



**Universität für Bodenkultur**  
**Institut für Wildbach- und Lawinenschutz**  
Peter Jordan Str. 82  
A-1190 WIEN

Tel.: #43-1-47654-4350  
Fax: #43-1-4789177



## **WLS REPORT 19**

### **Hydrologische Studie Wartschenbach Niederschlag-Abfluß-Simulation zur Dimensionierung der Rückhaltebecken am Zetttersfeld**



**Im Auftrag von:**

**Forsttechnischer Dienst der Wildbach- und Lawinenverbauung  
Gebietsbauleitung Osttirol  
Sektion Tirol**

**Projektleitung: Hübl Johannes**

**Mitarbeiter: Schnetzer Ingo  
Holzinger Gerhard  
Dipl.-Ing. Geiwitsch Roland  
Dipl.-Ing. Brauner Michael**

**Wien, im Juli 1998**

## Inhaltsverzeichnis

<u>1 Aufgabenstellung</u> .....	<u>1</u>
<u>2 Ereignisdokumentation</u> .....	<u>2</u>
2.1 Datenbeschaffung und Analyse.....	2
2.1.1 Niederschlagsdaten.....	2
2.1.2 Wetterradar .....	4
2.1.3 ALDIS .....	7
2.1.4 Höhenmodell von Osttirol .....	7
2.2 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 6.8.1995 .....	7
2.3 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 16.8.1997 .....	8
2.4 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 6.9.1997 .....	11
<u>3 100-jährliches Bemessungsereignis</u> .....	<u>14</u>
3.1 Niederschlag .....	14
3.1.1 Extremwertstatistische Auswertung von Tagesniederschlägen.....	14
3.1.2 Abhängigkeit der Extremniederschläge von der Höhenlage.....	14
3.1.3 Berücksichtigung kurzzeitiger Starkniederschläge .....	15
3.1.4 Vergleich kurzzeitiger Extremereignisse verschiedener Verfahren .....	16
3.1.4.1 Verfahren OWUNDA, DVWK und GUMBEL.....	16
3.1.4.2 Verfahren SCHIMPF.....	19
3.1.4.3 Verfahren nach HAMPEL .....	20
3.1.4.4 Vergleich der mit verschiedenen Verfahren berechneten Bemessungsniederschläge .....	21
3.1.5 Festlegung des Bemessungsniederschlags für die Jährlichkeit 100.....	22
3.1.5.1 Jährlichkeit der Ereignisse 1995 und 1997.....	23
3.1.6 Erstellung einer Umrechnungsfunktion für anfangs-, mitten- und endbetonte Niederschlagsverteilungen sowie einem Blockregen. ....	24
3.2 Abfluß .....	25
3.2.1 Berechnung des Abflusses mit empirischen Schätzformeln.....	25
3.2.2 Berechnung des Abflusses mit dem Verfahren nach KOELLA (1986) .....	26
3.2.3 Niederschlag-Abfluß-Simulation mittels Regionalisierung über ein Flußgebietsmodell (IHW).....	29
3.2.4 Simulationsmodell NASIM.....	35
3.2.5 Simulation der Beregnungsversuche mit NASIM.....	41
3.2.5.1 Vorbedingungen .....	41
3.2.5.2 Durchgeführte Parameteranpassungen.....	42
3.2.5.3 Erkenntnisse.....	43
3.2.5.4 Ergebnisse .....	44
3.2.6 Niederschlag-Abfluß-Simulation mittels NASIM .....	46
3.2.6.1 Vorbedingungen .....	46
3.2.6.2 Ergebnisse .....	51
3.2.7 Tabellarische Zusammenfassung der Abflußberechnungen .....	52
<u>4 Rückhaltebecken</u> .....	<u>53</u>
4.1 Konstruktionsprinzip.....	53
4.2 Daten der einzelnen Rückhaltebecken.....	54
4.3 Beanspruchung der einzelnen Rückhaltebecken beim Bemessungsereignis..	55

<b>5 Simulation der Schadensereignisse mit NASIM .....</b>	<b>56</b>
5.1 Vorbedingungen .....	56
5.2 Ereignis 6. Aug. 1995 .....	57
5.3 Ereignis 16. Aug. 1997 .....	58
5.4 Ereignis 6. Sept. 1997 .....	59
<b>6 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>60</b>
<b>7 Anhang .....</b>	<b>62</b>
7.1 Ereignisrekonstruktion .....	62
7.1.1 Zeitlich-räumliche Verteilung der Wetterradarklassen und Blitzentladungen vom 16.8.1997.....	62
7.1.2 Gegenüberstellung der Wetterradarklassen mit gemessenen Niederschlägen vom 16.8.1997.....	62
7.1.3 Zeitlich-räumliche Verteilung der Wetterradarklassen und Blitzentladungen vom 6.9.1997.....	62
7.1.4 Gegenüberstellung der Wetterradarklassen mit gemessenen Niederschlägen vom 6.9.1997.....	62
7.2 Niederschlag .....	62
7.2.1 Statistische Auswertung Niederschlag .....	62
7.2.2 Niederschlagssummenlinien Zetttersfeld 1991-1997.....	62
7.2.3 Angenommene Niederschlagsverteilungen .....	62
7.3 Abfluß .....	62
7.3.1 Ergebnisse Berechnungsverfahren KOELLA (1986) .....	62
7.3.2 Gegenüberstellung der gemessenen und gerechneten Abflußganglinien der Beregnungsversuche .....	62
7.3.3 Abflußbeiwertekarte .....	62
7.3.4 Tabellarische Zusammenstellung der Abflüsse an ausgewählten Knoten für das 100-jährliche Bemessungsereignis.....	63
7.3.5 Abflußganglinien der NASIM-Simulation für das 100-jährliche Bemessungsereignis .....	63
7.4 Rückhaltebecken .....	63
7.4.1 Speicherinhaltslinien.....	63
7.4.2 Dimensionierung Auslaßöffnung und Hochwasserentlastung .....	63
7.4.3 Übersichtsplan Lage Rückhaltebecken .....	63
7.4.4 Lageplan Rückhaltebecken .....	63
7.4.5 Konstruktionspläne Rückhaltebecken.....	63
7.5 Schadensereignisse .....	63
7.5.1 Ereignis 6. Aug. 1995 (Abflußganglinien) .....	63
7.5.2 Ereignis 16. Aug. 1997 (Abflußganglinien) .....	63
7.5.3 Ereignis 6. September 1997 (Abflußganglinien) .....	63

# **1 Aufgabenstellung**

Aufgrund der Murenereignisse von 1995 und 1997 am Wartschenbach/Osttirol und der damit verbundenen Gefährdung der Bewohner der Wartschensiedlung wurde vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung unter der Leitung von Dr. ANGERER eine Projektgruppe ins Leben gerufen, die den Verbauungsvorschlag von Hochwasserrückhaltebecken am Zetttersfeld untersuchen sollte. Im Rahmen dieser Gruppe sollte das Institut für Wildbach- und Lawinenschutz die hydrologischen Grundlagen für die Bemessung dieser Rückhaltebecken liefern.

Die Aufgabenstellung umfaßte dabei:

- Rekonstruktion der Ereignisse vom 6.8.1995, 16.8.1997, 6.9.1997 mit Hilfe der Daten des Hydrographischen Dienstes des Landes Tirol und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik
- Erfassung und Auswertung der Niederschlagsreihen der naheliegenden Meßstationen, die Auswertung der Wetterradardaten und die Auswertung der ALDIS-Daten (Blitzerfassung)
- Darstellung der räumlichen (Belastungsverteilung, Gebietsniederschläge) und zeitlichen (Starkregen, Blockregen, Dauerregen) Verteilung der Niederschläge im Einzugsgebiet aufgrund der Wetterradardaten
- Festlegung der maßgeblichen Intensitäten für die Niederschlagsdauer von 0,5, 1, 2, 3, 6, 12, (24) Stunden für die Jährlichkeiten 100 (50)
- Berechnung der Abflüsse mit gängigen Hochwasserformeln
- Erstellung eines Flußgebietsmodells mit dem Regionalisierungsprogramm des IHW (TU Karlsruhe FH)
- Erstellung eines hydrologischen Modells für den gesamten Wartschenbach mit dem Programm NASIM unter Berücksichtigung der Berechnungsversuche von MARKART/KOHL
- Ermittlung der maßgeblichen hydrologischen Kennwerte für die Retentionsbecken
- Konstruktive und hydraulische Bemessung der Grundablässe und der Hochwasserentlastung

Der vorliegende Endbericht stellt das Ergebnis der derzeitigen Forschung für das Niederschlag-Abflußgeschehen am Wartschenbach dar.

Wien, im Juli 1998

Hübl Johannes

## 2 Ereignisdokumentation

Mit Hilfe der Aufzeichnungen des hydrographischen Dienstes, den Berichten der Gebietsbauleitung und Tageszeitungen, der Daten des Wetterradars und der Blitzerfassung (ALDIS) wurde versucht, die Schadensereignisse sowohl in ihrer Intensität als auch in ihrer zeitlichen Abfolge zu rekonstruieren.

### 2.1 Datenbeschaffung und Analyse

#### 2.1.1 Niederschlagsdaten

Für die extremwertstatistische Auswertung wurden die im hydrographischen Jahrbuch angeführten Stationen von Osttirol herangezogen.

Kontinuierlich aufgezeichnete Niederschlagsdaten wurden vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. VIh-H (Hydrographie), dem Hydrographischen Zentralbüro, Sektion IV des BMLF, der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wetterdienst Klagenfurt (ZAMG), der Draukraft, der TIWAG, dem Abfallwirtschaftsverband Osttirol und dem Institut für WLS zur Verfügung gestellt.

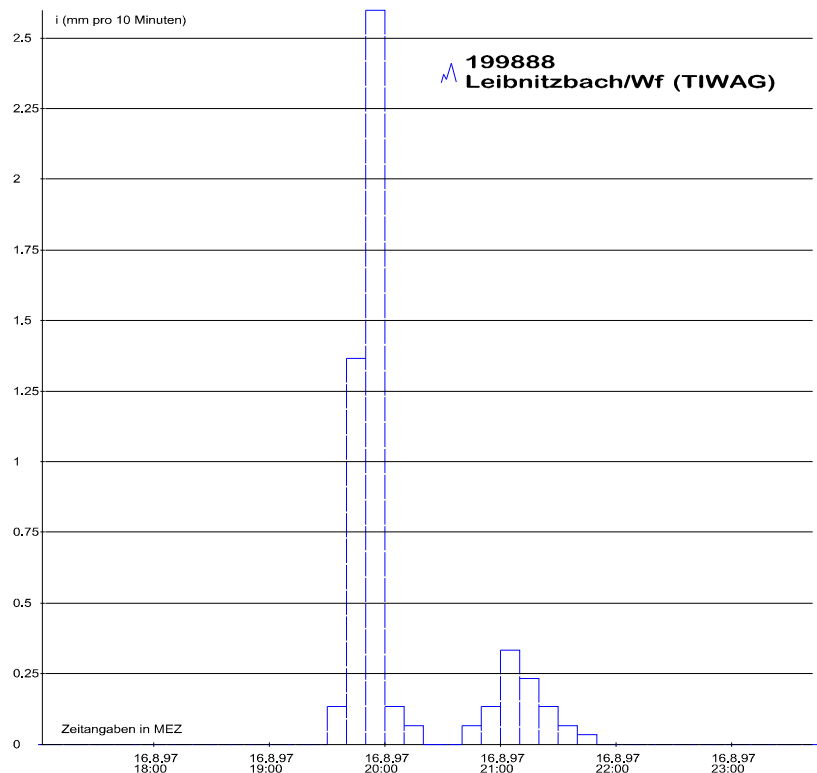


Abbildung 1: Beispiel für berechnete Niederschlagsintensitäten für 10 Minuten-Intervalle aus Viertelstunden-Werten (z.B.: Station Leibnitzbach/Wasserfassung (TIWAG))

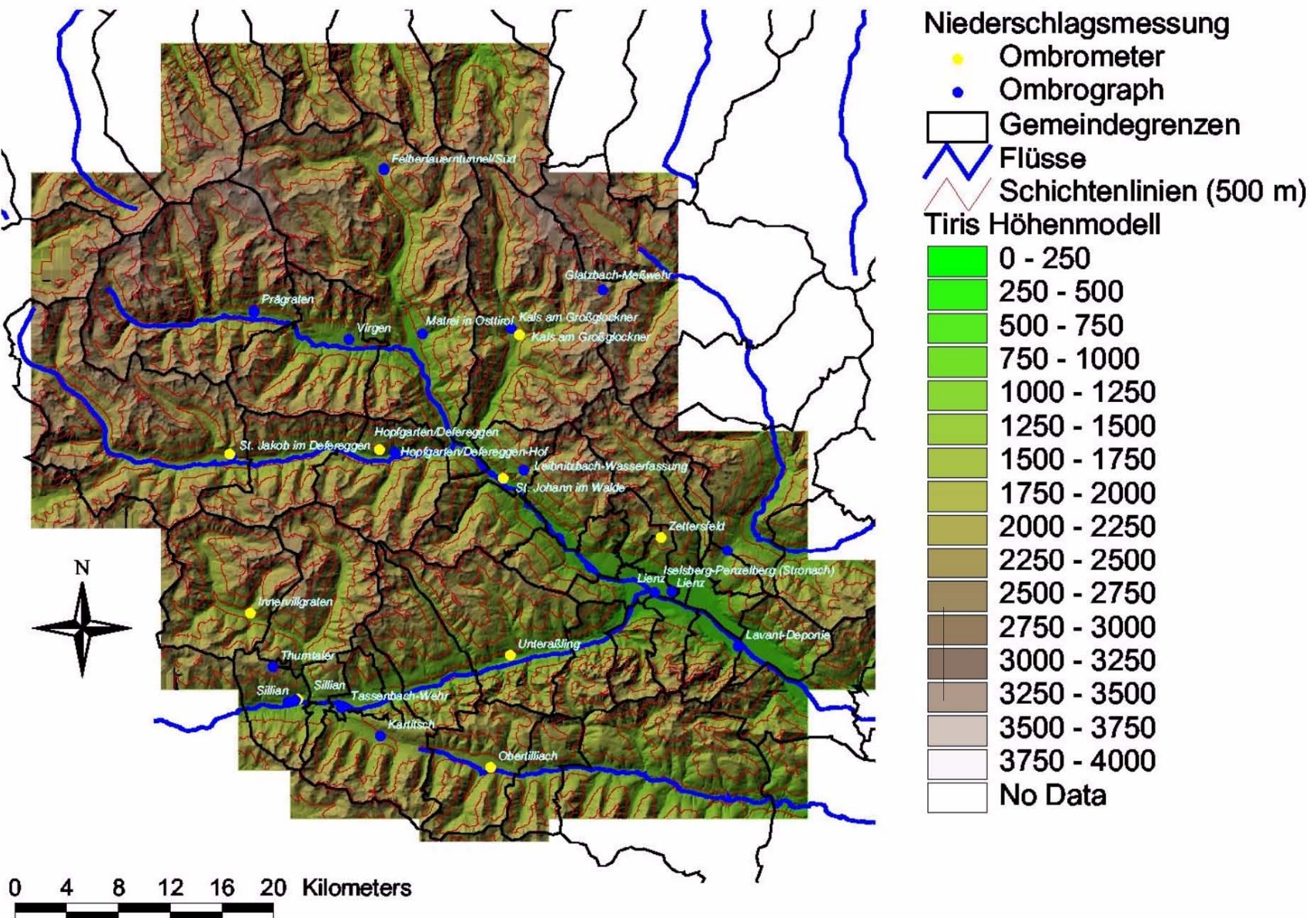


Abbildung 2: Übersicht Osttirol mit den verwendeten Ombrometern und Ombrographen

Somit konnten alle Ombrographen Osttirols (Abbildung 2) für die Ereignisse 1997 herangezogen werden. Die Daten wurden in ein einheitliches Zeitsystem (MEZ) überführt und in Meßintervalle von 10 Minuten (hh+00, hh+10,...) aufgeteilt (Abbildung 1). Die daraus resultierenden 10-Minuten Intensitäten wurden jeweils am Ende des Zeitintervalls gespeichert. Die geographische Referenzierung erfolgte im Gauß-Krüger (GK) Landeskoordinatensystem (M31).

MeßID	Stationsname	Betreiber	Latitude	Longitude	Höhe	Meridian	RW-BMN	HW-BMN
114900	Felbertauerntunnel/Süd (HD)	HD	47.1181	12.5056	1650	M 31	387189.13	5220172.61
1149001	Felbertauerntunnel/Süd (ÖDK)	ÖDK	47.118386	12.50557	1639	M 31	387190.35	5220209.29
199999	Glatzbach-Meßwehr	WLS	47.0361	12.73	2460	M 31	404149.43	5210907.85
114926	Hopfgarten/Deferegggen	HD	46.9219	12.52	1110	M 31	388058.75	5198361.79
113100	Iselsberg-Penzelberg (Stronach)	HD	46.8547	12.8581	1210	M 31	413758.83	5190678.16
1130761	Kals am Großglockner (ÖDK)	ÖDK	47.00823	12.6369	1366	M 31	397047.58	5207867.23
114959	Kartitsch	TIWAG	46.7239	12.5086	1415	M 31	386960.30	5176356.13
199694	Lavant-Deponie	Privat	46.7881	12.8697	640	M 31	414626.11	5183293.28
199888	Leibnitzbach-Wasserfassung	TIWAG	46.91	12.6511	1360	M 31	398032.23	5196938.89
1130921	Lienz (ÖDK)	ÖDK	46.82507	12.78473	673	M 31	408144.64	5187419.03
113092	Lienz (ZAMG)	ZAMG	46.8261	12.8022	659	M 31	409479.90	5187525.17
113050	Matrei in Osttirol (HD)	HD	47.0044	12.5472	1050	M 31	390223.88	5207511.10
1130501	Matrei in Osttirol (ÖDK)	ÖDK	47.00433	12.54724	1032	M 31	390224.84	5207498.64
113043	Prägraten (HD)	HD	47.0181	12.3756	1340	M 31	377188.87	5209169.38
1130431	Prägraten (ÖDK)	ÖDK	47.01889	12.37540	1343	M 31	377177.92	5209262.65
1130011	Sillian (ÖDK)	ÖDK	46.74694	12.41496	1081	M 31	379831.53	5178997.84
199990	Sillian (ZAMG)	ZAMG	46.7478	12.4219	1080	M 31	380366.51	5179084.51
1130681	St. Jakob im Deferegggen (ÖDK)	ÖDK	46.91731	12.35433	1382	M 31	375435.67	5197990.69
1149831	Tassenbach-Wehr (ÖDK)	ÖDK	46.74369	12.47024	1076	M 31	384051.41	5178588.96
114983	Tassenbach-Wehr (TIWAG)	TIWAG	46.7436	12.4681	1080	M 31	383884.46	5178581.59
199881	Thurntaler	TIWAG	46.7711	12.3986	2110	M 31	378614.59	5181699.00
114991	Virgen	ZAMG	47	12.4722	1198	M 31	384515.45	5207077.03

Tabelle 1: Liste der verwendeten Ombrographenstationen Osttirols

Zum Vergleich mit den Wetterradardaten wurden die 10-Minuten Intensitäten in Millimeter/Stunde umgerechnet und der entsprechen Intensitätsstufe zugeordnet.

## 2.1.2 Wetterradar

Die Wetterradardaten wurden vom Institut für Nachrichtentechnik und Wellenausbreitung, TU-Graz bereitgestellt. Obwohl Osttirol infolge der Abschattung durch Gebirge sehr schlecht erfaßt wird (nur in große Höhen reichende Gewitter können aufgezeichnet werden), wurden die Daten probeweise ausgewertet. Die Datenübergabe erfolgte als Bitmaps (\*.gif) für Zeitintervalle von 10 Minuten zu den Zeitpunkten hh+5, hh+15, hh+25, hh+35, hh+45, hh+55 in UTC. Genaugenommen entspricht der Radarintensitätsklasse der Maximalwert eines 7-Minuten Intervalls,

sodaß zum Vergleich mit den Ombrographenmessungen zum Zeitwert 5 Minuten addiert wurden (Abbildung 3).

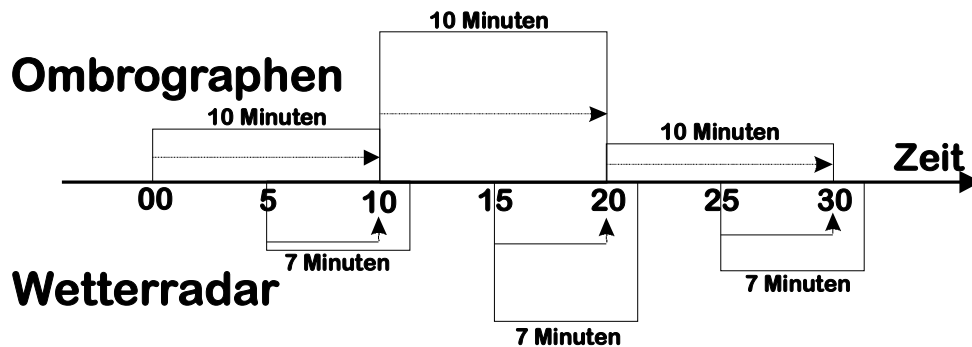


Abbildung 3: Schema der zeitlichen Anpassung der Wetterradar- mit den Ombrographenmessungen

Die Datenlage für den 6.9.1997 ist für quantitative Aussagen nur zum Teil brauchbar, da die Station Zirbitzkogel durch Getriebeschaden nicht in Betrieb und die Station Salzburg nicht kalibriert war.

Die Originaldaten der georeferenzierten Radar-Reflektivität ( $Z$ ) sind leider nicht verfügbar. Die Umrechnung der Reflektivität in die Niederschlagsintensität erfolgt mittels der Formel:

$$Z = 200 \cdot R^{1.6} \quad [\text{mm}^6/\text{m}^3]$$

Die Farbwerte der Zellen (2x2 km) stellen die Maximalwerte der errechneten Niederschlagsintensität in [mm/h] innerhalb der Luftsäule über der Zelle dar (Abbildung 4). Die Intensität wird in Klassen (Tabelle 2) zusammengefaßt.

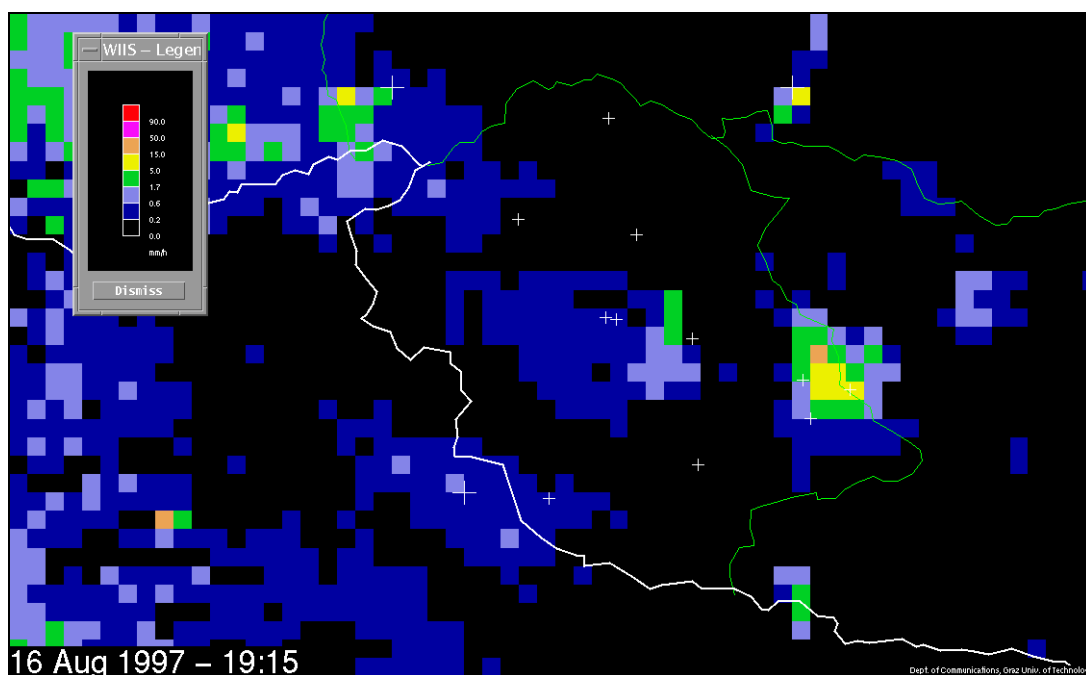


Abbildung 4: Bitmap der Niederschlagsintensitätsstufen vom 16.8.1997, 19:15 UTC

<i>Intenität [mm/h]</i>	<i>Farbcode</i>	<i>Klasse</i>	<i>Intenität [mm/h]</i>	<i>Farbcode</i>	<i>Klasse</i>
0-0.2	0	1	5.0-15.0	12	5
0.2-0.6	11	2	15.0-50.0	6	6
0.6-1.7	7	3	50.0-90.0	8	7
1.7-5.0	4	4	90.0-	5	8

Tabelle 2: Niederschlagsintensitätsstufen der Wetterradarbilder

Die weitere Aufbereitung der Wetterradardaten erfolgte im Programmpaket ARC/INFO. In einem ersten Schritt erfolgte die Georeferenzierung in das Gauß-Krüger Landeskoordinatensystem (M31) anhand der acht eingetragenen Meßstellen durch affine Transformation. Diese Meßstellen und der Grenzpolygon sind in Abbildung 4 zu sehen. Anschließend konnte die Güte der Georeferenzierung durch eine Fehlerausgleichsrechnung anhand der acht Meßstellen überprüft werden. Der Meßfehler lag bei beiden Zeitreihen im Rahmen von 20 m. Anschließend wurde die nicht mehr benötigte Bildinformation, wie Grenzpolygone, Meßstellen, Datum und Legende, ausgefiltert, die Pixelauflösung der Datengenauigkeit von 2 km angepaßt und rechtwinkelig entzerrt. In einem letzten Schritt wurden die Farbcodierungen der einzelnen Pixel in die tatsächlichen Meßwerte umgerechnet und als ARC/INFO-GRID Format abgespeichert. Da es sich um relativ hochauflösende Zeitreihen mit jeweils rund 50-60 Zeitschritten handelte, wurde dieser Datenaufbereitungsprozeß durch ein Batch-Modul innerhalb des Programmpaketes ARC/INFO automatisiert.

Die ermittelten Niederschlagsklassen wurden in einer Datenbank (MS Access) abgelegt und in MEZ (MEZ = UTC + 1 Stunde) umgerechnet. Für die Auswertung und Darstellung wurde in ArcView durch Polygone ein mit ARC/INFO identes Gitternetz erstellt und die Niederschlagsklassen mit der Attributdatenbank (MS Access) über die ID des entsprechenden Grids verknüpft.

<i>GrdID</i>	<i>Hochwert-BMN</i>	<i>Rechtswert-BMN</i>	<i>WR_20:20</i>	<i>WR_20:30</i>	<i>WR_20:40</i>	<i>WR_20:50</i>	<i>WR_21:00</i>
1	5229855	322205	4	4	5	6	4
2	5229855	324215	3	4	5	5	5
3	5229855	326225	3	4	5	4	4
4	5229855	328235	3	4	4	4	3
5	5229855	330245	3	3	4	4	3
6	5229855	332255	3	3	3	3	3
7	5229855	334265	2	3	3	3	2
8	5229855	336275	3	3	5	4	5
9	5229855	338285	2	3	5	6	5
10	5229855	340295	2	4	4	3	3

Tabelle 3: Struktur der Attributdatenbank (Ausschnitt)

Zum Vergleich der Wetterradardaten mit den Ombrographenauswertungen wurde einerseits die Intensitätsstufe der der Meßstation entsprechenden Zelle, andererseits die maximale Intensitätsstufe in einem Umkreis von 2 km um die Meßstation herangezogen.

### 2.1.3 ALDIS

Die Daten stammen aus dem Austrian Lightning Detection Information System des österreichischen Verbands für Elektrotechnik (ÖVE). Sämtliche Blitzentladungen wurden von geographischen Koordinaten in das GK-Koordinatensystem (M31) transferiert und die Zeitangaben von GMT auf MEZ umgerechnet.

<i>Klasse</i>	<i>Anzahl Blitze pro 10 Minuten</i>
1	1
2	2-5
3	6-10
4	11-100

Tabelle 4: Klassen der Blitzentladungen

Die ALDIS-Daten wurden zur Auswertung in eine MS Access Datenbank überführt. Die Summenbildung für 10-Minuten Intervalle (h+00, hh+10,..) und Klassenzuordnung der Blitzentladungen (Tabelle 4) erfolgte im gleichen Raster wie das Gitternetz der Wetterradardaten. Die Visualisierung wurde ebenfalls in ArcView realisiert.

### 2.1.4 Höhenmodell von Osttirol

Das Höhenmodell von Osttirol wurde vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abt VIh (TIRIS) zur Verfügung gestellt. Es basiert auf dem GK-Koordinatensystem (M31) mit einer Rasterweite von 50 Meter.

## 2.2 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 6.8.1995

Nach Angaben des Amtes der Tiroler Landesregierung, Abt. VIh-H (Hydrographie) wurden am 6. August 1995 51.5 mm Tagesniederschlag am Zetttersfeld (Ombrometer) gemessen. Es handelte sich dabei um ein starkes Gewitter mit Hagel, das von 18:30 - 20:00 Uhr (MEZ) mit Zentrum nordöstlich der Meßstation auf das östliche Einzugsgebiet des Wartschenbaches zwischen Jugendherberge Bidner und

der Faschingalm niederging. Zeitungsberichten zufolge brauten sich über dem Zettlersfeld kurz nach 18 Uhr (MEZ) dunkle Gewitterwolken zusammen (Kleine Zeitung, 8.8.1995). Der KRONEN Zeitung (8.8.1995) zufolge ging das heftige Gewitter um ca. 18:30 Uhr (MEZ) über dem Zettlersfeld nieder, eine halbe Stunde später hörten die Anrainer der Wartschensiedlung „ohrenbetäubendes Grollen“ der herannahenden Mure. Nach Angaben der WLV, Gbltg. Osttirol (GZ 6771/14-1995), dauerte der Starkniederschlag rund 1 Stunde.

Somit kann der Beginn des Niederschlagsereignisses mit 18:30 Uhr (MEZ), die Dauer des Starkregens mit rund 40 Minuten, die Gesamtniederschlagsdauer mit 90 Minuten angenommen werden. Den möglichen Niederschlagsverlauf zeigt Abbildung 5.

**Niederschlagssummenlinie (Ereignis 6. Aug. 1995)**

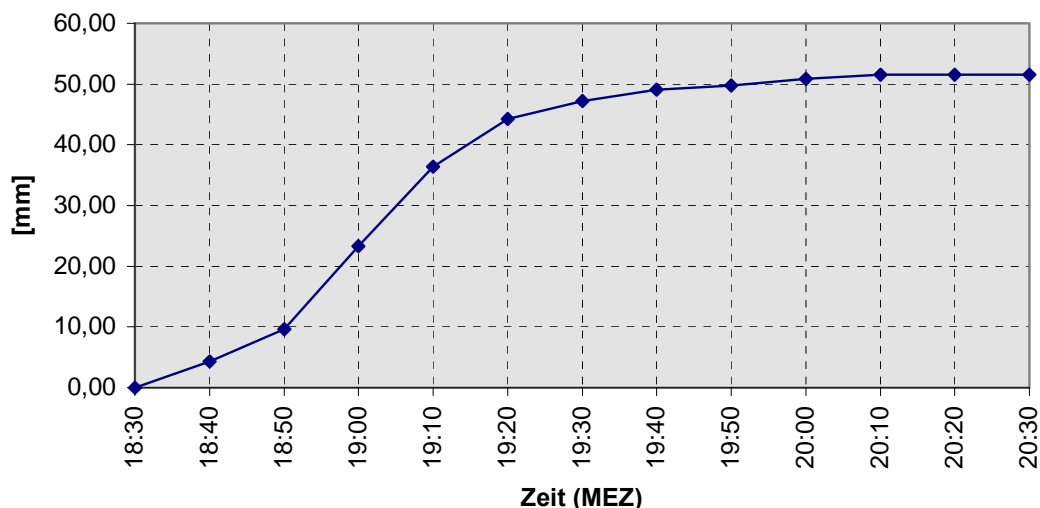


Abbildung 5: Niederschlagssummenlinie für das Ereignis vom 6. August 1995

## 2.3 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 16.8.1997

„Ein intensiver Starkregen (40 mm in 20 Minuten) mit Hagelschlag im Bereich des Zettlersfeldes löste im westlichen Quellbach einen Hochwasserabfluß aus, der vor allem Seitenschurf verursachte. Ab der Zusammenmündung mit dem östlichen Quellbach hat im dortigen Moränenmaterial eine sehr intensive Tiefen- und Seitenerosion stattgefunden, die sich in der folgenden felsigen Schluchtstrecke fortsetzte. Der beim Ereignis von 1995 ausgeräumte Graben wurde stellenweise im Bereich noch vorhandener alter Grabenverfüllungen bis zu 4 m tiefer erodiert. Der

hohe Wasseranteil des Wasser-Geschiebe-Gemisches verursachte einen geringeren Rückhalt im Geschiebeablagungsbecken und einen höheren Einstau der betroffenen Objekte als beim Ereignis 1995. Das Schadensbild dieses Ereignisses ist mit jenem von 1995 vergleichbar“ (WLV, Gbltg Osttirol, GZ 6771/6-1997).

Nachdem bereits schon zwischen 13:00 und 14:00 (MEZ) drei starke Niederschläge mit je 10 Minuten Dauer am Zetttersfeld verzeichnet wurden (HD), ging gegen 20:30 (MEZ) laut Berichten des „Osttiroler Boten“ (21.08.1997) über dem Zetttersfeld ein schweres Gewitter mit Hagelschlag nieder. Aus dem Ereignisprotokoll des Bezirksgendarmeriekommandos Lienz (18. Aug. 1997) geht hervor, daß um 20:40 (MEZ) Wassermassen einige Hütten im Bereich der alten Zetttersfeldhütte gefährden. Um 21:00 (MEZ) teilt die Einsatzleitung der FFW mit, daß die Brücke beim Haus des Franz Waldner bereits weggerissen wurde.

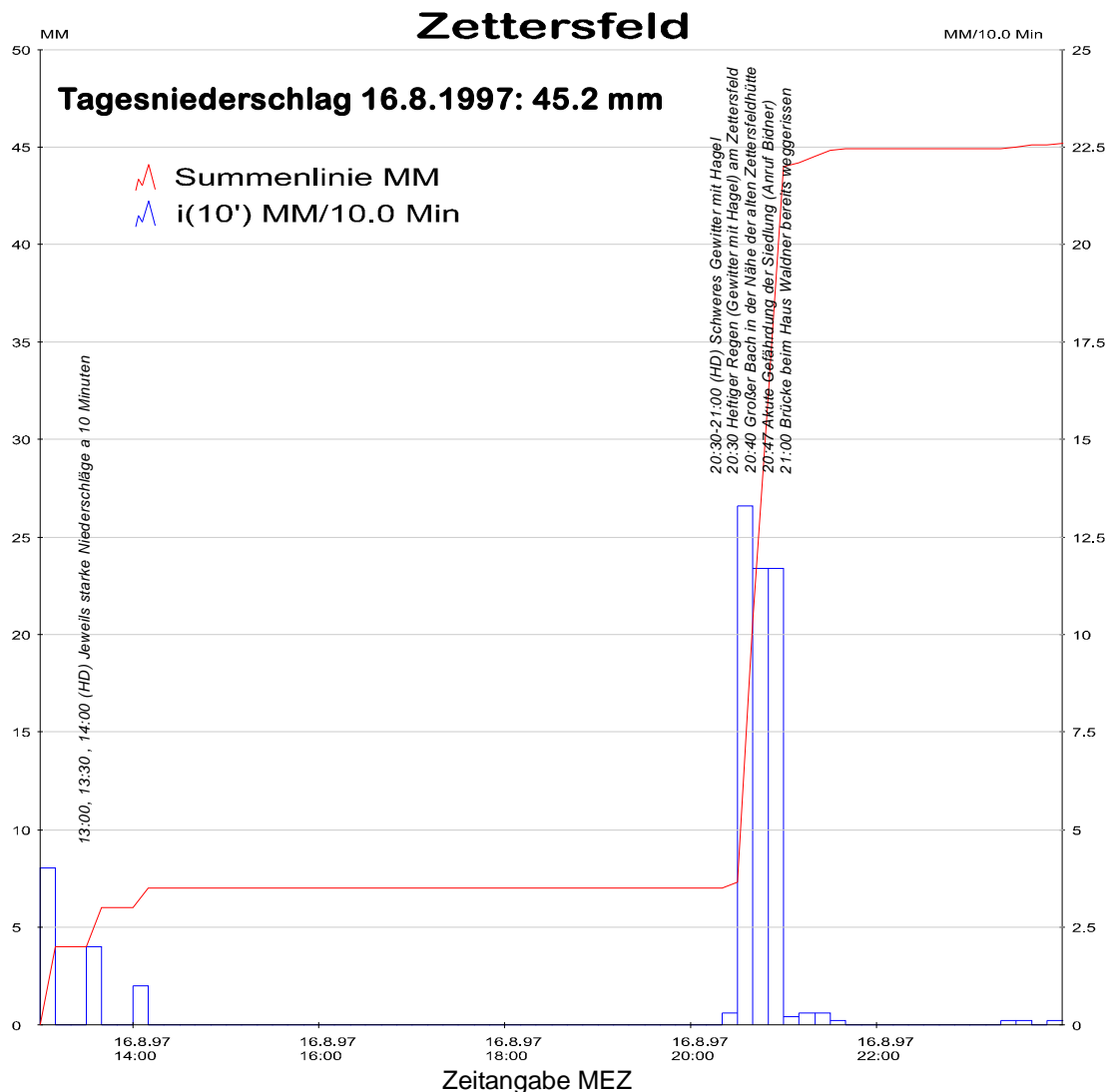


Abbildung 6: Ermittelte Niederschlagsverteilung (Ereignis 16. Aug. 1997)

Bezieht man den gemessenen Tagesniederschlag von 45.2 mm (Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. VIh-H, Hydrographie) mit Hilfe der Aufnahmen des Wetterradars auf das tatsächliche Ereignis, so entfallen rund 36 mm auf den Ereigniszeitraum von ca. 30 Minuten (20:30 - 21:00, MEZ). Die ermittelte Niederschlagsverteilung zeigt Abbildung 6.

Die Auswertung der Wetterradardaten ergab für das Zettersfeld nur geringe Intensitätsstufen (Abbildung 7), eine abgrenzbare Schauerzelle kann aus diesen Daten nicht abgeleitet werden.

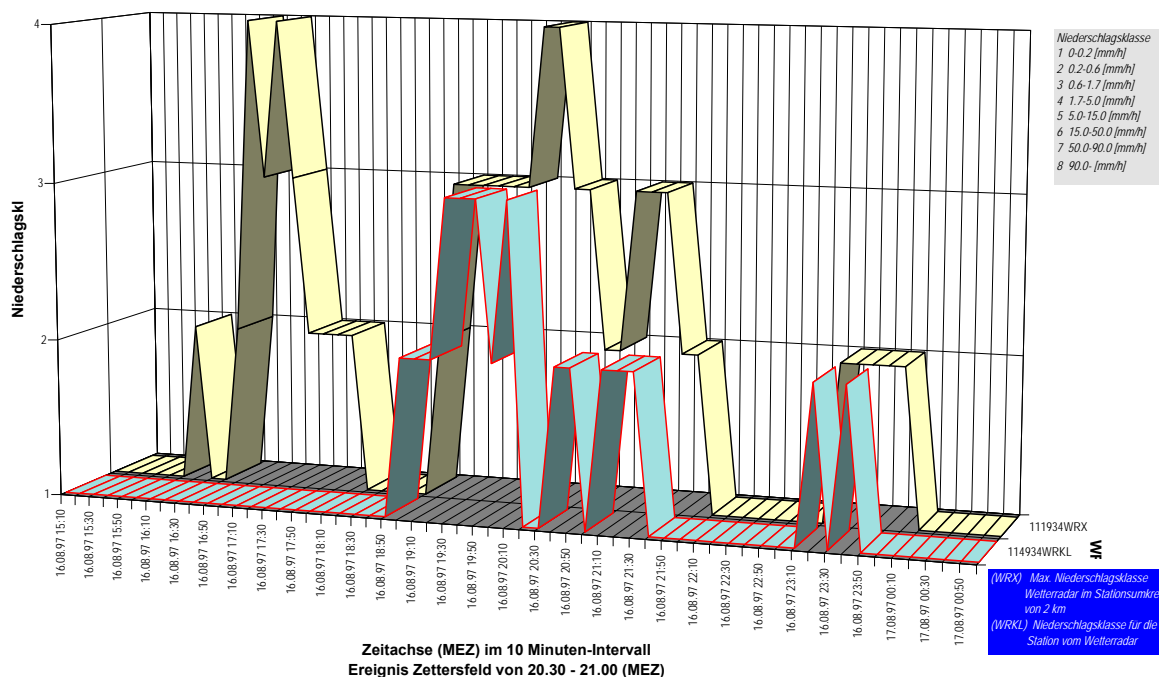


Abbildung 7: Auswertung Wetterradar für den Ereigniszeitraum vom 16. August 1997 am Zettersfeld

Höhere Intensitäten ( $> 50 \text{ mm/h}$ ) sind nur für den Bereich östlich des Einzugsgebietes (Debantbach) ersichtlich. Die Blitzentladungen fanden im Zeitraum von 20:00 bis 20:20 Uhr (MEZ) im westlichen Bereich des Zettersfeldes statt.

Die berechneten Diagramme ausgewählter Stationen sind zum Vergleich der Daten dem Anhang 7.1.1 und 7.1.2 beigegefügt.

Zur Abschätzung der Abflußspitzen können nur solche Gerinneabschnitte herangezogen werden, die eine stabile Sohlage und eindeutig keinen murartigen Abflußprozeß aufweisen. Deshalb kann für die überschlagsmäßige Abschätzung nur der Bereich der Faschingalmbrücke verwendet werden. Der Brückendurchlaß soll beim Ereignis frei durchflossen worden sein.

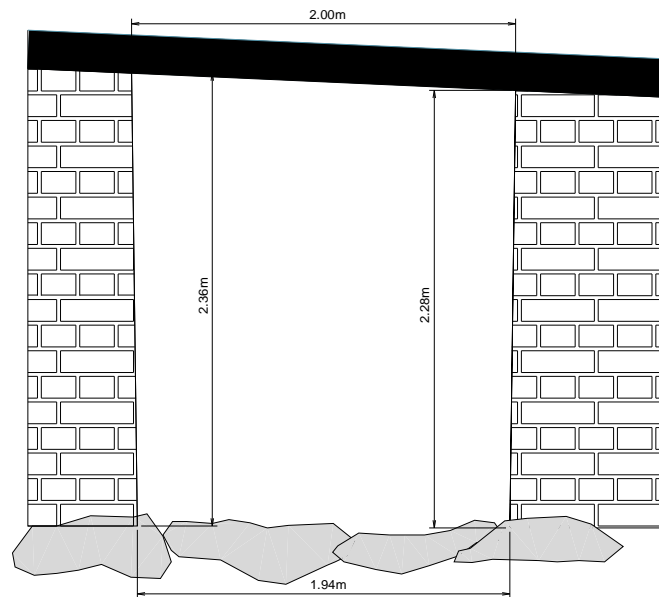


Abbildung 8: Querschnitt Faschingalmbrücke

Bei einem frei durchflossenen Querschnitt von  $4.6 \text{ m}^2$  und einer angenommenen Fließgeschwindigkeit von rund  $3.0 - 3.5 \text{ m/s}$  ergibt sich ein Spitzenabfluß von  $13.8$  bis  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Die Murenablagerung im Siedlungsbereich wurde mit rund  $50000 \text{ m}^3$  geschätzt. Eine Auswertung von geworbenen Proben der Ablagerung ergab einen volumetrischen Wasseranteil von 35 bis 40 Prozent. Dies entspricht einer in der Ablagerung gebundenen Wasserfracht von etwa  $17500$  bis  $20000 \text{ m}^3$  Wasser. Addiert man ungefähr  $1000 \text{ m}^3$  für die Zeit bis zum Murenabgang und rund  $4000 \text{ m}^3$  für die Zeit nach dem Murenabgang, so ergibt sich in Summe eine Wasserfracht für das Ereignis von rund  $20000$  bis  $25000 \text{ m}^3$ .

## 2.4 Rekonstruktion des Niederschlagsereignisses vom 6.9.1997

Nach Angaben des Amtes der Tiroler Landesregierung, Abt. VIh-H (Hydrographie) wurde am 6. September 1997 ein Tagesniederschlag von  $41.2 \text{ mm}$  am Zettlersfeld gemessen. Infolge der Auswertung des Wetterradars ergeben sich für das tatsächliche Ereignis rund  $28 \text{ mm}$  Niederschlag, bei einer Ereignisdauer von ca. 30 Minuten (17:00 - 17:30, MEZ). Die ermittelte Niederschlagsverteilung ist aus Abbildung 9 ersichtlich.

Bei dem Ereignis handelte es sich um ein heftiges Gewitter mit Hagelschlag, wobei das Zentrum nordöstlich der Meßstation im östlichen Einzugsgebiet des

Wartschenbaches lag. Bereits zuvor um 15:30 (MEZ) ging am Zetttersfeld ein Regenschauer nieder, welcher zur Alamierung der FFW Nußdorf-Debant führte. Laut Einsatzbericht 3. Murenkatastrophe Wartschenbachsiedlung (6. Sept. 1997) spitzte sich die Lage um 17:00 (MEZ) zu. Um 17:38 (MEZ) ergoß sich die Mure in das Auffangbecken, schwappte über und überflutete wiederum einen Teil der Wartschensiedlung.

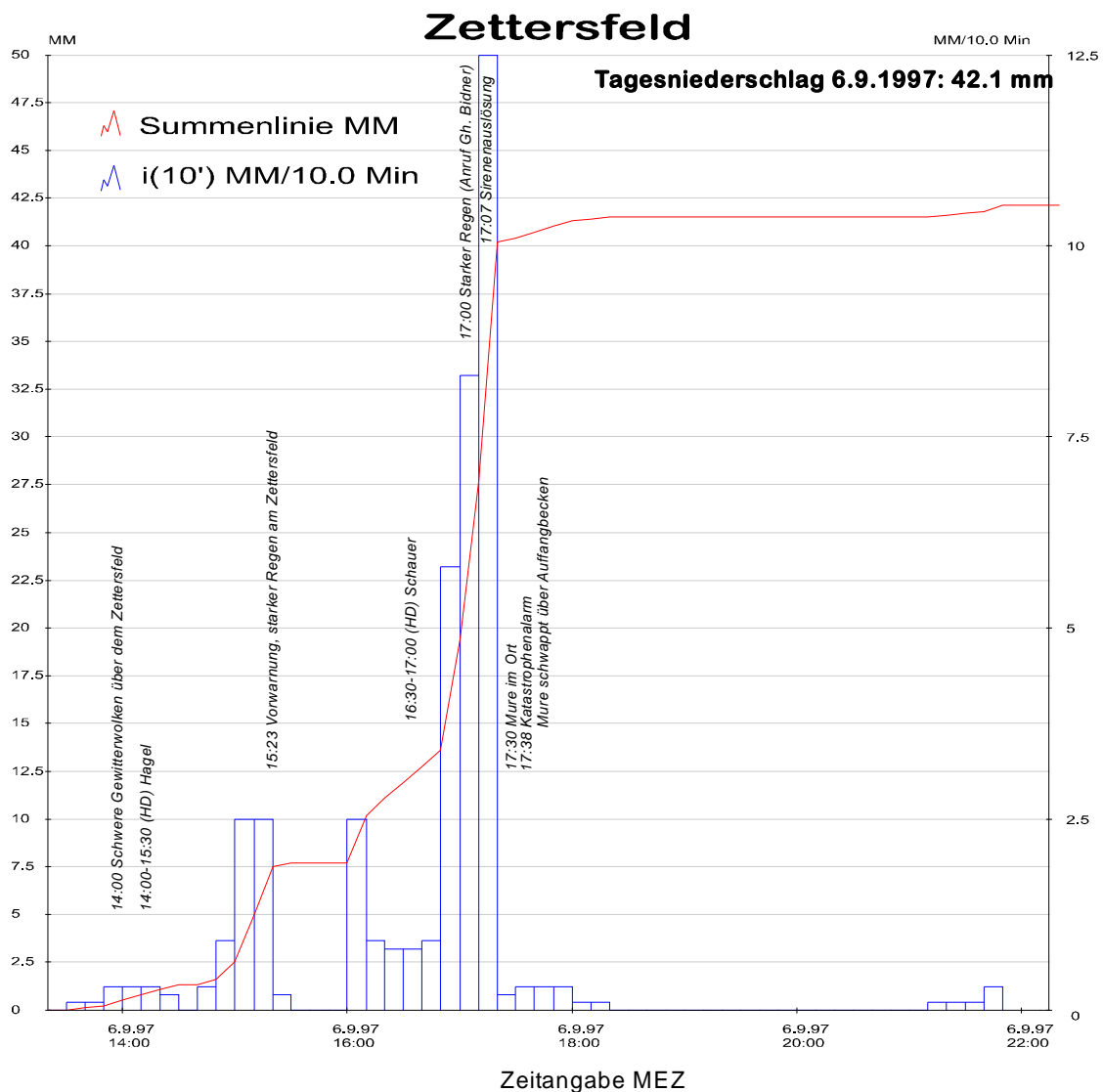


Abbildung 9: Ermittelte Niederschlagsverteilung (Ereignis 16. Aug. 1997)

Die Wetterradar-Auswertung zeigt die höchsten Intensitäten bereits am Nachmittag (15:00 - 15:40 Uhr MEZ), wobei das Zentrum der Niederschläge wiederum östlich des Zetttersfeldes liegt. Ab 16:30 Uhr (MEZ) werden Intensitäten über 90 mm/h sowohl westlich als auch östlich des Einzugsgebietes gemessen, die auch von zahlreichen Blitzentladungen (über 11 Entladungen/10 Minuten in einer Zelle) begleitet werden.

Für den Ereigniszeitraum selbst wurden nur geringe Intensitäten über dem Zettlersfeld gemessen.

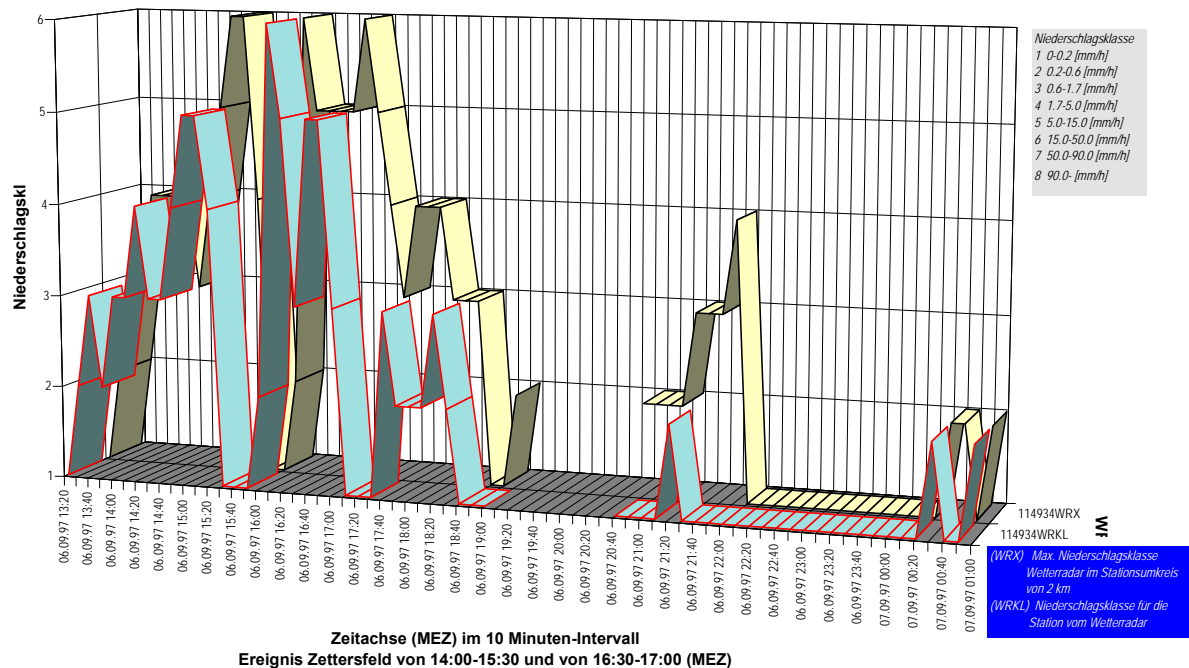


Abbildung 10: Auswertung Wetterradar für den Ereigniszeitraum vom 6. September 1997 am Zettlersfeld

Die Wetterradardaten bilden daher für die beiden Ereignisse 1997 eine ungenaue und daher für eine exakte zeitlich-räumliche Niederschlagsrekonstruktion unbrauchbare Datengrundlage.

Die Auswertung umliegender Stationen zeigt ebenfalls eine große Diskrepanz zwischen Ombrographen- und Wetterradarmessung, sowohl zeitlich als auch quantitativ. Dies ist einerseits in der Umrechnung der Reflektivität, andererseits in der Abschätzung bzw. im Ausfall verschiedener Wetterradarstationen begründet.

Die berechneten Diagramme ausgewählter Stationen sind zum Vergleich der Daten dem Anhang 7.1.3 und 7.1.4 beigefügt.

Die Murenfracht betrug rund 32000 m<sup>3</sup> Wasser und Feststoffe, wobei die Ablagerungen eindeutig flüssiger als beim Augustereignis waren. Somit kann der Wasseranteil auf rund 40 % oder 13000 m<sup>3</sup> angesetzt werden. Addiert man noch ungefähr 5000 m<sup>3</sup> Reinwasserabfluß dazu, errechnet sich eine Abflußfracht von rund 18000 m<sup>3</sup>.

### 3 100-jährliches Bemessungsereignis

#### 3.1 Niederschlag

##### 3.1.1 Extremwertstatistische Auswertung von Tagesniederschlägen

Die extremwertstatistische Auswertung (GUMBEL) der Tagesniederschläge wurde mit den Daten der hydrographischen Jahrbücher und des hydrographischen Dienstes für ausgewählte Niederschlagsstationen Osttirols (Tabelle 5) durchgeführt.

<i>Extremwertstatistische Auswertung von Tagesniederschlägen (Angaben in [mm])</i>							
<i>Stationsname</i>	<i>T<sub>n</sub> 5 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 10 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 25 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 30 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 50 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 100 a</i>	<i>T<sub>n</sub> 150 a</i>
<i>Felbertauertunnel/Süd (HD)</i>	74.30	88.54	106.53	110.06	119.88	133.13	140.86
<i>Hopfgarten/Deferegggen</i>	65.75	76.99	91.20	93.99	101.75	112.21	118.31
<i>Hopfgarten/Deferegggen-Hof</i>	65.65	76.00	89.09	91.65	98.80	108.44	114.06
<i>Innervillgraten</i>	65.11	74.73	86.88	89.26	95.90	104.85	110.07
<i>Iselsberg-Penzelberg (Stronach)</i>	80.41	94.15	111.52	114.93	124.41	137.20	144.66
<i>Kals am Großglockner (ZAMG)</i>	59.36	68.24	79.46	81.66	87.78	96.04	100.86
<i>Lienz (ZAMG)</i>	83.07	96.84	114.24	117.65	127.15	139.96	147.44
<i>Matrei in Osttirol (HD)</i>	63.37	73.69	86.74	89.29	96.41	106.02	111.62
<i>Obertilliach</i>	84.54	98.14	115.31	118.67	128.04	140.69	148.06
<i>Prägraten (HD)</i>	55.93	63.61	73.30	75.20	80.50	87.64	91.80
<i>Sillian (HD)</i>	80.61	94.27	111.51	114.89	124.31	137.01	144.41
<i>St. Jakob im Deferegggen (ZAMG)</i>	64.40	73.63	85.30	87.58	93.95	102.54	107.55
<i>St. Johann im Walde</i>	65.49	76.69	90.85	93.63	101.36	111.79	117.87
<i>Unteraßling</i>	87.84	109.30	136.42	141.73	156.53	176.49	188.14
<i>Zetttersfeld</i>	64.43	73.66	85.31	87.59	93.95	102.53	107.53

Tabelle 5: Extremwertstatistische Auswertung von Tagesniederschlägen [mm] ausgewählter Niederschlagsstationen Osttirols (einschließlich 1997)

##### 3.1.2 Abhängigkeit der Extremniederschläge von der Höhenlage

Da von der Station Zetttersfeld nur eine kurze Datenreihe für die Auswertung zur Verfügung steht, sind die extremwertstatistischen Daten nicht abgesichert. Deshalb wurde ein Vergleich mit der Station Lienz (ZAMG) angestrebt. Das Problem dabei war die Übertragungsfunktion für die unterschiedliche Höhe ü. A.. Der Vergleich der errechneten Daten ergab, daß die mittleren Jahresniederschläge mit der Höhenlage der Meßstation zunehmen. Für die 50- bzw. 100-jährlichen Tages- und Monatsniederschläge konnte jedoch ein Höhentrend nicht festgestellt werden.

**Daraus ergibt sich, daß die Daten der Station Lienz ohne Höhenanpassung**

auch für die Station Zettlersfeld angenommen werden können. Diese Resultate stimmen mit den Ergebnissen, die von ZELLER und GENSLER (1980) beschrieben wurden, gut überein.

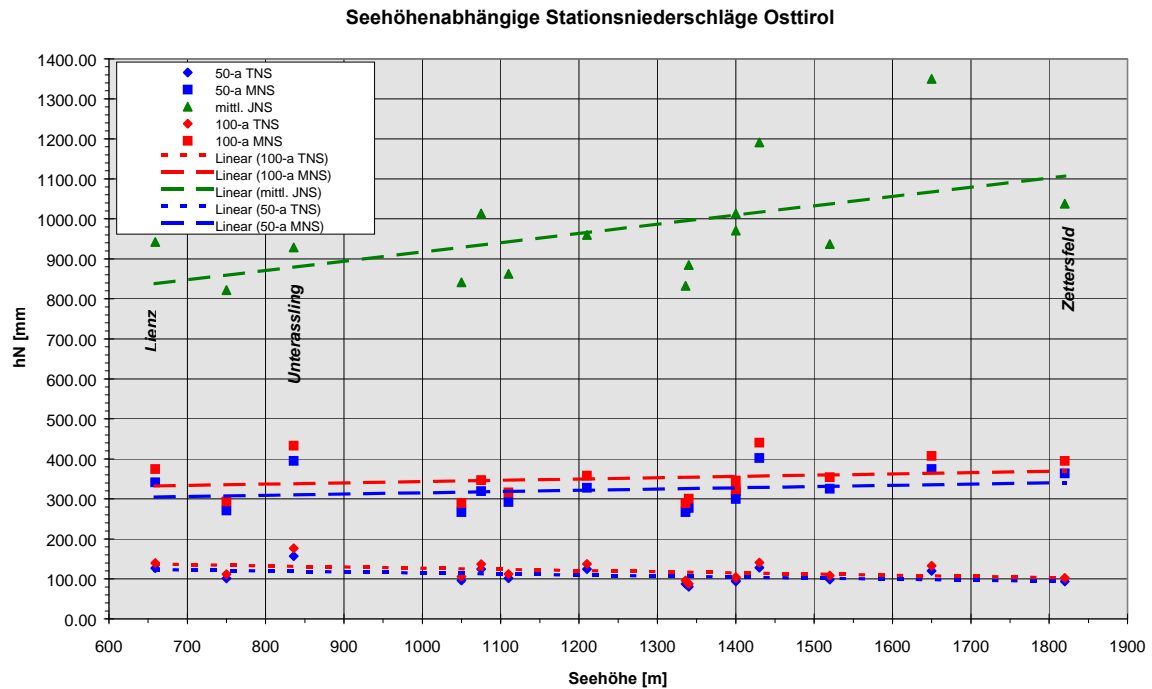


Abbildung 11: Abhängigkeit von 50- bzw. 100-jährlichen Niederschlägen Osttiroler Stationen von der Höhe ü. A.

### 3.1.3 Berücksichtigung kurzzeitiger Starkniederschläge

Eine Auswertung kurzzeitiger Starkregen (30 bis 1440 Minuten) für Lienz liegt von HAGEN (1996) vor. Die Niederschlagsdaten (Auflösung 5 Minuten) stammen von den Monaten Mai bis Oktober 1961 bis 1990. Mit diesen Werten wurde ebenfalls eine extremwertstatistische Auswertung (GUMBEL) für die Niederschlagsdauer von 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 360, 540, 720, 1080 und 1440 Minuten durchgeführt.

Extremwertstatistische Auswertung (GUMBEL) für einen 30-Minuten Niederschlag						
Wiederkehrintervall	$X_T$ [mm]	KIV [mm]	$y_n$	$S_n$	$y_T$	$K_t$
5 a	18.0	3.6	0.5332	1.1004	1.4999	0.8785
10 a	21.8	5.0	0.5332	1.1004	2.2504	1.5605
25 a	26.6	6.8	0.5332	1.1004	3.1985	2.4221
30 a	27.6	7.1	0.5332	1.1004	3.3843	2.5910
50 a	30.2	8.2	0.5332	1.1004	3.9019	3.0613
100 a	33.8	9.5	0.5332	1.1004	4.6001	3.6958
150 a	35.9	10.3	0.5332	1.1004	5.0073	4.0659

Tabelle 6: Niederschlagshöhen [mm] für ein 30-minütiges Ereignis unterschiedlicher Jährlichkeit für die Station Lienz

Wie aus Abbildung 12 ersichtlich, liegen die 24-Stunden Extremwerte über denen der Tagesniederschläge. Da diese die tatsächlichen Niederschlagsverhältnisse besser als die Tagesniederschläge beschreiben, wurden die weiteren Berechnungen für Niederschläge von 1440 Minuten mit diesen Werten durchgeführt.

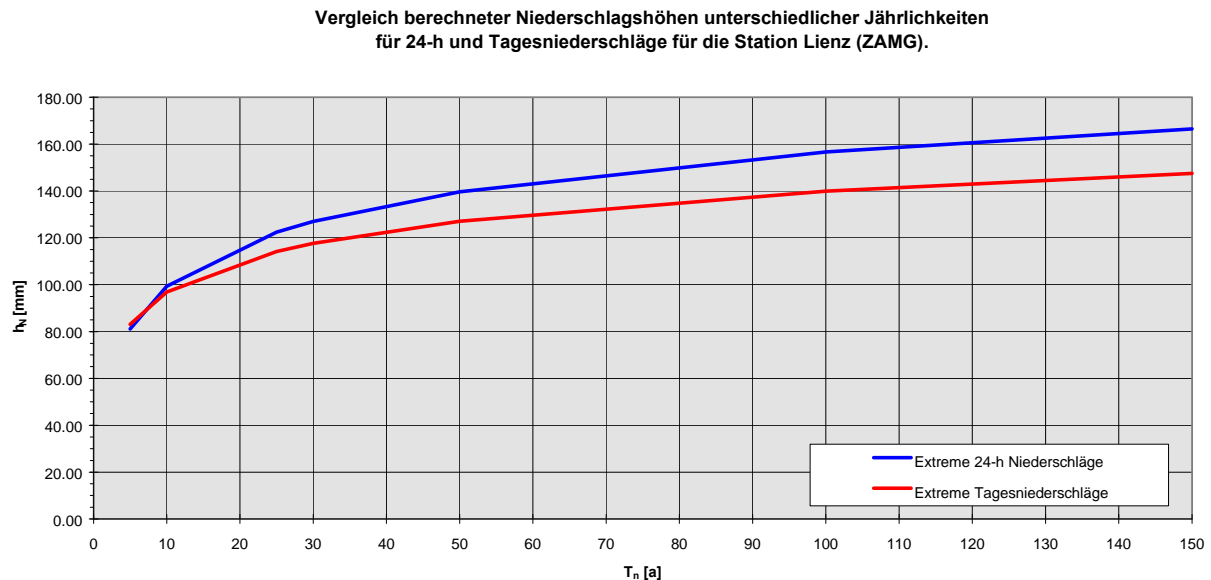


Abbildung 12: Vergleich der Extremwerte von 24-Stunden und Tagesniederschlägen für die Station Lienz

### 3.1.4 Vergleich kurzzeitiger Extremereignisse verschiedener Verfahren

#### 3.1.4.1 Verfahren OWUNDA, DVWK und GUMBEL

HAMMER (1993) wertete Kurzzeitniederschläge der Station Lienz mit dem Verfahren OWUNDA (Optimierter w-u Niederschlags Dauerstufen Ausgleich) für 10-, 30- und 50-jährliche Niederschläge aus, wobei die Daten der partiellen Serie Verwendung fanden. Zusätzlich wurden die Auswertungen von NEUWIRTH (1984), der die Starkregen nach DVWK aufbereitete, zum Vergleich herangezogen.

Es zeigte sich, daß die mit den Werten von HAGEN (1996) nach GUMBEL berechneten Niederschlagshöhen bis zur Jährlichkeit 50 sehr gut mit den Berechnungen mit dem Verfahren OWUNDA für die partielle Serie von Lienz übereinstimmen. Deshalb wurden für die Berechnung fehlender Daten (Niederschlagsdauer und/oder Jährlichkeit) die GUMBEL-Niederschlagshöhen herangezogen.

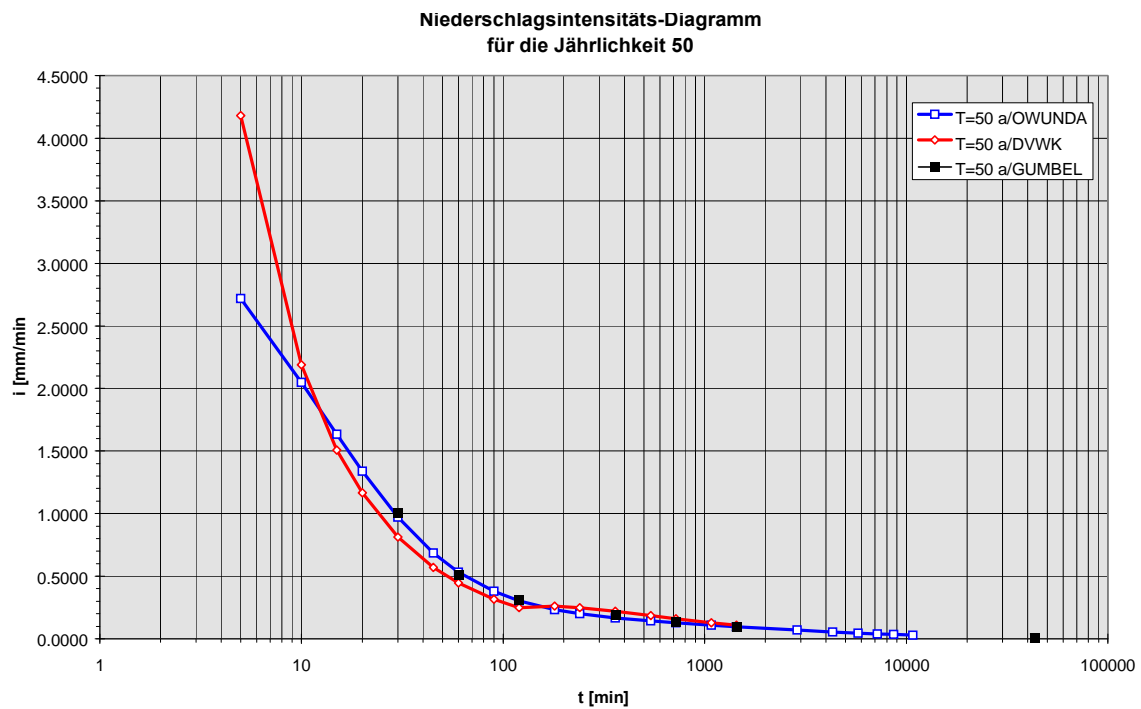


Abbildung 13: Vergleich unterschiedlicher Verfahren zur Bestimmung des 50-jährlichen Niederschlags für die Station Lienz

Um fehlende Niederschlagszeiten (15', 45', 180', 240', 540', 1080') der GUMBEL-Analyse zu berechnen, wurden Regressionen mit den OWUNDA-Werten als unabhängige Variable gerechnet.

$$i_{(GUMBEL-10a)} = -0.002789177 + 1.00056 \cdot i_{(OWUNDA-10a)} \quad i \text{ [mm/min]}$$

$$i_{(GUMBEL-30a)} = 0.000964477 + 1.01335 \cdot i_{(OWUNDA-30a)} \quad i \text{ [mm/min]}$$

$$i_{(GUMBEL-50a)} = 0.0026414 + 1.01678 \cdot i_{(OWUNDA-50a)} \quad i \text{ [mm/min]}$$

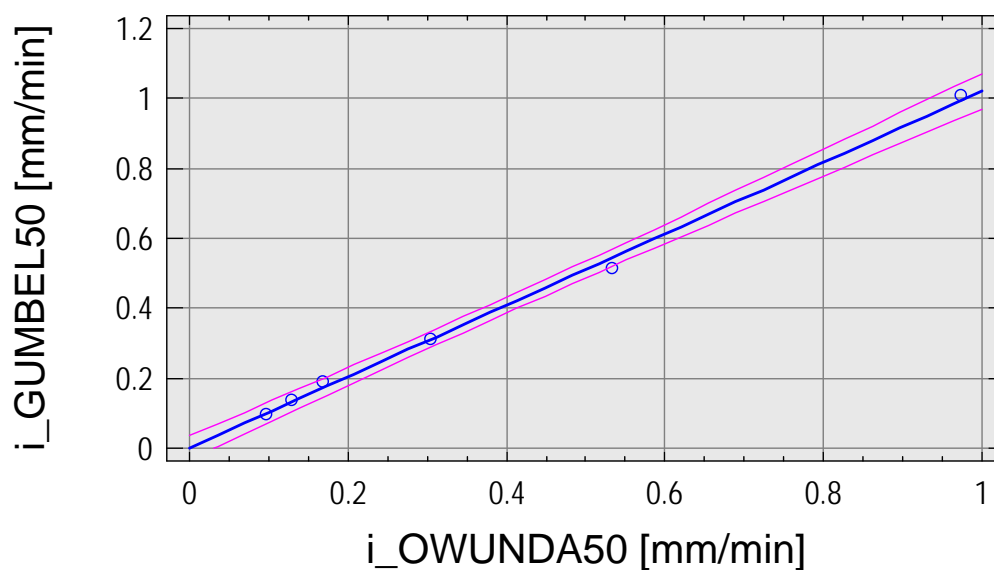


Abbildung 14: Regression zwischen den Niederschlagsintensitäten [mm/min] (GUMBEL, OWUNDA)

Mit Hilfe dieser Beziehungen konnte für die gewünschte Niederschlagsdauer der Jährlichkeiten 10, 30 und 50 die entsprechende Niederschlagsintensität abgeleitet werden.

Mit Hilfe von Regressionsgleichungen (Logarithmic X) wurden die fehlenden Datensätze für die 100- bzw. 150-jährlichen Niederschlagsereignisse berechnet.

Einheiten:  $i$  [mm/min],  $T_n$  [a]

$$\begin{aligned}
 i(15 \text{ min}) &= 0.471765 + 0.304915 \cdot \ln(T_n) \\
 i(30 \text{ min}) &= 0.303381 + 0.177952 \cdot \ln(T_n) \\
 i(45 \text{ min}) &= 0.260438 + 0.112501 \cdot \ln(T_n) \\
 i(60 \text{ min}) &= 0.263464 + 0.068064 \cdot \ln(T_n) \\
 i(120 \text{ min}) &= 0.148273 + 0.0418131 \cdot \ln(T_n) \\
 i(180 \text{ min}) &= 0.118048 + 0.0310484 \cdot \ln(T_n) \\
 i(240 \text{ min}) &= 0.0995217 + 0.0270528 \cdot \ln(T_n) \\
 i(360 \text{ min}) &= 0.0501962 + 0.0334199 \cdot \ln(T_n) \\
 i(540 \text{ min}) &= 0.060914 + 0.0218763 \cdot \ln(T_n) \\
 i(720 \text{ min}) &= 0.0416762 + 0.02379 \cdot \ln(T_n) \\
 i(1080 \text{ min}) &= 0.0395259 + 0.0186903 \cdot \ln(T_n) \\
 i(1440 \text{ min}) &= 0.0345678 + 0.0163825 \cdot \ln(T_n)
 \end{aligned}$$

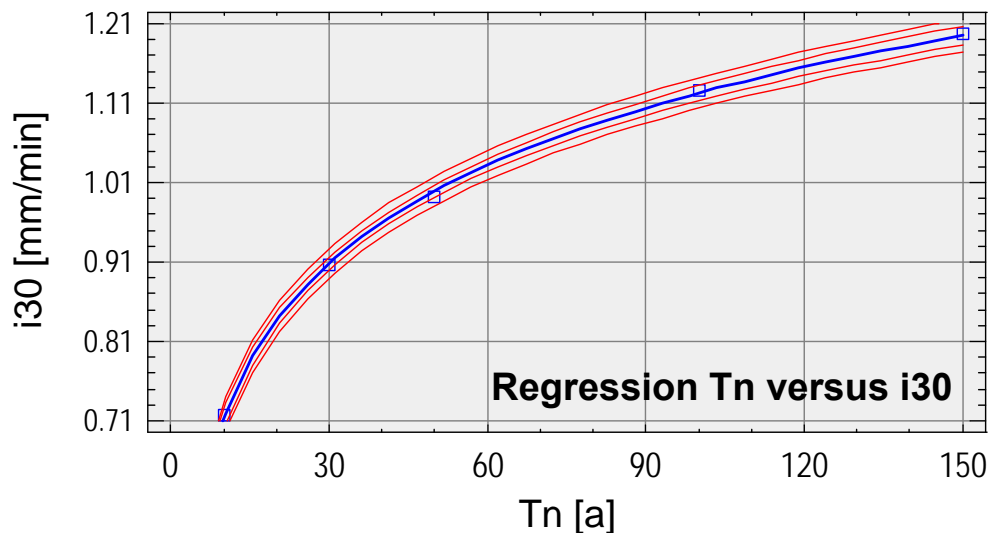


Abbildung 15: Anpassungsfunktion für ein 30-minütiges Niederschlagsereignis

Übernommen GUMBEL (calc): Intensitäten in [mm/min]												
$T_n$ [a]	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min	180 min	240 min	360 min	540 min	720 min	1080 min	1440 min
$T_n$ 10	1.1712	0.7143	0.5175	0.4091	0.2432	0.1879	0.1602	0.1315	0.1097	0.0968	0.0810	0.0707
$T_n$ 30	1.5075	0.9062	0.6428	0.5026	0.2906	0.2239	0.1918	0.1594	0.1357	0.1214	0.1035	0.0916
$T_n$ 50	1.6634	0.9923	0.7008	0.5449	0.3119	0.2405	0.2064	0.1724	0.1476	0.1327	0.1138	0.1011
$T_n$ 100		1.1267		0.5683	0.3408			0.2094		0.1531		0.1088
$T_n$ 150		1.1967		0.6000	0.3583			0.2208		0.1618		0.1157

Berechnete Intensitäten in [mm/min]: $i(tN) = a+b \cdot \ln(Tn)$												
$T_n$ [a]	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min	180 min	240 min	360 min	540 min	720 min	1080 min	1440 min
$T_n 10$	1.1739	0.7131	0.5195	0.4202	0.2446	0.1895	0.1618	0.1271	0.1113	0.0965	0.0826	0.0723
$T_n 30$	1.5088	0.9086	0.6431	0.4950	0.2905	0.2236	0.1915	0.1639	0.1353	0.1226	0.1031	0.0903
$T_n 50$	1.6646	0.9995	0.7005	0.5297	0.3118	0.2395	0.2054	0.1809	0.1465	0.1347	0.1126	0.0987
$T_n 100$	1.8760	1.1229	0.7785	0.5769	0.3408	0.2610	0.2241	0.2041	0.1617	0.1512	0.1256	0.1100
$T_n 150$	1.9996	1.1950	0.8241	0.6045	0.3578	0.2736	0.2351	0.2177	0.1705	0.1609	0.1332	0.1167

Tabelle 7: Ergänzte Datensätze für unterschiedliche Jährlichkeiten und Niederschlagsdauer für Lienz

### 3.1.4.2 Verfahren SCHIMPF

In der Praxis hat sich das Verfahren nach KREPS/SCHIMPF (1965) bewährt. Es ermöglicht die Abschätzung der Niederschläge unterschiedlicher Jährlichkeit bei einer Niederschlagsdauer von mehr als 60 Minuten.

Aufgrund der Auswertung in Kapitel 3.1.1 läßt sich das 90%-Kriterium mit 43 mm bestimmen (90% der gemessenen Jahreshöchstwerte liegen über 43 mm). Somit gilt Lienz als K45-Station und die entsprechenden Werte können aus einem Diagramm (SCHIMPF, 1970) abgelesen werden.

Die Werte für eine Niederschlagsdauer kleiner 60 Minuten wurden extrapoliert (Abbildung 16).

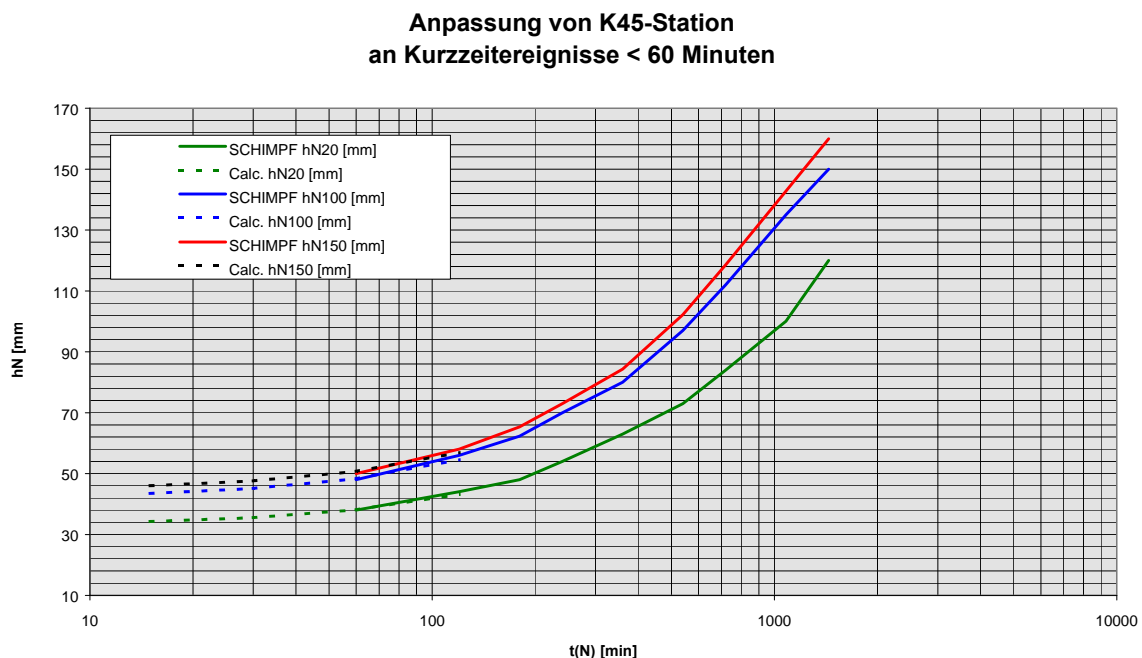


Abbildung 16: Anpassung SCHIMPF (1979) K45 an Kurzzeitereignisse

Somit läßt sich das Niederschlagshöhen-Diagramm für Lienz mit den Jährlichkeiten 20, 100 und 150 darstellen (Abbildung 17).

**Niederschlagshöhen und -intensitäten für K45-Stationen  
Jährlichkeit 20, 100 und 150**

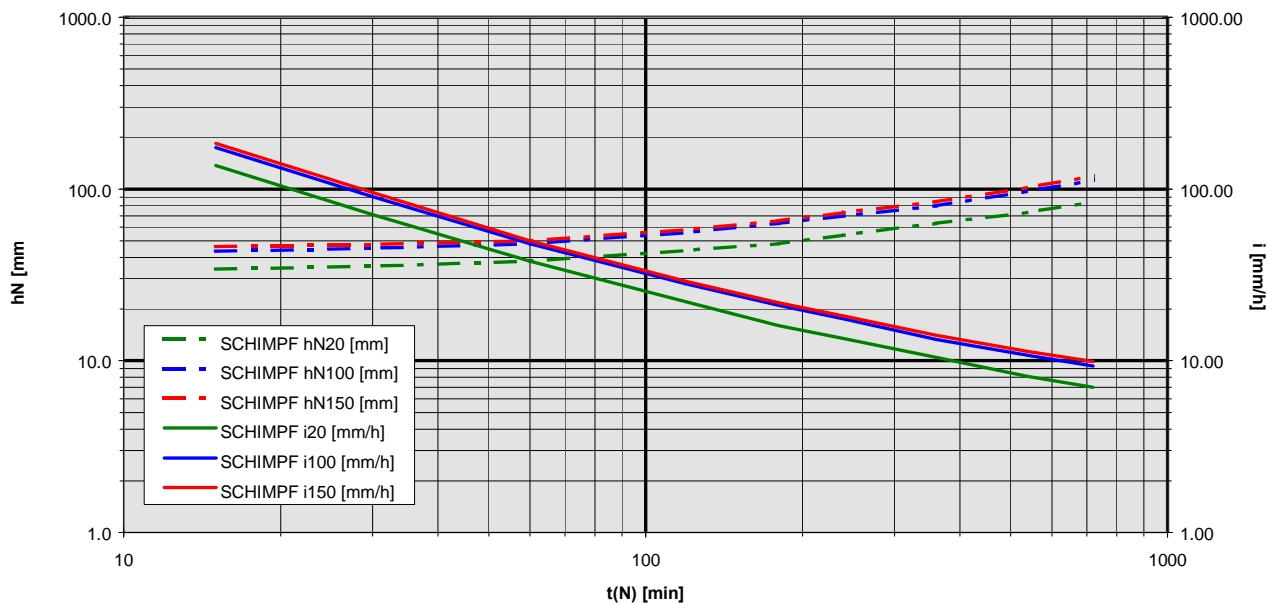


Abbildung 17: Niederschlagshöhen-, und Niederschlagsintensitäts-Diagramm für die Station Lienz (K45) nach SCHIMPF (1970)

**3.1.4.3 Verfahren nach HAMPEL**

HAMPEL (1990) leitet seine Formel für 100-jährliche Bemessungsniederschläge aus Starkniederschlagsauswertungen der Schweiz ab.

$$h_{N,100} = h_{100} \cdot t_N^{0.45}$$

Einheiten: h [mm], t [in Tagesbruchteilen]

**Niederschlagshöhen-Diagramm nach HAMPEL (1990)  
Jährlichkeit 100**

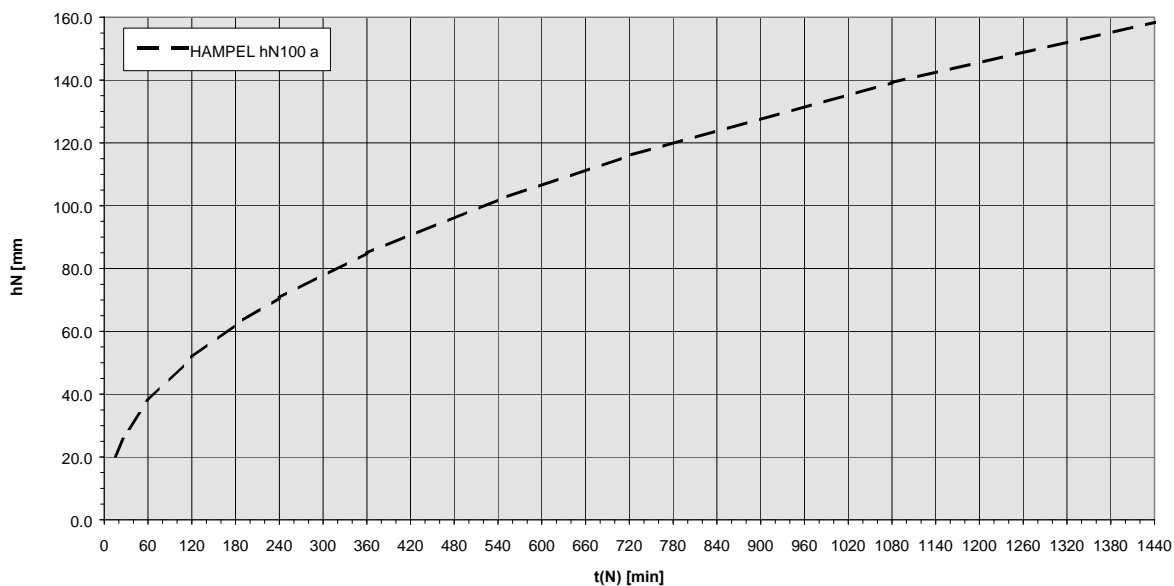


Abbildung 18: Niederschlagshöhendiagramm für die Jährlichkeit 100

### 3.1.4.4 Vergleich der mit verschiedenen Verfahren berechneten Bemessungsniederschläge

Zum Vergleich werden die Auswertungen nach GUMBEL, HAMPEL und SCHIMPF herangezogen (Tabelle 8).

Niederschlagshöhe [mm]											
$t_N$ [min]	15	30	60	120	180	240	360	540	720	1080	1440
GUMBEL $h_{N100}$	28.1	33.7	34.6	40.9	47.0	53.8	73.5	87.3	108.9	135.6	158.4
GUMBEL $h_{N150}$	30.0	35.9	36.3	42.9	49.3	56.4	78.4	92.1	115.8	143.8	168.0
HAMPEL $h_{N100}$	20.3	27.7	37.9	51.8	62.1	70.7	84.9	101.9	116.0	139.2	158.4
SCHIMPF $h_{N100}$	43.5	45.1	48.0	56.0	63.0	70.0	80.0	97.0	112.0	135.0	150.0
SCHIMPF $h_{N150}$	46.1	47.7	50.0	58.0	65.3	73.0	84.3	102.2	118.6	142.8	160.0

Tabelle 8: Vergleich von Niederschlagshöhen [mm] (GUMBEL, HAMPEL, SCHIMPF)

Kurzzeitige Niederschläge, die mit den Verfahren GUMBEL und HAMPEL berechnet wurden, weisen deutlich geringere Niederschlagshöhen im Vergleich zu SCHIMPF auf. Ab einer Niederschlagsdauer von rund 8 Stunden zeigen die K45-Werte nach SCHIMPF die geringsten Niederschlagshöhen.

Vergleich Niederschlagshöhen-Diagramme für LIENZ  
Jährlichkeit 100 und 150 Jahre

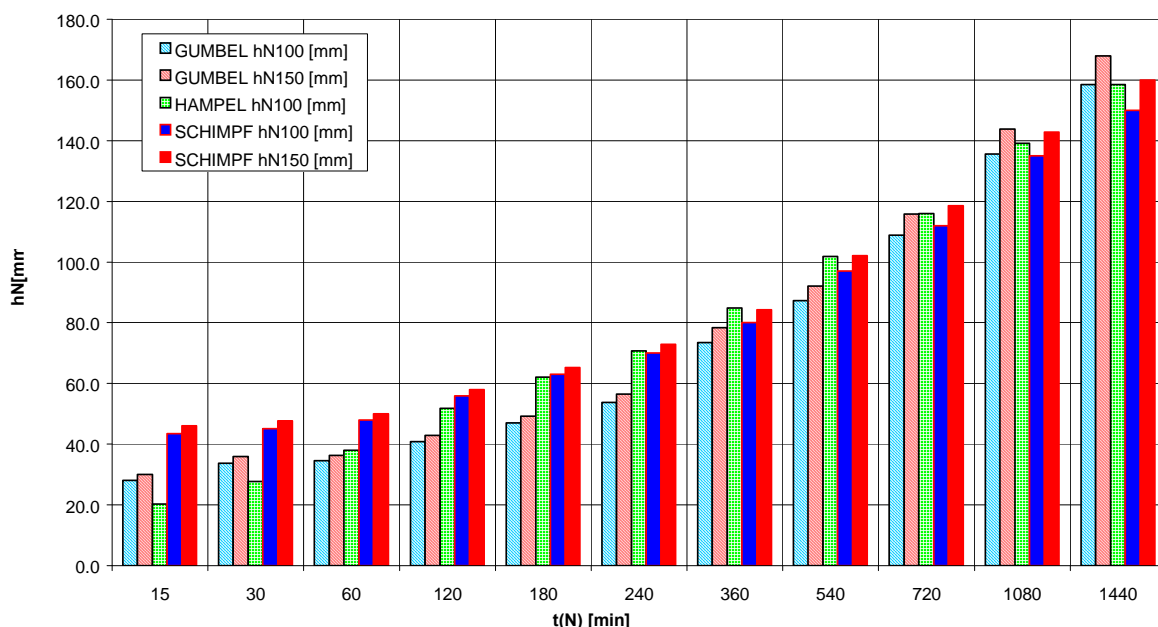


Abbildung 19: Vergleich von Niederschlagshöhen (GUMBEL, HAMPEL, SCHIMPF)

### 3.1.5 Festlegung des Bemessungsniederschlages für die Jährlichkeit 100

Da Kurzzeitereignisse sehr hohe Intensitäten aufweisen können, scheint es sinnvoll, die Bemessung für Ereignisse einer Dauer bis 720 Minuten nach SCHIMPF vorzunehmen. Damit können auch Unsicherheiten, die durch Wind und Hagel hervorgerufen werden, zumindest teilweise berücksichtigt werden. Welche Niederschlagshöhe tatsächlich bei Kurzzeitereignissen (z.B. 10 Minuten) erreicht werden kann, ist nicht bekannt. Länger andauernde Ereignisse werden nach GUMBEL bemessen. Diese Annahmen gelten, wie bereits in Kapitel 3.1.2 ausgeführt, auch für die Station Zetttersfeld und somit für das Einzugsgebiet des Wartschenbaches.

Zur Bemessung werden somit folgende Niederschlagsdaten verwendet (Tabelle 9):

$t_N$ [min]	15	30	60	120	180	240	360	540	720	1080	1440
Bemessung $h_{N100}$ [mm]	43.5	45.1	48.0	56.0	63.0	70.0	80.0	97.0	112.0	135.6	158.4
Bemessung $i_{100}$ [mm/min]	2.90	1.50	0.80	0.47	0.35	0.29	0.22	0.18	0.16	0.13	0.11

Tabelle 9: Niederschlagshöhe und -intensität für Bemessungsereignisse

Vergleich Niederschlagshöhen-Diagramm für LIENZ  
Jährlichkeit 100 und 150

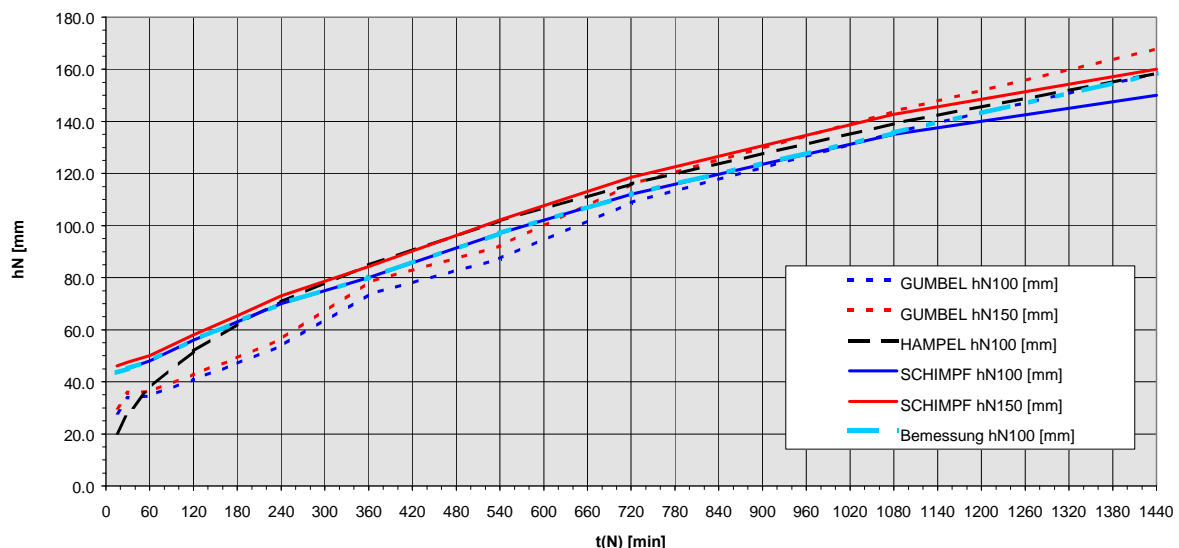


Abbildung 20: Niederschlagshöhen-Diagramme für Lienz für die Jährlichkeiten 100 und 150

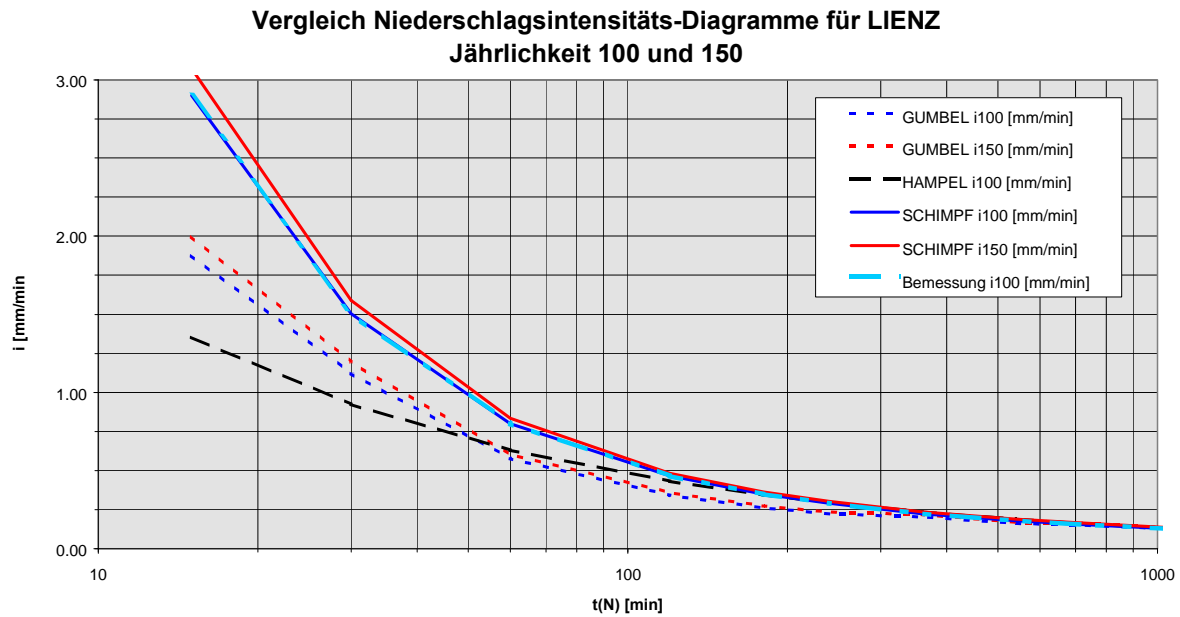


Abbildung 21: Niederschlagsintensitäts-Diagramm für Lienz für die Jährlichkeiten 100 und 150

### 3.1.5.1 Jährlichkeit der Ereignisse 1995 und 1997

Mit den oben gewonnenen Erkenntnissen lassen sich die Ereignisse von 1995 und 1997 einer Jährlichkeit zuordnen. Die Anpassung der gemessenen Daten erfolgte entsprechend Kapitel 2.2, 2.3 und 2.4. Ersichtlich wird, daß das Augustereignis von 1995 etwa einem 150-jährlichen Ereignis (wenn der Tagesniederschlag in 60 Minuten gefallen ist), das Augustereignis 1997 etwa einem 50-jährlichen Ereignis und das Septemberereignis 1997 einem unter 30-jährlichen Ereignis entspricht.

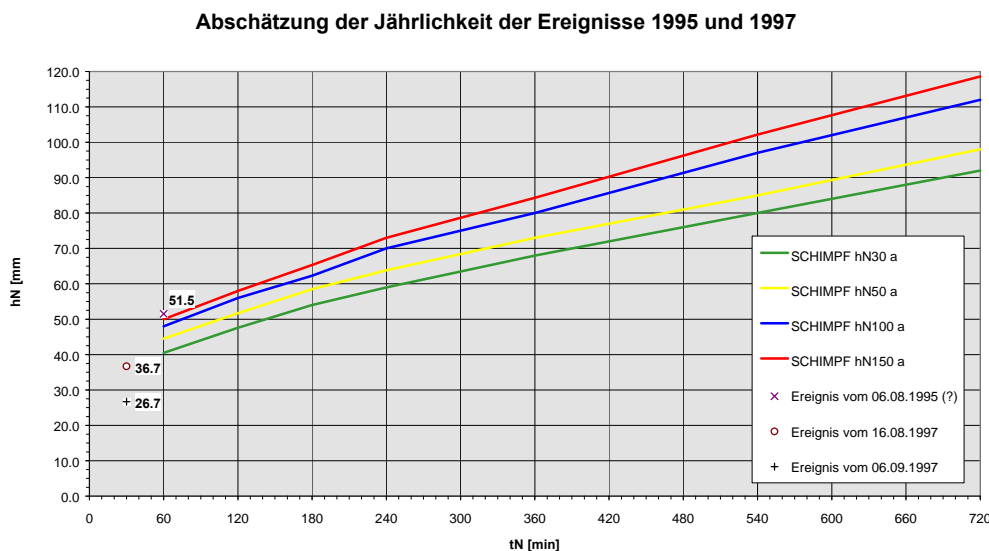


Abbildung 22: Abschätzung der Jährlichkeit der Niederschlagsereignisse 1995 und 1997

### 3.1.6 Erstellung einer Umrechnungsfunktion für anfangs-, mitten- und endbetonte Niederschlagsverteilungen sowie einem Blockregen.

Die Niederschlagshöhen wurden mit Hilfe von Aufteilungsfunktionen in einen Blockregen, einen anfangs-, mitten- und endbetonten Niederschlag umgerechnet, wobei darauf geachtet wurde, daß sich bei der Summation der Niederschlagsordinaten über kürzere Zeitintervalle keine größeren Niederschlagshöhen ergeben als den Bemessungsereignissen entspricht.

Anfangsbetont:

Dichtefunktion

$$x_i = e^{-8 \cdot t_i}$$

Mittensbetont:

Dichtefunktion

$$x_i = -0.08 + 2 \cdot e^{(-12.5 \cdot (t_i - 0.5)^2)}$$

Endbetont:

Summenlinienfunktion:

$$X_i = e^{-8 \cdot (1 - t_i)^2}$$

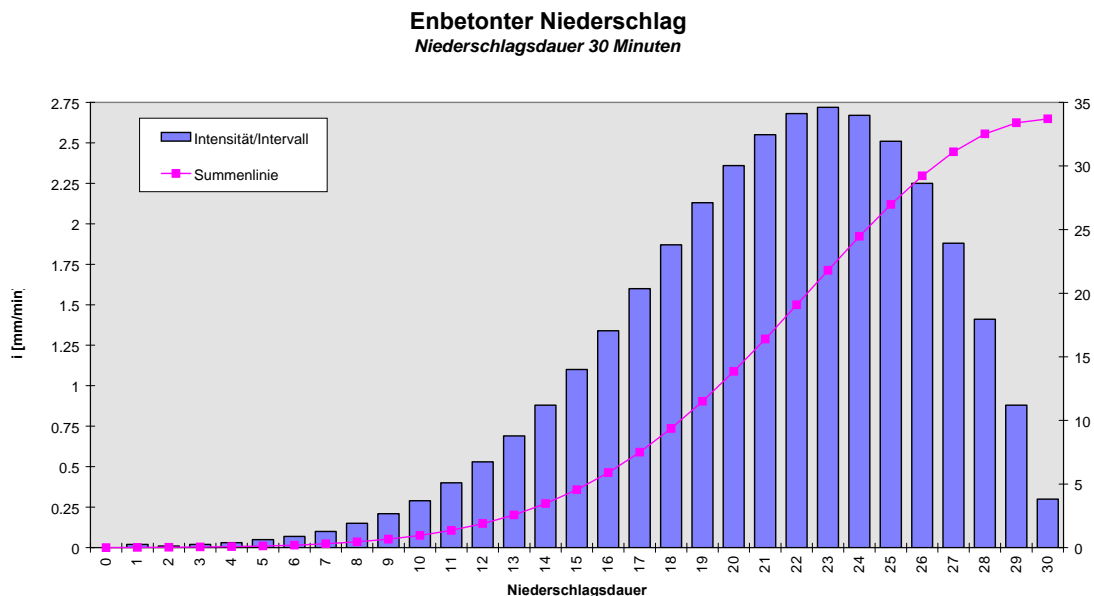


Abbildung 23: Summenlinienfunktion; endbetont  $X_i = f(t_i) = e^{-8 \cdot (1 - t_i)^2}$ ;  $h_N = 33.70$  mm;  $t_N = 30.00$  min;  $dt_N = 1.00$  min

Die berechneten Niederschlagsverteilungen sind dem Anhang 7.2.3 zu entnehmen.

## 3.2 Abfluß

### 3.2.1 Berechnung des Abflusses mit empirischen Schätzformeln

Zur Abschätzung des Abflusses können empirische Schätzformeln herangezogen werden. Ihre Gültigkeit ist jedoch auf Gebiete über 1 km<sup>2</sup> beschränkt, sodaß sie zur Überprüfung der Abflußwerte oberhalb der projizierten Standorte der Rückhaltebecken nicht herangezogen werden können.

WUNDT (1953): 
$$HQ = 13.8 \cdot A_E^{0.6}$$

Standard, 90% Richtkurve, gültig für das Bergland, 1-200000 km<sup>2</sup>

Abfluß Faschingalmbrücke	Abfluß Schwemmkegelhals
18.8 m <sup>3</sup> /s	21.5 m <sup>3</sup> /s
mit A <sub>E</sub> = 1.67 km <sup>2</sup>	mit A <sub>E</sub> = 2.10 km <sup>2</sup>

HAMPEL (1978): 
$$HQ = 0.25 \cdot h_{100} \cdot \sqrt{A_E} \cdot \left(1 - \frac{SH_m}{2200}\right)$$

Gültig für Osttirol, Abflußbeiwert 0.5

Abfluß Faschingalmbrücke	Abfluß Schwemmkegelhals
9.3 m <sup>3</sup> /s	18.3 m <sup>3</sup> /s
mit A <sub>E</sub> = 1.67 km <sup>2</sup> , SH <sub>m</sub> = 1800 m ü.A. mit h <sub>100</sub> = 158.4 mm	mit A <sub>E</sub> = 2.10 km <sup>2</sup> , SH <sub>m</sub> = 1500 m ü.A.

HAMPEL (1990): 
$$HQ = 0.4 \cdot a \cdot h_{100} \cdot \sqrt{A_E} \cdot \left(1 - \frac{SH_u}{2400}\right)$$

Gültig für inneralpine Lagen, Abflußbeiwert (a) nach MÜLLER (1943, S. 108) = 0.5

Abfluß Faschingalmbrücke	Abfluß Schwemmkegelhals
14.9 m <sup>3</sup> /s	32.5 m <sup>3</sup> /s
mit A <sub>E</sub> = 1.67 km <sup>2</sup> , SH <sub>u</sub> = 1400 m ü.A. mit h <sub>100</sub> = 158.4 mm	mit A <sub>E</sub> = 2.10 km <sup>2</sup> , SH <sub>u</sub> = 700 m ü.A.

Da in den Formeln von HAMPEL die Seehöhe proportional in die Abflußformel eingeht, ergibt sich in höhergelegenen Einzugsgebieten nur ein geringer Abfluß.

KOELLA (1986): 
$$HQ_{100} = 12.0 \cdot A_E^{0.85}$$

Berechnet als Umhüllende der Maximalereignisse

Abfluß Faschingalmbrücke	Abfluß Schwemmkegelhals
18.6 m <sup>3</sup> /s	22.5 m <sup>3</sup> /s
mit A <sub>E</sub> = 1.67 km <sup>2</sup>	mit A <sub>E</sub> = 2.10 km <sup>2</sup>

Nach BERGTHALER (1997) errechnen sich die hundertjährigen Abflüsse am Schwemmkegel mit:

$$HQ_{100} = 25.5 - 26.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.2.2 Berechnung des Abflusses mit dem Verfahren nach KOELLA (1986)

Das Modell wurde zur Abschätzung von Spitzenabflüssen in kleinen natürlichen Einzugsgebieten (Schweiz) unter Berücksichtigung physikalischer Modellansätze entwickelt.

Mittels der kumulierten Gerinnelängen lassen sich die effektiv beitragenden Flächen berechnen. Für den Wartschenbach wurden zusätzlich 50- bzw. 100 Meter Buffer um die Haupt- und Nebengerinne gelegt (sh. Anhang 7.3.1), um den Einfluß der effektiv beitragenden Fläche auf den Hochwasserabfluß abzuschätzen.

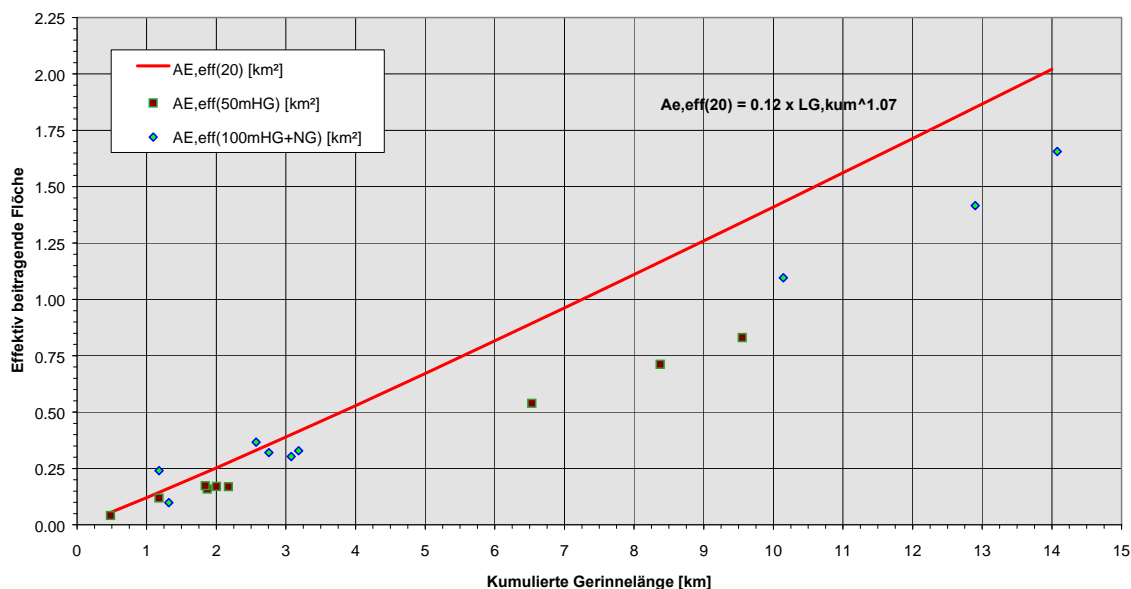


Abbildung 24: Kumulierte Gerinnelänge versus beitragender Fläche für die Jährlichkeit 20 (KOELLA, 1986)

Zur Berechnung des Hochwasserabflusses wurden sodann 2 Varianten berechnet:

Variante 1: Berechnung der effektiv beitragenden Fläche mittels der kumulierten Gerinnelänge der Haupt- und Nebengerinne

Variante 2: Berechnung der effektiv beitragenden Fläche über einen 50 Meter Buffer um die Hauptgerinne

$$HQ_n = (i_{n(t_{c,n})} - f_n + i_S) \cdot (A_{E-eff,n} + A_{E-vers}) \cdot k_G \cdot \frac{1}{3.6} + Q_{Gle}$$

Ganglinienkorrektur	AE < 1 km <sup>2</sup>	AE ≥ 1 km <sup>2</sup>
t <sub>C,n</sub> ≤ 1 Stunde	k <sub>G</sub> = 1.2	k <sub>G</sub> = 1 + $\frac{10 - A_E}{9} \cdot 0.2$
1 Stunde < t <sub>C,n</sub> ≤ 3 Stunde	k <sub>G</sub> = 1 + $\frac{3 - t_{C,n}}{2} \cdot 0.2$	k <sub>G</sub> = 1 + $\frac{3 - t_{C,n}}{2} \cdot \frac{10 - A_E}{9} \cdot 0.2$

Effektiv beitragende Fläche:  $A_{E-eff,20} = 0.12 \cdot L_{G,kum}^{1.07}$

Totale Fließzeit (Gerinne):  $t_{G,20} = A_{E-eff,20}^{0.2}$

Auswahl Landschaftscharakteristik:

Landschafts- charakteristik	Alpine kristalline Berg-landschaften		Alpine Kalk-Berg-landschaften		Flysch-/Bündner-schiefer-landschaften		Voralpine Nagelfluh-landschaften		Molasse-landschaften des Mittellandes		Jura-Kalk landschaften	
	Standard	Trogflöcher mit Talschotter	Standard	Trogflöcher mit Talschotter	Standard	Trogflöcher mit Talschotter	Standard	Sohlenflöcher	Standard	Sohlenflöcher	Standard	Sohlenflöcher
Bodenkarte	V, W	R, Y (V8, W8)	U	R, Y (U8)	S (T)	R, Y (Q)	M, N, O, P, X (G)	R, Y (Q)	G, H, K, L	G1, H4, J1, Q	A, B, C, D, E	B2, B5
<b>BASISWERT</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
Tiefgründigere Böden (starke Bewaldung o.ä.)	F	C	D	C	D	C	C	C	D	C	D	C
Flachgründigere Böden (oberflächennahe Stauschichten o.ä.)	D	B	B	B	B	B	B	B	D	B	C	B
Starkes Relief	E	B	C	B	C	B	B	B	C	B	B	B
Schwaches Relief	E	B	C	B	D	B	D	B	E	B	C	B
A <sub>E-eff</sub> hauptsächlich in der Nähe des Vorfluters	B	A	B	A	B	A	C	B	D	A	C	A

Auswahl Volumen- und Flächenfaktoren:

	V <sub>020</sub> [cm]	f <sub>20</sub> [mm/h]	V <sub>02.33</sub> [mm]	f <sub>2.33</sub> [mm/h]	k <sub>A</sub> <sup>2.33</sup>	V <sub>0100</sub> [mm]	f <sub>100</sub> [mm/h]	k <sub>A</sub> <sup>100</sup>
A	20	[mm]			0.9			1.1
B	25	f <sub>20</sub> = 0,1 · V <sub>020</sub>	V <sub>02.33</sub> = 0,5 · V <sub>020</sub>	f <sub>2.33</sub> = 0,1 · V <sub>02.33</sub>	k <sub>A</sub> <sup>2.33</sup>	V <sub>0100</sub> = 1,3 · V <sub>020</sub>	f <sub>100</sub> = 0,1 · V <sub>0100</sub>	1.15
C	30							1.2
D	35							1.25
E	40							1.3
F	45							1.3

Vergleich mit Höchstabflußspitzen:

$$HQ_{20-max} = 6.0 \cdot A_E^{0.85}$$

$$HQ_{100-max} = 12.0 \cdot A_E^{0.85}$$

Der maßgebende Niederschlag wurde bereits in Abbildung 17 dargestellt. Zur Anpassung an die Größe der Einzugsgebiete und der Dauer der Bemessungsniederschläge wurde die Ganglinienkorrektur nach KOELLA (1986) angewendet. Die Ergebnisse sind im Anhang 7.3.1 tabellarisch dargestellt.

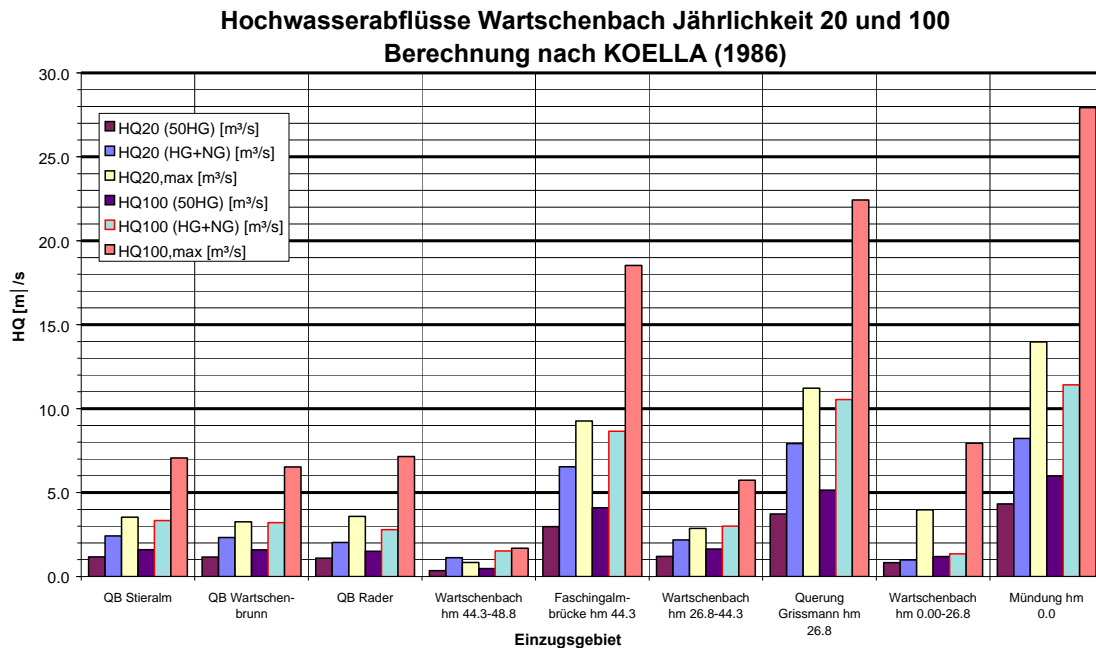


Abbildung 25: Vergleich der mit dem Verfahren KOELLA berechneten Hochwasserabflußspitzen

Die Hochwasserabflüsse werden von der Größe der effektiv beitragenden Fläche nicht unwesentlich beeinflusst. So zeigen die 20-jährlichen Ereignisse unter Berücksichtigung der Haupt- und Nebengerinne einen größeren Abfluß als die 100-jährlichen Ereignisse, die nur mit einem 50 Meter Buffer um die Hauptgerinne berechnet wurden. Fraglich erscheint die notwendige Niederschlagsdauer, die bei rund 2-2.5 Stunden für das Gesamteinzugsgebiet liegt. Dadurch ergeben sich geringe Abflußspitzen, die nur rund die Hälfte des maximal möglichen Hochwasserabflusses nach KOELLA (1986) betragen.

Das Ergebnis der Berechnung zeigt, daß das Verfahren auf einem Datenkollektiv beruht, das die Charakteristik des Wartschenbaches nur eingeschränkt wiedergibt. Dies bezieht sich sowohl auf den Typ des Einzugsgebiets als auch auf den Niederschlagstyp.

Somit kann als Vergleich nur der Maximalwert des 100-jährlichen Ereignisses herangezogen werden.

### 3.2.3 Niederschlag-Abfluß-Simulation mittels Regionalisierung über ein Flußgebietsmodell (IHW)

Mit dem Programm FGM des Programmpakets IHW (Universität Karlsruhe TH) wurde ein Flußgebietsmodell (FGM) erstellt und in diesem über den Regionalisierungsansatz nach LUTZ (1984) eine Niederschlags-Abfluß-Simulation durchgeführt. Als Knotenpunkte wurden die projektierten Standorte der Rückhaltebecken, die Zusammenflüsse der Hauptquellbäche und entscheidende Gewässerstellen gewählt.

Die technischen Daten der Rückhaltebecken sind in Kapitel 4 angeführt. Zur Berechnung des RHB II Wartschenbrunn wird die ursprüngliche Lage und verwendet.

<i>Knoten Nr.</i>	<i>Knoten Name</i>
1	<i>EZG RB I Stieralm</i>
2	<i>RB I Stieralm</i>
3	<i>Stieralmbach</i>
4	<i>EZG RB II Wartschenbrunn</i>
5	<i>RB II Wartschenbrunn</i>
6	<i>Wartschenbrunnbach</i>
7	<i>hm 48.8</i>
8	<i>Stieralm- und Wartschenbrunnbach</i>
9	<i>EZG RB III Rader</i>
10	<i>RB III Rader</i>
11	<i>Raderbach</i>
12	<i>Faschingalmbrücke</i>
13	<i>Querung Grissmann</i>

Tabelle 10: Knotenpunkte im FGM Wartschenbach

Als Niederschläge wurden die Niederschlagsverteilungen 15', 30' und 60' endbetont (Kapitel 3.1.6) übernommen. An den jeweiligen Knoten wurde die Wirkung der Rückhaltebecken nach dem Verfahren der Seeretention berechnet und im FGM berücksichtigt (Var. 15' RB, 30' RB und 60' RB). Als Eingangsdaten gehen in die Simulation folgende gebietsbeschreibende Parameter ein:

$A_E$ : Fläche des Einzugsgebietes	U: Anteil der versiegelten Fläche
$L$ : Länge des Hauptvorfluters	W: Waldanteil
$L_c$ : Länge des Hauptvorfluters bis zum Gebietsschwerpunkt	P1: Gebietsparameter nach LUTZ (für alle Teileinzugsgebiete 0,215 gesetzt)
$I_G$ : Gewichtetes Gefälle des Einzugsgebietes	$A_v$ : Anfangsverlust (für den gesamten Bereich 4,0 mm gesetzt)

Tabelle 11: Gebietsbeschreibende Parameter für das Flußgebietsmodell (IHW)

# Überblick Flußgebietsmodell

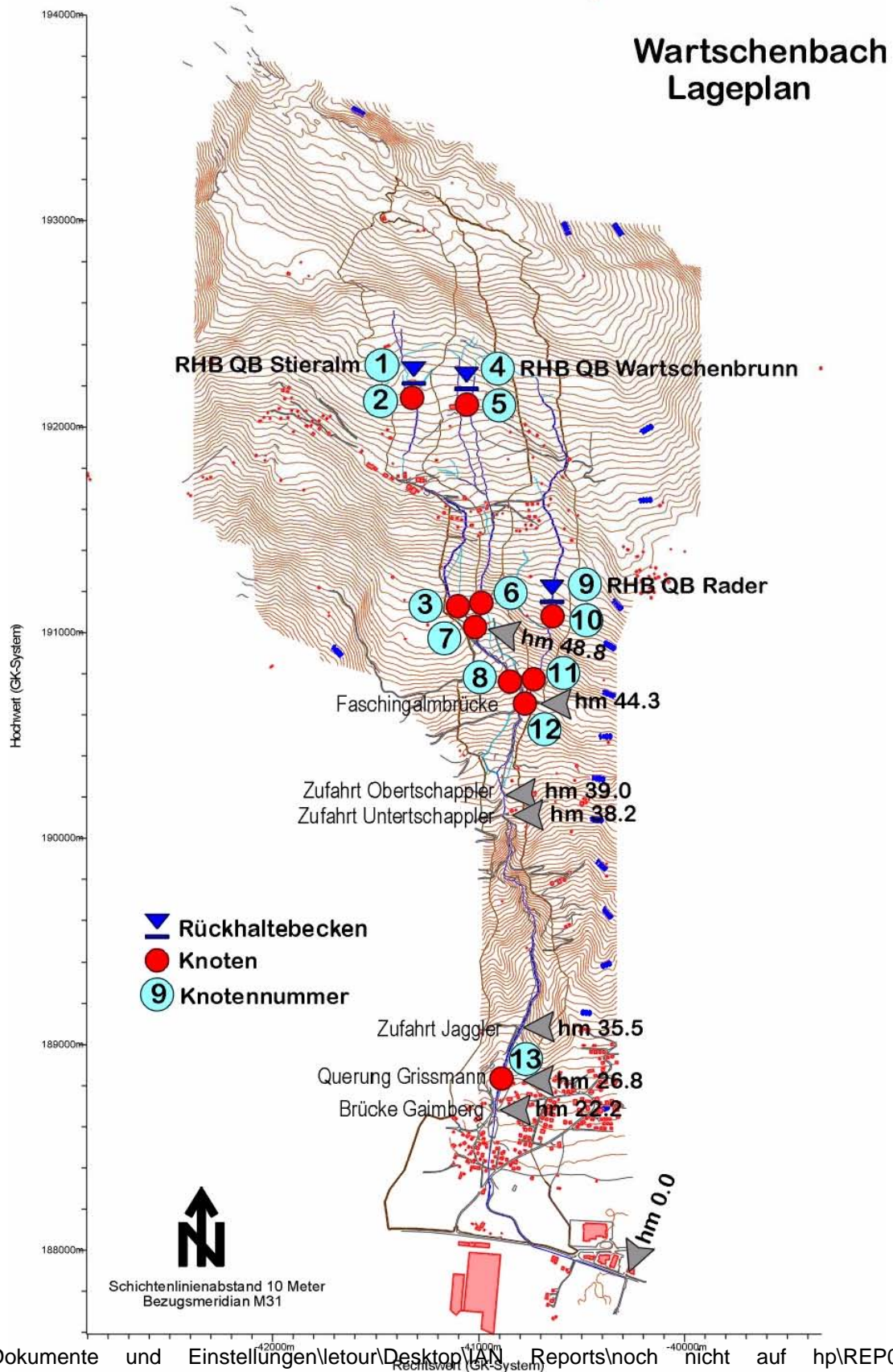


Abbildung 26: Flußgebietsmodell Wartschenbach

Gebietsbeschreibende Daten:

Knoten Nr.	Knoten Name	$A_E$	$L$	$L_C$	$I_G$	$U$	$W$
		[km <sup>2</sup> ]	[km]	[km]	[m/m]	[%]	[%]
1	EZG RB I Stieralm	0,23	0,75	0,35	0,35	0,0	5,0
2	RB I Stieralm						
3	Stieralmbach	0,31	1,50	0,75	0,30	3,0	25,0
4	EZG RB II Wartschenbrunn	0,27	1,50	0,75	0,35	0,0	5,0
5	RB II Wartschenbrunn						
6	Wartschenbrunnbach	0,22	0,90	0,45	0,40	1,0	20,0
7	hm 48.8						
8	Stieralm- und Wartschenbrunnbach	0,10	0,43	0,22	0,30	0,0	50,0
9	EZG RB III Rader	0,38	2,00	1,00	0,35	5,0	25,0
10	RB III Rader						
11	Raderbach	0,16	0,62	0,31	0,40	2,0	33,0
12	Faschingalmbrücke						
13	Querung Grissmann	0,42	1,83	0,92	0,45	5,0	60,0

Tabelle 12: Gebietsbeschreibende Daten der N/A-Simulation

Die für die Teileinzugsgebiete flächengewichteten Abflußbeiwerte (MARKART, KOHL, 1998) zeigt Tabelle 13.

Knoten Nr.	Knoten Name	15'	30'	60'
		[-]	[-]	[-]
1	EZG RB I Stieralm	0.371	0.371	0.371
2	RB I Stieralm			
3	Stieralmbach	0.483	0.483	0.483
4	EZG RB II Wartschenbrunn	0.483	0.483	0.483
5	RB II Wartschenbrunn			
6	Wartschenbrunnbach	0.504	0.504	0.504
7	hm 48.8			
8	Stieralm- und Wartschenbrunnbach	0.439	0.439	0.439
9	EZG RB III Rader	0.502	0.502	0.502
10	RB III Rader			
11	Raderbach	0.450	0,450	0,450
12	Faschingalmbrücke			
13	Querung Grissmann	0,20	0,20	0,20

Tabelle 13: Abflußbeiwerte in der N/A-Simulation

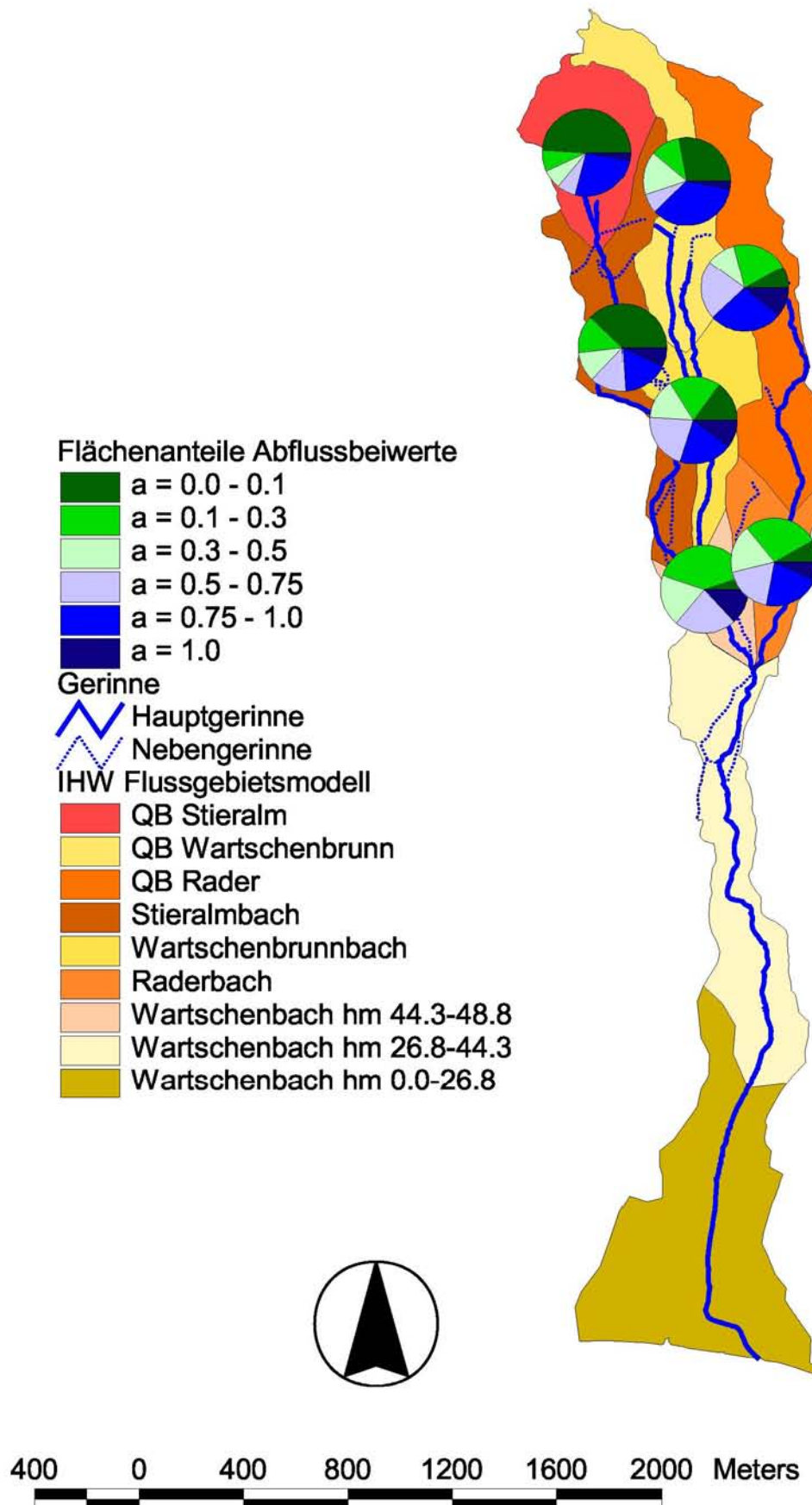


Abbildung 27: Flußgebietsmodell Wartschenbach mit den Flächenanteilen der Abflußbeiwerte (MARKART, KOHL, 1998)

Zur Abschätzung der Ausnutzung der Rückhaltebecken (Kapitel 4) wurden Fülllinien (Abbildung 28) mit den Abflußganglinien der 3 Ereignisse gerechnet.

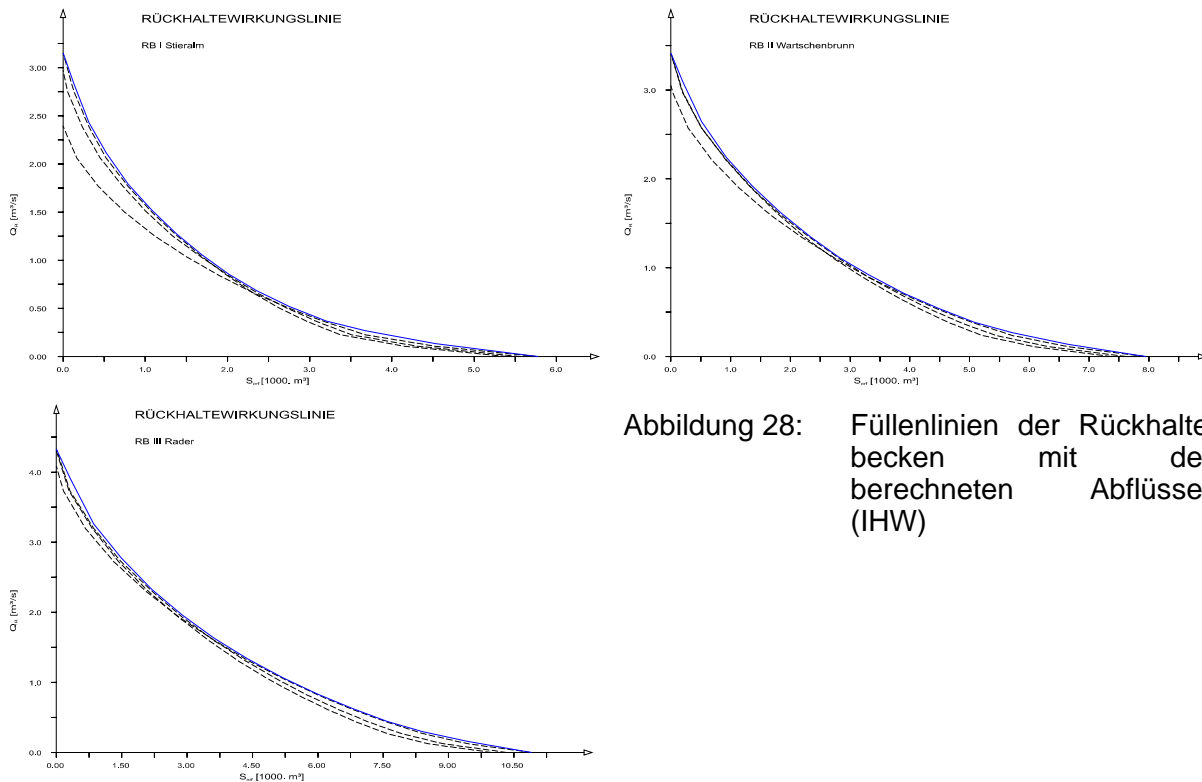


Abbildung 28: Fülllinien der Rückhaltebecken mit den berechneten Abflüssen (IHW)

Die berechneten Spitzenabflüsse [m³/s] der Simulation für die angenommenen Niederschläge sind in Tabelle 14 zusammengefaßt.

Knoten Nr.	Knoten Name	15'	15' RB	30'	30' RB	60'	60' RB
1	EZG RB I Stieralm	<b>3.2</b>	3.2	3.0	3.0	2.4	2.4
2	RB I Stieralm	<b>3.2</b>	1.1	3.0	1.1	2.4	1.1
3	Stieralmbach	<b>6.3</b>	4.7	6.2	4.7	5.6	4.4
4	EZG RB II Wartschenbrunn	<b>3.4</b>	3.4	3.4	3.4	3.1	3.1
5	RB II Wartschenbrunn	<b>3.4</b>	1.3	3.4	1.3	3.1	1.3
6	Wartschenbrunnbach	<b>6.9</b>	4.8	6.8	4.7	6.0	4.1
7	hm 48.8	<b>13.2</b>	9.2	13.0	9.2	11.6	8.5
8	Stieralm- und Wartschenbrunnbach	<b>14.9</b>	10.7	14.6	10.6	12.9	9.8
9	EZG RB III Rader	<b>4.3</b>	4.3	4.3	4.3	4.1	4.1
10	RB III Rader	<b>4.3</b>	1.5	4.3	1.6	4.1	1.6
11	Raderbach	<b>6.5</b>	3.8	6.5	3.7	6.0	3.2
12	Faschingalmbrücke	<b>21.2</b>	14.5	21.0	14.3	18.9	13.0
13	Querung Grissmann	<b>23.5</b>	16.7	23.1	16.8	20.7	14.8

Tabelle 14: Hochwasserspitzen [m³/s] an den einzelnen Knoten des FGMs

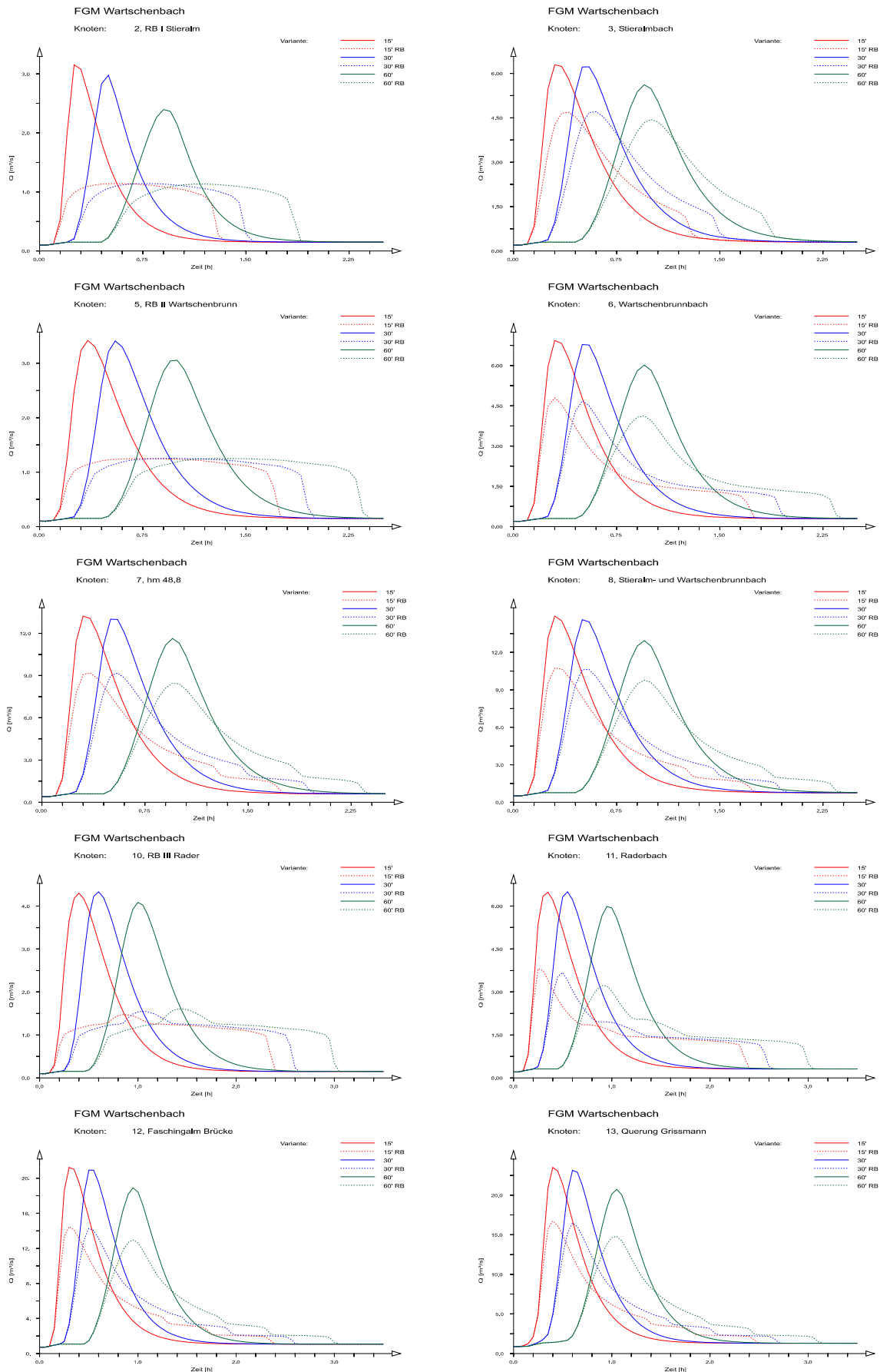


Abbildung 29: Ganglinien der Bemessungsereignisse (FGM)

### 3.2.4 Simulationsmodell NASIM

NASIM (**N**iederschlags-**A**bfluß-**S**imulation) ist ein deterministisch hydrologisches Modell zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz. Landnutzung, Bodenbeschaffenheit, Gebietsgefälle sowie Gebietsform bestimmen die wesentlichen Parameter des Modells, wobei folgende Leistungsmerkmale umfaßt werden:

- Einzelereignisse und Langfristsimulation
- geschlossene Wasserbilanz
- räumlich differenzierte Niederschlagsverteilung
- Bodenfeuchtesimulation
  - Untergliederung der Teileinzugsgebiete in Elementarflächen
  - Berücksichtigung von Bodenschichten
  - Berücksichtigung bodenphysikalischer Kennwerte
  - Annahme einer nicht linearen Funktionalität zwischen Zustandsvariable (Bodenfeuchte) und Prozeßvariable (z.B. Infiltration)
- Schneehydrologie mit erweiterter Dokumentation der schneehydrologischen Prozesse
- Anbindung an Hydraulik
- Grundwasserneubildung

NASIM bietet die Möglichkeit, die wesentlichen Aufgaben der deterministischen Hydrologie mit einem einzigen Modell zu bearbeiten. Durch die Abbildung der wesentlichen Teilkomponenten des hydrologischen Kreislaufs und entsprechende programmtechnische Steuerungsoptionen ist es möglich, sowohl Kurz-, Mittel- als auch Langzeitsimulationen durchzuführen. Die auf verfügbaren und physikalisch begründeten Eingabedaten basierende Ermittlung des Bodenwasserhaushaltes gestattet gesicherte Modellkalibrierungen. Unsicherheiten aus falschen Randbedingungen werden durch die Möglichkeit mittel- bzw. langfristiger Simulationen vermieden bzw. vermindert. Durch die variable Zeitschrittkonzeption wird die Flexibilität des Modells erhöht.

Folgende wasserwirtschaftliche Aufgabenstellungen können mit NASIM bearbeitet werden:

Bereitstellen von Grundlagendaten

- für interessierende Planungsräume
- für interessierende Gebietszustände
- für interessierende Belastungen (Extremereignisse, Klimaveränderungen,..)

Ermittlung von Kennzahlen und ökologisch interessanten Kennwerten für den Abfluß ins Gewässer

- $Hq_x$ , MQ,  $Nq_x$
- MQ/NQ
- Dauerlinie Q

Ermittlung von ökologisch interessanten Kennwerten für das Gewässer-Vorland-System

- Überstauhäufigkeiten
- Bilanzgrößen

Ermittlung von Bilanzwerten für Wasserhaushaltsbetrachtungen

- GW-Neubildung
- Verdunstung
- Abfluß pro Monat, Jahr, ...

Kontrolle und Ergänzung von Meßwerten für

- Niederschlag
- Lysimeter
- GW-Entnahmen
- Pegel

Der Aufbau des Modells gliedert sich in folgende Bereiche:

- Belastungsbildung (Regen und/oder Schneeschmelze)
- Belastungsverteilung (Gebietsniederschlag)
- Belastungsaufteilung in Versickerungs-, Verdunstungs- u. Abflußanteil
- Abflußkonzentration (Transport u. Verzögerung der Abflußanteile)
- Translation der Abflußwelle (Gerinneretention)

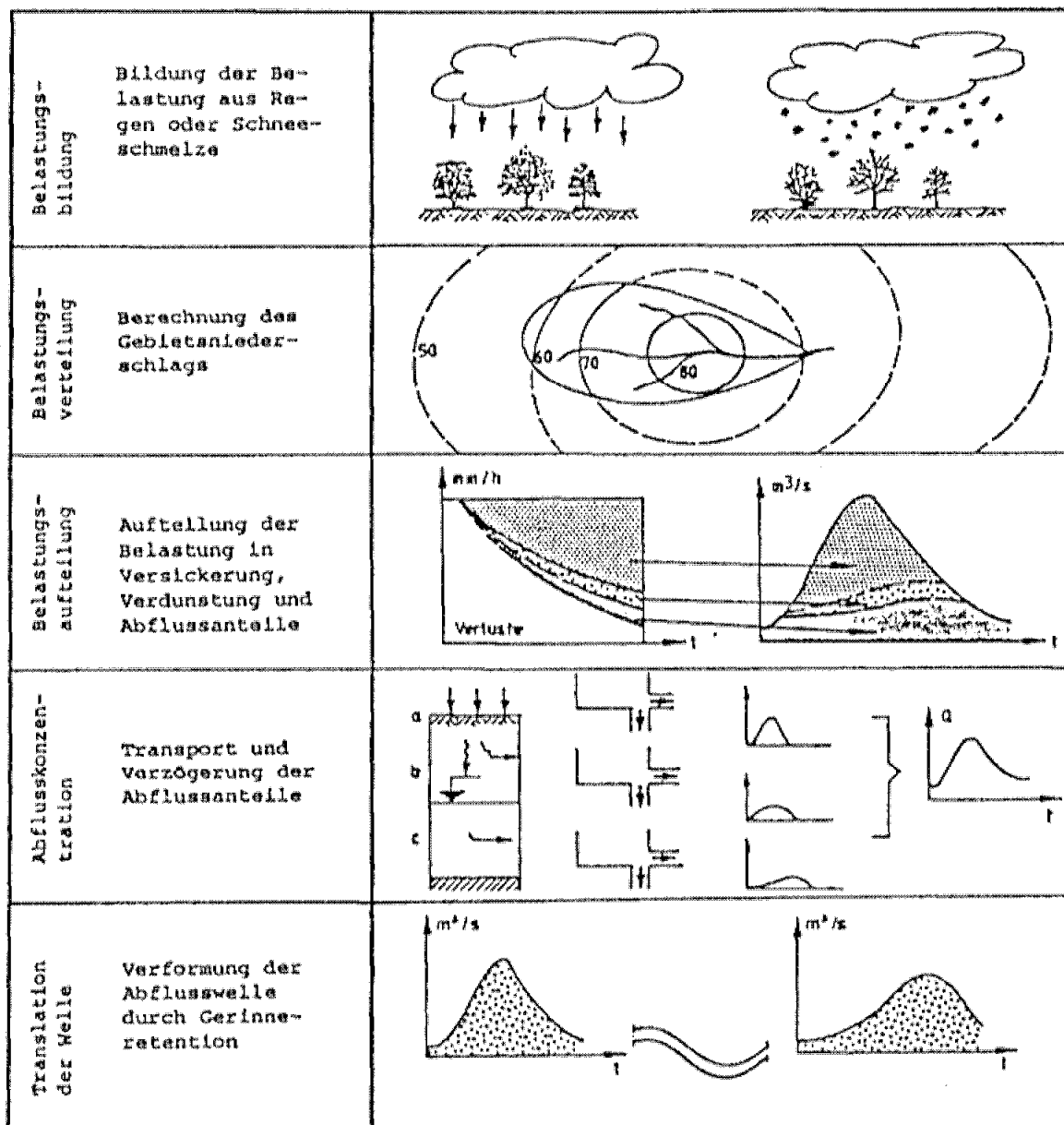


Abbildung 30: Struktureller Aufbau des Simulationsmodells NASIM (Hydrotec, 1991)

Der Simulation liegen folgende Teilprozesse und Arbeitsschritte zugrunde:

<b>Teilprozeß</b>	<b>Arbeitsschritte</b>
Niederschlag	Punkt- bzw. Stationsniederschlag Gebietsniederschlag
potentielle Verdunstung	Gebietstemperatur potentielle Gebietsverdunstung
Schneeschemelze	Schneefall, Schneesetzung, Schneeschemelze
Interzeption	Vegetation Versiegelte Fläche
Infiltration, aktuelle Evapotranspiration, Exfiltration, Direktabfluß (Oberflächenabfluß, Interflow)	Bodenwasserhaushalt durchwurzelte Boden- schicht Wasserhaushalt nicht durchwurzelte Schicht
Oberflächenabfluß	Translation u. Retention f. Oberflächenabfluß von unversiegelten Flächen von versiegelten Flächen von kanalisierten versiegelten Flächen
Interflow	Translation und Retention
Basisabfluß zum nächsten Vorfluter	Translation und Retention
Gerinneabfluß	Abfluß in offenen Gerinnen Abfluß in Kanälen Speicher Verzweigungen, Zusammenflüsse Anthropogene Wasserentnahmen Anthropogene Zuflüsse
Grundwasser	Grundwasserabfluß Anthropogene Wasserentnahmen Anthropogene Zuflüsse

Tabelle 15: Teilprozesse und Arbeitsschritte im Simulationsablauf (Hydrotec, 1991)

### **Aufbau des Systemplans**

Das Einzugsgebiet wird in Teileinzugsgebiete, diese wiederum in einzelne Systemelemente unterteilt. Die Formen der Systemelemente werden im Modell geometrisch vereinfacht mittels unregelmäßigen Trapezen bzw. Dreiecken dargestellt. Jedem Systemelement werden einzelne Elementarflächen, denen jeweils genau eine Landnutzungsform (z.B. Vegetationstyp) und eine Bodenart zugeteilt wird, zugeordnet. Die einzelnen Elementarflächen werden als Prozentsatz des Flächenanteils am Systemelement, nicht jedoch in ihrer Lage zueinander definiert.

### **Belastungsbildung aus Regen oder Schneeschemelze**

Sämtliches Wasser, das versickert, oberflächenhaft abfließt oder in Interzeptionsspeichern aufgefangen wird, wird als flächenhafte Belastung bezeichnet. Die Berechnungen beginnen mit dem auf der Geländeoberfläche auftreffenden Niederschlag. Die Berechnung des Abflußprozesses erfolgt entsprechend den

Fließwegen des Wassers. Das bedeutet, daß die Simulation bei der Ermittlung der Abflüsse jeweils aus den Systemelementen beginnt. Die Berechnung der Wellenverformung in den Transportstrecken schließt sich an. Die Reihenfolge der Berechnungen wird aus dem Systemaufbau des Transportelementnetzes (Systemplan) abgeleitet.

### **Belastungsaufteilung in Versickerung, Verdunstung und Abflußanteile**

Das im NASIM zur Simulation des Bodenwasserhaushalts verwendete Modell ist vom Ansatz her ein konzeptionelles deterministisches Simulationsmodell. Die Berechnungen erfolgen für diskrete Zeiträume, Flächen und Schichten, wobei die Verwendung mehrerer Bodenschichten möglich ist. Verwendet werden physikalische Eingangswerte. Die Simulation der Bodenwasserbewegung wird über eine Bilanzierung erreicht. Die zugrunde liegende Bilanzgleichung beschreibt die nachfolgend angeführten Prozesse:

- Infiltration  
Die Abbildung der Infiltration erfolgt mittels der Gleichung von HOLTAN, da sie die Bodenfeuchte als Parameter und nur einen empirischen Term benutzt.
- Perkolation  
Die Perkolation wird vereinfacht nur mit dem Gravitationspotential berechnet, da eine Einbeziehung der Saugspannung zur Nichtlinearität der Differentialgleichung führt und hierfür keine analytische Lösung bekannt ist. In Anlehnung an die Gleichung von BEAR wird die ungesättigte Leitfähigkeit als Potenzfunktion mit der Bodenfeuchte als Parameter berechnet.
- Aktuelle Evapotranspiration  
Die Abbildung der Evapotranspiration erfolgt nach dem Ansatz von OSTROWSKI, der die Bodenfeuchte und die Feldkapazität des Bodens als Parameter benutzt.
- Interflow  
Der Interflow wird nach dem gleichen Ansatz wie die Perkolation berechnet. Vertikale und horizontale gesättigte Leitfähigkeit werden als gleich angenommen.
- kapillarer Aufstieg  
Der kapillare Aufstieg wird anhand der durch RENGER ermittelten Aufstiegsraten für Bodenart und Flurabstand abgebildet. Es wird davon ausgegangen, daß ein Kapillaraufstieg nur in die unterste Bodenschicht vorliegt und daß seine Intensität linear von der Bodenfeuchte abhängt.

### **Abflußkonzentration**

Der Interflow erfolgt durch oberflächennahe Mikrorinnen oder Makroporen. Interflow entsteht, wenn die Niederschlagsbelastung größer als die potentielle Infiltration in die obere Bodenschicht ist. Begrenzt wird der Interflowstrom durch die Abflußkapazität der oberflächennahen Poren. Der Interflow wird einer Translation unterworfen, welche durch die Verschneidung des Interflowstromes mit der Gebiets-Zeitflächenfunktion erfaßt wird. Für den Oberflächenabfluß wird eine Variante des Isochronen-Verfahrens mit nachfolgender Retention verwendet. Wegen der Schwierigkeiten bei der Schätzung der Isochronen wird durch vereinfachte Annahmen für die Gebietstopographie ein objektives Verfahren zur Berechnung des Zeitflächendiagramms verwendet. Dies ermöglicht eine numerisch einfache Berechnung der Systemfunktion, die jedoch die Gebietseigenschaften in stärkerem Maße berücksichtigt als reine Übertragungsfunktionen. Das Systemelement wird durch einen linken und einen rechten Hang sowie gegebenenfalls durch eine Übertragungsfläche (Zwickel) zwischen diesen Hängen beschrieben. Für die Hänge und das Gerinne - repräsentiert durch je einen mittleren Querschnitt - werden mittlere Fließgeschwindigkeiten geschätzt. Daraus können Isochronen als Grundlage für die Zeitflächenfunktion bestimmt werden.

### **Wellenverformung**

Im NASIM wird zur Berechnung der instationären Hochwasserabläufe in offenen Gerinnen und Kanälen das hydrologische Verfahren nach KALININ-MILJUKOV verwendet. Der Grundgedanke des Verfahrens besteht darin, eine eindeutige Beziehung zwischen dem Abfluß und dem zugehörigen Wasservolumen für rechnerisch festzulegende Gerinneabschnitte zu finden. Da das KALININ-MILJUKOV-Verfahren konstante geometrische Bedingungen in der Längsentwicklung für die einzelnen Berechnungsabschnitte vorsieht, werden die Unstetigkeiten mit einem Korrekturfaktor erfaßt. Dieser berücksichtigt u.a. Korrekturen des Sohlgefälles, Variationen der Profile in der Längsentwicklung und Krümmungsverluste.

### 3.2.5 Simulation der Berechnungsversuche mit NASIM

Die Simulation der Berechnungsversuche soll sowohl die Funktionsweise des Niederschlag-Abfluß-Modells NASIM als auch das Abflußverhalten der Berechnungsflächen transparent machen. Zudem sollen wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die bei der Simulation des gesamten Einzugsgebietes zur Anwendung gelangen. In der Abbildung 31 ist der Systemplan für die Simulation mit NASIM dargestellt, wobei das Element 1000 die Berechnungsfläche, das Element 1001 die Messstelle (Pegel) und das Element 9999 den externen Ausgang zur Beendigung des Systemplans darstellen.

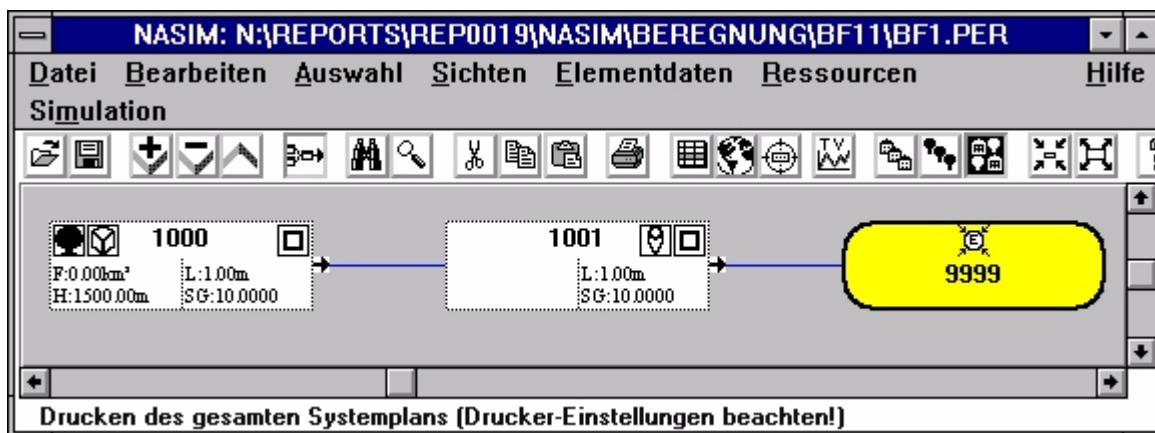


Abbildung 31: Systemplan für die Simulation der Berechnungsversuche

Als Simulationsbedingungen werden die von MARKART/KOHL (1998) ermittelten Daten (Bodentextur, Anfangsbodenfeuchte, ...) der einzelnen Probeflächen übernommen. Die Ergebnisse der Simulation werden in Folge mit jenen von MARKART/KOHL verglichen und analysiert.

#### 3.2.5.1 Vorbedingungen

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Übernahme der Bodentextur (Welkepunkt, nutzbare Feldkapazität, Gesamtporenvolumen u. gesättigte Wasserleitfähigkeit) der einzelnen Schichten
- Annahme der Bodenmächtigkeit mit 40 cm (entsprechend den Bodenuntersuchungen von MARKART/KOHL)
- Übernahme der Vegetationsform und der Landnutzung
- Übernahme des Anfangszustandes der Bodenfeuchte
- Berechnungsdauer 1 Stunde

- Niederschlagsintensität und Niederschlagsverteilung (Blockregen) entsprechend den einzelnen Berechnungsversuchen (~100 mm/h)
- Der Einfluß der Temperatur bzw. Verdunstung wird aufgrund der kurzen Simulationsdauer nicht berücksichtigt.

Bei der Simulation wurde versucht, die modellierte Abflußkurve an die gemessenen Abflußganglinie der einzelnen Berechnungsflächen unter Voraussetzung der gegebenen Anfangsbedingungen anzugleichen. Bei weitgehender Übereinstimmung der Kurven wurden weiters gebietsspezifische Parameter (Abflußbeiwert, Bodenfeuchte) miteinander verglichen.

### 3.2.5.2 Durchgeführte Parameteranpassungen

Folgende Einstellungen bzw. Anpassungen wurden für die einzelnen Simulationen vorgenommen:

- Bei der Simulation zeigte sich, daß das *3 Schichtmodell* (gliedert den Boden in einen Infiltrationsbereich, Durchwurzelungszone und restlichen Bodenbereich) als Berechnungsgrundlage für die Normalisierung eindeutig die besten Ergebnisse liefert. Für den Interflowbereich gilt dies für die Option *Makroporen/Direktabfluß*.
- Interzeption: Anpassung der Anlaufzeit
- Infiltration: -Berücksichtigung der Landnutzung und des sekundären Bodengefüges (Makroporen)  
-Variieren der Abflußhöhe
- Oberflächenretention: Anstieg und Abflachung der Abflußkurve
- Die Wurzeltiefe übte auf der Fläche Nr. 4 (pseudovergleyte Stauschicht) einen markanten Einfluß auf den Abfluß aus. Auf allen anderen Flächen konnte kein Einfluß festgestellt.
- Unterschiedliche Hangrauhigkeiten bzw. Fließtiefen an der Oberfläche üben infolge der Kleinheit der zu simulierenden Flächen keinen Einfluß aus, führen jedoch bei entsprechender Flächengröße zu einer deutlichen Veränderung des Abflußverhaltens.
- Zur Erfassung der tatsächlichen Abflußspitze bei Extremereignissen sind sehr kurze Zeitintervalle für die Berechnung notwendig. Der Simulationszeitschritt wurde daher mit einer Minute festgelegt.

### 3.2.5.3 Erkenntnisse

- Abflußbeiwert

Die Ergebnisse sind zum Großteil befriedigend.

So war es möglich, den Verlauf der Abflußganglinien der Berechnungsflächen mit den vorgegebenen physikalischen Daten nachzuvollziehen. Die Abflußbeiwerte weisen, mit Ausnahme der Fläche Nr. 5 bei ähnlichem Verlauf der Abflußkurven nur geringe Unterschiede (2 bis max. 7%) auf. Auf der Probefläche Nr. 5 (extensiv beweideter Schwingel-Rasen) differenzieren die Abflußbeiwerte jedoch beträchtlich (18 zu 30%). Eine Erklärung dieser Diskrepanz konnte nicht gefunden werden. Laut MARKART (mündliche Mitteilung) ist jedoch der simulierte Abflußbeiwert von 30% auf dieser Fläche ein durchaus realistischer Wert, der auch seiner Einschätzung des Abflußverhaltens entspricht.

Einige Parameter (Hangrauheit u. Fließtiefe des Oberflächenabflusses) verlieren beim Modellieren auf kleinster Fläche ihre Wirkung auf den Abflußvorgang. Um diesen Nachteil zu kompensieren, wurden die Probeflächen auf 1 km<sup>2</sup> vergrößert und die Auswirkungen der einzelnen Parameter auf das Abflußverhalten nochmals beobachtet.

- Bodenfeuchte

Im NASIM wird die Anfangsbodenfeuchte gleich der nutzbaren Feldkapazität (nFK) gesetzt und kann mit Hilfe eines Eichfaktors übersteuert werden. Zur Ermittlung des Eichfaktors wurde die gemessene relative Anfangsbodenfeuchte [%] in einen Absolutwert [mm] umgewandelt und ins Verhältnis zur nutzbaren Feldkapazität [mm] gesetzt (siehe Tabelle 16).

Bei der Bodenfeuchte zeigt sich, daß sie sowohl zeitlich als auch örtlich (NAEF, 1998) deutliche Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt aufweist. Ein Vergleich der simulierten mit den gemessenen Werten ist zwar möglich, infolge der großen Bandbreite der möglichen Werte jedoch nicht aussagekräftig.

- Infiltration

Die Infiltrationswerte der einzelnen Bodenschichten (20 bis 100 mm/h) stellen eine Funktion zahlreicher Faktoren (Makroporen, Bodenart, Vegetation, Landnutzung,...) dar. Ein direkter Zusammenhang mit einem einzigen Faktor kann nicht hergestellt werden. Die Infiltrationswerte der einzelnen Schichten entsprechen daher nicht immer den Richtlinien der jeweiligen Bodentextur.

- Interzeption

Die Werte der Interzeption (3 bis 9 mm) dürfen nicht als reine Interzeption aufgefaßt werden, sondern müssen als Summe der gesamten Verluste (Muldenverluste, Interzeptionsspeicher,...) betrachtet werden. Die teilweise sehr hohen Interzeptionswerte lassen sich aber trotzdem nur schwer erklären, stehen aber in direktem Zusammenhang mit den Anlaufzeiten der einzelnen Berechnungsversuche, die in einem Bereich von 4 bis 9 Minuten liegen.

- Retention

Die Oberflächenretention liegt im Bereich von 2 bis 6 Minuten. Dieser Wertbereich wird jedoch auf den Waldstandorten des Einzugsgebietes mit Sicherheit überschritten.

Die Retentionswirkung des Interflows und des verzögerten Basisabflusses nach HORTON, die im NASIM eingegliedert sind, können aus den Berechnungsversuchen heraus nicht definiert werden. Aufgrund von Erkenntnissen zahlreicher Berechnungsversuche (FAEH, 1997) und Erfahrungen mit dem Simulationsmodell (der Einfluß auf die Abflußspitze ist bei kurzer Simulationsdauer kaum vorhanden) wird die Retentionswirkung des Interflows mit einer Stunde festgelegt, und der verzögerte Basisabflusses nicht berücksichtigt.

### **3.2.5.4 Ergebnisse**

Die Ergebnisse der simulierten Berechnungen sind in der Tabelle 16 zusammengefaßt. Die Flächen BF1 bis BF6 entsprechen den Berechnungsflächen von MARKART/KOHL. Die Fläche BF7 wurde in Anlehnung an die Aufnahmen der Bodentexturen von MARKART/KOHL erstellt. Die Graphiken der einzelnen Abflußkurven sind im Anhang 7.3.1 beigelegt.

Tabelle 16: Simulationsergebnisse der Berechnungsflächen

	BF1	BF2	BF3	BF4	BF5	BF6	BF7
Landnutzung	bew. WachBH	pl. Mähwiese	pl. Schipiste	Mähwiese Bidner	ext. bew. Schwi	bew. Schipiste	bew. Feuchtlf
Bodenvegetation	Bürstling	tr. Niedermoor	Wkl-Schwi-Bü	Schwingel-Moos	Bürst-Schwi	Wklee-Schwi	Braunsegge
Bodenschichten [cm]	10S10uS20uS	10uS10IS20S	10IS10uS20IS	10IS10IS09sU11St	15uS10uS15IS	10IS10uS20S	10 10 20
Infiltration [mm/h]	70 36 35	22 22 70	60 50 42	81 50 20 0	74 60 40	80 78 100	20 20 70
Wurzeltiefe [cm]	40	30	30	6	30	30	20
Interzeption [mm]	9	9	4,5	7	8	3	2
RetOberfl [min]	6	4	3	4	2	2	1
Interflow [mm/h]	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Abflußbeiwert [%]	51 (58) <sup>1)</sup>	93 (89)	46 (50)	34 (30)	30 (18)	22 (24)	95 (/)
<sup>2)</sup> Bodenfeuchte [%]	65	35	40	40	55	40	95
GPV [mm]	285,7	204,3	263,6	222,7	268,3	271,0	312,3
Bodenfeuchte [mm]	185,7	71,5	105,4	89,1	147,6	108,4	296,7
<sup>3)</sup> nFK [mm]	171,4	100,5	130,9	128,9	157,7	120,2	146,3
Eichfaktor	1,08	0,72	0,81	0,70	0,94	0,90	2,00
Bodenfeuchte [mm]	185,1	72,4	106,0	90,2	148,2	108,2	292,6

1) Abflußbeiwert n. MARKART/KOHL

2) Anfangsbodenfeuchte n. MARKART/KOHL

3) Angeglichene Anfangsbodenfeuchte

### 3.2.6 Niederschlag-Abfluß-Simulation mittels NASIM

Die aus der Simulation der Berechnungsflächen erhaltenen Parameteranpassungen wurden auf eine größere Flächeneinheit (1 km<sup>2</sup>) übertragen und gleichzeitig einer Plausibilitätsprüfung unterworfen. Einige Parameteranpassungen (Hangrauigkeit, Fließtiefe) konnten erst auf diesen, größeren Flächen vorgenommen werden.

#### 3.2.6.1 Vorbedingungen

Das gesamte Einzugsgebiet wird in fünf Teilgebiete (Stieralmbach, Wartschenbrunnbach, Raderbach, Wartschenbach hm 36.6-39.7 und Wartschenbach hm 22.2-36.6), diese wiederum in einzelne Systemelemente gegliedert. Die Auswahl der Systemelemente und das Setzen der Knotenpunkte erfolgte nach morphologischen Gesichtspunkten bzw. an den projektierten Standorten der Rückhaltebecken (Abbildung 32).

Jedem Systemelement werden einzelne Elementarflächen, denen jeweils genau eine Landnutzungsform (z.B. Vegetationstyp) und eine Bodenart zugeteilt wird, zugeordnet. Die Festlegung der einzelnen Zuordnungen erfolgte anhand der Aufnahmen von MARKART/KOHL. Die Flächen der einzelnen Systemelemente bzw. deren Elementarflächen wurden digital ermittelt.

Die Formen der Systemelemente werden im Modell geometrisch vereinfacht mittels unregelmäßigen Trapezen bzw. Dreiecken dargestellt (Abbildung 33).

Bei der Überlagerung der Vegetationskarte mit der Abflußbeiwertkarte zeigt sich ein markanter Zusammenhang zwischen dem Abflußbeiwert (Abflußbeiwertklasse) und dem Vegetationstyp (siehe Tabelle 17). So ergibt sich zum Beispiel, daß 77,4% aller Flächen der Abflußbeiwertklasse 0-10% Fichtenwald als Vegetationstyp aufweisen. Demzufolge wurden jeder Abflußbeiwertklasse ein bis zwei dominierende Vegetationstypen bzw. Landnutzungsformen zugeordnet und die einzelnen Elementarflächen in Abhängigkeit der Abflußbeiwertklassen gegliedert. Die Anteile der einzelnen Elementarflächen (Abflußbeiwertklassen) am jeweiligen Systemelement sind in der Tabelle 18 dargestellt.

Die Karte mit der räumlichen Verteilung der Abflußbeiwerte ist als Anhang 7.3.3 beigelegt.

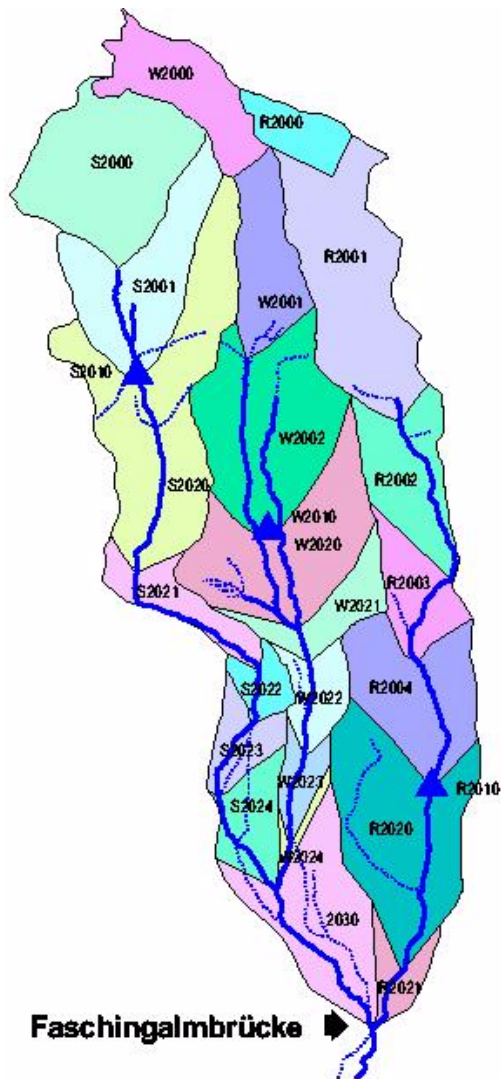


Abbildung 32: Systemelemente bis zu hm 36.6

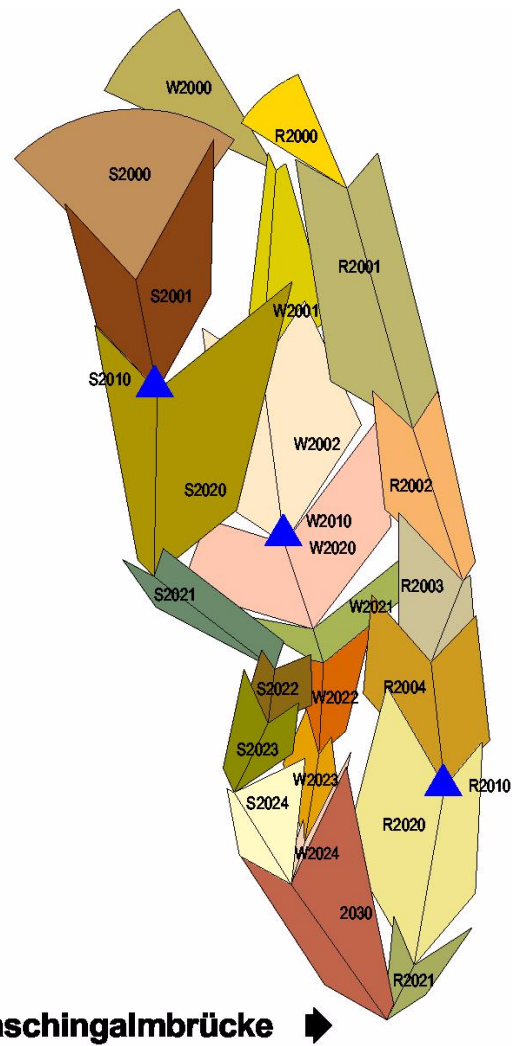


Abbildung 33: Geometrisch vereinfachte Systemelemente bis zu hm 36.6

a	0-10 %	10-30 %	30-50 %	50-75 %	75-90 %	90-100 %
V1	1,39%	0,99%	0,79%	1,21%	0,14%	0,08%
V2	7,58%	<b>41,64%</b>	<b>22,61%</b>	10,79%	5,79%	3,58%
V3	11,35%	14,10%	<b>33,88%</b>	<b>64,43%</b>	<b>33,91%</b>	16,64%
V4	0,43%	0,46%	7,85%	14,34%	<b>49,11%</b>	8,12%
V5	<b>77,40%</b>	<b>40,46%</b>	<b>29,85%</b>	4,63%	3,62%	4,75%
V6	1,34%	0,92%	2,94%	0,50%	1,46%	7,00%
V7	0,51%	1,41%	2,07%	4,09%	5,97%	<b>59,83%</b>
	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

V1... Alpenrosengebüsch, V2... Besenheidegesträuche, V3... Borst-Straußgras-Rotschwingelwiese, V4... Weißklee-Milchkrautweiden, V5...Fichtenwälder, V6...Pfeiffengraswiesen, V7... Braunseggen

Tabelle 17: Zusammenhang Vegetationstyp – Abflußbeiwertklasse

SE- Name	Gesamtfläche [km²]	Abflußbeiwertklassen					
		0-10%	10-30%	30-50%	50-75%	75-90%	90-100%
S2000	0,1320	0,0180	0,0098	0,0174	0,0221	0,0647	/
S2001	0,1012	/	0,0077	/	0,0364	0,0501	0,0071
S2020	0,1758	0,0077	0,0169	0,0245	0,0280	0,0847	0,0139
S2021	0,0384	/	/	0,0037	0,0094	0,0233	0,0020
S2022	0,0198	0,0067	/	0,0057	0,0065	0,0008	/
S2023	0,0297	0,0114	0,0072	0,0047	/	0,0027	0,0038
S2024	0,0393	0,0164	0,0101	0,0011	0,0064	0,0044	0,0009
W2000	0,0689	0,0116	/	0,0095	0,0311	0,0167	/
W2001	0,0629	0,0044	0,0299	0,0013	0,0152	0,0074	0,0047
W2002	0,1387	0,0128	0,0028	0,0168	0,0478	0,0531	0,0053
W2020	0,1211	0,0052	0,0286	0,0326	0,0324	0,0158	0,0065
W2021	0,0378	0,0025	0,0042	0,0038	0,0107	0,0118	0,0048
W2022	0,0315	0,0062	0,0003	0,0090	0,0015	0,0067	0,0077
W2023	0,0210	0,0210	/	/	/	/	/
W2024	0,0077	0,0077	/	/	/	/	/
R2000	0,0301	0,0092	0,0115	/	0,0094	/	/
R2001	0,1451	0,0031	0,0125	0,0491	0,0578	0,0094	0,0132
R2002	0,0698	0,0088	/	0,0120	0,0246	0,0047	0,0197
R2003	0,0451	0,0314	0,0015	0,0040	0,0022	0,0060	/
R2004	0,0912	0,0107	0,0608	0,0080	0,0033	0,0040	0,0044
R2020	0,1413	0,0342	0,0201	0,0274	0,0347	0,0128	0,0123
R2021	0,0210	0,0114	0,0091	/	/	/	0,0005
2030	0,0981	0,0390	0,0178	0,0232	/	0,0045	0,0136
2040	0,0850	/	0,0850	/	/	/	/
2041	0,0200	/	0,0200	/	/	/	/
2042	0,0860	/	0,0860	/	/	/	/
2043	0,1470	/	0,1470	/	/	/	/
2044	0,0820	/	0,0820	/	/	/	/
<b>Summe (km²)</b>	<b>2,0925</b>	<b>0,2794</b>	<b>0,6758</b>	<b>0,2538</b>	<b>0,3795</b>	<b>0,3836</b>	<b>0,1204</b>

Tabelle 18: Flächen der einzelnen Abflußbeiwertklassen

Die Texturen der einzelnen Böden wurden von den Berechnungsflächen (BF1 bis BF7) übernommen bzw. im Bereich der Waldstandorte in Anlehnung an die untersuchten Proben selbst erstellt. Einzig die maximalen Infiltrationsraten der Bodentexturen wurden entsprechend den Mittelwerten der Abflußbeiwertklassen angepaßt. Die verwendeten Landnutzungsformen, Vegetationstypen und Abflußbeiwertklassen entsprechen der Kartierung von MARKART/KOHL (1998) und sind in der Tabelle 19 zusammengefaßt. Im nicht kartierten Bereich unterhalb der Faschingalmbrücke (hm 36.6) wurde als Vegetationstyp einheitlich Fichtenwald mit einem Abflußkoeffizienten von 20% angenommen.

Infolge der kurzen Simulationsdauer (max. 12 Stunden) und des kleinen Einzugsgebietes (2,09 km<sup>2</sup>) wird der Einfluß der Verdunstung vernachlässigt und gleich Null gesetzt.

Als Gerinneform wurde das Hufeisenprofil mit folgenden Eingabeparametern gewählt: Höhe, Breite und Profilfläche. Die Gerinnekapazität wurde so festgelegt, daß der anfallende Abfluß aufgenommen werden kann. Die Gerinnegeschwindigkeit wird im NASIM nach STRICKLER berechnet. Der Stricklerbeiwert für die Gerinnerauhigkeit wurde gutachtlich mit  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  festgelegt.

Aus simulationstechnischen Gründen wird jedem Teilgebiet eine Versiegelungsrate von einem Prozent zugeordnet. Auf den Teilgebieten S2021 und 2044 wird, aufgrund der lokalen Gegebenheiten eine Versiegelungsrate von 10% angenommen.

	WALD05V5 <sup>1)</sup>	WALD20V5	WALD40V5	SPI20V2	SPI40V2	WEI40V3	WEI62V3	WEI82V4	FEU95V7
				BF6	BF3	BF4	BF1	BF2	BF7
Landnutzung	Fi-Lä-Wald	Fi-Lä-Wald	Fi-Verjüngung	bew. Schipiste	pl. Schipiste	Mähwiese Bidner	bew. WachBH	pl. Mähwiese	bew. Feuchthfl
Bodenvegetation				Wklee-Schwi	Wkl-Schwi-Bü	Schwingel-Moos	Bürstling	tr. Niedermoor	Braunsegge
Bodenschichten [cm]	10 10 20	10 10 20	10 10 20	10IS10uS20S	10IS10uS20IS	10IS10IS9sU11St	10S10uS20uS	10uS10IS20S	10 10 20
Infiltration [mm/h]	96 88 42	76 70 42	52 46 42	84 78 100	55 50 42	44 50 17 0	42 32 35	08 08 70	05 05 20
Wurzeltiefe [cm]	100	100	50	30	30	6	40	30	20
Interzeption [mm]	10	10	8	3	4,5	7	9	9	2
RetOberfl [min]	6	6	4	2	3	4	6	4	1
Interflow [mm/h]	1	1	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
Akges [%]	5	20	40	20	40	40	62	82	95
Bf [%]	20	40	50	40	40	40	65	35	95
GVP [mm]	300,5	300,5	263,3	271,0	263,6	200,9	285,7	204,3	312,3
Bf [mm]	60,1	120,2	131,7	108,4	105,4	80,4	185,7	71,5	296,7
nFK [mm]	165,9	165,9	136,7	120,2	130,9	119,1	171,4	100,5	146,3
Bfeichung	0,37	0,72	0,96	0,90	0,81	0,68	1,08	0,72	1,90
Bf [mm]	61,4	119,4	131,2	108,2	106,0	81,0	185,1	72,4	278,0

<sup>1)</sup> WALD05V5.....Landnutzung-Abflußbeiwert in %-Vegetationstyp  
 SPI...Schipiste, WEI...Weide

Tabelle 19: Simulationsböden

### 3.2.6.2 Ergebnisse

Die berechneten Niederschlagshöhen für ein 100-jährliches Ereignis (siehe Tabelle 9) wurden, entsprechend der Niederschlagsdauer (15', 30', 60', 120', 180', 360' u. 720') anfangs-, mitten- u. endbetont sowie blockverteilt (siehe Abbildung 23). Die so erhaltenen Niederschlagsreihen (Anhang 7.2.3) wurden der Simulation zugrunde gelegt. Die Simulation wurde sowohl mit als auch ohne Rückhaltebecken durchgeführt. Als Niederschlagsbelastung wurde das gesamte Einzugsgebiet (2.09 km<sup>2</sup>) gewählt.

Die Ergebnisse der Simulation sind, in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer, für die Knoten: RHB Raderbach

RHB Wartschenbrunnbach

RHB Stieralmbach

Faschingalmbrücke

Schwemmkegelspitze

explizit dargestellt und dem Anhang 7.3.4 beigelegt.

Die Ergebnisse des *worst case scenario* (Niederschlagsverteilung 15 Min., endbetont) bzw. für ein 30minütiges Ereignis (30'e) sind für die Knoten Faschingalmbrücke bzw. Schwemmkegelspitze in der Tabelle 20 dargestellt. Als fiktiver Simulationsbeginn wurde 12:00 festgesetzt. Die entsprechenden Ganglinien sind im Anhang 7.3.5 beigefügt.

	t <sub>N</sub> [min]	RHB [+/-]	Abflußfracht [Tm <sup>3</sup> ]	Abflußbeiwert [%]	Abflußspitze [m <sup>3</sup> /s]	Zeitpunkt
<b>Faschingalmbrücke</b>	<b>15'e</b>	-	55,5	75,6	25,5	12:26
		+			16,5	12:25
	<b>30'e</b>	-	47,4	61,9	20,9	12:36
		+			14,0	12:37
<b>Schwemmkegel</b>	<b>15'e</b>	-	66,2	72,9	30,8	12:25
		+			21,8	12:24
	<b>30'e</b>	-	56,2	59,4	25,1	12:36
		+			18,2	12:36

Simulationsbeginn: 12:00

Tabelle 20: Abflußkenndaten Bemessungsereignis

Die Belastungen der Rückhaltebecken werden in der Tabelle 23 (siehe Kapitel 4.3) dargestellt. Die entsprechenden Ganglinien der einzelnen Rückhaltebecken sind aus Anhang 7.3.5 ersichtlich.

### 3.2.7 Tabellarische Zusammenfassung der Abflußberechnungen

	NS [Min]	RHB [+/-]	Abflußspitze [m³/s]	
			Faschingalm	Schwemmkegelhals
WUNDT (1953)	/	-	18.8	21.5
HAMPEL (1982)	/	-	9.3	18.3
HAMPEL (1990)	/	-	14.9	32.5
KOELLA (1986)			18.6	22.5
BERGTHALER (1991)	/	-	-	26.0
KOELLA (1986)			8.7	10.5
IHW-FGM	15'	-	21.2	23.5
		+	14.5	16.7
	30'	-	21.0	23.1
		+	14.3	16.8
	60'	-	18.9	20.7
		+	13.0	14.8
NASIM	15'	-	25,5	30,8
		+	16,5	21,8
	30'	-	20,9	25,1
		+	14,0	18,2
	60'	-	13,6	15,6
		+	10,0	12,1

Tabelle 21: Gegenüberstellung der berechneten Bemessungsabflüsse der Jährlichkeit 100

Zusammenfassend läßt sich folgende Größenordnung für die Bemessungsabflüsse (ohne Rückhaltebecken) festlegen:

**Faschingalmbrücke: 20-25 m³/s**

**Schwemmkegelhals: 25-30 m³/s**

## 4 Rückhaltebecken

### 4.1 Konstruktionsprinzip

Das Auslaßbauwerk wird in Form einer Trogsperre mit Tauchwand ausgeführt. Der Grundablaß wird in Form einer rechteckigen Öffnung am Fuß der Tauchwand ausgeführt. Zur späteren Nachregulierung des Grundablasses ist wasserseitig ein verstellbarer Schieber (scharfkantig) vorgesehen. Die Hochwasserentlastung soll über die Krone der Tauchwand (abgerundet, mit lotrechter OW-Seite und geneigter UW-Seite) ausgeführt werden. Als Tosbecken der Hochwasserentlastung dient gleichzeitig das Tosbecken des Grundablasses, das innerhalb der Trogsperre angeordnet ist. Wasserseitig ist eine Rechenkonstruktion vorgesehen.

Ausfluß unter Schütz bei vollkommenem Ausfluß (TWW, 1982)

$$Q_A = \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_o}$$

Hochwasserentlastung bei vollkommenem Überfall (TWW, 1982)

$$Q_{\bar{u}} = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_u^3}$$

Die Berechnungen sind Anhang 7.4.2 beigelegt.

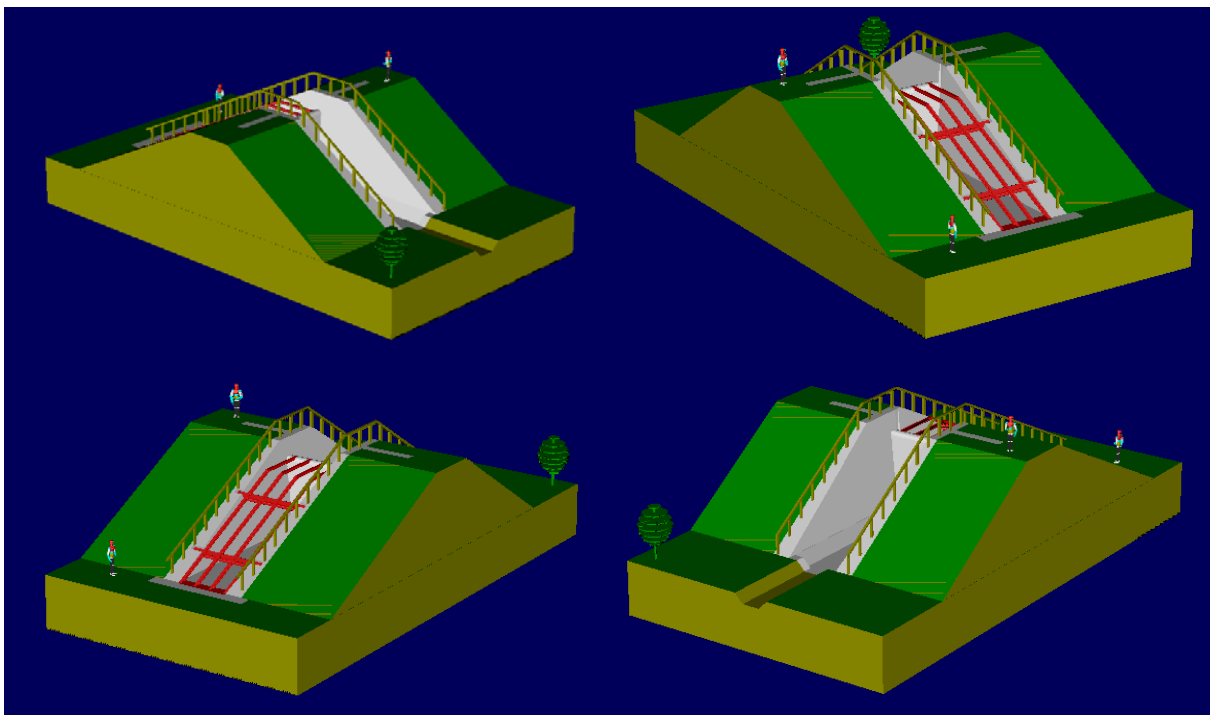


Abbildung 34: Auslaßbauwerk Rückhaltebecken, Konstruktionsprinzip

Die Konstruktionsdetails sind dem Anhang 7.4.5 zu entnehmen.

## 4.2 Daten der einzelnen Rückhaltebecken

Die Lage der Rückhaltebecken wurde vor Ort nach Rücksprache mit der Gbltg. Osttirol festgelegt. Das DHM basiert auf Vermessungsdaten, die zum Teil von der WLV, zum Teil vom Institut für WLS stammen. Einen Übersichtsplan mit der Lage der einzelnen Rückhaltebecken zeigt Anhang 7.4.3, die Schichtenpläne der einzelnen Becken Anhang 7.4.4.

Für den Entwurf der Rückhaltebecken wurde angenommen, daß die Dammschüttungen direkt auf den gewachsenen Boden erfolgen und kein Aushub im Stauraum erfolgt. Dies stellt konstruktiv den ungünstigsten Fall dar, da dies mit dem geringsten Stauvolumen des gewöhnlichen Stauraums verbunden ist. Eine genaue Anpassung kann erst nach Abschluß der geomechanischen Untersuchungen durchgeführt werden. Daten zusätzlicher Varianten (Stieralmbach A, Wartschenbrunnbach B) sind in diesem Bericht nicht berücksichtigt.

		<i>Gewöhnliches Stauziel</i>	<i>Außergewöhnliches Stauziel</i>	<i>Kronenhöhe</i>
		<i>[m]</i>	<i>[m]</i>	<i>[m]</i>
<i>RB I</i>	<i>Stieralm</i>	4,5	5,5	6,0
<i>RB II</i>	<i>Wartschenbrunn</i>	6,5	7,5	8,0
<i>RB lia</i>	<i>Wartschenbrunn (Variante A)</i>	7,5	8,5	9,0
<i>RB III</i>	<i>Rader</i>	6,5	7,5	8,0

		<i>Gewöhnlicher Stauraum</i>	<i>Außergewöhnlicher Stauraum</i>	<i>Beckenvolumen</i>
		<i>[m³]</i>	<i>[m³]</i>	<i>[m³]</i>
<i>RB I</i>	<i>Stieralm</i>	3.700	7.700	10.100
<i>RB II</i>	<i>Wartschenbrunn</i>	2.800	5.400	7.200
<i>RB lia</i>	<i>Wartschenbrunn (Variante A)</i>	3.400	5.600	6.900
<i>RB III</i>	<i>Rader</i>	5.100	8500	10600

		<i>Dammschüttung</i>	<i>Kubatur Stahlbeton</i>	<i>IPB 300</i>	<i>IPB 140</i>
		<i>[m³]</i>	<i>[m³]</i>	<i>[to]</i>	<i>[to]</i>
<i>RB I</i>	<i>Stieralm</i>	4.900	320	1,2	2,3
<i>RB II</i>	<i>Wartschenbrunn</i>	17.300	490	1,2	2,4
<i>RB lia</i>	<i>Wartschenbrunn (Variante A)</i>	13.600	640	1,2	2,9
<i>RB III</i>	<i>Rader</i>	13000	480	1,2	2,9

Tabelle 22: Kennzahlen der Rückhaltebecken

### 4.3 Beanspruchung der einzelnen Rückhaltebecken beim Bemessungsereignis

Die folgenden Werte beziehen auf die Berechnung mittels NASIM. Die maximale Belastung der RHB ergibt sich bei einer endbetonten Niederschlagsverteilung von 15 Minuten Regendauer und einer Niederschlagsbelastung des gesamten Einzugsgebietes (2,09 km<sup>2</sup>).

	Max. Zufluß		Max. Füllung		Einstau [Std:Min]	Max. HW-Entl. [m <sup>3</sup> /s]
	[m <sup>3</sup> /s]	[MEZ]	[Tm <sup>3</sup> ]	[%] <sup>o)</sup>		
Stieralmbach	3,6	12:29	4,0	39,5	2:00	0,12
Wartschenbrunnbach	3,1	12:26	3,8	53,1	2:00	0,68
Raderbach	6,0	12:26	6,6	62,1	2:30	0,76

<sup>o)</sup> gesamter Stauraum bis zur Dammkrone

Tabelle 23: Belastung der Rückhaltebecken beim Bemessungsereignis bei einem angenommenen Simulationsbeginn um 12:00 Uhr

Die max. Füllung der einzelnen RHB (bis zur Dammkrone) liegt in einem Bereich von ~ 40-60%, wenn man sowohl gewöhnlichen, außergewöhnlichen Rückhalteraum und Freiraum betrachtet. Die Hochwasserentlastung springt kurzfristig in allen drei Rückhaltebecken an. Die Einstaudauer der einzelnen Becken erreicht einen Wert von 2-2,5 Stunden (Abflußkurven siehe Anhang 7.3.5):

## **5 Simulation der Schadensereignisse mit NASIM**

### **5.1 Vorbedingungen**

Bei der Simulation zeigte sich, daß die ermittelten Niederschlagsmengen nicht allein ausschlaggebend für die einzelnen Ereignisse sein können. Auffallend ist, daß die Ereignisse immer in Verbindung mit Hagelschlag stehen. Bei der Simulation wurde daher der Hagel im Bereich der angenommenen Schauerzellen in Form einer 50%igen Versiegelung der Oberfläche mitberücksichtigt. Diese Teilversiegelung der Oberfläche führt zu einem erhöhtem und rascherem Oberflächenabfluß. Hinsichtlich der Niederschlagsbelastung und des Abflußverhaltens wird das Einzugsgebiet (je nach Ereignis) in 3 unterschiedliche Bereiche geteilt. Die Simulationsböden werden, wie in Tabelle 19 dargestellt mit folgenden Änderungen übernommen:

- Bereich oberhalb der Faschingalmbrücke
  - Volle Niederschlagsbelastung (Schauerzelle)
    - 50%ige Versiegelungsrate infolge des Hagels
    - Oberflächenretention von 4 Minuten
    - Interzeptionswerte mal Faktor 0.5
  - Reduzierte Niederschlagsbelastung (50%)
    - Oberflächenretention von 4 Minuten
    - Interzeptionswerte mal Faktor 0.5
- Bereich unterhalb der Faschingalmbrücke
  - Geringe Niederschlagsbelastung (10%)
    - Oberflächenretention von 10 Minuten
    - Interzeptionswerte mal Faktor 1.0

Die entsprechende Niederschlagsverteilung (Intensitäten, Niederschlagsdauer) der Ereignisse vom 6. August 1995, 16. August 1997 und 6. September 1997 wurden von Kapitel 2.1 übernommen. Ebenso wurden die Niederschlagsereignisse von August/September 1965 und August 1966 für Stunden- und Tageswerte berechnet. Da sich aber kein markanter Abfluß einstellte, werden die Ergebnisse nicht angeführt.

## 5.2 Ereignis 6. Aug. 1995

Ereignisdauer: 18:30-20:00 (MEZ)

Ereignischarakteristik: Heftiges Gewitter mit Hagel

Niederschlagsmenge: 51.5 mm

Schauerzelle: Östliches Einzugsgebiet oberhalb der Faschingalmbrücke

Aufteilung des Einzugsgebietes hinsichtlich der Niederschlagsbelastung:

- Volle Belastung: Einzugsgebiet Raderbach u. Wartschenbrunnbach (1,0 km<sup>2</sup>)
- Reduzierte Belastung: Einzugsgebiet Stieralmbach
- Geringe Belastung: TG unterhalb Faschingalmbrücke

	RHB +/-	Abflußfracht [Tm <sup>3</sup> ]	Abflußbeiwert [%]	Abflußspitze [m <sup>3</sup> /s]	Zeitpunkt [MEZ]
Faschingalmbrücke	-	30,9	44,2	13,3	19:09
	+			8,0	19:09
Schwemmkegel	-	31,0	43,2	13,3	19:09
	+			8,0	19:09

Tabelle 24: Abflußkenndaten (Ereignis 6. Aug. 1995)

	Max. Zufluß [m <sup>3</sup> /s] [MEZ]		Max. Füllung [Tm <sup>3</sup> ] [%] <sup>o)</sup>		Einstau [Std:Min]	Max. HW-Entl. [m <sup>3</sup> /s]
Wartschenbrunnbach	3,3	19:09	3,9	54,3	2:10	0,74
Raderbach	4,7	19:09	5,8	54,0	2:15	0,34

<sup>o)</sup> gesamter Stauraum bis zur Dammkrone

Tabelle 25: Theoretische Belastung der Rückhaltebecken (Ereignis 6. Aug. 1995)

Die Füllung der einzelnen RHB (bis zur Dammkrone) würde einen max. Wert von ~54% erreichen. Die Hochwasserentlastung springt kurzfristig in beiden RHB an; Einstaudauer von 2h 10' im RHB Wartschenbrunn bzw. 2h 15' im RHB Rader (Abflußganglinien siehe Anhang 7.5.1).

### 5.3 Ereignis 16. Aug. 1997

Ereignisdauer: 20:30-21:00 (MEZ)

Ereignischarakteristik: Heftiges Gewitter mit Hagel

Niederschlagsmenge: 37 mm

Schauerzelle: Westliches Einzugsgebiet oberhalb der Faschingalmbrücke

Aufteilung des Einzugsgebietes hinsichtlich der Niederschlagsbelastung:

- Volle Belastung: Einzugsgebiet Stieralmbach, Wartschenbrunnbach+SE2030 (1,1 km<sup>2</sup>)
- Reduzierte Belastung: Einzugsgebiet Raderbach
- Geringe Belastung: TG unterhalb Faschingalmbrücke

	RHB +/-	Abflußfracht [Tm <sup>3</sup> ]	Abflußbeiwert [%]	Abflußspitze [m <sup>3</sup> /s]	Zeitpunkt [MEZ]
Faschingalmbrücke	-	27,1	50,5	13,8	20:59
	+			10,5	20:59
Schwemmkegel	-	27,1	49,4	13,8	20:59
	+			10,7	20:59

Tabelle 26: Abflußkenndaten (Ereignis 16.Aug. 1997)

	Max. Zufluß [m <sup>3</sup> /s] [MEZ]		Max. Füllung [Tm <sup>3</sup> ] [%] <sup>o)</sup>		Einstau [Std:Min]	Max. HW-Entl. [m <sup>3</sup> /s]
Wartschenbrunnbach	3,1	20:59	3,6	49,8	1:40	0,53
Stieralmbach	3,2	20:59	3,2	31,6	1:40	0,0

<sup>o)</sup> gesamter Stauraum bis zur Dammkrone

Tabelle 27: Theoretische Belastung der Rückhaltebecken (Ereignis 16. Aug. 1997)

Die Füllung der einzelnen RHB (bis zur Dammkrone) erreicht einen max. Wert von ~50%. Die Hochwasserentlastung springt kurzfristig im RHB Wartschenbrunn an; Einstaudauer von 1h 40' im RHB Wartschenbrunn und im RHB Stieralm (Abflußganglinien siehe Anhang 7.5.2).

Vergleicht man die Simulationsergebnisse mit den „Stummen Zeuge“ (Faschingalmbrücke), so zeigt sich eine gute Übereinstimmung in der Größenordnung des Ereignisses (Kapitel 2.3).

*Faschingalmbrücke HQ,beob. 13.8 - 16 m<sup>3</sup>/s*

*Schwemmkegel Abflußfracht, beob. 20000-25000 m<sup>3</sup>*

## 5.4 Ereignis 6. Sept. 1997

Ereignisdauer: 17:00-17:30 (MEZ)

Ereignischarakteristik: Heftiges Gewitter mit Hagel

Niederschlagsmenge: 27 mm

Schauerzelle: Östliches Einzugsgebiet oberhalb der Faschingalmbrücke

Aufteilung des Einzugsgebietes hinsichtlich der Niederschlagsbelastung:

- Volle Belastung: Einzugsgebiet Raderbach u. Wartschenbrunnbach (1,0 km<sup>2</sup>)
- Reduzierte Belastung: Einzugsgebiet Stieralmbach
- Geringe Belastung: TG unterhalb Faschingalmbrücke

	RHB +/-	Abflußfracht [Tm <sup>3</sup> ]	Abflußbeiwert [%]	Abflußspitze [m <sup>3</sup> /s]	Zeitpunkt [MEZ]
Faschingalmbrücke	-	16,8	41,8	11,1	17:19 <sup>1)</sup>
	+			6,9	17:19
Schwemmkegel	-	16,9	40,9	11,1	17:19
	+			6,89	17:19

<sup>1)</sup> Tatsächliches Ereignis um 17:38

Tabelle 28: Abflußkenndaten (Ereignis 6.Sept. 1997)

	Max. Zufluß		Max. Füllung		Einstau [Std:Min]	Max. HW-Entl. [m <sup>3</sup> /s]
	[m <sup>3</sup> /s]	[MEZ]	[Tm <sup>3</sup> ]	[%] <sup>o)</sup>		
Wartschenbrunnbach	2,7	17:19	2,0	28,2	1:45	0,0
Raderbach	4,0	17:19	3,0	28,0	1:55	0,0

<sup>o)</sup> gesamter Stauraum bis zur Dammkrone

Tabelle 29: Theoretische Belastung der Rückhaltebecken (Ereignis 6. Sept. 1997)

Die Füllung der einzelnen RHB (bis zur Dammkrone) erreicht einen max. Wert von ~28%. Die Hochwasserentlastung springt nicht an; Einstaudauer von 1h 45' im RHB Wartschenbrunn bzw. 1h 55' im RHB Rader (Abflußganglinien siehe Anhang 7.5.3). Vergleicht man die Simulationsergebnisse mit den „Stummen Zeuge“ (Schwemmkegel), so zeigt sich eine gute Übereinstimmung in der Größenordnung des Ereignisses (Kapitel 2.4).

*Schwemmkegel      Abflußfracht, beob.    18000 m<sup>3</sup>*

## **6 Literaturverzeichnis**

- BERGTHALER, J. (1997): Hydrologie Osttirol-Vergleiche mit dem östlichen Unterinntal, Fachexkursion Wartschenbach 24.10.1997, Brief an die WLV Sektion Tirol v. 4.2.1998, unveröffentlicht
- FAEH, A.O. (1997): Understanding the Processes of Discharge Formation under Extreme Precipitation. VAW, Mitteilungen 150, Zürich
- HAGEN, K (1996): Untersuchungen über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Starkniederschlägen bei verschiedenen stark vordurchfeuchteten Böden, Diplomarbeit am Institut f. Wildbach- u. Lawinenschutz, Universität f. Bodenkultur, Wien
- HAMMER, N. (1993): Eine optimierte Starkniederschlagsauswertung, III: OWUNDA, Mitteilungsblatt Hydrographischer Dienst in Österreich, H. 69, S. 43-58, Wien
- HAMPEL, R. (1978): Eine Hochwasserformel für kleine Einzugsgebiete. Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung Österreichs, Jg. 42, Heft 2, S. 63-73
- HAMPEL, R. (1990): Formelsammlung und Rechenschema für Wasser und Geschiebe in Wildbächen, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinerverbauung Österreichs, Jg. 54, Heft 114, S. 167-175
- HYDROTEC (1991): Niederschlag-Abfluß-Modell NASIM, Aachen
- KOELLA (1986):
- KREPS, H, SCHIMPF, H. (1965): Starkregen und Starkregenstatistik, Mitteilungsblatt des hydrogr. Dienstes in Österreich, Nr. 42, S. 2-44
- LUTZ, W. (1984): Berechnung von Abflüssen aus Gebietskenngrößen. Institut f. Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität Karlsruhe (TU), Karlsruhe
- MARKART, G. u. KOHL, B. (1998): Abfluß- und Infiltrationseigenschaften unterschiedlich genutzter Boden-/Vegetationskomplexe im oberen Einzugsgebiet des Wartschenbaches (Raum Zettlersfeld) - Osttirol. Institut f. Lawinen- und Wildbachforschung, FBVA, Innsbruck
- MÜLLER R. (1943): Theoretische Grundlagen der Fluß- und Wildbachverbauungen, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, ETH Zürich, Nr. 4
- NAEF, F. et. al. (1998): Die Auswirkungen des Rückhaltevermögens natürlicher Einzugsgebiete bei extremen Niederschlagsereignissen auf die Größe extremer Hochwässer. Schlußbericht NFP 31, Institut f. Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich, vdf Hochschulverlag AG

NEUWIRTH, F. (1984): Starkregen in Österreich, Teilprojekt 1, Methodische Untersuchung zur Auswahl des geeigneten Auswerteverfahrens, Österr. Gesellschaft für Meteorologie, IHP-Projekt, Wien

SCHIMPF, H. (1970): Untersuchungen über das Auftreten beachtlicher Niederschläge in Österreich, Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 22, H. 5/6, S. 121-127

Taschenbuch der Wasserwirtschaft (TWW) (1982): Hrsg. BRETSCHNEIDER, H., 6. Auflage, Verlag Parey, Hamburg

WUNDT, W. (1953): Gewässerkunde, Springer Verlag, Berlin

ZELLER, J., GENSLER, H. (1980): Starkregenprofile durch die östlichen Schweizer Alpen, Interprävent, H. 1, S. 203-213

## **7 Anhang**

### **7.1 Ereignisrekonstruktion**

**7.1.1 Zeitlich-räumliche Verteilung der Wetterradarklassen und Blitzentladungen vom 16.8.1997**

**7.1.2 Gegenüberstellung der Wetterradarklassen mit gemessenen Niederschlägen vom 16.8.1997**

**7.1.3 Zeitlich-räumliche Verteilung der Wetterradarklassen und Blitzentladungen vom 6.9.1997**

**7.1.4 Gegenüberstellung der Wetterradarklassen mit gemessenen Niederschlägen vom 6.9.1997**

### **7.2 Niederschlag**

**7.2.1 Statistische Auswertung Niederschlag**

**7.2.2 Niederschlagssummenlinien Zetttersfeld 1991-1997**

**7.2.3 Angenommene Niederschlagsverteilungen**

### **7.3 Abfluß**

**7.3.1 Ergebnisse Berechnungsverfahren KOELLA (1986)**

**7.3.2 Gegenüberstellung der gemessenen und gerechneten Abflußganglinien der Beregnungsversuche**

**7.3.3 Abflußbeiwertekarte**

### **7.3.4 Tabellarische Zusammenstellung der Abflüsse an ausgewählten Knoten für das 100-jährliche Bemessungsereignis**

### **7.3.5 Abflußganglinien der NASIM-Simulation für das 100-jährliche Bemessungsereignis**

## **7.4 Rückhaltebecken**

### **7.4.1 Speicherinhaltslinien**

### **7.4.2 Dimensionierung Auslaßöffnung und Hochwasserentlastung**

### **7.4.3 Übersichtsplan Lage Rückhaltebecken**

### **7.4.4 Lageplan Rückhaltebecken**

### **7.4.5 Konstruktionspläne Rückhaltebecken**

## **7.5 Schadensereignisse**

### **7.5.1 Ereignis 6. Aug. 1995 (Abflußganglinien)**

### **7.5.2 Ereignis 16. Aug. 1997 (Abflußganglinien)**

### **7.5.3 Ereignis 6. September 1997 (Abflußganglinien)**