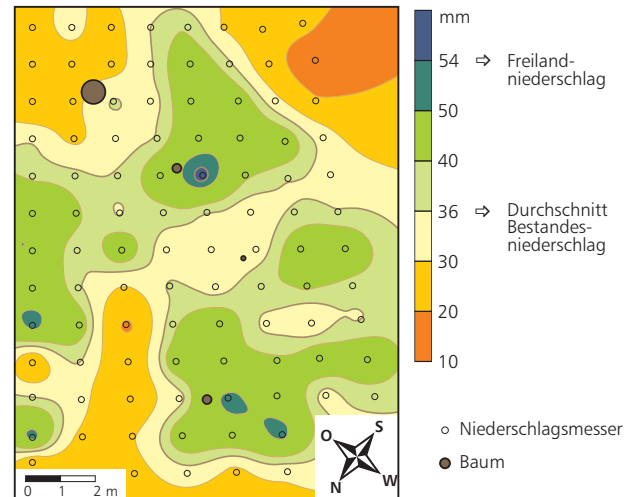


Fig. 2-24: Variabilität des Bestandesniederschlags am 31. August 2003 auf einer Testparzelle im Sperbelgraben (BE) bei einem Freilandniederschlag von 54,4 mm (nach KÖNITZER 2004).

### 2.5.2 Nebelniederschlag

An exponierten Vegetationsstandorten kommt dem Wassereintrag durch Nebel grosse Bedeutung zu. Mit dem Wind treibende Wassertropfen lagern sich an festen Objekten ab. Eine dichte Vegetation kämmt die Nebeltropfen wirksam aus. Als abtropfender Niederschlag oder Stammabfluss wird der Nebelniederschlag nicht von den normalen Niederschlagsmessnetzen erfasst.



Fig. 2-25: Wald als Nebelfilter, Sperbelgraben (BE) am 8. September 2003.

Nebel ist definiert als die Trübung der Sichtweite aufgrund schwebender Wassertröpfchen. Sobald die horizontale Sichtweite weniger als 1 km beträgt, wird (meteorologisch) von Nebel gesprochen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um Bodennebel oder eine dem Boden aufliegende Wolke handelt. Nebel kommt also überall vor, nicht nur in den typischen Nebelgebieten des Mittellands, wie sie in Figur 2-26 dargestellt sind. Maximale Nebelhäufigkeit ergibt sich in höheren und exponierten Lagen durch das häufige Auftreten von Wolken (vgl. Fig. 2-27). Messungen in nebelarmen, inneralpinen Lagen haben einen zusätzlichen Niederschlagsabsatz aus Nebel von 5–25 % ergeben (TURNER 1985). An windausgesetzten Stellen in den Hauptnebelzonen muss noch mit weit höheren Werten gerechnet werden.

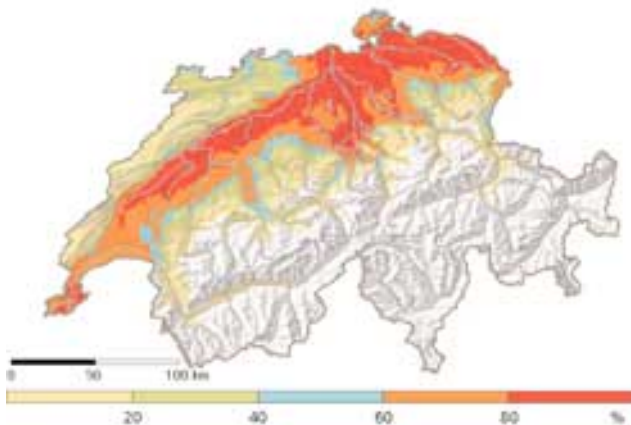


Fig. 2-26: Mittlere Häufigkeit des Auftretens von Nebel im Alpenvorland (prozentuale Auftrittshäufigkeit auf 80 ausgewerteten Satellitenbilder der Periode 1989–1991, Winterhalbjahr) (nach BACHMANN & BENDIX 1993).

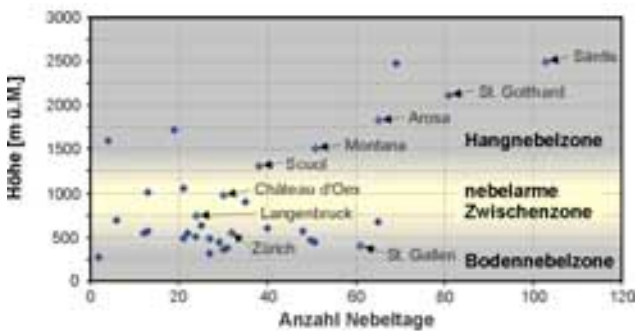


Fig. 2-27: Mittlere Nebelhäufigkeit im Winterhalbjahr von 34 Stationen (Periode 1970–1975) mit vereinfachter Zoneneinteilung (nach TROXLER & WANNER 2000).

### 2.5.3 Hagel

Die Schweiz gehört zu den Ländern mit der grössten Hagelgefahr Europas. Gewitterstürme mit Hagel verursachen jährlich Schäden in zweistelliger Millionenhöhe (2003: 46 Mio Franken). Innerhalb der Schweiz ist die Gefahr von Hagelgewittern unterschiedlich gross. Am stärksten betroffen sind die Voralpengebiete beidseits der Alpen (vgl. Fig. 2-28). Als Hagel werden Eiskörner mit einem Durchmesser grösser als 5 mm bezeichnet. Hagelgewitter sind regionale Ereignisse von hoher Niederschlagsintensität. Durch das grosse Volumen der Hagelkörner kann die Aufnahmekapazität der Messgeräte überschritten werden, was zu einer Verfälschung der Niederschlagsmessung führt.

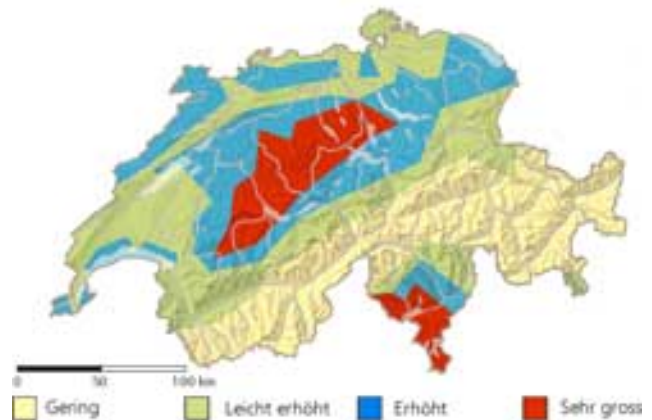


Fig. 2-28: Gefahr von Hagel (Periode 1956–1999) (Quelle: Schweizerische Hagel-Versicherungs-Gesellschaft).



Fig. 2-29: Hagelschäden in Aathal-Seegräben (ZH) am 12. August 2004.

## 2.6 Niederschlag Schweiz – Europa – Welt

Die Schweiz wird oft als «Wasserschloss Europas» bezeichnet. Das legt die Vermutung nahe, dass hier mehr Niederschlag fällt als in den umgebenden Ländern. Wie steht die Schweiz im europäischen und im globalen Vergleich?

Niederschlag entsteht durch Abkühlung von relativ wasserdampfreicher Luft. Die wichtigsten Wasserdampfquellen sind die Weltmeere. Von dort werden die feuchten Luftmassen durch atmosphärische Zirkulationssysteme auch über die Kontinente transportiert, wo sie vor allem an den Gebirgsbarrieren wieder abregnen. Die niederschlagsreichsten Gebiete der Erde liegen daher an den Kontinentalrändern in der Nähe der Hauptverdunstungsquellen. Hohe Niederschlagsmengen im Innern der Kontinente können an Gebirgsmassiven und über Feuchtgebieten auftreten (vgl. Fig. 2-30).

Rekordniederschläge in der Schweiz erreichen bei Ereignissen kurzer Dauer maximal die Hälfte der Weltrekordmengen, über längere Zeiträume rund ein Viertel (vgl. Fig. 2-31). Das bedeutet allerdings nicht, dass in den Alpen keine höheren Niederschlagsintensitäten möglich wären. Die Weltrekordmenge für die Dauer von drei Stunden von 635 mm wurde am 16.7.1913 in der Steiermark (Österreich) gemessen.

Innerhalb Europas nehmen die Gebirgsregionen und v.a. die Alpen eine Sonderstellung ein. Nicht weit von drei Meeren (Atlantik, Mittelmeer und Nordsee) und in der Westwindzone gelegen, wird reichlich feuchte Luft gegen die Alpen geführt. Die hohen Niederschläge bilden die Voraussetzung für ihren Wasserreichtum (vgl. Tab. 2-6). Doch erst der Anteil des Niederschlags, der zum Abfluss gelangt, entscheidet darüber, ob die Alpen und damit die Schweiz der Bezeichnung «Wasserschloss» gerecht werden (vgl. Kap. 10.3).

	Erde	Landflächen	Europa	Alpen
Niederschlag	973	746	780	1460

Tab. 2-6: Mittlere Jahresniederschlagsmengen in mm (Quellen: BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1990; MOUNTAIN AGENDA 1998).

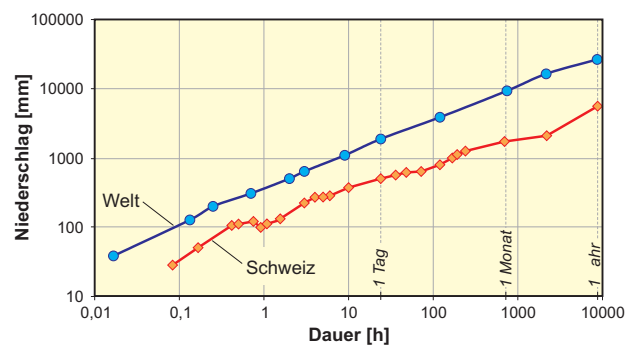


Fig. 2-31: Vergleich beobachteter Niederschlagsrekorde: Schweiz – Welt (nach GEIGER et al. 1991).

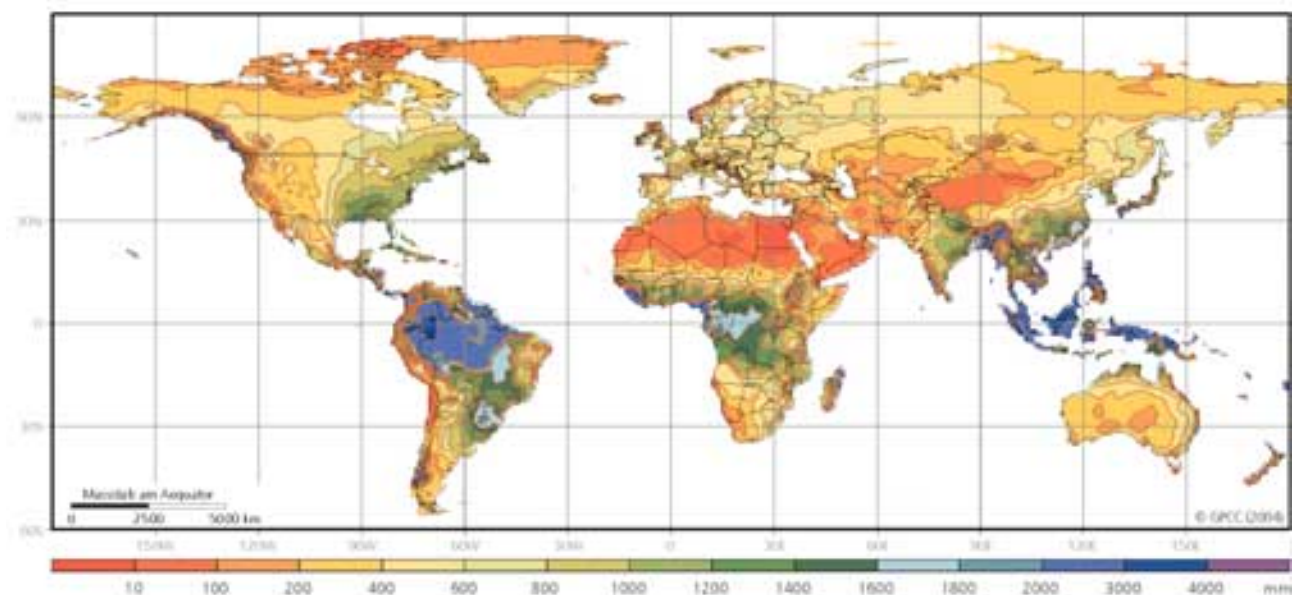


Fig. 2-30: Globale Verteilung der Jahresniederschlagssummen 2003 (Daten: www.dwd.de).

## 2.7 Entwicklung und Aussichten

*Die beobachtete Klimaänderung gibt Anlass zur Rück- und Vorausschau. Haben sich die Niederschlagsmengen im letzten Jahrhundert verändert und auf welche müssen wir uns in Zukunft einstellen?*

In der Schweiz wird vor allem im Winter eine signifikante Niederschlagszunahme gemessen (vgl. Fig. 2-32). In den übrigen Jahreszeiten und bei den Jahressummen (vgl. Fig. 2-33) sind keine signifikanten Trends feststellbar. Verändert hat sich die Niederschlagsintensität und nicht die Anzahl niederschlagsbringender Wetterlagen. Zugenommen hat dagegen die Häufigkeit derjenigen Wetterlagen, die typischerweise mit Hagelniederschlag verbunden sind (BADER &

KUNZ 1998). Eine leichte Zunahme zeichnet sich auch bei der Dauer von Trockenperioden ab. Gesicherte Trends für das 20. Jahrhundert liegen bislang für die alpinen Stationen Davos und Säntis vor (MÜHLETHALER 2004).

Für die Zukunft muss mit einem Anstieg der kontinentalen Sommertrockenheit und der damit verbundenen Dürregefahr gerechnet werden. Klimasimulationen (vgl. Fig. 2-34) zeigen, in welchen Regionen möglicherweise eine Zu- oder Abnahme der mittleren Jahresniederschlagsmengen erwartet werden muss. Die für Europa berechnete Zunahme bei der mittleren Niederschlagsintensität und die Häufung intensiverer Tagesniederschläge können für die Schweiz zurzeit noch nicht bestätigt werden (OCCC 2003).



Fig. 2-32: Signifikante Niederschlagsänderung für die Wintermonate während der Periode 1901–1990 (nach WIDMANN & SCHÄR 1997).

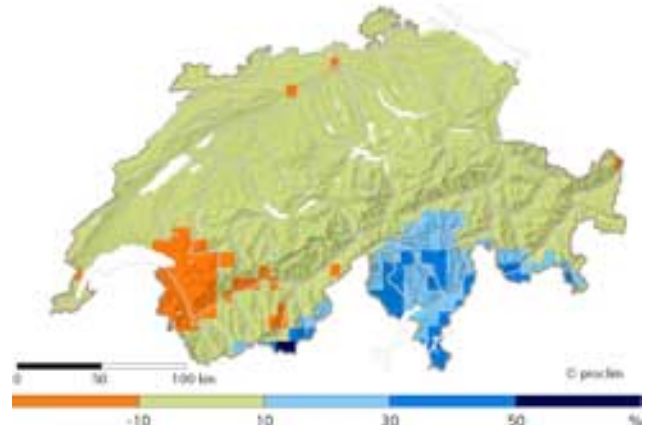


Fig. 2-34: Prozentuale Abweichung des mittleren Jahresniederschlags um 2050 vom Durchschnitt der Periode 1931–1980 bei einer verdoppelten CO<sub>2</sub>-Konzentration der Atmosphäre. Klimasimulation des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg (ECHAM1-T21/LSG-GCM) (nach www.proclim.ch).

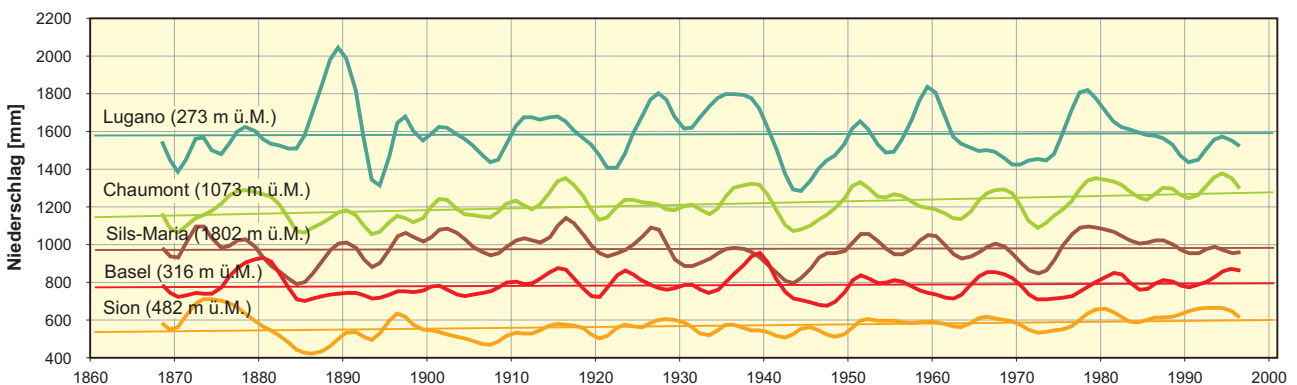


Fig. 2-33: Geglättete Jahressummen der Niederschläge und lineare Trends ausgewählter Stationen. Schwach signifikante Zunahmen zeigen die Stationen Chaumont und Sion (Daten: MeteoSchweiz).