

UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR/ WIEN; ÖSTERREICH. UNIVERSITY OF NATURAL
RESOURCES AND APPLIED LIFE SCIENCES/ VIENNA; AUSTRIA.

Hochwasser- abflussspenden im Bezirk Bludenz/ Vorarlberg

Masterarbeit am Institut für Alpine
Naturgefahren

Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplomingenieur

Eingereicht von

Andreas Drexel

Wien, 2009

Betreuer

AO Univ. Prof. DI. Dr. Johannes Hübl

Ein Projekt des:

**Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und
Lawinverbauung**

Gebietsbauleitung Bludenz

Sektion Vorarlberg

gblbludenz@die.wildbach.at



Zusammenfassung

Die Ermittlung von Bemessungshochwässern bzw. Hochwasserabflussspenden [$l/s/km^2$; $m^3/s/km^2$] bestimmter Jährlichkeiten gehören zu den anspruchsvollen Aufgaben der im Wasserbau tätigen Ingenieure. Die Verfahren und damit auch die Ergebnisse sind mit großer Unsicherheit behaftet. Gerade in den Bereichen Hochwasserschutz, Raumplanung, usw. sollen die Unsicherheiten jedoch so klein als möglich gehalten werden.

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht mittels vorhandener Daten (Niederschlag und Abfluss) unter Anwendung verschiedener Verfahren, Hochwasserabflussspenden bestimmter Jährlichkeiten für den Bezirk Bludenz in Vorarlberg, zu ermitteln. Die Jährlichkeit waren 30, 100 und 150 Jährig.

Es wurde ins besonders versucht für kleinere Einzugsgebiete brauchbare Werte zu erarbeiten, jedoch eignen sich die verwendeten Verfahren dafür nur bedingt. Hierzu kommt auch noch eine unzureichende Niederschlagsinformationsdatenbasis. Im morphologisch stark unterschiedlichen bzw. unterteilten Gelände sind die Punktinformationen der Niederschlagsmessstellen nur begrenzt auf die Flächen (Einzugsgebiete) übertragbar. Punktuelle Starkniederschläge werden nur selten von einer Station registriert. Es wurden auch die Bemessungsniederschläge (ÖKOSTRA und MAXMODN- Werte) für die Kalkulation in den Modellen verwendet. Die Bemessungsniederschläge sind wesentlich höher als die Werte bestimmter Jährlichkeit aus der Statistik.

In dieser Arbeit wurden folgende Verfahren angewendet:

- Extremwertstatistik (Gumbel Type I. Verteilung)
- Koaxialdiagramm
- SCS- Verfahren
- GRADEX- Verfahren sowie
- Hüllkurvenansätze (GIUB- Verfahren und „Talsperrensicherheit“- Verfahren)

Die Kombination mehrerer Verfahren zur Ermittlung von Bemessungsabflüssen wurde bereits in anderen Projekten (HORA, Talsperrensicherheit) angewendet. Sie ist als „Mehr- Standbein“- Ansatz (Gutknecht et al. 2006) bekannt.

Die Verfahren führen zum Teil zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Allerdings ist ein Trend in der Größenordnung der Abflüsse erkennbar. Die Regionen mit ähnlichen Abflussverhalten decken sich mit Regionen ähnlichen Jahresniederschlags, auch die optimierten CN- Werte der untersuchten Einzugsgebiete aus dem SCS- Verfahren stützen die Annahmen.

Im Norden des Bezirkes liegt das Große Walsertal mit überdurchschnittlich hohen Abflüssen, ähnlich wie sie auch im Bregenzerwald zu finden sind. Hier spielt auch die Geologie (Flysch) eine Rolle. Südlich des Großen Walsertales bilden die Einzugsgebiete Alvier und Alfenz einen Gürtel ähnlichen Abflussverhaltens, daran anschließend weist das Vordere und Mittlere Montafon mit seinen Seitentälern wiederum etwas geringere Abflusswerte auf als die nördlichen Nachbarn. Im Innermontafon steigen die Werte dann wieder an, was einerseits auf dem geringen Rückhalt der Einzugsgebiete begründet ist als auch mit dem aufgrund der Höhenlage wieder ansteigenden Jahresniederschlag.

Der Trend sind sinkende Abflusswerte von Nord nach Süd mit wieder ansteigenden Werten am Talende aufgrund erhöhter Niederschlagswerte und geringem Rückhaltmöglichkeiten in sehr hoch gelegenen Einzugsgebieten.

Abstract

The determination of the (specific) runoff of a defined return period is a very ambitious challenge for engineers. The methods and also the solutions are afflicted with enormous uncertainty. Especially in the field of flood protection, land use planning e.g. - the uncertainty should be as low as possible.

This study defines the specific runoffs of predefined return periods for the district of Bludenz/Vorarlberg. For the elaboration of the different runoffs with a return period of 30, 100 and 150 years, we will use different methods/ approaches and available data from precipitation and runoff.

This work attempts to define specific values for smaller catchments. The common methods for the runoff estimation are not suitable for smaller catchments on every way. Additionally to the problems of estimations there are also the huge uncertainties with the precipitation. In morphologic intense structured areas, like the study area, the transfer of point information's to areal information is limited. The precipitation gauges register punctual heavy precipitation just rarely. The calculated design precipitations are also used for calculation in the models; these values are much higher than the precipitation values out of the extreme- values statistics.

This study was based on the following models/ approaches:

- Extreme- value statistics (Gumbel Type I. distribution)
- Koaxialdiagram
- SCS- Approach
- GRADEX- Approach and
- envelope methods (GIUB- Method and the "Check dam safety" –Approach)

In several projects (like HORA, Check dam safety) the combination of different methods to define the design runoff were used, this method is known as "Multi- pillar"- Approach (Gutknecht et al. 2006).

The used models and approaches lead to different results; however there is a mainstream trend in the number of values visible. The regions with similar runoff behaviour are similar with the regions with similar yearly precipitation; also the CN- values of the observed catchments from the SCS- Approach support this assumption.

The "Großes Walsertal" (Lutz valley) is located in the north of the district of Bludenz, it's characterised with upper proportional runoff values, very similar to the "Bregenzerwald" valley which is also located in the same geological formation called "Flysch". The catchments of "Alvier" and "Alfenz" form a belt of similar runoff behaviour in the south of the "Großes Walsertal". Afterwards, in the south is the beginning and middle Montafon valley with a number of side valleys with smaller runoff values as their northern neighbours. Because of the marginal storage capacity of the soil and the increasing yearly precipitation because of the high altitude, the runoff of the Innermontafon rise again.

The trend shows decreasing runoff values from north to south and a rising of these values on the end of the northward looking valley (Montafon) because of higher values in precipitation and low values of soil storage capacity in high located catchments.

Deklaration

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht sind und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Wien/ Nenzing/ Oslo im Frühjahr 2009

Andreas Drexel

„Meine Herren: Der Wildbach schläft nicht!“

J. Heumader; 2006

*„Was heute gut und richtig ist, ist vielleicht schon morgen nicht einmal mehr
das Papier wert, auf dem es geschrieben steht.“*

Unbekannt

„Man muss sich utopische Ziel setzen um realistische zu erreichen!“

H. Böck

„The gravity is a bitch! “

a German in Oslo; 2008

“Imagination is more important than knowledge.”

A. Einstein

Danksagung

Die Danksagung ist der einzige Teil einer technischen Abschlussarbeit bei welchem man die Möglichkeit hat sich gedanklich, inhaltlich und literarisch zu „entfalten“. Anbei ein Versuch.

Zu aller erst ein großes Dankeschön an meine Eltern, ihre Geduld, Verständnis und Gelassenheit sowie die „Gott gegebene“ Unterstützung war und ist, alles andere als selbstverständlich!

Die Studienzeit, so unterschiedlich lange sie auch sein mag, ist ja eine Zeit des intensiven Lernens, sowohl hinsichtlich der fachlichen Komponente als auch auf sozialer Ebene. Ich möchte mich bei allen tollen und weniger tollen Leuten, die mir im Laufe der letzten 6-7 Jahre über den Weg gelaufen sind herzlich bedanken. Den „tollen Leuten“ für die angenehme Zeit, tollen Erlebnisse, interessanten Gesprächen, durchfeierten Nächten, durchlernten Tagen und die Geduld mit mir, den „weniger tollen Leuten“ für die Möglichkeit mich selbst zu hinterfragen, Ehrgeize zu wecken, Ängste zu bekämpfen, Toleranz zu entwickeln und vielleicht auch etwas ruhiger zu werden.

Einige dieser „tollen“ Leute wären meine Studienkollegen und die Mitarbeiter am Institut für Alpine Naturgefahren, einige „Leidensgenossen“ des Grundstudiums „Forstwirtschaft“, die Mitarbeiter bei der Gebietsbauleitung der Wildbach- und Lawinenverbauung in Bludenz, das Team des International Center for Geohazards/ Norwegian Geotechnic Insitute- the force for good ;-), die „Nenzinger-Truppe“ in Wien, die Kindergarten- Volksschule- Hauptschul- Kletterkollegen aus Nenzing, die „Aberdeen- SNUSer“ und einige Fräuleins im deutschen Sprachraum, allen voran einer kleenen blonden. Wichtig ist mir, dass ich jetzt, am Ende dieser tollen Zeit, zurückblicken kann und zumindest nicht das Gefühl habe, dass ich meine Studienzeit „verschlafen“ habe- danke!

Bine, Julchen und Simi, danke für die tolle Zeit in der WG, sorry noch mal das ich mich vor dem Putzdienst so oft drückte...

Danken möchte ich auch der Europäischen Union, die Möglichkeit ein Jahr mittels ERASMUS im Ausland zu verbringen, war eine wunderbare Erfahrung, die ich nicht missen möchte,- danke- unbekannter weise.

Im Zuge dieser Arbeit gebührt folgenden Personen besonderer Dank:

- Prof. Dr. DI. Johannes Hübl, danke für die Betreuung!
- DI. Simon Flöry und DI. Johann Kessler, danke fürs Korrekturlesen!
- Sektionsleiter DI. Andreas Reiterer, danke für die Ferialjobs und das Thema.
- Gebietsbauleitung Bludenz, namentlich DI. Wolfgang Schilcher
- Der Vorarlberg Illwerke AG- namentlich DI. Günter Moser und Ing. Roman Achleitner
- Dem Hydrographischen Dienst Vorarlberg, namentlich Ing. Ralf Grabher

Last, but not least: ALLE, die ich im Zuge dieser Arbeit belästigte.

Inhaltsangabe:

ZUSAMMENFASSUNG	II
ABSTRACT	IV
DEKLARATION	V
DANKSAGUNG	VII
INHALTSANGABE:	VIII
1. EINFÜHRUNG:	1
A. ZIELSETZUNG.....	1
B. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET.....	1
C. RELEVANTE HYDROLOGISCHE EIGENSCHAFTEN	3
2. DATEN	7
A. PEGEL UND NIEDERSCHLAGSDATEN.....	7
B. DIGITALE KATASTERMAPPE- VOGIS	10
3. METHODIK	13
A. NIEDERSCHLAGSAUSWERTUNG	13
i. <i>Gebietsniederschlag aus den Stationen</i>	13
ii. <i>Bemessungsniederschläge</i>	15
B. ABFLUSSBESTIMMUNG	17
i. <i>Statistische Auswertung (Asymmetrische Extremwertverteilung von Gumbel)</i>	19
ii. <i>Koaxialdiagramm</i>	20
iii. <i>SCS- Methode</i>	22
iv. <i>Gradex- Verfahren</i>	26
v. <i>Regionsspezifische Hüllkurven</i>	32
1. <i>GIUB- Verfahren</i>	32
2. <i>Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren (Gutknecht et al. 2007; Gutknecht 2007)</i>	34
vi. <i>Gebräuchliche Formelansätze in der Gebietsbauleitung Bludenz</i>	36
4. ERGEBNISSE	37
A. GEBIETSNIEDERSCHLÄGE	37
i. <i>Extremwertstatistik Niederschlag</i>	37
ii. <i>Bemessungsniederschläge</i>	37
B. ABFLUSSPENDEN	38
I. EXTREMWERTSTATISTIK ABFLUSS	38
II. KOAXIALDIAGRAMM	40
III. SCS- METHODE.....	41
IV. GRADEX- VERFAHREN	46
V. ERGEBNISSE DER HÜLLKURVENVERFAHREN.....	49
VI. GEBRÄUCHLICHE FORMELANSÄTZE IN DER WLVL- BLUDENZ	52
VII. ÜBERBLICK ÜBER ALLE ERGEBNISSE.....	53
5. DISKUSSION	56
DISKUSSION DER VERFAHREN UND DEREN ERGEBNISSE.....	57
NIEDERSCHLAG:.....	57
ABFLÜSSE:.....	58

<i>Extremstatistische Analyse:</i>	58
<i>Koaxialdiagramm</i>	59
<i>SCS- Verfahren</i>	59
<i>GRADEX- Verfahren</i>	60
<i>Hüllkurven- Verfahren</i>	60
<i>Vergleich mit den Bemessungswerten der WLW- Bludenz</i>	61
GENERELLE ÜBERLEGUNGEN	62
6. LITERATUR	67
7. ABBILDUNGS-, TABELLEN- UND FORMELVERZEICHNISS	70
8. ANHANG	73
ANHANG A: EREIGNISSE ZUR ERMITTLUNG DER KOAXIALDIAGRAMME	73
ANHANG B: AUSGEARBEITETE KOAXIALDIAGRAMME.....	79
ANHANG C: GRADEX- GRAPHEN FÜR DIE EINZUGSGEBIETE.....	88
ANHANG D: FORMELBLATT DER WLW- BLUDENZ, WIE ES AUCH DEM GEFAHRENZONENPLAN BEIGELEGT IST.	93
SPECIFIC FLOOD RUNOFF IN THE DISTRICT OF BLUDENZ/ VORARLBERG (AUSTRIA).	I

1. Einführung:

a. Zielsetzung

Für Ingenieure die im Bereich der Schutzwasserbewirtschaftung bzw. der Wildbachverbauung tätig sind haben regional gültige Abflusspenden für den Hochwasserfall einen hohen Informationsgehalt. Mit ihrer Hilfe kann grob mittels Kenntnis der Einzugsgebietsgröße auf das zu erwartende Bemessungsereignis geschlossen werden. Dies ist sowohl für die Bemessung von Schutzbauwerken (z.B. Leitwerke und Dämme) aber auch für die Dimensionierung von Infrastruktureinrichtungen wie Brücken und für die Erstellung von Gefahrenzonen eine große Hilfeleistung.

Im Bezirk Bludenz/ Vorarlberg hat die Energiewirtschaft eine lange Tradition. Damit einhergehend kommt es auch dazu, dass es eine Summe an Pegelmessstationen in diesem Bezirk gibt. Diese Stationen sind nicht nur auf den Hauptvorfluter des Bezirkes der „Ill“ beschränkt. Die betreibenden Institutionen dieser Pegel sind der Hydrographische Dienst – Amt für Wasserwirtschaft Vorarlberg, die Illwerke Aktiengesellschaft sowie die Österreichischen Bundesbahnen. Zusätzlich zu diesen Pegeln existieren auch lange (ab 1895- Niederschlagsmessstelle Innerlaterns) Messreihen über den auftretenden Niederschlag. Im Rahmen dieser Arbeit werde mittels dieser Daten Abflusspenden [$l/s/km^2$, oder $m^3/s/km^2$] der unterschiedlichen Regionen dieses Bezirkes ermittelt. Ziel ist die Erarbeitung von Abflusspenden einer Jährlichkeiten von 30, 100 und 150 Jahren.

b. Das Untersuchungsgebiet

Der Bezirk Bludenz liegt im westlichsten österreichischen Bundesland Vorarlberg, von den vier Vorarlberger Bezirken (Bregenz, Dornbirn, Feldkirch und Bludenz) ist Bludenz der südlichste. Die 29 Gemeinden des Bezirk Bludenz beanspruchen in etwa die Hälfte der Landesfläche.

Im Westen grenzt das Fürstentum Lichtenstein, im Süden die Schweiz mit dem Kanton Graubünden und im Osten das österreichischen Bundesland Tirol. Die geographische Situation, des Bezirk Bludenz im Land Vorarlberg, wird in Abbildung 1 noch einmal verdeutlicht.

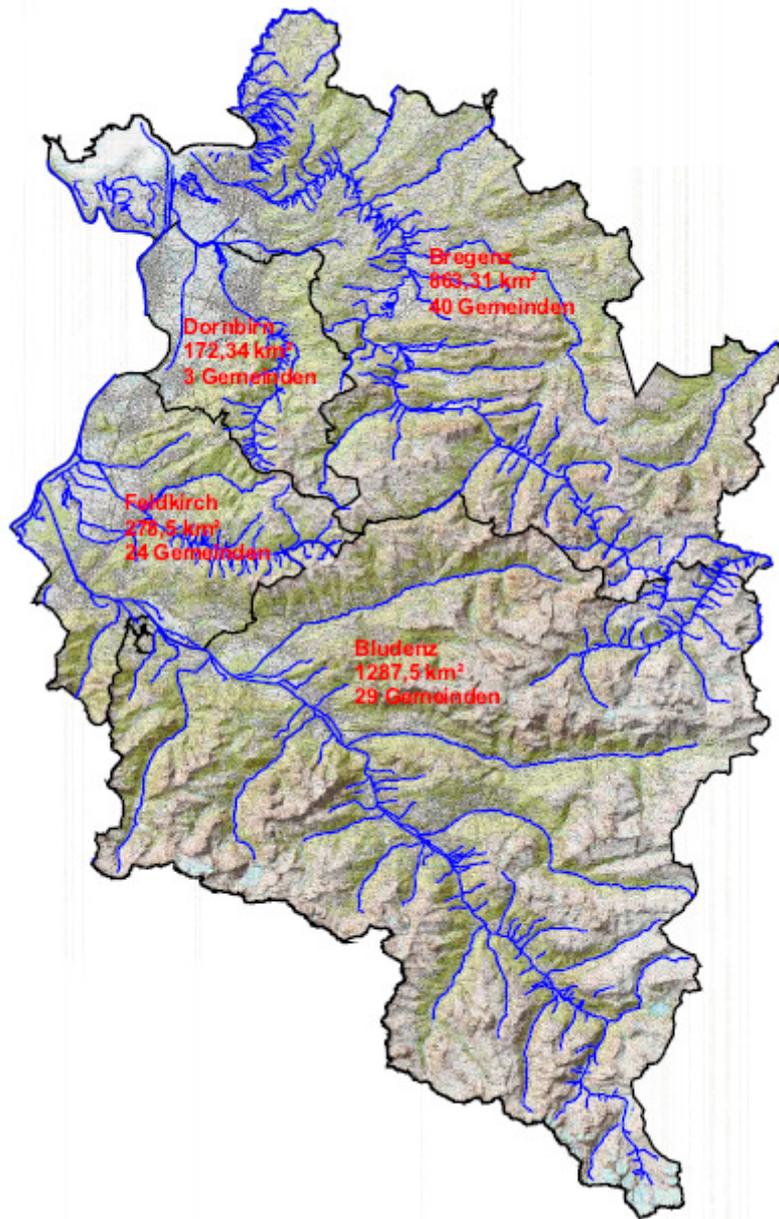


Abbildung 1: Vorarlberg mit seinen vier Bezirken

Der Bezirk Bludenz hat seinen Verwaltungssitz in der gleichnamigen Stadtgemeinde. Im Bezirk leben mit Stand: 1.1.2006, 62.601 Personen, bei einer Fläche von 1.287,51 km² entspricht dies einer Einwohnerdichte von 49 Personen je km², jedoch ist der Bezirk sehr von seiner gebirgigen Morphologie geprägt, der Dauersiedlungsraum beträgt lediglich 9,7 % (Internet 1).

Der Bezirk Bludenz besteht im Wesentlichen aus fünf bewohnten Tälern, dies sind: Walgau, Brandnertal, Montafon, Klostertal und das Große Walsertal. Die hydrologische Entwässerung ist in Tabelle 1 ersichtlich, zusätzlich zu diesen Haupttälern ist das Silbertal, ein Seitental des Montafones aufgelistet. Das Silbertal stellt mit knapp 100 km² das größte zu untersuchende Einzugsgebiet in dieser Arbeit dar.

Tal	Vorfluter
Walgau	Ill
Brandnertal	Alvier
Montafon	Ill
Klostertal	Alfenz
Großes Walsertal	Lutz
Silbertal	Litz

Tabelle 1: Haupttäler des Untersuchungsgebietes und deren Vorfluter

c. Relevante hydrologische Eigenschaften

Der Bezirk Bludenz ist gekennzeichnet durch hohe Jahresniederschläge und damit verbundenen großen Schneehöhen. Durch die westoffene Lage des Montafons, Klostertales und des Großen Walsertales bildet es einen erster Sperrriegel für die Hauptwetter(Westwetter-)lage. Verbunden mit diesen hohen Jahresniederschlägen (Tabelle 2) sind hohe Abflussbeiwerte (Merz, 2008). Nicht ohne Einfluss auf die hohe Abflussbereitschaft ist die Geologie des Bezirkes. Der Bereich Ill- Alfenz wird gemeinhin als Grenze zwischen Flyschzone (Norden) und Alpenhauptkamm (Süden) angesehen. Das geologische Material ist hier tektonisch stark beansprucht. Friebe et al. (2007) gibt in seinem Buch, Geologie des Bundeslandes Vorarlberg, ein sehr umfangreiches Bild des geologischen Aufbaus des Landes. An dieser Stelle soll nur auf die geologische Vielfalt des Untersuchungsgebietes verwiesen werden, nachfolgend sind die bedeutendsten Gebirgszüge/geologischen Formationen des Untersuchungsgebietes kurz diskutiert.

Friebe et al. (2007) unterscheidet im Bezirk Bludenz folgende Gebiete:

Kalkalpen (S- Walgau- Rätikon- Arlberg): besteht Großteils aus Hauptdolomit, unter diesem befinden sich oft lokale Störungszonen aus Sulfatgesteinen. Durch ihre hohe Löslichkeit verursachen sie eine „*besondere landschaftliche Dynamik*“ (Friebe et al. 2007). Der Rätikon befindet sich im Westen- Südwesten des Bezirkes, der Arlbergstock im Osten.

Silvretta- Kristallin (Montafon): Das Ost- West- verlaufende Klostertal markiert den tektonischen Kontakt zwischen dem sedimentären Ostalpin (Kalkalpen) im Norden und dem Silvretta- Kristallin im Süden des Bezirkes. Die gebirgsbildende Gesteine sind hier Amphibolite, Gneise und Serpentine. Das Silvrettamassiv beheimatet auch Vorarlbergs höchsten Berg, den Piz Buin mit 3312 m. ü. M.

Flyschzone (N- Walgau- Großwalsertal): Im Norden des Bezirkes befinden sich Teile der Flyschzone mit ihren charakteristischen mergelreichen Flyschgesteinen welche rasch verwittern und leicht erodieren. „Flysch“ kommt von „fließen“, dies weist auf die Anfälligkeit des Gebietes auf Massenbewegungen hin.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die geologischen Decken des Landes Vorarlberg. Die für den Bezirk Bludenz relevanten Decken wurden in der Karte beschriftet.

Niederschlagsmessstationen laut Hydrographisches Jahrbuch 1999								
	<i>Brand</i>	<i>Fontanella</i>	<i>Thuringen</i>	<i>Nenzinger Himmel</i>	<i>Silbertal</i>	<i>Obervermunt</i>	<i>Langen</i>	
<i>Durchschnittlicher Jahres NS</i>	1568	1883	1298	1600	1442	1701	1674	mm
<i>max. Tagesniederschlag</i>	173.9	159.4	193.7	184.8	122.2	118	120.2	mm

Tabelle 2: Durchschnittliche Jahresniederschläge und maximale Tagesniederschläge ausgewählter Stationen (Hydrographisches Jahrbuch, 1999 (2002))

Nach dem Hydrologischen Atlas Österreich (2002) liegt der mittlere Jahresniederschlag im Großen Walsertal und den Hochlagen (>2000m) über 2000 mm/ Jahr. In den Tälern Montafon, Brandnertal, Walgau und Klostertal liegt der Niederschlag im Bereich von 1400- 1700 mm/ Jahr. Diese Werte „stimmen“ im Wesentlichen gut mit den in Tabelle 2 dargestellten Werten überein.

Merz (2006b) verweist auf eine vorhergehende Studie von Piock-Ellena et al. (1999). In dieser Studie wurden mittels Clusteranalyse homogene Hochwasserregionen in Österreich gebildet (bezugnehmend auf Ähnlichkeit im saisonalen Verhalten der Jahreshochwässer und der mittleren monatlichen Abflüsse). Das Untersuchungsgebiet wird wie folgt charakterisiert:

„ ... werden jene hochalpinen Gebiete in Tirol (und Vorarlberg- Anmerkung des Verfassers) gekennzeichnet, die eine hohe saisonale Variabilität von Hochwässern und mittleren Monatsabflüssen aufweisen. Hochwässer und hohe mittlere Monatsabflüsse treten nur im Sommer auf. Die ausgeprägte Saisonalität deutet auf den starken Einfluss von Gletscherschmelze auf das Hochwasser- und Abflussverhalten hin. ...“.

Angemerkt werden muss hierbei, dass die Gletscherschmelze wohl nur bei zwei bis drei der zu untersuchenden Pegel einen Einfluss auf den Abfluss ausüben, da nur bei drei Pegel (Silvretta –III, Vermunt- III und Bürs- Alvier) ein Gletscher im Einzugsgebiet vorhanden ist.

Der Bezirk Bludenz ist weiters gekennzeichnet durch seine von Gletschern geformten Täler. Einzig der Walgau kann noch als „weites“ Tal gelten, alle anderen Täler sind „eng“ mit übersteilten Hängen und zum Teil „schroffen“ Talabschnitten mit großen Passagen von zutage tretenden blanken Felspartien und unbewaldeten Grashängen. So wird der nutzbare Dauersiedlungsraum bezogen auf die Gesamtfläche im Bezirk Bludenz mit 9,7% angenommen. Zu diesen, nicht gerade Abfluss hemmenden Geländeeigenschaften ist das Untersuchungsgebiet seit Jahrhunderten stark anthropogen beeinflusst. Dazu wären einerseits die „klassischen“ Nutzungsformen wie Waldweide, Almen und Rodungen zu nennen und andererseits „neue“ Formen wie Schipisten, erhöhter Platzbedarf für Infrastruktur und Siedlungsraum und der damit verbundenen Kanalisierung der Vorfluter.

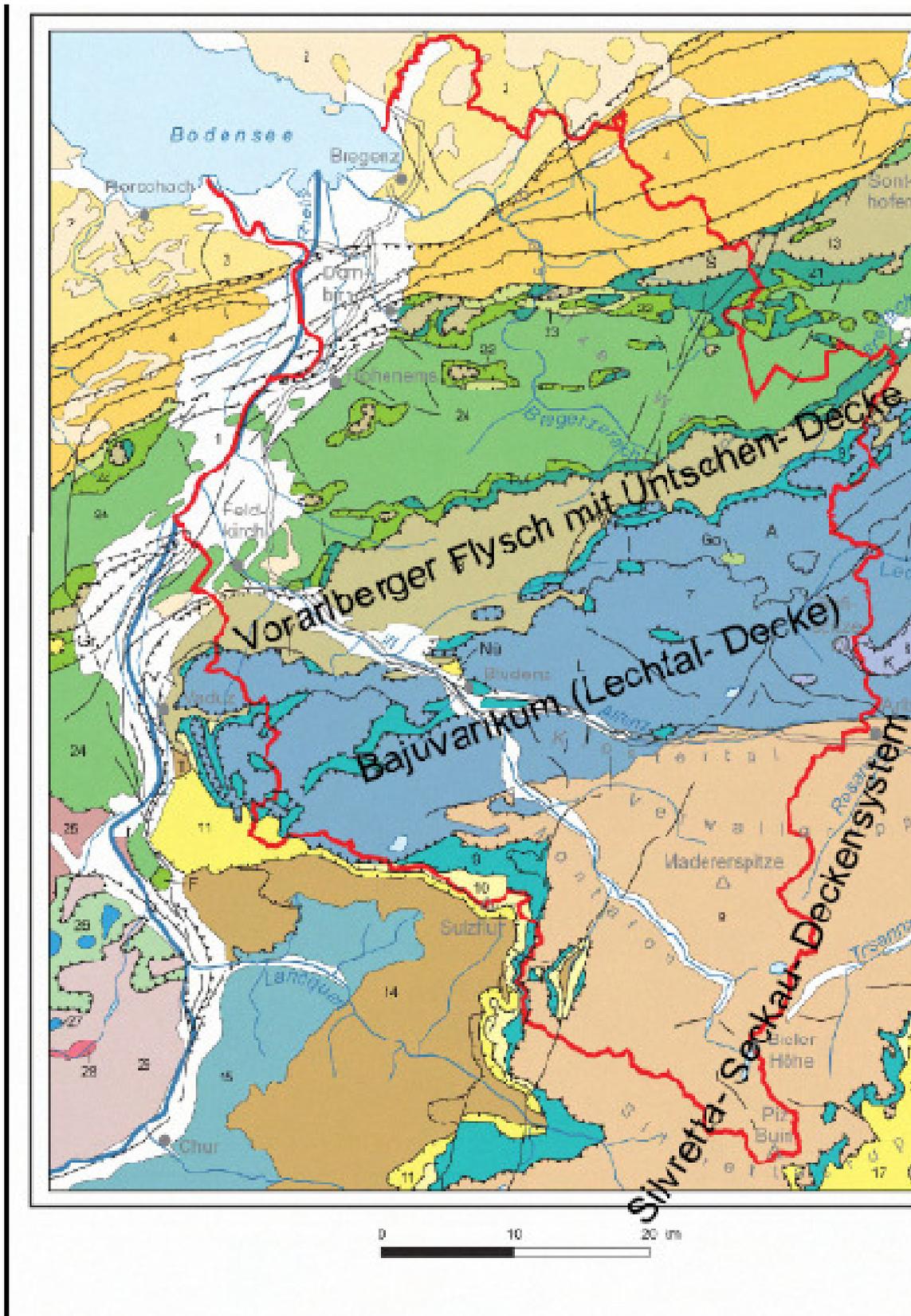


Abbildung 2: Geologischer Überblick über Vorarlberg mit den, für den Bezirk Bludenz relevanten Decken (Geologische Bundesanstalt, Friebe et al. 2007)

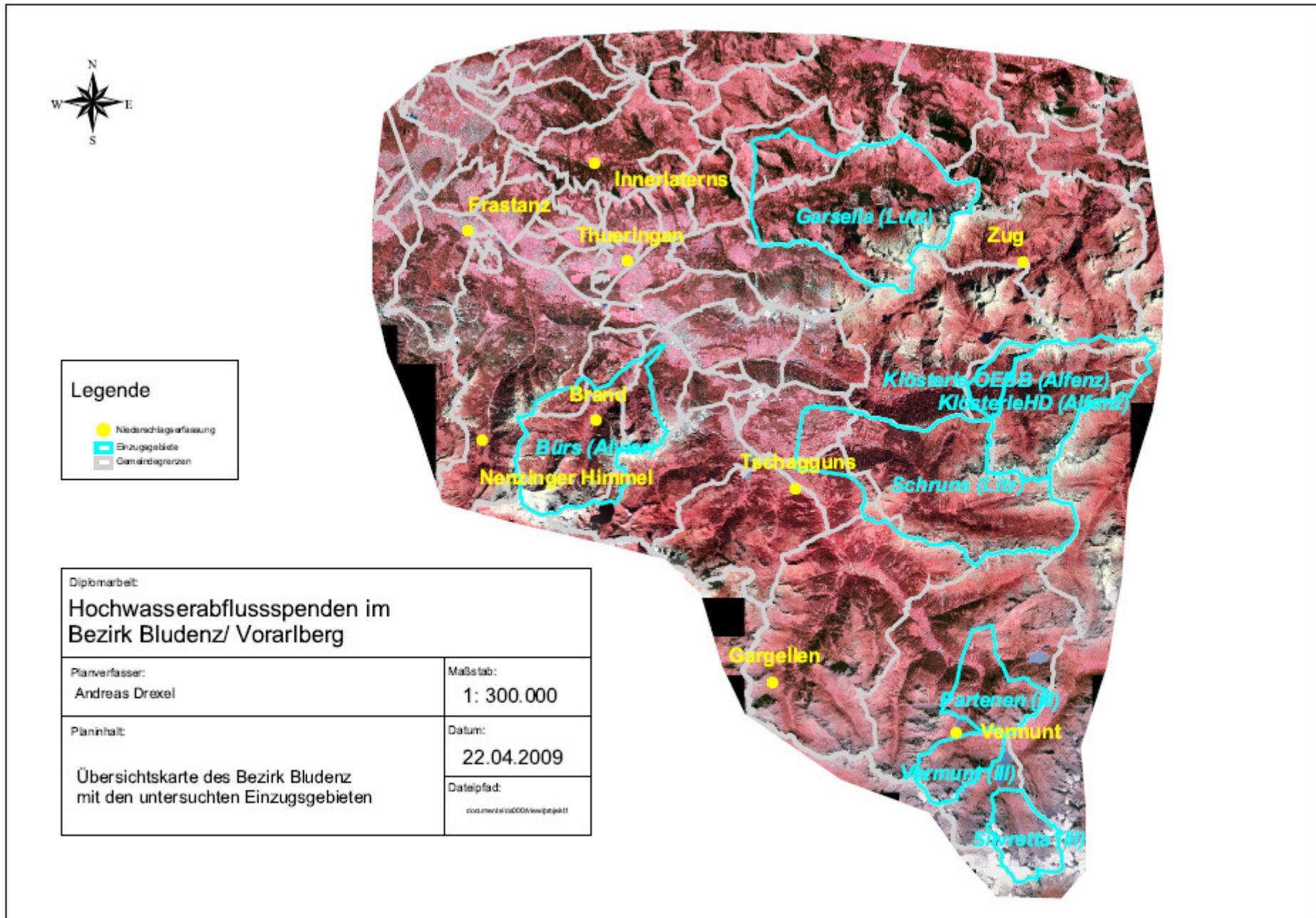


Abbildung 3: Übersicht des Bezirks Bludenz mit den untersuchten Einzugsgebieten und Niederschlagstationen

2. Daten

a. Pegel und Niederschlagsdaten

Diese Arbeit basiert im Wesentlichen auf Daten der Pegel- und Niederschlagsmessstellen des Hydrographischen Dienstes und der Illwerke AG. Kennwerte der acht Pegel sowie der Niederschlagsmessstellen sind in den Tabelle 3 und Tabelle 4 ersichtlich. Die Lage der untersuchten Einzugsgebiete, Niederschlagsmessstationen sowie der Gemeindegrenzen ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Pegel liefern ausschließlich digital verfügbare Messdaten im 15- Minuten Intervall. Was aufgrund der berechneten kurzen Konzentrationszeiten (Tabelle 29 und Tabelle 32) und der relativ kleinen Einzugsgebiete eine ausreichende Genauigkeit darstellt.

Nr.	Pegelstatione:	Messjahre	A [km ²]	Seehöhe des Pegels [m]	Höchster Punkt des EZ [m]	ΔH [m]	Lage		Aufgenommen von
							Länge (Grad, Min, Sek)	Breite (Grad, Min, Sek)	
1	Bürs (Alvier)	15	59	564	2965	2401	09°48'10''	47°09'05''	HD
2	Klösterle HD (Alfenz)	19	57.2	1070	2912	1842	10°05'39''	47°07'52''	HD
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	8	66.6	1014	2912	1898	10°03'43''	47°07'46''	OEGB
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	27	66.6	1014	2912	1898	10°03'43''	47°07'46''	--
4	Garsella (Lutz)	28	95.5	730	2704	1974	09°52'34''	47°13'38''	HD
5	Schruns (Litz)	14	99.1	673	2769	2096	09°54'53''	47°04'49''	Illwerke AG.
6	Silvretta (III)	12	18.9	2039	3312	1273	10°05'24'' *	46°53'42'' *	Illwerke AG.
7	Vermunt (III)	10	16.6	1770	2870	1100	10°03'08'' *	46°55'88'' *	Illwerke AG.
8	Partenen (III)	18	21.6	1030	2813	1783	10°03'27''	46°58'07''	Illwerke AG.

Tabelle 3: Kennwerte der Untersuchten Pegel (HD- Hydrographischer Dienst, OEGB- Österreichische Bundesbahnen) (* = Standortangaben nicht ganz korrekt)

Nr.	Niederschlags Messstationen	Seit	Bis	Messjahre	15 Minuten Werte verfügbar seit	Lage	
						Länge (Grad, Min, Sek)	Breite (Grad, Min, Sek)
1	Brand	1895	2007	105	1991	09°44'17''	47°06'12''
2	Nenzinger Himmel	1999	2007	9	1999	09°38'53''	47°05'44''
3	Thueringen	1895	2007	99	1992	09°46'17''	47°10'00''
4	Innerlaterns	1895	2007	104	1989	09°44'35''	47°15'25''
5	Frastanz	1990	2007	15	1995	09°38'07''	47°12'58''
6	Tschagguns	1922	2007	86	1953	09°54'56''	47°04'02''
7	Gargellen	2000	2007	7	2000	09°53'51''	46°57'25''
8	Zug	2003	2007	4	2003	10°06'34''	47°12'02''
9	Vermunt	1987	2007	20	n.s.	10°03' *	46°55' *

Tabelle 4: Kennwerte der verwendeten Niederschlagsmessstationen (n.s.: Nur Tagessummen) (*: Standortangaben nicht ganz korrekt)

Die Daten der Niederschlagsmessstellen bestehen aus wesentlich längeren Zeitreihen als die Pegelreihen, jedoch sind Werte mit 15- Minuten Intervalle nur teilweise von längeren Zeitreihen verfügbar (Tabelle 4). Die 24- Stunden Max- Werte sind für die Extremwertstatistik in der vollen Reihenlänge verfügbar (Messstationen „Zug“ und „Gargellen“ wurden aufgrund der kurzen Reihen nicht ausgewertet).

Die nicht „zusammenpassenden“ Spalten (3-5) in Tabelle 4, können eventuell für Verwirrung sorgen. Die Spalte „Seit“ dokumentiert die erste Messstation an diesem Punkt, Spalte „Bis“ die in dieser Arbeit noch verwendete Jahresreihe und die Spalte „Messjahre“ die Anzahl der tatsächlich verwendeten Jahresreihen.

Die Extremwertstatistische Auswertung des Niederschlages erfolgt, wie die Auswertung der Pegelwerte, mit der Gumbel- Typ I Verteilung. Sie ist in der Methodik, im Kapitel Abflussbestimmung näher erläutert.

Neben diesen gemessenen Werten wurden auch die Bemessungsniederschläge verwendet. Für jedes beliebige Einzugsgebiet kann diese Tabelle (Dauerstufe (5 Minuten bis 6 Tage) und Wiederkehrzeit (1- 100 Jahre)) vom Hydrographischen Dienst bezogen werden. Zur besseren Verständlichkeit ist ein solches Tabellenblatt in Abbildung 4 dargestellt.

Die Werte werden aus der Kombination (~Mittel, die exakte Gewichtung abhängig von der Dauerstufe ist in Weilguni, (2007) bis zu einer Dauerstufe von 12 Stunden veröffentlicht und in Tabelle 9 dargestellt) von ÖKOSTRA (Österreichweit koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und- Auswertung, extremwertstatistischer Ansatz) und MAXMODN (maximierte

Modellniederschläge- instationäres, orographisch- konvektives Modell (Lorenz und Skoda, 2001)) auch bekannt unter der HAÖ- Auswertung (Hydrologischer Atlas Österreichs) ermittelt. Die Punktergebnisse des MAXMODN- Modelles stellen eine Maximalabschätzung für Punktniederschlag dar.

Die Ereignisse des MAXMODN für Dauerstufen bis maximal 12 Stunden stammen aus einem konvektiven Niederschlagsmodell, für längere Dauerstufen aus dem numerischen Vorhersagemodell ALADIN. Im Übergangsbereich zwischen 6 Stunden und 48 Stunden wurden die Daten der Modelle dauerstufenabhängig gewichtet (Weilguni, 2009).

„Bei diesem Ansatz werden die extremwertstatistischen ausgewerteten Messstellendaten räumlich interpoliert und anschließend mit den HAÖ- Modelldaten (hier MAXMODN- Anmerkung des Verfassers) dauerstufenabhängig gewichtet (Weilguni, 2007).“ Diese Daten sind als Punktniederschläge zu verstehen und derzeit gibt es keine einheitliche Regelung für eine eventuelle Flächenreduktion, allerdings wird unterstellt das aufgrund der Kombination des Modelles (MAXMODN) mit der statistische Auswertung der Messstellen (ÖKOSTRA) der maximal auftretende Niederschlag bereits reduziert wird. Die Werte welche in der ÖKOSTRA – Auswertung verwendet werden registrieren nur äußerst selten eine konvektive Schauerzelle bzw. werden bestenfalls von einer solchen gestreift (Weilguni, mündliche Mitteilung am 25.4.2009).

Das ÖWAV (2007) notiert folgendes: *„Da die Werte des Hydrologischen Atlas Österreichs (MAXMODN- Anmerkung des Verfassers) die tatsächlichen auftretenden Niederschlagshöhen tendenziell über- und die ÖKOSTRA- Werte tendenziell unterschätzen, sollen diese beiden Zahlenwerte die mögliche Bandbreite vermitteln, der die gewichteten Mittelwertbildung bei der Bestimmung der „Bemessungswerte für die Siedlungswasserwirtschaft“ zugrunde liegt.“*

Eine Modell- und Verfahrensbeschreibung ist in Weilguni (2007 und 2009), Skoda und Lorenz (2001) und auch im Hydrologischer Atlas Österreichs (2002, Blatt 2.5-2.7) zu finden. Punktuelle Bemessungsniederschläge sind seit Anfang des Jahres 2009 auch auf der Internetseite „ehyd“ des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft für das gesamte Bundesgebiet zum Download verfügbar.

Bemessungsniederschlag (gewichtete Starkniederschlagsauswertung) h [mm] g1MaxModN+g2ÖKOSTRA											
Auswertungsdatei: BÜRS_ALLES											
Flächenabminderung: keine											
Bemessungsniederschlag mit MaxModN (oberen)- und ÖKOSTRA (unteren)-Werten											
Wiederkehrzeit (T)	1	2	3	5	10	20	25	30	50	75	100
Dauerstufe (D)											
5 Minuten	5.7	8.5	10.1	12.2	14.9	17.7	18.6	19.3	21.4	23.0	24.2
	5.5	7.7	8.9	10.5	12.5	14.7	15.4	15.9	17.5	18.8	19.5
	5.3	6.6	7.3	8.3	9.5	10.8	11.3	11.6	12.6	13.4	13.9
10 Minuten	10.0	15.7	19.1	23.3	29.0	34.8	35.6	38.1	42.3	45.7	48.0
	8.6	12.5	14.8	17.7	21.5	25.5	26.8	27.8	30.6	32.9	34.5
	7.1	9.0	10.2	11.5	13.4	15.4	16.0	16.5	17.9	19.0	19.8
15 Minuten	12.8	20.4	24.9	30.5	38.1	45.7	48.2	50.2	55.8	60.2	63.4
	10.6	15.5	18.4	22.1	27.1	32.0	33.6	34.9	38.5	41.5	43.5
	8.4	10.7	12.0	13.7	16.1	18.3	19.0	19.7	21.3	22.8	23.6
20 Minuten	14.5	23.3	28.5	34.9	43.7	52.5	55.3	57.7	64.1	69.3	72.9
	11.9	17.5	20.8	24.9	30.4	36.0	37.9	39.3	43.5	46.7	49.1
	9.5	12.1	13.5	15.5	18.0	20.6	21.5	22.1	24.1	25.6	26.8
30 Minuten	17.1	27.6	33.8	41.6	52.2	62.7	66.1	68.9	76.7	82.9	87.2
	14.0	20.4	24.2	28.9	35.5	41.9	44.0	45.7	50.5	54.3	56.9
	11.3	14.2	15.9	18.1	21.1	24.1	25.1	25.8	28.1	29.8	31.0
45 Minuten	19.6	31.9	39.1	48.1	60.4	72.7	76.6	79.8	88.9	96.1	101.2
	16.1	23.3	27.5	33.0	40.2	47.5	50.0	51.8	57.1	61.5	64.5
	13.3	16.6	18.5	21.1	24.4	27.8	29.1	29.8	32.2	34.4	35.7
60 Minuten	21.4	34.9	42.8	52.8	66.3	79.8	84.1	87.7	97.6	105.5	111.1
	17.7	25.4	29.9	35.7	43.3	51.1	53.7	55.6	61.3	65.9	69.1
	15.0	18.5	20.5	23.1	26.5	30.1	31.3	32.1	34.7	36.9	38.3
90 Minuten	23.9	39.2	48.1	59.3	74.5	89.7	94.6	98.7	109.9	118.8	125.1
	20.2	28.5	33.4	39.5	47.8	56.2	58.8	61.1	67.3	72.1	75.7
	17.7	21.3	23.5	26.3	29.9	33.7	34.8	35.0	38.7	40.9	42.6

* - ÖKOSTRA-Wert ist größer/gleich dem MaxModN-Wert
 () - Bemessungsniederschlag liegt am Rand oder außerhalb der Bandbreite
 MaxModN - maximierte Modellniederschläge (HAW-Hydrologischer Atlas Österreichs (konviktives N-Modell); ALADIN-Vorhersagemodell (modifiziert))
 ÖKOSTRA - interpolierte extramwertstatistische Niederschlagsauswertungen (DVKW124, modifiziert)

Abbildung 4: Bemessungsniederschläge nach Dauer und Wiederkehrzeit (Hydrographischer Dienst, 2008)

b. Digitale Katastermappe- VOGIS

Mittels der digitalen Katastermappe des Landes Vorarlberg wurde die Flächenaufteilung der Einzugsgebiete vorgenommen. Diese Daten sind unter anderem zur Bestimmung der Kurvennummern (CN) im SCS- Verfahren notwendig. Die Datenauswertung erfolgte im Programm ArcView. Die gutachterlich ausgeschiedenen Einzugsgebiete stimmen von der Größe her nicht ganz mit den vom Hydrographischen Dienst (HD) angegebenen Größen überein (siehe Tabelle 5). Die Unterschiede erscheinen jedoch vernachlässigbar gering. Die prozentuelle Flächenverteilung wird in Tabelle 6 und Abbildung 5 dargestellt. Für die weitere Bearbeitung wurden die vom HD veröffentlichten Einzugsgebietsgrößen verwendet.

Pegel	Baufläche	Landwirtschaftliche Fläche	Wald	Gärten	Gewässer	Straßenanlage	Alpen	Sonstiges	km ²	laut HD	Differenz	Differenz %v. HD
Bürs (Alvier)	0.2	3.3	21.2	0.1	0.2	0.3	12.9	23.7	61.9	59.0	2.863	4.9
Silvretta (III)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	16.6	18.7	18.9	-0.203	-1.1
Vermunt (III)	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.2	4.4	11.8	16.7	16.6	0.085	0.5
Schruns (Litz)	0.5	8.3	34.2	0.0	0.5	0.4	34.2	24.9	103.0	99.1	3.924	4.0
Kloesterle HD (Alfenz)	0.1	0.8	11.7	0.0	0.3	0.4	18.3	21.7	53.2	57.2	-3.970	-6.9
Kloesterle OEGB (Alfenz)	0.2	1.5	16.0	0.0	0.1	0.5	20.8	22.9	61.9	66.6	-4.667	-7.0
Garsella (Lutz)	0.2	7.0	24.8	0.0	0.6	0.4	41.5	21.9	96.3	95.5	0.761	0.8
Partenen (III)	0.1	0.6	5.6	0.0	0.2	0.1	8.2	9.4	24.3	21.6	2.658	12.3

Tabelle 5: Flächenverteilung der Einzugsgebiete als Absolutwerte [km²] (VOGIS)

Pegel	Baufläche	Landwirtschaftliche Fläche	Wald	Gärten	Gewässer	Straßenanlage	Alpen	Sonstiges	%
Bürs (Alvier)	0.30	5.40	34.32	0.17	0.33	0.41	20.84	38.23	100
Silvretta (III)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	10.82	88.93	100
Vermunt (III)	0.14	0.00	0.97	0.00	0.71	0.91	26.45	70.83	100
Schruns (Litz)	0.46	8.03	33.16	0.01	0.50	0.43	33.24	24.17	100
Kloesterle HD (Alfenz)	0.18	1.48	21.92	0.05	0.49	0.71	34.31	40.86	100
Kloesterle OEGB (Alfenz)	0.28	2.39	25.91	0.02	0.11	0.79	33.61	36.90	100
Garsella (Lutz)	0.21	7.30	25.72	0.01	0.58	0.37	43.07	22.74	100
Partenen (III)	0.55	2.67	22.91	0.04	0.85	0.36	33.95	38.68	100

Tabelle 6: Flächenverteilung der Einzugsgebiete als Prozentwerte

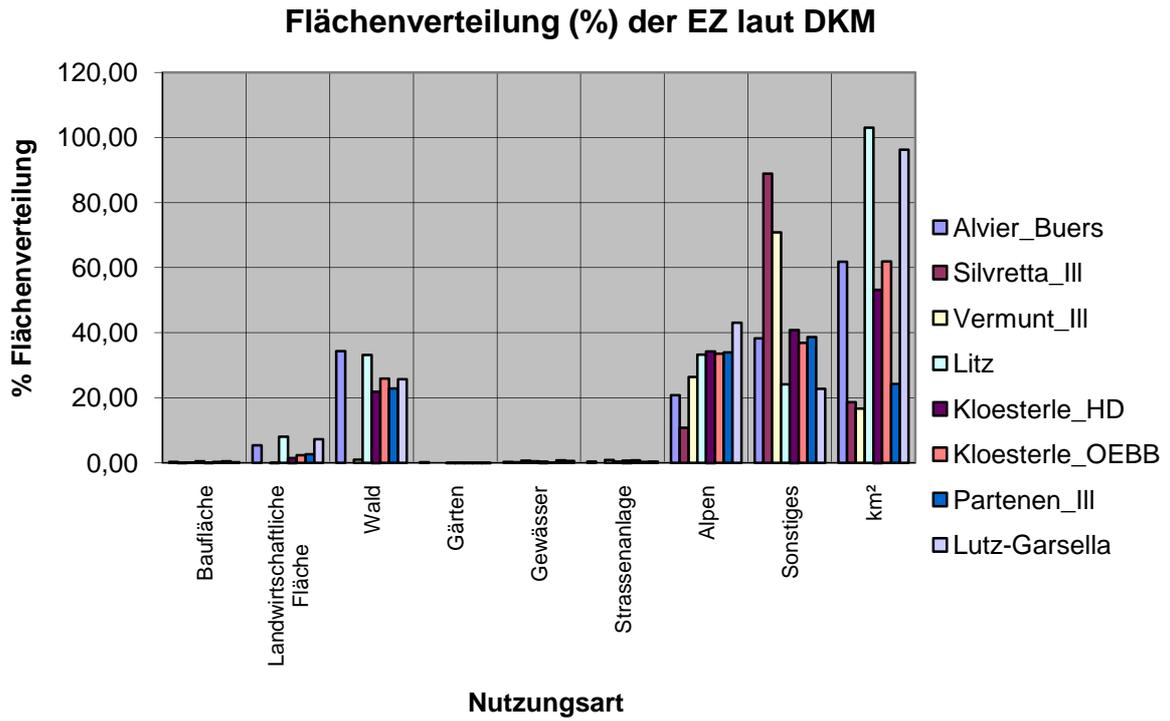


Abbildung 5: Prozentuelle Flächenverteilung der Einzugsgebiete nach DKM-VOGIS (2005)

3. Methodik

a. Niederschlagsauswertung

i. Gebietsniederschlag aus den Stationen

Die Ermittlung des Gebietsniederschlages erfolgte durch die *Polygon-* oder *Thiessen- Methode* (Maniak 2005; p. 97- 103). Hierbei wird der ungleichen Verteilung der Messstationen dadurch Rechnung getragen, dass die Stationswerte mit einem Flächengewichtung versehen werden. Der Gebietsniederschlag ergibt sich zu:

$$\bar{N} = \sum_{i=1}^n g_i * N_i$$

Formel 1: Ermittlung des Gebietsniederschlages mittels der *Polygon-* oder *Thiessen- Methode*

\bar{N} :	Gebietsniederschlag in mm,
N_i :	Niederschlagssumme der Station i in mm,
n:	Anzahl der Teilflächen,
g_i :	Flächengewicht der Station i

Die Ergebnisse der Thiessen Methode sind in den Tabelle 7 und Tabelle 8 dargestellt. Aufgrund der unterschiedlich langen Messreihen und der Verfügbarkeit von 15- Minuten Messwerten sind für ein und dasselbe Einzugsgebiet mehrere Flächengewichtungen ermittelt worden welche jeweils für eine bestimmte Periode die maßgebenden sind. Anzumerken bleibt, dass die topographischen Einflüsse bei diesen Verfahren unberücksichtigt bleiben (Weilguni, 2006).

Zur Bestimmung des Niederschlages bestimmter Jährlichkeiten gibt der Abschnitt „Statistische Auswertung“ im folgenden Unterkapitel „Abflussbestimmung“ näher Auskunft.

Alle Messstationen			
Gewässer	NS-Messstation	Fläche [km ²]	%
Litz 2003- 2007	Tschagguns	28.1	27.28
	Zug	40.3	39.13
	Gargella	34.6	33.59
Summe		103	100
Gewässer	NS-Messstation	Fläche [km ²]	%
Alvier 1999- 2007	Brand	45.2	73.1392
	Nenzinger_Himmel	16.6	26.8608
Summe		61.8	100
Gewässer	NS-Messstation	Fläche [km ²]	%
Lutz 2003- 2007	Thüringen	7.8	8.10
	Zug	68.2	70.82
	Innerlaterns	20.3	21.08
Summe		96.3	100

Tabelle 7: Gewichtung der Niederschlagsdaten (alle NS- Messstellen liefern verwertbare Daten) auf die Einzugsgebiete nach Thiessen.

Ohne Zug			
Gewässer	NS- Messstation	Fläche [km ²]	%
Litz	Gargellen	34.7	33.69
2000- 2003	Tschagguns	68.3	66.31
Summe		103	100
Gewässer	NS- Messstation	Fläche [km ²]	%
Lutz	Tschagguns	62.7	65.11
2000- 2003	Innerlaterns	33.6	34.89
Summe		96.3	100

Ohne Zug und Gargellen			
Gewässer	NS- Messstation	Fläche [km ²]	%
Lutz	Tschagguns	77.4	80.37
1989- 2000	Innerlaterns	18.9	19.63
Summe		96.3	100

Tabelle 8: Gewichtung der Niederschlagsdaten (nicht alle NS- Messstellen liefern verwertbare Daten bzw. sind in Betrieb) auf die Einzugsgebiete nach Thiessen.

ii. Bemessungsniederschläge

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt stellen die sogenannten Bemessungsniederschläge eine Kombination aus extremwertstatistischer Analyse und deterministischen Modell dar. Die Werte, die vom Hydrographischen Dienst bezogen werden können stellen Punktwerte dar, welche nicht für die Anwendung auf größere Flächen reduziert wurden. Für das Modell MAXMODN wurde von Lorenz und Skoda (2001) folgender Ansatz für die Flächenabminderung verwendet:

$$P = P_{max}^{-kA_E^n}$$

Formel 2: Mittlerer Niederschlag eines Starkniederschlagsereignisses in Abhängigkeit von der Niederschlagsfläche (Lorenz und Skoda 2001)

P	mittlerer Niederschlag in [mm]
P_{max}	Niederschlagsmaximum am Gitterpunkt in [mm]
A_E	Niederschlagsfläche auch A_E in [km ²]
k und n	empirisch zu bestimmende Parameter

„ P_{max} repräsentiert hierbei einen extremen Niederschlagswert, der als ein räumlich geglätteter Hüllwert in einer Fläche mit Pixelgröße von ca. 5 km x 5km anzusehen ist. P_{max} stimmt im allgemeinen **nicht** mit dem gesuchten Punkt- Wert an einer aus dem Pixel ausgewählten Niederschlagsmessstellen überein.“ (Lorenz und Skoda, 2001)

Diese Formel ist so allerdings falsch, da kein abgeminderter Wert größer als „1“ sein kann. Weshalb auf diese Methode der Reduktion verzichtet wird. Diese Formel wurde mehrfach veröffentlicht, es handelt sich dabei allerdings um einen Druckfehler. Die korrekte Formel zur Flächenabminderung lautet wie folgt (Peter Lorenz, am 28.04.2009 per Mail):

$$P = P_{max} * e^{(-k*A_E^n)}$$

Formel 3: Mittlerer Niederschlag eines Starkniederschlagsereignisses in Abhängigkeit von der Niederschlagsfläche (Peter Lorenz, am 28.04.2009 per Mail)

Diese Formel ist für eine Abminderung bis zu einer Dauer (D) von 12 Stunden vorgesehen. In dieser Arbeit wird sie für die Abminderung der MAXMODN- Niederschlägen mit einer Dauer von 24 Stunden verwendet. Die neuen Bemessungsniederschläge ergeben sich als gewichteter Wert aus den ÖKOSTRA- Werten und den, wie in Formel 3 beschriebenen, neu ermittelten MAXMODN- Werten. Eine Werte- Gewichtung ist von Weilguni (2007) bis zu einer Dauerstufe von 12 Stunden verfügbar (Tabelle 9). Für diese Arbeit werden, zur besseren Vergleichbarkeit, Bemessungsniederschläge für eine Dauer von 24 Stunden benötigt. Als Gewichtung für die Dauerstufe von 24 Stunden wird die gleiche Gewichtung wie für die Dauerstufe von 12 Stunden verwendet.

Dauerstufe	Gewichtung für Modell MAXMODN	Dauerstufe	Gewichtung für Modell MAXMODN
5 Minuten	0,56	90 Minuten	0,40
10 Minuten	0,52	2 Stunden	0,39
15 Minuten	0,50	3 Stunden	0,36
20 Minuten	0,48	4 Stunden	0,35
30 Minuten	0,46	6 Stunden	0,32
45 Minuten	0,44	9 Stunden	0,30
60 Minuten	0,42	12 Stunden	0,29
		24 Stunden	0,29

Tabelle 9: Gewichtung für das MAXMODN- Modellanteil und verschiedenen Dauerstufen (verändert nach Weilguni, 2007)

Der empirisch ermittelte Parameter „k“ errechnet sich wie in Formel 4 dargestellt.

$$k = 0,19 * D^{-0,56}$$

Formel 4: Empirische Formel zur Ermittlung des k- Parameters

D Dauerstufe in [min], für $D < 15$ Minuten = $D = 15$ Minuten.

Der Parameter „n“ ist mit dem Wert 0,5 vorgegeben.

Diese so ermittelten/ gewichteten Parameter k und n stellen nach Lorenz und Skoda (2001) eine „sanfte Reduktion“ dar welche für kleine Einzugsgebiete berechtigt sind. Die Autoren verzichten leider auf eine genaue Definition von kleinen Einzugsgebieten.

Die in dieser Arbeit verwendeten Tabellen mit den Bemessungsniederschlägen (Dauerstufen und Wiederkehrzeit, Abbildung 4) wurden ohne diese Flächenreduktion gerechnet, sie sind also höher als die zu erwartenden (Niederschlags-)Werte. In diesen Tabellen sind die Werte der beiden Verfahren zur besseren Verdeutlichung der Spannbreite der Niederschlagshöhe dargestellt.

b. Abflussbestimmung

Zur Bestimmung des Abflussverhaltens von Einzugsgebieten bzw. ganzer Regionen gibt es zahlreiche verschiedene Ansätze. Ein kombiniertes Verfahren zur Bestimmung von Bemessungshochwässern wurden in Gutknecht et al. (2006) als „Mehr- Standbein“- Ansatz beschrieben (siehe Tabelle 10).

	Methode	Informationsgehalt
A	Lokale Hochwasserstatistik	Verhältnisse im betrachteten Gebiet; bester Aufschluss über Hochwassersituation im Gebiet; u. U. nur kurze Beobachtungsreihen ohne große bzw. extreme Ereignisse
B	Regionale Hochwasserstatistik	Datenkollektiv mit längeren Beobachtungsreihen; mehr Information über größere Ereignisse; Möglichkeit des Vergleichs zwischen HW-Simulation (Größe, Entstehung, Auftreten) unter den unterschiedlichen Bedingungen in den verschiedenen Gebieten
C	NA- Modellierung	Eingehend auf Niederschlagsverhältnisse und die Abflussentstehungsbedingungen im Gebiet; Möglichkeit der „Verschärfung“ der Inputs, der Parameter und der Entstehungsbedingungen
D	GRADEX	Abschätzungsverfahren unter maximierenden Annahmen bezüglich der Abflussentstehungsbedingungen... „aller zusätzlicher Niederschlag geht in den Abfluss über“ bei hohen Niederschlägen
E	Hüllkurven	Bisher beobachtete Extremwerte, sowohl aus näherer als auch aus weiterer Umgebung, Möglichkeit des Vergleichs; Abschätzung des extrem Möglichen unter verschiedenen Verhältnissen; Möglichkeit der Zuordnung zum betrachteten Gebiet

Tabelle 10: Überblick über die Methodik im "Mehr-Standbein" Ansatz (Gutknecht et al. 2006)

Ad A und B: Die vorhandenen Daten werden mittels Gumbel- Type I Verteilung ausgewertet. Die Entscheidung zur Gumbel Verteilung wurden aufgrund der gebräuchlichen Verwendung in der Praxis getroffen.

Ad C: Zur NA- Modellierung wurde das bekannte SCS- Verfahren und das Koaxialdiagramm herangezogen.

Ad D: Das Gradex-Verfahren wird als eigener Punkt genannt. Es wird nachfolgend beschrieben.

Ad E: Relevante Hüllkurven sind Wundt, GIUB- Verfahren sowie das im „Leitfaden zum Nachweis der Standsicherheit von Talsperren“ (kurz: Talsperrensicherheit- Verfahren) ausgewiesene Verfahren.

Zusätzlich zu diesen Methoden werden die Werte mit den in der Gebietsbauleitung Bludenz des **Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung** gebräuchlichen, empirischen Formelansätzen verglichen. Der Vergleich hierzu ist notwendig um die erarbeiteten Werte mit den in der Praxis angewendeten (für z. B.: Dimensionierung, Gefahrenzonenerstellung, Gutachtertätigkeit,...) zu positionieren.

Die in den Modellen Koaxialdiagramm, SCS- Verfahren und GRADEX- Verfahren untersuchten Ereignisse wurden „händisch“ ausgesucht, sie sind in Anhang A tabellarisch dargestellt. Einen Überblick über diese Ereignisse in Abhängigkeit der Regendauer und Regenhöhe ist in Abbildung 6 abgebildet. Die Regendaten wurden wie in Kapitel 3.a.i dargestellt, erhoben. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Spitzenabflüsse [$l/s/km^2$] dieser Ereignisse bezogen auf die Einzugsgebietsfläche.

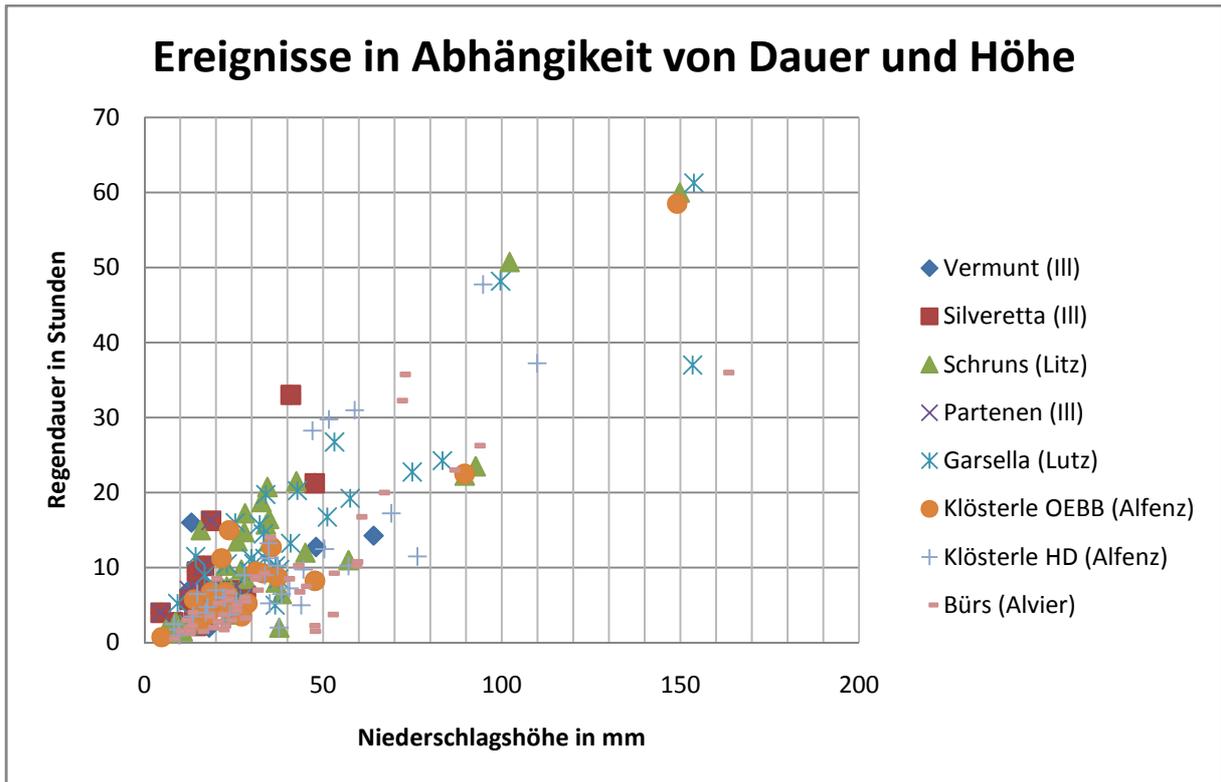


Abbildung 6: Die ausgeschiedenen Ereignisse in Abhängigkeit von Regendauer und Höhe

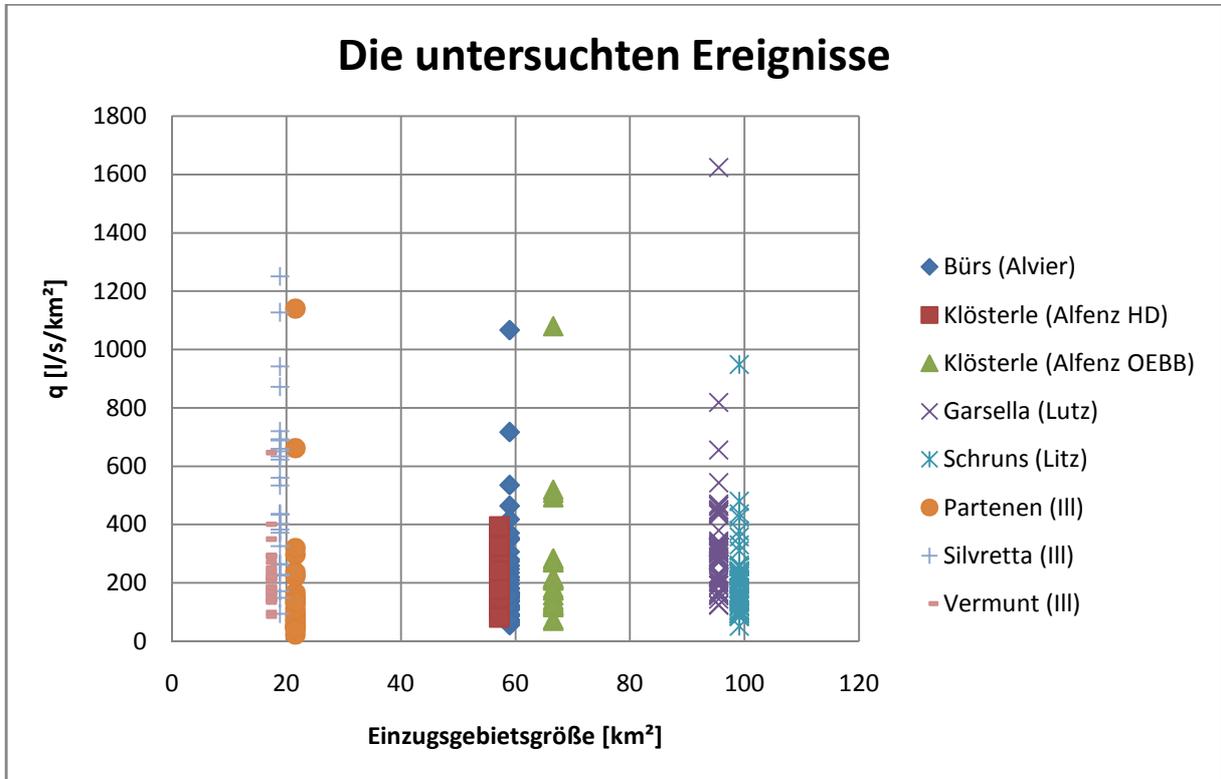


Abbildung 7: Die Spitzenabflüsse der untersuchten Ereignisse bezogen auf die Einzugsgebietsgröße

i. Statistische Auswertung (Asymmetrische Extremwertverteilung von Gumbel)

„Das traditionelle Verfahren der Bestimmung von Extremwerten einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ist die Statistik. Hierbei werden aus den beobachteten Spitzenwerten die statistischen Momente berechnet, um daraus nach Wahl der Verteilungsfunktion Hochwasserabflüsse bestimmter Jährlichkeit zu ermitteln.“ (verändert nach Merz, 2007)

Auch das DVWK (1999) vermerkt: *„Mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsanalyse soll den beobachteten Hochwasserscheitelabflüssen eines bestimmten Zeitraums eine Überschreitungswahrscheinlichkeit zugeordnet und eine Extrapolation über den Beobachtungszeitraum hinaus ermöglicht werden.“* Weiter wird in diesem Regelheft auf die Bedeutung der Art der Parameterschätzung der Verteilungsfunktion verwiesen.

Nach Scheiber (1970), dem auch der Rechengang entnommen werden kann, ist der doppel-exponentielle Typ I. am besten für die Berechnung von Hochwasserhäufigkeiten geeignet. Zudem ist die Gumbel- Verteilung in der Praxis weit verbreitet.

Zur Ermittlung der Gumbel- Verteilung bzw. anderer Extremverteilungen gibt es mittlerweile eine ganze Anzahl von Rechenprogrammen. Zudem kann auch eine Rechnung im Excel sehr rasch durchgeführt werden. Im Zuge dieser Arbeit wird das Programm EXTREM des Programmpaketes IHW verwendet, die Daten wurden zur Kontrolle auch in Excel gerechnet (Parameterschätzung mittels Momenten Methode).

Andere gebräuchliche statistische Verfahren zur Ermittlung extremer Abflüsse können auch dem DVWK (1999) Regelheft entnommen werden. Umfangreiche Betrachtungen über Verteilungsfunktionen können in Haupt (2000) nachgelesen werden.

Jüngste Veröffentlichungen (Merz, 2007; Merz und Blöschl 2008a, b und c) stehen einer rein statistischen Herangehensweise jedoch kritisch gegenüber.

Die Gleichung für die Unterschreitungswahrscheinlichkeit nach der I. asymptotischen Extremwertverteilung lautet

$$\Phi_{(x)} = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Formel 5: Unterschreitungswahrscheinlichkeit nach der I. asymptotischen Extremwertverteilung nach Gumbel

Φ_{\dots} Unterschreitungswahrscheinlichkeit

Eine genaue Erklärung der Parameter kann Scheiber (1970) entnommen werden.

Bemerkungen zum Ausreißerproblem (nach Merz, 2007): Vom DVWK (1999) wurde ein statistisches Verfahren zur Identifizierung von Ausreißern entwickelt. Allerdings ist ein rein statistisches Herangehen und eine eventuelle Entfernung derselben nach Merz (2007) nicht sinnvoll, da „... gerade Ausreißer zeigen, welche extremen Abflüsse in einem Einzugsgebiet auftreten können...“. Eine automatische Zuweisung einer empirischen Wahrscheinlichkeit (Plotting Position) weist einem solchen Extremwert allerdings in der Regel ein zu großes Gewicht zu (siehe Ergebnisse). Für eine „wahrheitsgetreue“ Gewichtung wird deshalb die Einbeziehung von nicht statistischen Zusatzinformationen empfohlen (zeitliche, räumliche und kausale)(auch in Merz und Blöschl, 2008b).

- Zeitliche Zusatzinformation: Hochwässer seltener Wiederkehrwahrscheinlichkeit treten gestaffelt auf. Frage: Ist die zu untersuchende Reihe in einer hochwasserarmen oder in einer hochwasserreichen Zeit? (Siehe 5b- Ergebnisse; Extremwertstatistik Abfluss)
- Räumliche Zusatzinformation: Die Ausreißer werden mit Nachbargebieten in Bezug gesetzt (Regionale Hüllkurven). Dies sind Gebiete denen ein ähnliches Abflussverhalten wie dem Untersuchungsgebiet unterstellt werden.
- Kausale Zusatzinformation: Eine Möglichkeit der Informationserweiterung ist die Analyse beobachtete Hochwässer hinsichtlich ihres Entstehungsprozesses. Eine andere Möglichkeit stellt die Einbeziehung des Niederschlagsverhaltens durch z. B. Anwendung eines Niederschlags- Abflussmodelles (z.B. GRADEX) dar.

Merz hat in seinem Bericht ein anschauliches Beispiel der Kombination von Hochwasserstatistik und Zusatzinformation angeführt. 2008 veröffentlichten Blöschl und Merz weitere Betrachtungen über die Bestimmung von Bemessungshochwässern.

Um den Einfluss der beobachteten Extremwerte (Ausreißer- hauptsächlich die Ereignisse von 1999 und 2005) zu verdeutlichen, werden die Reihen mit und ohne diese Werte gerechnet.

ii. Koaxialdiagramm

Bei der koaxialen Darstellung kommt es durch eine Verknüpfung aller ereignisbeeinflussenden Größen zur Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlages bzw. des Gebietsrückhaltes. Diese Größen sind: Niederschlagshöhe, Niederschlagsdauer, Jahreszeit und die Vorbodenfeuchte. Die Vorbodenfeuchte wird durch ein Ersatzmaß, dem Basisabfluss vor Beginn eines Ereignisses, ersetzt (Lutz 1984; DVWK 1984; Maniak 2005, p 289; Ihringer 2002). Ihringer (in Lutz, 1984) hat die mathematische Formulierung des Koaxialdiagrammes vorgenommen. Dies wurde nach Lutz (1984) mehrfach mit Erfolg angewendet. Im Zuge dieser Arbeit wird das Koaxialdiagramm mit Hilfe des IHW-Programmes KOAX (Ihringer, 2002) ermittelt. Die Parameterwerte werden in diesem Programm mittels der Methode der kleinsten Quadrate (Lutz, 1984) optimiert. Die für die Berechnung des Rückhaltes notwendige Formel ist in Formel 6 ersichtlich. Der Vorgang der Ereigniswahl ist in Dyck (1980) beschrieben, in der vorliegenden Arbeit werden die Ereignisse visuell angezeigt, sie halten sich nicht exakt nach den Vorgaben von Dyck (1980).

Zudem muss gesagt werden, dass das Koaxialdiagramm ursprünglich für Einzugsgebiete mit entsprechender Datengrundlage angepasst wurden. Auch wenn in der Literatur keine Begrenzungen bzw. Richtwerte für Einzugsgebietsgrößen getroffen (gefunden) wurden, werden Koaxialdiagramme

häufiger bei „großen“ Einzugsgebieten (>100 km²) angewandt. Die untersuchten Einzugsgebiete sind also zu klein, in dieser Arbeit soll eine eventuelle Tauglichkeit auch für kleinere Einzugsgebiete überprüft werden.

$$R = \frac{N * e^{C * q_b} * e^{D * T_D} * (A + B * \sin(\frac{\pi}{6} * (WM - 4)))}{N + e^{E * N} * e^{C * q_b} * e^{D * T_D} * (A + B * \sin(\frac{\pi}{6} * (WM - 4)))}$$

Formel 6: Rückhalteberechnung im Koaxialdiagramm (Lutz, 1984; Ihringer, 2002)

R:	Rückhalt in [mm]
q _b :	Basisabfluss [l/s/km ²]
WM:	Monat (Januar= 1,..., Dezember = 12)
T _D :	Niederschlagsdauer [h]
N:	Niederschlag [mm]
A, C:	Einfluss des Basisabflusses
B:	Einfluss der Jahreszeit
D:	Einfluss der Niederschlagsdauer
E:	Einfluss der Niederschlagshöhe

Exemplarisch für ein erstelltes Koaxialdiagramm ist das Koaxialdiagramm für den Pegel Schruns (Litz) (Abbildung 8) dargestellt.

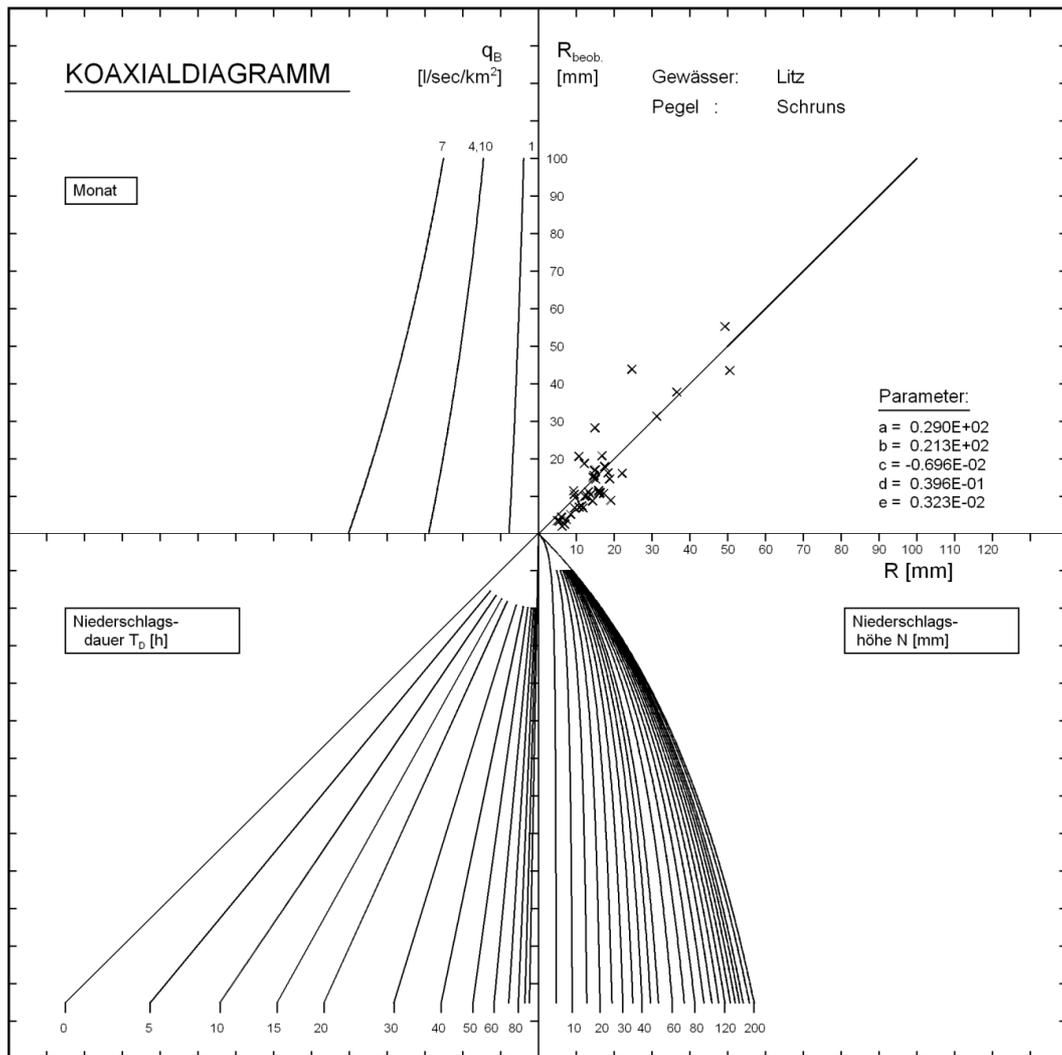


Abbildung 8: Koaxialdiagramm für den Pegel Schruns (Litz)

iii. SCS- Methode

Das Verfahren des United States Soil Conservation Service (SCS) (US-SCS, 1972; DVWK, 1984; DVWK, 1991; Maniak, 2005) ist weltweit ein sehr weit verbreitetes Verfahren zur Bestimmung des Abflussbeiwertes von Hochwasserabflüssen in kleinen (kleineren) unbeobachteten Gebieten. Nach Merz (2006a) und Blöschl und Merz (2002) wird es auch in Österreich häufig verwendet.

Der Ereignisabflussbeiwert ergibt sich als Funktion des Niederschlages und einer Kurvennummer (CN). Diese ist eine Funktion aus Bodentyp, Landnutzung und einer Vorbefeuchtung (Niederschlag der letzten 5 Tage) und beschreibt somit den Bodenspeicher (US-SCS, 1972; chapter: 10). Der CN-Wert ist ein Maß für das maximale Speichervermögen (S), die Werte liegen zwischen 0 und 100.

$$CN = f(\text{Bodenart, Bodennutzung, Vorregen, Jahreszeit})$$

Formel 7: Kurvennummer (CN) als Funktion der Bodenart, Bodennutzung, Vorregen und Jahreszeit

Die CN wird aufgrund der Bodenfeuchteklassen in CN I, CN II und CN III unterschieden. Die Werte CN I und CN III werde aus der Kurvennummer CN nach Maniak (2005, p. 293) bestimmt:

$$CN_I = \frac{CN}{2.334 - 0.01334 \cdot CN}$$

$$CN_{II} = CN$$

$$CN_{III} = \frac{CN}{0.4036 + 0.059 \cdot CN}$$

Formel 8: Umrechnung CN(II) in andere Bodenfeuchteklassen

In dieser Arbeit wurde eine mittlere Vorbefeuchtung angenommen (CN= CN_{II}).

Die Kennwerte sind in Tabelle 11, Tabelle 12 und Tabelle 13 aufgelistet, bei Tabelle 13 wird auf die umfangreichere Auflistung von Maniak (2005, p. 294) Bezug genommen.

Bodenfeuchteklassen	Niederschlagshöhe in den vorangegangenen 5 Tagen in mm	
	Vegetationsperiode	Übrige Zeit
I	<30	<15
II	30-50	15-30
III	>50	>30

Tabelle 11: 5-Tages Vorregenhöhe zur Bestimmung der Bodenfeuchtklasse (DVWK, 1984)

Bodentyp A	Böden mit großem Versickerungsvermögen, auch nach starker Vorbefeuchtung, z.B.: tiefe Sand- und Kiesböden.
Bodentyp B	Böden mit mittleren Versickerungsvermögen, tiefe bis mäßig tiefe Böden mit mäßig feiner bis mäßig grober Textur, z. B.: mitteltiefe Sandböden, Löß, (schwach) lehmiger Sand.
Bodentyp C	Böden mit geringem Versickerungsvermögen, Böden mit feiner bis mäßig feiner Textur oder mit wasserstauernder Schicht, z. B.: flache Sandböden, sandiger Lehm.
Bodentyp D	Böden mit sehr geringem Versickerungsvermögen, Tonböden, sehr flache Böden über nahezu undurchlässigem Material, Böden mit dauernd sehr hohem Grundwasserspiegel.

Tabelle 12: Die 4 Bodentypen laut SCS- Verfahren (DVWK, 1984)

Bodennutzung	CN- Wert für Bodentyp			
	A	B	C	D
Ödland (ohne nennenswerten Bewuchs)	77	86	91	94
Reihenkulturen (Hackfrüchte), herkömmlich	70	80	87	90
Reihenkultur, nach Schichtlinien	67	77	83	87
Wein (Terrassen)	64	73	79	82
Getreide, herkömmlich	64	76	84	88
Getreideanbau, nach Schichtlinien	62	74	82	85
Getreideanbau, terrassenartig	60	71	79	82
Futterpflanzen (Klee), herkömmlich	62	75	83	82
Weide „fett“	39	61	74	80
Weide „normal“	49	69	79	84
Weide „karg“	68	79	86	89
Dauerwiese	30	58	71	78
Haine, Obstanlagen (mittel)	36	60	73	79
Wald „stark aufgelockert“	45	66	77	83
Wald „mittel“	36	60	73	79
Wald „dicht“	25	55	70	77
Wald „sehr dicht“	15	44	54	61
Wirtschaftshöfe	59	74	82	86
Feldwege, befestigt	74	84	90	92
Undurchlässige Flächen	100	100	100	100

Tabelle 13: CN- Werte in Abhängigkeit von Bodentyp und Bodennutzung für die Bodenfeuchteklasse II (Maniak, 2005)

Die CN- Werte (unterschiedliche Bodentypen und Nutzungsarten) im Einzugsgebiet werden ermittelt und daraus ein gewichteter CN für das gesamte Gebiet bestimmt.

Die Ereignisabflusshöhe wird in Merz (2006a) wie folgt berechnet:

$$N_{eff} = c_1 * \frac{\left(\frac{N - c_{in} * 1000}{c_1 * CN_j} + c_{in} * 10 \right)^2}{\frac{N}{c_1} + \frac{(1 - c_{in}) * 1000}{CN_j} - (1 - c_{in}) * 10} \text{ für } \frac{N}{c_1} - \frac{c_{in} * 1000}{CN_j} + c_{in} * 10 > 0 \text{ andernfalls } N_{eff} = 0$$

Formel 9: Ereignisabflusshöhe nach Merz (2006a)

N_{eff} : Ereignisabflusshöhe in [mm]

N : Ereignisniederschlag [mm]

CN_j : Kurvennummer

C_1 : Umrechnungsfaktor von Zoll in Millimeter [24.5 mm]

c_{in} : Parameter zur Beschreibung der Anfangsverluste [hier 0.05]

Mit HQ_n als (aus Hagen et al. 2007):

$$HQ_n = \frac{1000 * A_E * N_{eff}}{30 * (2 * t_N + t_c)}$$

Formel 10: Spitzenabfluss nach Jährlichkeit laut SCS- Verfahren abgeändert nach Hagen et.al. (2007)

- HQ_n : Spitzenabfluss mit der Jährlichkeit n (Jährlichkeit abhängig von der Niederschlagsjährlichkeit in Formel 9)
- A_E : Einzugsgebietsfläche [km²]
- t_N : Regendauer [min]
- t_c : Konzentrationszeit [min]; es wird die Konzentrationszeit nach Kreps (in Hagen et al. 2007) verwendet
- N_{eff} : N_{eff} aus Formel 9

Die Konzentrationszeit nach Kreps ermittelt sich wie in Formel 11 beschrieben.

$$t_{c_{n[h]}} = 0.89 * A_E^{0.4} - 0.15$$

Formel 11: Konzentrationszeit nach Kreps (1975) (Kreps in Sackl, 1987, Hagen et. al. 2007)

Die Anfangsverluste (S_{in}) werden beim SCS- Verfahren proportional zur Speicherkapazität (S_{max}) des Gebietes angesetzt:

$$S_{in} = c_{in} * S_{max}$$

$$S_{max} = \frac{1000}{CN_j} - 10$$

Formel 12: Anfangsverluste und Speicherkapazität nach SCS- Methode

Die SCS- Methode schlägt für c_{in} einen Wert von $c_{in} = 0.20$ vor. Dieser wurde vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK, 1984) übernommen. Selbiger Verband (DVWK, 1991) sowie Maniak (2005, p. 295) weisen darauf hin, dass dieser Wert für mitteleuropäische Verhältnisse oft zu hoch ist und schlagen die Verwendung von $c_{in} = 0.05$ vor. In der Untersuchung von Merz (2006a) wird der vorgeschlagene Wert durch eine bessere Anpassungsgüte bestätigt. Zusätzlich zu dieser Reduzierung der Anfangsverluste wird in dieser Arbeit eine Aneichung des CN-Wertes durch beobachtete Niederschlags und Abflussereignisse empfohlen. In der vorliegenden Arbeit werden 5% Anfangsverluste angenommen. Zudem werden die CN- Werte aus dem Ereigniskollektiv ermittelt.

iv. Gradex- Verfahren

In Merz et al. (1999) wird das Gradex- Verfahren wie folgt beschrieben: „Das Gradex- Verfahren ist ein einfaches und robustes Verfahren zur Berechnung von Hochwasserabflüssen in Einzugsgebieten mit einer Fläche von einigen Dutzend bis zu 5000 km² und einer Reaktionszeit von 1 Stunde bis zu 4 Tagen.“ (Guillot, 1972, 1993; Duband et al. 1994 in Merz et al. 1999) Damit liegen nicht alle acht untersuchten Einzugsgebiete im Anwendungsbereich (Einzugsgebietsgröße). Dennoch wird untersucht inwieweit diese Methode brauchbare Ergebnisse für diejenigen Einzugsgebiete liefert, die nicht in ausgewiesenen Anwendungsbereich fallen (Silvretta, Vermunt und Partenen).

Die Grundidee des Gradex- Verfahrens besteht in einer Kombination einer Niederschlagsstatistik mit einem deterministischen Niederschlags- Abflussmodell und einer Hochwasserstatistik. Es erfolgt eine Annahme für die Erreichung der maximalen Speicherkapazität beim NS- Abfluss- Modell eines Einzugsgebietes bei einer bestimmten Jährlichkeit (T_g ist in dieser Arbeit eine Jährlichkeit >10 Jahre). Wird die maximale Speicherkapazität (das Gebiet kann als vollständig gesättigt angesehen werden) erreicht, trägt jeder weitere Niederschlag direkt zum Abfluss bei (Weingartner, 1998).

$$Q_{mT} - Q_{mTg} = (N_T^{Geb} - N_{Tg}^{Geb}) * A_E$$

Formel 13: Grundidee des Gradex- Verfahrens (Merz 1999)

Q_{mT} :	Mittlerer Abfluss während eines Zeitintervalls H, dem eine Jährlichkeit T größer als T_g zugeordnet ist.
Q_{mTg} :	Abfluss bei einer Jährlichkeit T_g (bei Erreichung der Sättigung) hier [10 Jahre]
N_T^{Geb} bzw. N_{Tg}^{Geb} :	Gebietsniederschlag während eines Zeitintervalls H, der einer Jährlichkeit T bzw. T_g zugeordnet ist.
A_E :	Einzugsgebietsfläche [km ²]

Merz et al. (1999) hat zu Formel 13 folgende Anmerkung: „... hat keine statistisch- theoretische Basis, da die Niederschläge und Abflüsse als Zufallsvariable zu betrachten sind, welche deterministisch interpretiert werden. Diese Interpretation ist „streng genommen nicht zulässig“, da die Jährlichkeit des Abflusses nicht gleich der Jährlichkeit des auslösenden Niederschlages ist. Die Formel 13 ist folglich als empirischer Bestandteil des Gradex- Verfahrens anzusehen.“

Gutknecht (2007b) wiederum zitiert Blöschl (et al. 2003): „... Auswertungen von Beobachtungen deuten allerdings darauf hin, dass „die Jährlichkeit eines Hochwassers sich ganz wesentlich von der Jährlichkeit des auslösenden Niederschlages unterscheiden (kann) und dieser Unterschied zum großen Teil auf die unterschiedlichen Abflussbereitschaft von Einzugsgebieten zurückzuführen (ist)“ (Blöschl et al. 2003) ähnlich auch z. B. Naef et al. (2005).“

Das Abflussvolumen wird in einen Abflussscheitel Q_s und einen Mittleren Abfluss Q_m umgerechnet (Formel 14), Abbildung 9 verdeutlicht die Ermittlung des „r“- Wertes graphisch, zudem ist die

Beziehung in Formel 15 dargestellt. Q_m entspricht dem Abflussscheitel (Q_s) durch die Abflussdauer (H in Stunden [h]).

$$Q_{ST} = r * Q_{mT} \text{ bzw. } Q_{STg} = r * Q_{mTg}$$

Formel 14: Umrechnung des Abflussvolumens in einen Abflussscheitel (Merz et al. 1999)

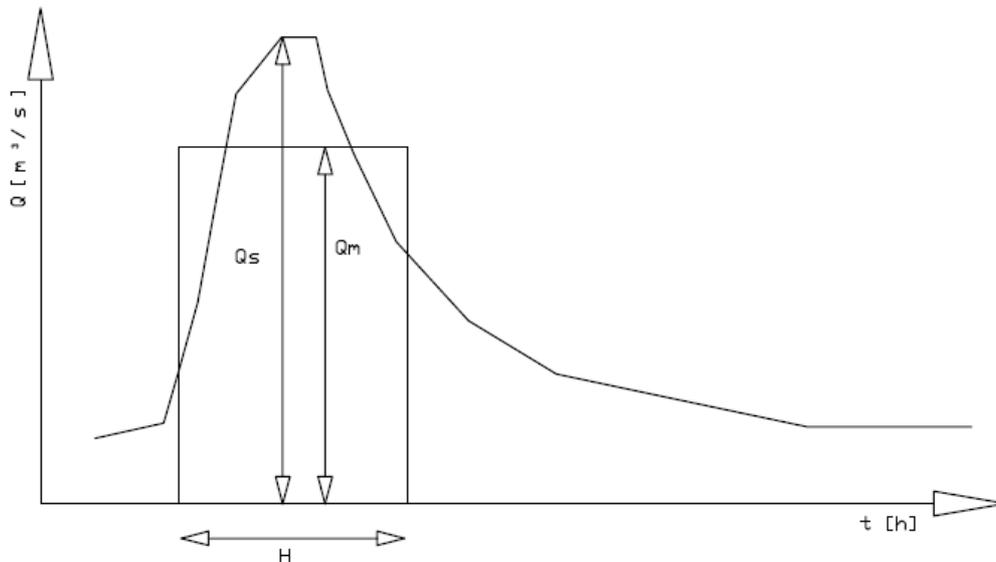


Abbildung 9: Berechnung des r- Wertes als Verhältnis von Scheiteldurchfluss Q_s zu mittleren Abfluss Q_m . H ist das Bezugszeitintervall (verändert nach Merz et al. 1999)

$$r = \frac{Q_s}{Q_m}$$

Formel 15: Beziehung des Scheitelabfluss Q_s und dem mittleren Abfluss Q_m über die Dauer H

Die „r“- Werte wurden aus der Analyse der untersuchten Hochwasserwellen der einzelnen Einzugsgebiete ermittelt. Der Mittelwert der untersuchten „r“- Werte bildet den „Kalkulationswert“ des jeweiligen Einzugsgebietes. Exemplarisch ist in Abbildung 10 eine Analyse beobachteter Hochwasserwellen am Pegel Bürs (Alvier) dargestellt. Die Punkte stellen die aus den Ereignissen ermittelten r-Werte dar, r1, r3 und r5 sind die Trendlinien bei einem r-Wert von 1; 3 und 5. Für den Pegel Alvier in Bürs wurde ein r-Wert von 4,7 ermittelt (als Mittelwert aus den Untersuchten Ereignissen). Zu den gutachterlich ermittelten r-Werten (Mittelwert aus allen Untersuchten Ereignissen je Einzugsgebiet; H- Ereigniszeit entspricht der Dauer des Abflusses), wurden selbige auch noch nach der „original“ Methode von Merz et al. (1999) ermittelt (Formel 16, Formel 17 und Formel 18). Denn Merz (et al. 1999) merkt an: „Das Gradex- Verfahren geht von der Annahme eines konstanten r-Wertes aus, der von der Jährlichkeit und damit vom Abfluss unabhängig ist.“

$$t_c = 2 * A_E^{0.35}$$

Formel 16: Ermittlung der Konzentrationszeit t_c nach der Formel von Blöschl in Merz et al. (1999)

t_c : Konzentrationszeit [h]

A_E : Einzugsgebietsgröße [km²]

$$r = \frac{Q_s}{Q_m} = \frac{(1-e^{-1}) * H}{t_c * \left(1 - e^{-1 * e^{-\frac{H}{t_c}}}\right)} \quad \text{für } t_c < H/2$$

Formel 17: Berechnung der r- Werte wenn die Konzentrationszeit, t_c , ist kleiner der halben Niederschlagsdauer.

$$r = \frac{Q_s}{Q_m} = \frac{(1-e^{-1}) * H}{\frac{H}{2} + t_c * \left(1 - e^{-\frac{H}{2} - t_c} - (1 - e^{-1}) * e^{-\frac{H}{2} - t_c}\right)} \quad \text{für } t_c > H/2$$

Formel 18: Berechnung der r- Werte wenn die Konzentrationszeit, t_c , ist größer der halben Niederschlagsdauer.

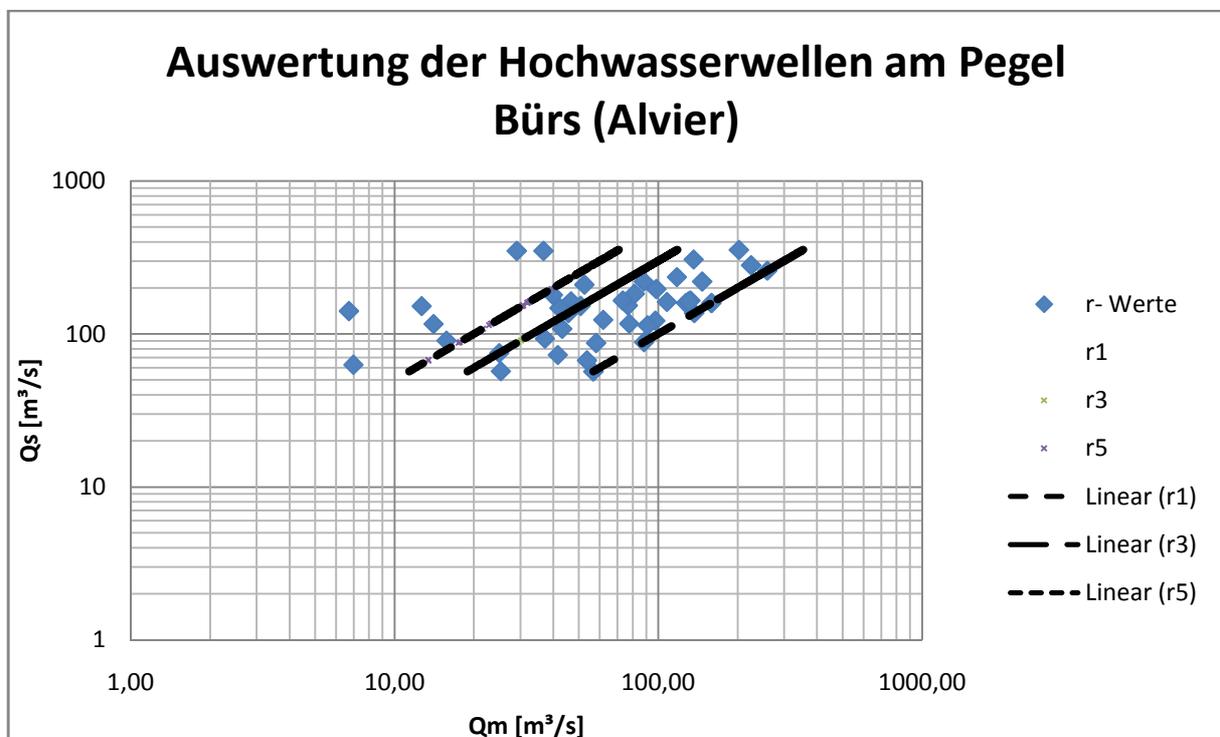


Abbildung 10: Auswertung der Hochwasserwellen am Pegel Bürs (Alvier), die r- Werte ergeben sich als Q_s/Q_m . Für das Einzugsgebiet der Alvier wurde ein r- Wert von 4.7 ermittelt.

Bei der Niederschlagsstatistik wird angenommen, dass sich die Werte durch eine Gumbelverteilung beschreiben lassen. Der Gebietsniederschlag (N^{Geb}) wird aus dem Stationsniederschlag N unter Anwendung eines Flächenabminderungsfaktors ARF berechnet (Formel 19).

$$N^{Geb} = N * ARF$$

Formel 19: Ermittlung des Gebietsniederschlages (Merz et al., 1999)

In dieser Arbeit wird die Flächenabminderung aus der Arbeit von Merz et al. (1999), abhängig von der Einzugsgebietsgröße angeschätzt, Merz verwendete die Kurve I nach Hershfield (1968).

Der so genannte „gradex“ (ap), der Gumbel- Parameter des transformierten Niederschlages, errechnet sich wie folgt:

$$ap = \frac{\delta_N * ARF * r * A}{1,2825 * H} * \frac{1}{3,6}$$

Formel 20: Berechnung des "gradex"- Wertes (Merz et al. 1999)

δ_N :	Die Standardabweichung der Jahreshöchstwerte der Niederschläge einer bestimmten Zeiteinheit; hier den Tagesniederschlägen mit [24 h]
r :	Q_s/Q_M aus der Analyse der beobachteten Hochwasserwellen; einmal als Mittel aus den Untersuchten Ereignissen (r - ermittelt) und einmal als pauschal errechnete r - Werte (r - errechnet) wie in Formel 17 und Formel 18 dargestellt.
A_E :	Fläche des Einzugsgebietes [km^2]
H :	Zeiteinheit des Niederschlages [h], beim „pauschalen“ Ansatz: [24 h] beim „ermittelten“ Ansatz mit der tatsächlich beobachteten Regendauer.
1/3,6:	Faktor zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Einheiten der Größen dieser Gleichung.

In dieser Arbeit werden je Einzugsgebiet 3- „gradex“- Werte ermittelt. Dies sind:

1. „gradex“- Wert aus r - Wert ermittelt und einer Niederschlagsdauer von 24 h.
2. „gradex“-Wert aus r - Wert errechnet und einer Niederschlagsdauer von 24 h.
3. „gradex“- Wert als Mittel aller „gradex“- Werten aller untersuchten Ereignissen je Einzugsgebiet, Niederschlagsdauer ist ereignissabhängig,

alle anderen Parameter bleiben Einzugsgebietsweise konstant. Abbildung 11 illustriert den Einfluss der unterschiedlichen Verfahren zur Ermittlung des „gradex“- Wertes.

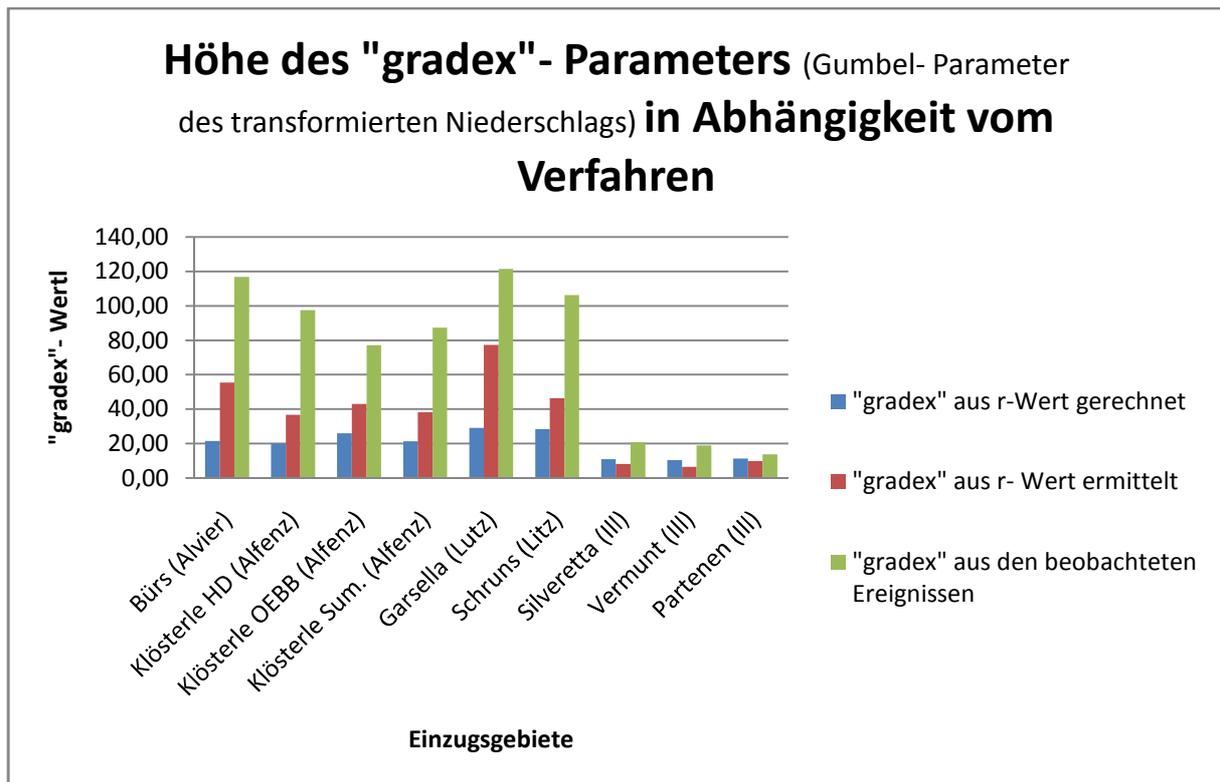


Abbildung 11: Unterschiedliche Höhe der Mittleren - "gradex"- Werte

Der Abfluss für eine Jährlichkeit T_g (z.B.: 10 Jahre) ergibt sich entsprechend der Gumbel-Verteilung zu:

$$Q_{10} = \frac{(-\log(-\log(0,9))) \cdot \delta_Q}{1,2825} + (\bar{x}_Q - 0,4501 \cdot \delta_Q)$$

Formel 21: Berechnung des Abflusses mit einer Jährlichkeit T_g (hier 10 Jahre), entsprechend der Gumbelverteilung im Gradex- Verfahren

\bar{x}_Q : Der Mittelwert der Jahreshöchsthochwässer eines Pegels

δ_Q : deren Standardabweichung

$$Q_i = Q_{10} + ap \cdot \log(-\log(0,9))$$

Formel 22: Berechnung des Hilfwertes Q_i

Die Berechnung der Abflüsse mit dem Gradex- Verfahren T , kleiner als T_g ist in Formel 23 beschrieben.

$$Q_T = \frac{-\log\left(-\log\left(1-\frac{1}{T}\right)\right) * \delta_Q}{1,2825} + (\bar{x}_Q - 0,4501 * \delta_Q)$$

Formel 23: Berechnung der Jährlichkeiten T kleiner gleich T_g (hier 10 Jahre)

Die kurzen Reihenlängen, in der vorliegenden Arbeit alle, müssen durch eine Korrektur der Parameter (1,2825 und 0,4501 in Formel 21 und Formel 23) nach Gumbel berücksichtigt werden (Scheiber, 1970).

Für die Jährlichkeiten T grösser als T_g errechnet sich der Abfluss mit dem Gradex- Verfahren wie in Formel 24 beschrieben.

$$Q_T = Q_i - ap * \log\left(-\log\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right)$$

Formel 24: Berechnung der Jährlichkeiten T größer T_g

Weingartner (1998) merkt an, dass Untersuchungen (Margoun 1992 in Weingartner 1998) gezeigt haben, dass die Abflüsse T > T_g, die jedoch noch in der Nähe des „Knickpunktes“ liegt, deutlich überschätzt werden (was der Grund für den Knick in Abbildung 12 ist).

Ein exemplarisches Ergebnis des Gradex- Verfahrens vom Pegel Bürs (Alvier) ist in Abbildung 12 dargestellt. In Abbildung 12 ist ersichtlich, dass das Verhältnis Niederschlag- Abfluss bei r- Wert „ermittelt“ mit geringen Jährlichkeiten gut passt, bei höheren Jährlichkeiten >150 Jahre (x- Wert „5“) nähert sich der Abfluss jedoch dem Niederschlag stark an. Anders verhalten sich die Abflusswerte welche mit den errechneten r- Werten ermittelt wurden. Hierbei gehen die Abfluss-Niederschlagsgeraden weitgehend parallel. Allerdings erscheinen die Abflusswerte doch etwas gering. Die Methode „r-Wert ermittelt; „gradex“- optimiert“ wiederum führt zu Abflusswerten, welche mit der aktuellen Datenbasis, als stark überhöht einzustufen sind.

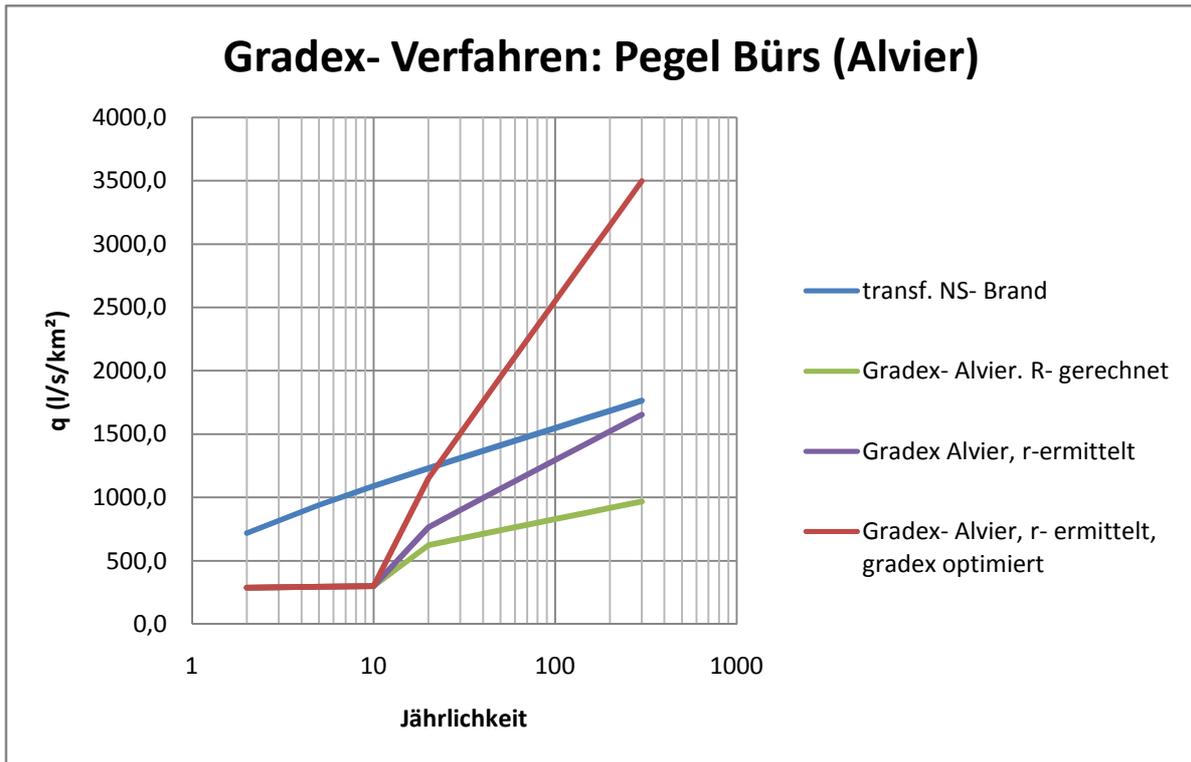


Abbildung 12: Ergebnis des Gradex- Verfahrens (spezifische Abflüsse) sowie transformierter Niederschlag für bestimmte Jährlichkeiten nach Gumbel (NS- Station Brand);

v. Regionsspezifische Hüllkurven

1. GIUB- Verfahren

„Kan (1995) und Weingartner (1999) haben als Grundlage für das Modell GIUB'96 über 700 Hochwasserspitzen ausgewertet, die vom ehemaligen Amt für Straßen und Flussbau (ASF 1974) und von der Landeshydrologie und -geologie gesammelt wurden, die Beobachtungen stammen aus dem Zeitraum 1869 bis 1991. Aus dem gesamtschweizerischen Datenkollektiv wurden Regionen mit einem Vergleichbaren extremen Hochwasserverhalten abgeleitet.“ (verändert nach Weingartner 1998; Barben, et. al. 2001; Spreafico, et al. 2003)

Es wurden zwei Formelansätze publiziert:

- 90% Hüllkurve: in 10 % der Fälle treten größere Werte als $Q_{\max,90\%}$ auf.
- HHQ_{50%} Wert liegt im Bereich eines 50- 100jährigen Hochwassers.

$$Q_{\max,90\%}(A_E) = a_{(GIUB)} * A_E^{b_{(GIUB)}}$$

Formel 25: Ermittlung der 90% Hüllkurve nach dem GIUB- Verfahren

$Q_{\max, 90\%}$:	90% Hüllkurve
$a_{(GIUB)}$; $b_{(GIUB)}$:	Parameterwerte, abhängig vom Schweizer Staatsgebiet
A_E :	Einzugsgebietsfläche in km ²

$$HHQ_{50\%}(A_E) = a_{(GIUB)} * A_E^{b_{(GIUB)}}$$

Formel 26: Ermittlung des $HHQ_{50\%}$ - Wertes (Abschätzung des HQ 100)

$HHQ_{50\%}$: Flächenabhängiger Wert der von der beobachteten Grundgesamtheit der Hochwasserereignisse zu 50% über bzw. unterschritten wird.

Die für das Untersuchungsgebiet relevanten Parameter sind in der nachstehenden Tabelle aufgelistet:

Gebiet	Anzahl Ereignisse	b	a	
			Q max 90% A= <100km ²	HHQ 50%
M3	24	0.61	4.79	3.63
N1	108	0.6	13.18	7.18
A5	27	0.83	1.26	0.9

Tabelle 14: GIUB- Gebiete und die dazuzählende Parameterwerte

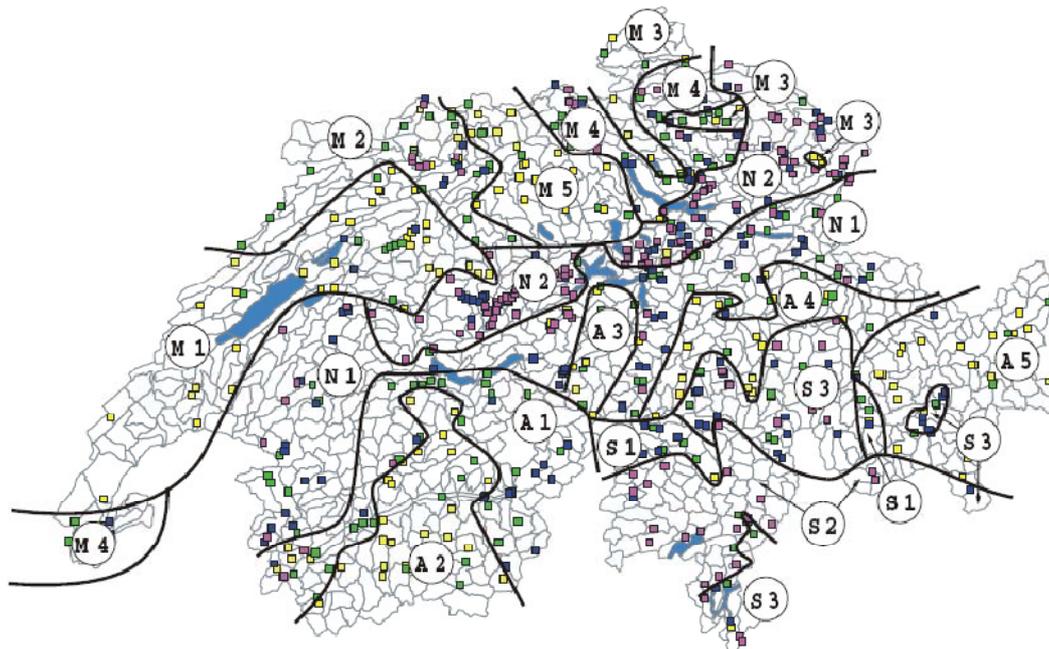


Abbildung 13: Hochwasserregionen der Schweiz nach Kan (1995) aus Barben et al. (2001) auch in Sperafico et al. (2003)

Gebiet N1 ist bei $Q_{\max 90\%}$, der 90% - Richtkurve von Wundt (1953 in Hagen et al. 2007) sehr ähnlich. $HHQ_{50\%}$ (50-100 jährlichem Hochwasser) unterscheiden sich jedoch deutlich. Der „c“ Parameter in der Wundt- Formel lautet „13,8“.

Abbildung 13 stellt das Schweizer Gebiet mit den darin ausgeschiedenen Hochwasserregionen dar.

2. Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren (Gutknecht et al. 2007; Gutknecht 2007)

Für Talsperren ist eine Dimensionierung für ein Bemessungshochwasser mit sehr kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeit (HQ 5000) in der Praxis üblich. Vom Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der TU Wien wurde deshalb der in der Überschrift zitierte Leitfaden erarbeitet. Dieser Leitfaden baut auf dem bereits eingangs erwähnten „Mehr- Standbein“ Ansatz (Gutknecht et al. 2006; Gutknecht 2007b) auf. Es werden zwei Verfahren unterschieden:

- „Detailliertes Verfahren“: Vollständige Erarbeitung der im „Mehr- Standbein“- Ansatz dargelegten Punkte.
- „Abgekürztes Verfahren“: Im Wesentlichen ist es ein Regionalisierungsansatz (Formel 27), wie wir ihn bereits von Wundt kennen. Ausschließlich der Parameter „c“ wurde für jeden Bereich Österreichs in Form von Isohyeten ermittelt (Abbildung 14 und Abbildung 15). Die Formel ist dieselbe wie in der Formel von Wundt (1953, in Hagen et al. 2007). Sie unterscheidet sich lediglich in der Höhe des Parameters „c“. Dieser ist aufgrund der eigentlichen Fragestellung (HQ 5000) etwas höher als die Wundt- Werte.

$$BMQ^* = c * A_E^{0,6}$$

Formel 27: "Abgekürztes Verfahren" des Leitfadens, Formel des Bemessungsereignisses (Gutknecht et al. 2007)

BMQ...	Bemessungshochwasser
c...	Parameterwert aus Karte
A _E ...	Einzugsgebietsgröße in [km ²]

Nach Gutknecht et al. (2007c) deckt der Parameter „c“ folgende Faktoren ab:

- *Regionalisierte hundertjährige Hochwasserspende Hq100 ermittelt aus Pegelbeobachtungen des Abflusses*
- *Die relative Vergrößerung des Hochwasserabflusses bei Übergang zu größeren Jährlichkeiten bzw. kleinen Auftretenswahrscheinlichkeiten (p_ü) gemäß der Definition in selbigen Leitfaden bei Übergang von p_ü= 1.10⁻² auf p_ü= 2.10⁻⁴*
- *Die mit der regionalen Übertragung verbundenen hydrologischen Unschärfen, die sich aus dem lokalen hydrologischen Verhalten ergibt.*

Die so entstehenden Schätzwerte sollen damit im Durchschnitt etwa dem 3,7 fachen der regionalisierten Hochwasserspende Hq 100 entsprechen (Gutknecht, 2007a).

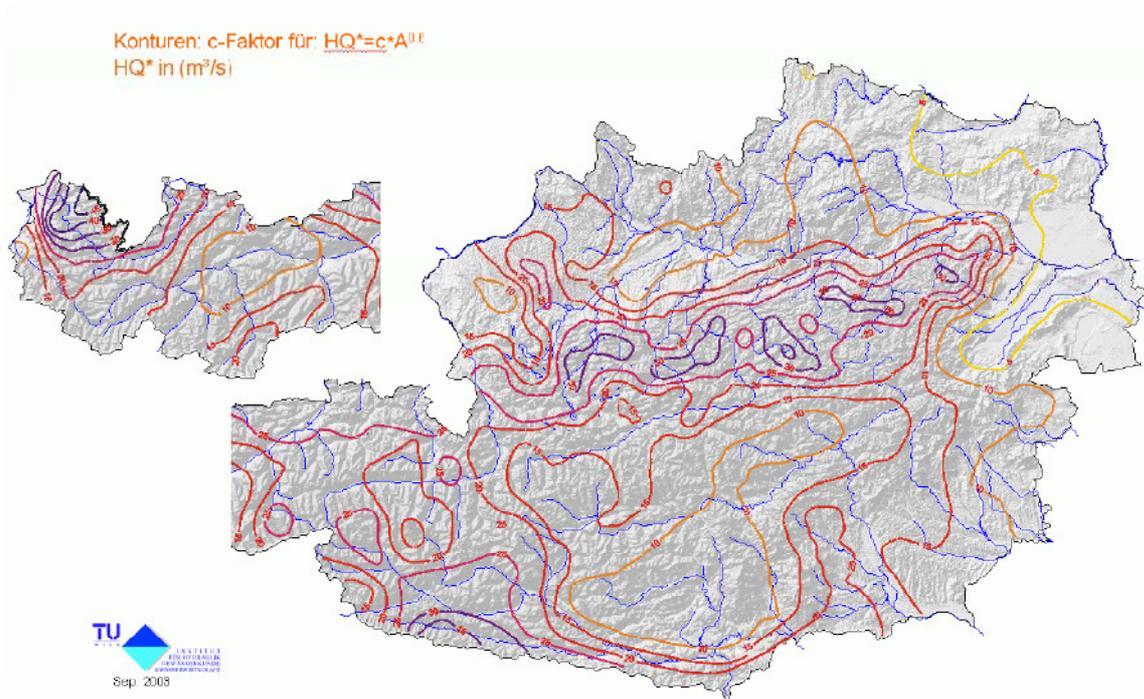


Abbildung 14: Karte für den Parameter "c" für das "abgekürzte Verfahren" aus Gutknecht et al. (2007)

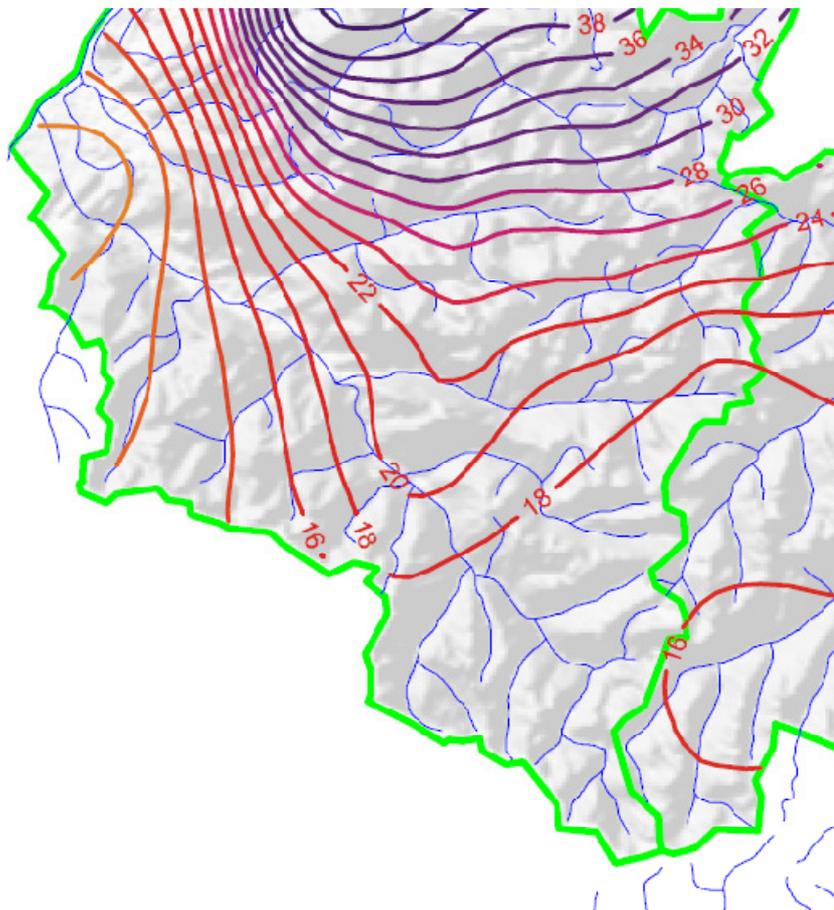


Abbildung 15: Kartenausschnitt (Bezirk Bludenz) für den Parameter "c" für das "abgekürzte Verfahren" aus Gutknecht et al. (2007)

vi. Gebräuchliche Formelansätze in der Gebietsbauleitung Bludenz

Folgende Formelansätze sind in der Gebietsbauleitung Bludenz des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung zur Abschätzung der Spitzenabflüsse gebräuchlich. Sie werden unter anderem zur Dimensionierung der Schutzbauwerke, Gefahrenzonenkartierung und zur Gutachtertätigkeit herangezogen.

1. Lauterburg (1887)
2. Hofbauer- Hampel (1968, 1970)
3. Kresnik (1886)
4. Wundt (1953)
5. Kürsteiner (1917)
6. Hoffmann (1952, 1970, 1971)
7. Hampel (1978, 1979)
8. Hofbauer (1916) sowie das
9. SCS- Verfahren (1972)

Aus diesen Formelergebnissen wird ein plausibler Ereigniswert vorwiegend unter Einbeziehung der Formeln nach Hampel und Wundt angeschätzt. Ein Formelblatt mit den relevanten Werten für ein beispielhaftes Einzugsgebiet, wie sie auch im Gefahrenzonenplan beigelegt wird, ist im Anhang (D) angeführt, es wurde dankenswerterweise von der Gebietsbauleitung Bludenz zu Verfügung gestellt. Die Formeln, deren Ansätze sowie ihre Brauchbarkeit für die Praxis, sind ausführlich in Hagen et al. (2007), teilweise auch in Barben et al. (2001) dargestellt.

Neben (Gelände)Informationen über das Einzugsgebiet werden in dieser Formelsammlung auch Informationen über das Niederschlagsverhalten im Einzugsgebiet bzw. der Region benötigt. Diese Daten wurden dem Hydrographischen Jahrbuch (Tabelle 15) entnommen. Diese Werte wurden, neben den Bemessungsniederschlägen verwendet.

<i>Niederschlagsmessstationen laut Hydrographisches Jahrbuch 1999 (2002)</i>							
	<i>Brand</i>	<i>Fontanella</i>	<i>Thuringen</i>	<i>Nenzinger Himmel</i>	<i>Silbertal</i>	<i>Obervermunt</i>	<i>Langen</i>
<i>Durchschnittlicher Jahres NS</i>	1568	1883	1298	1600	1442	1701	1674
<i>max. Tagesniederschlag</i>	173.9	159.4	193.7	184.8	122.2	118	120.2

Tabelle 15: Durchschnittlicher Jahresniederschlag und maximaler Tagesniederschlag der im Hydrographischen Jahrbuch veröffentlichten Stationen

4. Ergebnisse

a. Gebietsniederschläge

i. Extremwertstatistik Niederschlag

Die statistische Analyse mittels Gumbel – Typ I. Verteilung ergab die in Tabelle 16 abgebildeten Werte. Die Station *Nenzinger Himmel* wird nur der Vollständigkeit halber angeführt. Die Länge der Messjahre ist für eine statistische Analyse zu kurz. Der Einfluss der beiden „Extremereignisse“ (in den Jahren 1999 und 2005) auf die Statistik sind jedoch gut zu erkennen. In der kurzen Reihe werden die extremen Ereignisse überproportional gewichtet, womit die hohen Werte zu erklären sind.

Tagesniederschläge		Jährlichkeiten nach Gumbel in [mm]								
Max- 24 h Niederschläge	Messjahre	2	5	10	30	50	100	150	200	300
Brand	105	62	81.2	93.9	113.1	121.8	133.6	140.5	145.4	152.3
Nenzinger Himmel	9	87	134.2	165.5	212.7	234.3	263.3	280.3	292.3	309.2
Thüringen	99	58.2	80.6	95.5	118	128.3	142.1	150.2	155.9	164
Tschagguns	86	52.3	71.1	83.6	102.3	110.9	122.5	129.2	134	140.8
Innerlaterns	104	69.3	102.4	124.2	157.3	172.4	192.8	204.7	213.1	224.9
Vermunt	21	56.1	72.1	82.7	98.7	106	115.9	121.7	125.7	131.5

Tabelle 16: Jährlichkeiten der 24 Stunden Niederschläge der verwendeten Reihen

Tagesniederschläge [24h]	Brand	Nenzinger Himmel	Thüringen	Tschagguns	Innerlaterns	Vermunt	
Mittelwert	65.59	95.81	62.34	55.82	75.43	59.04	[mm/Tag]
Standardabweichung	21.69	53.41	25.44	21.26	37.42	18.13	[mm/Tag]
Anzahl	105	9	99	86	104	21	[Jahre]

Tabelle 17: Mittelwert, Standardabweichung und Anzahl der Messjahre der verwendeten Niederschlagsreihen

ii. Bemessungsniederschläge

Die die Bemessungsniederschläge aus den Tabellen des Hydrographischen Dienstes werden in nachstehender Tabelle 18 dargestellt. Bemessungsniederschläge red. sind die Flächenabgeminderten und gewichteten (ÖKOSTRA- MAXMODN) „Kalkulationswerte“. MAXMODN- red sind die Flächenabgeminderten Modell- Werte. 30 und 100 sind die Wiederkehrzeiträume, welche in dieser Arbeit relevant sind.

	AE [km ²]	Bemessungsniederschläge		MAXMODN		ÖKOSTRA		Dauerstufe [h]	Dauerstufe [mm]	"k"	n	Bemessungsniederschläge red.		MAXMODN-red	
		30	100	30	100	30	100					30	100	30	100
Bürs (Alvier)	59.00	185.9	226.8	241.2	297.8	130.7	155.9	24	1440	0.003	0.5	161.0	194.9	235.3	290.5
Klösterle HD (Alfenz)	57.20	188.6	188.6	207.7	243.9	114.6	133.3					140.1	163.7	202.7	238.0
Klösterle OEBB (Alfenz)	66.60	188.3	188.3	203.3	243.6	114.3	133					138.6	163.2	198.0	237.3
Klösterle Sum. (Alfenz)	66.60	188.3	188.3	203.3	243.6	114.3	133					138.6	163.2	198.0	237.3
Garsella (Lutz)	95.50	245.4	245.4	262.6	318.3	147.2	172.6					178.3	212.0	254.4	308.4
Schruns (Litz)	99.10	182.3	182.3	195	233.3	112.3	131.3					134.5	158.7	188.8	225.9
Silvretta (III)	18.90	159.7	159.7	171.4	205.9	97.2	113.5					118.0	139.5	169.0	203.0
Vermunt (III)	16.60	159.7	159.7	171.4	205.9	97.2	113.5					118.1	139.5	169.2	203.2
Partenen (III)	21.60	159.7	159.7	171.4	205.9	97.2	113.5					118.0	139.4	168.8	202.8

Tabelle 18: Die verwendeten Bemessungsniederschläge für die Einzugsgebiete (Bemessungsniederschläge red)

b. Abflusspenden

i. Extremwertstatistik Abfluss

Extremwertstatistische Auswertung kurzer Reihen, birgt ein großes Maß an Unsicherheit. Eines der speziell hydrologischen Probleme wird von Merz et al. (2006b,c) beschrieben so schreibt er: „...Das Hochwasserverhalten in Gebieten ist ein zeitlich dynamischer Prozess. Außerordentlich große Ereignisse treten vielfach in Cluster von einigen wenigen Extrem- Jahren auf und dann für lange Zeit nicht mehr. ...“. Auch andere Autoren haben ein solches Phänomen beobachtet (z. B: Scheiber, 1970). Eine kleine Auflistung ist in Gutknecht, (2007b) zu finden.

Der untersuchte (relativ kurze) Zeitraum der Pegelwerte mit 15 Minuten Messintervallen, scheint aufgrund der Extremereignisse von 1999 (Pfungsthochwässer) sowie den Ereignissen von 2005 in ein solches Cluster zu fallen. Dies kann zu einer statistischen Überschätzung führen. Verdeutlicht wird dies durch die Auswertung der Alfenz (Pegel Klösterle HD, Klösterle OEBB). Der Pegel Klösterle OEBB erfasst in seiner kurzen Reihe eben diese Extremereignisse, während der aufgelassene Pegel Klösterle HD diese nicht mehr „erwischt“. Die Folgen sind sehr unterschiedliche Ergebnisse für ein und dass selbe Einzugsgebiet. Die Pegel liegen nur unwesentlich auseinander, zwischen dem „alten“ Pegel und dem „neuen“ Pegel münden keine Zubringer in die Alfenz. Die Ergebnisse des Zusammengefassten Pegels „Klösterle Sum.“ stellt den Einfluss dieser Ausreißer auf die Kurzen Reihen dar.

Gumbel- Verteilung aller beobachteten maximaler jährlicher Scheitelwerte										
l/s/km² Gumbel - Jährlichkeiten	Jährlichkeit	Brand_Alvier	Klösterle HD	Klösterle OEGB	Klösterle sum	Lutz-garsella	Litz	Silveretta	Vermunt	Partenen
	2	357	309	383	326	528	341	765	401	622
	5	515	363	632	474	746	515	1157	534	972
	10	619	399	797	571	891	631	1417	622	1203
	25	752	444	1006	695	1073	776	1746	733	1496
	30	778	453	1047	719	1109	805	1810	755	1553
	50	850	477	1161	787	1209	885	1989	816	1713
	100	947	511	1314	878	1343	992	2231	898	1928
	150	1004	530	1404	931	1422	1055	2372	946	2053
	200	1044	544	1467	968	1477	1099	2472	980	2142

Tabelle 19: Jährlichkeit der jährlichen maximal beobachteten Scheitelwerte nach Gumbel

	Brand- Alvier	Klösterle HD	Klösterle OEGB	Klösterle Sum	Lutz- Garsella	Litz	Silveretta	Vermunt	Partenen
Mittelwert	385.91	319.32	428.93	353.34	568.15	373.36	837.81	425.36	687.37
Standardabweichung	178.95	61.02	282.25	167.19	247.10	197.21	444.24	150.75	395.48
Anzahl	16.00	20.00	9.00	29.00	29.00	13.00	13.00	11.00	21.00

Tabelle 20: Mittelwert, Standardabweichung und Länge der Messreihe der beobachteten Scheitelwerte

Gumbel- Verteilung aller beobachteten maximaler jährlicher Scheitelwerte unter Ausschluß der Ausreißer										
l/s/km² Gumbel - Jährlichkeiten	Jährlichkeit	Brand_Alvier	Klösterle HD	Klösterle OEGB	Klösterle sum	Lutz-garsella	Litz	Silveretta	Vermunt	Partenen
	2	314	309	323	312	516	309	695	374	606
	5	411	363	454	394	639	397	961	465	872
	25	555	444	651	516	823	528	1359	602	1269
	30	571	453	672	529	844	543	1403	617	1313
	50	615	477	732	566	900	583	1524	658	1434
	100	675	511	813	616	975	637	1688	714	1597
	150	709	530	860	646	1020	668	1784	747	1693
	200	734	544	894	666	1051	691	1852	770	1760

Tabelle 21: Jährlichkeit der jährlichen maximal beobachteten Scheitelwerte unter Ausschluss der Ausreißer

	Brand- Alvier	Klösterle HD	Klösterle OEBB	Klösterle Sum	Lutz- Garsella	Litz	Silveretta	Vermunt	Partenen
Mittelwert	332.32	319.32	347.03	327.24	538.88	325.43	744.05	390.78	655.65
Standardabweichung	109.14	61.02	148.54	92.21	139.20	99.23	301.01	103.16	300.26
Anzahl	14.00	20.00	8.00	28.00	28.00	12.00	12.00	10.00	20.00

Tabelle 22: Mittelwert, Standardabweichung und Länge der Messreihe der beobachteten Scheitelwerte unter Ausschluss der Ausreißer

ii. Koaxialdiagramm

Bei der Erstellung der Koaxialdiagramme wurden bei allen Einzugsgebieten (für Klösterle (Alfenz)) wurde auch noch ein Koaxialdiagramm für alle Werte beider Pegel (HD und OEBB) ausgearbeitet charakteristische Ereignisse ausgezeigt und für die weitere Bearbeitung verwendet. Diese Ereignisse sind in Anhang A ersichtlich. Anschließend wurden je Einzugsgebiet je drei Koaxialdiagramme optimiert (alle Parameter werden optimiert; nur Parameter D wird optimiert; alle außer Parameter A werden optimiert). Diese ausgearbeiteten Koaxialdiagramme, bei dem alle Parameter optimiert wurden, sind in Anhang B dargestellt.

Festzuhalten ist, dass die Koaxialdiagramme für die untersuchten Einzugsgebiete mit den untersuchten Ereignissen nur bei den (größeren) Einzugsgebieten (Bürs (Alvier), Klösterle (Alfenz) und Schruns (Litz)) einigermaßen brauchbare Ergebnisse liefern. Bei der Wahl der Ereignisse muss festgehalten werden, dass die Daten der Niederschlagsmessstellen Großteils zu geringe Niederschläge ausgewiesen haben. Das heißt es war nicht bei jedem Hochwasserereignis ein Rückhalt zu beobachten bzw. bei den „großen“ Ereignissen lief mehr Wasser ab als es nach Abschätzung des Verfahrens geregnet hätte. Die lokalen Schauerzellen können bei der angewandten Methodik nicht berücksichtigt werden. Systematisch dafür ist, dass die größeren Einzugsgebiete bei längeren Regenereignissen moderater Stärke die brauchbarsten Ergebnisse lieferten.

Um den Abfluss zu bestimmen, müssen die Aussagen der Koaxialdiagramme (Rückhaltschätzung), umgerechnet werden. Die Werte für den 30, 100 und 150 jährlichen Abfluss entstehen unter der Annahme, dass ein Niederschlag mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren auch ein Abflussereignis derselben Wiederkehrwahrscheinlichkeit hervorruft (auch wenn das nicht (immer) zutrifft - siehe Methodik- Gradex Verfahren). Der Tabelle 23 liegen die Niederschlagswerte aus der statistischen Analyse der 24 Stunden- Werte zu Grunde. Die Ermittlung dieser Werte erfolgt im Programm Psikoax. Dieses Programm ist Teil des Programmpaketes IHW. (Randbedingungen: qb: 70-100; Monat: 7; Dauer: 24).

Nr	Pegel	A [km ²]	Koax Q30 (NS- nach Gumbel)	Koax Q100 (NS- nach Gumbel)	KOAX- Q 150 (NS- nach Gumbel)	l/s/km ²
1	Bürs (Alvier)	59	991	1218	1304	
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	785	988	1061	
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	938	1170	1248	
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	626	1044	1116	
4	Garsella (Lutz)	95.5	726	1326	1425	
5	Schruns (Litz)	99.1	785	948	1019	
6	Silvretta (III)	18.9	1084	1292	1359	
7	Vermunt (III)	16.6	895	1255	1322	
8	Partenen (III)	21.6	778	1267	1334	

Tabelle 23: Ergebnisse (Abfluss) der Koaxialdiagramme für den statistischen 30, 100 und 150 jährlichen Niederschlag.

Abflussbeiwerte laut Koaxialdiagramm (tot. Optimierung)							
Nr	Pegel	A [km ²]	Abflussbeiwert 30	Abflussbeiwert 100	Abflussbeiwert 150	CN- optimiert	CN- Wert aus DKM
1	Bürs (Alvier)	59	0.757	0.788	0.802	90.9	80.6
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	0.663	0.697	0.71	90.7	83.66
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	0.792	0.825	0.834	94.1	82.05
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	0.529	0.736	0.747	91.9	82.05
4	Garsella (Lutz)	95.5	0.554	0.841	0.855	91.8	78.93
5	Schruns (Litz)	99.1	0.662	0.669	0.681	89.1	77.81
6	Silvretta (III)	18.9	0.995	0.963	0.965	98.7	98.49
7	Vermunt (III)	16.6	0.783	0.935	0.938	95.7	96.04
8	Partenen (III)	21.6	0.691	0.945	0.947	97.3	89.54

Tabelle 24: Die Abflussbeiwerte der Einzugsgebiete bei den erstellten Koaxialdiagrammen für die statistischen 30, 100 und 150 jährlichen Niederschlag

iii. SCS- Methode

Die Bestimmung des CN- Wertes erfolgte mit Hilfe der VOGIS- Daten, die Flächeneinteilung in der Digitalen Katastermappe (DKM) wurde übernommen und mit regionalen Ortskenntnissen auf Ihre Plausibilität verglichen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 mit den Flächen und dazugehörigen CN- Werten ersichtlich. Ein rein visueller Vergleich mit dem von Merz (2006) österreichweit ermittelten CN- Werten (Abbildung 16) verdeutlichen die Plausibilität der ermittelten Werte bei diesem Vorgehen.

<u>Einzugsgebiete</u> <i>(bis zu den Pegel)</i>	<u>Baufläche</u>	<u>Landwirtschaft</u>	<u>Wald</u>	<u>Gärten</u>	<u>Gewässer</u>	<u>Strassenanlagen</u>	<u>Alpen</u>	<u>Sonstiges</u>	<u>km²</u>
Alvier	0.19	3.15	20.21	0.10	0.19	0.29	12.30	22.59	59.00
CN(II)	100	76	60	73	100	100	79	100	80.60
Silvretta	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.03	16.87	18.90
CN(II)							86	100	98.49
Vermunt	0.00	0.00	0.20	0.00	0.10	0.20	4.37	11.73	16.60
CN(II)			77		100	100	86	100	96.04
Litz	0.48	7.99	32.91	0.00	0.48	0.38	32.91	23.96	99.10
CN(II)	100	76	60	73	100	100	79	100	77.81
Klösterle HD	0.11	0.86	12.58	0.00	0.32	0.43	19.57	23.33	57.20
CN(II)	100	76	60	73	100	100	79	100	83.66
Klösterle OEBB	0.21	1.61	17.19	0.00	0.11	0.54	22.34	24.60	66.60
CN(II)	100	76	60	73	100	100	79	100	82.05
Lutz	0.20	6.93	24.57	0.00	0.59	0.40	41.11	21.70	95.50
CN(II)	100	76	60	73	100	100	79	100	78.93
Partenen	0.09	0.54	5.00	0.00	0.18	0.09	7.32	8.39	21.60
CN(II)	100	84	77		100	100	86	100	89.54

Tabelle 25: Flächenverteilung der Einzugsgebiete in km² laut DKM (VOGIS, 2005) und deren CN- Werte

Pegel	CN- Wert aus DKM	CN- Wert optimiert
Bürs (Alvier)	80.60	90.9
Klösterle HD (Alfenz)	83.66	90.7
Klösterle OEBB (Alfenz)	82.05	94.1
Klösterle Sum. (Alfenz)	82.05	91.9
Garsella (Lutz)	78.93	91.8
Schruns (Litz)	77.81	89.1
Partenen (III)	89.54	95.7
Silvretta (III)	98.49	98.7
Vermunt (III)	96.04	97.3

Tabelle 26: Vergleich der ermittelten CN- Werte und der aus den Ereignissen optimierten Werte

Die optimierten CN- Werte sind die Ergebnisse einer kollektiven Optimierung. Darunter kann man eine Optimierung aller jeweiligen Ereignisse des Einzugsgebietes verstehen. Eine Anpassung erfolgt im Bezug auf den beobachteten Rückhalt (Anhang A). Die Werte sind zum Teil wesentlich höher als die errechneten Werte aus der DKM, sie liegen auch höher als die Untersuchungsergebnisse von Merz (2006a) (Abbildung 16). Nachstehend wurde mit beiden CN- Wertepaaren gerechnet.

Die Ergebnisse der mit dem SCS- Verfahren errechneten Abflusspenden sind in Tabelle 27 und Tabelle 28 ersichtlich. Die Niederschläge wurden der Niederschlagstatistik und den Tabellen der Bemessungsniederschläge entnommen. In Tabelle 30 und Tabelle 31 sind die Ergebnisse des

Spitzenabfluss nach Jährlichkeit (Formel 10) dargestellt. Hier wurden ebenfalls die Niederschlagswerte aus der Extremwertstatistik und der Starkniederschlagsauswertung verwendet.

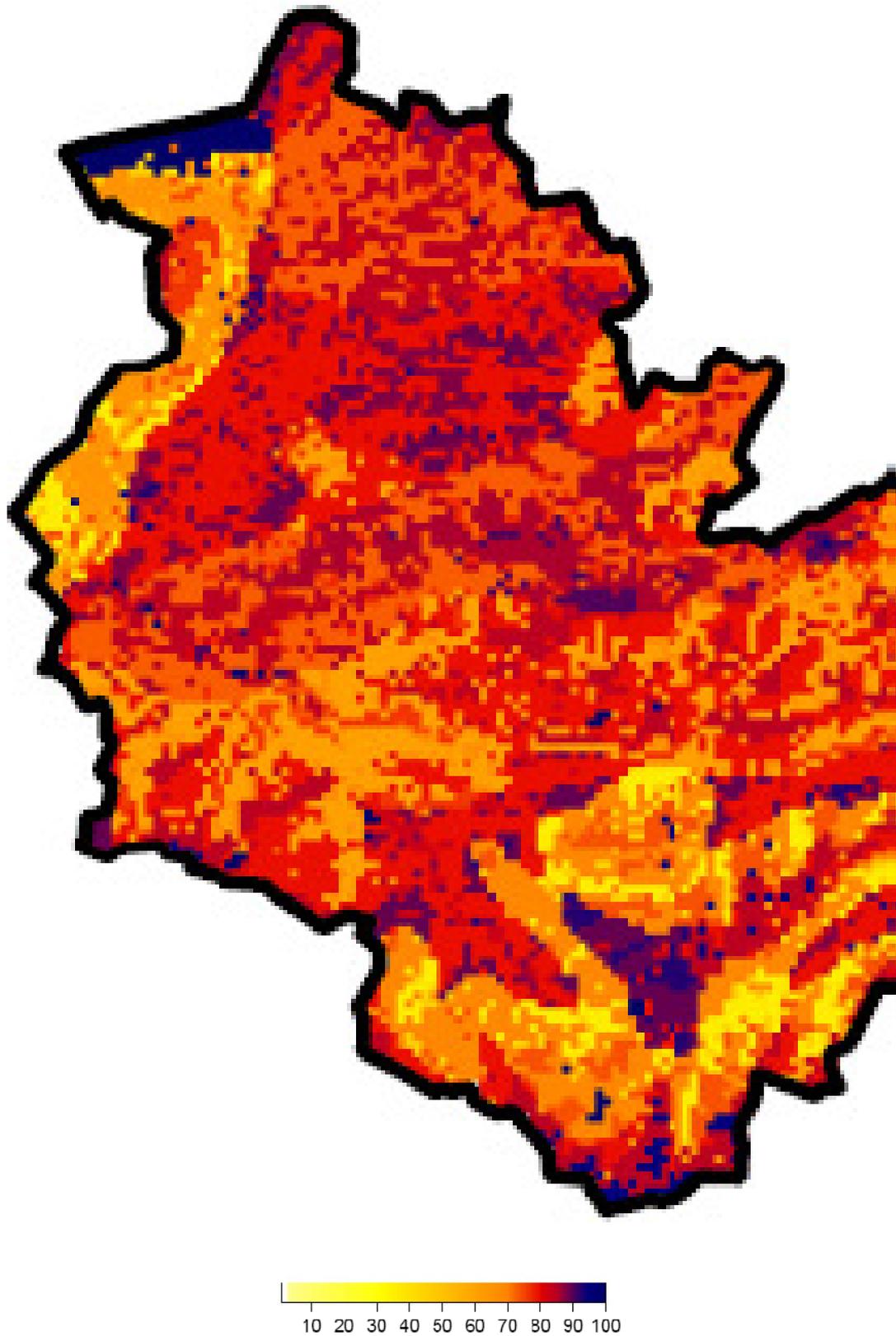


Abbildung 16: In Merz (2006a) ermittelten CN- Werte für Vorarlberg (Karte verändert, nur Vorarlberg dargestellt und vergrößert).

Nr.	Pegel	A [km ²]	CN- optimiert	Q 30 SCS (NS nach Gumbel)	Q100 SCS (NS nach Gumbel)	Q 150 SCS (NS nach Gumbel)	Q 30 SCS (Bemessungsniederschlag D= 24 h)	Q 100 SCS (Bemessungsniederschlag D= 24 h)	l/s/km ²
1	Bürs (Alvier)	59	90.90	1055	1285	1363	1595	2346	
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	90.70	929	1155	1230	1353	1900	
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	94.10	1015	1246	1322	1429	2000	
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	91.90	1015	1246	1322	1368	1935	
4	Garsella (Lutz)	95.5	91.80	1578	1984	2120	1818	2587	
5	Schruns (Litz)	99.1	89.10	891	1114	1188	1247	1785	
6	Silveretta (III)	18.9	98.70	1103	1302	1369	1326	1809	
7	Vermunt (III)	16.6	97.30	1062	1260	1327	1285	1766	
8	Partenen (III)	21.6	95.70	1017	1215	1281	1238	1719	

Tabelle 27: Ergebnisse des SCS- Modelles- CN Werte sind aus den untersuchten Ereignissen optimiert

Nr.	Pegel	A [km ²]	CN- ermittelt	Q 30 SCS (NS nach Gumbel)	Q100 SCS (NS nach Gumbel)	Q 150 SCS (NS nach Gumbel)	Q 30 SCS (Bemessungsniederschlag D= 24 h)	Q 100 SCS (Bemessungsniederschlag D= 24 h)	l/s/km ²
1	Bürs (Alvier)	59	80.60	819	1029	1101	1318	1684	
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	83.66	772	983	1054	1171	1426	
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	82.05	739	946	1016	1115	1379	
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	82.05	739	946	1016	1115	1379	
4	Garsella (Lutz)	95.5	78.93	1236	1614	1743	1459	1822	
5	Schruns (Litz)	99.1	77.81	659	855	922	975	1224	
6	Silveretta (III)	18.9	89.54	1097	1296	1363	1320	1568	
7	Vermunt (III)	16.6	98.49	1027	1224	1291	1249	1496	
8	Partenen (III)	21.6	96.04	862	1051	1116	1075	1314	

Tabelle 28: Ergebnisse des SCS- Modelles- CN Werte sind aus den Daten des DKMs ermittelt

Pegel	tc nach Krepis [h]
Bürs (Alvier)	4.40
Silveretta (III)	2.73
Vermunt (III)	2.59
Tschagguns (Litz)	5.45
Klösterle HD (Alfenz)	4.34
Klösterle OEBO (Alfenz)	4.62
Garsella (Lutz)	5.36
Partenen (III)	2.89

Tabelle 29: Die mit der Formel nach Krepis ermittelten Konzentrationszeiten.

Nr.	Pegel	A [km ²]	CN- ermittelt	Q30 SCS- Spitzenabfluss; Bemessungsniederschlag [24h] - tc nach Krepis	Q100 SCS- Spitzenabfluss; Bemessungsniederschlag [24h] - tc nach Krepis	Q30 SCS- Spitzenabfluss; NS nach Gumbel 24h- tc nach Krepis	Q100 SCS- Spitzenabfluss; NS nach Gumbel 24h- tc nach Krepis	Q150 SCS- Spitzenabfluss; NS nach Gumbel 24h- tc nach Krepis	
1	Bürs (Alvier)	59	80.60	1208	1543	750	943	1009	I/s/km ²
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	83.66	1074	1308	708	901	967	
3	Klösterle OEBO (Alfenz)	66.6	82.05	1017	1258	674	863	927	
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	82.05	1017	1258	674	863	927	
4	Garsella (Lutz)	95.5	78.93	1312	1639	1112	1452	1568	
5	Schruns (Litz)	99.1	77.81	876	1099	592	768	828	
6	Silveretta (III)	18.9	89.54	1249	1484	1038	1226	1289	
7	Vermunt (III)	16.6	98.49	1185	1419	974	1162	1225	
8	Partenen (III)	21.6	96.04	1013	1239	813	992	1052	

Tabelle 30: Ergebnisse der Spitzenabflussformel nach Jährlichkeit, SCS- Verfahren; CN- Werte aus DKM.

Nr.	Pegel	A [km ²]	CN- optimiert	Q30 SCS- Spitzenabfluss; Bemessungsniederschlag [24h] - tc nach Krepis	Q100 SCS- Spitzenabfluss; Bemessungsniederschlag [24h] - tc nach Krepis	Q30 SCS- Spitzenabfluss; Bemessungsniederschlag [24h] - tc nach Krepis	Q100 SCS- Spitzenabfluss; NS nach Gumbel 24h- tc nach Krepis	Q150 SCS- Spitzenabfluss; NS nach Gumbel 24h- tc nach Krepis	
1	Bürs (Alvier)	59	90.90	1461	1815	966	1177	1248	I/s/km ²
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	90.70	1241	1485	852	1059	1128	
3	Klösterle OEBO (Alfenz)	66.6	94.10	1304	1562	926	1136	1206	
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	91.90	1304	1562	926	1136	1206	
4	Garsella (Lutz)	95.5	91.80	1635	1982	1420	1784	1907	
5	Schruns (Litz)	99.1	89.10	1120	1364	800	1000	1067	
6	Silveretta (III)	18.9	98.70	1255	1490	1044	1232	1295	
7	Vermunt (III)	16.6	97.30	1220	1455	1008	1196	1259	
8	Partenen (III)	21.6	95.70	1168	1400	960	1146	1208	

Tabelle 31: Ergebnisse der Spitzenabflussformel nach Jährlichkeit, SCS- Verfahren; CN- Wert aus Optimierung

iv. Gradex- Verfahren

Die Ergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen aufgelistet.

Die Konzentrationszeit (nach der Formel von Blöschl) ist für die Errechnung des r- Wertes notwendig (Tabelle 32).

Pegel	tc nach Blöschl [h]
Bürs (Alvier)	8.33
Klösterle HD (Alfenz)	8.24
Klösterle OEBO (Alfenz)	8.69
Klösterle Sum. (Alfenz)	8.69
Garsella (Lutz)	9.86
Schruns (Litz)	9.99
Silveretta (III)	5.59
Vermunt (III)	5.35
Partenen (III)	5.86

Tabelle 32: Die errechneten Konzentrationszeiten nach der Formel von Blöschl

Die mit Formel 17 (alle t_c sind $<H/2$ (halbe Regendauer)) für ein Niederschlagsereignis mit der Dauer [24 h] errechneten r-Werte sind in Tabelle 33 ersichtlich. Neben diesem Wert ist hier auch noch der aus den Ereignissen ermittelte r-Wert dargestellt (Mittelwert aus den untersuchten Ereignissen je Einzugsgebiet, Anhang A). Die Unterschiede der unterschiedlich ermittelten r- Werte ist zum Teil beträchtlich, interessanter weise sind die pauschal- errechneten r- Werte bei den kleinen Einzugsgebieten höher als die Ermittelten, ganz im Gegenteil zu den größeren Einzugsgebieten. Tabelle 34 stellt die angeschätzten Flächenabminderungsfaktoren dar.

Pegel	r- Werte	
	ermittelt	gerechnet
Bürs (Alvier)	4.70	1.86
Klösterle HD (Alfenz)	3.44	1.88
Klösterle OEBO (Alfenz)	2.97	1.79
Klösterle Sum. (Alfenz)	3.21	1.79
Garsella (Lutz)	4.22	1.59
Schruns (Litz)	2.56	1.57
Silveretta (III)	2.03	2.73
Vermunt (III)	1.76	2.85
Partenen (III)	2.28	2.60

Tabelle 33: Ermittelten und gerechnete r- Werte der Einzugsgebiete [gerechnet: H= 24 h]

Einzugsgebiete	ARF
Bürs (Alvier)	0.8
Klösterle HD (Alfenz)	0.8
Klösterle OEBO (Alfenz)	0.8
Klösterle Sum. (Alfenz)	0.8
Garsella (Lutz)	0.75
Schruns (Litz)	0.75
Silveretta (III)	1
Vermunt (III)	1
Partenen (III)	1

Tabelle 34: Tabelle der verwendeten Flächenabminderungsfaktoren (ARF)

		transformierter Niederschlag [l/s/km ²]								
Jährlichkeit	yN	Brand für Alvier	Tschagguns für Litz	Tschagguns für Klösterle HD	Tschagguns für Klösterle OEBB und Summe	Innerlaterns-Tschagguns für Lutz	NS-Vermunt für Silveretta	NS-Vermunt für Partenen	NS-Vermunt für Vermunt	
2	0.4	717.6	605.3	605.3	605.3	643.9	649.3	649.3	649.3	
5	1.5	939.8	822.9	822.9	822.9	894.0	834.5	834.5	834.5	
10	2.3	1086.8	967.6	967.6	967.6	1059.8	957.2	957.2	957.2	
20	3.0	1228.0	1105.3	1105.3	1105.3	1218.2	1067.1	1067.1	1067.1	
30	3.4	1309.0	1184.0	1184.0	1184.0	1309.0	1142.4	1142.4	1142.4	
50	3.9	1409.7	1283.6	1283.6	1283.6	1423.3	1226.9	1226.9	1226.9	
100	4.6	1546.3	1417.8	1417.8	1417.8	1577.5	1341.4	1341.4	1341.4	
150	5.0	1626.2	1495.4	1495.4	1495.4	1666.9	1408.6	1408.6	1408.6	
200	5.3	1682.9	1550.9	1550.9	1550.9	1730.6	1454.9	1454.9	1454.9	
300	5.7	1762.7	1629.6	1629.6	1629.6	1820.7	1522.0	1522.0	1522.0	

Tabelle 35: transformierter Niederschlag bezogen auf die Einzugsgebiete und Jährlichkeiten des Tagesniederschlages [24 h]

Abfluss Gradex [l/s/km ²] r- werte gerechnet										
Jahre	Yq	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle Sum. (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schruns (Litz)	Silveretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
2	0.4	288	289	265	265	441	266	589	355	473
5	1.5	296	297	273	272	445	271	615	386	495
10	2.3	301	302	279	276	448	274	633	406	509
20	3.0	622	457	782	562	830	606	1355	705	1129
30	3.4	674	508	831	611	878	647	1435	789	1206
50	3.9	740	573	893	672	937	697	1535	894	1302
100	4.6	828	661	976	756	1016	766	1671	1035	1431
150	5.0	879	712	1024	804	1063	806	1749	1118	1506
200	5.3	916	748	1058	838	1096	834	1805	1176	1560
300	5.7	967	799	1107	887	1142	874	1884	1258	1635

Tabelle 36: Ergebnisse des Gradex- Verfahrens, r-Werte wurden errechnet

Abfluss Gradex [l/s/km²] r- Werte ermittelt										
Jahre	Yq	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle Sum. (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schrums (Litz)	Silvretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
2	0.4	288	289	265	265	441	266	589	355	473
5	1.5	296	297	273	272	445	271	615	386	495
10	2.3	301	302	279	276	448	274	633	406	509
20	3.0	765	532	838	630	966	650	1319	650	1113
30	3.4	899	627	920	718	1092	716	1379	702	1180
50	3.9	1068	745	1023	829	1249	799	1453	766	1264
100	4.6	1295	906	1161	979	1460	911	1554	854	1377
150	5.0	1427	999	1241	1066	1583	976	1612	905	1443
200	5.3	1521	1065	1298	1127	1671	1022	1654	941	1490
300	5.7	1653	1158	1379	1214	1794	1086	1712	992	1556

Tabelle 37: Ergebnisse des Gradex- Verfahrens, r- Werte ermittelt

Abfluss Gradex [l/s/km²], r- Wert ermittelt, "gradex"- Wert als Mittel aus beob. Ereignissen										
Jahre	Yq	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle Sum. (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schrums (Litz)	Silvretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
2	0.4	288	289	265	265	441	266	589	355	473
5	1.5	296	297	273	272	445	271	615	386	495
10	2.3	301	302	279	276	448	274	633	406	509
20	3.0	1150	899	1058	886	1146	871	1561	916	1195
30	3.4	1505	1206	1267	1121	1375	1063	1759	1121	1310
50	3.9	1950	1589	1527	1416	1661	1304	2007	1378	1453
100	4.6	2550	2105	1878	1814	2047	1629	2342	1724	1646
150	5.0	2900	2407	2083	2046	2272	1819	2537	1926	1759
200	5.3	3148	2620	2228	2210	2431	1953	2675	2069	1839
300	5.7	3498	2921	2433	2441	2656	2142	2870	2270	1951

Tabelle 38: Ergebnisse des Gradex- Verfahrens, r- Werte ermittelt, gradex- Wert als Mittel aus den beobachteten Ereignissen

Die drei Ergebnistabellen des GRADEX- Verfahrens unterscheiden sich hinsichtlich des Parameters r (Tabelle 36= r - Wert errechnet; Tabelle 37 und Tabelle 38= r - Werte ermittelt) und dem „gradex“-Wert, dem Gumbelparameter des transformierten Niederschlages. Der r - Wert ist die Verhältniszahl von Spitzenabfluss und dem mittleren Hochwasserabfluss. Zur Ermittlung des r -Wertes wurden dieselben Ereignisse wie zur Erstellung des Koaxialdiagrammes herangezogen. Die Ergebnisse aus dem Gradex- Verfahren mit ermittelten r -Werten scheinen „bessere“ Ergebnisse zu liefern als das Gradex- Verfahren mit pauschal gerechneten r -Werten. Tabelle 38 liefert überproportional hohe Werte, die zum Teil sogar über den Hüllkurvenwerten von Wundt liegen und deshalb auch als zu hoch angesehen werden. Die Grundlage der Tabelle 38 sind die aus den Ereignissen ermittelte „ r “- und „gradex“-Werten (Mittelwerte der Einzugsgebiete). Die Werte in Die Ergebnisse des Gradex-Verfahrens sind in graphischer Form im Anhang C dargestellt.

v. Ergebnisse der Hüllkurvenverfahren

Nachstehend (Tabelle 39, Tabelle 40 und Tabelle 41) werden die Ergebnisse des GIUB-Verfahrens, des „Talsperrensicherheit“-Verfahrens sowie die Werte nach Wundt 90% für die jeweiligen Einzugsgebiete dargestellt. In Tabelle 39 und Tabelle 40 ist die Abflussregion (N1) die am besten „passt“ gelb hervorgehoben. Abbildung 17 stellt die höchsten beobachteten Scheitelwerte der untersuchten Reihen in Bezug zur Wundt- Hüllkurve dar. Die Ereignisse 1999 und 2005 sind separat dargestellt. „1“ und „2“ sind weitere beobachtete hohe Abflüsse, die Werte mit Jährlichkeiten beruhen auf den Werten der statistischen Auswertung nach Gumbel (Reihen mit „Ausreißer“).

GIUB- Verfahren		m ³ /s				l/s/km ²				
Nr	Pegel	A [km ²]	HHQ 50% m ³ /s	M3 GIUB-HQ 100	N1 GIUB- HQ 100	A5 GIUB- HQ 100	[3]	[4]	[5]	[6]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Bürs (Alvier)	59	72.38	43.66	82.92	26.55	1226.8	740.1	1405.3	450.0
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	71.12	42.85	81.39	25.88	1243.4	749.1	1422.9	452.4
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	77.52	47.01	89.17	29.36	1164.0	705.9	1338.9	440.8
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	77.52	47.01	89.17	29.36	1164.0	705.9	1338.9	440.8
4	Garsella (Lutz)	95.5	95.06	58.57	110.69	39.60	995.4	613.3	1159.1	414.6
5	Schruns (Litz)	99.1	97.08	59.91	113.18	40.83	979.6	604.6	1142.1	412.0
6	Silvretta (III)	18.9	38.00	21.80	41.88	10.32	2010.7	1153.7	2215.8	546.1
7	Vermunt (III)	16.6	35.31	20.15	38.74	9.27	2127.2	1213.6	2333.9	558.2
8	Partenen (III)	21.6	40.99	23.66	45.37	11.53	1897.5	1095.1	2100.6	533.8

Tabelle 39: Ergebnisse des GIUB- Verfahrens, das gelb hinterlegte Gebiet (N1) ist das am ehesten zutreffende (siehe Karte); HHQ 50% - soll in etwa einem 50- 100 Ereignis entsprechen.

Nr	GIUB- Verfahren		m³/s			l/s/km²		
	Pegel	A [km²]	M3_ Giub Q90 100	N1 Giub Q90 100	A5 GIUB Q90 100	[11]	[12]	[13]
0	1	2	11	12	13	14	15	16
1	Bürs (Alvier)	59	57.6	152.2	37.2	976.6	2579.7	630.0
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	56.5	149.4	36.2	988.4	2611.9	633.3
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	62.0	163.7	41.1	931.5	2457.7	617.1
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	62.0	163.7	41.1	931.5	2457.7	617.1
4	Garsella (Lutz)	95.5	77.3	203.2	55.4	809.3	2127.7	580.5
5	Schruns (Litz)	99.1	79.1	207.8	57.2	797.7	2096.5	576.8
6	Silvretta (III)	18.9	28.8	76.9	14.4	1522.4	4067.5	764.5
7	Vermunt (III)	16.6	26.6	71.1	13.0	1601.4	4284.2	781.5
8	Partenen (III)	21.6	31.2	83.3	16.1	1445.1	3856.0	747.3

Tabelle 40: Ergebnisse des GIUB- Verfahrens, Q90% entspricht der Hüllkurve ähnlich Wundt.

Nr	Talsperrensicherheit							Wundt 90%	
	Pegel	A [km²]	c- Werte	HQ * (HQ 5000) m³/s	HQ * (HQ 5000) l/s/km²	[4]/3.7 (HQ 100) in m³/s	[6] in l/s/km²	m³/s	l/s/km²
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Bürs (Alvier)	59	16	184.77	3131.69	49.94	846.40	159.4	2701.1
2	Klösterle HD (Alfenz)	57.2	19	215.37	3765.26	58.21	1017.64	156.4	2734.8
3	Klösterle OEGB (Alfenz)	66.6	19	235.96	3542.94	63.77	957.55	171.4	2573.3
--	Klösterle- Sum. (Alfenz)	66.6	19	235.96	3542.94	63.77	957.55	171.4	2573.3
4	Garsella (Lutz)	95.5	27	416.26	4358.75	112.50	1178.04	212.8	2227.8
5	Schruns (Litz)	99.1	18	283.74	2863.14	76.69	773.82	217.5	2195.1
6	Silvretta (III)	18.9	17	99.16	5246.43	26.80	1417.96	80.5	4258.9
7	Vermunt (III)	16.6	17	91.73	5525.93	24.79	1493.50	74.5	4485.8
8	Partenen (III)	21.6	17	107.43	4973.56	29.03	1344.21	87.2	4037.4

Tabelle 41: Ergebnisse des "Talsperrensicherheit"- Verfahrens- HQ5000 soll das 3,7fache eines zu erwartenden HQ 100 sein.

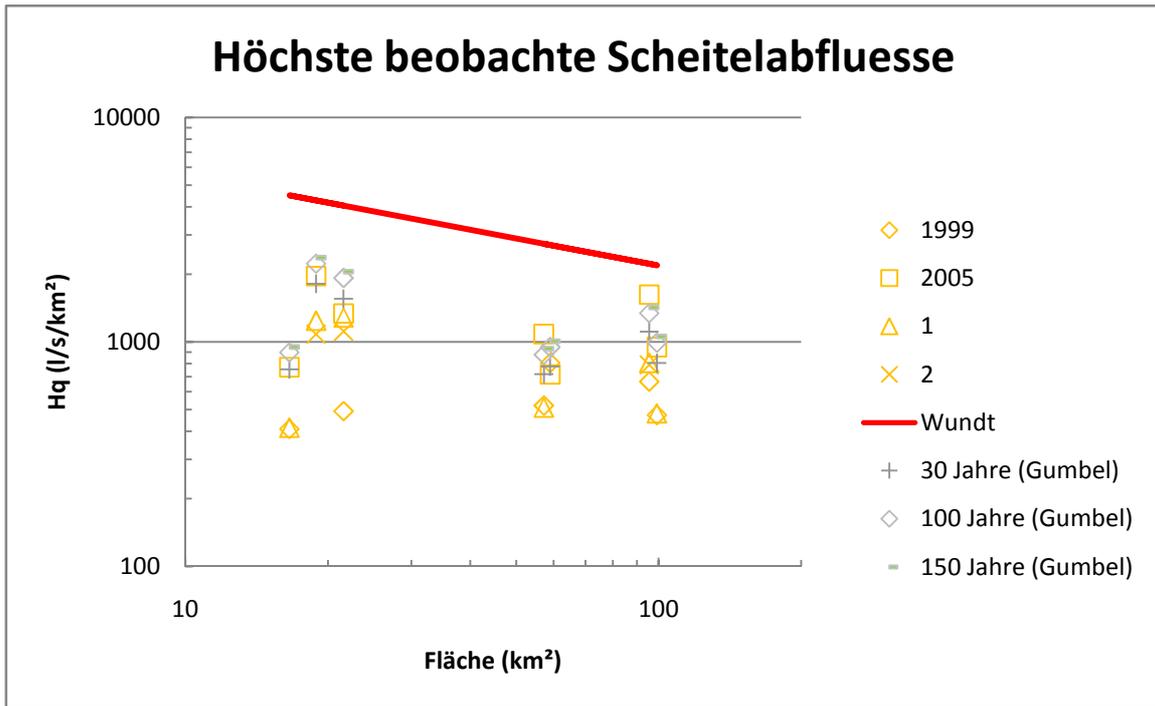


Abbildung 17: Höchste beobachtete Scheitelabflüsse der Reihen (orange) mit der Wundt(hüll)kurve und den statistischen Jährlichkeiten aus der statistischen Auswertung.

vi. Gebräuchliche Formelansätze in der WLV- Bludenz

Die Formelansätze wurden für alle untersuchten Einzugsgebiete durchgerechnet, auch wenn manche Formeln für die unterschiedlichen Einzugsgebietsflächen nicht immer geeignet sind. Einen Überblick über die Ergebnisse liefert Tabelle 42.

		Alvier Buers	Kloesterle HD	Kloesterle_OEBB und Kloesterle Sum.	Lutz	Litz	Silvretta III	Vermunt III	Partenen III
1	Lauterburg	9378.9	8229.5	8149.1	10168.3	7834.5	7813.6	7476.9	6258.4
2	Hofbauer-Hampel	5510.4	4111.4	3811.4	4055.4	3005.3	6821.8	7216.7	5956.1
3	Kresnik	3177.6	3427.6	3177.6	2547.6	2463.3	5781.2	6117.6	5071.5
4	SCS-Verfahren	4182.4	4176.5	3539.0	3827.0	2291.9	5460.6	5716.3	4926.4
5	Wundt	2649.7	2815.2	2649.7	2220.4	2161.4	4277.0	4475.0	3851.6
6	Kürsteiner	2780.8	2924.8	2780.8	2399.8	2346.6	4144.2	4303.5	3797.7
7	Hoffmann	1812.4	1923.6	1812.4	1522.2	1482.2	2883.6	3009.8	2609.0
8	Hampel	3304.9	1905.4	1797.0	2189.1	1631.9	1054.4	1863.2	2811.5
9	Hofbauer	86.2	108.2	86.2	44.4	40.2	519.4	615.4	350.6
	Annahme WLV	2977.3	2360.3	2223.4	2204.8	1896.7	2665.7	3169.1	3331.5
10	Mittelwert	4099.6	3689.2	3464.6	3616.2	2902.2	4779.6	5022.4	4410.3
11	Standardabweichung zum Mittelwert (ohne Hofbauer)	2403.1	2026.5	2028.2	2781.5	2049.1	2170.3	1977.3	1362.6
-	-	1696.6	1662.8	1436.4	834.7	853.1	2609.3	3045.1	3047.7
+	+	6502.7	5715.7	5492.8	6397.8	4951.2	6949.8	6999.7	5772.9

Tabelle 42: Spezifische Abflüsse [l/s/km²] nach der empirischen Formelsammlung der WLV- Bludenz

vii. Überblick über alle Ergebnisse

Nachstehend (Tabelle 43, Tabelle 44 und Tabelle 45) sind alle Ergebnisse (Kapitel 4i bis 4v) geordnet nach den Jährlichkeiten noch einmal, zur besseren Übersicht, aufgelistet. In Tabelle 44 sind auch noch die höchsten Beobachteten Scheitelwerte in der Tabelle enthalten.

Formelansätze 30 jährlicher Niederschlag	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle- Summe (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schruns (Litz)	Silvretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
[km ²]	59	57.2	66.6	66.6	95.5	99.1	18.9	16.6	21.6
Koax Q30 (NS- nach Gumbel)	991	785	938	626	726	785	1084	895	778
SCS- Q30 (NS nach Gumbel; CN optimiert)	1055	929	1015	1015	1578	891	1103	1062	1017
SCS- Q30 (Bemessungsniederschläge D= 24h; CN optimiert)	1595	1353	1429	1368	1818	1247	1326	1285	1238
SCS- Q30- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN optimiert)	966	852	926	926	1420	800	1044	1008	960
SCS- Q30- Spitzenabfluss (Bemessungsniederschläge; CN optimiert)	1461	1241	1304	1304	1635	1120	1255	1220	1168
SCS- Q30 (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	819	772	739	739	1236	659	1097	1027	862
SCS- Q30 (Bemessungsniederschläge; CN ermittelt)	1318	1171	1115	1115	1459	975	1320	1249	1075
SCS- Q30- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	750	708	674	674	1112	592	1038	974	813
SCS- Q30- Spitzenabfluss (Bemessungsniederschläge; CN ermittelt)	1208	1074	1017	1017	1312	876	1249	1185	1013
Gradex Q30 (r- Wert gerechnet)	674	508	831	611	878	647	1435	789	1206
Gradex Q30 (r- Wert ermittelt)	899	627	920	718	1092	716	1379	702	1180
Gradex Q30 (r- Wert ermittelt, "gradex" optimiert)	1505	1206	1267	1121	1375	1063	1759	1121	1310
Gumbel Q30 (Statistik mit Ausreißer)	778	719	719	719	1109	805	1810	755	1553
Gumbel Q30 (Statistik ohne Ausreißer)	571	529	529	529	844	543	1403	617	1313
Mittelwert	1042.15	891.00	958.90	891.79	1256.62	837.03	1307.30	992.04	1106.15
Standardabweichung	327.12	275.37	256.75	269.35	317.71	207.10	243.69	214.27	217.14

Tabelle 43: Abflusspenden der verschiedenen Verfahren und Einzugsgebiete (die verwendeten Niederschlagswerte haben eine angeschatzte Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 30 Jahren)

Formelansätze 100 jährlicher Niederschlag	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle- Sum. (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schruns (Litz)	Silvretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
	[km²]	59	57.2	66.6	66.6	95.5	99.1	18.9	16.6
Koax Q100 (NS- nach Gumbel)	1218	988	1170	1044	1326	948	1292	1255	1267
SCS- Q100 (NS nach Gumbel; CN optimiert)	1285	1155	1246	1246	1984	1114	1302	1260	1215
SCS- Q100 (Bemessungsniederschläge; CN optimiert)	1981	1619	1712	1649	2203	1519	1574	1533	1485
SCS- Q100- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN optimiert)	1177	1059	1136	1136	1784	1000	1232	1196	1146
SCS- Q100- Spitzenabfluss (Bemessungsniederschläge; CN optimiert)	1815	1485	1562	1562	1982	1364	1490	1455	1400
SCS- Q100 (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	1029	983	946	946	1614	855	1296	1224	1051
SCS- Q100 (Bemessungsniederschläge; CN ermittelt)	1684	1426	1379	1379	1822	1224	1568	1496	1314
SCS- Q100- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	943	901	863	863	1452	768	1226	1162	992
SCS- Q100- Spitzenabfluss (Bemessungsniederschläge; CN ermittelt)	1543	1308	1258	1258	1639	1099	1484	1419	1239
Gradex Q100 (r- Wert gerechnet)	828	661	976	756	1016	766	1671	1035	1431
Gradex Q100 (r- Wert ermittelt)	1295	906	1161	979	1460	911	1554	854	1377
Gradex Q100 (r- Wert ermittelt, "gradex" optimiert)	2550	2105	1878	1814	2047	1629	2342	1724	1646
Gumbel Q100 (Statistik mit Ausreißer)	947	878	878	878	1343	992	2231	898	1928
Gumbel Q100 (Statistik ohne Ausreißer)	675	616	616	616	975	637	1688	714	1597
GIUB Q100 ("Globalmodell"; HHQ 50%)	1227	1243	1164	1164	995	980	2011	2127	1897
GIUB Q100 (Gebiet N1; HHQ 50%)	1405	1423	1339	1339	1159	1142	2216	2334	2101
Talsperrensicherheit Q100	846	1018	958	958	1178	774	1418	1493	1344
Höchster beobachteter Wert	805	1084	1084	1084	1623	949	1963	771	1338
Mittelwert	1320.43	1163.22	1190.75	1152.13	1528.29	1042.40	1623.10	1363.52	1437.11
Standardabweichung	479.35	373.05	320.92	324.41	395.66	272.08	363.60	421.73	310.56

Tabelle 44: Abflusspenden der verschiedenen Verfahren und Einzugsgebiete (die verwendeten Niederschlagswerte haben eine geschätzte Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren)

Formelansätze 150 jährlicher Niederschlag	Bürs (Alvier)	Klösterle HD (Alfenz)	Klösterle OEBB (Alfenz)	Klösterle- Sum. (Alfenz)	Garsella (Lutz)	Schruns (Litz)	Silveretta (III)	Vermunt (III)	Partenen (III)
	[km ²]	59	57.2	66.6	66.6	95.5	99.1	18.9	16.6
KOAX- Q 150 (NS- nach Gumbel)	1304	1061	1248	1116	1425	1019	1359	1322	1334
SCS- Q150 (NS nach Gumbel; CN optimiert)	1363	1230	1322	1322	2120	1188	1369	1327	1281
SCS- Q150- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN optimiert)	1248	1128	1206	1206	1907	1067	1295	1259	1208
SCS- Q150 (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	1101	1054	1016	1016	1743	922	1363	1291	1116
SCS- Q150- Spitzenabfluss (NS nach Gumbel; CN ermittelt)	1009	967	927	927	1568	828	1289	1225	1052
Gradex Q150 (r- Wert errechnet)	879	712	1024	804	1063	806	1749	1118	1506
Gradex Q150 (r- Wert ermittelt)	1427	999	1241	1066	1583	976	1612	905	1443
Gradex Q150 (r- Wert ermittelt, "gradex" optimiert)	2900	2407	2083	2046	2272	1819	2537	1926	1759
Gumbel Q150 (Statistik mit Ausreißer)	1004	931	931	931	1422	1055	2372	946	2053
Gumbel Q150 (Statistik ohne Ausreißer)	709	646	646	646	1020	668	1784	747	1693
Mittelwert	1294.46	1113.33	1164.48	1107.95	1612.15	1034.66	1672.98	1206.59	1444.73
Standardabweichung	607.51	487.67	380.82	382.23	411.47	313.72	451.50	322.07	314.68

Tabelle 45: Abflusspenden der verschiedenen Verfahren und Einzugsgebiete (die verwendeten Niederschlagswerte haben eine geschätzte Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren

5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht für den Bezirk Bludenz Hochwasserabflusspenden bestimmter Jährlichkeiten zu erarbeiten. Als Datengrundlage standen acht Pegel, und neun Niederschlagsmessstationen zu Verfügung. Die Messungen, sowohl an den Pegeln als auch an den Niederschlagsmessstationen, wurden in einem Intervall von 15 Minuten digital registriert. Diese Pegelreihen decken sieben Einzugsgebiete mit einer Größe von 16,6 bis 99,1 km² ab.

Mit Hilfe eines abgeänderten „Mehr – Standbein“ Verfahrens (Gutknecht et al. 2006) wurde versucht auf Abflusswerte bestimmter Jährlichkeiten für diese Einzugsgebiete zu schließen. Dieses Verfahren wurde durch die Ausarbeitung von Koaxialdiagrammen und dem SCS- Verfahren erweitert.

2006 wurde der Endbericht des Projektes „Hochwasserrisikoflächen Österreichs (HORA)“ veröffentlicht (Blöschl et al. 2006). Dabei wurden Hq-Werte für das gesamte Bundesgebiet ausgedrückt. Dieser Arbeit gingen umfangreiche Untersuchungen vom Institut für Ingenieurhydrologie an der TU- Wien voraus. Abbildung 18 gibt ein Beispiel für den Output dieses Projektes. Erkennbar sind die unterschiedlichen Regionen in Bezug auf Höhe des Hq 100. Dieses Projekt (HORA) kann auf eine große Datenbasis zurückgreifen. Allerdings merken die Autoren an: „... sind in diesem Projekt bestimmten Hq_T Werte nicht als Bemessungswerte für lokale Fragestellungen geeignet.ersetzen nicht die auf Basis von Detailgutachten bestimmten Bemessungswerte, bei denen auf lokale Aspekte noch detaillierter eingegangen werden kann...“.

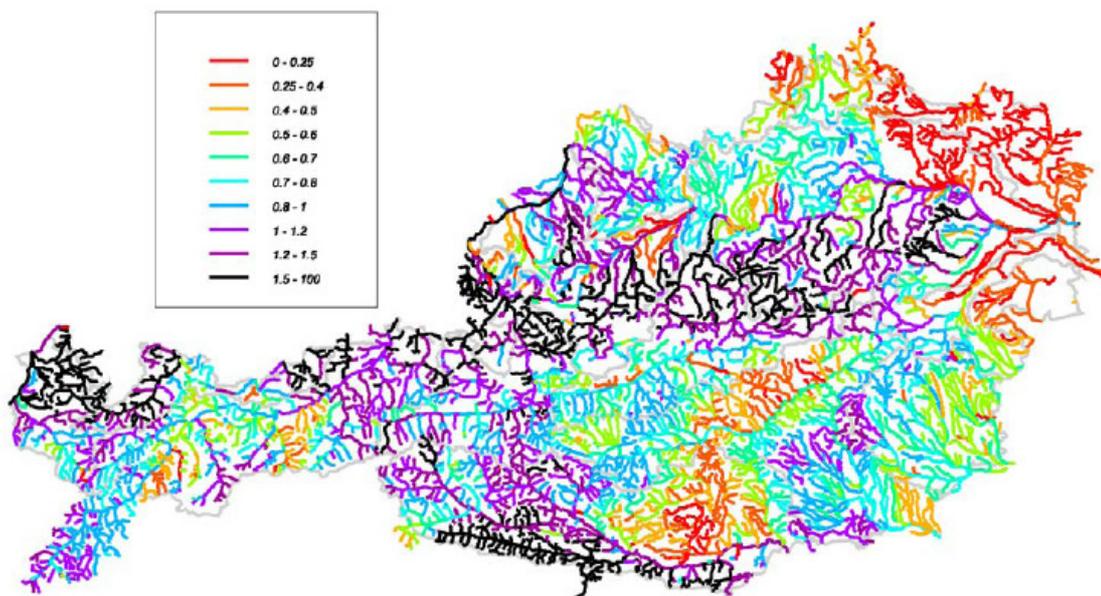


Abb. 7: 100-jährliche Abflusspende (m³/s/km²), normiert auf 100km²

Abbildung 18: HORA- Ergebnisse nach Blöschl et al (2006) in Merz (2006b)

Die vorliegende Arbeit versucht diese Lücke zu schließen. Die räumlichen Unterschiede, bzw. Grenzen, welche im HORA- Projekt ausgezeigt wurden, sind jedoch sehr hilfreich. Nachstehend folgt eine Diskussion der verwendeten Verfahren, deren Ergebnisse, sowie eine Interpretation derselben und eine Abschätzung der H_{q_T} Werte (Hochwasserabflussspende bestimmter Jährlichkeit) der Regionen im Bezirk Bludenz.

Aus der Summe aller erhobener Daten und gerechneter Modelle wurden Gebiete mit ähnlichem Abflussverhalten ausgeschieden und angeschätzte Werte für den Abfluss bestimmter Jährlichkeiten, zugeordnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 ersichtlich.

Diskussion der Verfahren und deren Ergebnisse

Die Ergebnisse sind im vorhergehenden Kapitel aufgelistet. Im Kapitel „Methodik“ sind bereits die einen oder anderen Bemerkungen zu diesen Verfahren gefallen.

Niederschlag:

Die statistische Auswertung der Niederschlagsreihen (24 Stundenniederschläge- Tagesniederschläge) liefert aufgrund der langen Reihen plausible Werte. Innerlaterns im Laternsertal/ Bezirk Feldkirch, hat aufgrund seiner extrem westexponierten Lage die höchsten Niederschlagswerte (die Reihe „Nenzinger Himmel“ ist für eine statistische Auswertung für Jährlichkeiten mit geringer Wiederkehrwahrscheinlichkeit zu kurz). Gefolgt wird dieser Spitzenreiter von der Station „Thüringen“ im Walgau und „Brand“ im Brandnertal. Die „Schlusslichter“ in dieser Auswertung bilden die Stationen „Tschagguns“ und „Vermunt“ im Montafon. Ein guter Überblick gibt auch die Tabelle 2, hier sind Daten aus dem Hydrographischen Jahrbuch wiedergegeben, sie zeigen ein ähnliches Bild was die Höhe der maximalen Tagesniederschläge betrifft.

Im hinteren Montafon wird der maximale Tagesniederschlag bereits merklich schwächer (zum Vergleich zu Innerlaterns oder Großes Walsertal). Dies lässt bereits einen ersten Schluss auf das Abflussverhalten zu. So merkt Blöschl et al. (2006) an: *„... In Österreich sind Hochwasserkenngrößen eng mit dem mittleren Jahresniederschlag korreliert, der ein Indikator für die Abflussbereitschaft von Gebieten ist. Da es für viele Regionen keine Pegelbeobachtungen in höher gelegenen Gebieten gibt, unterschätzt eine rein auf Abflussbeobachtungen basierende Methode tendenziell das Hochwasserverhalten in hoch gelegenen Gebieten. ...“*. Merz (2007) stellt basierend auf einer Studie von mehr als 50000 Ereignissen ähnliche Überlegungen an: *„... Ein Vergleich zeigt, dass die Form der Hochwasserwahrscheinlichkeitskurve eng mit der Größe der Abflussbeiwerte zusammenhängt. In den niederschlagsreichen Gebieten sind die Abflussbeiwerte in der Regel sehr hoch. Diese deuten auf eine stetig hohe Abflussbereitschaft der Gebiete hin. Große Hochwässer unterscheiden sich somit von kleinen Hochwässern nur durch die Größe des Niederschlages und es ist mit einer eher kleineren Steigung der Hochwasserwahrscheinlichkeitskurve zu rechnen.“*

Es kann also angenommen werden, dass im Norden des Bezirkes höhere Abflüsse zu erwarten sind als im Süden, dies schon alleine deswegen weil die Niederschläge gleicher Jährlichkeit im Norden höher sind.

Zu der Thiessen oder Polygon Methode muss gesagt werden, dass sie zu wenig auf die morphologischen Eigenschaften des Gebietes eingeht. Dies kann zu großen Über- und Unterschätzungen des Niederschlages führen. Ein anderes Problem ist dass fixe

Niederschlagsmessstationen nur sehr selten (aufgrund der Lage) von einer Starkregen-Zelle direkt getroffen wird, die Daten also mit großer Unsicherheit behaftet sind.

Neben den tatsächlich gemessenen Niederschlägen wurde bei den Abflussmodellen auch mit den sogenannten Bemessungsniederschlägen des Hydrographischen Dienstes gerechnet. Zum besseren Vergleich wurde auch hier ein 24 Stunden Niederschlag angenommen. Diese Werte für die jeweiligen Einzugsgebiete sind sehr hoch und übertreffen die Werte aus der Statistik immer, hierbei handelt es sich allerdings um Punktniederschläge einer Dauer von 24 Stunden welche als Modellannahme zu verstehen sind. Eine Reduktion auf die Fläche ist für diese Werte noch nicht etabliert. Die in dieser Arbeit angewandte Methodik führt zu einer, zum Teil beträchtliche Reduktion der Bemessungsniederschläge und zu einer Annäherung an die Werte der Extremwertstatistik, wenngleich die Bemessungsniederschläge immer noch sehr viel höher sind.

Abflüsse:

Aufgrund der Hochwässer der Jahre 1999 und 2005 die in Österreich, besonders in den westlichen Bundesländern Schaden anrichtete, scheint die Annahme, dass die untersuchten Pegelreihen in einen „hochwasserreichen Zeitraum“ fallen, naheliegend. Bei einer extremwertstatistischen Auswertung muss darauf geachtet werden, dass die eventuell gemessenen Extremwerte nicht zu einer groben Verfälschung der Statistik führen (speziell bei sehr kurzen Reihen). Um dieses Problem zu umgehen wurden in dieser Arbeit die Reihen mit und ohne solchen „Ausreißer“ ausgewertet. Zudem erfolgt eine Bestimmung des H_{q_T} unter Kombination mehrerer Ansätze.

Extremstatistische Analyse:

Die Analyse der Pegelreihen geben ein ähnliches Bild wie die Auswertung der Niederschlagsreihen. Das Einzugsgebiet im Norden (Lutz) hat höhere Abflusswerte bestimmter Jährlichkeiten als die anderen „urbanen“ Einzugsgebiete. Unter „urbane“ Einzugsgebiete sind die Einzugsgebiete Alfenz, Alvier, Lutz und Litz zu verstehen. Die Einzugsgebiete im hinteren Montafon sind extrem hochalpin, Vermunt und Silvretta weisen nicht einmal einen Bewuchs der über Strauchwerk hinaus geht auf.

Der „Spitzenreiter“ was den spezifischen Abfluss nach diesem Verfahren betrifft, ist das Einzugsgebiet der Lutz. Die Pegel Alfenz, Alvier und Litz haben sehr ähnliche Werte und unterscheiden sich hinsichtlich ihres Abflussverhaltens nur unwesentlich.

Eine seltsame Anomalie findet sich im Pegel „Vermunt“. Dieser ist dem Pegel „Silvretta“ von Größe, Geländeeigenschaften und Seehöhe nicht unähnlich. Beide Einzugsgebiete verfügen über einen (abschmelzenden) Gletscher. Trotz dieser Gemeinsamkeiten sind die Abflüsse im Einzugsgebiet „Vermunt“ wesentlich geringer als im benachbarten Einzugsgebiet „Silvretta“. Auch die Berücksichtigung eventuell abflusshemmender Faktoren, wie etwa Schneefall oder langandauernde Schneedecke als Regenspeicher, sind keine Erklärungen für diesen Unterschied, da diese Faktoren wenn, dann beide Einzugsgebiete betreffen würde.

Im weiteren Verfahren wird angenommen das der Pegel „Vermunt“ fehlerhaft ist. Die Abweichungen des Pegels zu den beiden benachbarten lassen sich nicht anders erklären, zumal die hochalpinen Einzugsgebiete „Partenen“ und „Silvretta“ sehr hohe spezifische Abflüsse aufweisen und diese aufgrund der z. T. kargen Vegetation und seichten Böden plausibel erklärbar sind.

Koaxialdiagramm

Die für die Erstellung der Koaxialdiagramme notwendigen Ereignisse wurden „händisch“ aus dem Reihemittel ermittelt. Hier offenbarten sich die Probleme dieses Verfahrens bei kleinen Einzugsgebieten ohne direkte Niederschlagsmessungen. Es konnte zwar eine Unsumme von Ereignissen mit den charakteristischsten Ganglinien ausgezeigt werden, jedoch „stimmte“ der Abfluss nur selten mit dem abgeschätzten Niederschlag überein. Häufig wurde ein „negativer“ Rückhalt beobachtet, besonders war dies bei größeren Abflüssen/ Ereignissen der Fall. Trotz dieses Mankos liefert das Verfahren durchaus plausible Ergebnisse, speziell bei den größeren Einzugsgebieten.

Der Vergleich der Abflussbeiwerte mit den ermittelten CN- Werten zeigt folgende Tendenz: Die aus der DKM- ermittelten Werte liegen in der gleichen Größenordnung wie die Abflussbeiwerte des Koaxialdiagrammes, die ermittelten CN- Werte sind jedoch höher. Da bei den für das Koaxialdiagramm verwendeten Abflussereignissen jedoch keine größeren Ereignisse herangezogen werden konnten, erscheinen größere Abflussbeiwerte bei Ereignissen geringer Wiederkehrwahrscheinlichkeit logisch.

Die Anwendung des Koaxialdiagrammes scheint auf „größere“ Einzugsgebiete (>50 km²) mit guter Datenbasis beschränkt zu sein. Für kleinere Einzugsgebiete ist die Unsicherheit einer Über- und Unterschätzung sehr groß.

SCS- Verfahren

Das Verfahren wird weltweit häufig angewandt, die Tauglichkeit für die Alpen ist jedoch zu hinterfragen. Merz (2006a) konnte in seiner Untersuchung über Regionalisierung von Ereigniskenngrößen folgendes herausfinden: „... *Insgesamt erscheinen für Österreich die zum Abfluss passenden SCS-CN Werte nicht so sehr ein Abbild des Bodentyps und der Landnutzung zu sein, sondern ein Abbild der Jahreswasserbilanz der Einzugsgebiete. Gebiete mit großen Jahresniederschlägen und einem damit verbundenen hohen durchschnittlichen Bodenfeuchtestatus weisen wesentlich größere CN Werte auf als Gebiete die durchschnittlich trocken sind. ...*“. Die in dieser Arbeit erarbeiteten CN- Werte sind sogar noch höher als die ausgeschiedenen Werte von Merz (2006a).

Das Durchrechnen des Modells mit verschiedenen Annahmen ergab sehr unterschiedliche Werte. So wurden die ermittelten Niederschläge aus der Statistik, den reduzierten und gewichteten Bemessungsereignissen und die unterschiedlichen CN- Werte miteinander kombiniert. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden bei den Bemessungsniederschlägen ebenfalls 24 Stunden Dauerstufen verwendet.

Bei Anwendung der Bemessungsniederschläge erscheinen die Ergebnisse zu hoch. Ein Vergleich der höchsten beobachteten Scheitelabflüssen (1999 und 2005 waren ausnehmend schwere Ereignisse im Untersuchungsgebiet) hätte somit gerade einmal eine geschätzte Jährlichkeit eines H_{q30} (siehe Einzugsgebiet Lutz).

Die Formel der Spitzenabflüsse (Formel 10) liefert bei gleicher Kombination der Parameter (Niederschlag, CN- Wert) niedrigere Werte als die „normale“ SCS- Formel (Formel 9). Dies ist auf die lange Regendauer (24 h) zurückzuführen.

Das SCS- Verfahren mit den Parametern NS- nach Gumbel, CN- Werte optimiert, liefert brauchbare Ergebnisse (Tabelle 44). Die Werte liegen bei den größeren Einzugsgebieten im Bereich der Verfahren

GIUB, KOAX und GRADEX (r- Wert ermittelt). Bei den kleinen Einzugsgebieten im Innermontafon wird der Abfluss wohl unterschätzt. Diese Einzugsgebiete sind gekennzeichnet durch die sehr hohen CN-Werte (je >90), zwei der Einzugsgebiete sind zudem sehr hoch gelegen. Inwiefern Schneefall und Gletscherschmelze die Messungen und Ergebnisse der Ansätze beeinflussen, konnte in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden.

Die Tauglichkeit des SCS- Verfahrens für kleine, hochalpine Einzugsgebiete ist sehr kritisch zu bewerten. Das SCS- Verfahren wurde ursprünglich auch für komplett andere Bedingungen entwickelt.

GRADEX- Verfahren

Beim Gradex- Verfahren wurden drei Varianten durchgerechnet. Dies wären die Berechnung mittels eines pauschal ermittelten r- Wertes, ein aus der Summe der beobachteten Ereignisse ermittelter r- Wert je Einzugsgebiet und eine Variante mit ermittelten r- Werten (wie vorher) aus der original Niederschlagsdauer je Ereignis errechneten „gradex“ (Gumbel Parameter des transformierten Niederschlages). Die „gradex“ Werte wurden je Einzugsgebiet gemittelt, dieser Wert war für die 3. Variante der „Kalkulationswert“.

Generell kann gesagt werden, dass die Ergebnisse des Verfahrens aus den ermittelten r- Werten höher liegen als die Ergebnisse aus den pauschal ermittelten r- Werten. Da die Ergebnisse aus den pauschal ermittelten r- Werten mehr oder weniger (die statistische Auswertung im HORA- Projekt erfolgte mittels Allgemeiner Extremwertverteilung (Merz, Blöschl und Humer, 2008)) mit demselben Verfahren wie beim oben genannten HORA- Projekt gerechnet wurde, stimmen diese Ergebnisse von der Größenordnungen her mit den Ergebnissen dieses Projektes überein.

Die Ergebnisse der ermittelten r- Werte liegen höher. Wie in Abbildung 10 erkennbar ist, ist der Mittelwert der beobachteten r- Werte einer großen Streuung unterworfen. Die Ergebnisse scheinen jedoch durchaus plausibel.

Da der ursprüngliche Anwendungsbereich des Gradex- Verfahrens nicht auf alle beobachteten Einzugsgebiete anwendbar ist, sind die Werte der kleinen Einzugsgebiete im Innermontafon auch hier eher kritisch zu begutachten. Die Werte sind generell eher zu gering, speziell das Vermunt – Einzugsgebiet liefert, da das Verfahren auf den statistischen Zeitreihen beruht, sehr niedere Werte die nur mit fehlerhaften Daten zu erklären sind.

Die Methode der Gradex-Auswertung mit ermittelten r- Werten (Mittelwerte aus den untersuchten Ereignissen je Einzugsgebiet) und dem Mittelwert der aus der Original- Regendauern und den ermittelten r- Werten errechneten „gradex“- Werten liefern für die Bemessungsergebnisse, nach dem derzeitigen Datenstand, zu hohe Werte. Die angewandte Methodik muss verworfen werden.

Hüllkurven- Verfahren

Bei zwei der verwendeten Hüllkurvenverfahren kann ein H_{q100} geschätzt werden. Dies sind das GIUB- Verfahren und das „Talsperrensicherheit“- Verfahren.

GIUB- Verfahren

Für das GIUB- Verfahren wurden eigens Parameter zur Ermittlung eines $HHQ_{50\%}$ erarbeitet. Dieses $HHQ_{50\%}$ soll in etwa einem 50 bis 100-jährlichen Hochwasser entsprechen. Die Parameter wurden für das Schweizer Staatsgebiet entwickelt. Das Untersuchungsgebiet grenzt direkt an die Schweiz an,

sodass diese Parameter übernommen wurden. Eines der drei übernommenen und angrenzenden Parametergebiete (N1) liefert von der Größenordnung her ähnliche Werte wie die statistischen Auswertungen, teilweise sind sie auch etwas höher.

„Talsperrensicherheit“- Verfahren

Beim „Talsperrensicherheit“-Verfahren wird zwischen dem „detaillierten“ und dem „abgekürzten“ Verfahren unterschieden. Das „detaillierte“ Verfahren baut auf dem „Mehr- Standbein“- Verfahren auf, welches, zum Teil, auch hier Verwendung findet. Beim „abgekürzten“ Verfahren handelt es sich um einen 2 Parameteransatz unter Einbeziehung der Einzugsgebietsgröße. Der Parameter „c“ wurde in Form von Isohyeten für das Bundesgebiet ermittelt. Die Ergebnisse sollen einem HQ_{5000} entsprechen.

Der HQ_{5000} soll weiters im Mittel das 3,7 fache des HQ_{100} sein. Die Werte gehen im Wesentlichen mit den Werten des HORA- Projektes konform. Dies hat wohl damit zu tun, dass derselbe Personenkreis dieselbe bzw. ähnliche Methodik angewendet hat. Der zweite Parameter (0.6) ist gleich hoch wie bei Wundt, der Parameter „c“ (16- 27 siehe Tabelle 40) ist etwas bis sehr viel höher als bei Wundt (13,8- in Hagen et al. 2007).

Die Werte liegen tendenziell unter den Werten des GIUB- Verfahrens und erscheinen etwas gering.

Vergleich mit den Bemessungswerten der WLW- Bludenz

Der Forsttechnische Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung (WLW) hat den Schutzauftrag, den Siedlungsraum vor Wildbachereignissen vor einem „Bemessungsereigniss“ zu schützen. In der **„Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne“** ist dieses Bemessungsereigniss mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von „zirka 150 Jahren“ definiert. Im Kompetenzbereich der WLW sind reine Hochwässer mit keiner bis geringer Geschiebefracht sehr selten, weshalb bei der Bemessung auch dem Sedimenttransport Rechnung getragen wird. Für die Bemessung dieser Hochwässer gibt es keine einheitliche Vorgehensweise. Dies hat damit zu tun, dass es keine klar „richtigen“ oder „falschen“ Vorgehensweisen gibt und die regionalen Unterschiede, im Bezug zum Abflussverhalten der Gebiete, zu groß sind. Aufgrund der großen Unsicherheit versucht man auf der „sicheren“ Seite zu sein, was zu einer Überhöhung der Abflussannahme führt. Bezogen auf die hier erarbeiteten Werte liefert die Formel von Hoffmann die brauchbarsten Werte wenn auch diese noch mit ausreichenden Sicherheiten.

Abbildung 19 gibt einen graphischen Überblick über die Ergebnisse (Hq_{100}) der angewendeten Verfahren. Bei den „größeren“ Einzugsgebieten ist der Trend zu erkennen, dass die das Große Walsertal entwässernde Lutz etwas größere Abflüsse liefert als Alvier und Alfenz. Die niedrigsten Werte findet man bei der Litz im Silbertal. Die hochalpinen Einzugsgebiete im Innermontafon bringen die höchsten Abflusswerte. Der Knick beim Einzugsgebiet Vermunt ist auf mangelhafte Daten zurückzuführen. [Mittelwert, stellt das arithmetische Mittel der Verfahren dar].

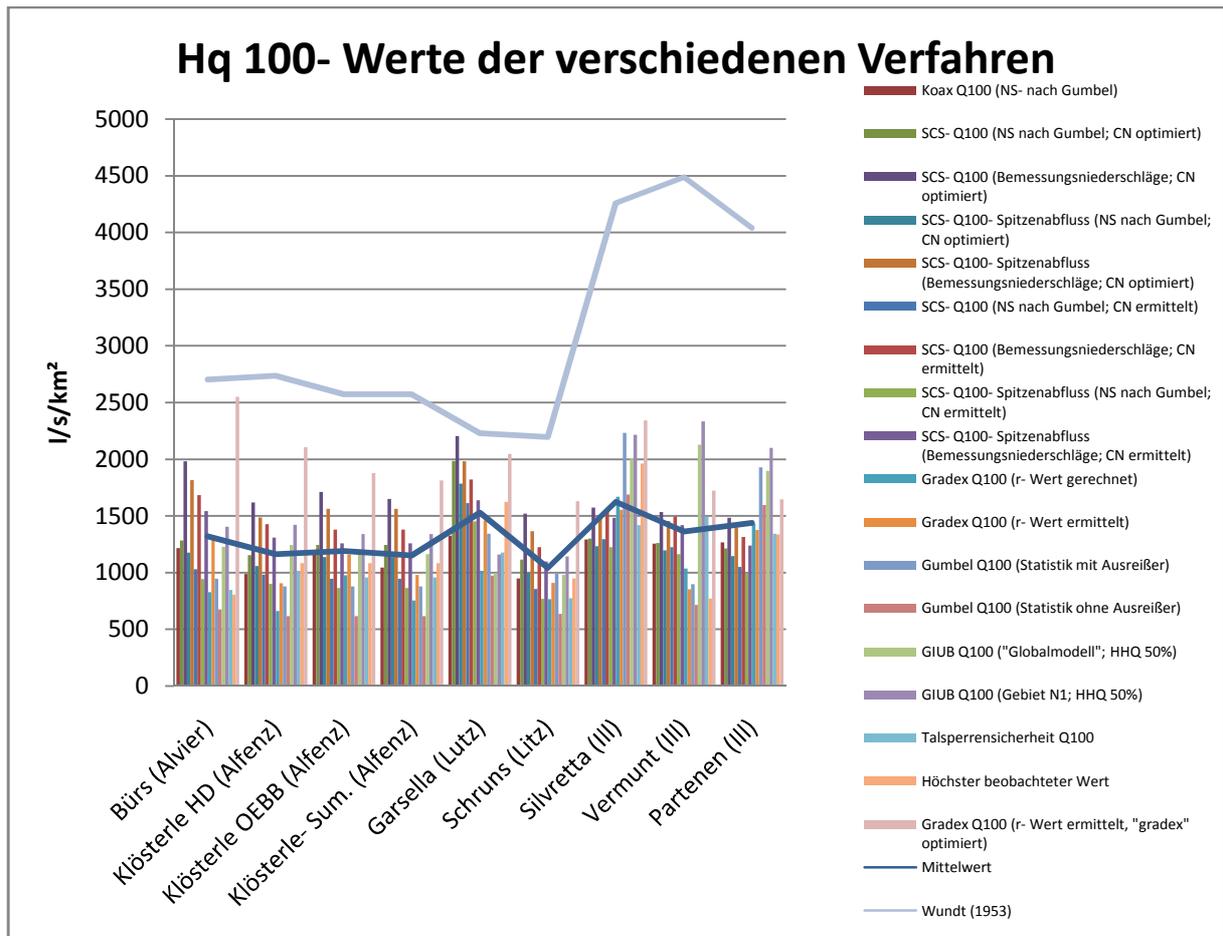


Abbildung 19: Hq 100- Werte sowie die Ergebnisse nach Wundt (90%) der verschiedenen Verfahren.

Generelle Überlegungen

Die Ermittlung von Bemessungshochwässern ist auch im 21. Jahrhundert noch eine Herausforderung für Ingenieure, die Unsicherheit ist speziell in kleineren Einzugsgebieten im Alpenraum, ohne Direktmessungen, sehr groß. In den letzten Jahren wurde vom Institut für Ingenieurhydrologie an der TU- Wien zahlreiche Untersuchungen zum Thema Regionalisierung und Abflussverhalten des österreichischen Bundesgebietes durchgeführt (Gutknecht, Merz, Blöschl,...- im Literaturverzeichnis).

Basierend auf Erkenntnissen dieser Arbeiten wurde versucht für den Bezirk Bludenz Hochwasserabflussspenden bestimmter Jährlichkeiten auch für kleinere Einzugsgebiete zu bestimmen. Die angewendeten Verfahren eignen sich für die größeren Einzugsgebiete gut. Die Ergebnisse für die hochalpinen Einzugsgebiete im Innermontafon bei denen bei einem reinen Regenereignis kaum Rückhalt zu erwarten ist, werden aber eher unterschätzt. Eventueller Gebietsrückhalt bzw. verzögertes Abflussverhalten aufgrund der Speicherfunktion der Schneedecke, wurde im Zuge dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Zu Mängeln der Verfahren bei „kleineren“ Einzugsgebieten kommt das grobmaschige Niederschlagsmessnetz. In einem morphologisch stark gegliederten Gelände wie dem Untersuchungsgebiet, können die Niederschlagsmessstationen nur sehr selten punktuell auftretende

Starkniederschläge erfassen. Bei einer statistischen Auswertung der Reihen bleibt die Unsicherheit der Übertragung der Punktdaten auf das Einzugsgebiet. Bei den untersuchten Ereignissen konnte, besonders bei den größeren Ereignissen, oft kein Rückhalt beobachtet werden. Der Niederschlag wurde daher unterschätzt.

Bei einer Verwendung der Werte der Bemessungsniederschläge werden z. B. im SCS- Verfahren sehr hohe Abflüsse erreicht. So wäre etwa das Ereignis von 2005 im Einzugsgebiet der Lutz gerade einmal ein 30 jähriges Ereignis, die Abflüsse der Litz bei den Hochwässern von 1999 und 2005 bei denen große Schäden verzeichnet wurden, nicht einmal das.

Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 geben einen Überblick über die zu erwartenden H_{qT} in den verschiedenen Regionen im Bezirk Bludenz. Die räumliche Verteilung der Regionen basiert auf einer groben Übernahme der Gebietsunterteilung aus dem HORA- Projekt, der CN- Wert Verteilung und den mittleren Jahresniederschlägen. Die Werte sind allesamt höher als die Werte welche im HORA- Projekt dokumentiert sind, aber immer noch wesentlich geringer als die, zumindest rechnerisch, „maximal“ möglichen, jeweiligen H_{qT} .

Es ist zu beachten, dass in der vorliegenden Arbeit Sedimenttransport, Hochwasserwellen aufgrund Rückstau und Bruch eines Dammkörpers, zusätzlich zum Niederschlag einsetzende Schneeschmelze, etc. nicht berücksichtigt wurden, bzw. bei den ausgewerteten Daten nicht speziell berücksichtigt werden konnten.

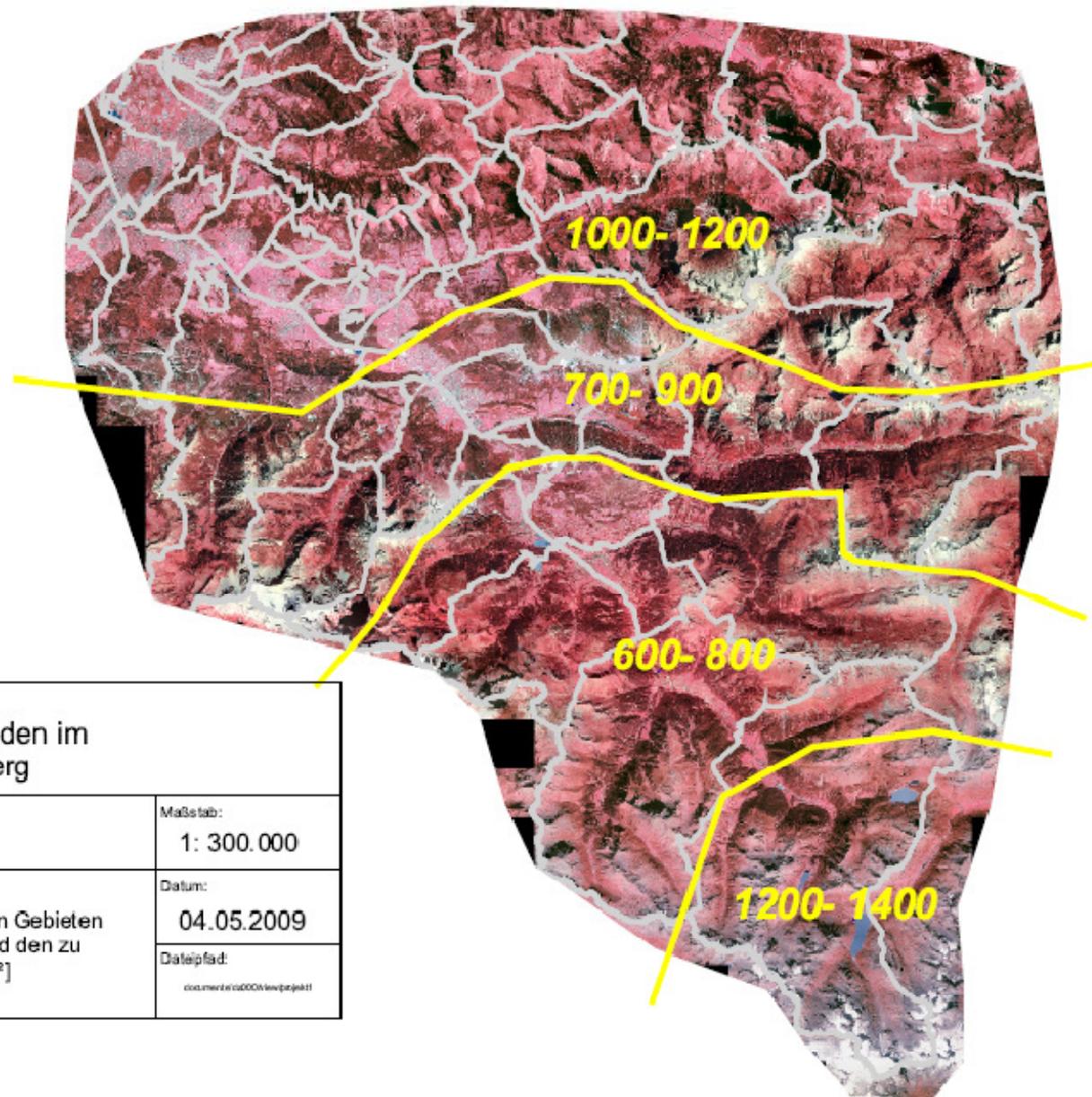
Die in Abbildung 20, Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellten Werte sind für Einzugsgebiete $> 10 \text{ km}^2$ angedacht, ab dieser Größenordnung sind sie auch, nach der derzeitigen Datengrundlage, plausibel.

Da die Reihen der Pegel sehr kurz sind, erscheinen weitere Untersuchungen, nach einigen Jahren sinnvoll, da die Ermittlung von Jährlichkeiten in der Höhe von ~ 150 Jahren aus einer Zeitreihe von ~ 20 Jahren äußerst vage sind.

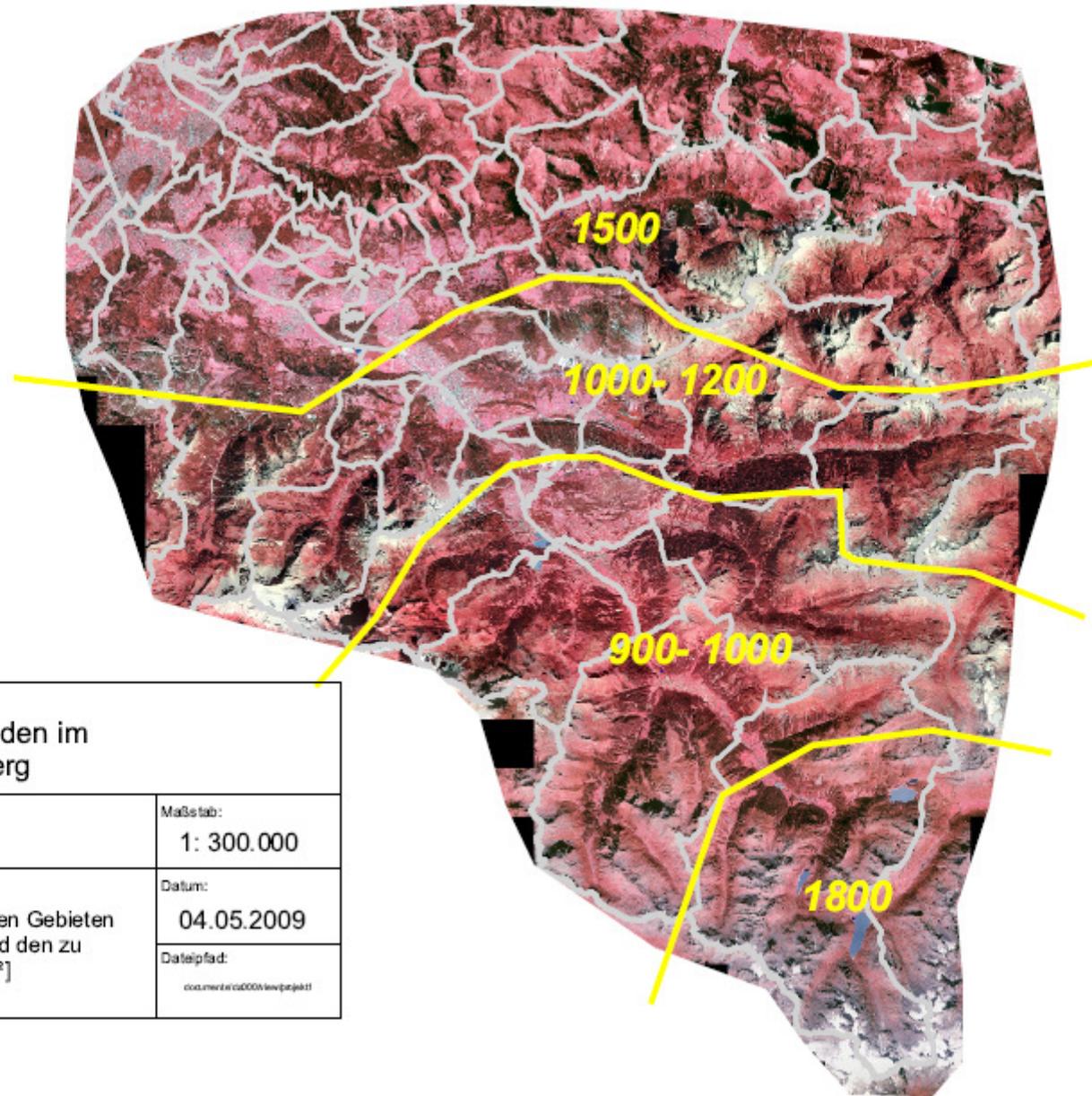
Abbildung 20: $H_q 30 \text{ [l/s/km}^2\text{]}$ mit den Regionen mit ähnlichen Abflussverhalten (Seite 64)

Abbildung 21: $H_q 100 \text{ [l/s/km}^2\text{]}$ mit den Regionen mit ähnlichen Abflussverhalten (Seite 65)

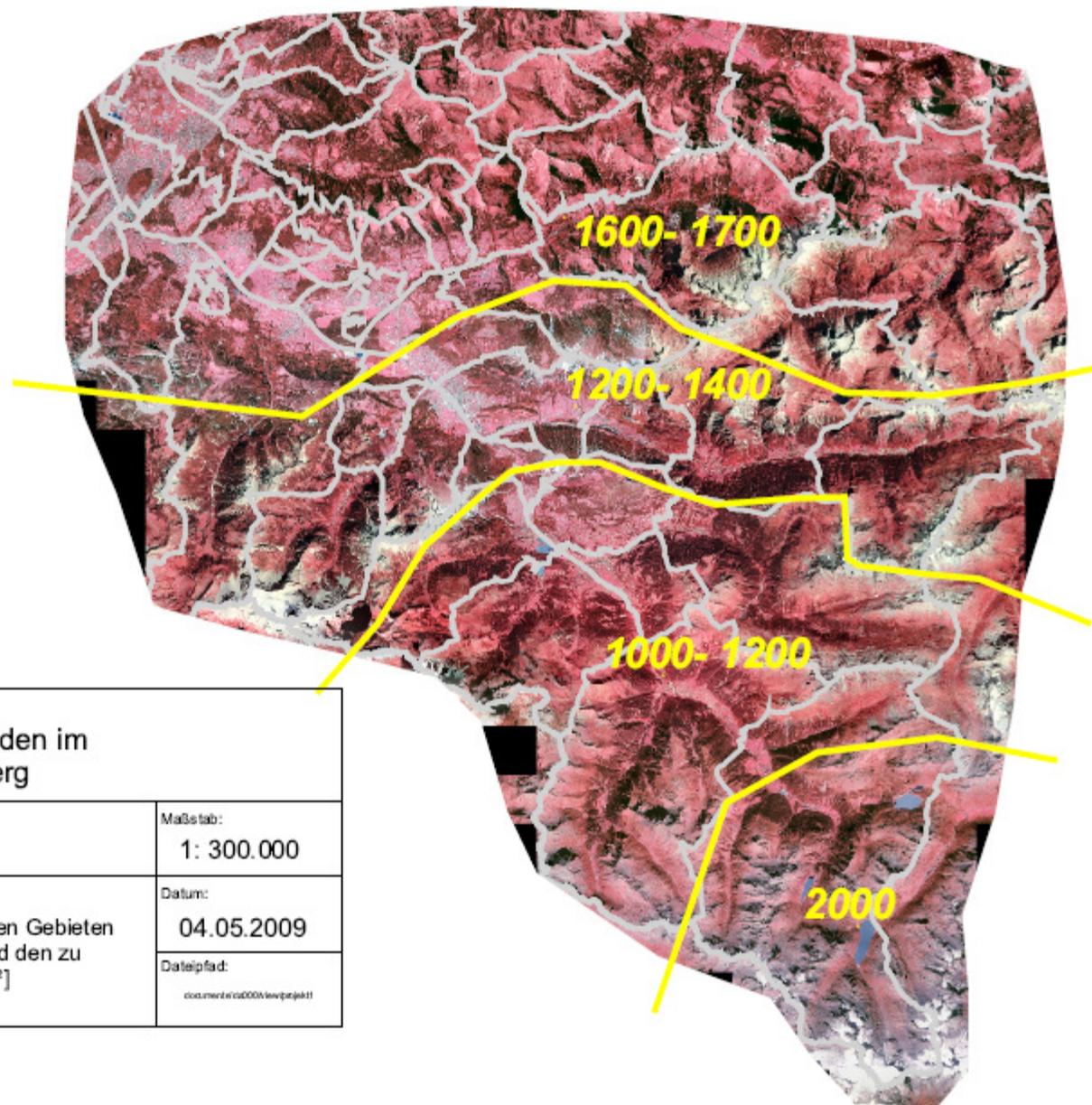
Abbildung 22: $H_q 150 \text{ [l/s/km}^2\text{]}$ mit den Regionen mit ähnlichen Abflussverhalten (Seite 66)



Diplomarbeit: Hochwasserabflussspenden im Bezirk Bludenz/ Vorarlberg	
Planverfasser: Andreas Drexel	Maßstab: 1: 300.000
Planinhalt: Hq 30 mit den ausgeschiedenen Gebieten ähnlichen Abflussverhaltens und den zu erwartenden Spenden in [l/s/km ²]	Datum: 04.05.2009
	Dateipfad: document/c000/view/paper1



Diplomarbeit: Hochwasserabflussspenden im Bezirk Bludenz/ Vorarlberg	
Planverfasser: Andreas Drexel	Maßstab: 1: 300.000
Planinhalt: Hq 100 mit den ausgeschiedenen Gebieten ähnlichen Abflussverhaltens und den zu erwartenden Spenden in [s/km^2]	Datum: 04.05.2009
	Dateipfad: doc\mwa\ca2009\wvprojekt



Diplomarbeit: Hochwasserabflussspenden im Bezirk Bludenz/ Vorarlberg	
Planverfasser: Andreas Drexel	Maßstab: 1: 300.000
Planinhalt: Hq 150 mit den ausgeschiedenen Gebieten ähnlichen Abflussverhaltens und den zu erwartenden Spenden in [l/s/km ²]	Datum: 04.05.2009
	Dateipfad: document\rs000\newpaper1

6. Literatur

BARBEN, M., HODEL, H.-P., KLEEBERG, H.-B., SPREAFICO, M. und WEINGARTNER, R. (2001) Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen- Erfahrung aus den Rheinanliegerstaaten. Bericht Nr. I-19 der KHR.

BLÖSCHL, G. und MERZ, R. (2002) Methoden der hydrologischen Regionalisierung in Zusammenhang mit der Niederschlag- Abflussmodellierung, Wiener Mitteilungen Bd. 164, pp. 149- 177, Wien.

BLÖSCHL, G., MERZ, R., HUMER, G., HOFER, M., HOCHHOLD, A. und WÜHRER, W. (2006) HORA – Hochwasserrisikoflächen Österreich; Hydrologische Arbeiten. Endbericht an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Sektion VII, 1030 Wien.

BLÖSCHL, G. und MERZ, R. (2008) Bestimmung von Bemessungshochwässern gegebener Jährlichkeit- Aspekte einer zeitgemäßen Strategie. Wasserwirtschaft, 11/2008, pp. 2-8.

BMLFUW (2005) Hydrologischer Atlas Österreichs. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.). Wien. ISBN 3-85437-250-7. P 2.5-2.7

Bundesverordnung (1976) Nr. 436. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne. 129. Stück- Ausgabe am 18. August 1976

DYCK, S. et. al. (1980) Angewandte Hydrologie, Teil 2: Der Wasserhaushalt der Flussgebiete, 2. Auflage. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn- Berlin- München, pp. 278- 287.

DVWK, (1984) Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag- Abfluss- Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese, DVWK- Regeln zur Wasserwirtschaft 113, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Bonn.

DVWK, (1991) Beitrag zur Bestimmung des effektiven Niederschlags für Bemessungshochwasser aus Gebietskenngrößen,- Ergebnis einer vergleichenden Untersuchung durch den DVWK- Fachausschuss „Niederschlag- Abfluss- Modelle“; 2/1991, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Bonn.

DVWK, (1999) Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. Wirtschafts- und Verl.-Ges. Gas und Wasser, Bonn, (DVWK- Merkbl. zur Wasserwirtschaft; H251).

FRIEBE, G., J. (2007) Geologie der österreichischen Bundesländer: Vorarlberg. Geologische Bundesanstalt, Wien. ISBN978-3-85316-037-4

GUTKNECHT, D., BLÖSCHL, G., RESZLER, Ch., HEINDL, H. (2006) Ein „Mehr-Standbein“- Ansatz zur Ermittlung von Bemessungshochwasser kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 58 (H.3-4), 44-50.

GUTKNECHT, D. (2007a) Bemessungshochwässer kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit- Zur Entwicklung eines Leitfadens zur Ermittlung von Bemessungshochwässer für Talsperren. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 206. Technische Universität Wien, pp. 85-100.

GUTKNECHT, D. (2007b) Bestimmungsmethoden- Überblick. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 206. Technische Universität Wien, pp. 155- 180.

GUTKNECHT, D., DROBIR, H. et al. (2007) Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren- Entwurf Endversion. Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien (Hrsg.)

HAGEN, K., GANAHL, E., HÜBL, J. (2007) Analyse und Evaluierung von gebräuchlichen empirischen Ansätzen zur Hochwasserabschätzung in Wildbächen. BFW- Berichte; Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, Nr. 137, 112 S.

HAUPT, R. (2000) Regionalisierung von Hochwasserkennwerten in Mecklenburg- Vorpommern. Veröffentlichungen des Institutes für Kulturtechnik und Siedlungswasserwirtschaft der Universität Rostock. Rostock.

Hydrographischer Dienst in Österreich, (2002) Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, 1999, 107. Band. Hausgegeben von der Abteilung Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro) im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.

Ihringer, J. (1981): „Mathematische Formulierung des Koaxialdiagramms“, Institut Wasserbau III der Universität Karlsruhe (unveröffentlich- Veröffentlichung ist vorgesehen)

Ihringer, J. (2002) Softwarepaket: Hochwasseranalyse und –berechnung; Anwenderhandbuch; Version 5 für Microsoft- Windows Betriebssysteme. Universität Karlsruhe (TH) Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Abteilung: Hydrologie.

LORENZ, P. und SKODA, G. (2000) Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufe ($D < 12$ Stunden) mit inadäquaten Daten. Mitt. Hydr. Dienst in Österr. Nr. 80, S. 1-24.

MANIAK, U. (2005) Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 5. Auflage. Springer – Verlag Berlin.

MERZ, R., BLÖSCHEL, G., und PIOCK- ELLENA, U. (1999) Zur Anwendbarkeit des Gradex- Verfahrens in Österreich. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 51, Heft 11/12, pp. 291-305.

MERZ, R. (2006)- (a) Regionalisierung von Ereigniskenngrößen. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 197. Technische Universität Wien, pp 179- 193.

MERZ, R. (2006)- (b) Regionalisierung von Statistischen Hochwasserkenngrößen. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 197. Technische Universität Wien, pp. 109- 130.

MERZ, R., BLÖSCHL, G., und PARAJKA, D. (2006) Raum- zeitliche Variabilität von Ereignisabflusswerten in Österreich, *Hydrologie und Wasserwirtschaft*, 50 (1), pp 2-11

MERZ, R. (2007) Hochwasserstatistik- Das Ausreisserproblem. Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer; Band 206: Extreme Abflüsse. Technische Universität Wien, pp 181-194

MERZ, R., BLÖSCHL, G. (2008a) Informationserweiterung zur Bestimmung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. *Hydrologie und Wasserwirtschaft* 53, 2008, H.6; p 300- 309.

MERZ, R., BLÖSCHL, G. (2008b) Flood frequency hydrology: 1. Temporal, spatial, and causal expansion of information. Water Resour. Res. 44, W08432. doi: 10.1029/2007WR006744.

MERZ, R., BLÖSCHL, G. (2008c) Flood frequency hydrology: 2. Combining data evidence. Water Resour. Res. 44, W08433. doi: 10.1029/2007WR006745.

MERZ, R., BLÖSCHL, G., HUMER, G. (2008) National flood discharge mapping in Austria. Nat. Hazards 46: 53-72. DOI 10.1007/s11069-007-9181-7.

ÖWAV, (2007) Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV- Regelblätter 11 und 19. Leitfaden des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Selbstverlag des ÖWAV, Wien.

SACKL, B. (1987): Ermittlung von Hochwasser- Bemessungsganglinien in Beobachteten und unbeobachteten Einzugsgebieten. Dissertation an der Technischen Universität Graz, Institut für Hydromechanik, Hydraulik und Hydrologie. Graz.

SCHREIBER, H. (1970): Über Methoden zur Berechnung der n-Jährlichkeit von Hochwässern. Österr. Wasserwirtschaft 22, 138- 153.

SPREAFICO, M., WEINGARTNER, R., BARBEN, M. und RYSER, A. (2003) Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe- Bericht des BWG, Serie Wasser, Nr. 4- Bern.

WEILGUNI, V. (2006): Regionalisierung des Niederschlages. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 197. Technische Universität Wien, pp 71- 91.

WEILGUNI, V. (2007): Bemessungsniederschläge- Starkniederschlagsauswertung beim Hydrographischen Dienst. In: Wiener Mitteilungen, Wasser- Abwasser- Gewässer, Band 206. Technische Universität Wien, pp 209- 227.

WEILGUNI, V. (2009): eHyd- Fachkarte Bemessungsniederschlag. Bemessungsniederschläge- ein Service der Hydrographie Österreichs, Abteilung VII/3- Wasserhaushalt (BMLUFW) vom 27.01.2009. <http://gis.lebensministerium.at/eHYD/>

WEINGARTNER, R. (1998) Analyse der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Hochwässer in der Schweiz, ein Beitrag zur Hochwasserabschätzung, Schlussbericht NFP 31, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, ISBN 3 7281 2502 4.

US-SCS, 1972. National Engineering Handbook Section 4 Hydrology. US Department of Agriculture. <http://directives.sc.egov.usda.gov/>

Internet Ressourcen:

Internet 1: www.statistik.at am 10.07.2008

7. Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnis

ABBILDUNG 1: VORARLBERG MIT SEINEN VIER BEZIRKEN.....	2
ABBILDUNG 2: GEOLOGISCHER ÜBERBLICK ÜBER VORARLBERG MIT DEN, FÜR DEN BEZIRK BLUDENZ RELEVANTEN DECKEN (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, FRIEBE ET AL. 2007)	5
ABBILDUNG 3: ÜBERSICHT DES BEZIRKS BLUDENZ MIT DEN UNTERSUCHTEN EINZUGSGEBIETEN UND NIEDERSCHLAGSTATIONEN	6
ABBILDUNG 4: BEMESSUNGSNIEDERSCHLÄGE NACH DAUER UND WIEDERKEHRZEIT (HYDROGRAPHISCHER DIENST, 2008)	10
ABBILDUNG 5: PROZENTUELLE FLÄCHENVERTEILUNG DER EINZUGSGEBIETE NACH DKM-VOGIS (2005).....	12
ABBILDUNG 6: DIE AUSGESCHIEDENEN EREIGNISSE IN ABHÄNGIGKEIT VON REGENDAUER UND HÖHE	18
ABBILDUNG 7: DIE SPITZENABFLÜSSE DER UNTERSUCHTEN EREIGNISSE BEZOGEN AUF DIE EINZUGSGEBIETSGRÖßE	18
ABBILDUNG 8: KOAXIALDIAGRAMM FÜR DEN PEGEL SCHRUNS (LITZ)	22
ABBILDUNG 9: BERECHNUNG DES R- WERTES ALS VERHÄLTNISS VON SCHEITELDURCHFLUSS Q_S ZU MITTLEREN ABFLUSS Q_M . H IST DAS BEZUGSZEITINTERVALL (VERÄNDERT NACH MERZ ET AL. 1999)	27
ABBILDUNG 10: AUSWERTUNG DER HOCHWASSERWELLEN AM PEGEL BÜRS (ALVIER), DIE R- WERTE ERGEBEN SICH ALS Q_S/Q_M . FÜR DAS EINZUGSGEBIET DER ALVIER WURDE EIN R- WERT VON 4.7 ERMITTELT.....	28
ABBILDUNG 11: UNTERSCHIEDLICHE HÖHE DER MITTLEREN - "GRADEX" - WERTE	30
ABBILDUNG 12: ERGEBNIS DES GRADEX- VERFAHRENS (SPEZIFISCHE ABFLÜSSE) SOWIE TRANSFORMIERTER NIEDERSCHLAG FÜR BESTIMMTE JÄHRLICHKEITEN NACH GUMBEL (NS- STATION BRAND);	32
ABBILDUNG 13: HOCHWASSERREGIONEN DER SCHWEIZ NACH KAN (1995) AUS BARBEN ET AL. (2001) AUCH IN SPERAFICO ET AL. (2003)	33
ABBILDUNG 14: KARTE FÜR DEN PARAMETER "c" FÜR DAS "ABGEKÜRZTE VERFAHREN" AUS GUTKNECHT ET AL. (2007)	35
ABBILDUNG 15: KARTENAUSSCHNITT (BEZIRK BLUDENZ) FÜR DEN PARAMETER "c" FÜR DAS "ABGEKÜRZTE VERFAHREN" AUS GUTKNECHT ET AL. (2007)	35
ABBILDUNG 16: IN MERZ (2006A) ERMITTELTE CN- WERTE FÜR VORARLBERG (KARTE VERÄNDERT, NUR VORARLBERG DARGESTELLT UND VERGRÖßERT).	43
ABBILDUNG 17: HÖCHSTE BEOBACHTETE SCHEITELABFLÜSSE DER REIHEN (ORANGE) MIT DER WUNDT(HÜLL)KURVE UND DEN STATISTISCHEN JÄHRLICHKEITEN AUS DER STATISTISCHEN AUSWERTUNG.	51
ABBILDUNG 18: HORA- ERGEBNISSE NACH BLÖSCHL ET AL (2006) IN MERZ (2006B)	56
ABBILDUNG 19: HQ 100- WERTE SOWIE DIE ERGEBNISSE NACH WUNDT (90%) DER VERSCHIEDENEN VERFAHREN.....	62
ABBILDUNG 20: HQ 30 [L/s/km ²] MIT DEN REGIONEN MIT ÄHNLICHEN ABFLUSSVERHALTEN (SEITE 64)	63
ABBILDUNG 21: HQ 100 [L/s/km ²] MIT DEN REGIONEN MIT ÄHNLICHEN ABFLUSSVERHALTEN (SEITE 65)	63
ABBILDUNG 22: HQ 150 [L/s/km ²] MIT DEN REGIONEN MIT ÄHNLICHEN ABFLUSSVERHALTEN (SEITE 66)	63
TABELLE 1: HAUPTTÄLER DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES UND DEREN VORFLUTER.....	3
TABELLE 2: DURCHSCHNITTLICHE JAHRESNIEDERSCHLÄGE UND MAXIMALE TAGESNIEDERSCHLÄGE AUSGEWÄHLTER STATIONEN (HYDROGRAPHISCHES JAHRBUCH, 1999 (2002))	4
TABELLE 3: KENNWERTE DER UNTERSUCHTEN PEGEL (HD- HYDROGRAPHISCHER DIENST, OEBB- ÖSTERREICHISCHE BUNDESBAHNEN) (* = STANDORTANGABEN NICHT GANZ KORREKT).....	7
TABELLE 4: KENNWERTE DER VERWENDETEN NIEDERSCHLAGSMESSSTATIONEN (N.S.: NUR TAGESSUMMEN) (*: STANDORTANGABEN NICHT GANZ KORREKT).....	8
TABELLE 5: FLÄCHENVERTEILUNG DER EINZUGSGEBIETE ALS ABSOLUTWERTE [km ²] (VOGIS)	11
TABELLE 6: FLÄCHENVERTEILUNG DER EINZUGSGEBIETE ALS PROZENTWERTE	11
TABELLE 7: GEWICHTUNG DER NIEDERSCHLAGSDATEN (ALLE NS- MESSSTELLEN LIEFERN VERWERTBARE DATEN) AUF DIE EINZUGSGEBIETE NACH THIESSEN.	14

TABELLE 8: GEWICHTUNG DER NIEDERSCHLAGSDATEN (NICHT ALLE NS- MESSSTELLEN LIEFERN VERWERTBARE DATEN BZW. SIND IN BETRIEB) AUF DIE EINZUGSGEBIETE NACH THIESSEN.	14
TABELLE 9: GEWICHTUNG FÜR DAS MAXMODN- MODELLANTEIL UND VERSCHIEDENEN DAUERSTUFEN (VERÄNDERT NACH WEILGUNI, 2007).....	16
TABELLE 10: ÜBERBLICK ÜBER DIE METHODIK IM "MEHR-STANDBEIN" ANSATZ (GUTKNECHT ET AL. 2006).....	17
TABELLE 11: 5-TAGES VORREGENHÖHE ZUR BESTIMMUNG DER BODENFEUCHTEKLASSE (DVWK, 1984).....	23
TABELLE 12: DIE 4 BODENTYPEN LAUT SCS- VERFAHREN (DVWK, 1984).....	23
TABELLE 13: CN- WERTE IN ABHÄNGIGKEIT VON BODENTYP UND BODENNUTZUNG FÜR DIE BODENFEUCHTEKLASSE II (MANIAK, 2005)	24
TABELLE 14: GIUB- GEBIETE UND DIE DAZUZÄHLENDE PARAMETERWERTE	33
TABELLE 15: DURCHSCHNITTLICHER JAHRESNIEDERSCHLAG UND MAXIMALER TAGESNIEDERSCHLAG DER IM HYDROGRAPHISCHEN JAHRBUCH VERÖFFENTLICHTEN STATIONEN.....	36
TABELLE 16: JÄHRLICHKEITEN DER 24 STUNDEN NIEDERSCHLÄGE DER VERWENDETEN REIHEN	37
TABELLE 17: MITTELWERT, STANDARDABWEICHUNG UND ANZAHL DER MESSJAHRE DER VERWENDETEN NIEDERSCHLAGSREIHEN....	37
TABELLE 18: DIE VERWENDETEN BEMESSUNGSNIEDERSCHLÄGE FÜR DIE EINZUGSGEBIETE (BEMESSUNGSNIEDERSCHLÄGE RED)	38
TABELLE 19: JÄHRLICHKEIT DER JÄHRLICHEN MAXIMAL BEOBACHTETEN SCHEITELWERTE NACH GUMBEL.....	39
TABELLE 20: MITTELWERT, STANDARDABWEICHUNG UND LÄNGE DER MESSREIHE DER BEOBACHTETEN SCHEITELWERTE	39
TABELLE 21: JÄHRLICHKEIT DER JÄHRLICHEN MAXIMAL BEOBACHTETEN SCHEITELWERTE UNTER AUSSCHLUSS DER AUSREIßER	39
TABELLE 22: MITTELWERT, STANDARDABWEICHUNG UND LÄNGE DER MESSREIHE DER BEOBACHTEN SCHEITELWERTE UNTER AUSSCHLUSS DER AUSREIßER	40
TABELLE 23: ERGEBNISSE (ABFLUSS) DER KOAXIALDIAGRAMME FÜR DEN STATISTISCHEN 30, 100 UND 150 JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAG.	41
TABELLE 24: DIE ABFLUSSBEIWERTE DER EINZUGSGEBIETE BEI DEN ERSTELLTEN KOAXIALDIAGRAMMEN FÜR DIE STATISTISCHEN 30, 100 UND 150 JÄHRLICHEN NIEDERSCHLAG	41
TABELLE 25: FLÄCHENVERTEILUNG DER EINZUGSGEBIETE IN KM ² LAUT DKM (VOGIS, 2005) UND DEREN CN- WERTE	42
TABELLE 26: VERGLEICH DER ERMITTELTEN CN- WERTE UND DER AUS DEN EREIGNISSEN OPTIMISIERTEN WERTE	42
TABELLE 27: ERGEBNISSE DES SCS- MODELLES- CN WERTE SIND AUS DEN UNTERSUCHTEN EREIGNISSEN OPTIMIERT	44
TABELLE 28: ERGEBNISSE DES SCS- MODELLES- CN WERTE SIND AUS DEN DATEN DES DKMS ERMITTELT	44
TABELLE 29: DIE MIT DER FORMEL NACH KREPS ERMITTELTEN KONZENTRATIONSZEITEN.	45
TABELLE 30: ERGEBNISSE DER SPITZENABFLUSSFORMEL NACH JÄHRLICHKEIT, SCS- VERFAHREN; CN- WERTE AUS DKM.	45
TABELLE 31: ERGEBNISSE DER SPITZENABFLUSSFORMEL NACH JÄHRLICHKEIT, SCS- VERFAHREN; CN- WERT AUS OPTIMIERUNG	45
TABELLE 32: DIE ERRECHNETEN KONZENTRATIONSZEITEN NACH DER FORMEL VON BLÖSCHL	46
TABELLE 33: ERMITTELTEN UND GERECHNETE R- WERTE DER EINZUGSGEBIETE [GERECHNET: H= 24 H]	46
TABELLE 34: TABELLE DER VERWENDETEN FLÄCHENABMINDERUNGSFAKTOREN (ARF)	46
TABELLE 35: TRANSFORMIERTER NIEDERSCHLAG BEZOGEN AUF DIE EINZUGSGEBIETE UND JÄHRLICHKEITEN DES TAGESNIEDERSCHLAGES [24 H].....	47
TABELLE 36: ERGEBNISSE DES GRADEX- VERFAHRENS, R-WERTE WURDEN ERRECHNET.....	47
TABELLE 37: ERGEBNISSE DES GRADEX- VERFAHRENS, R- WERTE ERMITTELT	48
TABELLE 38: ERGEBNISSE DES GRADEX- VERFAHRENS, R- WERTE ERMITTELT, GRADEX- WERT ALS MITTEL AUS DEN BEOBACHTETEN EREIGNISSEN	48
TABELLE 39: ERGEBNISSE DES GIUB- VERFAHRENS, DAS GELB HINTERLEGTE GEBIET (N1) IST DAS AM EHESTEN ZUTREFFENDE (SIEHE KARTE); HHQ 50% - SOLL IN ETWA EINEM 50- 100 EREIGNIS ENTSPRECHEN.	49
TABELLE 40: ERGEBNISSE DES GIUB- VERFAHRENS, Q90% ENTSPRICHT DER HÜLLKURVE ÄHNLICH WUNDT.	50
TABELLE 41: ERGEBNISSE DES "TALSPERRENSICHERHEIT"- VERFAHRENS- HQ5000 SOLL DAS 3,7FACHE EINES ZU ERWARTENDEN HQ 100 SEIN.	50
TABELLE 42: SPEZIFISCHE ABFLÜSSE [L/s/km ²] NACH DER EMPIRISCHEN FORMELSAMMLUNG DER WLW- BLUDENZ.....	52
TABELLE 43: ABFLUSSPENDEN DER VERSCHIEDENEN VERFAHREN UND EINZUGSGEBIETE (DIE VERWENDETEN NIEDERSCHLAGSWERTE HABEN EINE ANGESCHÄTZTE WIEDERKEHRWAHRSCHEINLICHKEIT VON 30 JAHREN)	53
TABELLE 44: ABFLUSSPENDEN DER VERSCHIEDENEN VERFAHREN UND EINZUGSGEBIETE (DIE VERWENDETEN NIEDERSCHLAGSWERTE HABEN EINE ANGESCHÄTZTE WIEDERKEHRWAHRSCHEINLICHKEIT VON 100 JAHREN)	54

TABELLE 45: ABFLUSSPENDEN DER VERSCHIEDENEN VERFAHREN UND EINZUGSGEBIETE (DIE VERWENDETEN NIEDERSCHLAGSWERTE HABEN EINE ANGESCHÄTZTE WIEDERKEHRWAHRSCHEINLICHKEIT VON 150 JAHREN	55
FORMEL 1: ERMITTLUNG DES GEBIETSNIEDERSCHLAGES MITTELS DER <i>POLYGON-</i> ODER <i>THIESSEN- METHODE</i>	13
FORMEL 2: MITTLERER NIEDERSCHLAG EINES STARKNIEDERSCHLAGSEREIGNISSES IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGFLÄCHE (LORENZ UND SKODA 2001)	15
FORMEL 3: MITTLERER NIEDERSCHLAG EINES STARKNIEDERSCHLAGSEREIGNISSES IN ABHÄNGIGKEIT VON DER NIEDERSCHLAGSFLÄCHE (PETER LORENZ, AM 28.04.2009 PER MAIL)	15
FORMEL 4: EMPIRISCHE FORMEL ZUR ERMITTLUNG DES K- PARAMETERS	16
FORMEL 5: UNTERSCHREITUNGSWAHRSCHEINLICHKEIT NACH DER I. ASYMPTOTISCHEN EXTREMWERTVERTEILUNG NACH GUMBEL ...	19
FORMEL 6: RÜCKHALTEBERECHNUNG IM KOAXIALDIAGRAMM (LUTZ, 1984; IHRINGER, 2002)	21
FORMEL 7: KURVENNUMMER (CN) ALS FUNKTION DER BODENART, BODENNUTZUNG, VORREGEN UND JAHRESZEIT	22
FORMEL 8: UMRECHNUNG CN(II) IN ANDERE BODENFEUCHTEKLASSEN	23
FORMEL 9: EREIGNISABFLUSSHÖHE NACH MERZ (2006A)	24
FORMEL 10: SPITZENABFLUSS NACH JÄHRLICHKEIT LAUT SCS- VERFAHREN ABGEÄNDERT NACH HAGEN ET.AL. (2007)	25
FORMEL 11: KONZENTRATIONSZEIT NACH KREPS (1975) (KREPS IN SACKL, 1987, HAGEN ET. AL. 2007)	25
FORMEL 12: ANFANGSVERLUSTE UND SPEICHERKAPAZITÄT NACH SCS- METHODE	25
FORMEL 13: GRUNDIDEE DES GRADEX- VERFAHRENS (MERZ 1999)	26
FORMEL 14: UMRECHNUNG DES ABFLUSSVOLUMENS IN EINEN ABFLUSSSCHEITEL (MERZ ET AL. 1999)	27
FORMEL 15: BEZIEHUNG DES SCHEITELABFLUSS Q_S UND DEM MITTLEREN ABFLUSS Q_M ÜBER DIE DAUER H	27
FORMEL 16: ERMITTLUNG DER KONZENTRATIONSZEIT T_C NACH DER FORMEL VON BLÖSCHL IN MERZ ET AL. (1999)	28
FORMEL 17: BERECHNUNG DER R - WERTE WENN DIE KONZENTRATIONSZEIT, T_C , IST KLEINER DER HALBEN NIEDERSCHLAGSDAUER. .	28
FORMEL 18: BERECHNUNG DER R - WERTE WENN DIE KONZENTRATIONSZEIT, T_C , IST GRÖßER DER HALBEN NIEDERSCHLAGSDAUER. .	28
FORMEL 19: ERMITTLUNG DES GEBIETSNIEDERSCHLAGES (MERZ ET AL., 1999)	29
FORMEL 20: BERECHNUNG DES "GRADEX"- WERTES (MERZ ET AL. 1999)	29
FORMEL 21: BERECHNUNG DES ABFLUSSES MIT EINER JÄHRLICHKEIT T_G (HIER 10 JAHRE), ENTSPRECHEND DER GUMBELVERTEILUNG IM GRADEX- VERFAHREN	30
FORMEL 22: BERECHNUNG DES HILFSWERTES Q_I	30
FORMEL 23: BERECHNUNG DER JÄHRLICHKEITEN T KLEINER GLEICH T_G (HIER 10 JAHRE)	31
FORMEL 24: BERECHNUNG DER JÄHRLICHKEITEN T GRÖßER T_G	31
FORMEL 25: ERMITTLUNG DER 90% HÜLLKURVE NACH DEM GIUB- VERFAHREN	32
FORMEL 26: ERMITTLUNG DES $HHQ_{50\%}$ - WERTES (ABSCHÄTZUNG DES HQ_{100})	33
FORMEL 27: "ABGEKÜRZTES VERFAHREN" DES LEITFADENS, FORMEL DES BEMESSUNGSEREIGNISSES (GUTKNECHT ET AL. 2007)	34

8. Anhang

Anhang A: Ereignisse zur Ermittlung der Koaxialdiagramme

R...	Rückhalt beobachtet
qb...	Basisabfluss
M...	Monat des Ereignisses
D...	Dauer in Stunden
H...	Niederschlagshöhe in mm

Einzugsgebiet:

Bürs (Alvier)

Anzahl der Ereignisse:

48

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	22.72	75	5	32.25	70.9	10.05.1991
2	3.43	115	6	1.5	9	26.06.1991
3	8.34	53.22	7	4	12.3	09.07.1991
4	4.9	85	12	36	162.2	21.12.1991
5	44.64	33.2	3	35.75	71.7	14.03.1992
6	10.25	48.47	7	2	11.11	08.07.1992
7	12.68	51.36	7	6.75	22.7	09.07.1992
8	10.47	65.93	7	2.25	21.4	10.07.1992
9	7.6	40.5	8	1.25	11.4	03.08.1992
10	19.18	51.2	8	1.5	46.5	07.08.1992
11	16.28	39.49	8	3	23.1	21.08.1992
12	31.48	80	9	9.25	51.8	01.09.1992
13	16.87	86.6	5	7.5	44	28.05.1993
14	7.9	65.9	6	2.25	12.1	21.06.1993
15	11.9	65	7	9.25	32.2	05.07.1993
16	24.17	110	7	20	65.8	10.07.1993
17	4.35	117.5	7	0.5	7.1	17.07.1993
18	9.69	110	7	3.25	26.8	18.07.1993
19	8.15	100	5	8.5	18.9	26.05.1994
20	27.9	50.34	7	2.25	46.4	04.07.1994
21	25.29	145	7	10.75	58.3	07.07.1994
22	6.88	90	7	1.75	21	11.07.1995
23	6.8	50	5	3	10.5	10.05.1996
24	10.99	90	6	3.25	27.2	07.06.1996
25	7.45	70	6	5.75	22.3	21.06.1996
26	10.66	90	8	14	33.9	27.08.1996
27	8.37	85	6	1.5	15.3	08.06.1997

28	5.41	80.9	8	1.5	11.4	08.08.1997
29	15.59	20.4	11	5	24.6	06.11.1997
30	6.48	55	6	3.75	20.8	25.06.1998
31	9.07	75	7	8.5	29.8	27.07.1998
32	13.7	75	10	8.5	39.2	24.10.1998
33	12.73	44.41	8	2	18.04	05.08.1999
34	11.73	100	8	6.75	42.1	10.08.1999
35	8.48	95	8	5.25	19.3	12.08.1999
36	22.2	190	9	26.25	92.6	25.09.1999
37	10.32	85	7	6	26.8	24.07.2000
38	11.55	55	8	5.5	27.2	21.08.2000
39	30.14	80	9	23	85.57	21.09.2000
40	17.29	90	7	10.25	41.8	15.07.2001
41	23.11	65	8	16.75	59.5	04.08.2001
42	11.68	110	9	7	30.49	08.09.2001
43	14.56	48.98	6	2.75	19.29	14.06.2003
44	11.25	37.12	8	4.25	24.49	29.08.2003
45	18.65	110.3	6	8.75	30.19	11.06.2004
46	15.8	125	6	3.75	51.53	27.06.2004
47	20.8	130	7	10.25	58.09	08.07.2004
48	7.7	90	6	3.5	16.93	03.06.2005

Einzugsgebiet:

Klösterle HD (Alfenz)

Anzahl der Ereignisse:

33

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	10.56	80	5	28.25	47	26.05.1981
2	7.26	250	6	4	17.1	10.06.1981
3	46.9	135	7	47.75	94.8	18.07.1981
4	18.28	180	7	9	28	24.07.1981
5	7.5	250	6	6.5	14.8	12.06.1982
6	1.82	75	8	1	9.8	13.08.1982
7	23.07	40	9	11.25	34.8	26.09.1982
8	31.47	110	8	29.75	51.6	02.08.1983
9	6.37	160	7	4.75	17.7	25.07.1984
10	10.51	95	7	5.25	35	29.07.1985
11	12.27	160	7	9	33.7	30.07.1985
12	14.36	230	8	17.25	69.1	05.08.1985
13	39.16	100	8	37.25	109.9	25.08.1985
14	10.4	130	7	9.75	44.5	06.07.1986
15	16.48	95	8	5.5	25.7	23.08.1986
16	15.38	110	9	12.5	50.4	26.09.1987
17	9.98	160	7	3	22	29.07.1988
18	22.36	150	8	11.5	76.4	20.08.1988
19	12.69	110	8	10.25	37.3	29.08.1988
20	1.95	85	8	2.5	8.3	21.08.1989
21	11.66	170	6	7	20	20.06.1990
22	13.58	170	6	7.25	40.5	30.06.1990
23	34.9	130	7	5	43.9	12.07.1991
24	11.18	95	11	31	58.8	21.11.1992
25	6.53	210	7	6	22	25.07.1993
26	5.7	100	8	3.75	23.9	22.08.1993
27	21.4	165	7	2	37.7	04.07.1994

28	12.72	140	8	6.5	38.4	10.08.1994
29	4.13	265	7	3.5	13.6	14.07.1995
30	24.02	76.7	8	10.25	57.1	27.08.1995
31	4.59	125	6	1.75	9.5	07.06.1996
32	13.02	101	6	6	22.6	21.06.1996
33	17.61	110	8	13.25	34.8	27.08.1996

Einzugsgebiet: Klösterle OEBB (Alfenz)

Anzahl der Ereignisse: 20

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	6.93	125	6	9.5	31.3	07.06.1998
2	12.15	80	7	4.75	22.9	27.07.1998
3	7.64	40	9	5.75	13.9	03.09.1998
4	67.56	210	5	58.5	149.1	20.05.1999
5	7.02	370	6	5.25	28.8	02.06.1999
6	13.23	185	6	4.25	18.1	06.06.1999
7	7.48	160	8	3.5	27.2	10.08.1999
8	13.39	105	9	22.5	89.6	25.09.1999
9	10.7	200	7	8.25	47.7	24.07.2000
10	11.27	80	9	15	23.7	07.09.2000
11	7.41	144	7	8.75	37.2	15.07.2001
12	27.02	160	7	12.75	35.6	19.07.2001
13	0.6	85	8	0.75	4.8	17.08.2001
14	13.79	50	10	2.75	15.8	20.10.2001
15	5.69	150	6	11.25	21.6	07.06.2002
16	11.88	120	7	9.25	33.2	03.07.2002
17	11.46	85	8	6.75	18.6	20.08.2002
18	9.08	92	6	3.25	15.59	12.06.2003
19	10	53	8	6.75	22.7	29.08.2003
20	4.81	130	6	3.75	17.87	25.06.2005

Einzugsgebiet: Garsella (Lutz)

Anzahl der Ereignisse: 32

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	6.74	125	6	12	14.33	01.06.1989
2	6.02	65	8	4	17.96	14.08.1989
3	8.33	230	6	5	15.9	08.06.1990
4	8.23	170	6	8	19	20.06.1990
5	30.08	280	6	48	99.7	16.06.1991
6	11.81	90	7	5	36.6	12.07.1991
7	15.84	90	12	37	153.5	21.12.1991
8	5.82	180	4	20	34	28.04.1992
9	18.89	100	8	17	51.2	31.08.1992
10	8.08	200	5	11	23.11	27.05.1993
11	21.06	115	6	16	32.23	11.06.1993
12	8.1	200	7	11	30.7	05.07.1993
13	31.14	200	7	19	57.6	10.07.1993
14	9.19	150	8	16	25.4	10.08.1993
15	11.66	80	8	10	29.4	22.08.1993
16	11.81	210	7	11	29.94	06.07.1994

17	19.16	150	8	10	37.82	10.08.1994
18	23.79	180	9	13	40.9	08.09.1994
19	3.14	200	8	5	9.3	23.08.1995
20	9.35	170	7	7	22.8	05.07.1996
21	10.79	200	8	15	33.3	27.08.1996
22	18.09	380	5	61	153.8	20.05.1999
23	16.47	230	6	10	36.66	03.06.1999
24	20.24	120	9	24	83.4	25.09.1999
25	17.19	111	6	6	26.88	14.06.2000
26	14.99	180	7	9	37.57	24.07.2000
27	26.94	190	9	23	75	20.09.2000
28	6.96	140	6	9	16.86	06.06.2001
29	15.96	270	7	27	53.2	19.07.2001
30	8.16	200	7	11	33.71	09.07.1997
31	26.83	50	8	20	42.81	28.08.2003
32	5.57	110	6	2	12.42	19.06.2002

Einzugsgebiet:

Schruns (Litz)

Anzahl der Ereignisse:

43

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	20.75	120.8	5	7.25	21.8	27.05.1993
2	4.59	96.87	5	2.75	8.7	30.05.1993
3	11.61	80	6	2.5	14.2	20.06.1993
4	3.63	75	6	2	6.2	21.06.1993
5	11.03	75	7	8.5	28.3	06.07.1993
6	7.01	99.39	7	3.25	15.3	18.07.1993
7	10.22	90	7	6	22	25.07.1993
8	15.16	40	8	4	23.9	23.08.1993
9	7.03	140	6	10.25	22.7	09.06.1994
10	2.13	130	6	2.25	9.3	19.06.1994
11	28.34	100	7	2	37.7	04.07.1994
12	11.29	70	8	3.75	23.5	06.08.1994
13	3.5	46	8	1.25	6.7	07.08.1994
14	18.05	75	8	6.5	38.4	10.08.1994
15	18.86	90.3	9	7.5	23	02.09.1994
16	9.74	65	9	3.25	15.6	14.09.1994
17	3.92	100	7	1.5	10.7	02.07.1995
18	5.31	120	7	3.5	13.6	14.07.1995
19	43.95	50	8	11	57.1	27.08.1995
20	16.22	75	5	21.5	42.5	28.05.1996
21	2.7	80	6	1.75	9.5	07.06.1996
22	10.58	55	6	5.75	22.6	21.06.1996
23	8.9	65	7	4.5	24.9	05.07.1996
24	10.88	105	8	13.5	34.8	27.08.1996
25	14.74	105	6	12	45	27.06.1997
26	43.6	120	7	50.75	102.2	04.07.1997
27	10.64	30	10	3.75	15.3	10.10.1997
28	20.9	50	7	9.75	27.1	27.07.1998
29	11.12	65	8	13.5	26	22.08.1998
30	55.33	200	5	60	149.8	20.05.1999
31	31.42	70	9	22.25	89.6	25.09.1999

32	10.11	120	6	5.25	26.05	14.06.2000
33	37.86	70	7	23.5	92.7	23.07.2000
34	7.6	52	9	15	15.72	06.09.2000
35	16.99	100	5	8	36.73	16.05.2001
36	9.01	95	7	16.5	34.86	09.08.2001
37	14.68	140	9	18.75	32.73	08.09.2001
38	7.25	80	11	14.75	27.9	16.11.2002
39	15.69	51	7	7	23.2	24.07.2003
40	17.16	50	7	7.25	23.93	27.07.2003
41	10.83	140	9	20.75	34.39	23.09.2004
42	16.35	100	7	15.75	33.97	18.07.2005
43	11.65	115	8	17.25	28.13	19.08.2005

Einzugsgebiet: Partenen (III)
Anzahl der Ereignisse: 15

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	4.5	70.8	6	7	20.6	14.06.2000
2	2.4	37.5	6	4	4.5	23.06.2000
3	5	27.4	6	7	17	28.06.2000
4	5.6	40	7	5.75	12.6	07.07.2001
5	7	40	7	4.5	14	08.07.2001
6	5.7	17	8	7	15.6	30.08.2001
7	15.9	17	10	4	25.7	20.10.2001
8	3.9	41	6	7	12.5	24.06.2002
9	11.26	30	7	3.5	15.4	13.07.2002
10	13.21	30	8	3	16.6	01.08.2002
11	7.8	40	8	7	24.6	03.08.2002
12	8.34	20	7	7	21.3	21.07.2003
13	10.89	20	7	6.25	28.3	27.07.2003
14	2.29	100	6	16.25	18.6	01.06.2004
15	3.79	15	10	10.25	16.6	26.10.2004

Einzugsgebiet: Vermunt (III)
Anzahl der Ereignisse: 24

Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	1.2	100	5	16	13.1	31.05.2000
2	4.3	189.8	6	7	20.6	14.06.2000
3	2.7	139.8	6	4	4.5	23.06.2000
4	3.8	75.9	6	7	17	28.06.2000
5	3.2	129	7	33	40.9	10.07.2000
6	3.1	180	6	9.5	14.7	30.06.2001
7	4.5	145	7	5.75	12.6	07.07.2001
8	5.8	120	7	4.5	14	08.07.2001
9	4.7	115	7	12.75	48	15.07.2001
10	2.8	52	8	1.5	7.1	30.08.2001
11	3.9	66	8	7	15.6	30.08.2001
12	11.2	35	10	4	25.7	20.10.2001
13	2.6	161	6	7	12.5	24.06.2002
14	6.2	150	7	21.25	47.6	03.07.2002

15	6.1	100	7	3.5	15.4	13.07.2002
16	9.48	100	8	3	16.6	01.08.2002
17	6.11	90	8	7	24.6	03.08.2002
18	8.26	160	6	2	18.1	14.06.2003
19	6.75	90	7	7	21.3	21.07.2003
20	6.21	95	7	6.25	28.3	27.07.2003
21	8.17	74	8	2.25	14.4	18.08.2003
22	6.08	65	8	6.5	20.6	28.08.2003
23	7.4	130	8	14.25	64.1	19.08.2004
24	3.67	40	10	10.25	16.6	26.10.2004

Einzugsgebiet:

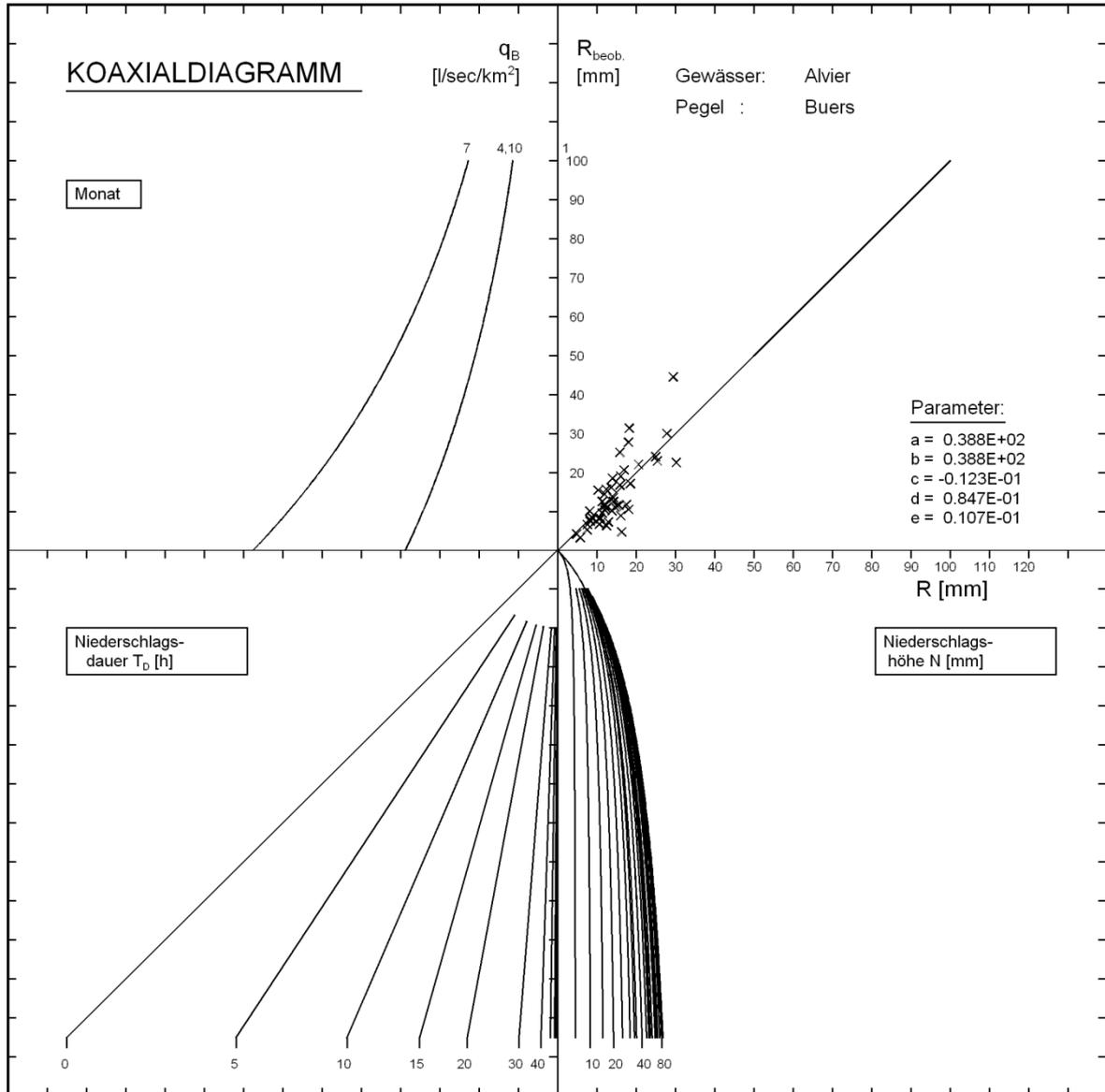
Silvretta (III)

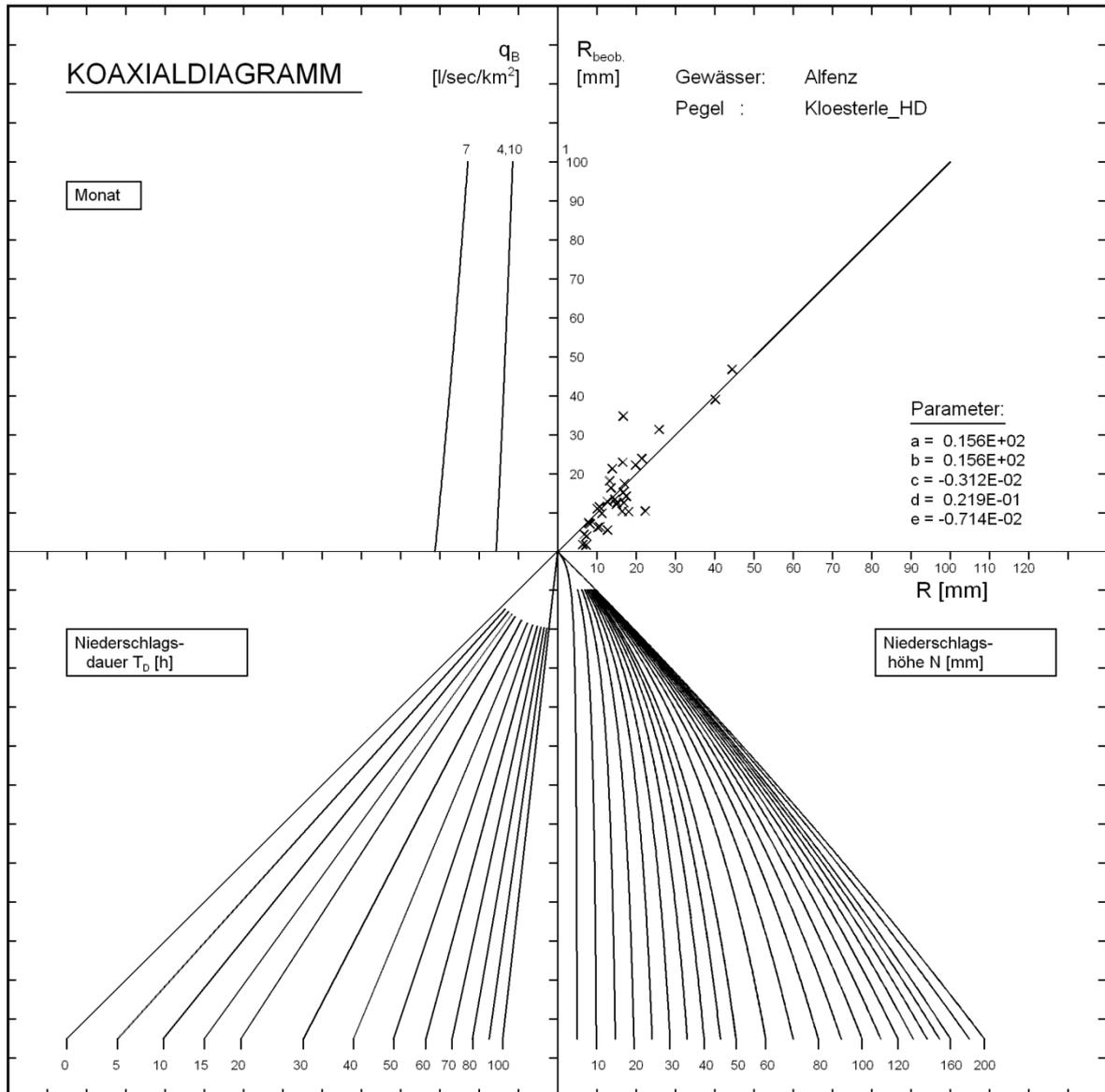
Anzahl der Ereignisse:

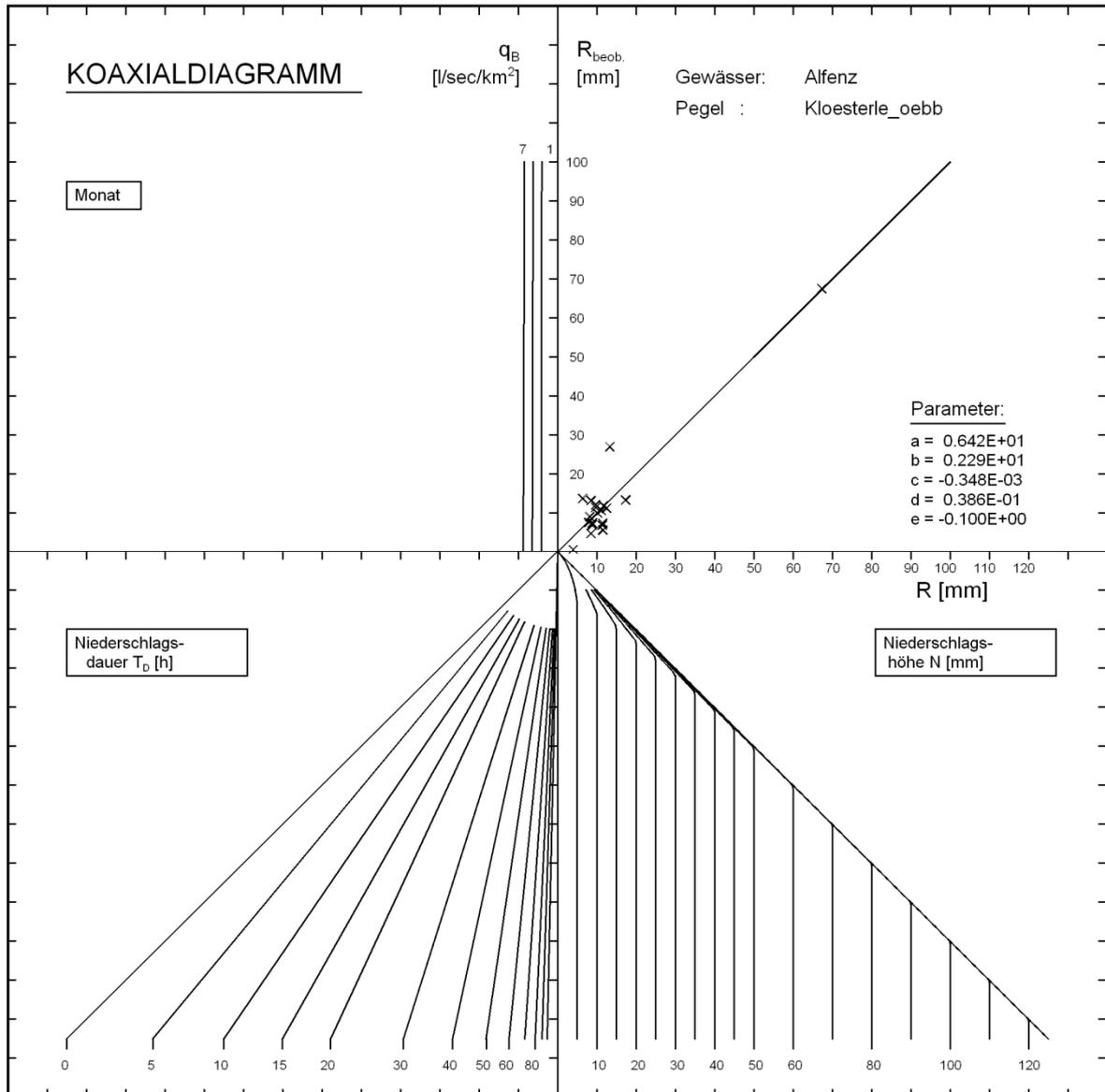
17

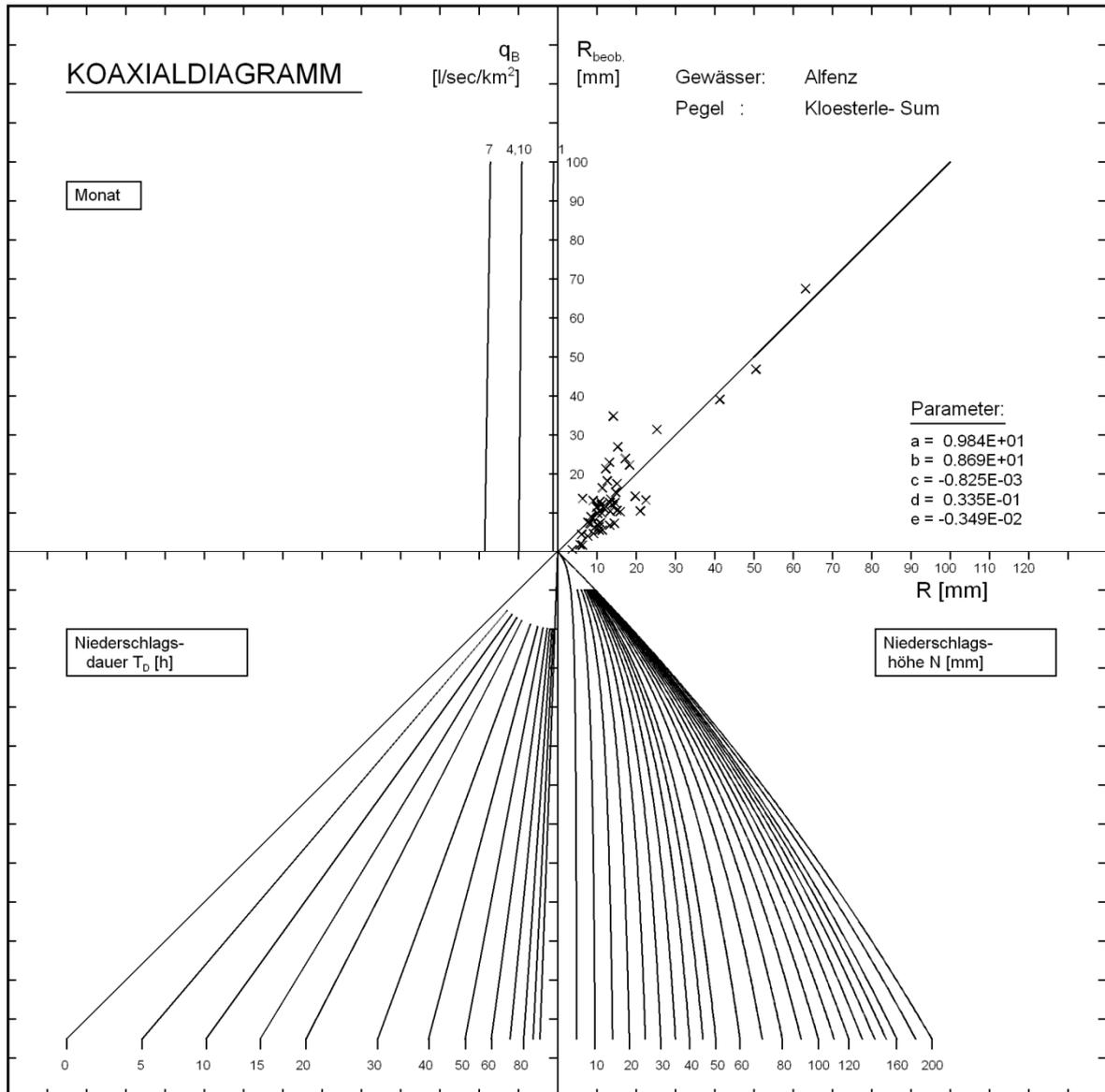
Nr.	R	qb	M	D	H	Datum
1	3	431.2	6	7	20.6	14.06.2000
2	1.6	280.4	6	4	4.5	23.06.2000
3	3	120	7	33	40.9	10.07.2000
4	1.9	290	6	9.5	14.7	30.06.2001
5	2.1	440	7	5.75	12.6	07.07.2001
6	2.1	290	7	4.5	14	08.07.2001
7	3.1	190	8	7	15.6	30.08.2001
8	7.2	40	10	4	25.7	20.10.2001
9	1.6	350	7	21.25	47.6	03.07.2002
10	2.74	190	7	3.5	15.4	13.07.2002
11	5.3	300	8	3	16.6	01.08.2002
12	1.94	260	8	7	24.6	03.08.2002
13	2.29	500	7	6.25	28.3	27.07.2003
14	4.86	350	8	2.25	14.4	18.08.2003
15	3.14	90	6	16.25	18.6	01.06.2004
16	0.93	170	6	2.75	8.1	10.06.2004
17	2.35	40	10	10.25	16.6	26.10.2004

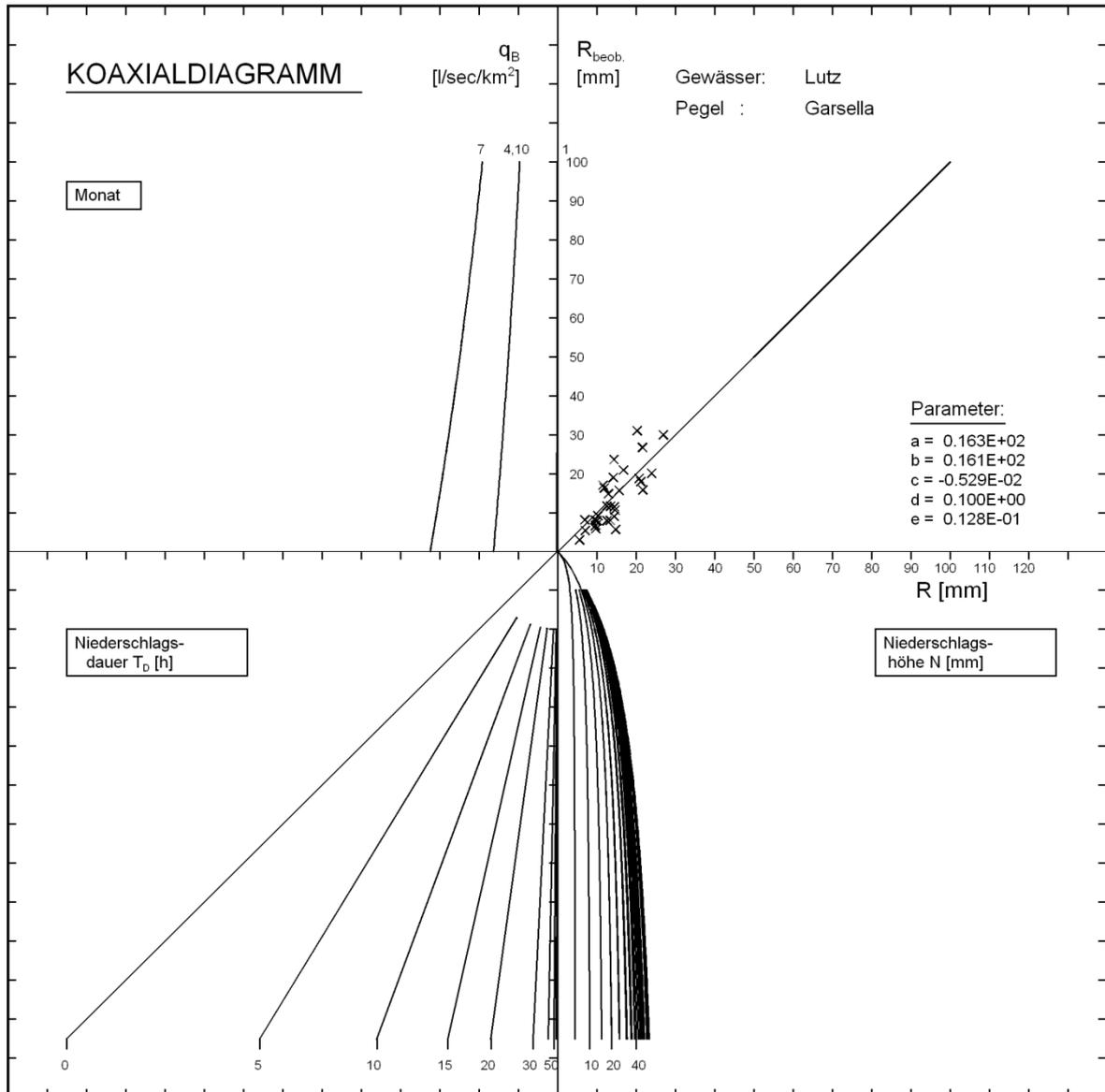
Anhang B: Ausgearbeitete Koaxialdiagramme

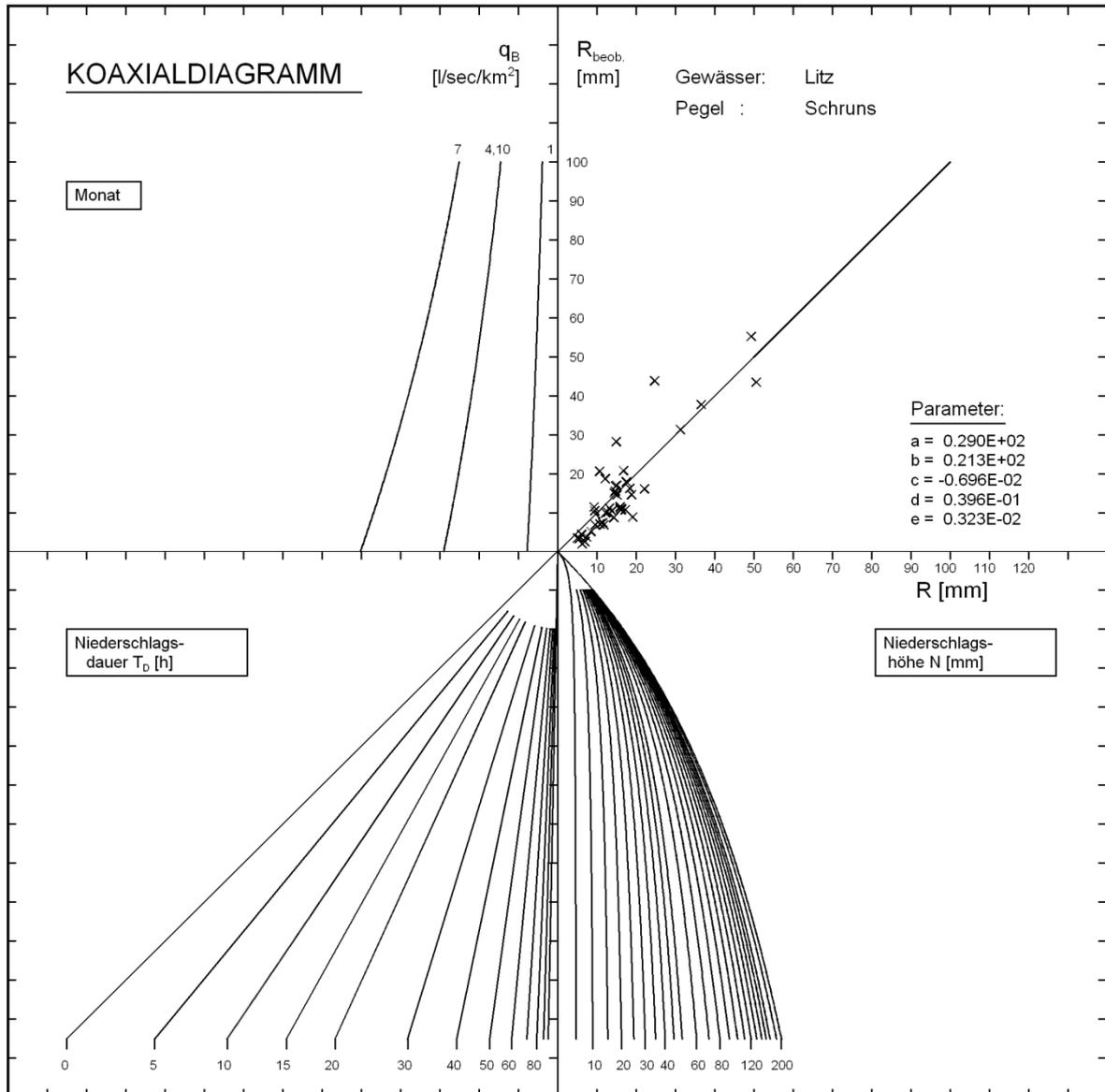


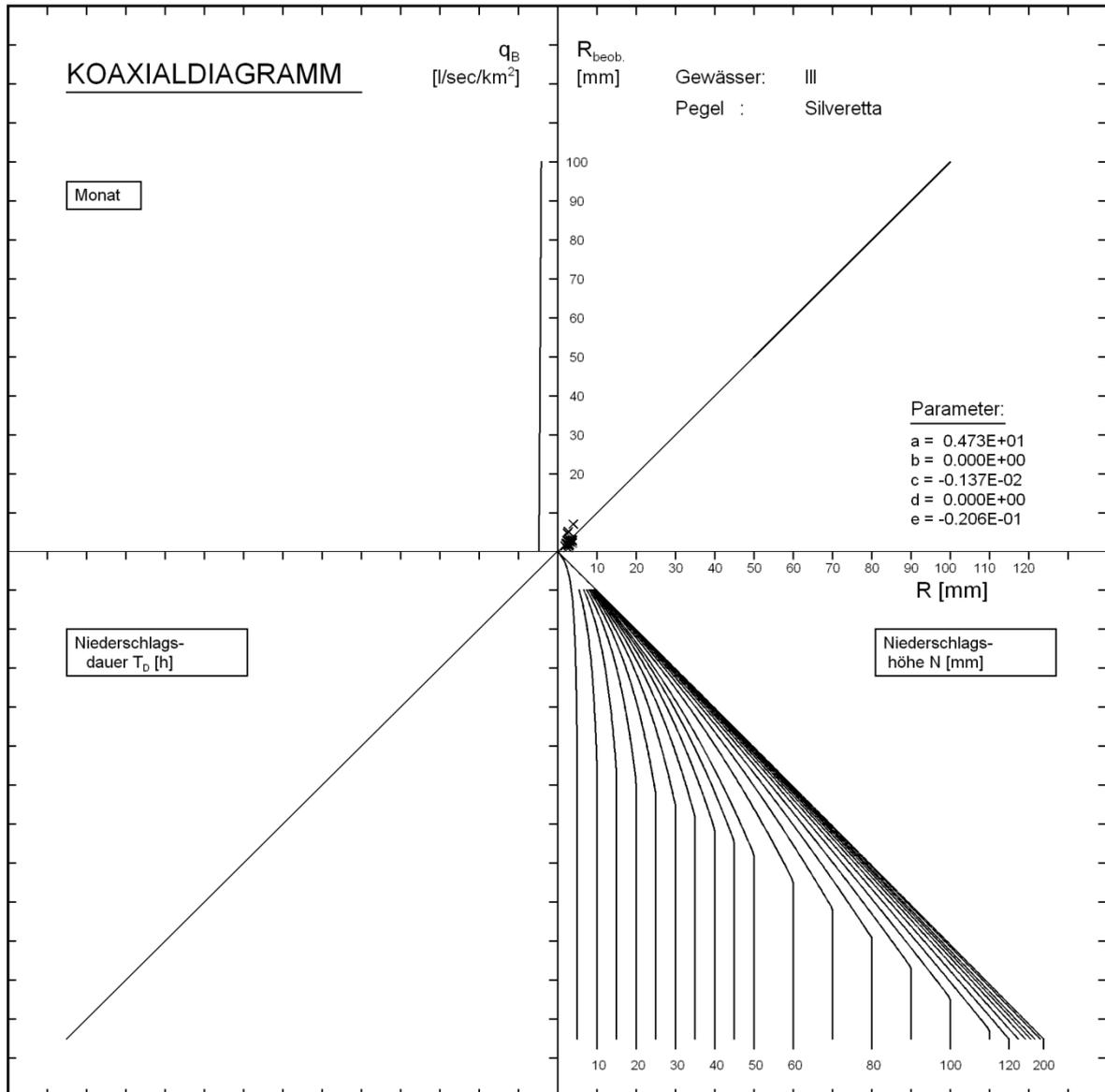


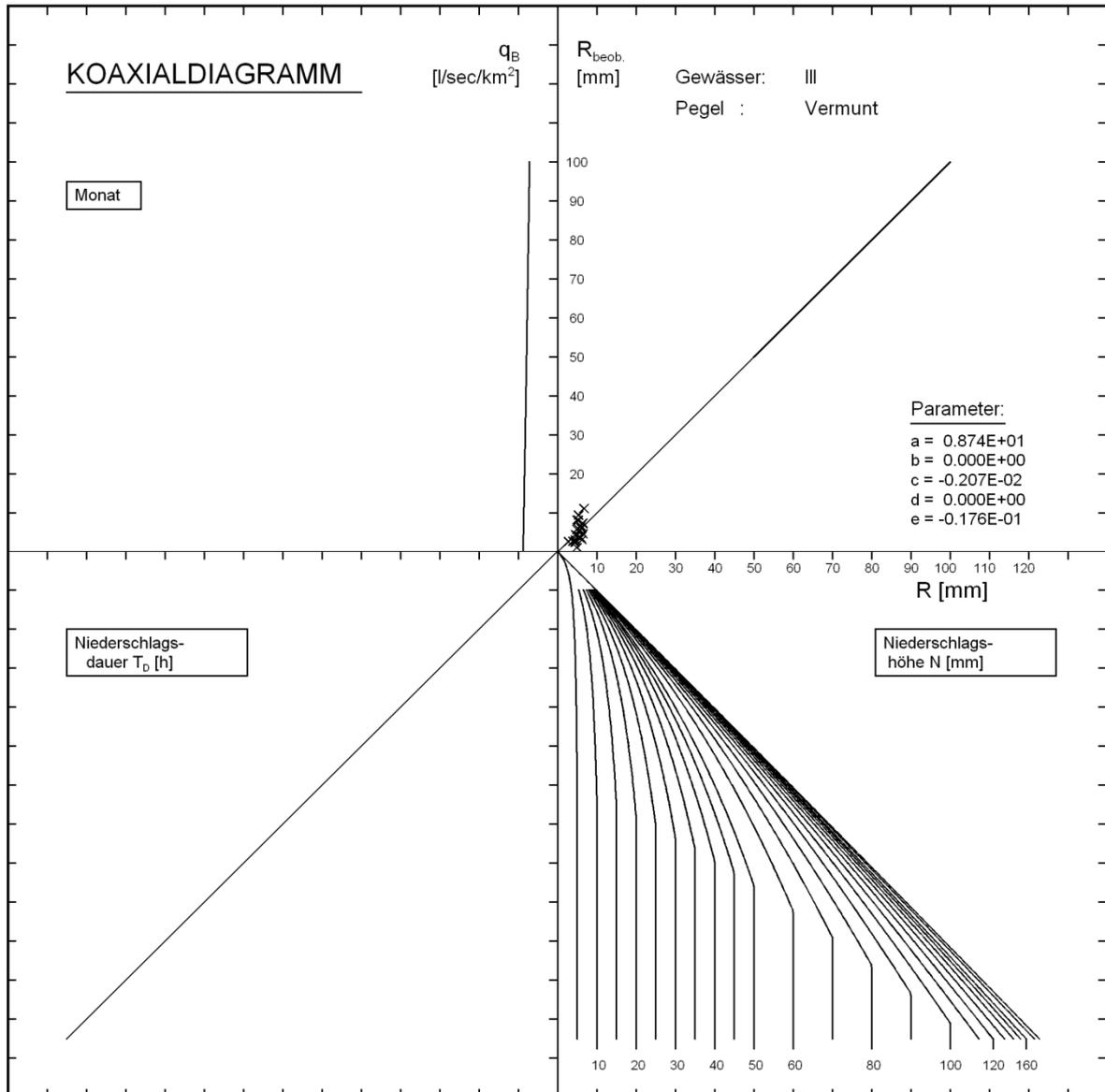


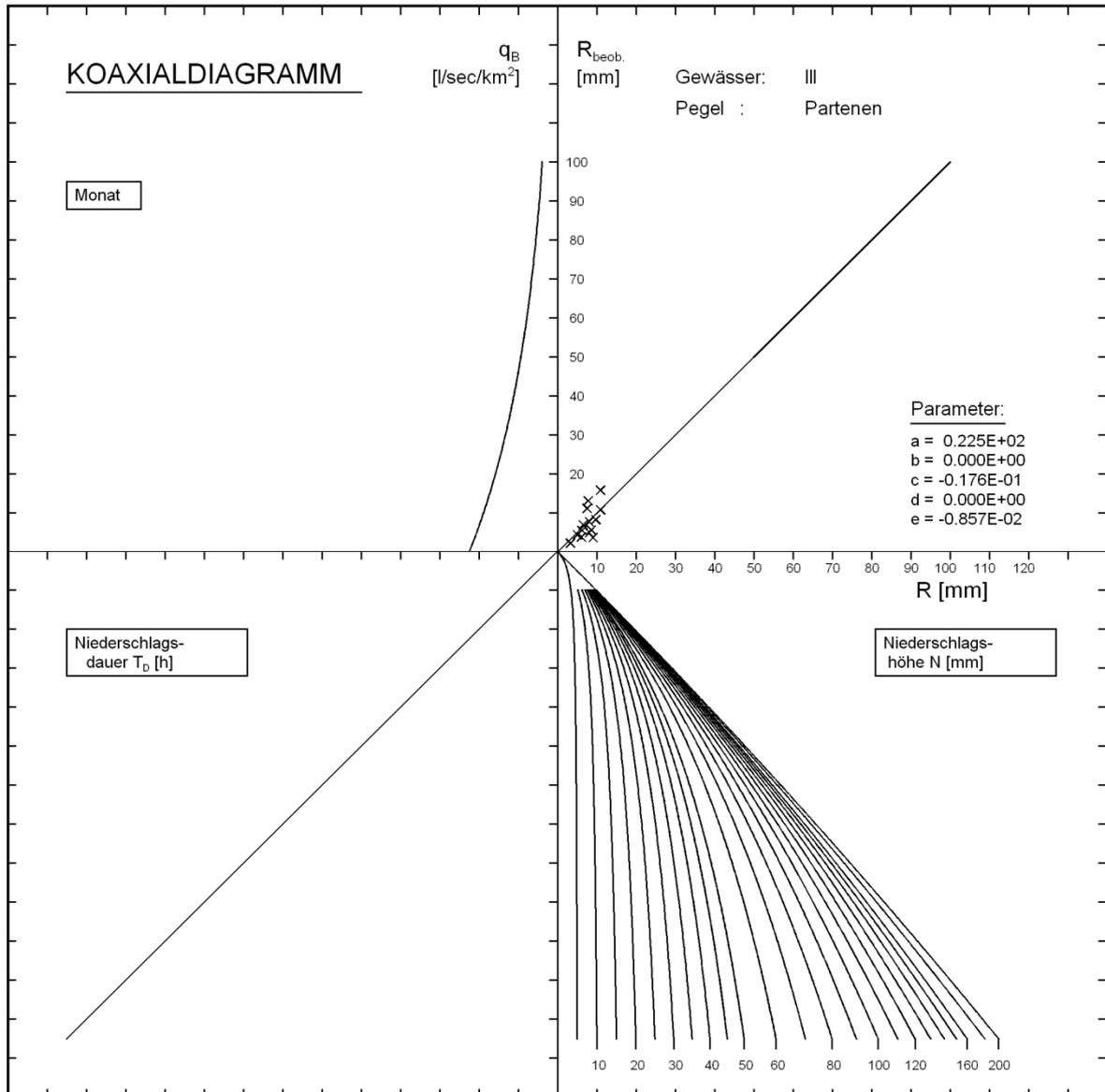




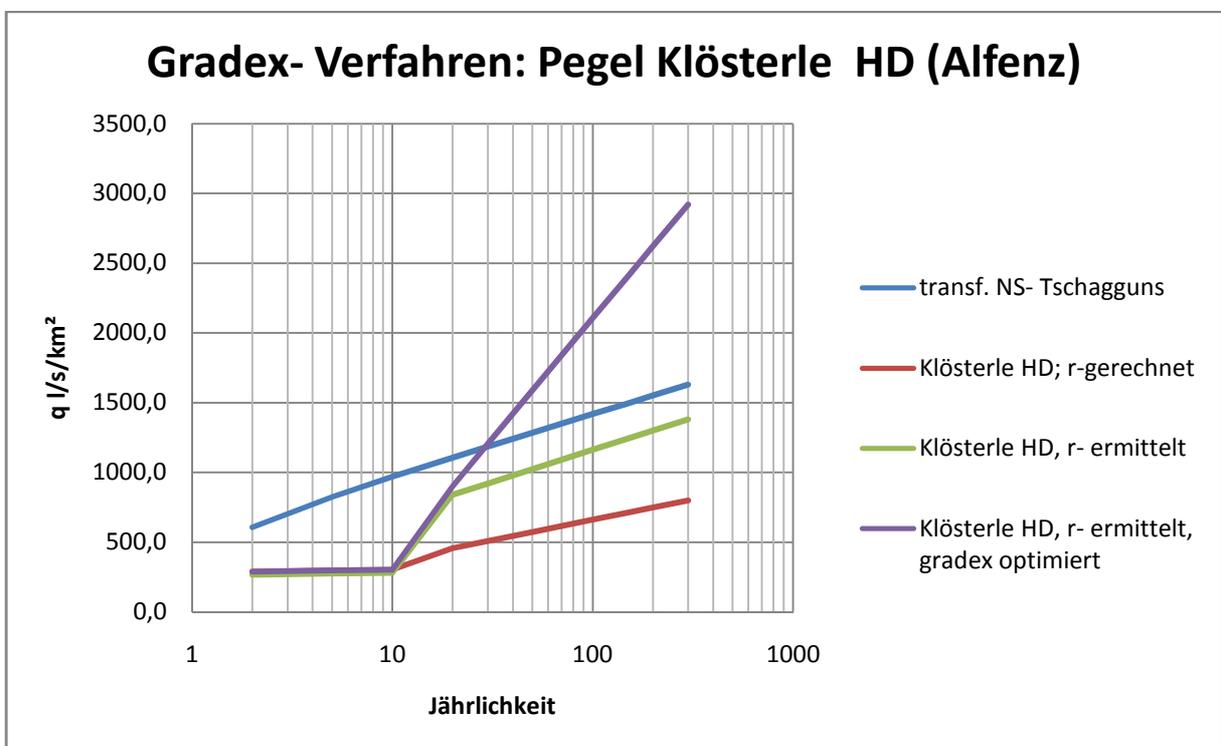
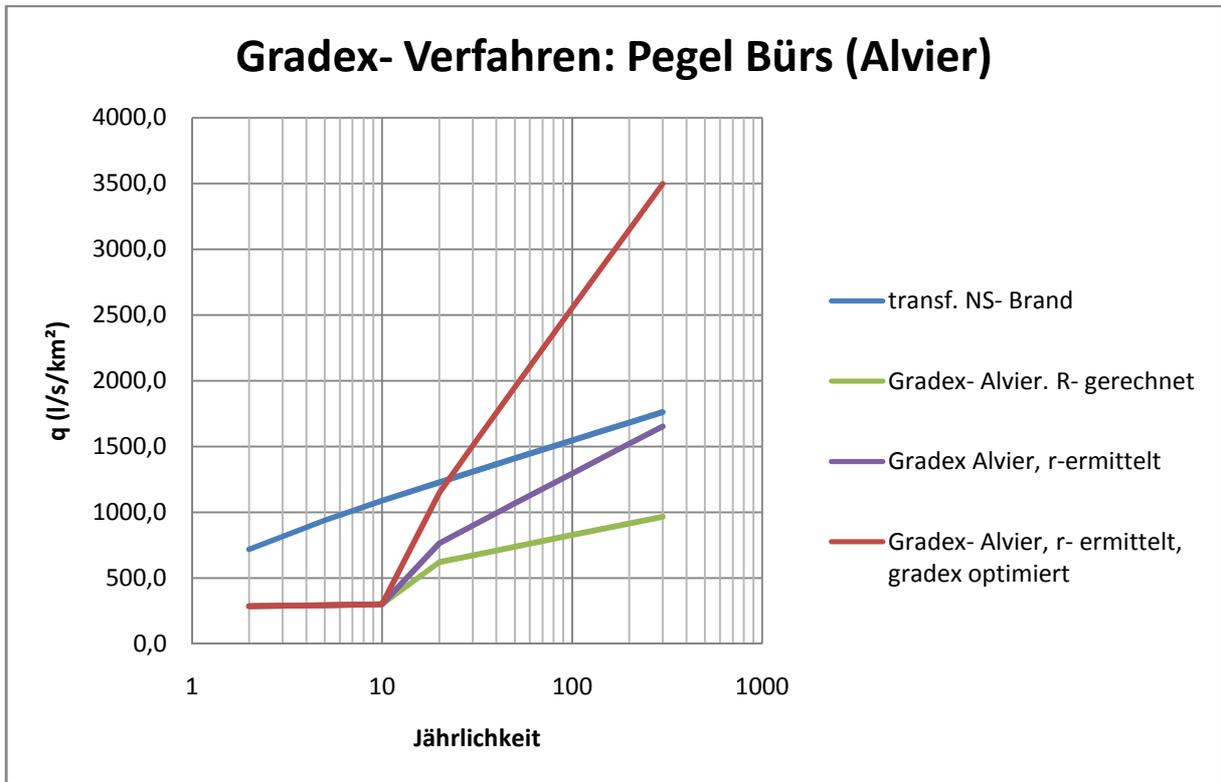




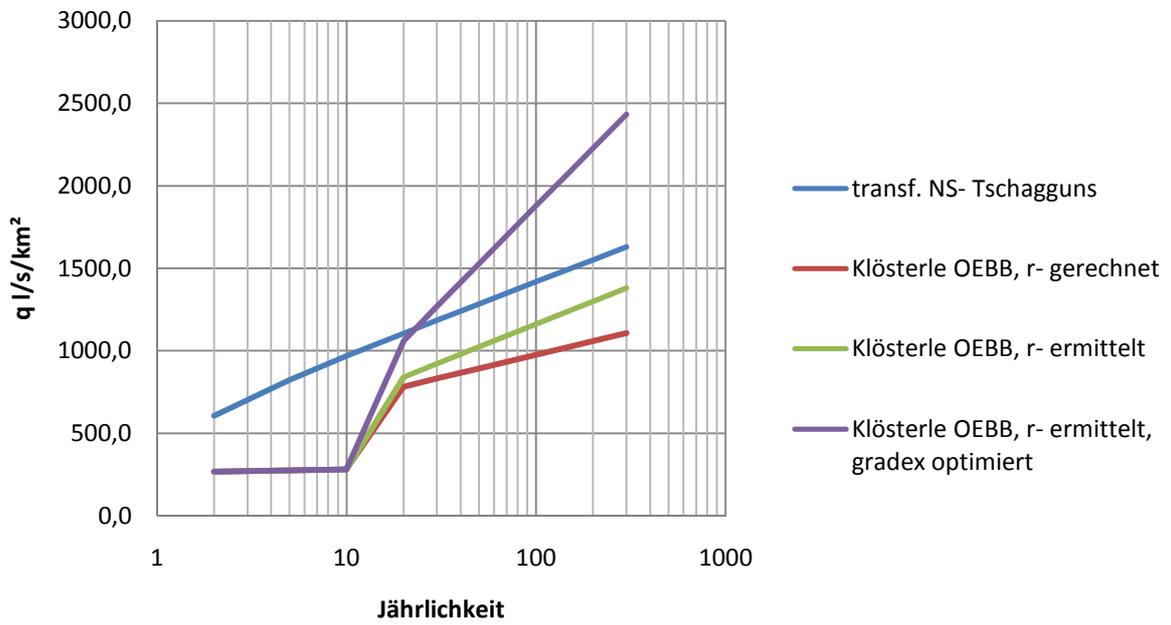




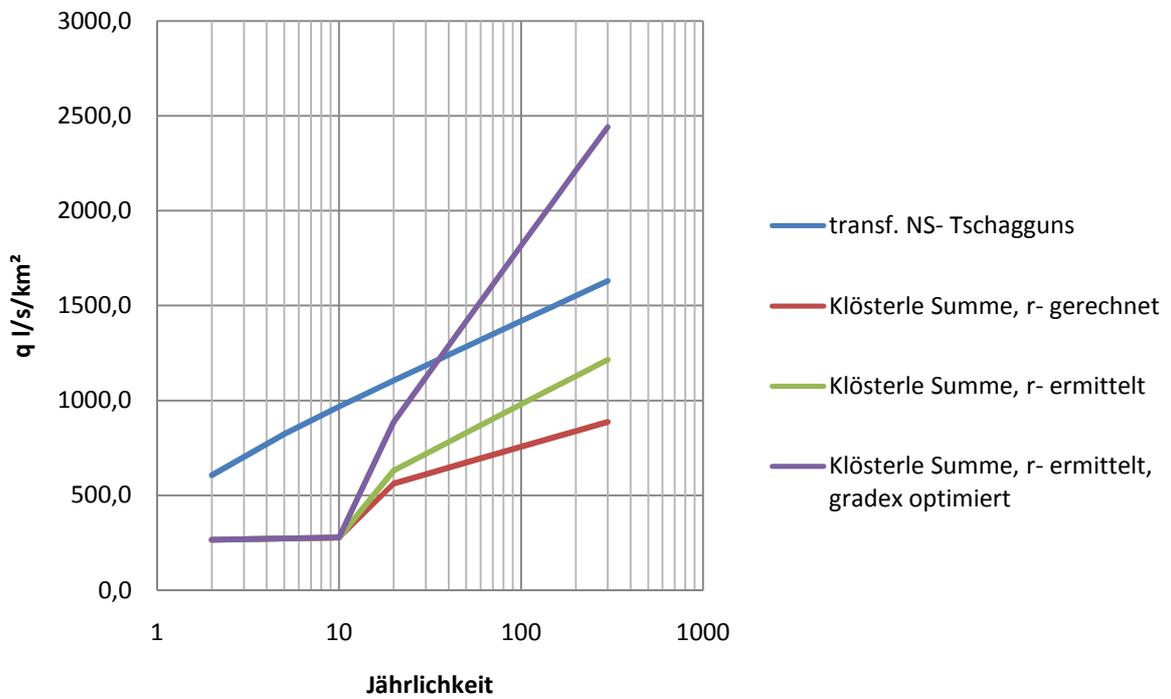
Anhang C: Gradex- Graphen für die Einzugsgebiete

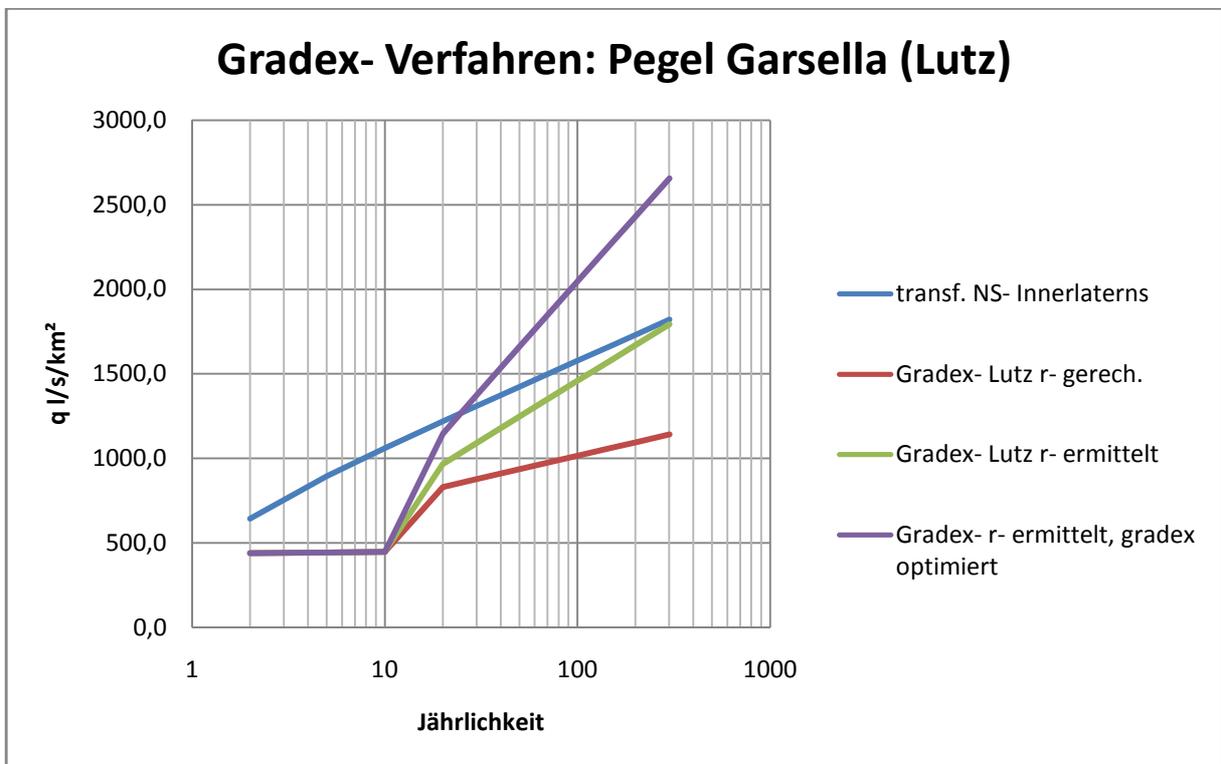
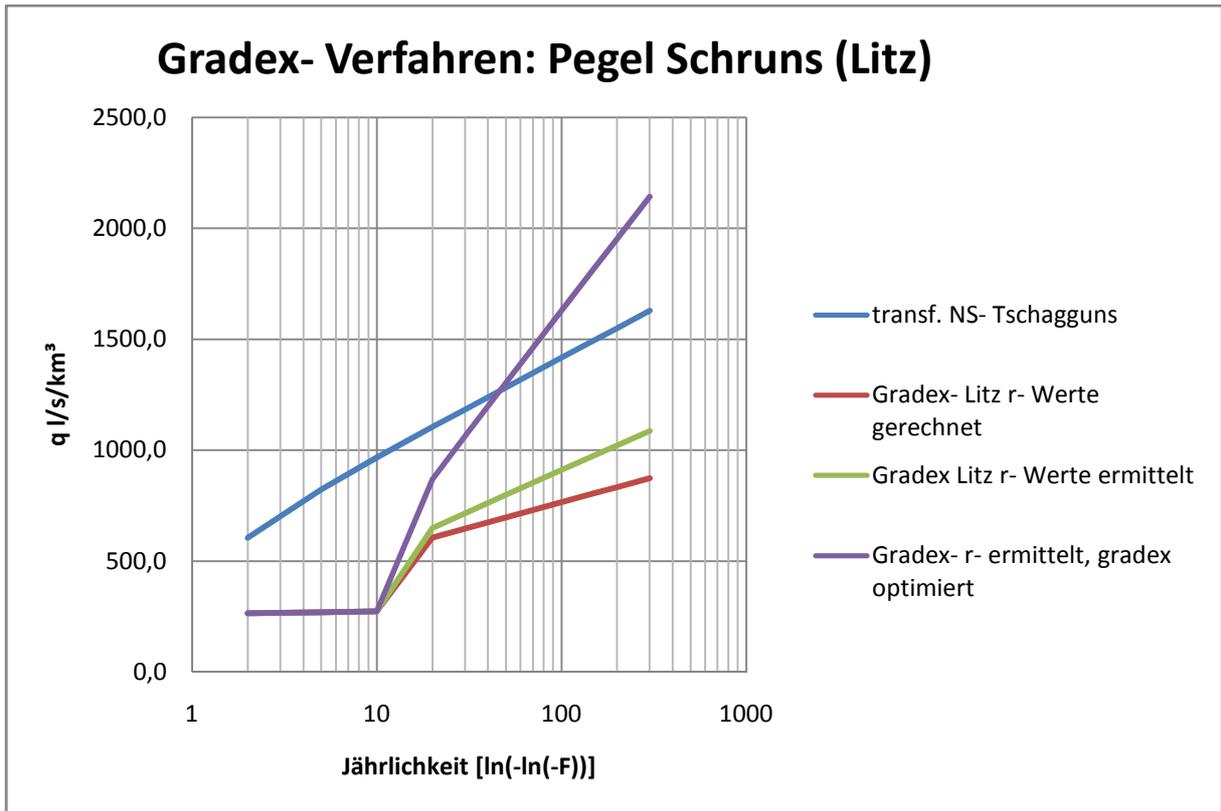


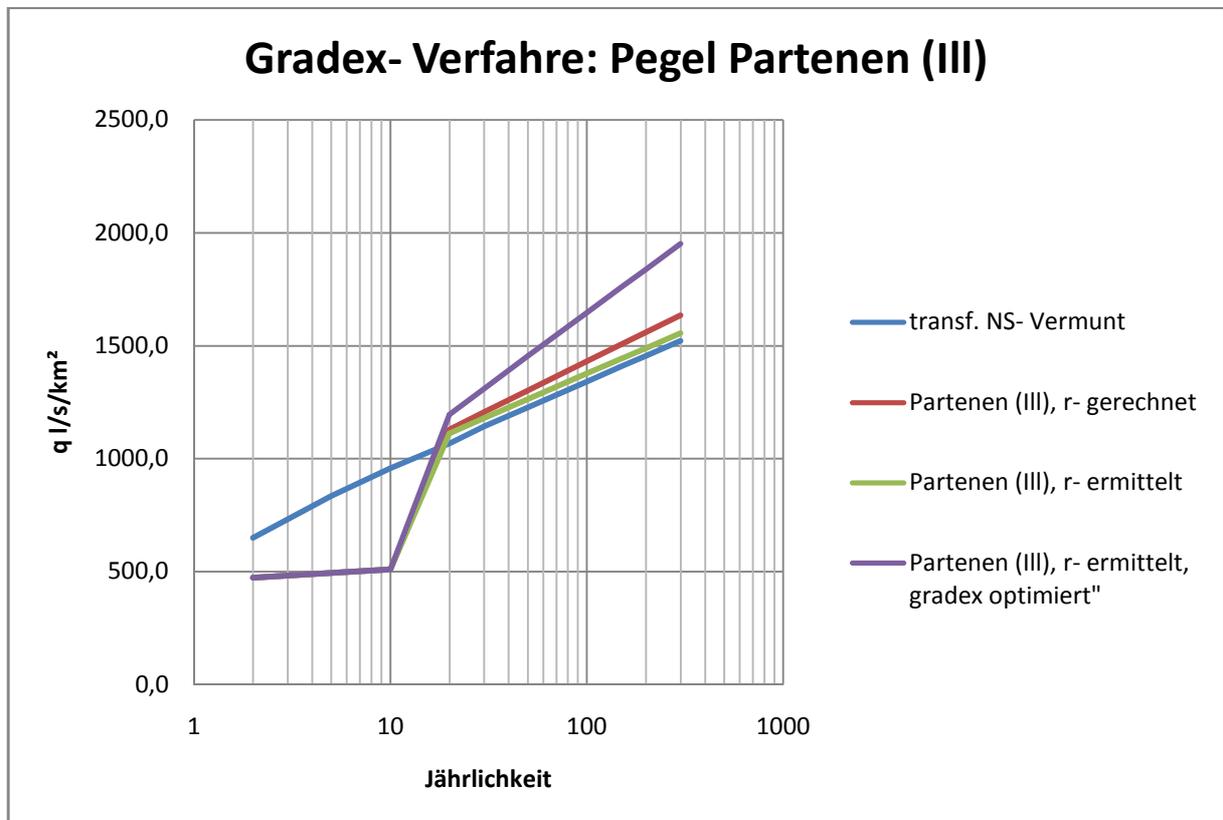
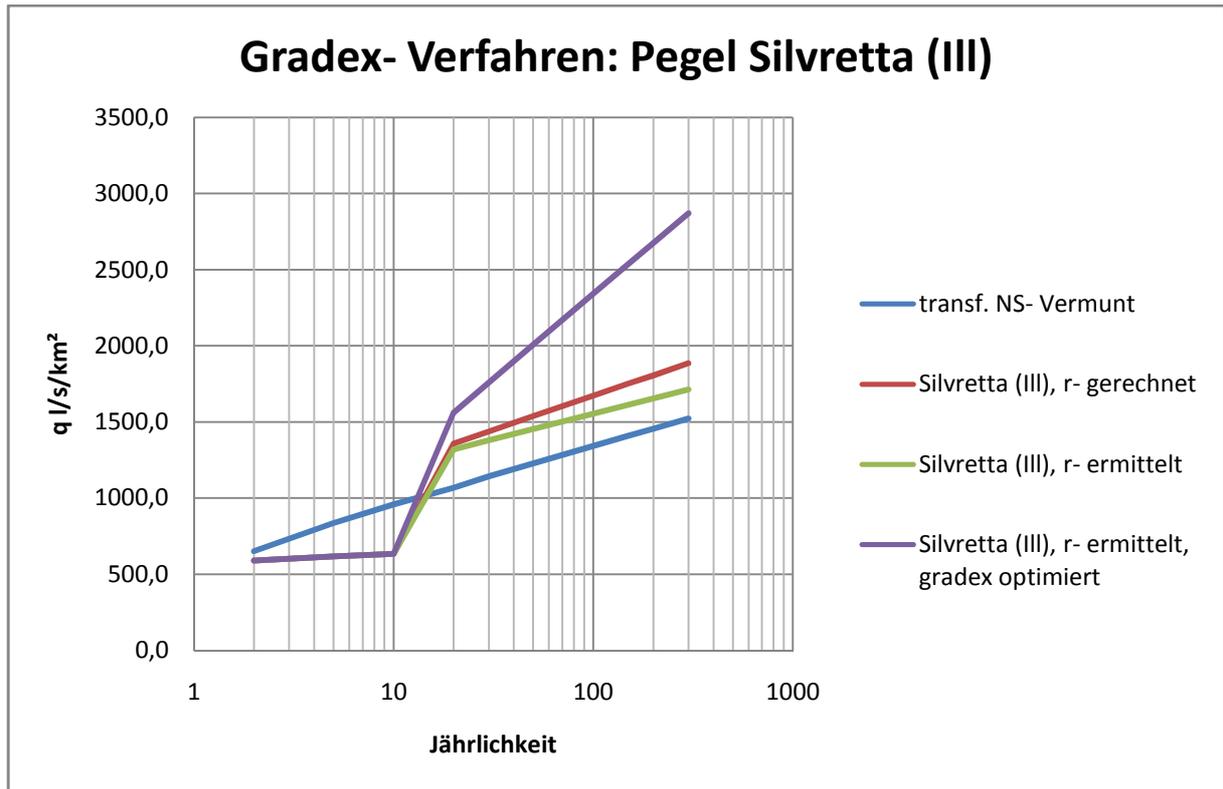
Gradex- Verfahren: Pegel Klösterle OEBB (Alfenz)

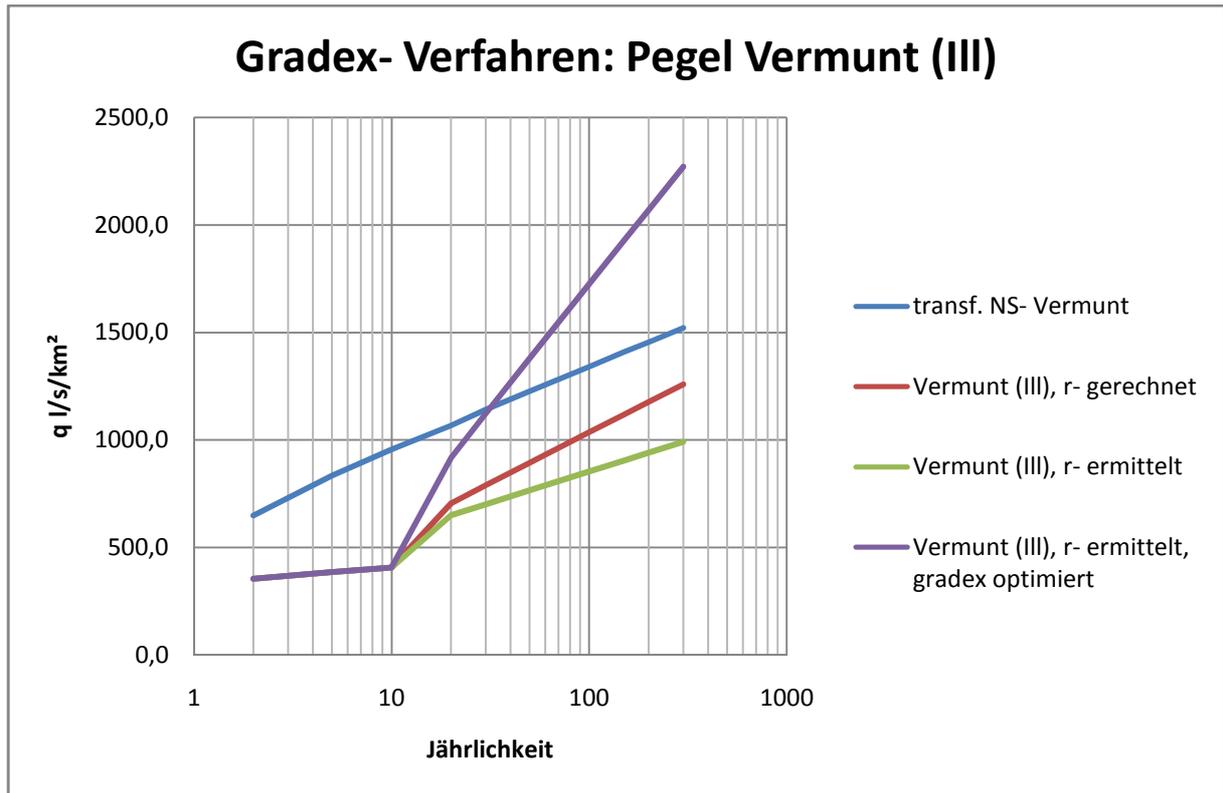


Gradex- Verfahren: Klösterle Summe (Alfenz)









Anhang D: Formelblatt der WLV- Bludenz, wie es auch dem Gefahrenzonenplan beigelegt ist.

Exemplarisch ist das Einzugsgebiet der Litz dargestellt.

Bachname:	Litz	Gemeinde	Grosses Walsertal
		Bezirk:	Bludenz

EG 103.00 km² Jahres-NS: 1442 mm
max. Tages-NS: 122.2 mm

Hu 673 m i₆₀: 59.9 mm/h
Ho 2769 m
Bachlauflänge 22,090.50 m

Abflusskoeffizient:

	Anteil	Abflussbeiwert
Skipisten:	0.24	0.66
Wiese-Weide:	0.41	0.51
Wald:	0.33	0.28
versiegelte Fläche:	0.01	0.90

Gesamtabflusskoeffizient () 1.0 0.47

			Abfluß m ³ /s	spez. Abfluß m ³ /s*km ²
Wundt				
HQ=13,8*E ^{0,6}	HQ=	222.63 m ³ /s	222.63	2.16
Hoffmann				
q=A/(1+E) ^{0,4}	q=	1.48 m ³ /s*km ²	152.67	1.48
A (gew.)	A:	5.5 flaches Hügelland 9.5 steiles Felsgelände 9.5 gewählt		
Hofbauer-Hampel				
HQ=c*h*(E-E _{Wald}) ^{0,5}	HQ=	309.55 m ³ /s	309.55	3.01
c:0,25 (dim. loser Faktor) h:max. Tagesniederschlag (100-j. NS)				
Hofbauer				
HQ=42/(E ^{0,5})	HQ=	4.14 m ³ /s	4.14	0.04

Hampel			
$HQ=0,4 \cdot h_{100} \cdot E^{0,5} \cdot (1 - Hu/2400)$			
HQ=	168.08 m³/s	168.08	1.63

		Abfluß m³/s	spez. Abfluß m³/s*km²
Kresnik			
$HQ=25 \cdot E^{0,5}$	HQ= 253.72 m³/s	253.72	2.46
Kürsteiner			
A=dim. loser Faktor			
$HQ=A \cdot E^{0,667}$	HQ= 241.70 m³/s	241.70	2.35
Lauterburg			
$HQ=i_{60} \cdot E/3,6$	HQ= 806.96 m³/s	806.96	7.83
SCS-Verfahren			
$T_c=(0,868 \cdot L^3/HD)^{0,385}$	Tc= 1.78 h		
$T_p=Tr/2+0,6 \cdot T_c$	Tp= 1.37 h		
Tr (angenommen):	0.60 h		
r _{r,t} :	16.64 m³/s*km²		
$A= E \cdot a \cdot r \cdot Tr \cdot 3600$	A= 1743027.86 m²		
$HQ= A/(5400 \cdot T_p)$	HQ= 236.07 m³/s	236.07	2.29

Tc: Konzentrationszeit 266.17 2.58
 Tr: Regendauer
 Tp: Anlaufzeit
 a: Abflußkoeffizient
 r: Regenintensität def. nach Regendauer und Jährlichkeit

Gewählt: HQ₁₅₀= 195 m³/s 1896.7 l/s/km²

English summary of the Master thesis:

Title:

Specific flood runoff in the district of Bludenz/ Vorarlberg (Austria).

Written at the Institute of Mountain Risk Engineering/ University of Natural Resources and Applied Life Sciences/ Vienna, Austria.

Advisor: Ao. Univ. Prof. DI. Dr. Johannes Huebl

Abstract

The determination of the (specific) runoff of a defined return period is a very ambitious challenge for engineers. The methods and also the solutions are afflicted with enormous uncertainty. Especially in the field of flood protection, land use planning e.g.- the uncertainty should be as low as possible.

This study defines the specific runoffs of predefined return periods for the district of Bludenz/ Vorarlberg. For the elaboration of the different runoffs with a return period of 30, 100 and 150 years we will use different methods/ approaches with available data from precipitation and runoff.

This work attempts to define specific values for smaller catchments. The common methods for the runoff estimation are not suitable for smaller catchments in any way. Additionally to the problems of estimation, there are huge uncertainties with the precipitation. In morphologic intense structured areas, like the study area, the transfer of point information's to areal information is limited. The precipitation gauges register punctual heavy precipitation just rarely. The calculated design precipitations are also used for calculation in the models; these values are much higher than the precipitation values out of the extreme- values statistics.

This study was based on the following models/ approaches:

- Extreme- value statistics (Gumbel Type I. distribution)
- Koaxialdiagram
- SCS- Approach
- GRADEX- Approach and
- envelope methods (GIUB- Method and the "Check dam safety" –Approach)

In several projects (like HORA, Check dam safety) the combination of different approaches were used to define the design runoff. This method is known as "multi- pillar"- Approach (Gutknecht et al. 2006).

The used models and approaches lead to different results, however there is a mainstream trend in the number of values visible. The regions with similar runoff behaviour are similar to the regions with similar yearly precipitation; also the CN-values of the observed catchments from the SCS- Approach support this assumption.

The "Großes Walsertal" (Lutz valley) is located in the north of the district of Bludenz, it's characterised with upper proportional runoff values, very similar to the "Bregenzerwald" valley which is also located in the same geological formation called "Flysch". The catchments of "Alvier" and "Alfenz" form a belt of similar runoff behaviour in the south of the "Großes Walsertal". Further, in the south is the beginning and middle Montafon valleys with a number of side valleys bear smaller runoff values as their northern neighbours. Because of the marginal storage capacity of the soil and the increasing yearly precipitation because of the high altitude, the runoff of the Innermontafon rise again.

The trend shows decreasing runoff values from north to south and a rising of these values on the end of the northward looking valley (Montafon) because of higher values in precipitation and low values of soil storage capacity in high located catchments

1. Introduction:

a. Goal

Specific runoff values are in heavy demand by engineers in the field of flood protection and torrent control. With the knowledge of the catchment area the determination of the design runoff is rather simple and fast. These values are used for the designing of mitigation measures, like check dams, retention areas or bridges.

With the long tradition of the water energy enterprise in Vorarlberg, quite a good data pool of discharge measurement stations (gauges) is available. These discharge measurement stations are operated by the Austrian hydrological service- bureau for water management in Vorarlberg, the Illwerke AG (public limited company) and the Austrian National Railways. In addition to this discharge measurement station there is also a number of rain gauges, with long time series of measurements (more than 100 years) available.

With this data, we will determine the specific runoff values [$l/s/km^2$, or $m^3/s/km^2$] of the different regions in the district. Goal of this work is the determination of specific runoff values with the statistical return periods of 30, 100 and 150 years.

b. The investigation area

The district of Bludenz is located in the western province of the Republic of Austria, Vorarlberg. Bludenz is the south's district of this province and borders' in the south on Switzerland, in the west on Lichtenstein, in the north on the Austrian districts Feldkirch and Dornbirn and finally in the east on the province of Tyrol.

In the district of Bludenz live as of 1.1.2006 63.601 persons in 29 communities. 9,7 per cent (Internet 1) of the area is permanently settled. There are five main valleys in the district of Bludenz, these are Walgau, Brandnertal, Montafon, Klostertal and the Große Walsertal.

c. Relevant hydrological properties

The district of Bludenz is characterised with a high annual precipitation and dependent on this with great snow heights. The mountains of Rätikon, Arlberg and Silvretta are the first barrier for the main weather situation; this is west- weather from the Atlantic. The high annual precipitation is combined with high runoff coefficients. The geology of the district has also an influence.

Friebe et al. (2007) defined three main mountain ranges with their main characteristics.

Limestone Alps (S- Walgau- Rätikon): They consist of dolomite with fault lines of sulphate rocks. This area has, after Friebe, a "very special scenic dynamic". The Rätikon Alps are located in the west of the district.

Silveretta crystalline (Montafon- valley): The Klostertal valley spans from west to east and it is also the tectonic boarder of the semimetal east Alpine (limestone Alps) in the north and

the Silveretta crystalline in the south. The main rock formations are amphibolites, gneiss and serpentinite.

Flysch (N- Walgau- Großes Walsertal valley): The flysch- zone is located in the north of the district. The main rocks are marl. This kind of rock is very erodible. “Flysch” means sliding; in this area a lot of mass movements like landslides occur.

The district of Bludenz is very mountainous. The runoff characteristic of the area shows a high seasonal variability of floods. Floods occur just in the period of summer.

2. Data

a. Gauge and precipitation data

This work is mainly based on the data from the runoff measurement stations and rain gauges from the Austrian hydrographical service and Illwerke AG. We will use eight runoff measurement stations and nine rain gauges. The location of the gauges with their catchments and the location of the precipitation measurements will be shown in Figure 1. From the runoff measurement stations there is digital data with a measurement interval of 15 minutes available. These short interval periods were used because of the short concentration time of the small catchments. The concentration times, calculated after Blöschl and Kreps are shown in Table A.

Gauge	tc after Blöschl [h]	tc after Kreps [h]
Bürs (Alvier)	8.33	4.40
Silveretta (III)	5.59	2.73
Vermunt (III)	5.35	2.59
Tschagguns (Litz)	9.99	5.45
Klösterle HD (Alfenz)	8.24	4.34
Klösterle OEBO (Alfenz)	8.69	4.62
Garsella (Lutz)	9.86	5.36
Partenen (III)	5.86	2.89

Table A: concentration time (tc) of the observed catchments after the approaches of Blöschl and Kreps.

Very long time series (24 hour measures) from the rain gauges are available. The 15 minutes measures have started only a few years ago. The long series are used for the extreme value statistics, the shorter for the remaining models.

The published design precipitation events (short time) from the Austrian hydrological service were also used in this paper. These design events were available for every catchment in period from 5 minutes up to 6 days with a return period from 1 up to 100 years. They come out of a combination of the ÖKOSTRA and MaxModN. The tables are also available in the internet on the ehyd- online portal.

b. Digital cadastral map- VOGIS

The province of Vorarlberg has a cadastral map which is available in digital form. This data will be used to estimate the CN (Curve number) in the SCS (Soil conservation service) model. The data out of this data pool is used for areal calculation like catchment area, distribution of land use in the catchment and so one. The observed values show some difference to the published values from the hydrological service, but they are very small.

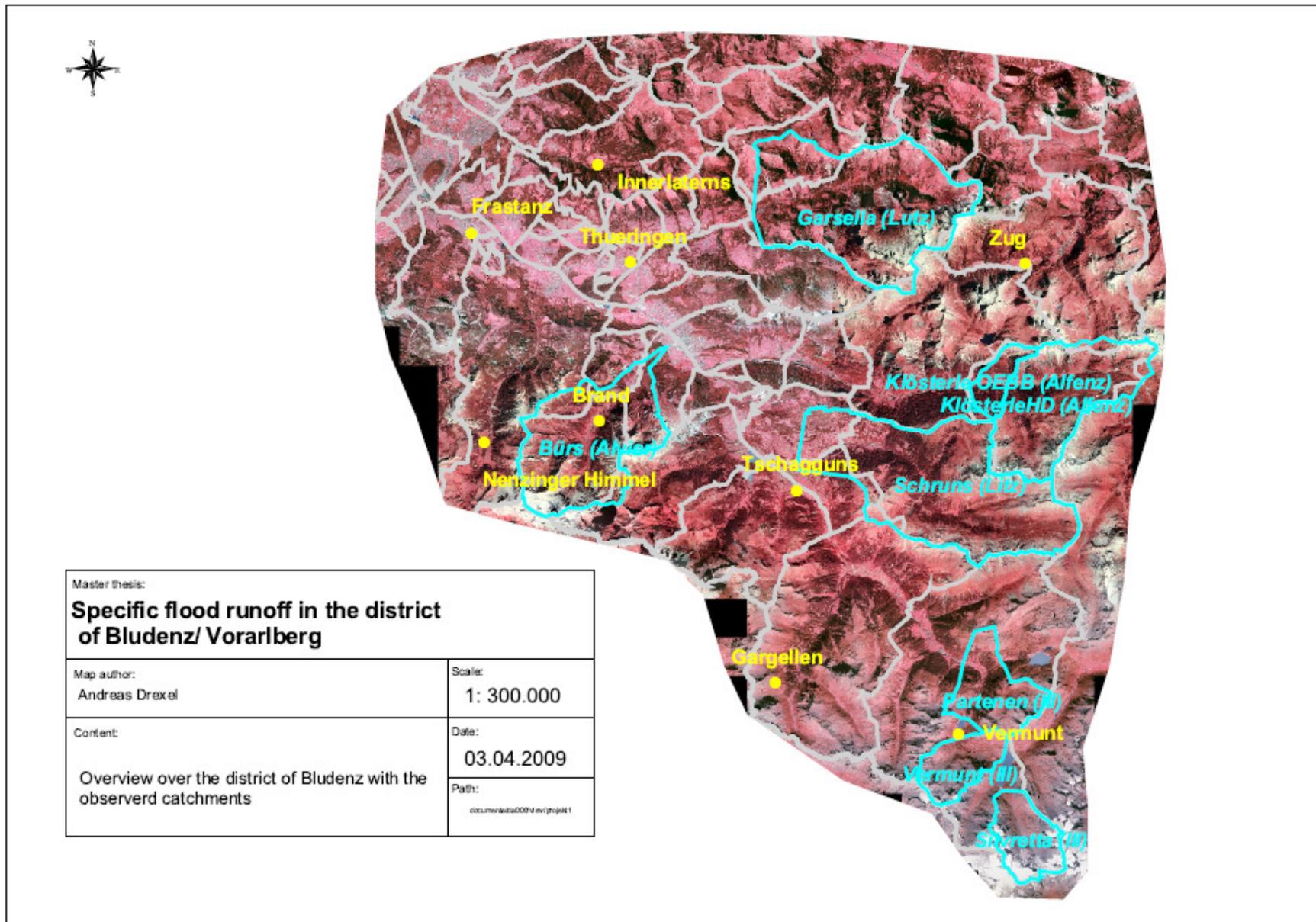


Figure 1: Overview over the district of Bludenz with the gauges and precipitation measurement station

3. Methodology

a. Precipitation estimation

The estimation of the event precipitation follows the approach of Thiessen, also known as “*polygon-method*”. The different solution results out of the different available time periods of the rain gauges.

Another approach is the so called “*Bemessungsniederschläge*” (design precipitation), with defined duration and return period. These design precipitation (from the Hydrological service) was adapted for the catchment areas, the original events are just point precipitations.

b. Runoff estimation

The estimation of the runoffs follows more or less the “*multi- pillar approach*” published by Gutknecht et al. (2006). Table B gives information about the content of this approach.

	Method	Information
A	Local flood statistics	Gives the best information over the runoff situation for the observed area. Problem: short observing time without some extreme events.
B	Regional flood statistics	Data with longer observing time; more information over extreme events; possibility to compare flood simulations (size, origin, appearance) in the different regions under different conditions.
C	Precipitation- runoff modelling	Considers precipitation conditions and the origin of runoff in the observed area. Possibility to adapt (increase) the input parameters and the conditions of runoff.
D	GRADEX	Estimation of the maximal conditions of runoff, this means „ all added rainfall augments the runoff“, when heavy rainfall occurs.
E	Envelope curve	All observed extreme events from close to the study area and far away as well. Possibility to compare, estimate the maximal runoff under different conditions; possibility to allocate the observed area.

Table B: Overview of the methodology of the “*multi- pillar*” approach.

i. Statistical analysis

The Gumbel- distribution will be used for the statistical analysis of the runoff as well as the precipitation. This distribution is commonly used in the field of engineering, and the Gumbel Type I- distribution is also quite easy to calculate.

An important aspect of the statistical analysis is the occurrence of extreme events in short time series, as they were used in this work. With the help of additional information (timely, areal and causal), these extreme events will be weighted closer to the “*truth*”.

ii. Koaxialdiagram- Koaxial approach

This approach is a combination of all discharge- relevant parameters. These are precipitation height, duration, season and prehumidity of the soil. Koaxialdiagram can be generated in the program called IHW from the University of Technology in Karlsruhe.

iii. SCS- approach

The approach of the United States Soil Conservation Service is a very popular approach to estimate the runoff coefficient of catchments. Basis of the SCS- approach is the “curve number” (CN), which is a function of soil, land use and prehumidity. The CN is a quantum of the storage capacity of the soil, its value is in the range of 0 up to 100. 100 means that all fallen rain comes to runoff.

The CN- value determined based on the cadastral map, and it will be estimated out of the event data pool.

iv. Gradex- approach

The Gradex- approach combines the statistic of precipitation with a deterministic precipitation-discharge model and a flood statistic. With the adaption of the achievement of the maximal storage capacity of the soil after a rainfall with a defined return period, every precipitation goes directly into the discharge.

This adaption is an empiric part of this approach, an “n” return period of discharge has nothing to do with an “n” return period in precipitation in the same catchment.

v. Regional envelope curves

Besides above approaches, the very popular approach of Wundt is used. This envelope curve approach can be seen as “mother” of the envelop approach.

vi. GIUB- method

The Geographic Institute of the University of Bern analysed a high number of floods. With this data they create zones with similar discharge behaviour. The observed district of Bludenz borders the Federal state of Swiss, so the data of the nearest region would be used to estimate the flood runoff with a return period of 100 years.

vii. Dam safety approach

This approach is based on the discussed “multi- pillar” approach. Similar to the GIUB- approach the model works with regionalised parameters. The parameters are available for the area of the Austrian republic in form of isohyets.

The calculated runoffs should be flood event with a return period of 5000 years. These values should be 3,7 times the flood event of an return period of 100 years.

viii. Practical formulas in the office of the Austrian forest technical service in the side management office of Bludenz

The following formulas are used in Bludenz:

1. Lauterburg (1887)
2. Hofbauer- Hampel (1968, 1970)
3. Kresnik (1886)
4. Wundt (1953)
5. Kürsteiner (1917)
6. Hoffmann (1952, 1970, 1971)
7. Hampel (1978, 1979)
8. Hofbauer (1916) and also the
9. SCS- approach (1972)

Based on the results of these formulas we will determine a plausible design event with a return period of 150 years. These formulas use mainly aerial information and the regional behaviour of precipitation.

4. Results

The section roughly describes the trend and specific results of the different approaches and models.

a. Precipitation- extreme statistical analysis

The statistical analysis with Gumbel give the following picture: In the north of the district in the Große Walsertal (Lutz- valley) we have the highest values of 24 hour precipitation events. There is also the highest value in annual precipitation. The value of annual precipitation and the values of the extreme statistical analysis as well, decrease from north to south. In the inner Montafon valley this values increase because of the high mountains and the lifting effect.

b. Discharge- extreme statistical analysis

For an extreme value statistical analysis of the discharge we have the following problems: the time series are very short and in the latest past there were two extreme events which have a strong influence on the statistical analysis (maverick or outlier effect). This is also very important because of the timely cumulative occurrence of extreme flood- rich years and extreme flood poor years (all ~30 years). The results out of this time series, especially the short one, have a trend to overestimate the floods with low return probability.

c. Koaxialdiagram

The Koaxialdiagram gave good solutions for larger catchments. The problem of this approach is the estimation of the areal precipitation, because for the establishing of the diagram, must be calculate a storage of the catchment. The level of uncertainty rise with the level of storage in the catchment. The knowledge of this is dependent to the fallen rain during the observed event, which is very unsure, especially in small catchments without direct measurement.

d. SCS- approach

The estimation of the basis parameter was carried out in two different ways. The first one was the calculation with the cadastral map to get an overview about the land use of the catchments. The second way was an adaption of the CN- numbers to optimise the model with respect to the observed storage.

Both approaches brought high CN- values; the second approach (with the optimizing out of observed events) brought the highest values. Nearly all catchments have a CN number above ninety.

Furthermore the SCS-method was calculated with different precipitation inputs and durations.

e. Gradex- approach

The Gradex has as basic parameter called "r"-value. This is the relationship of the top- run off on an event and the middle flood run off of the same event. This means that the knowledge of the duration of the precipitation is important. The approach was done for catchments from "some" dozen km² up to 5000km².

Similar to the SCS- approach this "r" value was estimated in two different ways. The first approach assumes a standard rain time of 24 hours (the precipitation data for this approach comes from the extreme value statistics with 24 hour time series over a long time), the second approach optimises the observed events.

f. Envelope curve

The results of the GIUB and the "dam safety" approach show very different solutions. One reason could be the different approach of these methods. GIUB- method analyses just events that rarely happen in the past, the "dam safety" approach use a combination of methods, based on the "multi-pillar" approach.

g. Practical formulas in the office of the Austrian forest technical service in the side management office of Bludenz

The solutions of the different formulas have a very wide range for similar catchment. Moreover not every formula is of practical use for every catchment size. The design- run off for the Forsttechnical service is a mixture of the formula from Wundt and Hampl. There solutions are mostly on the "safe" side.

5. Discussion

In this work we used different approaches to estimate the design run off of different regions in the district of Bludenz. The main problem in the calculations was the unsure estimation of the fallen precipitation. The precipitation measurement net is very rough and only heavy short time events of larger spatial extent are measured directly. The following list will give an overview of the main problems of the used approaches.

Precipitation

The analysis of the precipitation shows the regional difference of the district. In the north there is the highest annual precipitation and also the highest values of the maximal 24 hour rainfall. The values decrease from north to south and get a local increase in the southeast point. This area is a heavy high mountainous area where the lifting effect of the clouds comes into account. The solutions of the analysis of the precipitation give also a first view of the regional differences of the run off coefficient. The run off coefficient is coupled with the annual precipitation.

The design precipitation (from the Austrian hydrographical service) affirms the assumption of the regional differences.

Run off

The so known "Multi- pillar" approach was used, in an adapted form, for the estimation of the design run offs of the observed catchments. The results of this approach are shown in Figure 2, 3 and 4.

Extreme statistical analysis

With the events from the years 1999 and 2005 the observed time series felt into a "flood- rich" time. This means that we have, in our observed short time series, events that exhibit extreme events. However, the statistical analysis gave a very similar picture like the precipitation analysis, with high run offs in the north of the district and lower run off in the Montafon valley and increasing run offs in the Silvretta area.

Koaxialdiagram

This approach was developed for taller catchments; this is a problem in this work. The catchments were too small and the estimation of the precipitation was afflicted with high uncertainty. Especially this uncertainty makes the approach disputable for the usability for small catchments. The high of the precipitation is one of the main parameters.

SCS- Approach

The observed district of Bludenz is a heavy mountainous area, and the usability of this approach is questionable. The SCS- approach was developed for complete other conditions. The rainfall is very unsure, the prehuminty will not be the important factor in the Alps. Here the annual precipitation is a more important factor and the storage capacity of the soil is very low. This means also extreme high CN- values.

Gradex- Approach

The Gradex- approach is an empirical approach. This means that the statistical return period of the discharge correlates with the statistical return period of the precipitation. The estimation of the "real" fallen rain is the main problem of this approach. A precipitation with the return period of "N" years leads not automatically to a discharge with the return period of "N" years.

Envelope curve

Two different envelope curve approaches were used in this work. The GIUB- approach based on a high number of observed extreme events in the Swiss area, the “Dam- safety”- approach based on the “Multi- Pillar” approach, as it was used in an adapted form in this thesis.

The envelope curves, envelope the extreme events with very rare return probability. With a modification of the parameter an estimation of the discharge with return periods of ~100 years can be attempted.

The GIUB- approach leads to very similar values like the statistical analysis. The results of the “Dam-safety” approach for a return period of 100 years have quite low values, similar the results of the HORA- project. This project is based on the same approach and was calculated out of the same data pool by the same group of persons.

Formulas in the side management office in Bludenz

The focus of the Foresttechnical service is the protection of the alpine regions against mountainous hazards with a return period up to 150 years. Complete clear water run offs are very rare events in the competence of the Foresttechnical service, so the sediment transports have to be taken into account. From the used formulas the formula of Hoffmann leads to the solutions with the best correlations to the worked out values. The formula of Hoffmann takes also adequate resources for safety into account.

General Discussion

The estimation of run offs with rare return periods are an ambitious challenge for engineers, also in the beginning of the 21th Century. Especially in small alpine catchments the level of uncertainty is very high. One of the main problems are the estimation of the actually fallen rain in the time of the event. The transfer of the point information from the precipitation measurement stations to areal information is very unsure. The majority of the available approaches and methods were designed for taller catchment byond 100km².

The customs of the, so called, design events (rainfall) from the hydrological service, leads by the used models to very high run offs, which seems too high for return events of 100 years.

In this work only the clear water runoff was estimated. Dam breaks, snow melting in the spring, sediment transport and timber debris was not taking into account. The published values in Figure 2, 3 and 4 are for catchments >10km². For this size the values are plausible based on the available data pool.

Further work the observed catchments is needed in the next years. Because of the longer time series there will be a better data pool, especially for the statistical analysis.

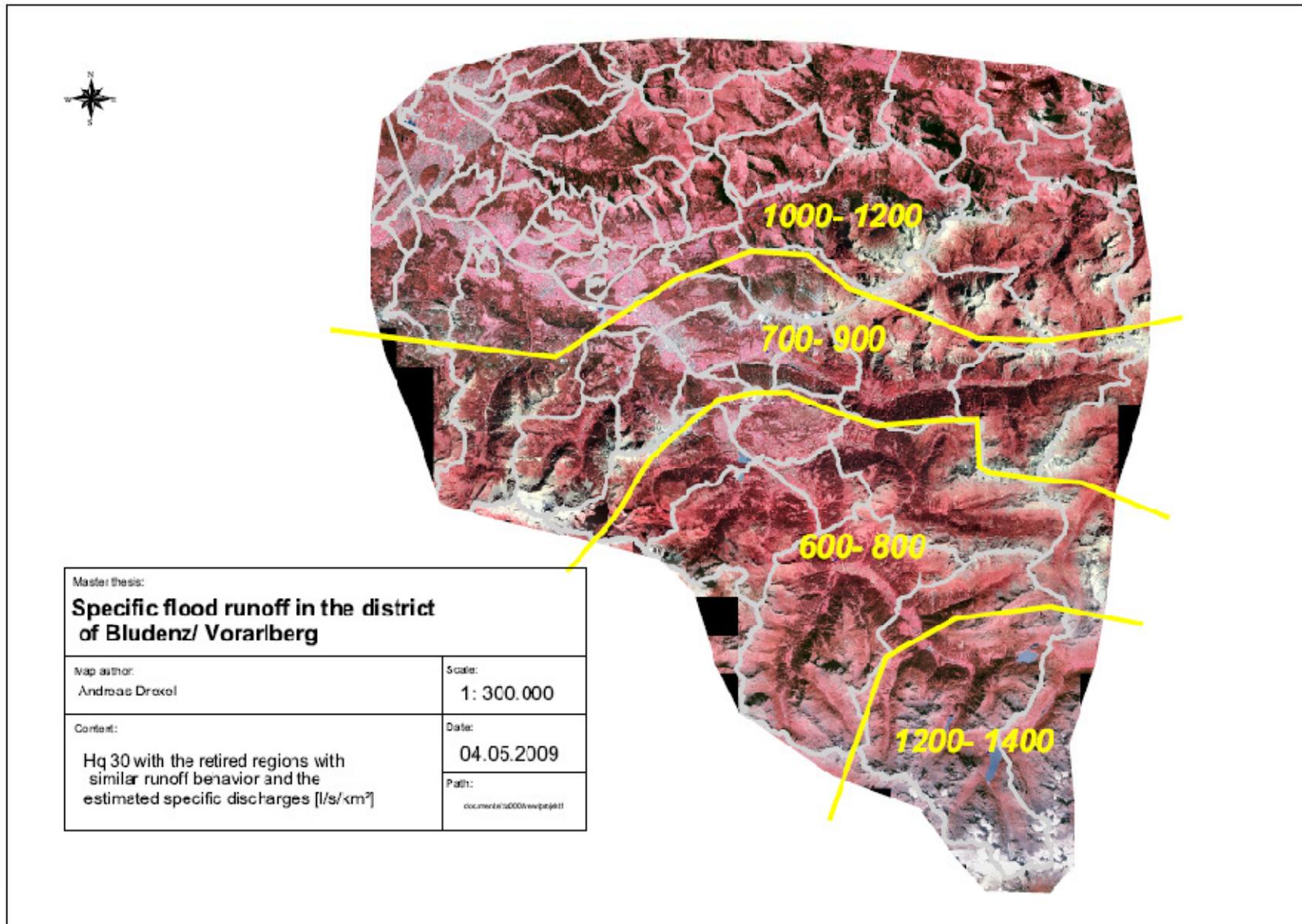


Figure 2: The specific run offs with the calculated return period of 30 years for the different regions of the district of Bludenz

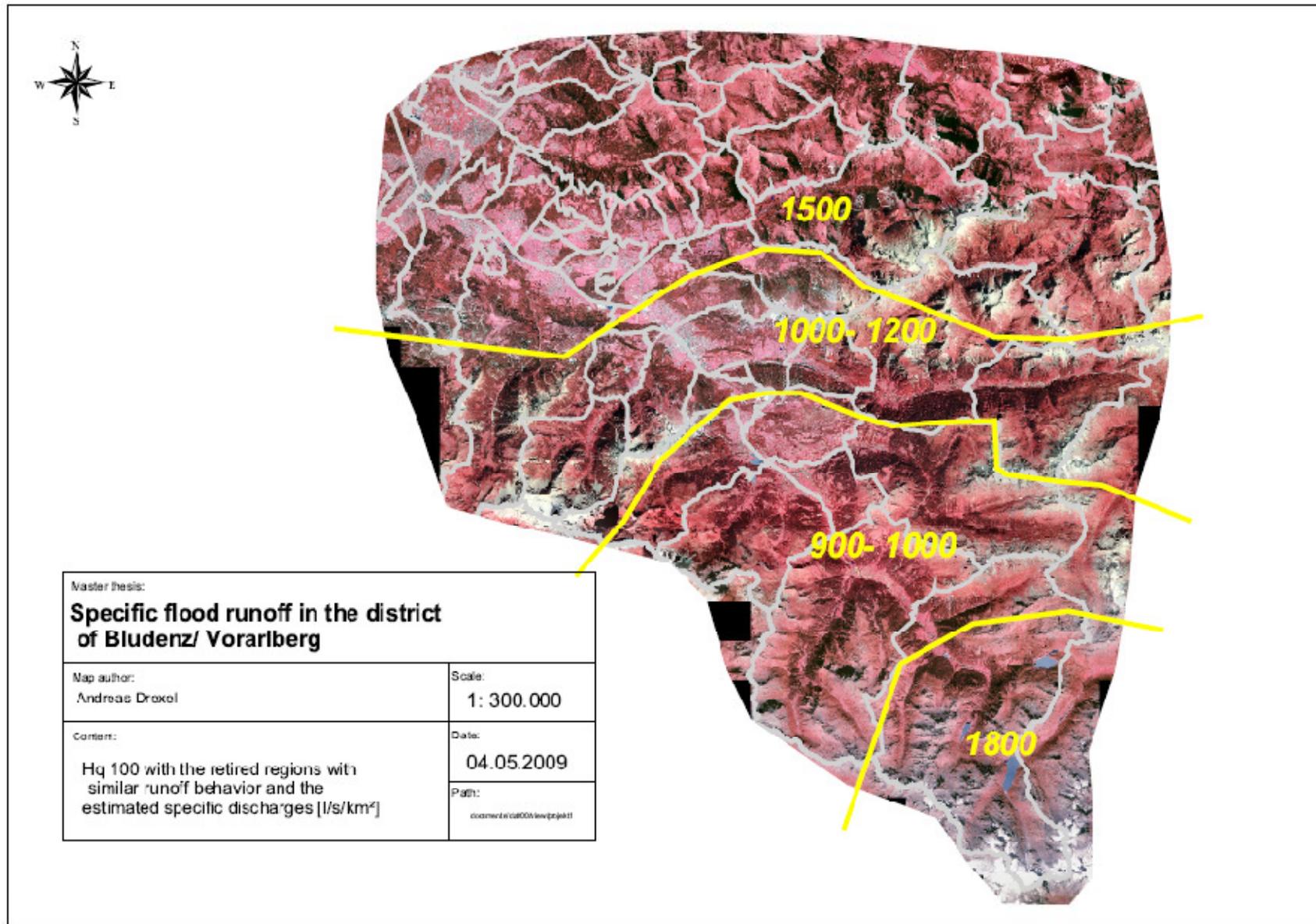


Figure 3: The specific run offs with the calculated return period of 100 years for the different regions of the district of Bludenz

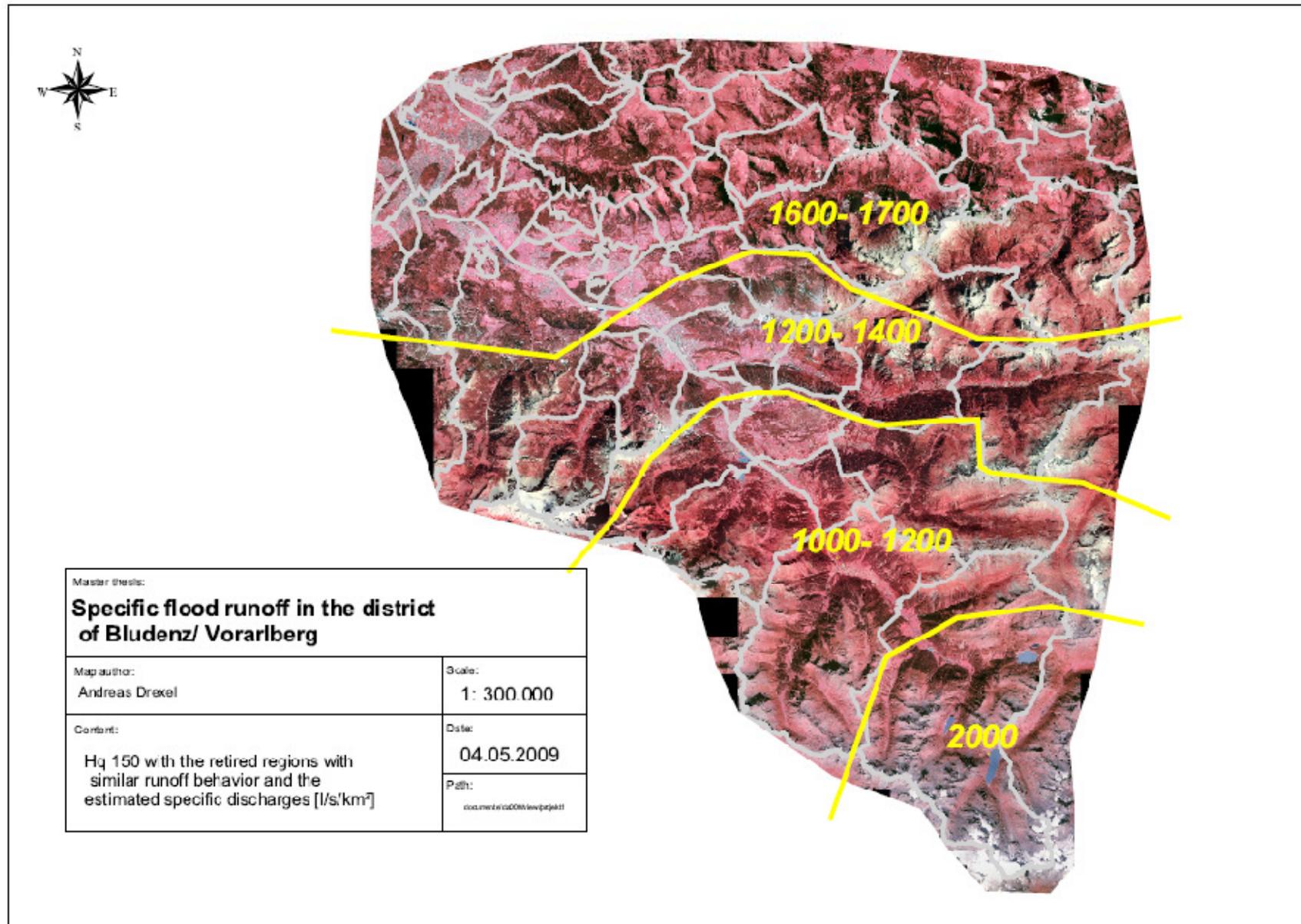


Figure 4: The specific run offs with the calculated return period of 150 years for the different regions of the district of Bludenz

6. Figures and Tables

FIGURE 1: OVERVIEW OVER THE DISTRICT OF BLUDENZ WITH THE GAUGES AND PRECIPITATION MEASUREMENT STATION IV

FIGURE 2: THE SPECIFIC RUN OFFS WITH THE CALCULATED RETURN PERIOD OF 30 YEARS FOR THE DIFFERENT REGIONS OF THE DISTRICT OF BLUDENZ..... XI

FIGURE 3: THE SPECIFIC RUN OFFS WITH THE CALCULATED RETURN PERIOD OF 100 YEARS FOR THE DIFFERENT REGIONS OF THE DISTRICT OF BLUDENZ..... XII

FIGURE 4: THE SPECIFIC RUN OFFS WITH THE CALCULATED RETURN PERIOD OF 150 YEARS FOR THE DIFFERENT REGIONS OF THE DISTRICT OF BLUDENZ..... XIII

TABLE A: CONCENTRATION TIME (TC) OF THE OBSERVED CATCHMENTS AFTER THE APPROACHES OF BLÖSCHL AND KREPS..... III

TABLE B: OVERVIEW OF THE METHODOLOGY OF THE "MULTI- PILLAR" APPROACH.....V