

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 150 (1999)

Heft: 6

Artikel: Bestimmungen seltener Starkniederschläge kurer Dauer : Fallbeispiele im Vergleich mit den schweizerischen Starkniederschlagskarten

Autor: Forster, Felix / Baumgartner, Walter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098426>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 14.04.2026

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

Bestimmung seltener Starkniederschläge kurzer Dauer – Fallbeispiele im Vergleich mit den schweizerischen Starkniederschlagskarten

FELIX FORSTER und WALTER BAUMGARTNER

Keywords: Rainfall intensity; intensity-duration-frequency curve; rainfall intensity diagram; maps of intense rainfall; flood design. FDK 111.773 : 116 : 583 : (494)

Abstract: The two maps of intense rainfall in the Hydrological Atlas of Switzerland (1992, 1997) are compared to data of an evaluation of extreme value statistics. The results are transferred to recommendations for practitioners.

Abstract: Die zwei Starkniederschlagskarten des Hydrologischen Atlas des Schweiz (1992, 1997) werden mit den Daten einer extremwertstatistischen Auswertung verglichen und die Resultate für praktisch tätige Ingenieure umgesetzt.

1. Einleitung

In kleinen Einzugsgebieten (<5 km²) werden extreme Hochwasserspitzen meist durch kurze Starkniederschläge verursacht. Mit Hilfe der im Hydrologischen Atlas der Schweiz (1992, 1997) publizierten Starkniederschlagskarten lassen sich für beliebige Standorte der Schweiz Punktrege unterschiedlicher Wiederkehrperiode und Dauer schätzen und mit entsprechenden Abschätzverfahren oder Modellen, z. B. zur Berechnung von Bemessungsabflüssen, verwenden. Die Grundlage für diese Karten bilden die in ZELLER *et al.* (1976–1983) und RÖTHLISBERGER *et al.* (1991, 1992) zusammengestellten Auswertungen. Sie enthalten die extremwertstatistischen Niederschlagsauswertungen von 647 Messstationen aus der ganzen Schweiz und dem nahen Ausland. Die Basis bilden Daten zwischen 1901 und 1970.

Der Hydrologische Atlas der Schweiz (1992, 1997) enthält zur Zeit zwei verschiedene Starkniederschlagskarten: das 1992 publizierte, alte Kartenblatt 2.4 und das neue Blatt 2.4² von 1997. Die beiden Karten unterscheiden sich nur durch die verwendete Interpolationsmethode. Ein oft gehörter Kritikpunkt an der alten Karte betraf einzelne zu stark ausgeprägte lokale Maxima. Beim dort angewandten Interpolationsverfahren sind alle Messstationen qualitativ gleichwertig, und sie werden für eine weitere Umgebung als repräsentativ angesehen. Der neuen Karte liegt der absolut identische Datensatz zugrunde. Bei der Interpolation wurde aber die Datenunsicherheit berücksichtigt (z. B. Länge der Messreihe usw.). Kürzeren Messperioden wird in der neuen Karte ein kleineres Gewicht beigegeben.

Die vorliegende Arbeit soll Praktikern die Anwendung der existierenden Starkniederschlagskarten erleichtern und bestehende Unsicherheiten abbauen.

Anhand von 13 ausgewählten Niederschlagsstationen geht es erstens um die Beurteilung von Niederschlagsintensitäten für kurze Niederschlagsdauern (< 1 Stunde). Kurz anhaltende Starkniederschläge sind massgebend für die Hochwasserbemessung in kleinen Einzugsgebieten. Es geht darum festzustellen, wie weit diese kurzzeitigen Intensitäten aus dem doppelt logarithmisch dargestellten Intensitätsdiagramm linear extrapoliert werden können.

Zweitens wird der Einfluss der jüngsten Niederschlagsdaten (etwa 20 Jahre) auf die ursprüngliche extremwertstatistische Auswertung beurteilt (ZELLER *et al.*, 1976–1983). Und drittens werden die aus den verlängerten Messreihen berechneten Niederschlagsintensitäts-Diagramme mit jenen verglichen, die aus den beiden Starkniederschlagskarten ableitbar sind. Durch einen groben regionalen Vergleich mit 96 Niederschlagsstationen sollen die Resultate der 13 Stationen geographisch etwas breiter abgestützt und auf die ganze Schweiz übertragen werden.

2. Datenmaterial und Auswertemethoden

Bei den untersuchten Niederschlagsstationen handelt es sich um sieben ausgewählte Stationen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) und sechs Messstationen, die von der Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen der WSL betreut werden bzw. wurden.

Für die 13 Stationen sind die in ZELLER *et al.* (1976–1983) ausgewerteten Messreihen durch die jüngsten Daten bis 1997 ergänzt worden. Die Messreihen für die verschiedenen ausgewerteten Niederschlagsdauern einer Station sind oft nicht alle gleich lang (Tabelle 1).

Die Serien der jährlichen Höchstwerte sind analog der Bearbeitung in ZELLER *et al.* (1976–1983) mit der 1. oder 2. Extremalverteilung nach GUMBEL ausgewertet. Der Auswertung der

Tabelle 1: Die untersuchten Niederschlagsstationen mit den ausgewerteten Niederschlagsdauern und den zugehörigen Messperioden.

Station	Ausgewertete Niederschlagsdauern	Messperiode für T < 1h	Messperiode für T = 1h	Messperiode für T >= 1Tag
Basel-Binningen	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1917–1997	1917–1997	1901–1997
Davos-Platz	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1930–1997	1930–1997	1901–1997
Lausanne	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1935–1997	1935–1997	1901–1997
Locarno-Monti	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1935–1997	1935–1997	1935–1997
Lugano	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1959–1997	1959–1997	1901–1997
Sion	10', 20', 1h, 1Tg, 5Tg	1952–1997	1952–1997	1901–1997
Zürich	10', 1h, 1Tg, 5Tg	1901–1997	1901–1997	1901–1997
Rotenbach	10', 20', 1h, 1Tg, 2Tg, 5Tg	1952–1997	1952–1997	1952–1997
Sperbelgraben	10', 20', 1h, 1Tg, 2Tg, 5Tg	1929–1957	1929–1957	1901–1996
Rappengraben	10', 20', 1h, 1Tg, 2Tg, 5Tg	1929–1957	1929–1957	1901–1996
Melera	10', 20', 1h, 1Tg, 5Tg	1935–1961	1935–1961	1935–1961
Erlenbach	10', 20', 1h, 1Tg, 2Tg, 5Tg	1982–1997	1969–1997	1969–1997
Vogelbach	10', 20', 1h, 1Tg, 2Tg, 5Tg	1986–1997	1967–1997	1967–1997

FORSTER, F.; BAUMGARTNER, W.: Bestimmung seltener Starkniederschläge kurzer Dauer – Fallbeispiele im Vergleich mit den schweizerischen Starkniederschlagskarten (reviewed paper)

kurzen Messreihen liegen partielle Serien zugrunde. Die angewendeten Verfahren sind in GEIGER *et al.* (1991) ausführlich beschrieben.

3. Resultate und deren Diskussion

3.1 Extrapolation der Niederschlagsintensität für kurze Niederschlagsdauern

Für die Erarbeitung der Starkniederschlagskarten sind die Daten von 503 Stationen verwendet worden. Für etwa 90% dieser Stationen stehen aber nur 1-Tageswerte und daraus abgeleitete Niederschlagswerte für längere Niederschlagsdauern (2 und 5 Tage) zur Verfügung. Eine wichtige Frage ist deshalb, ob daraus im doppelt-logarithmisch dargestellten Niederschlagsintensitäts-Diagramm die Intensitäten für kurze Niederschlagsdauern (10 min, 1 h) mit Hilfe einer Geraden extrapoliert werden können. Bei der Hochwasserberechnung in kleinen Einzugsgebieten betragen die massgebenden Niederschlagsdauern meist weniger als eine Stunde.

3.1.1 Stand der Kenntnisse

Eine Auswertung in KOUTSOYIANNIS *et al.* (1998) zeigt für Niederschlagsdauern von 5 und 10 min bei den betrachteten Jährlichkeiten eine deutliche Abminderung gegenüber einem linearen Verlauf, wie er sich aus den Werten zwischen 5 Tagen bis etwa 30 min ergibt. Auch in MEYLAN (1995) wird auf dieses Verhalten hingewiesen. Im VSA-Bericht (1994) wird ein linearer Verlauf des Niederschlagsintensitäts-Diagramms bis zu einer Niederschlagsdauer von 30 min vorgeschlagen. Die bei kürzeren Dauern vorgeschlagene Abminderung gegenüber dem linearen Verlauf wirkt sich allerdings zwischen 20 und 30 min noch nicht sehr stark aus.

VOLKEN (1998) wertete in seiner Diplomarbeit ein Dutzend A-Netz-Stationen im Wallis und in Nachbarregionen aus. Basierend auf den 10-min-Daten bearbeitete er die verschiedenen Niederschlagsdauern zwischen 10 Minuten und 5 Tagen. Diese Daten zeigen für diese allerdings sehr kurzen Messreihen (15 bis

20 Jahre) bei der 100-jährlichen Niederschlagsintensität für den 30-min-Wert praktisch keine Abminderung gegenüber der Ausgleichsgeraden, die sich aus den 1-Stunden-, 1-Tages- und 5-Tageswerten bestimmen lässt. Mit abnehmender Niederschlagsdauer (20 min und 10 min) nimmt jedoch die Anzahl der Stationen, die eine entsprechende Abminderung aufweisen, zu.

3.1.2 Die Bestimmung des Intensitätsdiagrammes als Ausgleichsgerade

Für die in der vorliegenden Untersuchung ausgewählten 13 Niederschlagsstationen wird das 2,33- und das 100-jährliche Niederschlagsintensitäts-Diagramm bestimmt. Als Ausgangsdaten dienen die Niederschlagswerte für 1 Stunde, 1 Tag und 5 Tage sowie für einzelne Stationen auch die 2-Tageswerte. Die Bestimmung des Intensitätsdiagrammes erfolgt durch die Festlegung einer Ausgleichsgeraden im doppelt logarithmischen Diagramm. Die zur Verfügung stehenden Bestimmungspunkte der Ausgleichsgeraden liegen für diese untersuchten Stationen gemäss einer visuellen Beurteilung recht nahe an diesen Geraden (*Abbildung 1*). Zur Überprüfung werden die 10-min- und, falls vorhanden, auch die 20-min-Werte in der *Abbildung 1* eingetragen, obwohl sie für die Bestimmung der Ausgleichsgeraden nicht berücksichtigt werden.

Für Davos, Lugano, Melera und Rappengraben liegt der 100-jährliche 10-min-Wert praktisch auf der Ausgleichsgeraden und für Sion sogar darüber. Bei den übrigen acht Stationen liegt der 10-min-Wert unterhalb der Geraden, d. h. für diese Stationen ist beim 10-min-Wert eine Abminderung gegenüber dem linearen Verhalten festzustellen. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass die gemessenen maximalen 10-min-Werte im Gegensatz zu den übrigen ausgewerteten Niederschlagsdauern nur in einem Fall den aus den Messdaten extrapolierten 100-jährlichen Wert übersteigen. Es handelt sich bei der Ausnahme um die Station Sion, mit dem kleinsten 100-jährlichen 10-min-Wert unter den 13 untersuchten Stationen. Die 20-min-Werte liegen nur für die Stationen Erlenbach, Vogelbach, Rotenbach, Melera, Rappengraben, Sperbelgraben und Sion vor. Sie liegen bei diesen Stationen meist recht nahe bei der Ausgleichsgeraden.

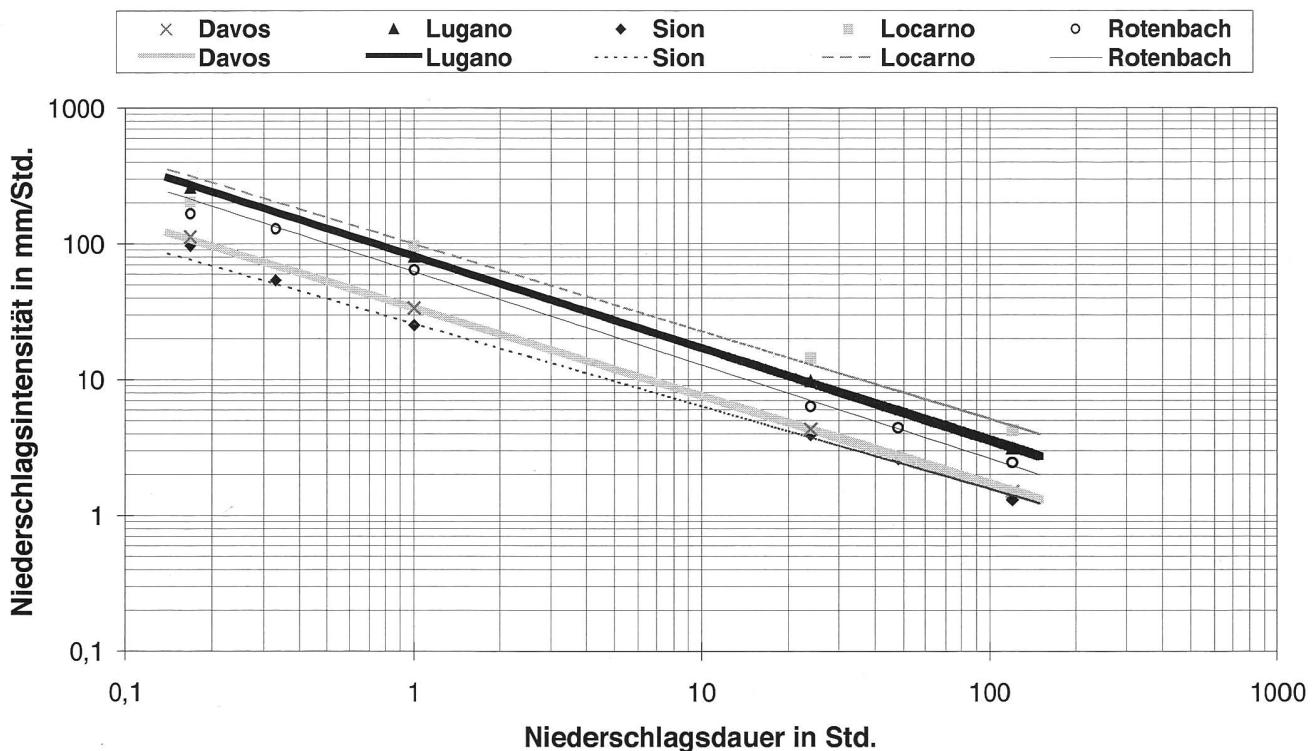


Abbildung 1: Das 100-jährliche Niederschlagsintensitäts-Diagramm als Ausgleichsgerade für verschiedene Stationen unter Berücksichtigung des 1-h-, 1-Tages- und 5-Tageswertes (ohne 10- und 20-min-Wert).

Die 2,33-jährlichen 10-min-Werte der 13 Stationen liegen, von einer Ausnahme abgesehen, ebenfalls auf der Ausgleichsgeraden.

3.1.3 Das aus den 1- und 5-Tageswerten abgeleitete Intensitätsdiagramm

Die Zuverlässigkeit der aus den Starkniederschlagskarten abgeleiteten kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten soll auch noch aus einer etwas anderen Optik beurteilt werden. In ZELLER *et al.* (1976–1983) sind die kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten für den Grossteil der Stationen nur aus den Niederschlagsdaten mit einer Messdauer von ≥ 1 Tag extrapoliert worden. Für die in dieser Arbeit untersuchten Stationen ist nun das aus den 1- und 5-Tageswerten (z.T. zusätzlich auch 2-Tageswerte) abgeleitete Intensitätsdiagramm mit jenem, das dazu noch die 1-h-Werte berücksichtigt, verglichen worden.

Für die vier südlich der Alpen gelegenen Stationen Lugano, Locarno-Monti, Melera und Sion ergaben sich aus der Extrapolation der 100-jährlichen 1- und 5-Tageswerte deutlich höhere Intensitätswerte für die kurzzeitigen Niederschläge (*Abbildung 2*). Für die nördlich der Alpen gelegenen Stationen sieht die Situation etwas anders aus: Für Davos verhält sich das aus den 1- und 5-Tageswerten abgeleitete Intensitätsdiagramm ähnlich wie dasjenige, das zusätzlich auch noch den 1-h-Wert berücksichtigt (*Abbildung 2*). Im Falle von Basel, Lausanne, Rappengraben, Rotenbach, Sperbelgraben und Zürich liegen die Intensitäten unter Einbezug des 1-h-Wertes bei der Regression für die kurzzeitigen Niederschläge höher (*Abbildung 2*). Eine Ausnahme bilden dabei die beiden Datenreihen aus dem Alptal (Erlenbach und Vogelbach). Hier resultieren aus der Extrapolation der 100-jährlichen 1-, 2- und 5-Tageswerte die grösseren Werte als bei der Mitberücksichtigung der 1-h-Werte. Dies dürfte mit den kurzen Datenreihen für kurzzeitige Niederschlagsdauern zusammenhängen (*Tabelle 1*).

Bei den 2,33-jährlichen Werten bestehen bei allen Stationen lediglich geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Intensitätsdiagrammen.

Unter Berücksichtigung der zitierten Literatur und der Ergebnisse dieser Untersuchung kann gefolgert werden, dass

das bis knapp unter 30 Minuten linear extrapolierte Intensitätsdiagramm, das auf den 1- und 5-Tageswerten basiert, für die nördlich der Alpen gelegenen Stationen keineswegs generell zu hohe Werte liefert. Für die im Tessin gelegenen Stationen gilt diese Aussage in dieser Form nicht. Bei jenen Stationen fällt auf, dass sie recht grosse 1-Tages- und auch 5-Tageswerte aufweisen. Die 100-jährlichen Intensitäten der 1-Tageswerte bewegen sich zwischen 9,7 und 14,4 mm/h und jene der 5-Tageswerte zwischen 3,1 und 4,2 mm/h. Sie sind damit etwa doppelt so gross wie die entsprechenden Werte der nicht im Tessin gelegenen Stationen (vgl. auch *Tabelle 5*: Tagesmaxima für Sotto- und Sopraceneri).

Die zugehörigen 100-jährlichen 1-h-Werte bewegen sich mit Ausnahme von Locarno-Monti mit 96,3 mm/h im gleichen Rahmen wie die grösseren Werte nördlich der Alpen. Es ist deshalb anzunehmen, dass die im Tessin aufgrund der 1- und 5-Tageswerte extrapolierten Intensitäten für kurzzeitige Niederschläge zu hoch ausfallen.

3.1.4 Vergleich mit dem aus den Niederschlagsrekorden gebildeten Intensitätsdiagramm

Ein Vergleich mit dem Intensitätsdiagramm, das anhand der bisher gemessenen Niederschlagsrekorde für die Alpennord- und für die Alpensüdseite erstellt wurde, zeigt hier interessante Parallelen (*Abbildung 3*). Dabei lässt sich das oben für die Alpennord- und Alpensüdseite beschriebene Verhalten des aus dem 1- und 5-Tageswert abgeleiteten Intensitätsdiagrammes auch im jeweiligen Rekordintensitäts-Diagramm wiedererkennen. Dies könnte ein Indiz dafür sein, dass die aus den 13 Stationen gewonnenen Ergebnisse in Bezug auf die lineare Extrapolation der Intensitätsdiagramme für kurze Niederschlagsdauern möglicherweise generell auf die Alpennord- und die Alpensüdseite übertragen werden könnten. Die relativ tiefen Werte für kurzzeitige Niederschläge auf der Alpensüdseite könnten allerdings auch mit der im Vergleich zur Alpennordseite kleinen Anzahl von Niederschlagsstationen mit kurzen Messdauern und der gesamthaft eher kurzen Messreihenlänge zusammenhängen.

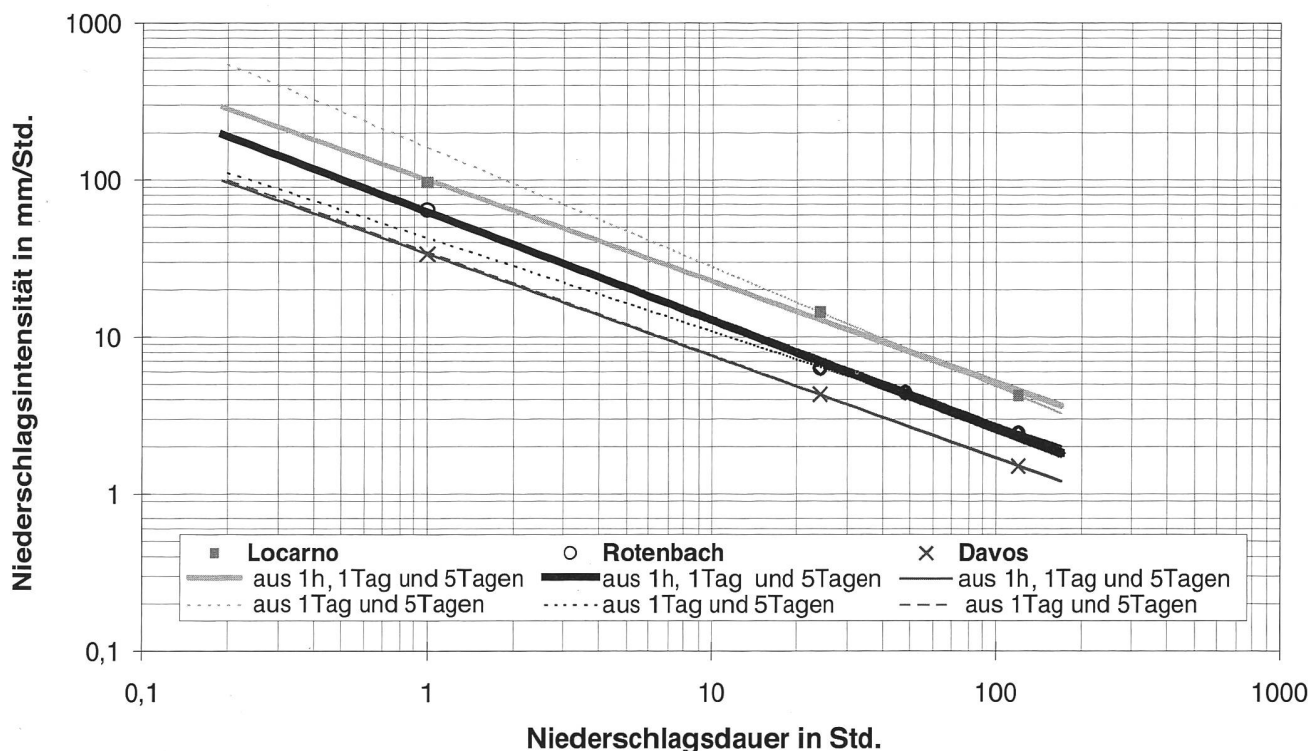


Abbildung 2: Vergleich des 100-jährlichen Niederschlagsintensitäts-Diagrammes auf der Basis des 1- und 5-Tageswertes mit jenem auf der Basis des 1-h-, 1-Tages- und 5-Tageswertes für drei Stationen.

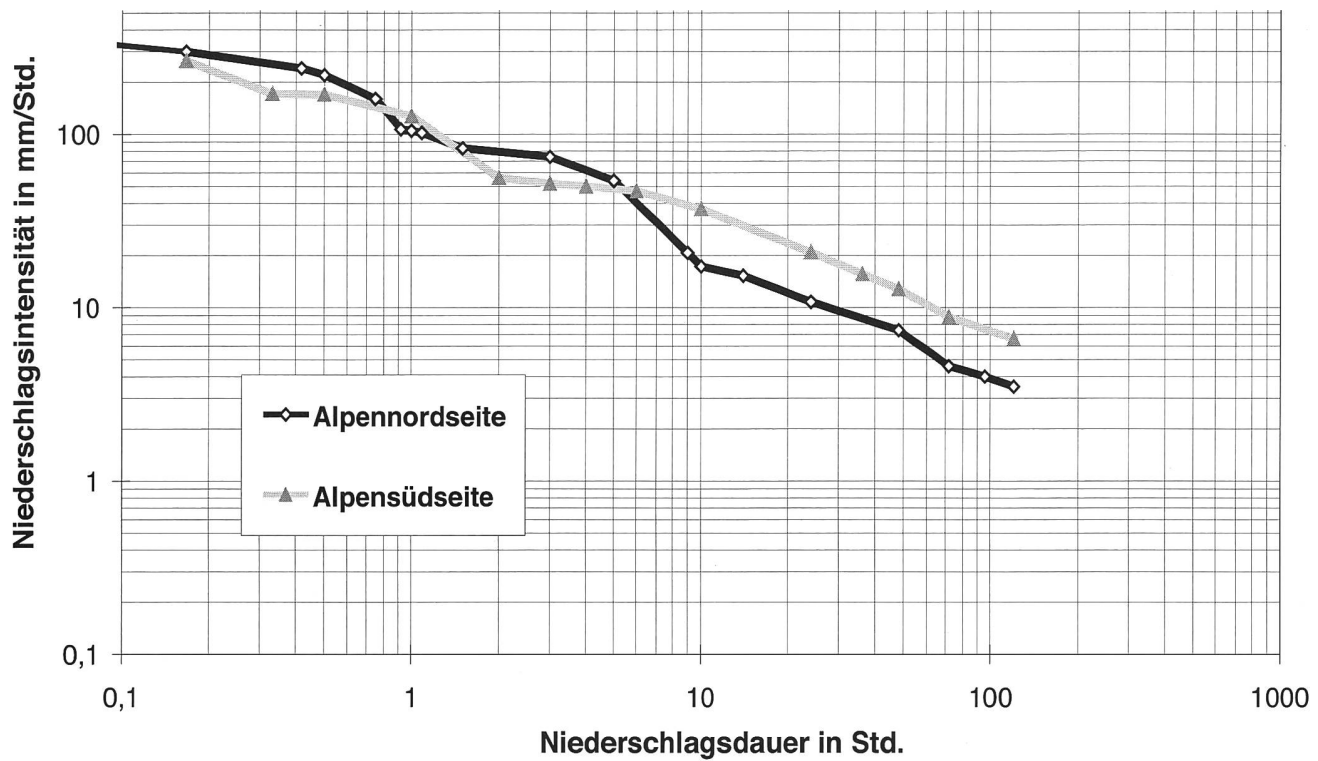


Abbildung 3: Regionale Hüllkurven der in Abhängigkeit der verschiedenen Niederschlagsdauern maximal gemessenen Niederschlagsintensitäten der Alpennord- und der Alpensüdseite (aktualisierte Daten aus GEIGER *et al.*, 1991).

Die eingetragenen Rekordwerte basieren auf den Daten aus GEIGER *et al.* (1991), welche um verschiedene neuere Werte ergänzt wurden.

3.1.5 Fazit

Die Auswertung von 13 ausgewählten Stationen zeigt, dass die Niederschlagsintensitäten für Niederschlagsdauern zwischen 25 min und 5 Tagen linear extrapoliert werden dürfen und im Vergleich zu den entsprechenden Werten, die aus den Messwerten abgeleitet wurden, sehr plausible Werte ergeben. Die Zulässigkeit der Extrapolation muss in jedem Fall mit Hilfe der Karte 2.4 im Hydrologischen Atlas der Schweiz (1992) überprüft werden. Für die Alpennordseite ergibt sich eine Überschätzung der kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten, wenn die Extrapolation lediglich auf den Niederschlagsdaten ≥ 1 Tag basiert. Für Hochwasser-Bemessungsaufgaben auf der Alpennordseite sind möglichst auch Stationen mit Messdaten für Niederschlagsdauern ≤ 1 h miteinzubeziehen.

3.2 Einfluss der um etwa 20 Jahre verlängerten Messreihe auf das Intensitätsdiagramm

Im folgenden Abschnitt soll die Frage beurteilt werden, wie sich die Niederschläge, die sich seit der Auswertung von ZELLER *et al.* (1976–1983) ereignet haben, auf die Frequenz- bzw. Intensitätsdiagramme ausgewirkt haben. Die Periode, deren Niederschlagsdaten noch nicht in den Starkniederschlagskarten berücksichtigt sind, variiert für die von uns untersuchten Stationen zwischen 18 und 28 Jahren.

Eine Untersuchung von COURVOISIER (1998), die sich allerdings auf den Tagesniederschlag beschränkt, ergibt für das letzte Viertel dieses Jahrhunderts, das im wesentlichen mit der hier zusätzlich untersuchten Zeitperiode seit der Niederschlagsauswertung von ZELLER *et al.* (1976–1983) zusammenfällt, eine signifikante Häufigkeitszunahme sowohl der Tagesniederschläge von ≥ 70 mm auf der Alpennordseite und den inneren Alpen als auch jener von ≥ 100 mm und ≥ 150 mm auf der Alpennordseite.

Zur Beantwortung der oben gestellten Frage werden einerseits die aufgrund der verlängerten Messreihen erstellten Frequenz- und Intensitätsdiagramme mit jenen in ZELLER *et al.* (1976–1983) verglichen, und andererseits werden für zehn der bearbeiteten Stationen die jeweils zehn intensivsten Niederschläge pro Niederschlagsdauer untersucht. Dabei wird die Anzahl der Ereignisse, die seit der Publikation von ZELLER *et al.* (1976–1983) aufgetreten sind, mit derjenigen Anzahl verglichen, die bei einer gleichmässigen Verteilung über die gesamte Messperiode zu erwarten wäre.

3.2.1 Vergleich der Frequenzdiagramme

Für zehn der 13 Stationen sind die aus dem Frequenzdiagramm der verlängerten Messreihen abgeleiteten 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten (1 h, 1 Tag, 5 Tage) mit den entsprechenden Werten in Zeller *et al.* (1976–1983) verglichen worden und in Tabelle 2 dargestellt. Für die restlichen drei sind entweder die Datenreihen zu kurz (Erlenbach, Vogelbach) bzw. die Niederschläge für die letzten 25 Jahre wurden nicht mehr gemessen (Melera). Aus der Tabelle ergibt sich, dass mit Ausnahme von Basel, Davos und Lugano die 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten mindestens für zwei, meistens aber für alle drei der untersuchten Niederschlagsdauern der um etwa 20 Jahre verlängerten Messreihe zugenommen haben.

3.2.2 Vergleich der Intensitätsdiagramme

Für acht der 13 Stationen ist das aufgrund der verlängerten Messreihe resultierende neue 100-jährliche Intensitätsdiagramm mit dem entsprechenden Diagramm in ZELLER *et al.* (1976–1983) verglichen worden. Für die restlichen fünf sind entweder die Datenreihen zu kurz (Erlenbach, Vogelbach) bzw. die kurzzeitigen Niederschläge für die letzten 25 Jahre nicht mehr gemessen (Sperbel-, Rappengraben, Melera), so dass der angestrebte Vergleich nicht sinnvoll oder nicht möglich ist. Für drei der acht Stationen (Basel, Davos und Lugano) zeichnet sich keine klare Veränderung gegenüber dem 100-jährlichen Intensitätsdiagramm in ZELLER *et al.* (1976–1983) ab. Bei fünf Stationen

Tabelle 2: Vergleich der 100-jährlichen, aus dem Frequenzdiagramm abgeleiteten Niederschlagswerte (1 h, 1 Tag, 5 Tage) der ursprünglichen Auswertung in ZELLER *et al.* (1976–1983) mit den entsprechenden Werten aus den verlängerten Messreihen.

Station	1 h [mm]		1 Tag [mm]		5 Tage [mm]	
	aus ZELLER <i>et al.</i>	verlängerte Messreihe	aus ZELLER <i>et al.</i>	verlängerte Messreihe	aus ZELLER <i>et al.</i>	verlängerte Messreihe
Basel	53	53	80	84	123	120
Davos	34	35	110	108	190	192
Lausanne	57	65	103	113	154	168
Locarno-Monti	73	96	315	346	472	504
Lugano	90	80	234	233	369	372
Sion	20	25	87	94	144	156
Zürich	59	78	120	132	200	199
Rotenbach	60	66	131	158	282	312
Sperbelgraben	57	–	117	120	169	204
Rappengraben	51	–	114	120	200	216

(Lausanne, Locarno-Monti, Rotenbach, Sion, Zürich) deutet das neue Intensitätsdiagramm auf tendenziell erhöhte Niederschläge hin, wobei sich dies etwas stärker auf die kurzzeitigen Niederschläge auswirkt (*Abbildung 4*).

Die aus den verlängerten Messreihen abgeleiteten 2,33-jährlichen Intensitätsdiagramme verhalten sich gegenüber den entsprechenden Diagrammen nach ZELLER *et al.* (1976–1983) vergleichbar.

3.2.3 Beurteilung der zehn grössten Ereignisse

Für die Mehrzahl der untersuchten Stationen haben die grossen Niederschlagswerte der kurzzeitigen Niederschläge (10 min bzw. 1 h) überproportional zugenommen. Unter den zehn grössten kurzzeitigen Niederschlagswerten sind jene der letzten etwa 20 Jahre anteilmässig übervertreten (*Tabelle 3*). Dasselbe gilt bei den beurteilten Stationen auch für die längeren Niederschlagsdauern (1 Tag bzw. 5 Tage). Auch dort haben die grossen Niederschlagswerte überproportional zugenommen (*Tabelle 3*). Basel, Davos und Lugano bilden auch hier wieder eher eine Ausnahme, weil sich entweder die Ereignisanzahl für eine Niederschlagsklasse während der letzten 20 Jahre unter-

proportional verhalten hat bzw. nur in einer Niederschlagsklasse eine Zunahme verzeichnet wurde.

3.2.4 Fazit

Auch wenn der Einfluss der letzten etwa 20 Jahre auf die Intensitätsdiagramme nicht für alle 13 Stationen untersucht werden konnte, zeigt sich für die acht komplett auswertbaren Stationen dennoch eine klar erkennbare Tendenz. Bei fünf der acht untersuchten Stationen bewirken die Niederschläge der letzten etwa 20 Jahre erhöhte Niederschlagsintensitäten v. a. bei kurzen Niederschlägen. Bei drei der acht untersuchten Stationen verändert sich das Intensitätsdiagramm durch die jüngsten Niederschlagsdaten kaum. Die grösseren Intensitäten sind nur möglich durch die im Vergleich zur vorangehenden Periode intensiveren Niederschläge während der letzten 20 Jahre. Diese Entwicklung zeigt sich für alle betrachteten Niederschlagsdauern (*Tabelle 2*). Auch die grobe Untersuchung der zehn grössten Ereignisse pro Niederschlagsdauer bestätigt dies (*Tabelle 3*).

Die resultierende Erhöhung der aus den verlängerten Messreihen extrapolierten Bemessungsniederschläge wirkt natürlich

Abbildung 4: Vergleich der 100-jährlichen Niederschlagsintensitäts-Diagramme, die auf den verlängerten Messreihen basieren mit jenen, die auf der ursprünglichen Auswertung in ZELLER *et al.* (1976–1983) basieren.

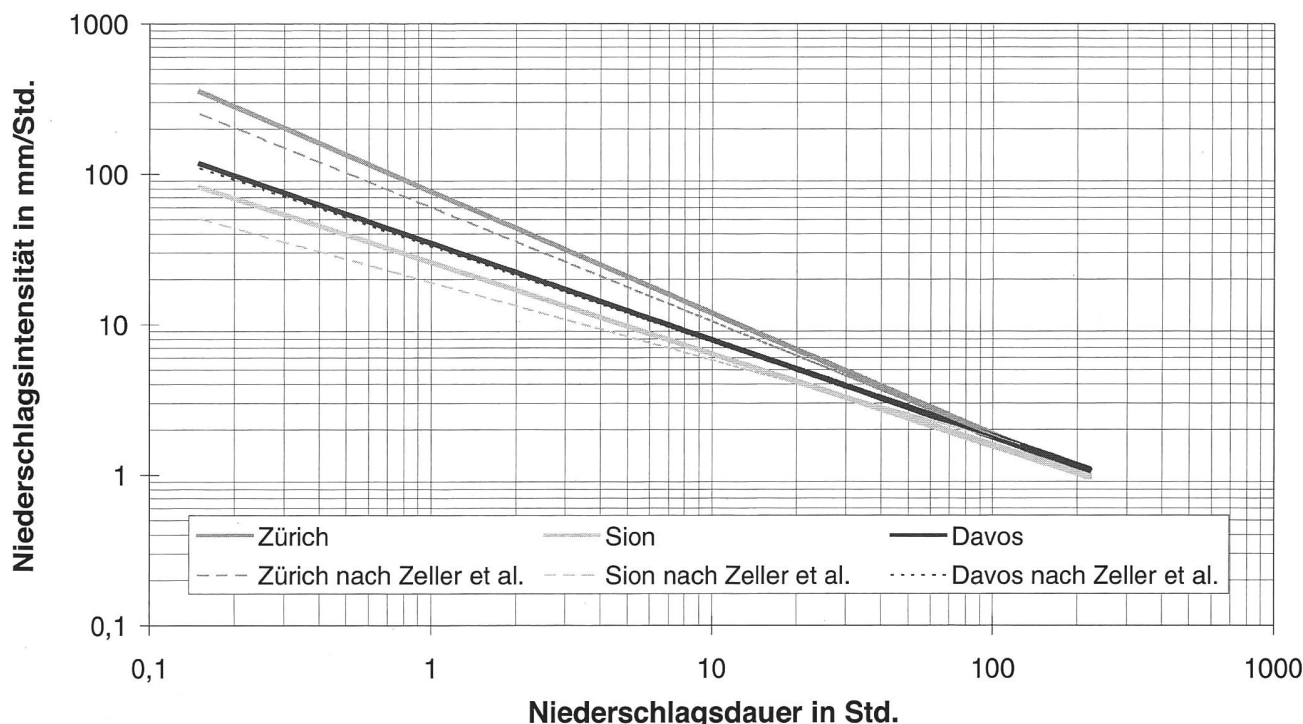


Tabelle 3: Betrachtung der zehn grössten Ereignisse pro Niederschlagsdauer: Vergleich der Anzahl Ereignisse, die in die Messperiode seit Abschluss der Auswertungen in ZELLER et al. (1976-1983) fallen (Anz_{ist}), mit jener Anzahl, die sich aus einer gleichmässigen Verteilung der Starkregenereignisse über die gesamte Messdauer ergeben würde (Anz_{soll}).

Station	10 min		1 h		1 Tag		5 Tage		Anzahl zusätzlicher Messjahre seit der Auswertung von Zeller et al. (1976–1983)	
	Anz. ist	Anz. soll	Anz. ist	Anz. soll	Anz. ist	Anz. soll	Anz. ist	Anz. soll	für 10 min und 1h	für 1 Tag und 5 Tage
Basel	1	2,2	3	2,2	4	2,9	4	2,9	18	28
Davos	6	3,7	4	3,7	2	2,9	3	2,9	24	28
Lausanne	3	3,3	5	3,3	4	2,9	8	2,9	21	28
Locarno-Monti	4	3,2	6	3,2	6	3,2	3	3,2	20	20
Lugano	5	5,1	5	5,1	5	2,9	3	2,9	20	28
Sion	7	4,3	6	4,3	3	2,9	3	2,9	20	28
Zürich	5	2,9	6	2,9	6	2,9	5	2,9	22	22
Rotenbach	7	4,6	8	4,6	7	4,6	7	4,6	21	21
Sperbelgraben	–	–	–	–	4	2,9	7	2,9	–	28
Rappengraben	–	–	–	–	5	2,9	5	2,9	–	28

die Frage nach der Aussagekraft der vorhandenen Starkniederschlagskarten auf.

3.3 Die beiden Starkniederschlagskarten im Vergleich

3.3.1 Vergleich der Intensitätsdiagramme der 13 ausgewählten Stationen mit jenen aus den beiden Starkniederschlagskarten

Für jede der 13 ausgewählten Stationen werden die aus den beiden Starkniederschlagskarten abgeleiteten Niederschlagsintensitäts-Diagramme jenem gegenübergestellt, dessen Grundlage die bis zum Jahre 1997 verlängerte bzw. die längste zur Verfügung stehende Niederschlagsmessreihe ist.

Vergleicht man in einem ersten Schritt die 100-jährlichen 1-h- und die 1-Tageswerte der beiden Karten, so fällt auf, dass die neue Starkniederschlagskarte nur jeweils bei einer Station den grösseren Wert aufweist (Tabelle 4). Beim 1-h-Wert stimmen die beiden Karten für vier Stationen überein (Abweichungen < 5%); beim 1-Tageswert gilt dies für sechs Stationen. Bei den übrigen acht bzw. sechs Stationen liefert die alte Starkniederschlagskarte einen grösseren Wert.

Die Resultate der Auswertung für die 2,33-jährlichen Werte sind denjenigen für die 100-jährlichen Werte sehr ähnlich.

Bezieht man nun das auf den verlängerten bzw. längsten Messreihen basierende 100-jährliche Intensitätsdiagramm in den Vergleich ein, zeigt sich bei den verschiedenen Niederschlagsdauern ein unterschiedliches Verhalten. Mit abnehmender Niederschlagsdauer wächst der Anteil der Stationen, für die die Intensitätsdiagramme, die auf den Starkniederschlagskarten basieren, im Vergleich zu jenem aus den Messreihen zu kleine Intensitäten ergeben (Tabelle 4).

Beim 1-h-Niederschlag unterschätzt die neue Karte den 100-jährlichen Niederschlag in 70% der Fälle. Für den Rest beträgt die Abweichung weniger als 5%. Die alte Karte unterschätzt die entsprechenden 100-jährlichen 1-h-Werte in knapp 50%. Für knapp 40% liegen die Abweichungen unter 5% und in etwas über 10% überschätzt die alte Karte die sich aus der verlängerten Messreihe ergebenden 100-jährlichen 1-h-Werte (Tabelle 4).

Den 100-jährlichen 1-Tageswert unterschätzt die neue Karte für knapp 50% der untersuchten Stationen, erreicht ihn gerade etwa in knapp 40% und überschreitet ihn in gut 10%. Die alte Karte unterschätzt die entsprechenden 100-jährlichen 1-Tageswerte in 30% der Fälle, erreicht sie in knapp 40% und überschreitet sie in den restlichen 30%.

Beim 5-Tageswert unterschätzt die neue Karte den 100-jährlichen 5-Tageswert aus den Messdaten in knapp 25%, erreicht

ihn in gut 50% und überschreitet ihn in knapp 25%. Im Falle der alten Karte sind die Verhältnisse identisch zum 1-Tageswert.

Der analoge Vergleich für die 2,33-jährliche Auswertung fällt mit geringfügigen Abweichungen ähnlich aus, wobei die Unterschätzung durch die neue Karte weniger ausgeprägt ist.

3.3.2 Versuch einer Regionalisierung der beiden Starkniederschlagskarten

Um den Vergleich der beiden Starkniederschlagskarten auf eine etwas breitere Basis zu stellen, wird die Schweiz in 13 Regionen eingeteilt (Abbildung 5). Dazu werden einzelne der schweizerischen Haupt-Landschaftstypen nach GUTERSOHN (1958–1969) zweckmässig in westliche, zentrale und östliche Elemente unterteilt. In diesen Regionen sind 96 Stationen ausgewählt worden. Für jede dieser Stationen wird je die 100-jährliche 1-h- und 1-Tages-Niederschlags-Intensität aus beiden Starkniederschlagskarten bestimmt und der entsprechende regionale Mittelwert berechnet. Auf diese Art lassen sich die Daten der beiden Starkniederschlagskarten regional grob miteinander vergleichen.

Für alle 13 Regionen ist sowohl der mittlere 100-jährliche 1-h- als auch der 1-Tages-Niederschlag der neuen Karte kleiner als der entsprechende Wert der alten Karte (Tabelle 5). Die Abweichungen fallen sowohl für die 1-h- und die 1-Tageswerte als auch für die Regionen unterschiedlich aus, wobei die 1-h-Werte der neuen Karte prozentual stets stärker abweichen als die 1-Tageswerte. Für die Regionen Jura, Mittelland-West, Rhonetal und Engadin unterscheiden sich die beiden Karten beim 1-h-Wert im Bereich von weniger als 10% voneinander. Für das übrige Mittelland, die westlichen und zentralen nördlichen Voralpen sowie Sopra- und Sottoceneri liegen die Differenzen beim 1-h-Wert unter 20%. Für die beiden alpinen Regionen sowie die östlichen nördlichen Voralpen bewegen sich die Unterschiede für den 1-h-Wert unter 30%. Beim 1-Tageswert liegt die Abweichung in der Grössenordnung der Hälfte des 1-h-Wertes, mit Ausnahme des Sopraceneri, wo die Unterschiede für beide Niederschlagsdauern etwa 15% ausmachen.

3.3.3 Vergleich der gemessenen Maximalwerte mit den aus den Starkniederschlagskarten abgeleiteten 100-jährlichen Werten

Wenn man sich vergangene Unwetterkatastrophen vor Augen hält, scheint es durchaus sinnvoll, auch die je gemessenen Maximalniederschläge für einzelne Niederschlagsdauern mit den entsprechenden 100-jährlichen Werten der aus den beiden Starkniederschlagskarten abgeleiteten Intensitätsdiagramme zu vergleichen.

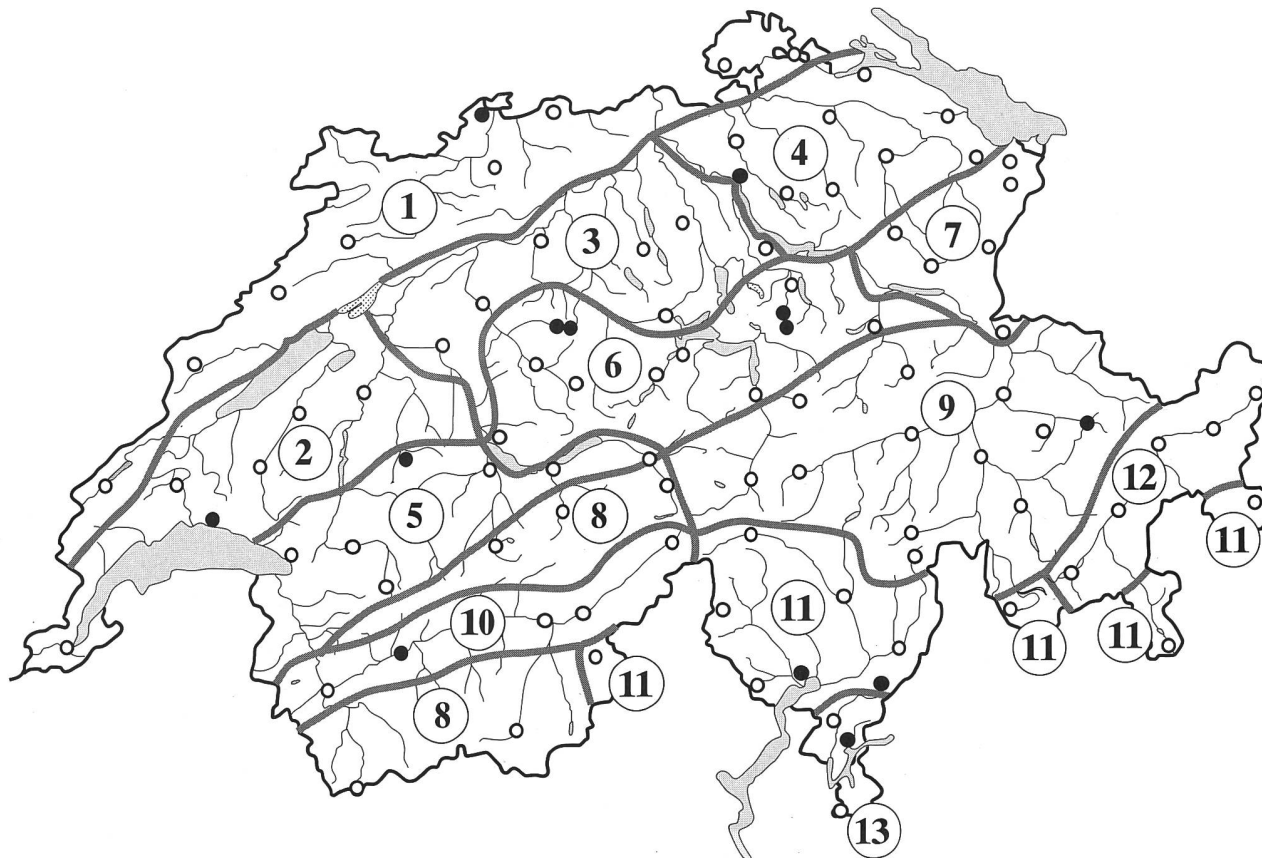


Abbildung 5: Die 13 Regionen und die für den regionalen Vergleich berücksichtigten 96 Niederschlagsstationen. Die 13 genauer untersuchten Messstationen sind speziell gekennzeichnet (ausgefüllte Kreise).

Einerseits soll dies für die einzelnen in dieser Arbeit untersuchten Niederschlagsstationen und die regionale Niederschlagsauswertung erfolgen, andererseits auch für einige konkrete Unwetterereignisse, für welche Niederschlagsdaten vorliegen.

Vergleich der 13 Stationen

Für die 13 untersuchten Stationen sollen die maximalen gemessenen Niederschläge für 1h, 1 Tag und 5 Tage dem entsprechenden 100-jährlichen Wert des aus den beiden Starkniederschlagskarten abgeleiteten Intensitätsdiagrammes gegenübergestellt werden (Tabelle 4). Für die 1-h-Werte liegt eine mittlere Messdauer von 47 Jahren vor und für die 1- und die 5-Tageswerte eine solche von rund 75 Jahren.

Für zehn der 13 untersuchten Stationen (etwa 75%) ist der gemessene maximale 1-h-Niederschlag höher oder mindestens

gleich wie der aus der neuen Karte ermittelte 100-jährliche Wert. Die Theorie der Poisson-Statistik für seltene Ereignisse (GINSBURG, 1971) besagt, dass die Wahrscheinlichkeit etwa 35% beträgt, dass während einer Messdauer von 47 Jahre ein 100-jährliches Ereignis erreicht oder überschritten wird. Damit kann die Hypothese, dass die neue Karte zu geringe 100-jährliche 1-h-Niederschläge liefert, anhand der gemessenen 1-h-Maxima bestätigt werden.

Bei etwa 50% der 13 untersuchten Stationen erreicht oder überschreitet der maximal gemessene 1- bzw. 5-Tages-Niederschlag den entsprechenden aus der neuen Karte abgeleiteten 100-jährlichen Wert. Diese 50% entsprechen gerade etwa der Wahrscheinlichkeit, mit einer 75-jährigen Messreihe mindestens ein 100-jährliches Ereignis zu erhalten (GINSBURG, 1971). Damit kann die Hypothese, dass die neue Karte auch für die grösseren Niederschlagsdauern (1 Tag, 5 Tage) zu kleine 100-jährliche

Tabelle 4: Prozentualer Vergleich der 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten aus der verlängerten bzw. längsten zur Verfügung stehenden Messreihe (= 100%) mit den entsprechenden Werten aus den zwei Starkniederschlagskarten (alt und neu) für verschiedene Niederschlagsdauern und den grössten je gemessenen entsprechenden Niederschlagswerten (Max).

Station	1 h [%]			1 Tag [%]			5 Tage [%]		
	alte K.	neue K.	Max	alte K.	neue K.	Max	alte K.	neue K.	Max
Basel	90	80	103	100	100	90	101	106	82
Davos	100	100	100	90	99	90	81	97	104
Lausanne	99	83	128	100	96	107	100	100	129
Locarno-Monti	80	72	92	105	92	102	115	100	95
Lugano	102	94	78	101	99	119	100	100	100
Sion	77	100	114	110	110	117	141	121	141
Zürich	100	75	99	100	95	122	100	102	150
Rotenbach	79	72	81	79	69	96	79	67	104
Sperbelgraben	79	74	105	93	92	84	96	96	106
Rappengraben	91	87	102	95	93	84	95	95	118
Melera	104	104	88	100	93	89	85	62	75
Erlenbach	110	89	84	111	97	85	112	100	82
Vogelbach	114	99	80	119	105	90	123	116	90

1- und 5-Tagesniederschläge liefert, anhand der gemessenen 1- und 5-Tagesmaxima nicht bestätigt werden.

Regionaler Vergleich

Bei der Beurteilung der regional gemittelten, maximal gemessenen Niederschlagswerte zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den 1-h- und den 1-Tageswerten (Tabelle 5). Die regionalen Mittelwerte der gemessenen maximalen 1-h-Werte variierten deutlich stärker. Ihre grössten regionalen Werte übertreffen den regionalen 100-jährlichen 1-h-Mittelwert der alten Starkniederschlagskarte in mehreren Regionen viel deutlicher als bei den 1-Tageswerten. So liegen die regionalen Mittelwerte der gemessenen 1-h-Maxima für die Regionen Jura, Mittelland-West und Zentrales Mittelland zwischen 25–40% über den entsprechenden 100-jährlichen Werten der alten Karte bzw. 20–52% über den entsprechenden Werten der neuen Karte. Und dies trotz der kurzen mittleren Messdauer von etwa 40 Jahren bei den 1-h-Werten. Bei einer mittleren Messdauer von fast 110 Jahren sind die Mittelwerte der gemessenen 1-Tagesmaxima etwa gleich gross wie die entsprechenden 100-jährlichen Werte aus den beiden Starkniederschlagskarten.

In fünf der 13 Regionen sind diese Mittelwerte der gemessenen 1-h-Maxima mindestens so gross wie die 100-jährlichen Werte der alten Starkniederschlagskarte, und in sieben Regionen (55%) mindestens so gross wie die entsprechenden 100-jährlichen Werte der neuen Karte, und zwar bei einer über alle Regionen bestimmten mittleren Messreihendauer von 35 Jahren. Die Theorie der Poisson-Statistik (GINSBURG, 1971) besagt, dass die Wahrscheinlichkeit knapp 30% beträgt, dass während einer Messdauer von 35 Jahren ein 100-jährliches Ereignis erreicht oder überschritten wird. Damit wird die Hypothese gestützt, dass die kurzen Niederschläge mit der neuen Starkniederschlagskarte unterschätzt werden.

Einige Unwetterereignisse

Für einige Ereignisse des letzten Jahrzehnts werden die massgebenden Niederschlagsintensitäten mit den entsprechenden

100-jährlichen Werten aus den beiden Starkniederschlagskarten verglichen (Tabelle 6).

Einerseits geht aus der Tabelle 6 hervor, dass die für die betrachteten Unwetterereignisse gemessenen Niederschlagsintensitäten bedeutend grösser sind, als die aufgrund der beiden Starkniederschlagskarten ermittelten 100-jährlichen Intensitäten. Ein Ereignis wie jenes an der Gürbe kann als extrem selten beurteilt werden, legt es doch für die 3- und 5-h-Intensitäten den Schweizerrekord auf der Alpennordseite fest. Während der vergangenen etwa 20 Jahre verzeichnete man aber im Vergleich zu den vorangegangenen 40–70 Jahren an vielen der untersuchten Stationen mehrfach sehr hohe Niederschlagswerte.

3.3.4 Fazit

Für die 13 ausgewerteten Messstationen zeigt sich, dass die neue Starkniederschlagskarte für die 1-h- und 1-Tages-Niederschläge nur je in einem Fall grössere Niederschlagsintensitäten als die alte Karte liefert. Die aus der neuen Karte abgeleiteten 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten für kurzzeitige Niederschläge (≤ 1 h) sind deutlich zu klein und diejenigen aus der alten Karte aber keineswegs zu hoch. Für die 100-jährlichen 1-Tageswerte resultieren aus der neuen Karte im Vergleich zu den Messdaten eher knappe Werte, wohingegen die aus der alten Karte abgeleiteten Werte im Durchschnitt recht zuverlässig sind. Die 100-jährlichen 5-Tageswerte bilden beide Karten recht gut ab.

Die regionale Auswertung bestätigt die aufgrund der 13 Stationen gemachten Aussagen über die im Vergleich zur alten Karte generell tiefer liegenden 1-h-Werte der neuen Karte und zeigt die gleiche Tendenz für die 1-Tageswerte auf. Die 1-h-Werte der neuen Karte weichen prozentual stets mehr von der alten Karte ab als die 1-Tageswerte. Damit bestätigt sich in der regionalen Auswertung der Unterschied der beiden Karten insbesondere bei den kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten.

Die kurzzeitigen Niederschläge scheinen zugenommen zu haben. Die beiden Starkniederschlagskarten unterschätzen

Tabelle 5: Vergleich der regionalen Mittelwerte der 100-jährlichen Niederschlagsintensitäten der beiden Starkniederschlagskarten (alt und neu) für 1 h und 1 Tag und deren Gegenüberstellung mit den regional gemittelten, gemessenen Niederschlagsmaxima für 1 h und 1 Tag.

Region	Nr	Vergleich der beiden Karten (alte K. = 100%)			Regional gemittelte, gemessene 1-h-Niederschlags-Maxima				Regional gemittelte, gemessene 1-Tages – Niederschlags-Maxima			
		Anzahl Mess-Stat.	1h neue K. in %	1Tag neue K. in %	Anzahl Mess-Stat.	Mittlere Anzahl Mess-jahre	Mittelwert 1-h-Maxima in mm	Mittelwert 1-h-Maxima in % der alten Karte	Anzahl Mess-Stat.	Mittlere Anzahl Mess-jahre	Mittelwert 1-Tag-Maxima in mm	Mittelwert 1-Tag-Maxima in % der alten Karte
Jura	1	9	97	99	6	29	50	125	9	104	113	108
Mittelland-West	2	6	93	96	3	42	71	145	6	112	115	102
Zentrales Mittelland	3	7	84	92	3	47	69	128	7	109	99	85
Mittelland-Ost	4	9	82	91	6	45	63	100	9	101	142	107
Nördl. Voralpen-West	5	7	84	89	3	30	41	84	7	97	112	87
Zentrale Nördl. Voralpen	6	11	84	94	5	36	60	93	11	94	119	88
Nördl. Voralpen-Ost	7	6	73	88	1	20	32	41	6	116	148	89
Alpen-West	8	5	80	92	2	18	23	43	5	93	136	103
Zentrale Alpen/Alpen-Ost	9	12	80	92	6	32	34	53	12	97	146	94
Rhonetal	10	5	90	99	3	27	21	39	5	87	125	93
Sopraceneri (inkl. Bündner Südtäler und Simplon-Süd)	11	11	84	85	4	42	77	103	11	77	229	91
Engadin	12	5	94	98	2	19	18	41	5	112	90	88
Sottoceneri	13	3	86	93	2	28	66	78	3	97	235	96

Tabelle 6: Einzelne, während Unwettern der vergangenen Jahre gemessene Niederschlagsintensitäten im Vergleich mit den entsprechenden, aus den beiden Starkniederschlagskarten (alt und neu) abgeleiteten 100-jährlichen Werten (Radaraten sind mit einem '*' gekennzeichnet).

Ereignis-Standort	Datum Ereignis	NS-Dauer	gemessene NS-Intensität	100-jährliche NS-Intensität (neue Karte)	100-jährliche NS-Intensität (alte Karte)
		[h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
Gürbe (Gantrisch)	29.7.90	3	74	19,5	21
	29.7.90	5	54	16	17
Camedo	22.9.93	1	118	83	95
	22.9.93	2	71	59	67
	22.9.93	4	51	41	48
Dielsdorf	11.7.95	1	70	45	50
	11.7.95	2	51	23	30
	13.8.95	3	30	18	22
Schwarzsee	11.8.97	1	54	41	49
Sachseln	15.8.97	1	90*	44	53
	15.8.97	2	70*	28	31

tendenziell die seltenen kurzzeitigen Niederschläge (1h). Die Festlegung von Bemessungsniederschlägen sollte demzufolge mindestens auf derjenigen Starkniederschlagskarte basieren, welche die grösseren Intensitäten liefert.

4. Schlussfolgerungen für die Praxis

Grundsätzlich ist es heikel, aufgrund der kleinen Anzahl von ausgewerteten Stationen Empfehlungen zur Anwendung der Niederschlagskarten zu geben. Die knappe Untersuchung in Bezug auf das unterschiedliche regionale Verhalten lässt keine regional differenzierte Abstufung zu. Kurzfristig lassen die vorliegenden Untersuchungen für den praktisch tätigen Ingenieur dennoch ein paar Schlussfolgerungen bezüglich Niederschlagsintensitäten in kleinen Einzugsgebieten zu:

- Die Niederschlagsintensitäten für Regendauern ≥ 25 min können aus dem linear extrapolierten Intensitätsdiagramm abgeleitet werden. Dabei muss die Zulässigkeit der Extrapolation mit der entsprechenden Kartendarstellung auf dem Blatt 2.4 im Hydrologischen Atlas der Schweiz (1992) überprüft werden.
- Das massgebende Niederschlagsintensitäts-Diagramm für den gesuchten Standort ist auf derjenigen Starkniederschlagskarte zu basieren, welche die grösseren Intensitäten liefert.
- Als oberer Grenzwert für Bemessungsniederschläge für Wiederkehrdauern ≤ 300 Jahre dient dasjenige Intensitätsdiagramm, welches die maximalen auf der Alpennord- bzw. Alpensüdseite gemessenen Niederschlagsintensitäten für die verschiedenen Regendauern enthält (Abbildung 3). Dies gilt für alle Standorte in der Schweiz. Auf diese Art können die maximalen Intensitäten nach oben realistisch begrenzt werden.

Generell sind bei Anwendungen der Starkniederschlagskarten die resultierenden Niederschlagsintensitäten mit den Auswertungen der nächstgelegenen Stationen in den blauen Starkniederschlagsbänden nach ZELLER *et al.* (1976–1983) zu vergleichen und allenfalls anzupassen.

Auf der Alpensüdseite ist die Verwendung von einer möglichst nahe gelegenen, vergleichbaren Messstation absolut unerlässlich. Diese sollte Messdaten für Niederschlagsdauern von ≤ 1 h aufweisen. Im Moment sind im Tessin folgende Stationen mit längeren 1-h-Messreihen vorhanden: Camedo, Copera, Frasco, Locarno, Lodrino, Lugano, Melera und Olivone.

Mit diesen Vorschlägen kann die momentane Situation sicher etwas entschärft werden, aber befriedigend ist sie noch keineswegs. Mittel- bis längerfristig ist die Erarbeitung einer neuen Bemessungsgrundlage anzustreben, die die neu verfügbaren Daten mitberücksichtigt.

Zusammenfassung

Die Anwendung der Starkniederschlagskarten ist für den im Hochwasserschutz tätigen Ingenieur von zentraler Bedeutung. Die Tatsache, dass im Hydrologischen Atlas der Schweiz (1992, 1997) zwei verschiedene Karten zur Verfügung stehen, hat in der Praxis wiederholt zu Fragen geführt und Unsicherheit hervorgerufen.

Mit Hilfe von 13 Niederschlagsmessstationen, deren Messdaten auch 10-min- und 1-h-Werte umfassen, wurde die Extrapolierbarkeit von Niederschlagsintensitäten für kurze Niederschlagsdauern (< 1 h) beurteilt. Dabei zeigte sich, dass sich die Intensitäten für Niederschlagsdauern zwischen 25 Minuten und fünf Tagen im doppelt logarithmisch dargestellten Intensitätsdiagramm als Gerade darstellen lassen. Die Extrapolation von kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten, basierend auf den 1- und 5-Tageswerten, ergibt auf der Alpennordseite keineswegs zu hohe Intensitäten. Für die Alpensüdseite hingegen besteht die Gefahr einer Überschätzung der kurzzeitigen Niederschlagsintensitäten, wenn vom 1- und 5-Tageswert ausgegangen wird.

Der Einfluss der seit der Bearbeitung der Starkniederschlagskarten gemessenen jüngsten Niederschläge auf die ursprüngliche extremwertstatistische Auswertung nach ZELLER *et al.* (1976–1983) konnte für acht Messstationen untersucht werden. In fünf Fällen ergaben sich erhöhte Intensitäten vor allem bei kurzen Niederschlägen. Bei den übrigen drei Stationen veränderte sich das Intensitätsdiagramm kaum, so dass gesamthaft für die beurteilten Stationen von grösseren kurzzeitigen Niederschlägen während der vergangenen etwa 20 Jahre gesprochen werden kann.

Im weiteren wurden für die 13 Stationen die aus der verlängerten bzw. der längsten zur Verfügung stehenden Messreihe berechneten Niederschlagsintensitäts-Diagramme mit jenen verglichen, die aus den beiden Starkniederschlagskarten ableitbar sind. Dabei zeigte sich, dass die aus der neuen Karte resultierenden Niederschlagsintensitäten für kurzzeitige Niederschläge mehrheitlich zu tief ausfallen. Für die Mehrheit der untersuchten Stationen liefert die alte Starkniederschlagskarte die zuverlässigere Niederschlagsintensität. Durch einen groben regionalen Vergleich mit 96 Niederschlagsstationen wird dieses Resultat bestätigt und gleichzeitig geographisch breiter abgestützt.

Die gewonnenen Resultate wurden für den praktisch tätigen Ingenieur umgesetzt, indem die Untersuchung mit einem Vorschlag zur Bestimmung der massgebenden Niederschlagsintensität in kleinen Einzugsgebieten abschliesst.

Mittel- bis längerfristig ist die Erarbeitung einer neuen Bemessungsgrundlage für Starkregen anzustreben.

Résumé

Evaluation de l'intensité de pluie de courte durée pour des événements rares – cas réels comparés aux cartes de précipitations d'intensité extrême en Suisse

Les cartes de précipitations d'intensité extrême sont un outil très important pour le praticien qui s'occupe des mesures contre les crues. Le fait que deux cartes de ce genre existent dans l'Atlas Hydrologique de la Suisse a produit des questions et beaucoup d'insécurité. L'une a été publiée en 1992 et l'autre en 1997.

Avec l'aide de 13 stations pluviométriques qui mesurent aussi les durées de pluie de 10 min et de 1 heure, nous avons testé l'extrapolation linéaire de l'intensité de pluie pour des courtes durées (<1 heure). L'enquête a montré qu'entre la durée de pluie de 25 min et celle de 5 jours, la courbe intensité-durée-fréquence peut être représentée par une droite sur échelle doublement logarithmique. L'extrapolation des intensités de courtes durées à partir des valeurs 1 et 5 jours ne prédit pas d'intensités trop grandes pour la partie nord des Alpes Suisses. Pour la partie sud des Alpes Suisses par contre, on risque de surestimer l'intensité pour des courtes durées si l'extrapolation se base sur les valeurs de 1 et 5 jours.

L'influence des données de précipitations des 20 dernières années sur l'enquête originale (1992) est analysée pour huit des 13 stations. Pour cinq des stations, les intensités sont plus grandes pour des courtes durées tandis qu'elles n'ont pas changé pour les trois autres. Dans l'ensemble donc les précipitations ont augmenté aux stations examinées.

De plus les diagrammes d'intensités tenant compte des données des 20 dernières années sont comparés avec ceux qui résultent des deux cartes de l'Atlas Hydrologique. Pour les stations examinées, les intensités résultantes de la carte de 1997 sont trop faibles pour les intensités de courtes durées. Pour la majorité des stations la carte de 1992 fournit des valeurs d'intensité plus fiables. Une comparaison grossière de 96 stations en 13 régions Suisses semble confirmer ces résultats.

On trouve en fin d'article des recommandations pour le praticien sur l'évaluation de l'intensité de pluie déterminante dans des petits bassins versants.

A moyen et long terme les bases pour la détermination des intensités de pluie extrêmes sont à renouveler.

Summary

Determination of Rare Rainfall Intensities of Short-Duration – Case Studies Compared with Maps of Intense Rainfall in Switzerland

Maps of intense rainfall are very important tools for the practitioner dealing with flood prevention. The fact that the actual Hydrological Atlas of Switzerland contains two of those maps has led to confusion among practitioners. The first map dates from 1992 and the second from 1997.

By means of 13 precipitation gauging stations which measure the 10-min as well as the 1-h precipitation values, the linear extrapolation of the rainfall intensity for short durations (<1 h) is tested. It is shown that between 25 min and 5 days, the intensity-duration-frequency curve can be quite well represented by a straight line on a log-log diagram. The extrapolation for short duration rainfall, out of the 1- and 5-days data, produces appropriate intensity values for the northern parts of the Alps in Switzerland. On the other hand, there is a certain risk of overestimating the short-duration rainfall intensity in the southern parts of the Alps if the diagram is based only on 1- and 5-day data.

The influence of the precipitation data of the last 20 years on the analysis of the original data resulting in the 1992 map is evaluated for eight of these 13 gauging stations. Higher rainfall intensities are observed for five of them, and for three of them the intensities remain the same. All in all precipitation increased

during the last 20 years for the analysed gauging stations.

Furthermore, the rainfall intensity diagrams, taking also into account the data of the past twenty years, are compared with those resulting from the two maps in the Hydrological Atlas. For the examined gauging stations, the resulting rainfall intensities from the 1997 map are too low for short durations, if the latest data are considered. For the majority of these stations, the 1992 map produces more reliable intensity values. A rough comparison with 96 measurement stations in 13 Swiss regions seems to confirm these results.

The paper ends with a recommendation on how the practitioner should determine the short-duration rainfall intensity in small catchments.

In the medium and long term, the bases for the determination of extreme rainfall intensities have to be renewed.

Literatur

- COURVOISIER H. W. (1998): Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901–1996. Arbeitsberichte der SMA, Nr. 194.
- GEIGER, H., ZELLER, J., RÖTHLISBERGER, G. (1991): Starkniederschläge des Schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes: Grundlagen, Band 7. Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- GINSBURG, TH. (1971): Extremwert-Statistik und kalkuliertes Risiko. *Annalen der Meteorologie*; Neue Folge, 5:155–164.
- GUTERSOHN, H. (1958–1969): *Geographie der Schweiz in drei Bänden*. Bern, Kümmerly & Frey.
- Hydrologischer Atlas der Schweiz, (1992): Blatt 2.4: Extreme Punktregnen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901–1970. *Landeshydrologie und Geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.*
- Hydrologischer Atlas der Schweiz, (1997): Blatt 2.4²: Extreme Punktregnen unterschiedlicher Dauer und Wiederkehrperioden 1901–1970. *Landeshydrologie und Geologie, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.*
- KOUTSOYIANNIS D., KOZONIS D., MANETAS A. (1998): A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships. *Journal of Hydrology*, 206: 118–135.
- MEYLAN P. (1995): Elaboration statistique des données de pluie. *GWA* 3/95: 219–223.
- RÖTHLISBERGER, G., GEIGER, H., ZELLER, J. (1991 und 1992): Starkniederschläge im Schweizer Mittelland und Jura. Intensitäten und Häufigkeiten. Bände 8 und 9; Birmensdorf: Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.
- VOLKEN, TH. (1998): Abschätzung des Hochwasserabflusses aufgrund von Niederschlags- und Gebietsparametern am Beispiel des Kanton Wallis. Diplomarbeit an der Abt. für Forstwissenschaften (Forstliches Ingenieurwesen) der ETH Zürich, 154 S.
- VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute) (1994): Schlussbericht der VSA-Kommission 'Regendaten für die Siedlungsentwässerung' zu Projekt 1: Erarbeitung der Methodik zur Aufbereitung von Regendaten. Zürich, 214 S.
- ZELLER, J., GEIGER, H., & RÖTHLISBERGER, G. (1976–1983): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Intensitäten und Häufigkeiten; ausgewertete Periode 1901–1970; Bände 1–6; Birmensdorf: Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

Dank

Ein spezieller Dank gebührt GERHARD RÖTHLISBERGER von der WSL, der uns mit seinem reichen Erfahrungsschatz im Umgang mit Niederschlagsdaten massgeblich unterstützte. Bei ROLF BART bedanken wir uns für die zahlreichen anregenden und befruchtenden Gespräche, mit denen er uns immer wieder mit den Problemen der Praxis vertraut machte.

Abbildungen gedruckt mit Unterstützung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), CH-8903 Birmensdorf.

Verfasser:

FELIX FORSTER, dipl. Bauing. ETH; WALTER BAUMGARTNER, dipl. Kult-Ing. ETH; Abteilung Wasser-, Erd- und Felsbewegungen, WSL, CH-8903 Birmensdorf.