

# Integrale Analyse eines murfähigen Wildbaches anhand einer Fallstudie

Schlussbericht, Cycle d'études postgrade en  
aménagement hydrauliques 1999 - 2002

**Master Thesis**

**Author(s):**

Gostner, Walter

**Publication date:**

2002

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004438846>

**Rights / license:**

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

## **Integrale Analyse eines murfähigen Wildbaches anhand einer Fallstudie**

*Integral analysis of a debris flow in an alpine torrent based on a  
case study*

*Analyse intégrale d'une lave torrentielle dans un torrent de  
montagne sur base d'une étude de cas*

### **Schlussbericht**

#### **Kandidat**

Walter Gostner  
Ingenieurgesellschaft  
Patscheider & Partner

Russlandstraße 21  
I – 39024 Mals  
Tel. 0039 0473 830505  
Fax. 0039 0473 835530  
E-Mail : w.gostner@pundp.it

#### **Begutachter**

Prof. Dr. Hans Erwin Minor  
(Professor für Wasserbau)  
Dr. Ing. Gian Reto Bezzola  
(Leiter der Flussbauabteilung)

Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie  
(VAW),  
Eidgenössische Technische  
Hochschule ETH  
CH – 8092 Zürich

#### **Direktion des Nachdiplomstudiums**

Prof. Dr. Anton Schleiss  
(Professor für Wasserbau)

Laboratoire de  
constructions hydrauliques  
(LCH), Département de  
génie civil,  
Ecole polytechnique  
fédérale de Lausanne  
EPFL  
CH – 1015 Lausanne

#### **Auftraggeber**

Autonome Provinz Bozen  
Abteilung 30 – Wasserschutzbauten  
Cesare-Battisti-Straße 23  
I – 39100 Bozen  
Abteilungsdirektor: Dr. Rudolf Pollinger

## Vorwort

Die vorliegende Studie bildet die Abschlussarbeit zum Nachdiplomstudium in hydraulischen Anlagen an der EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne).

Die Betreuung der Arbeit ist an der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich erfolgt.

Die Arbeit wurde gleichzeitig als Auftrag, den die Abteilung 30 der Autonomen Provinz Bozen, Wasserschutzbauten, Sonderbetrieb für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung, an die Ingenieurgemeinschaft Patscheider & Partner erteilt hat, ausgeführt.

Ohne das Mitwirken zahlreicher Personen wäre die Arbeit in dieser Form nie zustande gekommen. An dieser Stelle sei ihnen aufrichtig gedankt:

- Personen der VAW:
  - Gian Reto Bezzola, Chef der Flussbauabteilung der VAW, für eine ausgezeichnete Betreuung: für die menschliche und fachliche „integrale“ Unterstützung, für unzählige Tipps aus seinem Erfahrungsschatz, für jegliche zur Verfügung gestellte Hilfsmittel,
  - Professor Hans Erwin Minor für wertvolle Anregungen und für die Begeisterung, die er der Arbeit entgegengebracht hat,
  - Assistent Markus Schatzmann für die Hilfestellung bei den ersten Gehversuchen im Programm FLO-2d und für den Scharfsinn bei der Suche nach versteckten Fehlern;
- Personen des Dorfes Tschengls:
  - Assessor Markus Hauser für das Herstellen von Kontakten nicht zu stummen, sondern zu aussagefreudigen Zeugen und für die Vermittlung der Anliegen der Dorfbevölkerung,
  - Raimund Prugger und Franz Andres für sehr lebhaft und vor allem umfassende Erzählungen über die Murereignisse 1971 und 1999,
  - Herbert Raffener für die Zusammenstellung wichtiger Murereignisse, die in keinem Buch zu finden sind, und für die Bereitstellung anderer interessanter Literatur;
- Personen des Amtes für Wildbachverbauung:
  - Direktor Rudolf Pollinger für die Erteilung eines äußerst interessanten Auftrages in einem sehr „dankbaren“ Einzugsgebiet und für sehr bereichernde Aussagen zum besseren Verständnis der Sichtweise der öffentlichen Verwaltung,
  - Sandro Gius, Gebietsleiter West, für die Vermittlung der Probleme bei der Gewässerbetreuung und für die Bereitstellung der Luftbild- und Videoaufnahmen,
  - Helmut Steiner, Gruppenleiter der Gruppe „Prad“, für eine sehr aufschlussreiche Feldbegehung im Auenwald und für eine aussagekräftige Beschreibung der Eigenheiten der Feststofffracht der Murgänge 1999;
- anderen in die Arbeit verwickelten Personen:
  - Christian Greber vom Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich für ein informatives und kurzweiliges Gespräch sowie sehr plakative, einem Bauingenieur eher fernstehende Erklärungen über Gewitterentstehung, Niederschlagsintensitäten oder inneralpines Klima,

- Geologen Volkmar Mair vom Amt für Geologie der Autonomen Provinz Bozen für eine gemeinsame Begehung des Einzugsgebietes, bei der die jüngere geologische und morphologische Geschichte des Tschenglser Baches (die letzten 10.000 Jahre) anschaulich wurde,
- Daniel Rickenmann vom WSL für die Übernahme des externen Korreferats und für wertvolle Denkanstöße,
- den Mitarbeitern der Ingenieurgesellschaft Patscheider & Partner für spontane Mithilfe zu jeder Tag- und Nachtzeit, insbesondere aber Ronald Patscheider für die wohl einmalige Möglichkeit, die er mir geschaffen hat,
- meinen Eltern für immerwährende Hilfestellungen, vor allem meinem Vater für unermüdliche Taxidienste,
- meiner Freundin Heidi für die stets selbstverständliche Nähe und für die hervorragende Hilfe im Kampf mit dem Fehler- und Ausdrucksteufel.

Mals, am 21.01.02

Walter Gostner



*L'acqua disfa li monti e riempie le valli  
e vorrebbe ridurre la terra in perfetta sfericità,  
s'ella potesse.  
(Leonardo da Vinci)*

## Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden anhand einer integralen Analyse konkrete Lösungsansätze zur Reduzierung des Schadenspotentials des Tschenglser Baches, eines murfähigen Wildbaches in Südtirol/Italien, erarbeitet.

Der erste Abschnitt enthält eine Einführung in die allgemeine Problemstellung der Murgänge und in den aktuellen Stand der Wissenschaft zur Modellierung der Murgänge.

Im zweiten Abschnitt wird das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches eingehend erläutert. Dabei wird auf die geologischen, morphologischen, hydrologischen und meteorologischen Eigenschaften des Einzugsgebietes eingegangen. Weiters folgen eine Dokumentation der Murreignisse, verschiedene Zeugenaussagen sowie ein Rückblick in die Verbauungsgeschichte.

Der dritte Abschnitt beschreibt die integrale Analyse der Murgänge am Tschenglser Bach. Darin werden folgende wesentliche Prozesse erfasst:

- Entstehung der Reinwasserabflüsse: Mittels eines Niederschlags – Abfluss – Modells werden an signifikanten Stellen im Einzugsgebiet die Hydrographen für die Reinwasserabflüsse, die sich aufgrund verschiedener Niederschlagsszenarien ergeben, abgeschätzt. Verwendet wird dabei das Modell HEC – HMS, in dem mehrere Ansätze zur Generierung der Reinwasserabflüsse implementiert sind.
- Bildung der Murganghydrographen: Anhand eines Murgangentstehungskriteriums werden Schwellenabflusswerte definiert, ab deren Überschreiten die Entstehung eines Murganges angenommen wird. Unter Anwendung von Feststofftransportformeln erfolgt die Ermittlung der maßgebenden Murganghydrographen.
- Vorgänge in der Transportstrecke und den Geschieberückhaltebecken: In einer eindimensionalen, instationären Abflussberechnung – eingesetzt wird das Programm DAMBRK – wird die Deformation der Murgangwellen entlang der Transportstrecke modelliert. Die Geschieberückhaltebecken finden in einer vereinfachten Berechnung Berücksichtigung.
- Verhalten der Murgänge im Dorf- und Ablagerungsbereich: Es werden verschiedene Murgangsszenarien numerisch modelliert. Zur Anwendung kommt dabei das Programm FLO-2D, welches die zweidimensionale, instationäre Modellierung von Reinwasser- und Murgangabflüssen ermöglicht, wobei die Murgangmodellierung durch ein quadratisches Fließgesetz erfolgt.
- Die numerischen Modellierung erlaubt detaillierte Aussagen über Abflusstiefen und Geschwindigkeiten zu beliebigen Zeitpunkten in beliebigen Rasterzellen, wodurch man die Schwachstellen im System erkennen kann.

Mit Hilfe von umfangreichen Sensitivitätsanalysen werden in jedem Arbeitsschritt plausible von nicht plausiblen Szenarien getrennt. Als Kalibrierungsgrundlage dienen dabei im Jahr 1999 aufgetretene Murgänge. Diese können in Bezug auf die umgelagerten Feststofffrachten und aufgetretene Maximalabflüsse recht genau rekonstruiert werden, da deutliche Spuren im Gelände, ergiebige Zeugenaussagen und eine Videoaufnahme vorhanden sind.

Aufgrund der durchgeführten Analyse erhält man einen umfassenden Einblick in die Murgangtätigkeit des Tschenglser Baches. Durch die integrale Betrachtungsweise wird aber

auch ein allgemeines Verständnis für die Entstehung von Murgängen im Gerinne und für deren Ablauf im Transport- und Kegelbereich geschaffen. Die Arbeit leistet somit einen Beitrag zur praktischen Anwendung von theoretischen bzw. im Labor entwickelten Ansätzen zur Murgangmodellierung.

## Riassunto

Nello presente studio vengono elaborate, per mezzo di un'analisi integrale, delle proposte di interventi mirati a ridurre il rischio idraulico derivante dal rio Cengles, un torrente montano nel Sudtirolo/Italia, nel quale si verificano regolarmente colate detritiche.

La prima parte contiene un'introduzione alla problematica delle colate detritiche e allo stato dell'arte sulla modellazione delle medesime.

Nella seconda parte viene descritto in modo dettagliato il bacino imbrifero del rio Cengles prendendo in considerazione le sue caratteristiche geologiche, morfologiche, idrologiche e meteorologiche. Seguono una documentazione storica sulle colate, diverse interviste condotte con testimoni degli eventi nonché la storia degli interventi e delle sistemazioni effettuate sul rio Cengles.

La terza parte tratta l'analisi integrale delle colate detritiche che si verificano nel rio Cengles. Vengono studiati i seguenti processi essenziali:

- Generazione delle portate liquide: Presso significanti sezioni di controllo del bacino vengono elaborati gli idrogrammi delle portate liquide mediante un modello precipitazione – deflusso. Questi idrogrammi risultano da diversi scenari di precipitazione. Viene utilizzato il modello HEC – HMS il quale adotta diversi approcci per la generazione delle portate liquide.
- Sviluppo degli idrogrammi delle colate detritiche: Com una formulazione per l'innescò delle colate vengono definiti valori di portate critiche al di là dei quali si presuppone l'innescò di una colata. Gli idrogrammi delle colate di progetto vengono elaborati utilizzando diverse relazioni per il trasporto solido.
- Deflusso nel tratto intermedio (tratto di trasporto) e nei bacini di trattenuta di detriti: Mediante un modello di deflusso unidimensionale e instazionario – si adopera il programma DAMBRK – viene modellata la deformazione dell'onda delle colate lungo il tratto di trasporto. I bacini di trattenuta di detriti vengono considerati in un calcolo semplificato.
- Comportamento delle colate in paese e nella zona di deposito: I diversi scenari delle colate detritiche vengono analizzati adottando un modello numerico. Si utilizza il programma FLO-2D tramite il quale è possibile la modellazione bidimensionale ed instazionaria degli idrogrammi di portate liquide nonché di colate detritiche. Per mezzo di una formulazione reologica quadratica viene esaminata una gamma di diversi comportamenti reologici. La modellazione numerica permette di poter ricavare informazioni dettagliate sull'altezza di deflusso e sulla velocità di corrente in qualsiasi momento ed in qualsiasi elemento del grid.

In qualsiasi fase dello studio vengono effettuate numerose analisi di sensitività grazie alle quali è possibile distinguere gli scenari plausibili da quelli non plausibili. Eventi di colate detritiche verificatesi nel 1999 forniscono un'ottima base di calibrazione. Per quanto riguarda i volumi di materiale mobilizzati e le portate massime, le colate possono essere ricostruite in modo assai

attendibile visto che hanno lasciato chiare tracce sul terreno. Inoltre sono disponibili numerose testimonianze nonché una registrazione su video.

Le analisi condotte forniscono una visione completa dell'attività del rio Cengles. L'analisi integrale del Rio Cengles pone inoltre le basi per una conoscenza più generale ed approfondita dell'innescò delle colate detritiche in alveo di torrente e del deflusso delle stesse nel tratto di trasporto e sul conoide. Lo studio contribuisce dunque all'applicazione pratica di approcci teorici o sviluppati in laboratorio finalizzati alla modellazione delle colate detritiche.

## **Abstract**

The present study aims to propose, by means of an integral analysis, measures to reduce the potential hazard of a debris flow torrent – called the Tschengls torrent – which is situated in South Tyrol / Italy.

The study contains three parts. The first part gives an introduction into the nature and the specific problems of debris flow and into the state of the art of debris flow modelling.

In the second part the catchment area of the Tschengls torrent is described in detail. Geological, morphological, hydrological and meteorological characteristics are discussed. Moreover, the time series of past debris flow events, informations of eyewitnesses and a review of the existing mitigation measures are presented.

The third part, which is the main part, describes the integral analysis that has been carried out. The following essential processes have been studied:

- Generation of clear water hydrographs: A rainfall-runoff model was set up to define clear water hydrographs at significant control sections in the torrent system based on several precipitation scenarios. The computer model HEC – HMS is used which applies different approaches for the clear water hydrograph generation.
- Formation of the debris flow hydrographs: By use of a threshold criterion critical clear water discharges for the initiation of debris flow can be defined. Based on different transport formulae, the debris flow hydrographs are developed.
- Processes in the transportation zone (channel) and in the debris retention basins: In order to evaluate the deformation of the debris flow waves the hydrographs are routed through the transportation zone based on the one-dimensional, unsteady flow theory using the DAMBRK model. The effect of the debris retention basins is taken into consideration in a simplified calculation.
- Behaviour in the urbanized area and on the deposition zone: Different physically realistic scenarios are modelled numerically. The two-dimensional flood routing model FLO-2D is used. Both clear water flows and debris flows can be simulated, a quadratic shear stress model expresses the rheological behaviour of the debris flow.

The numerical model allows the determination of flow depths and velocities at any moment in any grid cell. In this way critical points in the torrent system can be recognised.

In order to determine plausible scenarios extensive sensitivity analyses have been carried out in each step of the study. Debris flows that occurred in 1999 serve as a calibration basis. Evident

traces in the field, informative testimonies and a video recording are useful tools to reconstruct the mentioned events quite well.

In order to achieve realistic results, extensive sensitivity analyses have been carried out in each step of the study. Debris flows that occurred in 1999 served for calibration. Evident traces in the field, informations provided by eyewitness and a video recording were used to reconstruct the events of 1999. Based on the study, mitigation measures can be planned.

The integral analysis provides a comprehensive insight into the debris flow activity of the Tschengls torrent and a general understanding for both, the development of erosion type debris flows and for the processes that occur in the transportation zone and on the fan respectively.

The comprehensive analysis of the Tschengls torrent is an example for the application of theory and numerical tools to assess debris flow hazards.

## Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	I
Kurzfassung .....	IV
Riassunto .....	V
Abstract.....	VI
Inhaltsverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Zur Modellierung von Murgängen.....	3
2.1 Allgemeine Beschreibung von Murgängen.....	3
2.2 Erscheinungsbild der Murgänge.....	4
2.3 Entstehung von Murgängen.....	5
2.3.1 Bedingungen für die Entstehung von Murgängen.....	5
2.3.2 Typen von Murgängen im Hinblick auf die Auslösung.....	6
2.3.3 Auslösekriterien von Murgängen.....	7
2.4 Rheologie von Murgängen.....	8
2.4.1 Allgemeines.....	8
2.4.2 Rheologische Modelle für das Fließverhalten von Murgängen.....	9
2.4.3 Geschwindigkeitsprofile von Murgängen.....	14
2.5 Empirische Ansätze.....	15
3. Der Tschenglser Bach.....	16
3.1 Das Einzugsgebiet.....	16
3.1.1 Morphologische und geologische Beschreibung des Einzugsgebietes.....	16
3.1.2 Kurzbeschreibung der Geschiebeherde.....	18
3.1.3 Hydrologische und meteorologische Rahmenbedingungen.....	19
3.2 Dokumentation der Murereignisse.....	20
3.2.1 Übersicht und Einstufung des Tschenglser Baches.....	20
3.2.2 Zeugenaussagen.....	22
3.3 Verbauungsgeschichte.....	24
4. Modellierung der Murgänge am Tschenglser Bach.....	27
4.1 Vorgehensweise.....	27
4.2 Hydrologische Szenarien für Reinwasserabfluss.....	28
4.2.1 Allgemeines.....	28
4.2.2 Das Modell HEC – HMS.....	28
4.2.3 Niederschlagsdaten.....	30
4.2.4 Sensitivitätsanalysen Vorversuche.....	34
4.2.5 Bestimmung der hydrologischen Szenarien.....	39
4.3 Bildung der Murgänge.....	43
4.3.1 Verwendete Ansätze.....	43
4.3.2 Sensitivitätsanalysen Vorversuche.....	49
4.3.3 Definition der Szenarien.....	51
4.4 Transportbereich.....	57
4.4.1 Deformation der Murganghydrographen.....	57
4.4.2 Geschieberückhaltebecken.....	58
4.4.3 Resultate.....	59

4.5	Modellierung der Murgänge im Siedlungsbereich .....	60
4.5.1	Das Programm FLO-2D .....	60
4.5.2	Topographie.....	61
4.5.3	Rheologie.....	63
4.6	Untersuchung der Ereignisse 1999 .....	66
4.6.1	Niederschläge .....	66
4.6.2	Feststofffrachten .....	67
4.6.3	Maximaler Abfluss .....	68
4.6.4	Grenzscherspannung .....	69
4.6.5	Wiederkehrdauer .....	69
4.7	Numerische Modellierung verschiedener Szenarien .....	70
4.8	Diskussion der Ergebnisse .....	73
4.9	Diskussion möglicher Maßnahmen.....	77
5.	Zusammenfassung .....	80
5.1	Allgemeines .....	80
5.2	Weiterführende Studien.....	80
5.3	Hinweise zur Datenerhebung für Murgangereignisse.....	81
	Verzeichnis der Abbildungen.....	83
	Verzeichnis der Tabellen.....	84
	Verzeichnis der verwendeten Symbole .....	85
	Verzeichnis der Abkürzungen .....	87
	Literaturverzeichnis .....	88
A.	Anhang .....	93
A1.	Das Einzugsgebiet.....	93
A1.1	Großräumige Lage des Einzugsgebietes 1:75.000 .....	93
A1.2	Teileinzugsgebiete 1:25.000.....	94
A1.3	Geschieberde 1:25.000 .....	96
A2.	Hydrologie .....	97
A2.1	Teileinzugsgebiete.....	97
A2.1.1	Teileinzugsgebiete Modell HEC - HMS .....	97
A2.1.2	Einteilung des Einzugsgebietes in Bodenarten zur Zuweisung des CN-Wertes ....	98
A2.1.3	Wichtigste Kenndaten der Teileinzugsgebiete und Gerinneabschnitte .....	99
A2.1.4	Koeffizienten zur Ermittlung der Konzentrationszeit .....	100
A2.2	Niederschlagsdaten .....	101
A2.2.1	Niederschlagsdaten Vinschgau .....	101
A2.2.2	Niederschlagsdaten Schweiz.....	103
A2.2.3	Projekt VAPI .....	105
A2.2.4	Niederschläge bei den Murgängen 1999.....	107
A2.2.5	Vergleich Schweiz – Südtirol – Triveneto .....	108
A2.3	Sensitivitätsanalysen zur Ermittlung der Hochwässer .....	109
A2.3.1	Vorversuche: Ermittlung des HQ50 anhand VAPI – Kurven.....	109
A2.3.2	Vergleich mit VAPI – Formeln für Hochwasser.....	113
A2.3.3	Ermittlung der maßgebenden Hochwässer .....	114
A3.	Linienzahlanalysen .....	120
A4.	Entwicklung Murganghydrographen .....	124

A4.1	Vorversuch 1: HQ50 mit T (Ereignisdauer) = 540 min.....	124
A4.2	Vorversuch 2: Murgang am 16/08/1999 mit HQ aus VAPI und T = 540 min .....	127
A4.3	Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Tognacca (1999) Fall a	130
A4.4	Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Tognacca (1999) Fall b	135
A4.5	Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Takahashi (1991) Fall a	139
A4.6	Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Takahashi (1991) Fall b	143
A4.7	Diagramme: Tognacca 1 + 2, Takahashi 1 + 2.....	146
A4.8	Murganghydrographen: Kombination aus Tognacca (a) und Takahashi (b) .....	148
A4.8.1	Aufgrund HQ30.....	149
A4.8.2	Aufgrund HQ50.....	152
A4.8.3	Aufgrund HQ100.....	154
A4.8.4	Aufgrund HQ300.....	156
A4.8.5	Diagramme .....	158
A4.9	Zusammenfassung der berechneten Murfrachten.....	160
A4.10	Berechnung der Geschiebefrachten mit empirischen Formeln.....	161
A5.	Modellierung Transportstrecke, Geschieberückhaltebecken und Bereitstellung Input Flo – 2d .....	162
A5.1	Aufgrund HQ30.....	162
A5.2	Aufgrund HQ50.....	164
A5.3	Aufgrund HQ100.....	166
A5.4	Aufgrund HQ300.....	168
A5.5	Diagramme .....	170
A6.	Die Murreignisse 1999.....	172
A6.1	Abschätzung Volumen.....	172
A6.1.1	Fernerbachrinne .....	172
A6.1.2	Abschätzung aufgrund Volumenangaben und Beurteilung der Ablagerungen der Murgänge 1999 .....	176
A6.1.3	Volumenabschätzung aufgrund von Berichten über den Ablauf der Murgänge 1999 .....	178
A6.1.4	Volumenbemessung aufgrund Länge der Kegelablagerungen .....	179
A6.1.5	Resümee .....	179
A6.1.6	Volumen Murkegel.....	180
A6.2	Abschätzung Maximalabfluss .....	180
A6.3	Abschätzung Grenzscherspannung.....	181
A7.	Rheologie .....	183
A7.1	Beurteilung viskose – granulare Murgänge .....	183
A7.2	Koeffizienten zur Bestimmung der rheologischen Parameter.....	184
A8.	Rechengebiet Flo –2d .....	186
A9.	Ausgewählte Beispiele der numerischen Modellierung.....	187
A9.1	M12.....	187
A9.2	M16.....	187
A9.3	M110.....	188
A9.4	M22.....	188
A9.5	M26.....	189
A9.6	M210.....	189



A9.7	M32.....	190
A9.8	M36.....	190
A9.9	M310.....	191

## 1. Einleitung

Murgänge bedrohen immer wieder die Menschheit und von ihr genutzte Lebensräume. Eine genauere Analyse von Murgängen hat gezeigt, dass drei Landschaftstypen der Gefahr durch Murgänge besonders ausgesetzt sind (Mainali und Rajaratnam, 1991):

- semiaride Regionen,
- alpine Regionen,
- vulkanische Regionen.

Das Land Tirol – zentral in den Alpen gelegen – ist davon also nicht ausgeschlossen.

Unsere Vorfahren haben sich auf den fruchtbaren Murkegeln bevorzugt angesiedelt, da in den oft sumpfigen und unwirtlichen, von den Hauptflüssen durchzogenen Talebenen kein nutzbares Land vorhanden war. Im Laufe der Zeit entstand auf den Murkegeln ein großes Schadenspotential, das den Wildbächen fast schutzlos ausgeliefert war.

Erst nach den ersten großen Flussregulierungen im 19. Jahrhundert wurden auch in der Ebene Siedlungen gegründet. Im Vinschgau, einem der Haupttäler Südtirols, liegen nur zwei Ortschaften zur Gänze in der Talebene, und zwar Glurns und Plaus.

Ein Dorf, das immer wieder von Katastrophen heimgesucht wird, ist der Ort Tschengls, der auf dem Murkegel des gleichnamigen Baches liegt. Ein unbekannter Geschichtsschreiber des 19. Jahrhunderts hat Tschengls mit der Meerenge von Messina verglichen. Diese wurde in der griechischen Sage bedroht von den zwei Ungeheuern Skylla und Charybdis, an denen kaum jemand lebend vorbeikam. Für Tschengls würden diese zwei Ungeheuer einerseits den Murgängen, andererseits den Brandkatastrophen<sup>1</sup> entsprechen.

Zahlreiche Indikatoren im Gelände geben Zeugnis davon, dass die Bewohner des Dorfes seit eh und je einen großen Respekt vor dem Tschenglser Bach hatten. So stellt zum Beispiel der Auenwald unterhalb des Dorfes eine der wenigen Flächen überhaupt im Vinschgau dar, die nicht als Kultur- oder Wohngrund genutzt sind.

Bereits aus dem 17. Jahrhundert gibt es überlieferte Quellen, die über anfängliche Formen einer Notfallplanung berichten (Raffener, 1990). Im 18. Jahrhundert gab es erste Bemühungen, den Bach zu verbauen. Aus Kostengründen wurden die Vorhaben verzögert, da ausschließlich die Bürger des Dorfes für die Finanzierung der Arbeiten hätten aufkommen müssen. Die organisierte Verbauung des Baches begann – mit Unterstützung der öffentlichen Hand – im 19. Jahrhundert. Dabei ist es interessant festzustellen, dass vor allem nach Auftreten von Murgängen Arbeiten am Bach ausgeführt wurden.

In der jüngeren Geschichte waren vor allem die 70 – er Jahre Zeiten reger Bautätigkeit am Tschenglser Bach. Auch für diese Periode ist es kennzeichnend, dass es zuvor (im September 1971) zu einem Murabgang mit der Übermuerung von Teilen des Dorfes gekommen war. Nach der Vollendung der wichtigsten Verbauungsmaßnahmen glaubte man, die Schutzziele für das Dorf erreicht zu haben.

---

<sup>1</sup> Tschengls war neben Murgängen auch oft von Brandkatastrophen betroffen

Zwei Murgänge am 16. August 1999 und am 20. September 1999 haben die Bewohner und die öffentliche Verwaltung wieder auf den Plan gerufen. Besonders das Ereignis vom 16. August, bei dem die Abflussquerschnitte der über den Bach führenden Brücken noch knapp ausreichten, ließ die Frage entstehen, ob alle bisher unternommenen Anstrengungen möglicherweise noch nicht ausreichen würden, um das durch den Tschenglser Bach verursachte Risiko auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.

Um eine Antwort auf diese Frage zu bekommen, hat die Abteilung 30 der Autonomen Provinz Bozen, Wasserschutzbauten, Sonderbetrieb für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung<sup>2</sup>, die vorliegende Studie in Auftrag gegeben. Sie bedient sich moderner Methoden der Murgangforschung und testet jüngste Laboruntersuchungen auf ihre Praxistauglichkeit. Mit Hilfe von intensiver Feldarbeit, zahlreichen Zeugenbefragungen und umfangreichen Analysen ist es gelungen, wesentliche Charakteristika des Tschenglser Baches zu erfassen und seine Murgangtätigkeit besser zu beleuchten. Die Arbeit liefert somit auch allgemeingültige Aufschlüsse darüber, welche Daten eines Wildbacheinzugsgebietes benötigt werden, um die Durchführung von Studien, die auf eine nachhaltige Verminderung des Schadenspotentials von Wildbächen abzielen, zu ermöglichen.

Im ersten Abschnitt wird ein Überblick über den Stand der Wissenschaft in Bezug auf die Murgangforschung gegeben. Der zweite Abschnitt beschreibt das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches. Im dritten Abschnitt schließlich werden die wasserbauliche Modellierung, die wesentlichen Ergebnisse sowie Vorschläge für zu ergreifende Maßnahmen diskutiert.

---

<sup>2</sup> im Folgenden Amt für Wildbachverbauung genannt

## 2. Zur Modellierung von Murgängen

### 2.1 Allgemeine Beschreibung von Murgängen

Bunza (1976, zitiert in VAW, 1992) definiert Murgänge als „eine schnelle, reißende Bewegung (quasiviskoses Fließen) einer breiartigen Suspension aus Wasser, Erde, feinem und groben Schutt bis zur Blockgröße und Baumstämmen in Wildbächen und Murfurchen“. Murgänge weisen mehrere Erscheinungsformen auf, durch die sie von Reinwasserabflüssen bzw. geschiebeführenden Wasserabflüssen unterschieden werden können:

- Murgänge verursachen in der Regel bedeutend größere Geschiebeumsätze als nur geschiebeführende Hochwässer. Bei Strunk (1988) findet sich eine treffende Beschreibung: „Andererseits können es gerade jene starken episodischen Ereignisse (Murgänge) sein, die aufgrund ihrer hohen Intensität in wenigen Stunden mehr bewegen als Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte kontinuierlicher oder auch periodischer geomorphologischer Aktivität“.
- Murgänge weisen sehr hohe Konzentrationen an Geschiebe auf. In der Literatur sind verschiedene Grenzwerte für Feststoffkonzentrationen bei Murgängen zu finden. O'Brien (2001) gibt eine durchschnittliche Volumenkonzentration von 20 – 30 % mit Spitzen bis zu 45 % an. Hübl und Steinwendtner (2000) berichten von beobachteten Murgängen mit Volumenkonzentrationen von 55 – 60 %. Laut Coussot (1996) bewegt sich die Konzentration der Murgänge zwischen 53 und 90 %. Auf diese verschiedenen Angaben wird zu einem späteren Zeitpunkt (Kap. 4.3.1.2) eingegangen.
- Die Maximalabflüsse von Murgängen übertreffen jene von Reinwasser für Einzugsgebiete gleicher Größe bei Weitem. Deshalb sind auch die maximalen Abflusstiefen viel höher. In Kombination mit den großen Mengen von Feststoffen ergibt sich daraus ein sehr hohes Zerstörungspotential der Murgänge.
- Bei Murgängen sind die Feststoffe mehr oder weniger homogen über die Abflusstiefe verteilt. Dabei entsteht eine gleichförmige Matrix, in der Wasser und Feststoffe sich mit etwa der selben Geschwindigkeit fortbewegen. Auffallend ist das Treiben von großen Blöcken an der Oberfläche von Murgängen. Beim normalen Geschiebetrieb wird das Material in Sohlnähe transportiert, wobei die Geschwindigkeit des Wassers etwa 2,5 – mal so hoch ist als jene des Geschiebes (Coussot, 1996).
- Murgänge treten in der Regel selten auf. Im Unterschied zu den Reinwasserabflüssen sind kontinuierliche Messungen, welche die Anwendung der hydrologischen Statistik ermöglichen, nicht möglich. Daraus resultieren die Schwierigkeiten bei der Ermittlung von Murgangereignissen einer bestimmten Wiederkehrperiode.
- Im Unterschied zu Wasser haben Murgänge eine Grenzscherspannung, die überschritten werden muss, damit sie überhaupt in Bewegung kommen. Deshalb gibt es für das Entstehen von Murgängen auch gewisse Mindestneigungen. Die Grenzscherspannung ist dann wiederum dafür verantwortlich, dass Murgänge bei Übergängen vom steilen ins flache Gelände abrupt zum Stillstand kommen und die sogenannten Murgängen bilden. Auch die Ausbildung der Wälle (Levéés) entlang der seitlichen Begrenzung des Abflusses wäre ohne das Vorhandensein der Grenzscherspannung nicht möglich.
- Murgänge sind also durch nicht – newton'sches Fließverhalten gekennzeichnet. Dabei wird in der Literatur eine Reihe von unterschiedlichen Fließgesetzen (z.B. Jan und Shen, 1993)

behandelt, mittels derer versucht wird, die gesamte Bandbreite der verschiedenen Murgangformen abzudecken

Da es in der Natur keine abrupten Übergänge gibt (*natura non facit saltus*<sup>3</sup>), sind natürlich auch Übergangsformen zwischen Murgängen und geschiebeführenden Hochwässern möglich. Dies sind stark sedimentbeladene Abflüsse mit einer Erhöhung der Feststoffkonzentration gegen die Sohle hin, sie werden als hyperkonzentrierte Abflüsse bezeichnet.

## 2.2 Erscheinungsbild der Murgänge

Bei einem typischen Murgang kann man normalerweise drei Teile unterscheiden (s. Abbildung 1): die Murfront<sup>4</sup>, den Murkörper und den Murschwanz.

Die Murfront ist gekennzeichnet durch hohe Abflusstiefen und einen sehr niederen Wassergehalt, manchmal kann man eine beinahe trockene Murfront beobachten. Die Ursachen dafür sind, dass an der Front Wasser in den Untergrund filtriert (Tognacca et al., 2000) und dass sich an der Front die größten Blöcke sammeln. Dies wiederum hängt wahrscheinlich direkt mit dem Ablauf eines Murganges zusammen. Coussot (1996) liefert eine recht einfache Erklärung dafür: große Blöcke können schon aufgrund ihres Durchmessers nicht in unmittelbare Sohlnähe und damit in Zonen geringer Geschwindigkeit absinken, deshalb werden sie mit größerer Geschwindigkeit als das sie umgebende Medium weitertransportiert, bis sie sich schließlich an der Front wiederfinden.

Aufgrund dieser typischen Erscheinungsform von Murgängen ist auch eine klare Trennung zwischen Murfront und Murkörper nicht möglich. Der Murkörper enthält größere Anteile an Wasser und kleinen Steinen, wobei man diesem Teil des Murganges oft auch laminares Fließverhalten zuschreibt.

Oft ist auch ein „Caterpillar – Effekt“ zu beobachten: aufgrund der Trockenheit der Murfront lagern sich grobe Blöcke und Sedimente ab, die vom Murkörper überrollt werden. Am Ende des Murkörpers werden die abgelagerten Feststoffe wieder aus der Sohle erodiert, wobei grobe Blöcke von Neuem bis an die Front gelangen.

Im Murgangschwanz sinkt die Feststoffkonzentration weiter ab. Die größten Partikel konzentrieren sich in Sohlnähe und der Murgang geht oft in einen hyperkonzentrierten Abfluss über.

Ein weiteres typisches Merkmal für Murgänge sind pulsierende Erscheinungen. Dabei wechseln einzelne Murschübe mit dazwischenliegenden Perioden sehr niedriger Wasserführung ab. Als Gründe dafür kommen einerseits temporäre Verklausungen bei Engstellen und der Zufluss von seitlichen Murschüben sowie Hangrutschungen mit Murgangbildung in Frage (VAW, 1992), andererseits besteht auch die Hypothese, dass durch einen Murgang das gesamte System instabil wird und die Disposition zur Bildung von weiteren Murgängen stark ansteigt. Während diese Erscheinungen mit mehreren Murschüben innerhalb einer Stunde<sup>5</sup> vor allem im fernöstlichen Asien, wie in Japan und China (Takahashi, 1991, Li et al., 1983), beobachtet

---

<sup>3</sup> Die Natur macht keine Sprünge, ein durch Darwin bekannt gewordenes Prinzip

<sup>4</sup> Auch Murkopf genannt

<sup>5</sup> Am Jiang-Jia Fluss in China wurden im Juni 1966 126 Murschübe innerhalb von 5 Stunden registriert.

werden, treten in alpinen Gebieten häufiger Murgänge mit einem oder wenigen Schüben (VAW, 1992, Coussot, 1996) auf.

Interessante Beschreibungen von Murgängen finden sich bei Takahashi (1991), Li et al. (1983), Pierson (1980).

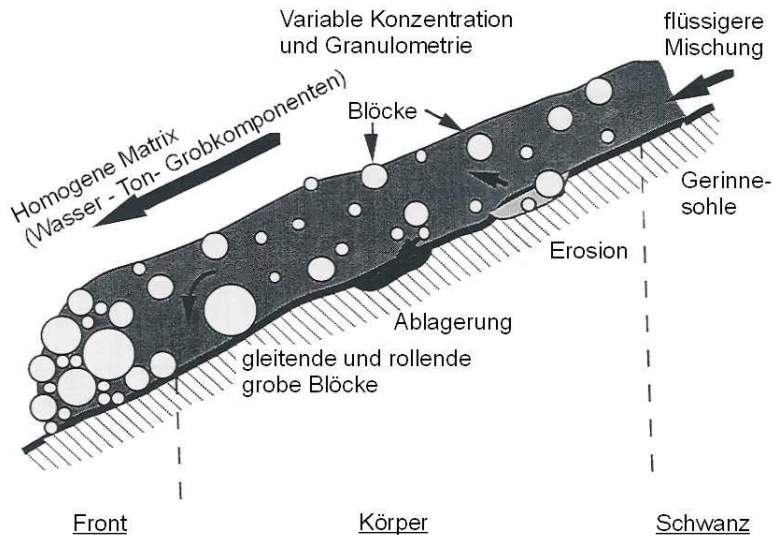


Abbildung 1 - Vereinfachtes Schema des Längensprofils eines Murganges

### 2.3 Entstehung von Murgängen

#### 2.3.1 Bedingungen für die Entstehung von Murgängen

Für das Entstehen von Murgängen müssen prinzipiell zwei Bedingungen erfüllt sein:

1. Verfügbarkeit von Geschiebe,
2. Vorhandensein eines Mindestgefälles.

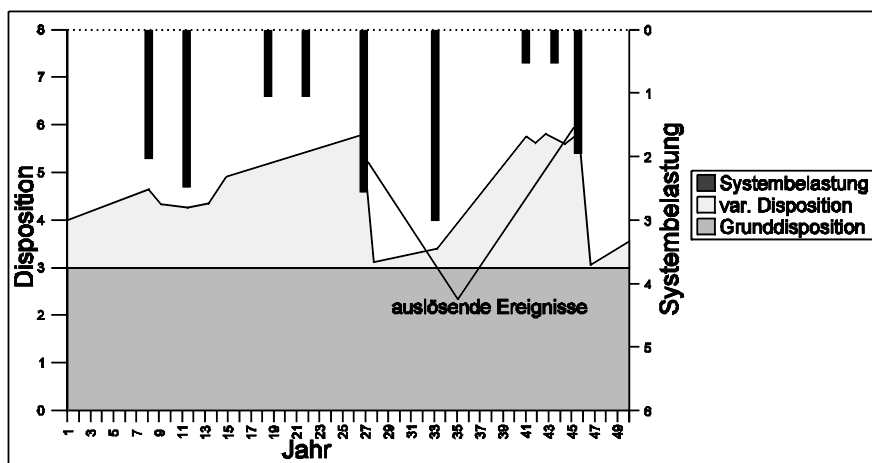


Abbildung 2 - Zusammenhang zwischen Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis

Diese zwei Voraussetzungen bilden die *Grunddisposition* eines Wildbaches für die Entstehung von Murgängen. Sie bleibt über einen längeren Zeitraum konstant.

Neben der Grunddisposition unterscheidet man die *variable Disposition*. Diese beschreibt die kürzerfristige Schwankungen in der Bereitschaft zur Murgangentstehung. Die variable Disposition steigt zum Beispiel mit der zunehmenden Sättigung des Bodens aufgrund kumulativen Niederschlags. Bei Jungschuttwildbächen<sup>6</sup> steigt die variable Disposition mit der Verfügbarkeit an Geschiebe, sie sinkt hingegen, wenn die Feststoffe durch einen Murgang oder ein stark geschiebeführendes Hochwasser ausgeräumt worden sind.

Die Entstehung eines Murganges schließlich wird verursacht durch ein *auslösendes Ereignis*. In den Alpen sind dies praktisch immer hydrologische Ereignisse<sup>7</sup>. Hauptsächlich muss man dabei zwischen kurzen, konvektiven Niederschlägen und langen Regenperioden unterscheiden. Wie auch aus der schematischen Darstellung in Abbildung 2 ersichtlich ist, hängt die erforderliche Intensität des auslösenden Ereignisses meist auch mit der variablen Disposition des Wildbaches zusammen.

### 2.3.2 Typen von Murgängen im Hinblick auf die Auslösung

Im Hinblick auf die Auslösung von Murgängen unterscheidet man drei verschiedene Typen (Takahashi, 1991, Bezzola, 2000, Takahashi, 2000):

1. Murgangentstehung im Gerinne aufgrund Sohlenverflüssigung bzw. progressiver Erosion, verursacht durch eine plötzliche Erhöhung der Wasserzufuhr,
2. Murgangentstehung durch Verflüssigung einer Erdmasse (z.B. Transformation einer Hangrutschung in einen Murgang)
3. Murgangentstehung infolge Versagen eines Dammes (natürlicher oder anthropogener Art).

Um die Ursachen für die Auslösung von Murgängen zu beleuchten, werden verschiedene Ansätze aus der Bodenmechanik bzw. Fluidmechanik verwendet.

Beispielsweise erklärt man eine Murgangentstehung aufgrund einer Hangrutschung damit, dass bei Auftreten von intensiven Regenfällen das spezifische Gewicht des Bodens ansteigt und die effektiven Spannungen aufgrund der Erhöhung des Porenwasserdruckes absinken (Chen, R.H., 2000), wodurch schließlich die Stabilität nicht mehr gegeben ist. Die Mechanismen beim Übergang von der Hangrutschung in den Murgang sind noch nicht genau geklärt und Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten (Klubertanz, G. et al., 2000).

Für Murgänge, die durch progressive Erosion im Gerinne entstehen, werden ähnliche Kriterien wie beim Geschiebetransport verwendet. Die Literatur liefert dafür auch schon quantitativ erfasste Zusammenhänge (Takahashi, 1991, Tognacca, 1999).

---

<sup>6</sup> Bei Jungschuttwildbächen ist nach Stiny (1931) das Geschiebe jünger als der Bach selber, d.h. es wird z.B. durch Verwitterung laufend erneuert.

<sup>7</sup> In anderen Gebieten der Erde können Murgänge beispielsweise auch durch Erdbeben ausgelöst werden.

### 2.3.3 Auslösekriterien von Murgängen

Die Entwicklung von Auslösekriterien von Murgängen hat unter anderem auch zum Ziel, Schwellenwerte festzulegen, mit deren Hilfe die Einrichtung von Frühwarnsystemen für Murgänge möglich ist.

- Niederschlagsbezogene Kriterien:** Für viele Einzugsgebiete wurden Zusammenhänge zwischen Niederschlägen und stattgefundenen Murgangereignissen erforscht. Dabei sind einerseits Schwellenwerte entwickelt worden, welche nur den beim Murgangereignis gefallenen Niederschlag berücksichtigen oder andererseits solche, die eine Kombination aus dem kumulativen Niederschlag vor dem Ereignis (z.B. eine Woche vorher) und der Intensität beim Ereignis selber darstellen. Wie auch aus Abbildung 3 ersichtlich, streuen die entwickelten Kriterien sehr stark. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass niederschlagsbezogenen Auslösekriterien mit großer Vorsicht anzuwenden sind und auf keinen Fall auf Einzugsgebiete mit unbekanntem Zusammenhängen extrapoliert werden dürfen. Selbst für ein und dasselbe Einzugsgebiet ist Vorsicht geboten, denn je nach variabler Disposition (s. Abbildung 2) sind unterschiedliche Niederschlagsintensitäten für die Auslösung von Murgängen nötig.

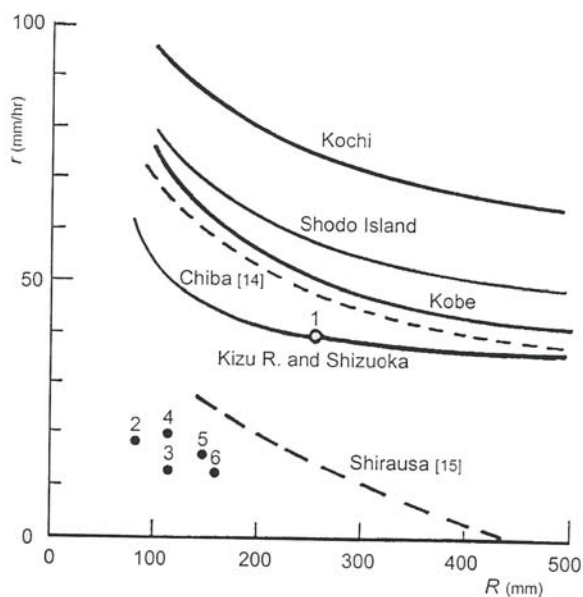


Abbildung 3 - kritische Niederschlagsintensität für die Auslösung von Murgängen als Funktion des kumulativen Niederschlags (durchgezogene Linien: Einzugsgebiete in Japan; Punkte 1 – 6: Beobachtungen in der Schweiz) (aus: Bezzola, 2000)

- Stabilitätsbezogene Kriterien:** Diese Kriterien basieren – ähnlich wie Stabilitätsbetrachtungen bei Hangrutschungen – auf Ansätzen aus der Bodenmechanik. Um anwendbare Gleichungen zu erhalten, müssen viele Vereinfachungen der geotechnischen Zusammenhänge vorgenommen werden. Dadurch spiegeln diese Ansätze das tatsächliche Verhalten nicht wirklich wider, und ihre Praxistauglichkeit muss in Zweifel gezogen werden.
- Abflussbezogene Kriterien:** In Anlehnung an den fluvialen Geschiebetransport, wo Formeln zur Bestimmung des kritischen Abflusses für den Beginn des Geschiebetriebes entwickelt



wurden, existieren in der Literatur (Takahashi, 1991, Tognacca, 1999) Formeln, mit denen der kritische Abfluss für den Beginn eines Murganges bestimmt werden kann.

Diese Ansätze sind bereits mit Erfolg an mehreren Fallbeispielen (Tognacca, 1999) angewandt worden. In Abbildung 4 sind diese Ansätze anhand eines graphischen Beispiels dargestellt.

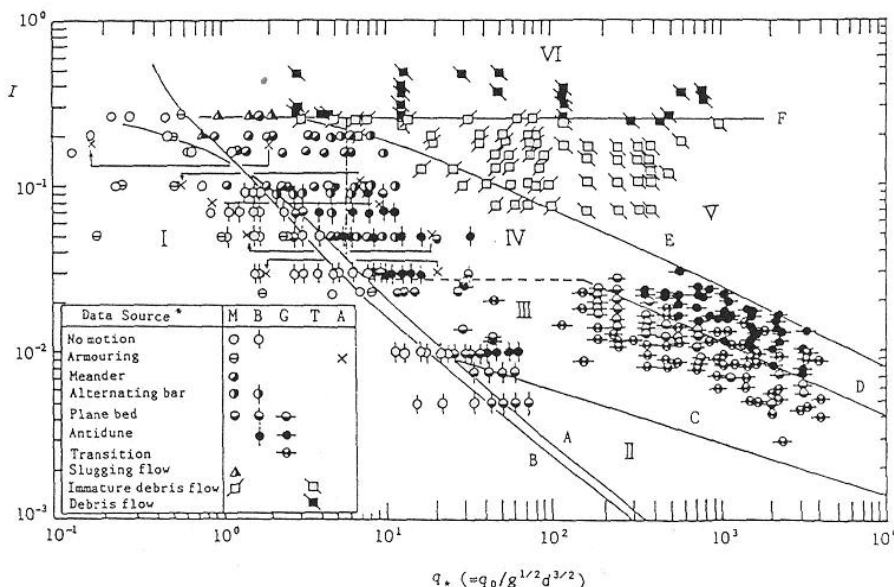


Abbildung 4 - Zusammenhang zwischen verschiedenen Abflussformen, Bettformen und Gefälle in erodierbaren Gerinnen (Datenquelle: M:Mizuyama, B:Bathurst, G:Gilbert, T:Takahashi, A:Ashida)

## 2.4 Rheologie von Murgängen

### 2.4.1 Allgemeines

Die Modellierung von Murgängen bereitet der Forschung ständiges Kopfzerbrechen. Dies hat mehrere Gründe:

- Die Mechanik der Murgänge ist ein noch relativ junges Forschungsgebiet. Während der Reinwasserabfluss seit langer Zeit erforscht wird, ist die Murgangforschung erst in den letzten Jahren intensiviert worden. Man vergleiche nur das Alter der empirischen Formeln von Chézy (1759) oder Strickler (1923) mit jenem der bahnbrechenden Pionierarbeit von Bagnold (1954) in Bezug auf das rheologische Verhalten von Murgangmaterial oder jenem der ersten vollständigen wissenschaftlichen Abhandlung über Murgänge von Takahashi (1991).
- Murgänge sind ein weitaus komplexeres Phänomen als es Reinwasserabflüsse sind. Dies äußert sich beispielsweise darin, dass an derselben Stelle des Gerinnes für denselben Abfluss je nach Art des Murganges sehr stark voneinander abweichende Abflusstiefen, -geschwindigkeiten und –geschwindigkeitsverteilungen möglich sind. Im Vergleich dazu kann man bei Reinwasser für einen Fließquerschnitt – unter gleich bleibenden Randbedingungen – bei einer bestimmten Abflusstiefe immer auf denselben Abfluss schließen, es gibt eine

eindeutige Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss. Die Ursache für diese Komplexität ist darin zu suchen, dass Murgänge ein aus Wasser und Feststoffen bestehendes Zweiphasengemisch darstellen, das im Prinzip bei jedem Murgang wieder eine neue Mischung bildet.

- Murgänge gehören zu den gefährlichsten Naturgefahren auf der Erde. Sie bedrohen Siedlungsbereiche und wichtige Infrastrukturen. Es ist deshalb von großer Wichtigkeit, praxistaugliche und zuverlässige Methoden zu entwickeln, um Murgänge besser beurteilen und entsprechende Maßnahmen treffen zu können.

Davies (1988) beurteilte die Aussichten für einen nützlichen theoretischen Ansatz zur Beurteilung der Murganggefährlichkeit als gering. Heutzutage scheinen die wichtigsten mechanischen Eigenschaften der Murgänge klar zu sein, es sind jedoch berechtigte Zweifel vorhanden, ob das Phänomen Murgang aufgrund seiner Komplexität jemals vollständig erklärbar sein wird (Jan und Shen, 1993).

#### 2.4.2 Rheologische Modelle für das Fließverhalten von Murgängen

Die Fließeigenschaften von Murgängen hängen im Wesentlichen von folgenden Parametern ab:

- Wassergehalt,
- Gehalt an Feinanteilen,
- Größe und Form der am Murgang beteiligten Feststoffe,
- Korngrößenverteilung.

Trotz der Feststoffanteile betrachtet man Murgänge normalerweise als homogenes Liquid, was die Beschreibung ihres Fließverhaltens einerseits vereinfacht und andererseits auch gerechtfertigt ist, da bei Murgängen die Feststoffe mehr oder weniger homogen über den Abflussquerschnitt verteilt sind. Dies erlaubt die Anwendung von Kontinuitätsgleichung und Impulserhaltungssatz gleich wie beim Reinwasserabfluss.

Muren weisen aber im Gegensatz zu Wasser nicht-newton'sches Verhalten auf. Die Impulsübertragung kann auf mehrfachem Wege stattfinden (Jan, 1992 zitiert in Jan und Shen, 1993):

- über die Viskosität des interstitiellen Fluids,
- über die Turbulenz,
- über die Reibung aneinander gleitender Partikel,
- über die Kollision zwischen den einzelnen Körnern.

Ein ideales Fließgesetz müsste imstande sein, all diese Eigenschaften zu berücksichtigen und entsprechend ihrer Bedeutung zu gewichten (Mainali und Rajaratnam, 1991). Ob der Komplexität der Problemstellung haben Forscher mittels vereinfachter Modelle versucht, sich dem Wesen der Murgänge anzunähern. Dabei sind eine Vielzahl von Modellen entstanden (ausführlich beschrieben beispielsweise bei Mainali und Rajaratnam, 1991), von denen im Folgenden die Wichtigsten übersichtsmäßig erläutert werden (aus Jan und Shen, 1993).

- **Plastisches Fließen:** Hier wird die Annahme getroffen, dass Fließen dann beginnt, wenn an einem Punkt der untersuchten Masse das Mohr – Coulomb'sche Bruchkriterium erfüllt ist:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

<i>mit</i>	$\tau$	...	Scherspannung
	$c$	...	Kohäsion
	$\varphi$	...	innerer Reibungswinkel des Materials

Mit dieser Formel wird allerdings keine Aussage über die Kinematik des Fließens gegeben. Das Modell eignet sich zur Beschreibung von langsamen Bodenbewegungen, die Anwendung auf Murgänge ist unsicher.

- **Granulares Fließen<sup>8</sup>:** Dieses Modell basiert auf den Untersuchungen von Bagnold (1954). Er hat den Begriff der dispersiven Scherspannung geprägt, und zwar geht er von der Hypothese aus, dass die groben Partikel in hoher Konzentration vorhanden sind und andauernd Stöße aufeinander ausüben, wodurch die Impulsübertragung stattfindet. Dadurch wird der Fließwiderstand bestimmt, die Viskosität des interstitiellen Fluids ist vernachlässigbar klein. Aus den Untersuchungen von Bagnold ging hervor, dass die Schubspannung proportional zum Quadrat der Scherrate ist:

$$\tau = a_1 \rho_s \lambda^2 d^2 \sin \varphi_d \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 = \alpha \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (2)$$

<i>mit</i>	$a_1$	...	empirische Konstante
	$\rho_s$	...	Dichte der Partikeln
	$\lambda$	...	lineare Konzentration
	$d$	...	Durchmesser der Partikel
	$\varphi_d$	...	dynamischer innerer Reibungsbeiwert
	$\frac{dv}{dy}$	...	Scherrate

Die lineare Konzentration  $\lambda$  drückt das Verhältnis zwischen Korndurchmesser und mittlerer Dispersionsdistanz aus und wird durch folgende Beziehung berechnet:

$$\lambda = \left[ \left( \frac{c^*}{c} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

<i>mit</i>	$c^*$	...	Grenzkonzentration (0,74 für die engste Lagerung von Kugeln gleichen Durchmessers)
	$c$	...	Konzentration

Der Faktor  $a_1$  wird von Bagnold mit 0,042 angegeben. Laut Takahashi liegt dieser Wert zwischen 0,35 und 0,5. Dies offenbart eine Schwäche der Gleichung: der empirische Wert  $a_1$  streut um eine Größenordnung. Dies liegt einerseits darin begründet, dass die turbulente Scherspannung nicht berücksichtigt ist und andererseits, dass bei den Versuchen von Bagnold die Gravitation keine Rolle gespielt hat<sup>9</sup>.

<sup>8</sup> Auch als inertiales Fließen, dilatantes Fließen oder Kollisionsregime bezeichnet

<sup>9</sup> Bagnold hat zwei Koaxialzylinder, zwischen denen das Versuchsmaterial eingelagert war, gegeneinander gedreht.

- **Plastisch – granulares Fließen:** Das granulare Fließen ist bestimmend, wenn die in der Flüssigkeit eingelagerten Partikel genügend große Abstände voneinander besitzen. Bei langsamen Deformationen und hohen Konzentrationen spielt jedoch auch die Gleitreibung zwischen den Körnern eine Rolle. Deshalb wird in der Gleichung für plastisch – granulares Fließen eine Scherspannung miteinbezogen, die überwunden werden muss, damit das Material überhaupt ins Fließen kommt:

$$\tau = \tau_c + \alpha \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (4)$$

*mit*       $\tau_c$       ...      Grenzscherspannung

- **Viskoses Fließen:** Wenn die Partikel sehr kleine Dimensionen besitzen und im Fluid gut verteilt sind, bestimmt die Viskosität des Fluids das Fließverhalten. Die durch Partikelkollision übertragenen Impulse können vernachlässigt werden, da sie vom sie umgebenden Fluid „vernichtet“ werden, bevor es zum nächsten Stoß kommt. Die konstitutive Gleichung ähnelt dabei dem newton'schen Fließgesetz für laminare Strömung:

$$\tau = \mu_m \left( \frac{dv}{dy} \right) \quad (5)$$

*mit*       $\mu_m$       ...      effektive Viskosität

Um viskoses von granulearem Fließverhalten zu unterscheiden, führte Bagnold (1954) folgende – zur Reynoldszahl analoge – dimensionslose Zahl, die heute als Bagnoldzahl bezeichnet wird, ein:

$$N = \frac{\rho_s \sqrt{\lambda} d^2}{\mu_f} \left( \frac{dv}{dy} \right) \quad (6)$$

*mit*       $\mu_f$       ...      dynamische Viskosität des Fluids

Bei  $N > 450$  kann man granulares Fließen annehmen, bei  $N < 40$  ist das Fließverhalten viskos. Zwischen  $\mu_f$  und  $\mu_m$  besteht folgender Zusammenhang:

$$\mu_m = 2.25 \lambda^{1.5} \mu_f \quad (7)$$

Dabei kann  $\mu_f$  als konstant angenommen werden,  $\mu_m$  ist abhängig von der Feststoffkonzentration (Tognacca, 1999), wie auch aus obiger Gleichung hervorgeht ( $\lambda$  ist abhängig von der Konzentration).

- **Viskos – plastisches Fließen:** Die Stoffe, die durch viskos-plastisches Fließen gekennzeichnet sind, haben im Unterschied zum viskosen Fließen eine Grenzscherspannung. Dabei kann diese Grenzscherspannung dem Mohr-Coulomb'schen Bruchkriterium entsprechen (Johnson, 1965, zitiert in Jan und Shen, 1993). Das Fließgesetz entspricht dem bingham'schen Flüssigkeitsmodell:

$$\tau = \tau_c + \mu_b \frac{dv}{dy} \quad (8)$$

*mit*       $\mu_b$       ...      bingham'sche Viskosität

Die Grenzscherspannung  $\tau_c$  und die bingham'sche Viskosität  $\mu_b$  sind stark variabel und hängen neben anderen Eigenschaften vor allem von der Konzentration des Murganges ab. In zahlreichen Experimenten wurde eine exponentielle Abhängigkeit ermittelt.

- **Viskos – plastisch – granular - turbulentes Fließen:** Die bis hierher angeführten Modelle haben den Nachteil, dass sie nur einen Teil der möglichen Schubspannungen berücksichtigen und deshalb jeweils nur auf einen ganz bestimmten Murgangtyp anwendbar sind. O'Brien und Julien (1985) versuchen diese Lücke zu schließen, indem sie ein quadratisches Modell vorschlagen, das die Ansätze von Bingham und Bagnold kombiniert:

$$\tau = \tau_c + \mu_b \frac{dv}{dy} + (\mu_\alpha + \mu_t) \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \tag{9}$$

mit	$\mu_\alpha$	...	dispersiver Parameter (entspricht $\alpha$ in Gleichung 2)
	$\mu_t$	...	turbulenter Parameter (entspricht $\rho_m l^2$ )
	$\rho_m$	...	Dichte der Mischung
	$l$	...	Prandtl'sche Mischweglänge

In dieser Formel werden die Coulomb'sche Scherspannung, die viskose Scherspannung, die granulare Scherspannung und die turbulente Scherspannung berücksichtigt. Mainali und Rajaratnam (1991) stellen diesem Modell ein gutes Zeugnis aus mit der Begründung, es sei physikalisch am besten fundiert. Das Modell ist auf jeden Fall sehr flexibel, ermöglicht es doch die Modellierung eines inertialen Murganges, wenn man die bingham'sche Viskosität und den turbulenten Parameter mit Null ansetzt. Umgekehrt kann man einen viskosen Murgang modellieren, wenn man die Terme  $\mu_c + \mu_t$  mit Null annimmt.

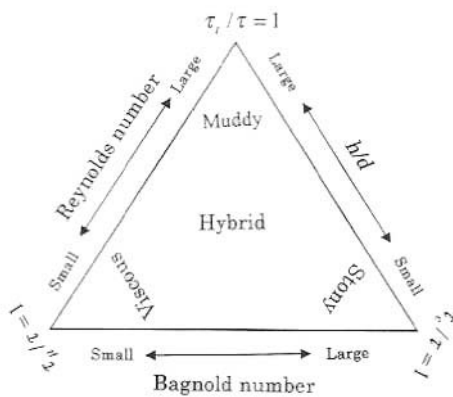


Abbildung 5 - Domänen verschiedener Murgangtypen

Auch Takahashi (2000) stellt ähnliche Überlegungen wie O'Brien und Julien (1985) an, die in Abbildung 5 graphisch dargestellt sind. Bei einer großen Bagnoldnummer und einem kleinen Verhältnis von  $h/d$ , d.h. wenn die Abflusstiefe im Vergleich zum mittleren Durchmesser etwa  $<20$  ist, sind die dispersiven Scherspannungen dominant und man hat es mit einem steinigen (*stony*) Murgang zu tun, der im Wesentlichen dem granularen Murgangtyp entspricht. Ein viskoser Murgang tritt dann auf, wenn die Bagnoldnummer klein, d.h. die Viskosität groß ist, eine kleine Reynoldsnummer garantiert laminares Fließen des Murganges. Wenn die Reynoldsnummer sehr groß ist und die Konzentration klein,

überwiegen die turbulenten Anteile und man erhält den sogenannten schlammigen (*muddy*) Murgang. Dazwischen kann es alle möglichen Kombinationen geben, und man spricht von einem hybriden Murgang. Dieser entspricht im Wesentlichen auch dem Modell von O'Brien und Julien.

- **Pseudoplastisches Fließen:** Mehrere Forscher (z.B. Coussot, 1996) wenden auch Fließgesetze an, die dem Fluid ein schubverdünnendes Verhalten zuweisen. Ein Beispiel ist das Modell von Herschel – Bulkley (Coussot, 1996):

$$\tau = \tau_c + K \left( \frac{dv}{dy} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{10}$$

mit K ... rheologischer Parameter

- **Turbulentes Fließen:** in der Fachwelt gibt es auch Ansätze, das Fließverhalten von Murgängen als turbulent zu betrachten (Weber und Rickenmann, 2000). Damit sind die empirischen Fließgesetze von Strickler oder Chézy anwendbar, wobei Korrekturfaktoren eingeführt werden, welche die Konzentration des Gemisches berücksichtigen.
- **Flüssigkeit mit ähnlichen Eigenschaften wie Lawinen:** vor allem in der Schweiz sind auch Modelle gebräuchlich, mit denen normalerweise das Fließverhalten von Lawinen beschrieben wird (Rickenmann, 1987). Diese Modelle erlauben die Bestimmung der Geschwindigkeit entlang des Fließweges und die Abschätzung der Reichweite. Dabei wird angenommen, dass der Fließwiderstand vor allem durch zwei Komponenten bestimmt wird: durch die Korn-zu-Kornreibung und durch die Turbulenz. Zur Zeit werden diese Modelle auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft (Genolet, 2002).

Als Zusammenfassung sind in Abbildung 6 sind die wichtigsten Fließgesetze graphisch dargestellt.

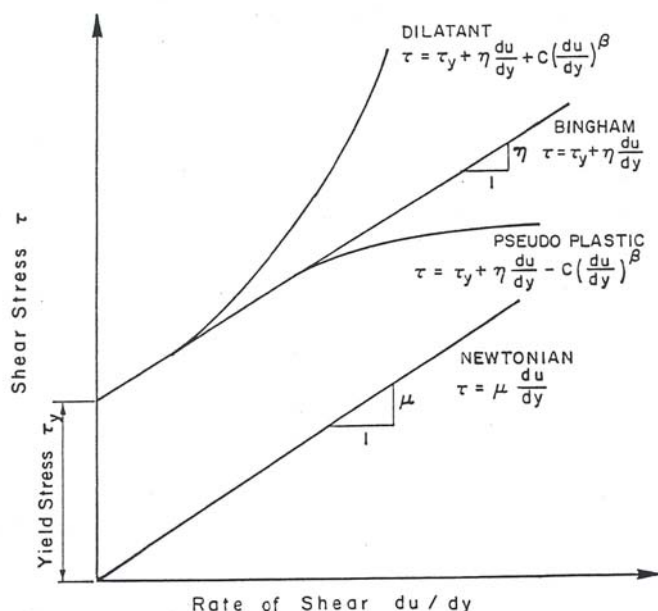


Abbildung 6 - Darstellung der wichtigsten Fließgesetze (aus: O'Brien, 2000)

**2.4.3 Geschwindigkeitsprofile von Murgängen**

Die im obigen Kapitel erläuterten Fließgesetze bilden die Grundlage für die Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung der Strömungen sowie ihrer mittleren Geschwindigkeit. Unter der Annahme einer linear über die Abflusstiefe verlaufenden Schubspannung ( $\tau = \rho ghJ$ ) können die konstitutiven Gleichungen über die Abflusstiefe integriert werden und man erhält die Geschwindigkeitsverteilung. Integriert man nun die Geschwindigkeitsverteilung über die Abflusstiefe und dividiert durch diese, erhält man schließlich die mittlere Geschwindigkeit. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Gleichungen zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit für verschiedene Fließgesetze.

Die vorhandene Fülle an Geschwindigkeitsgesetzen reicht von einfachen bis zu sehr komplexen Modellen. Die große Schwierigkeit bei der Untersuchung von Murgängen ist die Wahl des am besten geeigneten Modells („Which model do I choose?“ Mainali und Rajaratnam, 1991). Während einfache Modelle innerhalb einer engen Bandbreite zuverlässige Aussagen liefern, sind hochtheoretische Modelle für den praktischen Gebrauch meist zu schwerfällig.

Gemeinsam ist allen Gesetzen, dass die mittlere Fließgeschwindigkeit abhängig ist vom Gefälle, von der Abflusstiefe und von einem Faktor, der den Fließwiderstand bzw. die Rauigkeit beschreibt. Erwähnenswert ist auf jeden Fall, dass die Exponenten vor allem für die Abflusstiefe stark variieren. Bei den turbulenten Gleichungen ist die Fließgeschwindigkeit eine Funktion von  $h^{<1$ , bei den granularen Ansätzen von  $h^{1.5}$ , bei den viskosen von  $h^2$  und beim Ansatz von Herschel – Bulkley schließlich ist die Fließgeschwindigkeit von  $h^{4.33}$  abhängig.

Fließverhalten	Quelle	Gleichung
Granulares Fließen	Jan und Shen (1993)	$v = \frac{2}{5} \sqrt{\frac{\rho_m g J}{\alpha}} h^{1.5}$
Granular – plastisches Fließen	Jan und Shen (1993)	$v = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\rho_m g J}{\alpha}} H^{1.5} \left(1 - \frac{2H}{5h}\right)$
Viskoses Fließen	Jan und Shen (1993)	$v = \frac{1}{3} \frac{\rho_m g J h^2}{\mu_m}$
Plastisch - viskoses Fließen	Jan und Shen (1993)	$v = \frac{\rho_m g J h^2}{\mu_m} \left(\frac{1}{2} - \frac{1H}{6h}\right)$
Herschel – Bulkley Ansatz	Coussot (1996)	$v = \left(\frac{\tau_c}{K}\right)^3 h \left[\frac{1}{A} \left(\frac{\rho g h J}{\tau_c} - 1\right)\right]^{3.33}$
Turbulente Strömung (Strickler)	Rickenmann (2000)	$v = k_{St} h^{0.67} J^{0.5}$
Turbulente Strömung (Chézy)	Rickenmann (2000)	$v = Ch^{0.5} J^{0.5}$
Modifizierte turbulente Strömung	Rickenmann (2000)	$v = 17.03 h^{0.5} J^{0.5} \left(1 - \frac{c}{c^*}\right)^{0.42}$

Tabelle 1 - Gleichungen zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit für verschiedenes rheologisches Verhalten

<i>mit</i>	J	...	Neigung des Gerinnes ( $\sim \sin\theta$ )
	H	...	Abflusstiefe, bei der die lineare Schubspannung der Grenzscherspannung entspricht
	A	...	geometrischer Korrekturfaktor
	$k_{St}$	...	Stricklerbeiwert
	C	...	Chézybeiwert

## 2.5 Empirische Ansätze

Wie die eben dargelegten Ausführungen zeigen, ist die Modellierung von Murgängen sehr komplex. Selbst bei Vorhandensein von sehr guten Felddaten sind der numerische Modellierung von Murgängen immer noch Grenzen gesetzt (Rickenmann, 1999).

Empirische Formeln, die anhand von stattgefundenen Murereignissen hergeleitet wurden, spielen deshalb weiterhin eine wichtige Rolle. In fast allen Ländern, in den die Murgangforschung einen hohen Stellenwert einnimmt, sind empirische Formeln zur Ermittlung der wesentlichen Murganggrößen entwickelt worden. Rickenmann (1999) hat die wichtigsten zusammengefasst. In Kombination mit Felderhebungen und Ereignisdokumentationen lassen sich durchaus plausible Resultate erzielen. Die Palette der zu ermittelnden Größen reicht dabei von der Feststofffracht über den maximalen Murgangabfluss, maximale Abflussgeschwindigkeiten und -querschnitte bis zu einer maximalen Reichweite und Auslaufdistanz auf dem Murkegel.



### 3. Der Tschenglser Bach

#### 3.1 Das Einzugsgebiet

##### 3.1.1 Morphologische und geologische Beschreibung des Einzugsgebietes

Der Tschenglser Bach ist ein rechter Zufluss der Etsch, dem größten Fluss Südtirols. Das Einzugsgebiet hat eine Größe von 10.63 km<sup>2</sup>. Die höchste Erhebung ist die Tschenglser Hochwand mit 3375 m, der tiefste Punkt (Mündung in die Etsch) befindet sich auf einer Höhe von 875 m. Der Bach überwindet auf einer Länge von 7100 m einen Höhenunterschied von 2380 m, was einem mittleren Gefälle von 34 % entspricht.

Das Einzugsgebiet hat eine sehr geringe Vergletscherung aufzuweisen. Der einzige Gletscher ist der Tschenglser Ferner mit einer Fläche von etwa 22 ha. Er befindet sich eingebettet zwischen Schafberg und der Erhebung des Taitseroi, den östlich der Tschenglser Hochwand gelegenen Berggipfeln.

In seinem Längsprofil lässt sich der Tschenglser Bach in mehrere „homogene“ Abschnitte einteilen:

Abschnitt	Höhe [m]	I <sub>mittl.</sub> [%]	Kurzbeschreibung
1	3375 – 2500	100	Sehr steil, felsig, Entladung von Gewitterzellen, hohe Abflussbereitschaft
2	2500 – 1850	38	Geschiebeherde, kesselförmig, mehrere Gerinne, hohes Feststoffpotential
3	1850 – 1750	100	Wasserfälle, Felskante, am Fuß Zusammenfluss der verschiedenen Gerinne
4	1750 – 1300	25	Transportstrecke, zum Großteil mittels Sperren stabilisiert und an die linke Talflanke gedrückt, linke Talflanke felsig, rechtes Ufer im Lockermaterial, verläuft bis zum Geschieberückhaltesbecken „Kohlstattl“, wo sich das Gerinne stark aufweitet und das Gefälle erheblich vermindert wird
5	1300 – 1000	30	Schluchtstrecke, felsig, verläuft bis zur Geschieberückhaltesperre „Ferial“
6	1000 – 940	12	Dorfbereich (unterhalb der Geschieberückhaltesperre), geradlinig, stark verbaut (ausgepflastertes Trapezprofil mit „Vorland“ und Schutzmauern), mit zwei befahrbaren Brücken und einer Fußgängerbrücke
7	940 – 875	6	Ablagerungszone, Auenwald, wenig verbaut

Tabelle 2 - Abschnitte des Tschenglser Baches

Im den Anhangteilen A1 und A2 sind die Eckdaten des Einzugsgebietes ausführlich dargestellt. Die wichtigsten Teileinzugsgebiete haben eine fortlaufende Nummerierung erhalten, deren Untereinzugsgebieten wurde ein Index a,b,... zugeteilt.

Wie auch aus Tabelle 2 ersichtlich ist, kann man erst unterhalb der Wasserfälle von einem Hauptgerinne sprechen, oberhalb davon existieren mehrere kleinere Gerinne gleicher Ordnung.

Das Hauptgerinne des Tschenglser Baches fließt fast genau in Süd – Nordrichtung. Die Form des Einzugsgebietes kann mit einer Birne verglichen werden, wobei die Mündung des Baches am Stengelansatz liegt. Der obere Teil des Einzugsgebietes ist kesselähnlich und wird von hohen Bergen umrahmt. Im Mittellauf des Tschenglser Baches ist die Breite des Einzugsgebietes stark reduziert, wobei sich zu beiden Seiten des Bachlaufes sehr steile Talflanken emporziehen. Im Unterlauf schließlich entspricht die Breite des Einzugsgebietes fast nur mehr der Gerinnebreite.

Der Tschenglser Bach ist ein typischer alpiner Wildbach. Im oberen Bereich des Einzugsgebietes (Abschnitte 1 und 2 laut Tabelle 2) findet die Geschiebeaufbereitung, –lieferung und –mobilisierung statt, im mittleren Bereich (Abschnitte 3 – 5) ist der Transport des Geschiebes (fluvial oder durch Murgänge) der maßgebende Prozess und auf dem Murkegel (Abschnitte 6 und 7) lagert sich das Material wieder ab.

Das starke Gefälle und das große Volumen an verfügbarem Feststoffpotential im oberen Einzugsgebiet bilden die Grundvoraussetzungen zu einer hohen Grunddisposition des Tschenglser Baches für Murgänge. Gewitterzellen, die sich regelmäßig an der steil aufragenden Tschenglser Hochwand oder am Taitscheroi entladen und innerhalb kürzester Zeit hohe Abflüsse erzeugen, begünstigen diese Disposition zusätzlich.

Die Gerinne oberhalb der Wasserfälle haben sich zum Teil tief in die Geschiebeherde eingegraben und geben ein deutliches Zeugnis der regen Murgangaktivität des Tschenglser Baches. Es handelt sich dabei hauptsächlich um die Gerinne 6 und 8c. Es sind dort auch eine Vielzahl von Ablagerungen kleinerer Murgänge zu beobachten, die bereits oberhalb der Wasserfälle zum Erliegen gekommen sind.

Das Gerinne 8f weist zwar keine Murgangaktivität auf, hat aber ein relativ großes Einzugsgebiet (2,13 km<sup>2</sup>), erhöht damit im Hochwasserfall die Abflüsse deutlich und trägt deshalb zur Geschiebetransportkapazität des Tschenglser Baches wesentlich bei.

Geologisch gesehen befindet sich das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches im Großraum der Vinschgauer Schieferzone. Vorwiegend sind Glimmerschiefer und Gneise vorhanden. Im oberen Teil des Einzugsgebietes trifft man zum Teil auf Amphibolit, einem aus Basalt entstandenen metamorphen Gestein und Augengneis. Im Teileinzugsgebiet 6 befindet sich eine geologische Störzone, die Kataklastitgesteine enthält.

Die Wasserfälle bilden eine Trennungslinie zwischen dem oberen Teil des Einzugsgebietes und dem Mittel – und Unterteil. Man kann annehmen, dass nach dem Rückzug der Gletscher der Talboden des Mittel- und Unterteiles bis an die Oberkante der Wasserfälle heranreichte. Die Nebengerinne aus den Teileinzugsgebieten 6 – 8 flossen vermutlich über diese Kante hinaus und erst weiter draußen im Tal zusammen. Der parallel zum Hauptgerinne des Tschenglser Baches verlaufende untere Teil des Gerinnes aus Einzugsgebiet 3 könnte dem ehemaligen Unterlauf des Nebengerinnes 6 entsprechen. Heute überwinden die Wasserfälle einen Höhenunterschied von etwa 100 m. Der Tschenglser Bach hat also über die Jahre hinweg

durch rückschreitende Erosion von der Talebene des Vinschgaus bis zu den Wasserfällen ein tiefes Tal geformt. Diese stark erosive Tätigkeit ist auf mehrere Bedingungen zurückzuführen:

- auf das hohe Gefälle<sup>10</sup>,
- auf die Anwesenheit von mächtigen Lockermaterialschichten,
- auf die relativ starke Wasserführung, bedingt durch das große obere Einzugsgebiet.

Der Felsriegel, über den die Wasserfälle stürzen, wirkt wie ein Fixpunkt im Einzugsgebiet. Demnach kann man den Kessel darüber als ein Art Geschieberückhaltebecken bezeichnen, aus dem sich bei gegebenen Voraussetzungen die Murgänge lösen.

### 3.1.2 Kurzbeschreibung der Geschiebeherde

Der Tschenglsler Bach wird, wie bereits erwähnt, hauptsächlich aus dem Gebiet oberhalb der Wasserfälle mit Feststoffen versorgt. Die wichtigsten Geschiebeherde sind dabei folgende (siehe auch Anhang A1.3):

- Im Kessel oberhalb der Wasserfälle erstreckt sich über Teile der Teileinzugsgebiete 7, 8a, 8b, 8c und 8d ein ausgedehnter Altschuttherd, der durch geschiebeführende Hochwässer und Murgänge aufgebaut wurde, also aus Wildbachmaterial besteht, aus dem die Feinanteile weitgehend ausgewaschen sind. Dies zeigt sich unter anderem darin, dass bei geringer Wasserführung das Wasser in die Sohle infiltriert, unterirdisch weiterfließt und weiter unterhalb wieder zu Tage tritt. Der Schuttfächer liegt auf einer Höhe zwischen 2450 und 1850 m, seine Fläche beträgt etwa 45 ha.
- Über Teile der Teileinzugsgebiete 6 und 7 dehnt sich ein Moränenfeld aus, das sich in Gesteinsaufbau und Vegetation deutlich von dem westlich davon gelegenen, eben beschriebenen Schuttfächer, unterscheidet. Das Moränenmaterial besitzt mehr Feinanteile. Es ist auch deutlich erkennbar, dass die Moräne eine hohe Festigkeit besitzt und deshalb schwer mobilisierbar ist.
- Die Teileinzugsgebiete 6b, 6c, 6d liegen in der schon erwähnten geologischen Störzone. Dort wird neben vorhandenem Altschutt durch Verwitterung laufend transportfähiges Material nachgebildet. Dieser Geschiebeherd hat eine Fläche von ca. 30 ha.
- Direkt an der Zunge des Tschenglsler Ferners befindet sich ein versteckter Geschiebeherd mit einer Fläche von ca. 5 ha.
- Im Teileinzugsgebiet 5 liegt ein weiterer kleiner Geschiebeherd mit einer Fläche von knapp unter 1 ha.

Den beiden letztgenannten Feststoffquellen ist eine eher untergeordnete Bedeutung beizumessen. Nichtsdestotrotz ist zu bedenken, dass etwa das Feststoffpotential unterhalb des Gletschers bei einem Rückzug desselben um ein Vielfaches anwachsen könnte.

Entlang der Fließstrecke unterhalb der Wasserfälle kann es weitere diffuse Einträge geben. Jedoch fallen auch diese im Vergleich zu den mächtigen Feststofffrachten, die im oberen Einzugsgebiet mobilisiert werden können, kaum ins Gewicht. Überdies ist der Abschnitt

---

<sup>10</sup> Manche Dorfbewohner erheben den Anspruch auf den Rekord, dass der Tschenglsler Bach das größte mittlere Gefälle eines Wildbaches in den Alpen aufweist, also das höchste Verhältnis zwischen überwundenem Höhenunterschied und Fließlänge.

unterhalb der Wasserfälle mit Sperrern verbaut, sodass ein Großteil des möglichen Materialeintrags verhindert wird.

### 3.1.3 Hydrologische und meteorologische Rahmenbedingungen

Der Vinschgau liegt südlich des Alpenhauptkammes im inneralpinen Bereich (s. Anhang A1.1). Das Tal verläuft vom Reschenpass bis nach Prad<sup>11</sup> in Nord – Süd – Richtung. Dort macht es einen Bogen von fast 90°. Von Prad bis zu einem Übergang ins Etschtal an der Töll<sup>12</sup> erstreckt es sich in West – Ost – Richtung.

Das Tal ist von hohen Gebirgszügen eingeschlossen: im Norden von den Öztaler Alpen und im Süden von der Ortlergruppe, der auch das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches angehört. Aus diesem Grund ist der Vinschgau ein sehr niederschlagsarmes Tal. Bei Tiefdruckgebieten, deren Ursprung im Atlantik liegt, fällt der Großteil des Niederschlags nördlich des Alpenhauptkammes. Tiefdruckgebiete aus dem Süden („Genuatiefs“) bringen den Niederschlag bis an die Alpensüdseite, das Dorf Sulden<sup>13</sup> bekommt davon noch am meisten ab. Der mittlere Jahresniederschlag in der Talebene des Vinschgaus beträgt nur etwa 500 mm.

Diese niedere Jahresniederschlagssumme lässt aber nicht auf die Intensität der Starkniederschläge schließen. Wie auch Niederschlagsmessungen aus dem Wallis, das ähnliche klimatische Randbedingungen aufweist, zeigen, können Starkniederschläge ebenso heftig ablaufen wie in Gebieten mit einem höheren Jahresniederschlag. Das Ausmaß der Starkniederschläge hängt vielmehr von kleinräumigen meteorologischen Bedingungen ab.

Starkniederschläge sind meist konvektiver Art, d.h. sie werden durch eine Umlagerung von feuchten, labil geschichteten Luftmassen verursacht (Maniak, 1997). Am Boden aufgeheizte Luftmassen steigen mit hoher Geschwindigkeit ( $v \sim 10$  m/s) in die Höhe. Die sich bildenden Regentropfen werden durch die von unten nachströmende Luft in der Atmosphäre gehalten, bis sie ein relativ großes Gewicht erreicht haben und schließlich als starke Schauer mit hoher Intensität zu Boden fallen. Die Gewitterzellen haben einen Durchmesser von etwa 5 – 7 km. Darin wiederum gibt es intern fluktuierende Schauerzellen mit besonders hoher Intensität (Durchmesser etwa 1 km), die nicht länger als 5 Minuten aktiv sind, wieder schließen und dann von Neuem an einer anderen Stelle innerhalb der Gewitterzelle wieder auftauchen. Konvektive Niederschläge sind normalerweise von sehr kurzer Dauer (10 – 20 min, max. 100 min).

Das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches ist prädestiniert für Niederschläge konvektiver Art. Bei starker Sonneneinstrahlung kann sich die Luft im Talboden stark aufheizen und eine große Menge an Wasserdampf aufnehmen. Durch das enge Tal des Tschenglser Baches steigt sie sehr schnell in die Höhe. Der Kessel oberhalb der Wasserfälle wirkt dabei wie eine Art Staubsauger. Von dort kann die Luft noch weiter ansteigen. Schließlich entlädt sie sich an den Felswänden in Form von sehr intensiven, kurzen Niederschlägen. Es kann auch vorkommen, dass die Lufttemperatur in der Höhe, etwa bei der Tschenglser Hochwand, unterhalb der Nullgradgrenze liegt. Dadurch können sich die Regentropfen an Eiskristalle anlagern und schließlich als Hagel zu Boden fallen.

---

<sup>11</sup> Nachbardorf westlich von Tschengls

<sup>12</sup> in der Nähe von Meran

<sup>13</sup> südlich des Einzugsgebietes des Tschenglser Baches gelegen, an der Rückseite der Tschenglser Hochwand

Hat sich ein Gewitter entladen, ist die thermische Energie vorerst aufgebraucht. Deshalb muss wieder einige Zeit bis zum nächsten Gewitter verstreichen.

## 3.2 Dokumentation der Murereignisse

### 3.2.1 Übersicht und Einstufung des Tschenglser Baches

Anhand der bisher dargelegten Ausführungen wird die rege Murtätigkeit des Tschenglser Baches verständlich. Schriftliche Quellen reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück.

Jahr	Kurzbeschreibung des Ereignisses	Quelle	Vermutete Ereignisgröße
1719	Ausbruch und Übermuring in Tschengls	1,2	
1768	Ausbruch und Übermuring in Tschengls	1,2	
1784	Ausbruch und Übermuring in Tschengls	1,2	
1850	Am 18. Juni kam es im ganzen Vinschgau aufgrund eines Hochwassers zu Murabgängen und Überschwemmungen, unter anderem auch in Tschengls	2	
1865	Am 10. April: Murabgang in Tschengls und anderen Orten des Vinschgaus (Schleis, Überschwemmung in Laatsch)	2	
1868	Am 23. Juli: nach 5 gewittrigen Tagen Murabgang in Tschengls und anderen Orten des Vinschgaus (Glurns, Suld, Trafoi, Kastelbell, Goldrain, Schlanders)	2	
1887	Am 8. September: Murabgang in Tschengls. Als Ursache wird die durch den Dorfbrand 1885 verzögerte Wildbachverbauung genannt. Die Archen (Schutzmauern) wurden auf 80 m Länge zerstört, das Schul- und Mesnerhaus wurden beschädigt	1,2	Groß
1889	Murabgang mit teilweiser Zerstörung der Schutzbauten	1	Mittel
1902	Murabgang mit teilweiser Zerstörung der Schutzbauten	1	Mittel
1911	Murabgang mit großen Schäden in den Wiesen, die Verbauung hielt stand	1	Mittel
1929	Murabgang mit Zerstörung beider Dorfbrücken	1	Groß
1931	Murabgang	1	
1933	Murabgang mit neuerlicher Zerstörung aller Brücken	1	Groß
1948	Murabgang mit Zerstörung aller Brücken	1	
1956	Am 21. August Hochwasser (vermutlich mit Murgang)	3	Mittel

	mit Beschädigung der Ufermauern im Dorfbereich und Bruch des Uferschutzes unterhalb des Dorfes		
1971	Am 28. August Murabgang mit Verklauung an der oberen Brücke und darauffolgender Übermurgung zu beiden Seiten des Baches. Geschätzter Maximalabfluss: 80 m <sup>3</sup> /s	1,3,4	Groß
1999	Am 16. August Murabgang, bei dem der Maximalabfluss an den oberen zwei Brücken anschluss, sie jedoch nicht zerstörte. Der Murgang lagert sich im Auenwald auf einer Fläche von etwa 13 ha ab. Die umfangreichen Verbauungen haben wahrscheinlich Schlimmeres verhindert.	4	Groß
1999	Am 20. September Murabgang, der nie über die Künette anstieg	4	Mittel

Tabelle 3 - Geschichte der Murgänge am Tschenglsler Bach (ab 18. Jh.)

In Tabelle 3 werden die Murgänge am Tschenglsler Bach, welche das Dorf erreicht haben, dargestellt. In Bezug auf die erwähnten Verbauungen sei auf die Ausführungen in Kapitel 3.3 verwiesen. Es konnte auf folgende Quellen zurückgegriffen werden:

1. Aufzeichnungen vom Tschenglsler Dorfchronisten Herbert Raffener (1990),
2. Naturchronik von Tirol (Fliri, 1998),
3. Technische Berichte von Projekten des Amtes für Wildbachverbauung,
4. verschiedene Zeugenaussagen.

Wenn man annimmt, dass die überlieferten Ereignisse vollständig sind, hat es in den letzten 280 Jahren (1719 – 1999) 18 Murgänge gegeben, die das Dorf erreicht haben. Dies entspräche im Durchschnitt einem Murgang alle 16 Jahre. Betrachtet man nur den Zeitraum von 1850 bis 1999, so stellt man 15 Ereignisse fest, was einem Murabgang alle 10 Jahre entspricht.

Murgänge am Tschenglsler Bach haben hohe Sachschäden verursacht. Menschenleben waren glücklicherweise – sofern die aufgezeichneten Ereignisse zuverlässig sind – in den letzten 300 Jahren keine zu beklagen.

In bereits durchgeführten Studien wurden die Wildbäche in Bezug auf das zeitliche Auftreten der Murgänge in mehrere Typen unterteilt (z.B. Zimmermann et al., 1997):

1. Wildbäche mit einer ziemlich regelmäßigen Murgangaktivität,
2. Wildbäche, die kurze Perioden hoher Aktivität zeigen und dann wiederum lange Perioden mit niedriger bzw. keiner Aktivität,
3. Wildbäche, in denen die Murgänge unregelmäßig auftreten,
4. Wildbäche mit Einzelereignisse ohne historische Parallelen.

Jungschuttwildbäche gehören vor allem der Gruppe 1 an. Dort treten Murgänge immer dann auf, wenn eine bestimmte Menge an neu gebildetem Geschiebe vorhanden ist. Die Murgangaktivität entspricht somit der Verwitterungsaktivität, die normalerweise ein über die Zeit

relativ invariantes Verhalten aufweist. Die Variabilität der Feststofffracht ist eher klein, sehr große Ereignisse treten kaum auf.

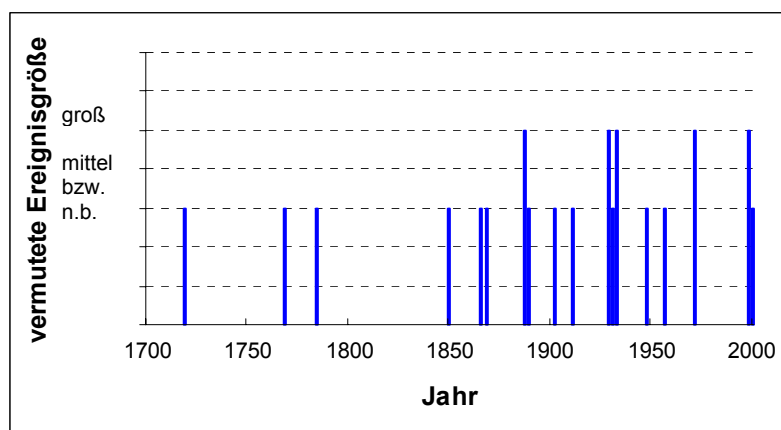


Abbildung 7 - Ereignisgeschichte der Murgänge am Tschenglser Bach

Gruppe 2 tritt hauptsächlich in geologisch schwachen Gesteinsformationen auf, wo ein Murgang das gesamte Bachsystem destabilisiert. Für das Abfließen weiterer Ereignisse werden nur mehr schwache Auslöseintensitäten benötigt. Nach dem Ausräumen des gesamten Lockermaterials tritt normalerweise wieder eine lange Ruhephase ein.

Wildbäche der Gruppe 3 beziehen die Feststofffracht hauptsächlich aus den oberen Einzugsgebietsbereichen. Die Ereignisgrößen können stark variieren. Das Auftreten von Murgängen der Gruppe 3 hängt stark mit den vorherrschenden hydrologischen Bedingungen (Vorregen, auslösende Niederschlagsereignisse) zusammen.

Eine Murgangaktivität, die der Gruppe 4 entspricht, bildet eher die Ausnahme und ist in den Alpen selten anzutreffen. Es können dies beispielsweise Gebiete sein, wo Murgänge zwar vorkommen, aber nur sehr große Ereignisse Siedlungsbereiche erreichen und auch nur diese Ereignisse registriert werden.

Der Tschenglser Bach kann aufgrund seiner Geschiebevorkommen und seiner Ereignisgeschichte den Wildbächen mit unregelmäßiger Aktivität (Gruppe 3) zugeordnet werden. Man kann aber beobachten (s. Abbildung 7), dass nach einem größeren Murgang häufig kleinere folgen (z.B. nach den Ereignissen in den Jahren 1865, 1887, 1929, 1999). Deshalb ist davon auszugehen, dass bei Murgängen am Tschenglser Bach die Bereiche, aus denen der Großteil der Feststofffracht stammt, destabilisiert werden. Nachfolgende Ereignisse, eventuell auch Murgänge kleineren Ausmaßes, die das Dorf nicht erreichen, treten auch bei weniger intensiven auslösenden Faktoren ein.

### 3.2.2 Zeugenaussagen

Im Zuge der vorliegenden Arbeit wurden mehrere Zeugen befragt, welche die Murgänge von 1971 und 1999 miterlebt haben. Deren Aussagen werden im Folgenden dargestellt. Dabei ist zu bemerken, dass die Ausführungen natürlich subjektivem Empfinden unterliegen und deshalb nicht als die absolute Wahrheit angesehen werden dürfen. Trotzdem liefern Zeugenaussagen sehr wertvolle Hinweise auf das Abfließen von Murgängen. Modellrechnungen erhalten eine ungleich zuverlässigere Basis, werden sie von Zeugenaussagen gestützt.

- **Aussagen von Franz Andres** (Viehhirte auf der oberen Alm):
  - Als Faustregel für eine Murgangentstehung gilt, dass es an der Tschenglsler Hochwand für ca. 15 Minuten hageln muss.
  - 1999 lösten sich im Geschiebefächer oberhalb der Wasserfälle 4 Muren, 2 davon erreichten das Dorf. Die erste Mure ging in der rechten Rinne (Gerinne 6, im Volksmund „Fidegger“ genannt) ab.
  - Die Muren 3 und 4, die bis ins Dorf gelangten, lösten sich im Gerinne 8c (im Volksmund „Fernerbach“ genannt). Dabei wurde der heute sichtbare Querschnitt nahezu vollständig durch die tiefererosive Tätigkeit der Mure gebildet. Die Geschwindigkeit der Muren im Geschiebefächer war sehr hoch (schneller als ein Moped fahren kann, etwa 50 km/h).
  - Die Fließzeit der Murgänge vom Entstehungsgebiet bis ins Dorf beträgt etwa 30 Minuten.
  - 1971 war ein großes Ereignis, auch 1993 gab es einen Murabgang (erreichte wahrscheinlich nicht das Dorf).
- **Aussagen von Raimund Prugger** (Ortsansässiger) **und Markus Hauser** (politischer Vertreter des Ortes):
  - Die zwei Muren des Jahres 1999 gingen am 16/08 und am 20/09 ab. Das Becken hinter der Geschieberückhaltesperre 1 „Fernil“<sup>14</sup>, unmittelbar oberhalb des Dorfes gelegen, war innerhalb von 2 – 3 Minuten vollständig gefüllt. Sogar große Gesteinsbrocken wurden über die Sperrenkrone transportiert. Der Abflussquerschnitt im Dorf war im Stande, die Muren abzuführen. Der erste Murgang schlug jedoch an den oberen zwei Brücken<sup>15</sup> an, an der unteren Brücke<sup>16</sup> stieg die maximale Abflusstiefe bis auf etwa 1 Meter unterhalb der Brückenkonstruktion an.
  - Die Geschwindigkeit des ersten Murabganges betrug etwa 1,1 – 1,4 m/s (entspricht gemächlichem Schritt-Tempo oder 4 – 5 km/h), der zweite Murabgang war etwa doppelt so schnell, er stieg aber nie über das ausgepflasterte Profil an. Der erste Murgang drohte einige Male ins Stocken zu kommen, sobald der Wassergehalt wieder anstieg, wurde die Fließgeschwindigkeit wieder höher. Die Gesamtdauer des ersten Murganges betrug etwa 30 Minuten.
  - Die Muren lagerten sich im Auenwald unterhalb des Dorfes ab, die Ablagerungstiefe betrug etwa 1 m. Das Volumen des in der Au abgelagerten Materials war etwa ein 10 – faches von dem Material, das aus den Geschieberückhaltebecken entfernt wurde.
  - Der durch die Mure gebildete Graben im Gerinne 8c war an der tiefsten Stelle ca. 14 m tief.
  - Im Geschieberückhaltebecken 2 „Kohlstattl“<sup>17</sup> gab es in den letzten 5 – 6 Jahren immer wieder Probleme, d.h. es war sehr oft gefüllt und Material musste entfernt werden.

---

<sup>14</sup> im Folgenden GRB1 genannt

<sup>15</sup> im Folgenden B2 und B3 genannt

<sup>16</sup> im Folgenden B1 genannt

<sup>17</sup> im Folgenden GRB2 genannt



- Am 28/08/1971 vollzog sich ein großes Murreignis. Das Bachbett im Dorfbereich war vor dem Bau der Künette (1974 – 1975) mit großen Blöcken ausgekleidet, die Sohle lag höher als heute. Beim Ereignis 1971 gab es an der oberen Brücke eine Verklausung, in weiterer Folge trat die Mure links und rechts über die Ufer und überflutete beide Seiten des Dorfes. Die obere und die untere Brücke wurden zerstört. Ums Leben kam eine Kuh. Eine Geschäftsfrau öffnete die Türen ihres Magazins, um die Mure durch das Magazin hindurchzuleiten. Das Material der Mure stammte hauptsächlich aus dem Gerinne 6 ("Fidegger").
- **Aussagen von Helmuth Steiner** (Vorarbeiter der Gruppe „Prad“ des Amtes für Wildbachverbauung):
  - Bei den Murreignissen 1999 wurden laut Aussagen des Forstamtes in der Au etwa 5 – 6 ha an Fläche übermurt. Der landwirtschaftliche Weg, der durch die Au führt, wurde etwa 1,5 - 1,8 m hoch verschüttet. Das machte die Errichtung einer Brücke über den Tschenglsler Bach notwendig, der vormals in einer Furt überquert worden war.
  - Die Mure am 16/08/1999 war eher dünnflüssig. Das GRB1 war 3 Wochen lang für den Bagger nicht zugänglich, weil das Material sehr schlammig ("schlecht") war. Die Räumung des Beckens war genau am Tag der zweiten Mure (20/09/1999) beendet.
  - Die zweite Mure führte eher grobes Material, die Feststoffkonzentration war höher. Deshalb konnte der Bagger sofort nach dem Ereignis mit der Entnahme von Material aus dem Geschieberückhaltebecken 1 beginnen. Im GRB2 wurde beim zweiten Ereignis kaum Material abgelagert, weil es vom ersten noch gefüllt war.
  - Die Ablagerungen im Auenwald stammen fast vollständig vom ersten Murgang.
  - Der Abzugsgraben am Rande des Auenwaldes wurde auch noch vom Murgang erreicht und war voll gefüllt, die letzten Ausläufer erreichten sogar die landwirtschaftlich genutzten Flächen außerhalb des Auenwaldes.
  - Früher bestand entlang des Abzugsgrabens ein höherer Damm zum Schutz der landwirtschaftlichen Flächen vor den Murgängen. Dieser Damm wurde aber abgetragen, um alle Flächen unabhängig voneinander zugänglich zu machen.

### 3.3 Verbauungsgeschichte

Wie schon in der Einführung erwähnt, hat immer nach dem Abfließen von Murgängen eine Intensivierung der Bachverbauung eingesetzt. Die systematische Verbauung des Baches begann – mit Unterstützung der öffentlichen Hand – im 19. Jahrhundert.

Wie auch bei vielen anderen Wildbächen stellte die Errichtung der Wassermauern im Dorfbereich („Archen“) wohl die erste Verbauungsmaßnahme dar. An der linken, westlichen Mauer konnte an der Innenseite die eingemeißelte Jahreszahl 1870 aufgefunden werden (Raffener, 1990).

Die erste intensive Periode der Bachverbauung fiel mit der ersten Blütezeit der modernen Wildbachverbauung in Südtirol zusammen. Die Hochwässer des 16. – 20. September und des 27. Oktober 1882 waren die Ursache für die Bereitstellung einer großen Menge an öffentlichen Geldern, die für die Verbauung der Wildbäche bestimmt war. In den Jahren 1883 bis

einschließlich 1893 erlebten Südtirol und das Trentino eine Periode äußerst intensiver Wildbachverbauung (Stacul, 1979).

Auch in den Jahren 1908 – 1909 wurde am Tschenglsler Bach verstärkt gearbeitet. Während des Ersten Weltkrieges kamen die Arbeiten vollends zum Erliegen. Nach den Murabgängen 1929, 1931 und 1933 wurde die Notwendigkeit weiterer Arbeiten erkannt, die in den Jahren 1934 – 35 sowie 1939 – 1940 ausgeführt wurden.

Nachdem es während des Zweiten Weltkrieges wiederum zum Stillstand der Arbeiten gekommen war, wurden diese in den 50-er Jahren wieder fortgesetzt. Weitere Maßnahmen folgten in den Jahren 1966 und in besonders intensiver Weise – Ursache war der Murgang 1971 – in den 70-er Jahren.

In Tabelle 4 folgt eine Zusammenstellung der Verbauungsgeschichte am Tschenglsler Bach. Die Quellen waren dabei Raffener (1990) (1), Stacul (1979) (2) sowie Originalpläne und –berichte von Projekten des Amtes für Wildbachverbauung (3).

Tabelle 4 beschreibt die ausgeführten strukturellen Maßnahmen. Daneben sind auch nicht strukturelle Maßnahmen und die Notfallplanung zu erwähnen. Dass der Auenwald, der zwischen dem Dorfbereich und der Mündung in die Etsch liegt, heute noch besteht, kann als frühe raumplanerische Maßnahme beurteilt werden, da man diesen Bereich sozusagen dem Tschenglsler Bach als Ablagerungszone überließ. Überdies liegen überall dort im Dorfbereich, wo die Ufermauern für Verkehrswege unterbrochen worden sind, Dammbalken bereit, mit denen diese Durchbrüche geschlossen werden können, um im Notfall den kompletten Abflussquerschnitt inkl. Ufermauern zur Verfügung zu haben.

Der Tschenglsler Bach präsentiert sich als hochgradig verbauter Wildbach und liefert ein lebendiges Zeugnis für das Ringen der Dorfbevölkerung und der öffentlichen Verwaltung mit den vom Tschenglsler Bach ausgehenden Gefahren. Nach Vollendung der Arbeiten, die zwischen 1972 und 1975 durchgeführt wurden, glaubte man, die Gefährdung des Dorfes durch Murereignisse stark reduziert zu haben. Die vergangenen Jahre haben jedoch den Zweifel aufkommen lassen, ob das verbleibende Restrisiko auf ein akzeptables Niveau gebracht werden konnte. Mehrere Hochwasserereignisse, bei denen die Geschieberückhaltebecken GRB 1 und GRB 2 vollständig gefüllt wurden, vor allem aber die zwei Murgänge im Jahre 1999 haben diese Zweifel genährt.

Jahr	Beschreibung der ausgeführten Verbaumaßnahmen	Lage der Verbauung	Quelle
Um 1870	Bau der 380 m langen Wassermauern mit maximal 3 m Höhe und 2 m Breite	Unterlauf	1
1881	Räumung des Bachbettes	Unterlauf	1
1882 - 1883	Verlängerung der Wassermauern bis unterhalb des Dorfes	Unterlauf	1
1882 - 1883	Bau von 130 kleineren Sperren (Haupt- und Nebengerinne)	Ober- und Mittellauf	1
Beg. 20. Jh.	Errichtung einer Stausperre (vermutlich „Kohlstattl“) zur Schaffung eines Geschieberückhaltebeckens	Mittellauf	2, 3
1908 – 1909	Sicherungsarbeiten im Dorfbereich	Unterlauf	1
1908 – 1909	Sicherungsarbeiten oberhalb „Kohlstattl“	Mittellauf	1
1935	Auspflasterung des Abflussquerschnittes im Dorfbereich	Unterlauf	1
1934 – 1935	Errichtung von 4 Konsolidierungssperren	Unterlauf	1, 3
1938 – 1939	Errichtung von 6 Konsolidierungssperren	Mittellauf	3
1951	1 Konsolidierungssperre in der Nähe der Unteren Alm, 2 Konsolidierungssperren im Nebengerinne 4	Mittellauf	3
1957	Zwei Sperren (in der „Fernilschlucht“) werden ertüchtigt, Ufermauern werden wieder in Stand gesetzt	Unterlauf	3
1966	Wiederinstandsetzung von drei Sperren, Bau einer Schwelle	Mittellauf	3
1972	9 Konsolidierungssperren + Wiederinstandsetzung von 3 Sperren, die beim Hochwasser 1971 schwer beschädigt worden waren	Mittellauf	3
1973	4 Konsolidierungssperren (Hauptgerinne) sowie 5 Metallgabionen (Nebengerinne)	Mittellauf	3
1973	1 Dolenrückhaltesperre in Stahlbeton in der „Fernilschlucht“ (Höhe ab Unterkante Fundament 14.4 m)	Unterlauf	3
1974	1 Schwelle, 2 richtungsweisende Ufermauern l = 18m, eine Schwelle zu Beginn der Künette, 260 m Künette mit 6 Sohlschwellen in der Distanz von 60 m, Wiedererrichtung von 2 Brücken, Wiederbegrünung	Unterlauf	3
1975	160 m Künette	Unterlauf	3
1975	88 m Künette	Unterlauf	3
1982	1 Ertüchtigung Sperre (unterhalb „Kohlstattl“) + 1 Erhöhung Sperre („Kohlstattl“)	Mittellauf	3
1984	1 Sperre mit Tiroler Wehr (oberhalb „Kohlstattl“)	Mittellauf	3
1990	30.8 m Ufermauer	Unterlauf	3

Tabelle 4 - Verbaugeschichte am Tschenglsler Bach

## 4. Modellierung der Murgänge am Tschenglser Bach

### 4.1 Vorgehensweise

Die Modellierung der Murgänge am Tschenglser Bach erfolgt in einem stufenweisen Vorgehen mit den folgenden Arbeitsschritten:

- **Entwicklung von hydrologischen Szenarien für den Reinwasserabfluss (Kapitel 4.2):** Mittels des Modells HEC – HMS wird ein Niederschlags – Abfluss – Modell<sup>18</sup> erarbeitet. Darin werden an verschiedenen Stellen im Einzugsgebiet die Hydrographen für die Reinwasserabflüsse abgeschätzt.
- **Abschätzung der Murganghydrographen (Kapitel 4.3):** Mittels eines von Tognacca (1999) entwickelten Murgangentstehungskriteriums werden Schwellenabflusswerte definiert, ab deren Überschreiten ein Murgang entstehen kann. Darauf erfolgt unter Anwendung der von Tognacca (1999) bzw. Takahashi (1991) entwickelten Transportformeln die Ermittlung der Murganghydrographen.
- **Modellierung der Transportstrecke und der Geschieberückhaltebecken (Kapitel 4.4):** Mit Hilfe des Programms DAMBRK wird in einer eindimensionalen, instationären Abflussberechnung die Transformation der Murgangwellen entlang der Transportstrecke (Gerinneabschnitte 4 und 5, s. Tabelle 2) modelliert. Die Geschieberückhaltebecken werden in einer vereinfachten Berechnung mitberücksichtigt.
- **Modellierung im Dorf- und Ablagerungsbereich (Kapitel 4.5):** Ab dem GRB1 bis zur Mündung in die Etsch werden die verschiedenen Murgangsszenarien numerisch modelliert. Zur Anwendung kommt dabei das Modell FLO-2D, welches die zweidimensionale, instationäre Modellierung von Reinwasserabflüssen, aber auch von Murgangabflüssen verschiedener Art ermöglicht. Das Modell verwendet den im Kapitel 2.4.2 beschriebenen rheologischen Ansatz von O'Brien und Julien (1985).

Das Ziel der numerischen Modellierung ist es, detaillierte Aussagen über Abflusstiefen und Geschwindigkeiten zu beliebigen Zeitpunkten in beliebigen Rasterzellen zu treffen und die Schwachstellen im System zu erkennen.

Eine solche Vorgehensweise gewährleistet, dass die wichtigsten an der Entstehung und beim Ablaufen der Murgänge beteiligten Prozesse Berücksichtigung finden.

Der Modellierung liegen eine Vielzahl an nicht eindeutig festzulegenden Faktoren zu Grunde, da es einerseits im Einzugsgebiet selbst keine Direktmessungen von Niederschlag und Abfluss gibt, andererseits die Vorgänge beim Ablaufen von Murgängen noch nicht eindeutig geklärt sind (s. auch Kapitel 2). Deshalb stellte sich im Laufe der Arbeit heraus, dass ein zweifacher „Durchlauf“ der beschriebenen Arbeitsschritte notwendig und zielführend ist:

1. In einem ersten Durchlauf, der Vorversuchsphase, wird mittels umfangreichen Sensitivitätsanalysen die Reaktion des Systems auf die Veränderung verschiedener Eingabeparameter getestet. Damit ist man in der Lage, den Fächer an theoretisch möglichen Ereignissen einzuschränken und plausible von nicht plausiblen Szenarien zu trennen.

---

<sup>18</sup> im Folgenden N-A-Modell genannt

2. Im zweiten Durchlauf, der eigentlichen Modellierungsphase, wurden die als plausibel beurteilten Szenarien im Detail untersucht.

Diese Vorgehensweise ist nur möglich, weil die Murgänge des Jahres 1999 mit Hilfe eindeutiger Spuren im Gelände, aufgrund der Zeugenberichte und anhand einer vorhandenen Videoaufnahme recht genau rekonstruiert werden können. Somit bilden die Murgänge des Jahres 1999 eine Art Grundlage zur Kalibrierung der Murgänge am Tschenglser Bach.

## 4.2 Hydrologische Szenarien für Reinwasserabfluss

### 4.2.1 Allgemeines

Die Ermittlung von Hydrographen des Reinwasserabflusses für verschiedene Wiederkehrperioden stellt den ersten Schritt bei der Modellierung der Murgänge am Tschenglser Bach dar. Die Abflussganglinien werden für die Hochwässer HQ30, HQ50, HQ100 sowie HQ300 ermittelt. Diese Wiederkehrperioden entsprechen weitgehend den für die Gefahrenzonenplanung existierenden Empfehlungen der Autonomen Provinz Bozen und des Bundesamtes für Wasserwirtschaft der Schweiz (Heinimann et al. 1998).

Die Ganglinien der Reinwasserabflüsse sind an mehreren Stellen im Einzugsgebiet von Interesse. Überall dort, wo man aufgrund von Ereignisgeschichte, Gefälle und Geschiebeverfügbarkeit auf die Entstehung von Murgängen schließen kann, ist die Verfügbarkeit von Reinwasserhydrographen wünschenswert. Deshalb wird das Einzugsgebiet, im Wesentlichen den Nebengerinnen entsprechend, in Untereinzugsgebiete eingeteilt (s. Anhang A2.1).

### 4.2.2 Das Modell HEC – HMS

Die Ermittlung der Hydrographen erfolgt mit Hilfe des vom US Army Corps of Engineers – Hydrological Engineering Center entwickelten EDV – Programms HEC – HMS. Darin sind verschiedene N-A-Modelle implementiert, anhand derer – unter Berücksichtigung der physikalischen Eigenschaften des Einzugsgebietes – die Abflussbildung aufgrund von verschiedenen Niederschlagsereignissen modelliert werden kann.

Eine grundlegende Annahme ist dabei die Linearität des untersuchten Systems, d.h. dass einem Regenereignis einer bestimmten Jährlichkeit ein Hochwasserereignis von der selben Jährlichkeit entspricht. Dies bedeutet zum Beispiel, dass ein 30 – jähriges Niederschlagsereignis automatisch ein 30 – jähriges Hochwasser erzeugt. Diese Annahme stimmt nur näherungsweise, in Ermangelung besserer Grundlagendaten wird sie jedoch als ausreichend genau erachtet.

Die Berechnung der Hydrographen an beliebigen Stellen im Einzugsgebiet findet in mehreren Schritten statt:

- **Ermittlung des Nettoregens  $N_D$** <sup>19</sup>: Zur Ermittlung von  $N_D$  wird das SCS – Verfahren verwendet, das über die Kurvennummer (*Curve number* CN) die Speicherkapazität des Bodens modelliert. Das Verfahren ist vom *Soil Conservation Service* der USA für kleine Einzugsgebiete auf der Grundlage zahlreicher beobachteter Hochwasserereignisse

---

<sup>19</sup> Der Nettoregen ist jener Niederschlag, der sich aus dem gefallenem Niederschlag (Bruttoregen  $N_B$ ) abzüglich der Verluste durch Evapotranspiration und Bodenspeichervermögen ergibt, also effektiv zum Abfluss beiträgt.

entwickelt und geeicht worden. Für verschiedene Bodentypen und –nutzungen liegen CN – Werte vor, anhand derer eine Ermittlung von  $N_D$  in Abhängigkeit des Bruttoniederschlags  $N_B$  auch in Gebieten ohne Direktmessungen möglich ist (s. Übersicht in Tabelle 5).

Als  $N_B$  können Hyetographen mit beliebiger Form und Niederschlagsdauer eingegeben werden (s. Kapitel 4.2.4.1).

Die CN – Werte hängen jeweils von der Bodenart und vom Vorregen ab. Für die Bodenart werden vier Gruppen (A – D) definiert, die von Böden mit großem Versickerungsvermögen über Böden mit mittlerem, geringem und sehr geringem Versickerungsvermögen reichen. Der Vorregen wird durch verschiedene Bodenfeuchteklassen, die von I bis III reichen, ausgedrückt.

Zur detaillierten Erläuterung des SCS – Verfahrens sei auf Maniak (1997) oder US Army Corps of Engineers (2000) verwiesen.

Die CN – Werte werden für jedes Teileinzugsgebiet getrennt ermittelt, indem den verschiedenen Bodentypen (Wald, Wiese, Weide, Ödland, bebautes Land) die jeweiligen CN – Werte zugeordnet und über die Flächen gemittelt werden.

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

Tabelle 5 - CN – Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Bodennutzung für Bodenfeuchtekategorie II (aus: Maniak, 1997)

- **Ermittlung der Abflussganglinien:** Diese erfolgt mit Hilfe des Einheitsganglinienverfahrens. Die Einheitsganglinie (UH – Linie) ist die aus 1 mm Nettoregen pro gewähltem Zeitintervall resultierende Ganglinie des direkten Reinwasserabflusses  $Q_{wv}$ . Die Annahme, dass gleicher Nettoregen gleiche Abflussganglinien erzeugt (Zeitinvarianz) und dass bei gleicher Regendauer die Ordinaten der Abflussganglinie den Nettoniederschlägen direkt proportional sind (Linearität), lässt eine Umformung einer Einheitsganglinie für verschiedene Zeitintervalle und Niederschlagskombinationen zu (Maniak, 1997). Zur Anwendung kommt auch hier wiederum eine vom SCS entwickelte Methode, bei welcher mit Hilfe von Formulierungen für

das UH – Maximum und die Zeit bis zum Erreichen des maximalen Wertes die UH – Linie konstruiert wird. Dabei wird die Eingabe der Konzentrationszeit des jeweiligen Einzugsgebietes benötigt. Diese kann mit Hilfe mehrerer empirischen Formeln erfasst werden, welche die wesentlichen topographischen und bodenspezifischen Eigenschaften berücksichtigen.

- **Fortpflanzung der Hochwasserwelle:** Die Fortpflanzung der Hochwasserwelle im Gerinne wird mit einer kinematischen Welle modelliert. Die kinematische Welle stellt die einfachste Form der Hochwasserabflussberechnung dar (Chow et al., 1988). Dabei wird angenommen, dass Reibungs- und Sohlgefälle immer die gleiche Neigung aufweisen. Somit werden die übrigen Terme der Bewegungsgleichung, wie die lokale und konvektive Beschleunigung sowie der Druckgradient, vernachlässigt (s. auch Kapitel 4.5). Wie auch Henderson (1966) gezeigt hat, ist dieses Vorgehen für Gerinne mit einem relativ hohen Gefälle durchaus angebracht, da in diesem Fall Reibung und Schwerkraft die wesentlichen Komponenten in der Impulsgleichung darstellen und die übrigen Terme vernachlässigt werden können. Die kinematische Welle verlangt die Eingabe folgender Parameter des Fließquerschnittes: Form (Trapez, Rechteck oder Kreis), Breite der Gerinnesohle, Länge des untersuchten Abschnittes, Gefälle der Energielinie sowie die Rauigkeit des Querschnittes. Die modellierten Gerinne werden in mehrere homogene Gerinneabschnitte unterteilt (s. Anhang A2.1.3), denen die gleichen Eingabedaten zugewiesen werden.

### 4.2.3 Niederschlagsdaten

#### 4.2.3.1 Datengrundlagen

Eine sorgfältige Beurteilung des Einzugsgebietes in Bezug auf sein Niederschlagsverhalten ist mitentscheidend dafür, ob die ermittelten hydrologischen Szenarien als zuverlässig eingestuft werden können. Die Niederschläge sind letztendlich jener Faktor, der die Grundbelastung für das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes darstellt.

Am sichersten ist eine Beurteilung der Niederschläge dann, wenn in einem Einzugsgebiet mehrere Niederschlagsmessstationen mit zuverlässigen Serien von Aufzeichnungen vorhanden sind. Doch selbst dann können über das generelle Niederschlagsverhalten des gesamten Einzugsgebietes nur Vermutungen angestellt werden<sup>20</sup>.

Im vorliegenden Fall sind vom Einzugsgebiet keine Niederschlagsmessungen vorhanden. Es erscheint deshalb zielführend, Daten von anderen Messstationen unter Mitberücksichtigung der beschriebenen meteorologischen Randbedingungen (Kapitel 3.1.3) auf das Einzugsgebiet des Tschenglser Baches anzuwenden. Es standen die in Tabelle 6 aufgelisteten Messdaten zur Verfügung, und zwar vom Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen (1) und von der VAW der ETH Zürich (2), wobei dort die Daten den Starkniederschlagsstatistiken von Zeller et al. (1976) entnommen wurden.

---

<sup>20</sup> eine Niederschlagsmessstation pro 10 km<sup>2</sup> deckt nur etwa 1/400.000.000-stel der gesamten Fläche ab

Messstation	Lage	Meeres- höhe [m]	Tagesnie- derschläge <sup>21</sup>	Starknie- derschläge	Quelle
Prad/Agums	Nähe Tschengls	907	1921 – 2000	1989 – 2000	1
Trafoi	Nähe Tschengls	1570	1924 – 1999	---	1
Sulden	Nähe Tschengls	1910	1925 – 2000	1987, 1990 – 2000	1
Laas	Nähe Tschengls	865	1999	---	1
Santa Maria	Graubünden (CH)	1408	1902 – 1970	---	2
Buffalora	Graubünden (CH)	1968	1918 – 1970	---	2
S - charl	Graubünden (CH)	1810	1917 – 1951	---	2
Furka	Wallis (CH)	2418	1903 – 1947	---	2
Grächen	Wallis (CH)	1617	1891 – 2001	---	2
Visp	Wallis (CH)	658	1912 – 2001	---	2
Grand Dixence	Wallis (CH)	2166	1956 – 2001	---	2
Sion	Wallis (CH)	542	1881 – 1977	1952 – 1978	2
Les Marécottes	Wallis (CH)	1040	1912 – 2001	---	2

Tabelle 6 - Zur Verfügung stehende Niederschlagsmessungen

Eine zusätzliche Datengrundlage bilden die im Projekt VAPI<sup>22</sup> entwickelten Formeln. In Italien ist in den letzten Jahren im Zuge des Projektes VAPI die Regionalisierung der Niederschläge und der Hochwässer vorgenommen worden. Dabei ist das Gebiet des Triveneto<sup>23</sup> in eine hydrologisch homogene Region mit vier Subzonen eingestuft worden (s. Abbildung 8). Für jede dieser Subzonen stehen Gleichungen zur Verfügung, anhand derer die Ermittlung der Niederschlagshöhen in Abhängigkeit von der Jährlichkeit und der Niederschlagsdauer möglich ist. Die Gleichung für den kumulativen 50 – jährigen Niederschlag errechnet sich beispielsweise folgendermaßen:

$$N = 34.2 \delta^{0.368} \quad (11)$$

mit N ... Niederschlagshöhe [mm]  
 $\delta$  ... Niederschlagsdauer [h]

<sup>21</sup> es handelt sich um die Umhüllende der Messperiode, dazwischen treten bei jeder Messstation auch Lücken auf

<sup>22</sup> VAPI = valutazione delle piene in Italia

<sup>23</sup> enthält die Regionen Trentino – Südtirol, Venetien und Friaul – Julisch – Venetien



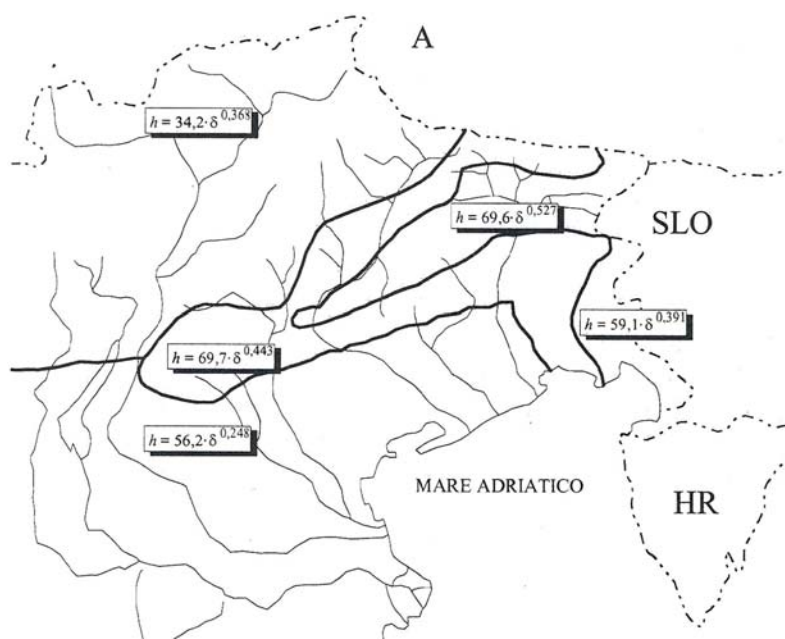


Abbildung 8 - homogene Subzonen im Triveneto (Villi, 1994)

#### 4.2.3.2 Auswertung der Niederschlagsdaten

Um mit N-A-Modellen zu arbeiten, bedarf es einer wahrscheinlichkeitstheoretischen Auswertung der Niederschlagsdaten. Ziel der Wahrscheinlichkeitsanalyse ist es, die empirische Häufigkeitsverteilung bzw. Summenhäufigkeitsfunktion einer Stichprobe durch eine mathematisch theoretische Dichtefunktion bzw. Verteilungsfunktion zu ersetzen, die sich möglichst gut an die Werte anpasst. Die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Extremwert erreicht oder unterschritten wird, wird dann mit der Verteilungsfunktion bestimmt. Es ist das Ziel, durch Extrapolation die Messreihe in Bereiche zu erweitern, die durch die vorhandenen Daten nicht abgedeckt sind (Maniak, 1997).

Bei den vorhandenen Niederschlagsdaten sind verschiedene Niveaus bei der Auswertung der Daten zu vermerken:

- die Niederschlagsdaten der Autonomen Provinz Bozen sind statistisch nicht ausgewertet,
- die Niederschlagsdaten der Schweiz sind bei Zeller et al. (1976) statistisch aufbereitet worden,
- die im Projekt VAPI entwickelten Gleichungen stellen die analytische Form der Verteilungsfunktionen dar.

Um die vorhandenen Daten untereinander vergleichen zu können, ist es nötig, deren Auswertungsgrad auf ein gleiches Niveau zu bringen. Aus diesem Grund ist für die Niederschlagsmessstationen in Sulden und Prad / Agums eine statistische Auswertung der Starkniederschlagsdaten vorgenommen worden. Als Faustregel gilt, dass die doppelte Zeitdauer der zur Verfügung stehenden Messreihe noch als zuverlässig eingestuft werden kann. Für die vorliegenden sehr kurzen Messreihen von 12 Jahren könnte man somit nur

Niederschläge bis zu einer Wiederkehrdauer von etwa 25 Jahren vernünftig abschätzen. Die Auswertung ist dennoch auch für längere Wiederkehrperioden durchgeführt worden, da vor allem eine Vergleichsgrundlage zur Verfügung stehen soll und nicht eine Auswertung, die einen absoluten Genauigkeitsanspruch erhebt.

Folgende in der Literatur vorhandene Verteilungsfunktionen sind zur Anwendung gekommen:

- Normalverteilung,
- Logarithmische Normalverteilung mit 2 Parametern,
- Logarithmische Normalverteilung mit 3 Parametern,
- Pearsonverteilung,
- logarithmische Pearsonverteilung,
- Gumbelverteilung.

Von den Ergebnissen wird – abzüglich des Maximal- und Minimalwertes – das Mittel gebildet, wie auch in anderen Ländern üblich (Plate und Ihringer, 2000).

#### 4.2.3.3 Gegenüberstellung und Vergleich

Die Darstellung der Niederschlagsdaten erfolgt üblicherweise in einem IDF – Diagramm, in welchem die Niederschlagsintensitäten [mm/h] in Abhängigkeit von der Niederschlagsdauer für verschiedene Jährlichkeiten dargestellt sind. Abbildung 9 zeigt eine Gegenüberstellung der Intensitäten für den 50 – jährigen Niederschlag.

Bei Vergleich der verschiedenen Kurven lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Die Intensitäten der Starkniederschläge scheinen in der Schweiz generell leicht höher zu liegen als im Vinschgau.
- Die Stärke der Intensitäten hängt nicht direkt mit der Meereshöhe zusammen, was man in erster Näherung annehmen würde. Zum Beispiel sind die Niederschlagsintensitäten in Visp ( $h = 658$  m) bis zu 5 Mal so groß als in Sion ( $h = 542$  m). Grächen weist die höchsten Niederschlagsintensitäten überhaupt auf, liegt aber tiefer als Buffalora, S – charl, Furka, Grand Dixence oder Sulden. Das Niederschlagsverhalten scheint vielmehr von kleinräumigen meteorologischen Bedingungen abzuhängen (z.B. Lage der Messstationen in Bezug auf konvektive Luftströmungen).
- Man kann zwischen dem Wallis und Graubünden keinen offensichtlichen Unterschiede im Niederschlagsverhalten feststellen.
- Obwohl sich alle Niederschlagsmessstationen im inneralpinen Raum befinden, variieren die Intensitäten sehr stark, auch auf kleinräumigem Gebiet. Das beste Beispiel dafür liefern wiederum die Messstationen von Visp und Sion.
- Die Niederschlagsintensitäten im Vinschgau scheinen tendenziell tiefer zu liegen als in der Schweiz. Dies ist durchaus möglich, da der Vinschgau das niederschlagsärmste Tal der Ostalpen ist. Gleichzeitig zeigen jedoch die Daten aus dem Kanton Wallis, dass eine niedrigere Jahresniederschlagshöhe nicht gleichzeitig auch auf niedrigere Intensitäten für Niederschläge von kurzer Dauer, d.h. konvektiver Art, schließen lässt.
- Die „VAPI – Kurve“ bildet einen unteren Grenzwert für die Niederschlagsintensitäten der Schweiz.

- Die Ergebnisse für die Messstationen in Sulden und Agums weichen relativ stark von der „VAPI – Kurve“ ab. Der Intensität des 15 – minütigen Niederschlags beträgt in Sulden etwa 30 mm/h, in Prad / Agums circa 95 mm/h und laut „VAPI – Kurve“ rund 80 mm/h.
- Die Tatsache, dass die Intensitäten in Prad / Agums und Sulden bei der 15 – minütigen Niederschlagsdauer um etwa das Dreifache auseinander liegen, sich ab einer Niederschlagsdauer von 200 Minuten jedoch decken, bestätigt die Annahme, dass die zur Verfügung stehenden Messreihen zu kurz sind, um statistisch repräsentativ zu sein. Die errechneten Größen haben deshalb rein indikativen Charakter.

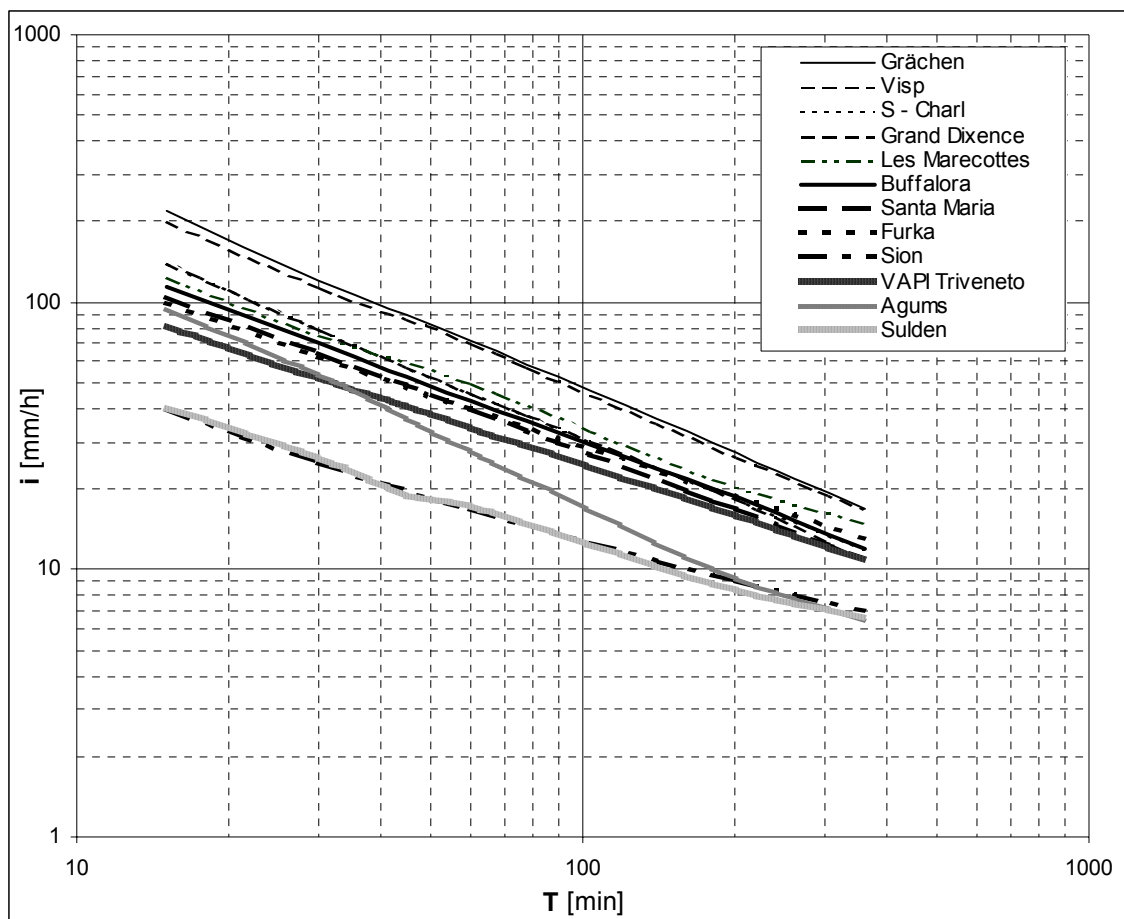


Abbildung 9 - Vergleich der Intensitäten für den 50 – jährigen Niederschlag

Im Anhang A2.2 sind die zur Verfügung stehenden Niederschlagsdaten im Detail dargestellt.

#### 4.2.4 Sensitivitätsanalysen Vorversuche

##### 4.2.4.1 Hyetographen

Die zeitliche Abfolge von Niederschlägen wird in Hyetographen dargestellt. Während historische Hyetographen beobachtete Ereignisse beschreiben, wird in synthetischen Hyetographen der Ablauf von Niederschlägen theoretisch aufbereitet. In der Literatur existieren zahlreiche Arten von Hyetographen (Artina et al., 1997 oder Chow et al., 1988), die von sehr einfachen Modellen mit wenigen Parametern bis zu ausgeklügelten und mathematisch aufwendigen Formulierungen reichen.

In der vorliegenden Arbeit sind drei gängige Arten von Hyetographen zur Verwendung gekommen:

- **Rechteckiger Hyetograph:** Dies ist der gebräuchlichste, weil einfachste Hyetograph. Ihm liegt die Annahme eines blockförmigen, über die Zeit invarianten Regens zu Grunde. Das bedeutet, dass die Regenintensität über die Zeitdauer konstant bleibt und die Niederschlagssumme linear ansteigt. Als Intensität wird demnach jene Intensität, welche im IDF – Diagramm der angenommenen Niederschlagsdauer entspricht, angesetzt.
- **dreiecksförmiger Hyetograph:** Beim dreiecksförmigen Hyetographen versucht man dem Umstand Rechnung zu tragen, dass ein Niederschlag nicht konstant über seine Dauer bleibt, sondern anfangen muss, irgendwann ein Maximum erreicht, dann wieder schwächer wird und irgendwann wieder aufhört. Dabei wird angenommen, dass die maximale Intensität genau dem Doppelten der mittleren Intensität entspricht und exakt zur „Halbzeit“ des Regenereignisses erreicht wird.
- **Hyetograph erstellt nach der Alternating Block Method:** Dieser Hyetograph wird aus einer IDF – Kurve entwickelt. Dabei wird angenommen, dass sich das Regenereignis zu jedem Zeitpunkt auf der IDF – Kurve befindet. Der Hyetograph stellt den Niederschlag dar, der in  $n$  sukzessiven Zeitintervallen der Dauer  $\Delta t$  über eine totale Zeitdauer von  $n \Delta t$  fällt. Die Intensität wird von der IDF – Kurve für jede der Zeitdauern  $\Delta, 2\Delta t, 3\Delta t...$  abgelesen, die entsprechende Niederschlagshöhe erhält man aus dem Produkt von Intensität und Zeitdauer. Wird von aufeinander folgenden Niederschlagssummen die Differenz gebildet, erhält man das Inkrement an Niederschlag, der im jeweiligen Zeitintervall  $\Delta t$  dazukommt. Diese Inkremente werden neu angeordnet, indem man annimmt, dass die maximale Intensität in der Mitte des Ereignisses auftritt. Die verbleibenden Blöcke werden links und rechts vom zentralen Block angeordnet. Mit dieser Methode trifft man die Annahme, dass vor allem bei Niederschlägen konvektiver Art ein Regenblock mit einer sehr hohen Intensität auftritt, in dem ein Großteil des Niederschlags fällt. In der Zeit davor und danach ist die Intensität relativ schwach. Diese Annahme wird bestätigt durch die Beobachtung, dass bei Gewittern oft während eines Drittels der Dauer 90 % des Niederschlags fallen.

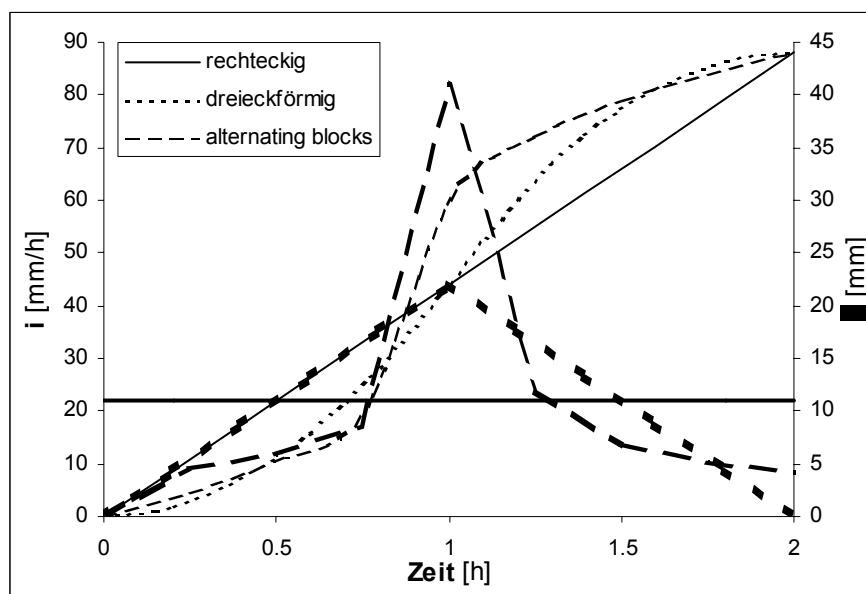


Abbildung 10 - Verlauf der Intensität  $i$  und der Niederschlagssumme  $\delta$  für versch. Hyetographen

In Abbildung 10 sind die verschiedenen Typen von Hyetographen für einen 2 – stündigen Niederschlag, der einem 50 – jährigen Niederschlagsereignis laut Projekt VAPI entspricht, dargestellt.

#### 4.2.4.2 Durchgeführte Analysen

Sensitivitätsanalysen haben den Zweck, die Reaktion des untersuchten Systems auf das Verändern von Eingabeparametern zu evaluieren. Sie werden vor allem dann durchgeführt, wenn die Eingabeparameter nicht exakt definierbar sind.

Da es im vorliegenden Fall keine Direktmessungen von Niederschlag bzw. Abfluss gibt, wird es als zweckmäßig erachtet, über eine Vielzahl von Sensitivitätsanalysen, die möglicherweise auch physikalisch unbegründet sind, Szenarien zu entwickeln, die dem tatsächlichen hydrologischen Verhalten des Einzugsgebietes nahe kommen.

In der Vorversuchsphase wurden folgende Szenarien sind modelliert:

- **Ermittlung eines 50 – jährigen Hochwassers mit verschiedenen Hyetographen:** mit Hilfe der im vorigen Kapitel beschriebenen Hyetographen und der „VAPI – Kurve“ für den 50 – jährigen Niederschlag wird das 50 – jährige Hochwasser für verschieden lange Niederschläge ermittelt. Die modellierten Niederschlagsdauern reichen von 10 min bis 180 min, weil man einerseits die Konzentrationszeit des Einzugsgebietes innerhalb dieser Zeitspanne ansetzen kann und andererseits die Dauer von Starkniederschlägen nicht länger als 100 Minuten beträgt.

In Abbildung 11 sind die ermittelten Maximalabflüsse an der Stelle des unteren Wasserfalls (WF1) als repräsentativ für das gesamte Einzugsgebiet dargestellt. Detaillierte Angaben, auch für andere interessante Punkte des Einzugsgebietes, sind im Anhang A2.3.1 zu finden.

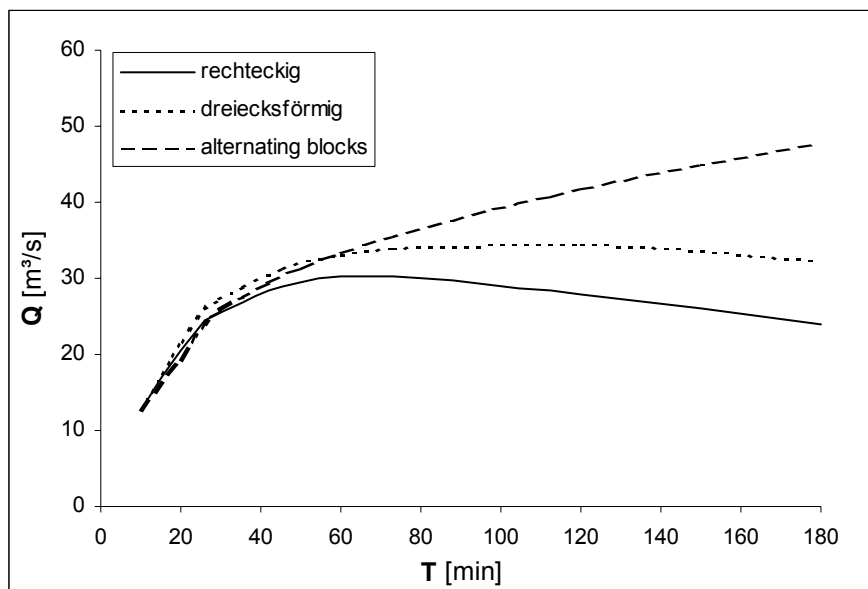


Abbildung 11 -  $Q_{max}$  für unterschiedliche Hyetographen in Abhängigkeit der Niederschlagsdauer

Abbildung 11 erlaubt mehrere Schlüsse:

- Der Maximalabfluss für den rechteckigen Hyetographen wird bei  $T = 60$  min erreicht, beim dreiecksförmigen Hyetographen bei  $T = 120$  min. Man kann also annehmen, dass die Konzentrationszeit des Einzugsgebietes 1 – 2 Stunden beträgt. Bei einem Niederschlag kürzerer Dauer ist zwar die Intensität höher, aber nicht das gesamte Einzugsgebiet trägt zum Abfluss bei. Bei einem Niederschlag längerer Dauer ist zwar auch die vom untersuchten Querschnitt am weitesten entfernte Stelle abflusswirksam, die Intensität des Niederschlags ist jedoch niedriger als jene der Konzentrationszeit.
- Beim dreiecksförmigen Hyetographen werden höhere Abflüsse als beim rechteckigen Hyetographen erzielt. Dies ist auf die in der Mitte des Niederschlagsereignisses auftretende höhere Intensität zurückzuführen. Die Unterschiede sind jedoch gering und deshalb nicht weiter relevant.

Der nach der Alternating – Block – Methode erstellte Hyetograph wächst mit steigender Niederschlagsdauer an. Bei einer fiktiven Niederschlagsdauer von 1440 min (nicht im Diagramm dargestellt) beträgt der maximale Abfluss  $73 \text{ m}^3/\text{s}$ . Diese nach oben scheinbar unbegrenzte Tendenz lässt sich damit erklären, dass in der Alternating – Block – Methode für jeden Zeitschritt die höchstmögliche Intensität angenommen wird. Es müsste also eine Kombination eines lang andauernden Niederschlags (advektiver Art) mit einem Kurz-niederschlag (konvektiver Art) möglich sein, was meteorologisch auszuschließen ist<sup>24</sup>.

- **Ermittlung eines 50-jährigen Hochwassers mittels Kombination von dreiecksförmigen mit alternating – blocks – Hyetographen:** Wie dem Anhang A2.3 zu entnehmen ist, ist der Maximalabfluss an der Mündung in die Etsch nur wenig größer als an der Stelle WF1. Dies liegt zum einen darin begründet, dass das obere Einzugsgebiet über 60 % der Gesamtfläche ausmacht, zum anderen, dass Mittel- und Unterlauf ein höheres Speicherungsvermögen besitzen. Lediglich bei den mit Alternating – Block – Methode errechneten Abflüssen bestätigt sich dieses Verhalten nicht, der Abfluss an der Mündung liegt wesentlich höher als an der Stelle WF1, was aber als unrealistisch beurteilt werden kann.

Aufgrund der meteorologischen Randbedingungen trifft man eher den Fall an, dass im oberen Einzugsgebiet ein Gewitter mit einer kurzweilig sehr hohen Intensität niedergeht, während man es im Mittel- und Unterlauf nicht unbedingt mit außergewöhnlichen Intensitäten zu tun haben muss. Diesem Umstand wird in der Weise versucht Rechnung zu tragen, indem über eine Fläche von etwa  $4 \text{ km}^2$  im oberen Einzugsgebiet ein Alternating – Blocks – Hyetograph angesetzt wird und über den Rest des Einzugsgebietes ein dreiecksförmiger Hyetograph.

In der Vorversuchsphase ist diese Analyse mit Niederschlagsereignissen, die zwischen 360 und 720 Minuten dauern, durchgeführt worden. Dies ist in Anlehnung an die in den USA übliche Praxis geschehen (US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2000), bei der als maßgebende Niederschlagsdauer die 3- bis 4-fache Konzentrationszeit bzw. eine Zeitdauer von 12 Stunden gewählt wird. Nicht berücksichtigt wird dabei die Tatsache, dass Starkniederschläge (mit Alternating – Blocks – Hyetographen modelliert) für eine viel kürzere Zeit anhalten. Deshalb müssen die in Abbildung 12 dargestellten

---

<sup>24</sup> Es ist dies mit ein Argument, das in Hydrologiefachkreisen die Diskussion darüber ausgelöst hat, ob die übliche Darstellung des Niederschlagsverhaltens in den IDF – Kurven überhaupt sinnvoll ist, da in diesen Diagrammen konvektive und advektive Niederschläge bzw. Überschneidungen davon auf einer einzigen Linie repräsentiert werden.

Abflusswerte ( $Q_{\max}$  ca.  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , relativ unabhängig von der Niederschlagsdauer) und demnach auch die sich ergebenden Hochwasservolumina als zu hoch eingestuft werden.

Die in diesem Fall durchgespielten Analysen sind also physikalisch nicht realistisch und ergeben auch zu hohe Werte, sie werden aber dennoch als nützlich beurteilt, um die Hochwasserwerte nach oben hin abgrenzen zu können.

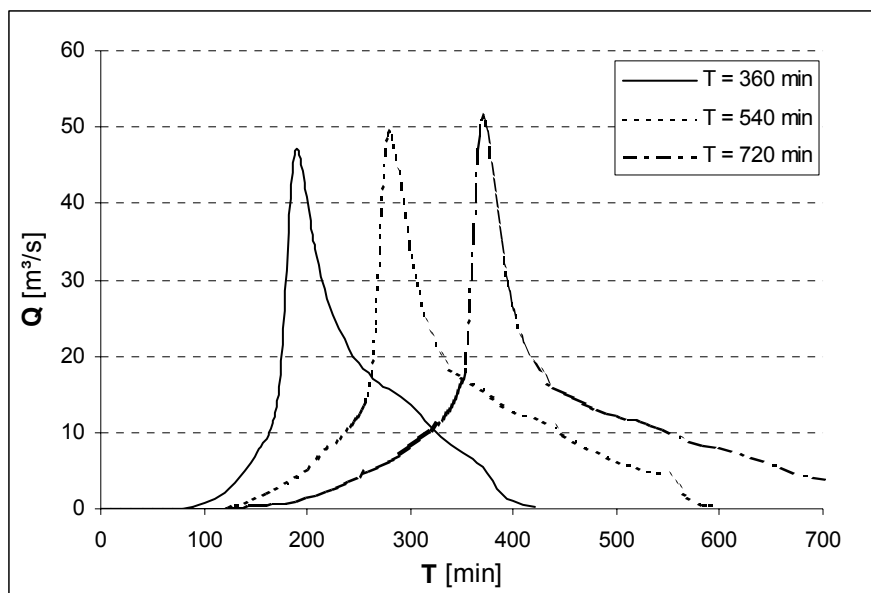


Abbildung 12 - Abflussganglinien an der Stelle WF1 (Niederschlagsdauer 360 – 540 min) für Kombination von dreiecksförmigen mit alternating – blocks – Hyetographen

- **Ermittlung eines Hochwassers unbestimmter Wiederkehrdauer für das Teileinzugsgebiet 8c1:** In den Vorversuchen sind auch erste Berechnungen zur Abschätzung der Murganghydrographen durchgeführt worden. In Kapitel 4.3 werden die angenommenen Szenarien im Detail erläutert. An dieser Stelle sei lediglich erwähnt, dass mit dem Hydrographen, der sich aufgrund der im obigen Punkt beschriebenen Vorgehensweise an der Stelle 8\_3 (direkt unterhalb des Einzugsgebietes 8c1) bei einer Ereignisdauer von 540 Minuten ergibt, als Grundlage zur Erarbeitung der Murganghydrographen kein der Realität entsprechendes Ergebnis erzielt worden ist. Die errechneten mobilisierten Feststoffvolumina sind wesentlich kleiner als jene, die in der Natur beobachtet worden sind. Deshalb ist mittels *trial and error* jener Hyetograph ermittelt worden, der die in der Realität auftretenden Feststofffrachten mobilisiert. Die Niederschlagsintensitäten liegen immerhin ca. 2,2 mal höher als jene, die in den „VAPI – Kurven“ für ein 50 – jähriges Ereignis angegeben werden.

Auch diese Sensitivitätsanalyse ist in der Realität nicht haltbar, stellt aber einen weiteren Schritt zur Erarbeitung der in Kapitel 4.2.5 beschriebenen hydrologischen Szenarien dar.

#### 4.2.4.3 Vergleich mit den Hochwasserberechnungsformeln des Projektes VAPI

Im Zuge des Projektes VAPI sind auch die Hochwässer regionalisiert worden (Rosso und de Michele, 2000). Es stehen Gleichungen zur Verfügung, mittels derer bei Kenntnis des  $Q_{\text{Index}}$  (*index flood*), was dem jährlichen Maximalabfluss gleichkommt, Hochwässer beliebiger Jährlichkeit berechnet werden können. Zur Ermittlung des  $Q_{\text{Index}}$  können verschiedene

Methoden angewandt werden, die davon abhängen, welche Daten zur Verfügung stehen. Sind überhaupt keine Daten vorhanden, ist es mit Hilfe von empirischen, regionalisierten Formeln möglich,  $Q_{\text{index}}$  abzuschätzen. Für kleine Einzugsgebiete liefert diese Methode erfahrungsgemäß zu kleine Werte. Sie sind in Abbildung 13 dargestellt. Man kann beobachten, dass beispielsweise das HQ100 nur etwa  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  beträgt.

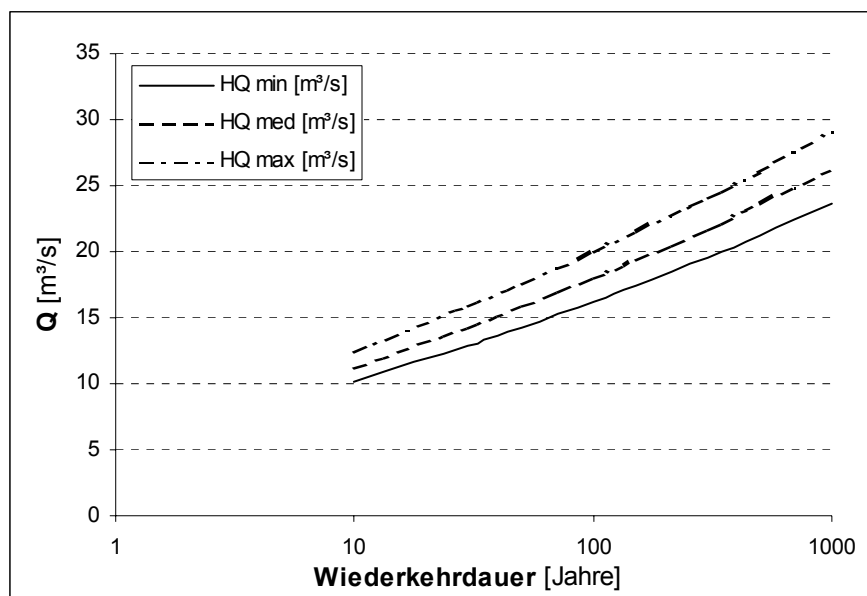


Abbildung 13 - Hochwasserwerte errechnet anhand Projekt VAPI

#### 4.2.5 Bestimmung der hydrologischen Szenarien

Die umfangreichen Sensitivitätsanalysen, aber auch Überlegungen in Bezug auf die meteorologischen Randbedingungen, führen zur Definition der nachstehend angeführten Punkte, welche die Grundlage zur Ermittlung der für den Tschenglser Bach maßgebenden Hochwässer bilden und welche als plausibel und den derzeitigen Kenntnissen am besten entsprechend beurteilt werden können:

- Hochwässer am Tschenglser Bach werden durch Niederschläge konvektiver Art verursacht. Diese gehen bevorzugt im oberen Einzugsgebiet ab.
- Die Konzentrationszeit des Einzugsgebietes beträgt etwa 1 – 2 Stunden. Zur Berechnung der Hochwässer werden Niederschlagsereignisse mit einer Länge von 60 – 120 Minuten gewählt. Weitere Analysen zeigen, dass die Abflüsse bei Niederschlägen von 60, 90 oder 120 min Länge nur geringfügig variieren. Deshalb werden aus Gründen der Zeiteinsparung bei der numerischen Modellierung Niederschlagsereignisse von 60 Minuten gewählt. Im Übrigen decken sich damit auch die Augenzeugenberichte, wonach ein Murgang vom Entstehungsgebiet bis ins Dorf etwa 30 Minuten benötigt und das Mureignis vom 16/08/99 ab Erreichen der Murgangabflussspitze noch etwa 30 Minuten gedauert hat.
- In Ermangelung besserer Datengrundlagen muss die „VAPI – Kurve“ als repräsentativ für das Niederschlagsverhalten des Vinschgaus angesehen werden, zumindest was die tieferen Tallagen betrifft. Deshalb wird für den Mittel- und Unterlauf ein, der „VAPI – Kurve“ entsprechender, rechteckiger Hyetograph gewählt. Bei einem dreieckigen Hyetographen



würde die Reaktion etwa gleich ausfallen, ein Alternating - Blocks – Hyetograph wäre nicht realistisch.

- Niederschläge im oberen Einzugsgebiet des Tschenglser Baches haben für gleiche Wiederkehrperioden sicher höhere Intensitäten als im Tal. Es ist zu vermuten, dass Hagelschlag, der im oberen Einzugsgebiet auftritt, sehr hohen Niederschlagsintensitäten entspricht. Näherungsweise kann man annehmen, dass die Intensitäten im oberen Einzugsgebiet näher bei jenen der Messstation Buffalora<sup>25</sup> liegen als bei jenen der „VAPI – Kurve“. Die Größe des Kessels oberhalb der Wasserfälle entspricht etwa der Größe von Gewitterzellen bei konvektiven Niederschlägen. Darin wiederum kann man auf das Auftreten von Schauerzellen mit besonders hoher Intensität schließen, deren Größe ca. 1 km<sup>2</sup> beträgt. Dies deckt sich durchaus mit der Beobachtung, dass es bevorzugt an der Tschenglser Hochwand zu Regenfällen bzw. Hagelschlag mit besonders starker Intensität kommt.

Die Starkniederschläge im oberen Einzugsgebiet werden mit den IDF – Kurven von Buffalora durch Alternating - Blocks – Hyetographen modelliert. Dabei wird angenommen, dass die Intensität innerhalb der kleinen Schauerzellen doppelt so groß ist als im Rest der Gewitterzelle. Diese Annahme kann durchaus als plausibel bewertet werden, ruft man sich die Daten der Messstationen in Grächen und Visp in Erinnerung. Deren Intensitäten betragen das Zweifache (und mehr) der Niederschläge in den übrigen Messstationen.

Die kleinen Schauerzellen (Größe ca. 1,6 – 1,8 km<sup>2</sup>) werden dort positioniert, wo ihr Auftreten aus klimatischen Gegebenheiten am wahrscheinlichsten ist, und zwar an die Tschenglser Hochwand (Einzugsgebiete 8b, 8c1, 8c2) oder an die Felswand des Taitscheroi (Einzugsgebiete 6, 6b, 6c, 6d, 7). Es ist sicher kein Zufall, dass der Großteil der Murgänge genau in jenen Gebieten entsteht.

Im Modell HEC – HMS sind diese Niederschlagsannahmen modelliert worden. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt, und zwar für verschiedene Wiederkehrperioden in Abbildung 14 und an Stellen, die maßgebend für die weitere Bearbeitung sind, in Abbildung 15.

Betrachtet man die maximalen Abflüsse der in Abbildung 14 dargestellten Ganglinien, können daraus weitere Überlegungen abgeleitet werden (zahlenmäßige Darstellung in Tabelle 7, graphische Darstellung in Abbildung 16):

- Die berechneten Maximalabflüsse zeigen logarithmisches Verhalten, was durchaus der Regel entspricht.
- Je größer das Einzugsgebiet, desto steiler ist der Anstieg in der Abfluss – Jährlichkeitskurve. Während am Punkt 8\_3 das Verhältnis zwischen HQ300 und HQ30 ca. 1,5 beträgt, liegt dieser Wert am Punkt WF1 schon bei 1,92. Laut Angaben des Projektes VAPI beträgt diese Relation für den Großteil der Autonomen Provinz Bozen etwa 1,5. Unter der Annahme der Gültigkeit dieser Angabe scheinen die für die kleinsten Teileinzugsgebiete errechneten Werte zuverlässiger zu sein. Die beispielsweise für den Punkt WF1 ermittelten Werte liegen eher im oberen Bereich des Vertrauensintervalles.

---

<sup>25</sup> Buffalora liegt auf einer Meereshöhe von 1968 m in unmittelbarer Nähe des Ofenpasses, der die Wasserscheide zwischen dem Einzugsgebiet des Inn und jenem der Etsch darstellt. Buffalora ist in Bezug auf das meteorologische Verhalten noch vom Süden her beeinflusst.

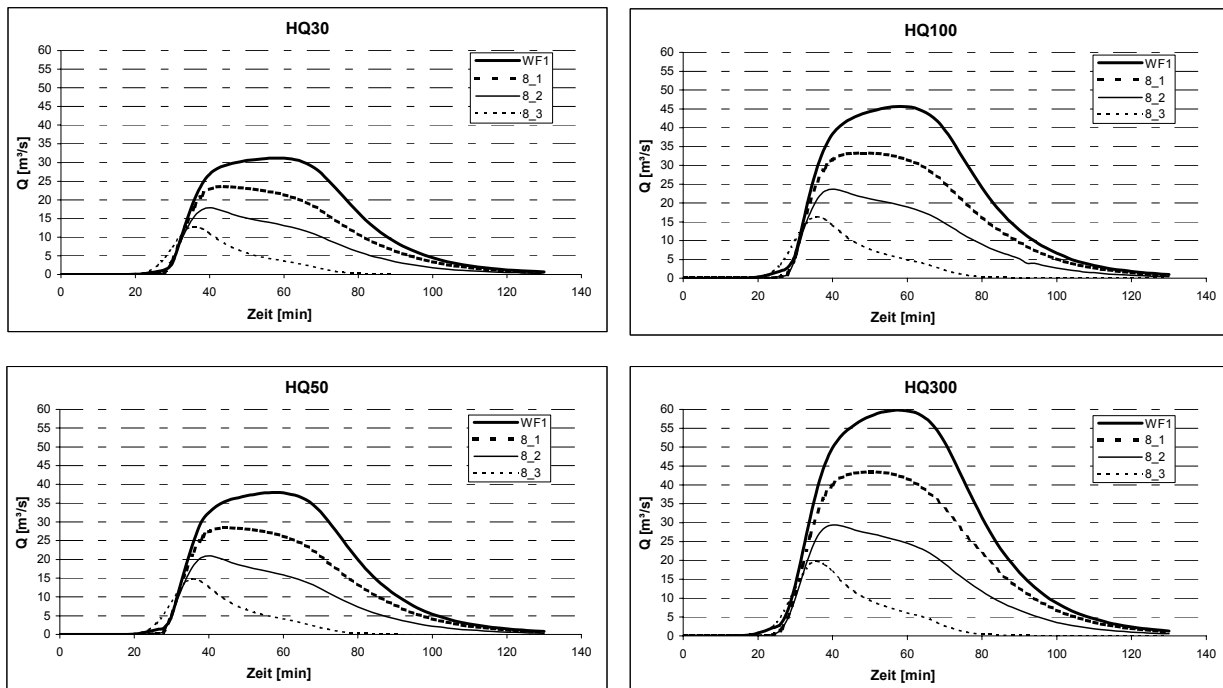


Abbildung 14 - Hydrographen verschiedener Jährlichkeiten an maßgebenden Stellen

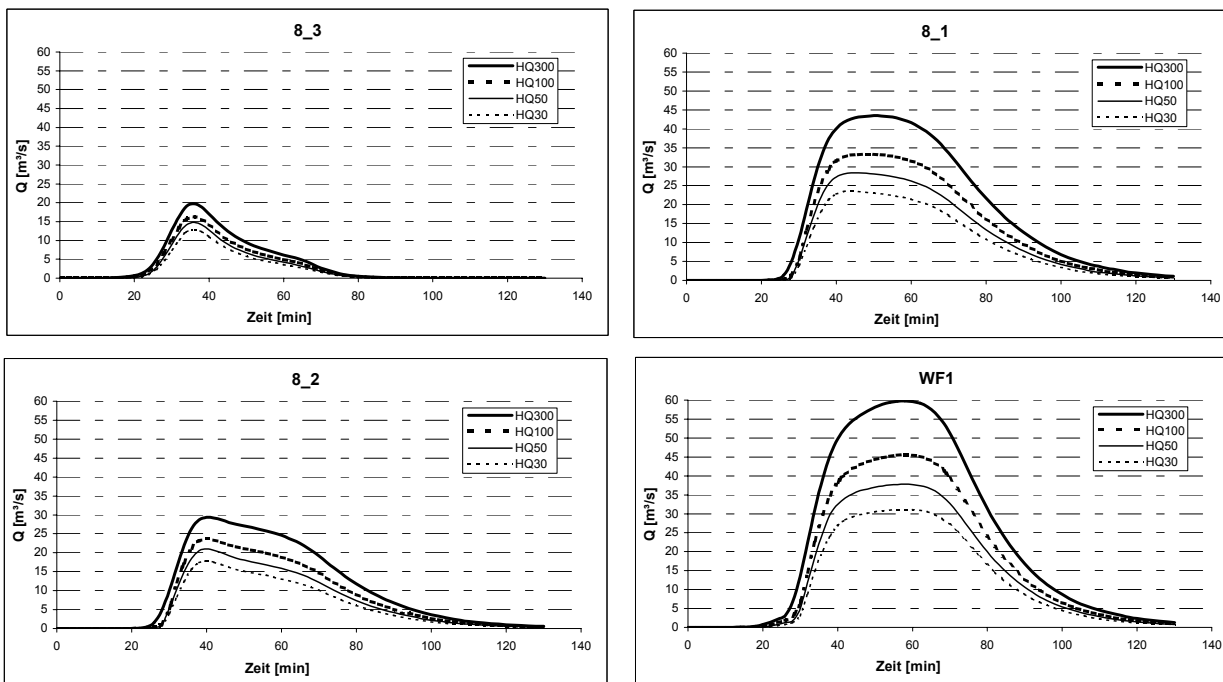


Abbildung 15 - Hydrographen an maßgebenden Stellen für verschiedene Jährlichkeiten

In Abbildung 15 ist zu beobachten, dass die Ganglinien für ein kleines Teileinzugsgebiet, z.B. bei Kontrollquerschnitt 8\_3, der am Fuß des Teileinzugsgebietes 8c1 gelegen ist, eine recht akzentuierte Form zeigen. Je weiter man bachabwärts fortschreitet, desto runder sind die Hydrographen, wie es z.B. bei den Ganglinien für WF1 ersichtlich ist. Dies ist damit zu erklären, dass dort die Abflüsse aus mehreren Teileinzugsgebieten stammen, deren Konzentrationszeit

verschieden lang ist. So ergibt es sich, dass die Maxima aus den Teileinzugsgebieten zu verschiedenen Zeitpunkten erreicht werden. Die resultierende Ganglinie wird dadurch ausgeglichen. In Abbildung 17 ist ein Beispiel aus dem Programm HEC – HMS dargestellt.

Jährlichkeit	Q <sub>8_3</sub> [m³/s]	Q <sub>8_2</sub> [m³/s]	Q <sub>8_1</sub> [m³/s]	Q <sub>WF1</sub> [m³/s]
30	12.8	17.9	23.6	31.1
50	14.8	21.0	28.4	37.8
100	16.3	23.7	33.3	45.6
300	19.7	29.4	43.5	59.8
HQ300/HQ30	1.54	1.64	1.84	1.92

Tabelle 7 - Maximalabflüsse maßgebender Hochwässer an verschiedenen Querschnitten

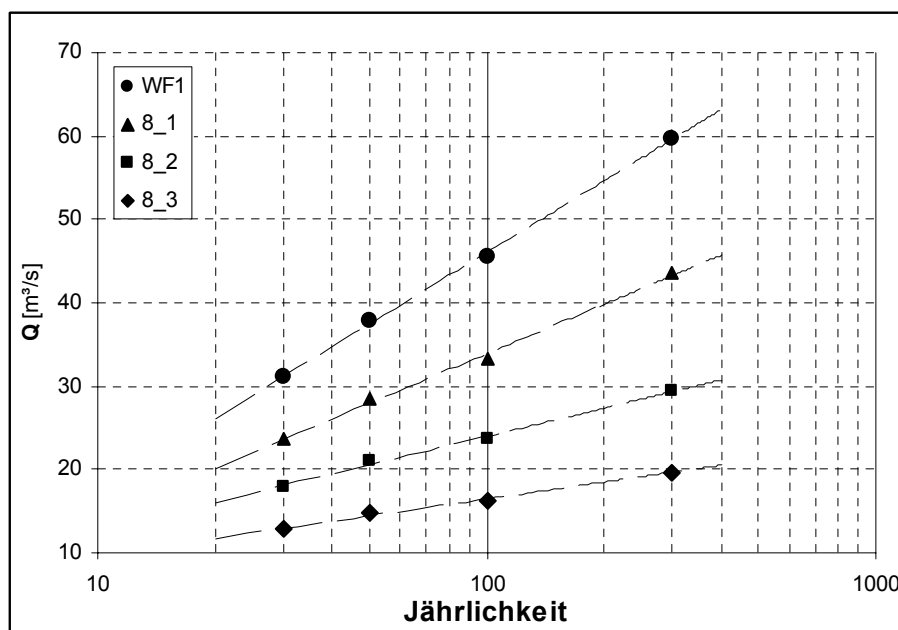


Abbildung 16 - Wahrscheinlichkeitsverteilung der Maximalabflüsse an verschiedenen Querschnitten

Die beschriebenen Sensitivitätsanalysen und auch die teilweise sehr willkürlich definierten Szenarien zeigen auf, dass es in einem Einzugsgebiet ohne Direktmessungen eines großen Aufwandes bedarf, um vernünftige Hochwasserganglinien zu ermitteln. Es wäre sicher noch möglich, weitere theoretische Analysen durchzuführen. Aus den folgenden Gründen wird dies jedoch als nicht sinnvoll erachtet:

- Der Mehraufwand stünde in keinem Verhältnis zur zusätzlichen Genauigkeit in den Ergebnissen. Auch würde man sich wahrscheinlich dazu verleiten lassen, den Ergebnissen einen höhere Zuverlässigkeit zuzuweisen, als ihnen gebührt. Eine große Hilfe zur Überprüfung des hydrologischen Modells und zur eventuellen Anpassung wären Direktmessungen von Niederschlag und Abfluss im Feld.
- Im folgenden Schritt wird der Übergang von Reinwasserhydrographen auf Murganghydrographen vollzogen. Dabei kommt eine Reihe von Unsicherheiten dazu und

man wird sich – der Ehrlichkeit halber – von der Definition genauer Jährlichkeiten wieder entfernen und qualitative Aussagen in Bezug auf die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Murgänge treffen. Es ist sicher zielführender, für die Murgänge selber Sensitivitätsanalysen durchzuführen, um dort wieder eine Bandbreite an möglichen Ereignissen herauszufiltern.

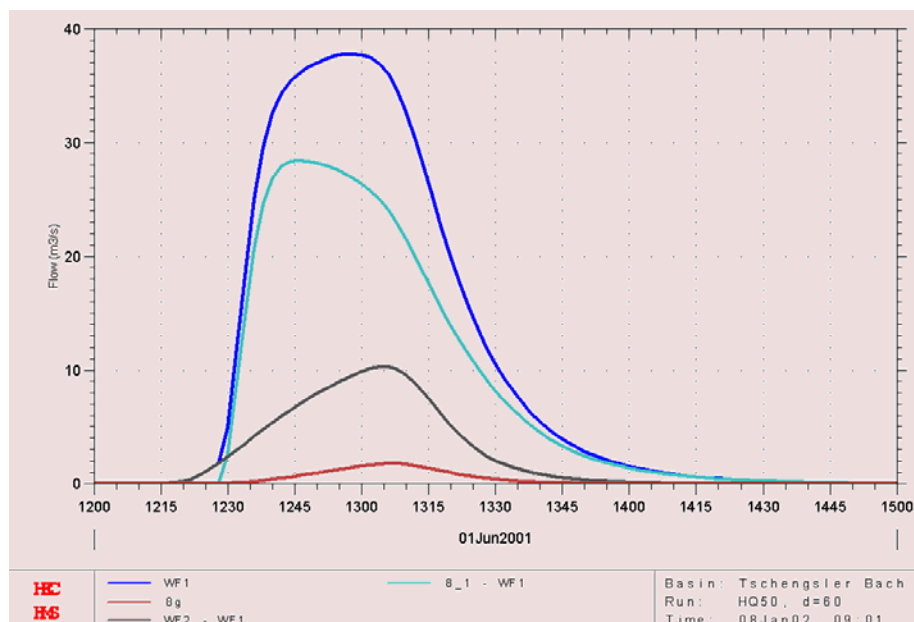


Abbildung 17 - HQ50 am Querschnitt WF1 als Summe von 50-jährigen Hochwasserganglinien verschiedener Teileinzugsgebiete

## 4.3 Bildung der Murgänge

### 4.3.1 Verwendete Ansätze

Die zur Verfügung stehenden Reinwasserhydrographen bilden die Grundlage zur Erarbeitung der Murganghydrographen. Gegenstand der weiteren Untersuchung ist vor allem der „Fernerbach“ (Gerinne 8c bzw. 8 nach der Mündung von Gerinne 8b), aus dem sich im Jahre 1999 jene Murgänge gelöst haben, die bis in den Dorfbereich gelangt sind.

Es werden die im Folgenden beschriebenen Ansätze verwendet.

#### 4.3.1.1 Murgangentstehungskriterium

Tognacca (1999) hat in umfangreichen Laborversuchen ein Kriterium entwickelt, mittels dessen über die Berechnung eines kritischen Abflusses auf die Entstehung eines Murganges geschlossen werden kann. Dabei wurden Anleihen aus dem Gebiet der Geschiebetransporttheorie gemacht: Wenn es möglich ist, einen kritischen Abfluss für den Beginn des Geschiebetriebes zu bestimmen, sollte dies auch möglich für den Beginn eines Murganges sein.

Die von Tognacca (1999) entwickelte Formel ist natürlich nur für die Entstehung von Murgängen aus der Gerinnesohle gültig und lautet folgendermaßen:

$$q_{Dlc} = g^{0.5} \cdot \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)^{0.5} \cdot \frac{d_m^{1.5}}{J^{1.17}} \quad (12)$$

<i>mit</i>	$q_{Dlc}$	...	kritischer Abfluss [m <sup>3</sup> /s,m]
	$\rho_s$	...	Korndichte [kg/m <sup>3</sup> ]
	$\rho_w$	...	Dichte des Wassers [kg/m <sup>3</sup> ]
	$d_m$	...	mittlerer Durchmesser des Sohlmaterials [m]
	J	...	Neigung der Gerinnesohle

Gleichung (12) lässt sich unter der Annahme, dass  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ,  $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_w = 1.000 \text{ kg/m}^3$ , zu folgender Form reduzieren:

$$q_{Dlc} = 4.02 \cdot \frac{d_m^{1.5}}{J^{1.17}} \quad (13)$$

Der kritische Murgangabfluss ist somit nur vom mittleren Durchmesser des Sohlmaterials und von der Gerinneneigung abhängig. Zur Ermittlung des mittleren Durchmessers wurden im Fernerbach mehrere Linienproben durchgeführt und mit der Linienzahlanalyse nach Fehr (1987) ausgewertet. Die Kornverteilungskurven der einzelnen Proben zeigen keine großen Unterschiede (s. Anhang A3), der mittlere Durchmesser kann mit 5 – 7 cm angesetzt werden. Die Gerinneneigung im Bereich der Murgangentstehung beträgt zwischen 64 % und 25 %. Durch Variation der Eingabeparameter entsteht eine Bandbreite an kritischen Murgangabflüssen.

Die Reinwasserabflüsse werden dem kritischen Murgangabfluss gegenübergestellt. Aus der Bandbreite an kritischen Murgangabflüssen wird ein Wert gewählt, ab dessen Überschreiten ( $q_w > q_{Dlc}$ ) auf die Entstehung eines Murganges geschlossen wird.

#### 4.3.1.2 Bestimmung der Konzentration des Murganges

Geschiebetransportformeln, die für Gefälle  $< 25 \%$  noch gut funktionieren, können auf steilere Verhältnisse nicht extrapoliert werden, da sie bei größeren Gefällen Feststoffkonzentrationen  $c$  ergeben, die größer als die Feststoffkonzentration des ruhenden Lockermaterials  $c^*$  ist, was physikalisch nicht möglich ist (Tognacca, 1999). Tognacca (1999) ist in seiner Arbeit diesem Problem zu Leibe gerückt, indem er eine neue Geschiebetransportformel entwickelt hat. Diese Formel enthält eine aus den Laborversuchen abgeleitete empirische Beziehung, mit der die Volumenkonzentration des Murganges abgeschätzt werden kann:

$$c_v = \left( \frac{\tanh(7.1 \cdot J^{0.8} - 2.15)}{2.3} + 0.43 \right) \cdot c^* \quad (14)$$

<i>mit</i>	$c_v$	...	Volumenkonzentration
	$c^*$	...	Feststoffkonzentration des ruhenden Materials (entspricht der Grenzkonzentration des Murganges)
	J	...	Neigung des Gerinnes

Gleichung (14) zeigt, dass die Konzentration eines Murganges nur von der Gerinneneigung und von der Feststoffkonzentration des ruhenden Lockermaterials abhängt. In Abbildung 18 ist die Beziehung graphisch dargestellt. Wie daraus ersichtlich ist, strebt die Konzentration eines Murganges gegen einen Grenzwert von  $0.9 \cdot c^*$  hin. Dieser Grenzwert wird praktisch schon ab einer Gerinneneigung von 45 % erreicht. Zwischen einer Gerinneneigung von 20 % und 40 % variiert die Konzentration sehr stark.

Takahashi (1991) hat unter Einbeziehung von geotechnischen Bedingungen eine ähnliche Beziehung aufgestellt. Für eine Neigung  $>36\%$  nimmt er eine Konzentration von  $0.9 \cdot c^*$  an, bei Neigungen  $<36\%$  lässt sich die Konzentration mit folgender Formel berechnen:

$$c_v = \frac{J}{\Delta \cdot (\tan \varphi - J)} \quad (15)$$

mit  $\Delta \dots \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) = 1.65$   
 $\varphi \dots$  Reibungswinkel des ruhenden Lockermaterials

Im Unterschied zu Gleichung (14) wird hier die Konzentration direkt berechnet, allerdings in Abhängigkeit vom inneren Reibungswinkel des ruhenden Lockermaterials. In Abbildung 18 ist die Beziehung von Takahashi für einen Reibungswinkel von  $36^\circ$  und eine Grenzkonzentration von 0.7 dargestellt. In diesem Fall ergibt sich eine gute Übereinstimmung für beide Formulierungen.

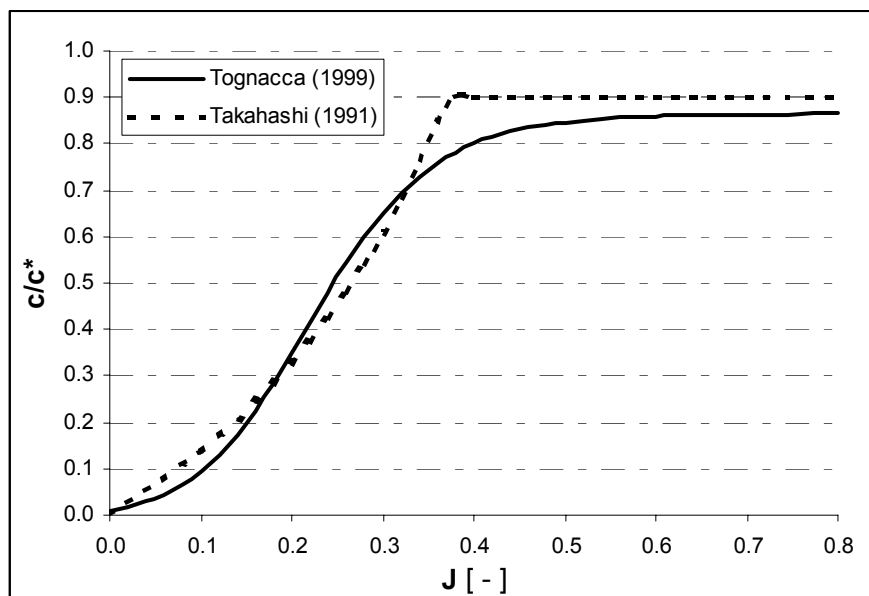


Abbildung 18 - Normierte Feststoffkonzentration in Funktion des Gefälles nach Tognacca (1999)

In Bezug auf die Größe von  $c^*$  werden in der Literatur verschiedene Werte angegeben. Während Tognacca (1999) und Armanini (1999) Werte um 60 – 70 % angeben, beschreiben Weber und Rickenmann (2000) Grenzkonzentrationen  $c^*$  von 0.85 für Kiesgrubenmaterial bzw. 0.81 für Wildbachmaterial.

Jäggi und Pellandini (1993) geben mit 0.63 einen sehr präzisen Wert für die maximal mögliche Konzentration von Murgängen an.

In der vorliegenden Arbeit wird zur Ermittlung der Volumenkonzentrationen Gleichung (14) verwendet, wobei für die Grenzkonzentration ein Wert von 0.7 angesetzt wird.

4.3.1.3 Entwicklung des Murganghydrographen

Wie schon erwähnt, hat Tognacca (1999) eine neue empirische Geschiebetransportformel entwickelt, die folgendermaßen lautet:

$$Q_B = \frac{c^* \cdot f(J)}{1 - c^* \cdot f(J)} Q_W \tag{16}$$

mit  $Q_B$  ... Feststoffabfluss  
 $f(J)$  ...  $\frac{c_v}{c^*}$

Gleichung(16) lässt sich zu folgender Form vereinfachen:

$$Q_B = \frac{c_v}{1 - c_v} Q_W \tag{17}$$

Wenn also die Konzentration und der Reinwasserabfluss des Murgangs bekannt sind, kann der Feststoffabfluss mit Gleichung (17) berechnet werden. Der totale Abfluss (Reinwasser + Feststoffe) beträgt dann:

$$Q_{ges} = Q_W + Q_B = \frac{1}{1 - c_v} Q_W \tag{18}$$

In diesen Überlegungen steckt der Ansatz, dass die Konzentration eines Murganges praktisch nicht höher sein kann als die Lagerungsdichte des ruhenden Lockermaterials.

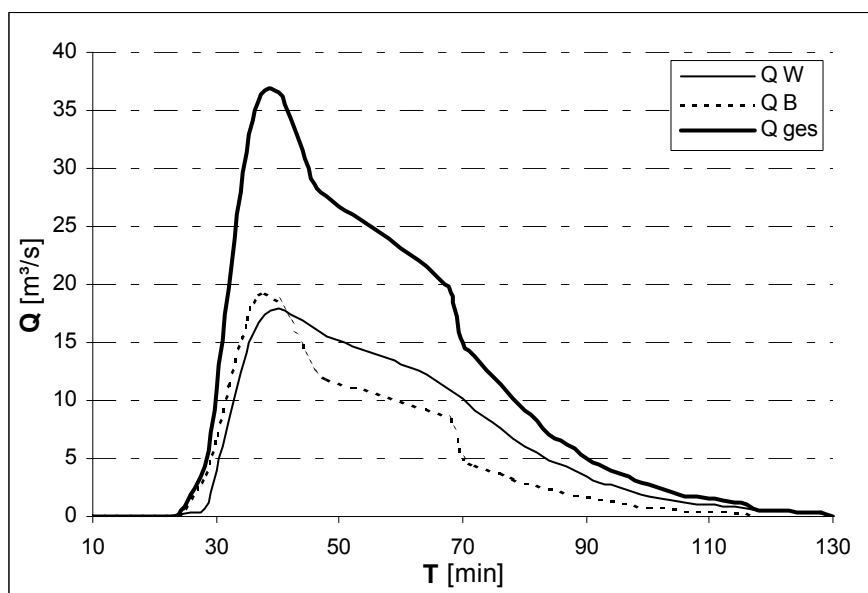


Abbildung 19 - Beispiel zur Erarbeitung eines Murganghydrographen ( $Q_{ges} = Q_W + Q_B$ )

Abbildung 19 zeigt in graphischer Form ein Beispiel zur Erarbeitung eines Murganghydrographen. Das durch den Murgang mobilisierte Feststoffvolumen, auch Feststofffracht genannt, erhält man anhand folgender vereinfachten Formel:

$$M = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot Q_{B,i} \tag{19}$$

mit M ... Feststofffracht [m³]  
 Δt<sub>i</sub> ... Zeitschritt [s]  
 Q<sub>B,i</sub> ... Δt<sub>i</sub> entsprechender Feststoffabfluss [m³/s]

Takahashi (1991) schlägt folgende vereinfachte<sup>26</sup> Geschiebetransportformel für Murgänge vor:

$$Q_B = \frac{c_v}{c^* - c_v} Q_W \tag{20}$$

sowie  $Q_{ges} = \frac{c^*}{c^* - c_v} Q_W \tag{21}$

Die Ermittlung des Murganghydrographen mit dieser Formel wird auch volumetrische Methode genannt. Sie ist in Japan (PWRI, 1987, PWRI, 1988, Takahashi, 1991) oder auch in Italien (Armanini, 1999, Cavazzana et al., 1999, Ghilardi et al., 2000) sehr gebräuchlich.

Gleichungen (18) und (21) reduzieren sich auf die selbe Formel, wenn c\* aus Gleichung (21) den Wert 1 annimmt. Offenbar sind die Ansätze von Tognacca (1999) und Takahashi (1991) verschiedener Natur, da eine Grenzkonzentration c\* = 1 ja nicht möglich ist.

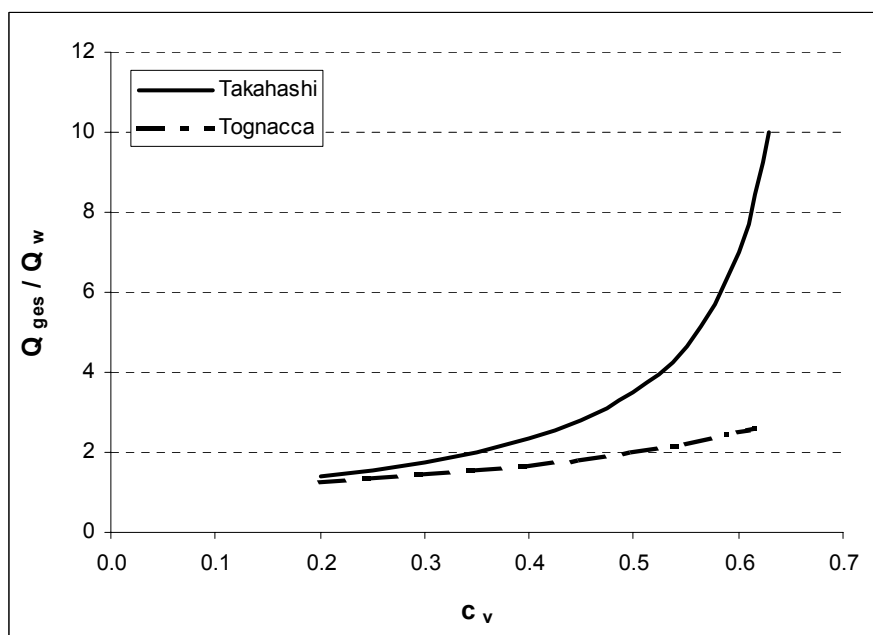


Abbildung 20 - Graphische Abbildung der Gleichungen (18) und (21)

<sup>26</sup> Hier wird angenommen, dass die Gerinnesohle vor Durchgang des Murganges bereits vollständig gesättigt ist. Damit findet keine Infiltration in die Sohle statt.



In Abbildung 20 sind die beiden Geschiebetransportformeln für  $c^* = 0.7$  graphisch wiedergegeben. Je mehr sich die Murgangkonzentration der Grenzkonzentration  $c^*$  nähert, desto größer wird der Unterschied in den beiden Formulierungen. Bei einer Konzentration von 0.6 ergibt sich aufgrund der Gleichung von Tognacca ein Gesamtabfluss, der das 2,5 – fache des Reinwasserabflusses beträgt. Bei Takahashi würde im selben Fall der Gesamtabfluss schon das 7 – fache des Reinwasserabflusses ausmachen. Darin liegt gleichzeitig eine Unstimmigkeit in der Formulierung von Takahashi: wenn der Reinwasserabfluss 1/7 des Gesamtabflusses ausmacht, müssten die Feststoffmatrix die restlichen 6/7 des Murganges bilden. Das wiederum käme einer Konzentration von 0.86 gleich, obwohl bei der Berechnung des Gesamtabflusses von  $c = 0.6$  ausgegangen worden ist.

Die Gleichungen (18) und (21) sind also auf verschiedene Weise entwickelt worden. Im Folgenden wird versucht, die grundsätzlichen Überlegungen besser zu beleuchten:

- Takahashi geht bei der Herleitung seiner Formel von quasistationären und einem voll entwickelten Murgang aus. Das bedeutet, dass von oberhalb immer der gleiche Durchfluss nachfließt und die Abflusstiefe des Murganges konstant bleibt. Das durch Sohlerosion mobilisierte Material bewirkt eine Verlängerung des Murgangkörpers, nicht aber eine Erhöhung der Abflusstiefe.

Takahashi (1999) leitet seine Formel theoretisch aus Kontinuitätsüberlegungen ab, und zwar wird die Kontinuitätsgleichung getrennt für das Reinwasser und für die Feststoffe angesetzt. In Experimenten ist die Formel überprüft und für gut befunden worden.

Die Formel von Tognacca (1999) ist in Laborversuchen entwickelt und verifiziert worden. Dabei hat sich nur in wenigen Versuchen eine konstante Abflusstiefe eingestellt. Meist ist der Murgang sowohl in Höhe als auch in Länge angewachsen. Es hat sich bei den Versuchen also um instationäre Vorgänge gehandelt.

- Bei Tognaccas Versuchen bestanden die Feststoffe nur aus feinkörnigem Material, große Blöcke waren nicht vorhanden. Dadurch kann es sein, dass die maximale Feststoffkonzentration des Murganges, die normalerweise an der Front auftritt, wo sich die groben Blöcke sammeln, wesentlich unterschätzt wird.

Takahashi hingegen konzentriert sich bei seinen Überlegungen auf die Abflussfront. Seine Gleichung ist imstande, die hohen Feststoffkonzentrationen, die an der Front aufgrund der großen Blöcke und aufgrund des in den Untergrund infiltrierenden Wassers vorherrschen, wiederzugeben.

- Das Kriterium von Tognacca ist eher geeignet für „mittlere“ Verhältnisse, bzw. zur Beschreibung des Murkörpers. Die maximalen Murgangabflüsse werden wahrscheinlich nicht richtig wiedergegeben.

Takahashis Formulierung scheint ungeeignet, den kompletten Ablauf des Ereignisses zu beschreiben. Die an der Front auftretenden Maximalabflüsse können hingegen treffend berechnet werden.

Diese Erklärungen sind rein qualitativer Natur. Es wäre natürlich erstrebenswert, den theoretischen Hintergründen der Formulierungen im Detail nachzugehen, es ist jedoch nicht Zielsetzung der vorliegenden Arbeit.

### 4.3.2 Sensitivitätsanalysen Vorversuche

Auch bei der Ermittlung der Murganghydrographen sind Vorversuche nötig gewesen. Sensitivitätsanalysen sind in zweierlei Hinsicht durchgeführt worden:

- **Murganghydrographen für Gleichung (18) und für Gleichung (21):** Aus den im Kapitel 4.3.1.3 beschriebenen Gründen ergeben sich beträchtliche Unterschiede bei der Konstruktion der Murganghydrographen. Mit Takahashis Kriterium werden weit höhere Maximalabflüsse und als Folge davon auch höhere Feststofffrachten erzielt.

Da das Kriterium von Tognacca wahrscheinlich zu kleine Gesamfrachten liefert, Takahashis Gleichung hingegen zu große, scheint eine Kombination der beiden Kriterien am plausibelsten. Dabei wird die Abflussspitze mit Takahashis Ansatz modelliert, der Murgangkörper mit jenem von Tognacca, und zwar in der Weise, dass die Gleichung Takahashis sozusagen auf die Wendepunkte von Tognaccas Gleichung aufgesetzt wird. Abbildung 21 zeigt ein Beispiel davon.

Weitere Argumente für dieses Vorgehen sind folgende:

- visuelle Beobachtungen zeigen, dass die Murgangfront eine größere Abflusstiefe aufweist als der Murgangkörper, bedingt durch einen hohen Abfluss und eine hohe Konzentration, die den Fließwiderstand erhöht.
- der Anstieg des Murganghydrographen ist meist sehr steil, was im Ansatz von Tognacca nicht wiedergespiegelt wird.

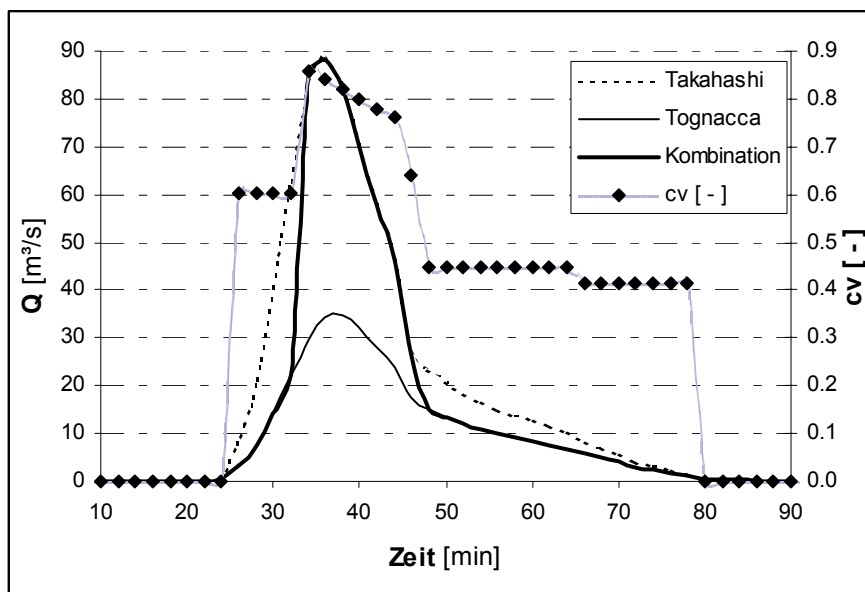


Abbildung 21 - Beispiel für die Kombination der Ansätze von Takahashi und Tognacca

In Abbildung 22 sind die am Querschnitt 8\_3 (unterhalb Teileinzugsgebiet 8c1) mit Gleichung (19) berechneten Feststofffrachten in Abhängigkeit von der Wiederkehrdauer der eingesetzten Reinwasserhydrographen dargestellt. Das Diagramm zeigt deutlich die großen Unterschiede, die sich je nach verwendeter Geschiebetransportformel ergeben.

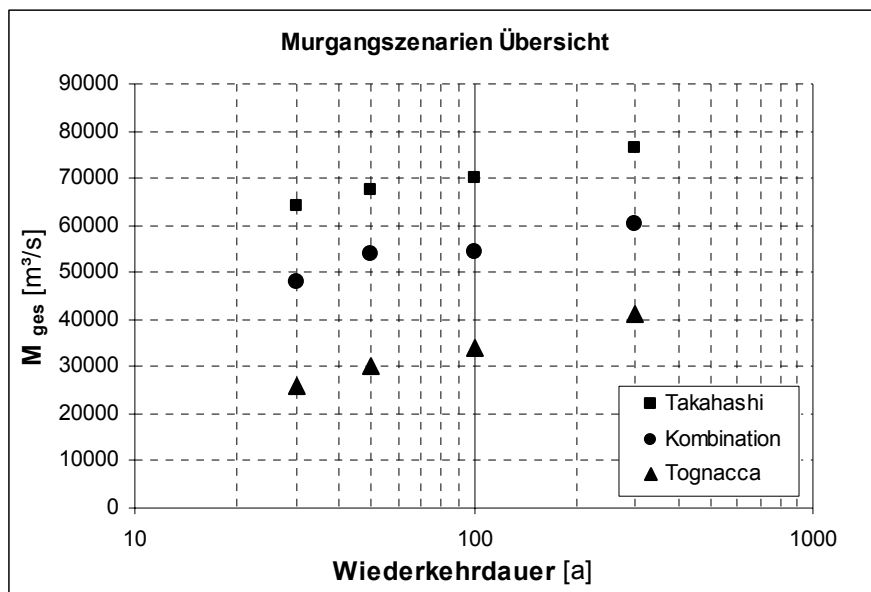


Abbildung 22 - Feststofffrachten bei der Anwendung verschiedener Geschiebetransportformeln am Querschnitt 8\_3 in Abhängigkeit von der Wiederkehrdauer der eingesetzten Reinwasserhydrographen

- **Ermittlung des Feststoffabflusses bei Zusammenfluss von Nebengerinnen:** Mit den bisher beschriebenen Prozeduren ist es möglich, einen Murganghydrographen für ein Gerinne zu beschreiben, in dem es keine Zuflüsse gibt und der Reinwasserhydrograph entlang des Gerinnes keine Veränderungen erfährt. Doch welche Vorgänge spielen sich ab, wenn sich ein Nebengerinne G2 und ein Gerinne G1, wo gerade ein Murgang abläuft, zu einem Gerinne G3 vereinigen? Diesbezüglich sind wiederum verschiedene Szenarien denkbar:
  - *Fall a:* G1 kommt als gesättigter Murgang bei der Mündung von G2 an, d.h. keine weitere Materialaufnahme ist möglich. Unter der Annahme, dass G2 selbst nur Reinwasser führt, besitzt das Gerinne aufgrund des zusätzlichen Reinwassers aus G2 plötzlich wieder eine Erosionskapazität. Es kann also im Abschnitt G3 die Differenz zwischen  $Q_B$  aus G1 und  $Q_{B,theoretisch}$  aufgrund des summierten Reinwasserabflusses aus G1 und G2 erodieren, und man erhält am untersten Querschnitt von G3 einen neuen Murganghydrographen. Theoretisch könnte dieses Vorgehen immer weiter nach unten fortgesetzt werden, normalerweise ist jedoch der Erosionskapazität eine Grenze gesetzt, meist bei Eintritt in die Transportstrecke, weil dort kein erodierbares Material mehr vorhanden ist, oder – wie es beim Tschenglser Bach der Fall ist – der Gerinnevertiefung durch Verbauungen Einhalt geboten ist.
  - *Fall b:* Der zusätzlich Feststoffabfluss aus G3 kann auch dadurch modelliert werden, dass man, getrennt von G1, einen Murganghydrographen aufgrund der Erosionskapazität des Reinwasserabflusses aus G2 in G3 berechnet und dann mit dem von G1 kommenden Murganghydrographen überlagert. Es ergeben sich höhere Feststofffrachten am Ausgang von G3, da aber die Grundüberlegung mehr oder weniger dieselbe ist wie bei Fall a, sind die Unterschiede gering.

Es wird deshalb als ausreichend erachtet, bei der Ermittlung der Murganghydrographen nur Fall a anzuwenden<sup>27</sup>.

- *Fall c*: Wenn G2 ebenfalls eine Murgangfähigkeit besitzt, kann auch von dort bereits ein Murgang ankommen. Es ist dann zu beurteilen, was in G3, aufgrund der Überlagerung der beiden Murgänge aus G1 und G2, passiert. Es ist möglich, dass es zu ersten Ablagerungen kommt, dass G3 als eine Transportstrecke wirkt oder dass auch aus G3 weiteres Material erodiert wird.

### 4.3.3 Definition der Szenarien

#### 4.3.3.1 Murgänge im Fernerbach (Teileinzugsgebiet 8c)

Aufgrund der durchgeführten Vorversuche sind die Murganghydrographen auf die im Folgenden beschriebene Weise erarbeitet worden:

Wie schon erwähnt, bildet der Fernerbach den Hauptgegenstand der Untersuchung, da sich die Murgänge des Jahres 1999 von dort gelöst haben. In Kapitel 4.6 wird näher auf die Ereignisse des Jahres 1999 eingegangen.

Die Murgänge im Fernerbach entstehen ab einer Höhe von 2450 m beim Übergang von einer Felskante ins Lockermaterial (Querschnitt 8\_3 im Modell HEC – HMS, s. Anhang A2.1.1). Diese Felskante wirkt wie ein Trichter, in dem der an der Tschenglser Hochwand niedergegangene Niederschlag (Teileinzugsgebiet 8c1) gesammelt wird. Mit dem am Punkt 8\_3 resultierenden Reinwasserhydrographen wird der Murganghydrograph, der sich entlang der Strecke 8\_3 – 8\_2 aufbaut, ermittelt. Zur Berechnung der Volumenkonzentration des Murganges wird die Neigung des Gerinnes benötigt. Diese nimmt jedoch entlang der Murgangentstehungsstrecke kontinuierlich ab. In Übereinstimmung mit den Spuren vom Ereignis 1999 wird eine maximale Erosionsleistung von etwa 50 m<sup>3</sup>/m festgelegt. Auf diese Weise kann man – in Kombination mit der Annahme, dass die Mobilisierung des Materials in Fließrichtung erfolgt – festlegen, welcher Bereich des Gerinnes zum jeweiligen Zeitpunkt des Geschehens gerade erodiert wird und wie groß demzufolge – in Abhängigkeit von der Neigung – die Feststoffkonzentration ist.

Am Querschnitt 8\_2 (h = 2020 m) vereinigen sich mehrere Nebengerinne (8a, 8b, 8c). Deshalb treten die in Kapitel 4.3.2 besprochenen Fälle ein. Aufgrund der im Gelände vorzufindenden Gegebenheiten ist es eher unwahrscheinlich, dass 8a und 8b bereits als Murgänge am Punkt 8\_2 ankommen. Anhand der beschriebenen Vorgehensweise in Fall a (Kapitel 4.3.2) wird die Entwicklung des Murganghydrographen entlang der Strecke 8\_2 – 8\_1 modelliert.

Am Querschnitt 8\_1 (h = 1980 m) münden weitere Nebengerinne in den Fernerbach (8d, 8e, 8f). Bei den Geländebegehungen konnte festgestellt werden, dass im Abschnitt von 8\_1 bis zum Fuß des Wasserfalls kein oder nur sehr wenig Material erodiert wird, obwohl der Reinwasserabfluss beträchtlich ansteigt. Dies ist einerseits damit zu erklären, dass das Gerinne in diesem Abschnitt breiter ist, wodurch die Transportkapazität kleiner wird, andererseits ist die Sohle von sehr großen Gesteinsblöcken gesäumt, wodurch sie sich in einem ziemlich stabilen Zustand befindet. In diesem Bereich finden bei Murgängen zum Teil schon Ablagerungen

---

<sup>27</sup> Die Ungenauigkeit der Modellierung ist aufgrund der nicht eindeutig geklärten Vorgänge sicher größer als der Unterschied in den Ergebnissen zwischen Fall a und Fall b.

statt<sup>28</sup>. In den Berechnungen wird die Strecke 8\_1 – WF1 als Transportstrecke, wo weder Ablagerung noch Erosion stattfinden, gewertet.

Am Fuß der Wasserfälle vereinigen sich alle Nebengerinne des oberen Einzugsgebietes und bilden den Tschenglser Bach. Ein Murgang aus dem Einzugsgebiet 8c wird durch die weiteren Reinwasserzuflüsse verdünnt. Da man annehmen kann, dass die Geschiebeeinstöße von den anderen Nebengerinnen relativ gering im Verhältnis zur Geschiebefracht eines Murganges aus dem Gerinne 8c sind, wird die Veränderung des Murganghydrographen am Querschnitt 8\_1 dahingehend modelliert, dass er mit dem aus den übrigen Teileinzugsgebieten stammenden Reinwasserabfluss beaufschlagt wird.

Die Wasserfälle selber werden in der Modellierung nicht berücksichtigt. Zum einen steht kein adäquates Modell zur Verfügung, zum anderen kann die Wirkung der Wasserfälle auf die Murganghydrographen in erster Näherung als gering im Vergleich zu den anderen Einflüssen beurteilt werden.

Abbildung 23 zeigt ein Beispiel eines Ergebnisses für die eben beschriebenen Modellierungen, und zwar sind die Hydrographen dargestellt, die sich aufgrund eines mit dem Programm HEC – HMS berechneten 100 – jährigen Hochwassers ergeben. Die detaillierten Berechnungen und gesamten Darstellungen sind im Anhang A4 zu finden. Die Ganglinien scheinen plausibel und sind auch imstande, mehrere allgemeine Merkmale von Murgängen wiederzugeben:

- Die Murganghydrographen ( $Q_{ges,WF1}$ ,  $Q_{ges,8_2}$ ,  $Q_{ges,8_3}$ ) sind von einem sehr steilen Anstieg gekennzeichnet. In etwa 10 Minuten steigt der Murgang auf die Abflussspitze an. Die Abflussspitze kommt mehr oder weniger der Murfront gleich. Der maximale Durchfluss wird für wenige Minuten beibehalten, danach sinkt der Abfluss wieder ab. Der absteigende Ast entspricht dem Murkörper und nimmt viel mehr Zeit in Anspruch als der Anstieg.
- Beim Murganghydrographen für WF1 fällt zwischen Minute 50 und Minute 60 eine Art Plateau auf. Auch bei Murgängen in der Natur beobachtet man innerhalb eines Schubes Abläufe, bei denen der Abfluss nach Durchgang der Murfront absinkt, aber auch über längere Zeit konstant bleibt oder sogar wieder ansteigt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Teileinzugsgebiete eine verschiedene Konzentrationszeit haben und so ihr Maximum nicht zum gleichen Zeitpunkt im Hauptgerinne auftritt. Dadurch kann aufgrund der in Kapitel 4.3.2 beschriebenen Vorgänge Material neu mobilisiert werden oder auch einfach der Abfluss wieder ansteigen und der Murgang verdünnt werden.
- Die Kurve für die Volumenkonzentration bestätigt, dass die Murfront eine sehr hohe Konzentration aufweist. Dabei lässt sich häufig beobachten, dass die Konzentration vor Erreichen der Abflussspitze ihr Maximum erzielt und bei Durchgang der Abflussspitze schon wieder abgesunken ist (O'Brien, 2001). Auch im vorliegenden Fall wird dies bestätigt: Die maximale Konzentration von 78 % tritt bei einem Abfluss von 105 m<sup>3</sup>/s auf, beim Erreichen der Abflussspitze beträgt die Konzentration schon nur mehr 68 %. Nach einer gewissen Zeit sinkt die Konzentration bis auf einen Wert von etwa 20 % ab, den sie dann bis zur Beendigung des Murganges annähernd beibehält. Auch in der Natur reduziert sich die Konzentration gegen Ende des Murkörpers hin oft stark und der Murgang geht in einen hyperkonzentrierten Abfluss über.

---

<sup>28</sup> Von den Ereignissen 1999 sind sehr gut ausgebildete Levées vorhanden.

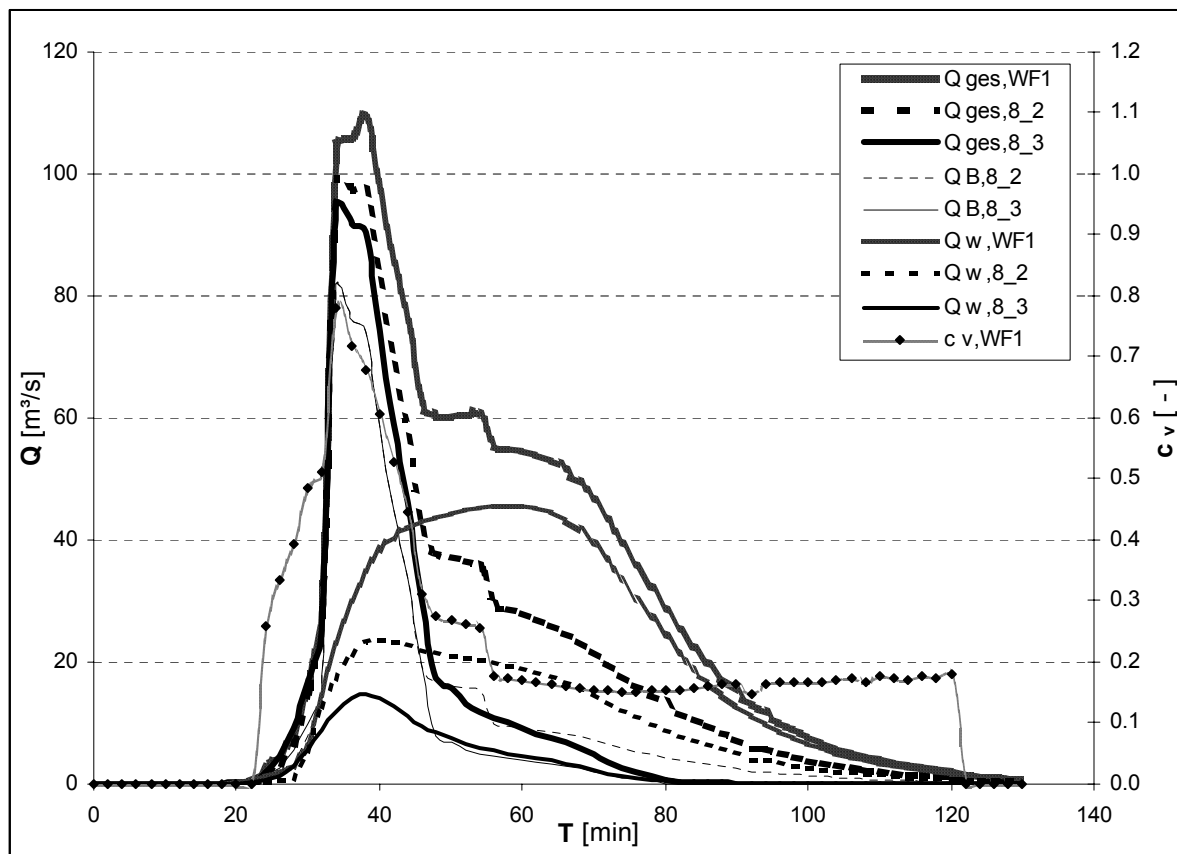


Abbildung 23 - Reinwasser-, Feststoff- und Murganghydrographen, Volumenkonzentration an ausgewählten Querschnitten

In Abbildung 24 sind die Murfrachten des Tschenglser Baches aus Einzugsgebiet 8c in Funktion der zu Grunde gelegten Wiederkehrdauer der Reinwasserhydrographen dargestellt. Ähnlich wie bei Abbildung 16 stellt man auch hier fest, dass die Feststofffrachten in Bezug auf die Jährlichkeit der Reinwasserhydrographen ein logarithmisches Verhalten aufweisen.

An dieser Stelle ist es wichtig zu bemerken, dass ein linearer Zusammenhang zwischen der Wiederkehrdauer eines Reinwasserhydrographen und der Wiederkehrdauer eines Murereignisses in der Murgangforschung bisher nicht nachgewiesen wurde und wahrscheinlich auch nicht besteht. Die Entstehung eines Murganges hängt nämlich nicht nur vom Reinwasserhydrographen ab, sondern vor allem auch von der variablen Disposition des Einzugsgebietes (s. Abbildung 2). Es ist vielmehr anzunehmen, dass ein Reinwasserabfluss von sehr seltener Wiederkehrdauer (z.B. HQ300) durch das hohe Reinwasservolumen einen Murgang so sehr verdünnt, dass er durch seine niedere Konzentration schneller abfließt und beispielsweise weniger hoch steigt als ein Murgang, der durch ein Hochwasser von seltener Wiederkehrdauer (z.B. HQ100) verursacht worden ist.

Aus diesem Grund werden die Murgänge am Tschenglser Bach nicht nach Jährlichkeit, sondern qualitativ in die Kategorien „häufig“, „selten“ und „sehr selten“ eingeteilt. Dabei entsprechen häufige Murgänge einer Wiederkehrdauer von etwa 30–100 Jahren, seltene einer Wiederkehrdauer von etwa 100–300 Jahren und sehr seltene einer Wiederkehrdauer von 300 Jahren und darüber. Tabelle 8 zeigt die errechneten Murfrachten und Maximalabflüsse für

Murgänge aus dem Teileinzugsgebiet 8c, Abbildung 25 die dazugehörigen Murganghydrographen an der Stelle WF1.

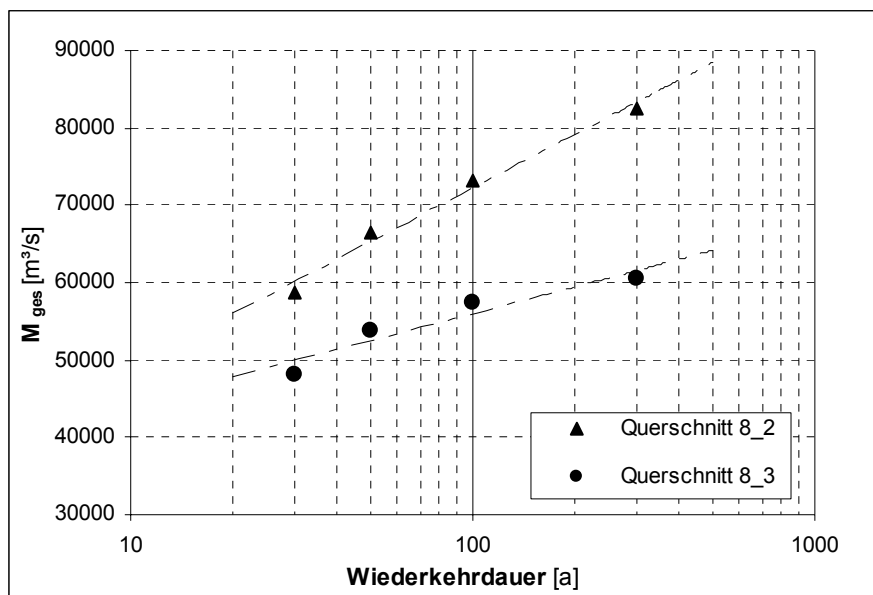


Abbildung 24 - Feststofffrachten in Funktion der Wiederkehrdauer der Reinwasserhydrographen

Stelle	häufiger Murgang				seltener Murgang				sehr seltener Murgang			
	Q <sub>max,w</sub> [m³/s]	Q <sub>max,B</sub> [m³/s]	Q <sub>max,ges</sub> [m³/s]	V <sub>B</sub> [m³]	Q <sub>max,w</sub> [m³/s]	Q <sub>max,B</sub> [m³/s]	Q <sub>max,ges</sub> [m³/s]	V <sub>B</sub> [m³]	Q <sub>max,w</sub> [m³/s]	Q <sub>max,B</sub> [m³/s]	Q <sub>max,ges</sub> [m³/s]	V <sub>B</sub> [m³]
8_3	12.8	67.2	80.0	48000	16.3	81.7	95.0	58000	19.7	92.8	111.8	60000
8_2	17.9	67.2	84.6	59000	23.7	81.7	99.0	73000	29.4	92.8	119.2	83000
WF1	31.1	67.2	91.5	59000	45.6	81.7	109.2	73000	59.8	92.8	132.2	83000

Tabelle 8 - Murfrachten und Maximalabflüsse (bei WF1) für Murgänge aus dem Teileinzugsgebiet 8c

#### 4.3.3.2 Murgänge in anderen Teileinzugsgebieten

Im Tschenglsler Bach laufen nicht nur Murgänge ab, die aus dem Teileinzugsgebiet 8c stammen. Aus der Ereignisgeschichte weiß man, dass auch im Gerinne 6, im Volksmund "Fidegger" genannt, schon öfters Murgänge abgegangen sind. Beispielsweise vermutet man, dass der Murgang des Jahres 1971 aus diesem Gerinne gestammt hat. Auch im Gerinne 8d sind Spuren von Murgängen vorhanden.

An dieser Stelle wäre es möglich, auf ähnliche Weise wie für Gerinne 8c auch für andere Teileinzugsgebiete Murganghydrographen zu erarbeiten. Aus den folgenden Gründen wird dieses Vorgehen als nicht zweckmäßig erachtet:

- Das Einzugsgebiet des Gerinnes 6 ist etwa gleich groß wie das Teileinzugsgebiet 8c. Auch in klimatischer und geländemorphologischer Hinsicht gleichen sich die beiden Teileinzugsgebiete. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich Murgänge aus dem Gerinne 6 und Murgänge aus dem Gerinne 8c nicht sehr stark unterscheiden. Mit der Erarbeitung der Murgänge aus Gerinne 8 ist die auch Bandbreite der Murgänge aus Gerinne 6 sicher ausreichend erfasst.

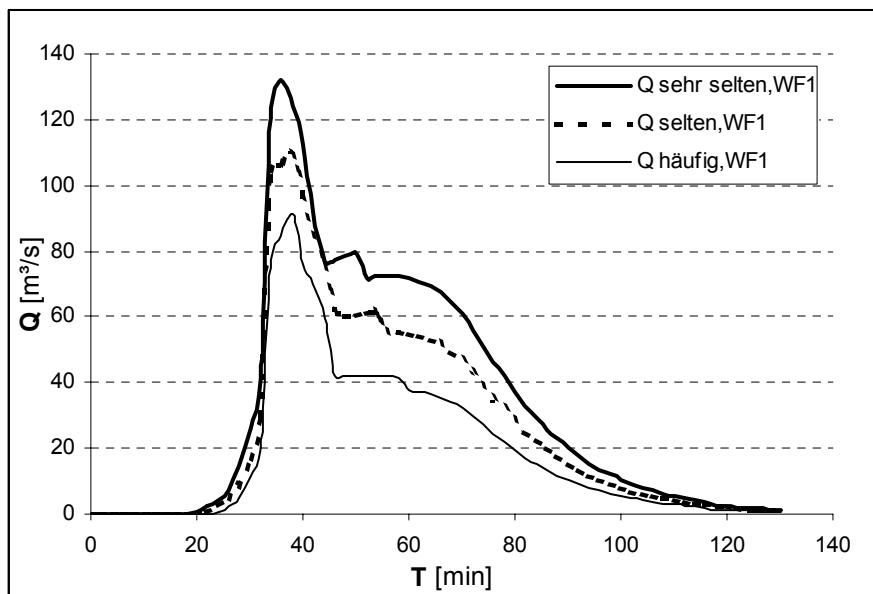


Abbildung 25 - Murganghydrographen am Fuß des Wasserfalls (WF1)

- Das Einzugsgebiet des Gerinnes 8d ist viel kleiner als jenes des Gerinnes 8c. Die Murganggefahr aus Gerinne 8d sollte deshalb nicht vernachlässigt werden, man kann jedoch davon ausgehen, dass die Ereignisgrößen von Gerinne 8d auch in den Murganghydrographen aus 8c enthalten sind.

Die Möglichkeit, dass Murgänge aus verschiedenen Einzugsgebieten gleichzeitig abgehen, ist natürlich gegeben. Die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Fall eintritt, ist jedoch wesentlich kleiner als die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses aus einem einzigen Teileinzugsgebiet. Schon allein die meteorologische Gegebenheit, dass Schauerzellen mit wirklich hoher Intensität sehr begrenzte Ausmaße haben und nur auf einer kleinen Fläche abgehen, vermindert diese Möglichkeit. Auch spielen andere Faktoren wie Geschiebeverfügbarkeit oder Bodendurchfeuchtung eine große Rolle für die Entstehung von Murgängen. Auch diese Disposition ist von Einzugsgebiet zu Einzugsgebiet verschieden. Zudem kann man annehmen, dass Murgänge aus mehreren Teileinzugsgebieten zu verschiedenen Zeitpunkten das Hauptgerinne erreichen und ihre maximalen Abflussspitzen deshalb verzögert auftreten. Es ist auch davon auszugehen, dass es im Tschenglsler Bach eine Grenze für eine maximale Murfracht gibt, die nicht viel höher liegt als in der Ermittlung der Murganghydrographen errechnet (s. Kapitel 4.3.3.4).

#### 4.3.3.3 Obere Grenze der Feststofffracht von Murgängen am Tschenglsler Bach

Die Murgangsszenarien zeigen, dass es bei der Mobilisierung von Feststoffen wahrscheinlich einen oberen Grenzwert gibt. Wodurch wird dieser gesteuert? Verschiedene Randbedingungen haben einen Einfluss:

- **Geschiebeverfügbarkeit:** Bei verschiedenen Wildbächen bestimmt das vorhandene Geschiebe die obere Grenze der Murfracht. Der Tschenglsler Bach verfügt über eine große Menge von mobilisierbarem Material. Deshalb ist auch für die Zukunft auszuschließen, dass die Feststofffrachten aufgrund von zu wenig Material begrenzt werden.
- **Hydrologische Ursachen:** Auch ein maximal möglicher Niederschlag (PMP) kann nur einen Abfluss mit einem begrenzten Transportvermögen hervorrufen. Beim Tschenglsler



Bach spricht vieles dafür, dass die maximal mögliche Murfracht durch die hydrologischen Rahmenbedingungen bestimmt wird.

- **Geotechnische Ursachen:** Vor allem bei Murgängen aus dem Gerinne gibt es ein maximales Erosionsvermögen (in die Tiefe und in die Breite), das durch Eigenschaften des Materials und des Gerinnes begrenzt wird. Ein Bach mit einem kleinen Querschnitt erodiert weniger tief als ein größeres Gerinne mit einem höheren Abfluss.

Bei den Murgängen des Jahres 1999 wurden im Fernerbach etwa 40 – 50 m<sup>3</sup>/m an Feststoffen mobilisiert. Im Bericht der VAW (1992) wird eine Gleichung für eine maximale Erosionsleistung angegeben, die anhand der zahlreichen Murereignisse von 1987 in der Schweiz definiert wurde:

$$EL = 110 - 250 \cdot J_k \tag{22}$$

mit EL ... Erosionsleistung [m<sup>3</sup>/m]  
 J<sub>k</sub> ... Gefälle des Kegels [ - ]

Bei einem mittleren Gefälle des Murkegels von 9 % würde die maximale Erosionsleistung somit an die 90 m<sup>3</sup>/m betragen.

- **Andere Ursachen:** Man kann eine maximale Murfracht auch von einem geländemorphologischen Standpunkt aus beurteilen, etwa nach dem Motto: Jede Landschaft hat die Form, die sie verdient. Es ist beispielsweise interessant zu beobachten, dass eine bestimmte Niederschlagshöhe in einer Region schon zu Murgängen führt, während in einer anderen Region derselbe Niederschlag überhaupt keine Probleme verursacht. Die Natur schafft sich von alleine ihr Gleichgewicht und das hat zur Folge, dass die Feststofffracht der Murgänge einen oberen Grenzwert besitzt, der sozusagen auf die Ausprägung des Einzugsgebietes zugeschnitten ist. Die Vielzahl an empirischen Formeln, die in der Literatur zur Abschätzung der maximalen Feststofffracht von Murgängen existieren, spiegeln wohl auch diese obere Begrenzung wider.

4.3.3.4 Empirische Formeln zur Bestimmung der Feststofffracht

Formel	Murfracht [m <sup>3</sup> ]
Hampel (1977)	65.000
Hampel (1980)	38.000
Marchi und Tecca (1996)	75.000
VAW (1990)	85.000
Takei (1984)	58.000
Zeller max (1985)	172.000
Zeller min (1985)	108.000

Tabelle 9 - empirisch ermittelte Murfrachten für den Tschenglser Bach

In der Literatur (Hampel, 1977, Hampel, 1980, Marchi und Tecca, 1996, VAW, 1990, Takei, 1984, Zeller, 1985) existiert eine große Anzahl empirisch ermittelter Formeln zur Festlegung

einer maximalen Feststofffracht für Murgänge. Die wichtigsten Parameter, die in diese Formeln eingehen, sind die Größe des Einzugsgebietes und die Neigung des Schwemmkegels. In der VAW – Formel findet die Gerinnelänge Berücksichtigung, was eigentlich sinnvoller erscheint, da Murgänge normalerweise aus gerinnenahen Bereichen entstehen.

Die ermittelten Werte in Tabelle 9 sind mit Vorsicht zu interpretieren. Erfahrungen haben gezeigt, dass auf diese Weise ermittelte Murfrachten bis zu einem Faktor 100 abweichen können (Bezzola, 2000). Für den vorliegenden Fall des Tschenglser Baches ergeben sich jedoch teilweise recht gute Näherungen, wenn man mit den in Kapitel 4.3.3.1 ermittelten Murfrachten vergleicht. Es lässt sich auf alle Fälle festhalten, dass die im Tschenglser Bach zu erwartenden maximalen Feststofffrachten in der Region von 100.000 m<sup>3</sup> liegen.

## 4.4 Transportbereich

### 4.4.1 Deformation der Murganghydrographen

Der Bereich ab dem Fuß der Wasserfälle bis zum Eintritt ins Dorf (Fließlänge ca. 2,8 km) kann – von den Geschieberückhaltebecken einmal abgesehen – als Transportstrecke modelliert werden. Die Feststoffbilanz in diesem Abschnitt ist also neutral, d.h. dass sich erodiertes und abgelagertes Volumen die Waage halten.

Auch hier wäre es nicht zielführend, genauere Analysen in Bezug auf die Feststoffbilanz durchzuführen, da die Unsicherheit in den Annahmen viel zu groß ist und die Genauigkeit des gesamten Modells nicht erhöht würde. Es ist zwar anzunehmen, dass in der Sperrenstrecke zwischen 1600 und 1500 m Höhe einiges an Material liegen bleibt. Andererseits schneidet der Tschenglser Bach in der Transportstrecke mehrere Hänge aus Lockermaterial an, sodass es während eines Murereignisses durchaus noch diffuse Materialeinträge geben kann.

Nicht zu vernachlässigen ist die Deformation der Murgangwelle entlang der Transportstrecke. Dabei kann man annehmen, dass sich der Murgang näherungsweise wie eine homogene, newton'sche Flüssigkeit verhält, sodass empirische Gleichungen wie z.B. die Stricklergleichung zur Beschreibung des Fließwiderstandes verwendet werden können.

Die Modellierung der Dammbrechwelle erfolgt mittels des Programms DAMBRK. Dieses Programm wurde ursprünglich vom NWS – National Weather Service der USA zur Abflussberechnung einer aufgrund eines Dammbrechens entstehenden Welle entwickelt, es ist aber auch dazu geeignet, Hochwasserganglinien eindimensional zu modellieren. Dabei werden die erweiterten instationären Strömungsgleichungen von de Saint-Venant verwendet (s. auch Kapitel 4.5). Die Lösung erfolgt mittels einer impliziten Methode der finiten Differenzen.

Die Geometrie der Transportstrecke wird mit Hilfe von Querschnitten in einem Abstand von jeweils 100 m definiert. Dies erfolgt anhand folgender Grundlagen:

- Landeskarte der Autonomen Provinz Bozen im Maßstab 1:10.000,
- Pläne von Projekten des Amtes für Wildbachverbauung im Mittellauf.

Zur Beschreibung des Fließwiderstandes wird die Eingabe der Rauigkeitsbeiwerte benötigt. Wie bereits in Kapitel 2.4.2 erwähnt, werden Murgänge auch oft als turbulente Strömungen mit einer erhöhten Rauigkeit modelliert. In der Literatur sind verschiedene Angaben in Bezug auf den Manning- bzw. Stricklerbeiwert zu finden:

- Bezzola (2000) gibt einen abflussabhängigen Stricklerbeiwert an:  $k_{St} = \frac{1}{0.077 \cdot Q_{max}^{0.067}}$ . Das entspricht bei einem  $Q_{max}$  zwischen 90 – 130 m<sup>3</sup>/s einem Stricklerbeiwert  $k_{St}$  von etwa 9.5.
- Armanini (1998) empfiehlt,  $k_{St}$  mit 10 – 13 anzusetzen.
- Das *Public Works Research Institute* (PWRI, 1998) von Japan gibt für eine Murfront ein  $k_{St} = 10$  an.

Aufgrund dieser Angaben wird für die Modellierung der Transportstrecke ein Stricklerbeiwert von 10 gewählt.

#### 4.4.2 Geschieberückhaltebecken

Entlang der Transportstrecke des Tschenglser Baches befinden sich zwei Geschieberückhaltebecken:

- GRB2 („Kohlstattl“) auf einer Höhe von 1300 m mit einem Speichervolumen von etwa 12.000 m<sup>3</sup>,
- GRB1 („Fernil“) auf einer Höhe von 1000 m mit einem Speichervolumen von etwa 7.000 m<sup>3</sup>.

Die Geschieberückhaltebecken sind zwar nicht imstande, große Murgänge zum Stillstand zu bringen, sie erfüllen aber dennoch eine wichtige Funktion:

- Da der Murganghydrograph in der Regel sehr steil ansteigt, trifft zu Beginn des Ereignisses die Murfront mit den großen Blöcken ein. So lagern sich diese im noch leeren GRB ab. Jener Teil des Murgangs, der die höchste Konzentration und damit auch den höchsten Fließwiderstand aufweist (s. Kapitel 4.5.2), wird durch das GRB aufgefangen.
- Bei einer ausreichenden Größe des GRB wird die Murgangabflussspitze gekappt. Dies hat zur Folge, dass der Murgang weitgehend seine Gefährlichkeit verliert.

Es darf natürlich nicht außer Acht gelassen werden, dass es durch das schubweise Auftreten von Murgängen auch vorkommen kann, dass die GRB bereits gefüllt sind, wenn ein Murgang ankommt und sie daher ihre Wirkung verlieren. Im Fall des Tschenglser Baches sind die GRB jedoch voll mitberücksichtigt worden. Dies lässt sich damit begründen, dass nur relativ große Murgänge das Dorf gefährden (s. Kapitel 4.7). Aufgrund der Ereignisdokumentation kann man davon ausgehen, dass es nach dem Abgang von großen Murgängen wieder eine Zeit lang für ein ähnlich großes Ereignis braucht. Die unmittelbaren Nachfolgeereignisse von größeren Murgängen haben ein kleineres Ausmaß und es kann deshalb auch akzeptiert werden, wenn die GRB gefüllt sind.

Die Modellierung der GRB erfolgt mittels folgender vereinfachten Überlegung: Der ins GRB eintretende Murgang lagert die Feststoffe so lange ab, bis es vollständig gefüllt ist. Während dieser Zeit fließt aus dem GRB nur Reinwasser aus. Das Gerinne unterhalb des GRB führt erst bei vollständiger Füllung des GRB wieder Feststoffe.

### 4.4.3 Resultate

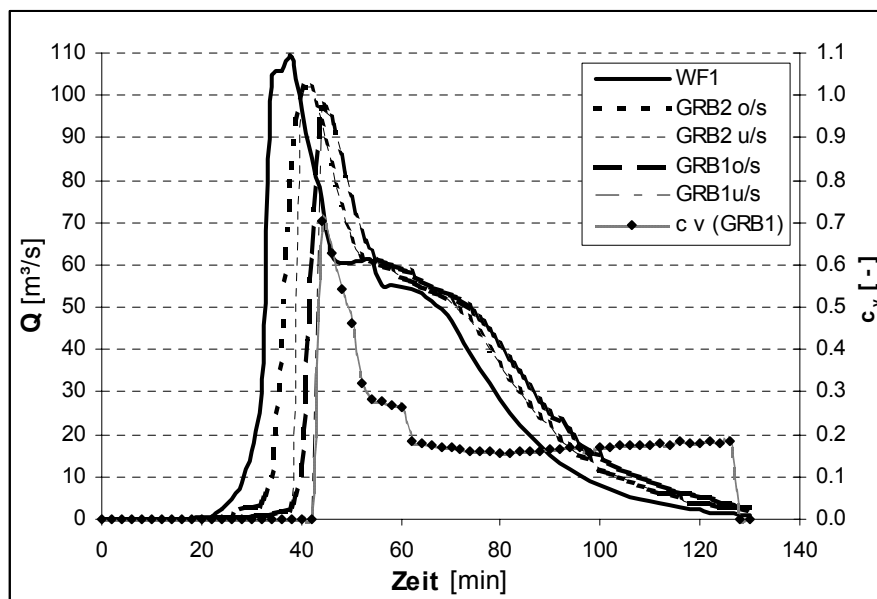


Abbildung 26 - Deformation der Murganghydrographen entlang Transportstrecke

In Abbildung 26 ist die Deformation der Murganghydrographen entlang der Transportstrecke am Beispiel eines seltenen Murgangs ( $M = 73.000 \text{ m}^3$ ) dargestellt.

Es lassen sich folgende Beobachtungen machen:

- Der maximale Murgangabfluss nimmt entlang der Transportstrecke erwartungsgemäß ab. Die Reduktion der Abflussspitze beträgt dabei – je nach Murgang – zwischen 11 % und 20 % (Berechnung s. Anhang A5).
- Die theoretische Fließzeit beträgt ca. 6 Minuten. Dabei sind aber weder die Zeit zur Auffüllung der Geschieberückhaltebecken, noch die verzögernde Wirkung der Sperrenstrecke mitberücksichtigt. Laut Augenzeugenberichten war das GRB1 bei den Murgängen 1999 in wenigen Minuten gefüllt. Die reelle Fließzeit von den Wasserfällen bis zum Dorf kann demnach mit etwa 12 – 15 Minuten angesetzt werden, was einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 3 – 4 m/s entspricht.
- Die GRB sind zu klein, um die Murgangabflussspitze zu kappen. Der Bereich, in dem die höchste Konzentration des Murganges auftritt, wird jedoch aufgefangen. Im Beispiel der Abbildung 26 nimmt die maximale Konzentration des Murganges allein durch die Wirkung der GRB von 78 % auf 70 % ab.

Man muss sich natürlich bewusst sein, dass die durchgeführten Berechnungen die Wirklichkeit stark vereinfachen. Zum Beispiel wird implizit die Annahme getroffen, dass das Verhältnis von Reinwasser zu Feststoffen entlang der Transportstrecke konstant bleibt. Auch verhalten sich die GRB in der Realität weitaus komplexer als hier modelliert.

## 4.5 Modellierung der Murgänge im Siedlungsbereich

### 4.5.1 Das Programm FLO-2D

Ab dem Fuß des GRB1 bis zur Mündung werden die Murgänge numerisch modelliert. Zur Anwendung kommt dabei das Modell FLO-2D, das eines der wenigen kommerziell erhältlichen Programme mit der Möglichkeit zur Murgangmodellierung ist.

Das Programm FLO-2D ist ein rasterbasiertes, zweidimensionales Modell zur physikalischen Simulation von Reinwasserabflüssen, hyperkonzentrierten Abflüssen sowie viskosen und granularen Murgängen. FLO-2D führt die Abflussberechnung mit der Methode der finiten Differenzen für den aus dem Niederschlag entstehenden Abfluss oder für einen gegebenen Hydrographen auf Basis einer diffusen oder dynamischen Welle zweidimensional über eine Oberfläche oder eindimensional durch ein Gerinne durch.

Als Eingabeparameter werden ein digitales Geländemodell zum Aufbau der Rasterelemente, eventuell die Gerinnegeometrie und –rauigkeit, Informationen über die Oberflächenbeschaffenheit des Geländes, eine Niederschlagsverteilung oder ein Hydrograph und die rheologischen Eigenschaften des Feststoff – Wassergemisches in Abhängigkeit von der volumetrischen Feststoffkonzentration benötigt (Hübl, 2000).

Das Modell FLO-2D wird in mehreren Ländern wie zum Beispiel in Italien (Ghilardi et al., 2000), Österreich (Hübl, 2000), Schweiz (VAW, 2001) oder den USA (O'Brien, 2001) zur Simulation von Murgängen angewandt. Es ist auch schon Gegenstand umfangreicher Sensitivitätsanalysen und Vergleichsanalysen zwischen Labor und Modell gewesen (Bergomi, 2001).

Die Modellierung der gegebenen Hydrographen erfolgt als dynamische oder diffusive Welle auf der Basis der Gleichungen von de Saint – Venant. Dazu gehören die Kontinuitätsgleichung:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hv_x}{\partial x} + \frac{\partial hv_y}{\partial y} = 0 \quad (23)$$

sowie die zweidimensionalen Bewegungsgleichungen:

$$J_{fx} = J_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial v_x}{\partial t} \quad (24)$$

$$J_{fy} = J_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_y}{\partial y} - \frac{v_x}{g} \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v_y}{\partial t} \quad (25)$$

<i>mit</i>	x, y	...	Raumkoordinaten
	t	...	Zeit
	h	...	Abflusstiefe
	v <sub>x</sub> , v <sub>y</sub>	...	x,y – Komponenten der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit
	J <sub>fx</sub> , J <sub>fy</sub>	...	x,y – Komponenten des Reibungsgefälles
	J <sub>ox</sub> , J <sub>oy</sub>	...	x,y – Komponenten des Sohlgefälles

$$\frac{\partial h}{\partial x}, \frac{\partial h}{\partial y} \quad \dots \quad \text{Druckkraft}$$

$$\frac{v_x}{g} \frac{\partial v_x}{\partial x}, \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_x}{\partial y}, \frac{v_y}{g} \frac{\partial v_y}{\partial y}, \frac{v_x}{g} \frac{\partial v_y}{\partial x} \quad \dots \quad \text{konvektive Beschleunigungsterme}$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v_x}{\partial t}, \frac{1}{g} \frac{\partial v_y}{\partial t} \quad \dots \quad \text{lokale Beschleunigungsterme}$$

Bei der Anwendung der diffusiven Welle werden die konvektiven und lokalen Beschleunigungsterme vernachlässigt, die dynamische Welle berücksichtigt alle in der Bewegungsgleichung enthaltenen Terme<sup>29</sup> (Chow et al., 1988).

Im Modell FLO-2D kann die Abflussberechnung auf Basis der diffusiven oder der dynamischen Welle erfolgen. Die Unterschiede im Ergebnis sind gering, vor allem bei erhöhtem Gefälle sind die bei der dynamischen Welle zusätzlich berücksichtigten Terme klein. Erst ab einem Gefälle von  $< 1\%$  ergeben sich größere Unterschiede.

Das Modell FLO-2D löst die Bewegungsgleichungen mit der Methode der zentralen, finiten Differenzen. Um die numerische Stabilität des Modells zu kontrollieren, wird das Kriterium der Volumenerhaltung angewandt. Treten während der Simulation signifikante Volumenverluste oder –zuwächse auf, so ist das ein Hinweis auf Fehler in den Eingabedaten oder auf ungeeignete Simulationstechniken (O'Brien, 2000).

#### 4.5.2 Topographie

Das Modell FLO-2D benötigt zum Aufbau der Rasterelemente ein digitales Geländemodell. Zur Erarbeitung des Geländemodells standen folgende topographische Grundlagen zur Verfügung:

- Landeskarten im Maßstab 1:5.000 der Autonomen Provinz Bozen im Rasterformat,
- Pläne von Projekten des Amtes für Wildbachverbauung im Dorfbereich,
- Terrestrische Vermessung des Bachbereiches im Dorf, durchgeführt durch die Ingenieurgemeinschaft Patscheider & Partner.

Zu Beginn des Projektes war vorgesehen, aus den Plänen von Projekten der Wildbachverbauung ein digitales Geländemodell zu erstellen. Die Pläne stammen von Bauprojekten der 70 – er Jahre. Es stellte sich heraus, dass sie nur zum Teil den wirklichen Verhältnissen entsprechen. Deshalb ist eine zusätzliche terrestrische Vermessung durchgeführt worden, um alle wichtigen topographischen Gegebenheiten des Bachbereiches aufzunehmen. Damit ist eine solide topographische Grundlage für die numerische Modellierung vorhanden.

Für den Ablagerungsbereich im Auenwald ist eine Digitalisierung der Landeskarten vorgenommen worden. Dort sind Höhenlinien im 5m – Abstand enthalten.

Das digitale Geländemodell wird mittels des Programms SiteWorks MicroStation erstellt. Darin ist es möglich, Höhenlinien, Bruchkanten sowie einzelne Geländepunkte in ein Geländemodell zu integrieren. Es besteht auch die Option, über das Geländemodell ein regelmäßiges Raster mit beliebigen Zellengrößen zu legen.

<sup>29</sup> Bei der kinematischen Welle werden nur die Terme, die das Sohlgefälle und das Reibungsgefälle beinhalten, berücksichtigt.

Im Modell FLO-2D wurde in der Vorversuchsphase mit verschiedenen Zellengrößen experimentiert. Zu Beginn wurde der Gerinnequerschnitt als Oberfläche modelliert, um auch dort zweidimensionale Effekte berücksichtigen zu können. Dieses Vorgehen wurde jedoch aus folgenden Gründen wieder verworfen:

- Um eine genügend hohe Genauigkeit zu erzielen, wäre ein Geländemodell mit Zellengrößen von 1x1 m notwendig, da die Sohlbreite nur 2 m beträgt. Dadurch entsteht ein Modell mit einer Anzahl von etwa 30.000 Zellen<sup>30</sup>, was die Rechenzeit extrem verlängert. O'Brien (2001) empfiehlt Zellengrößen zwischen 30 und 300 m, Hübl (2000) hat Zellengrößen von 2 – 10 m verwendet, an der VAW (2001) wurden ebenfalls Zellengrößen von 2 m gewählt.
- Der Gerinnequerschnitt kann aufgrund des Gefälles (11 %) und aufgrund des geradlinigen Talweges durch eine eindimensionale Modellierung ausreichend genau modelliert werden.

Deshalb wird das Gerinne nicht als Oberfläche, sondern anhand von aus der Vermessung gewonnenen Querschnitten modelliert. Es wird eine Zellengröße von 30 m gewählt. Damit wird der Gerinnebereich in seiner gesamten Breite abgedeckt und der Empfehlung, dass die Gerinnebreite 95 % der Rasterzellenbreite nicht überschreiten sollte (O'Brien, 2001), Genüge getan. Die Rechenzeit wird auf ein akzeptables Maß reduziert, und es ist möglich, ein einziges Rechengebiet für Dorf und Auenwald zu generieren. In Abbildung 27 ist das Rasternetz mit dem eingefügten Gerinne dargestellt, wie es sich im Modell FLO-2D präsentiert.

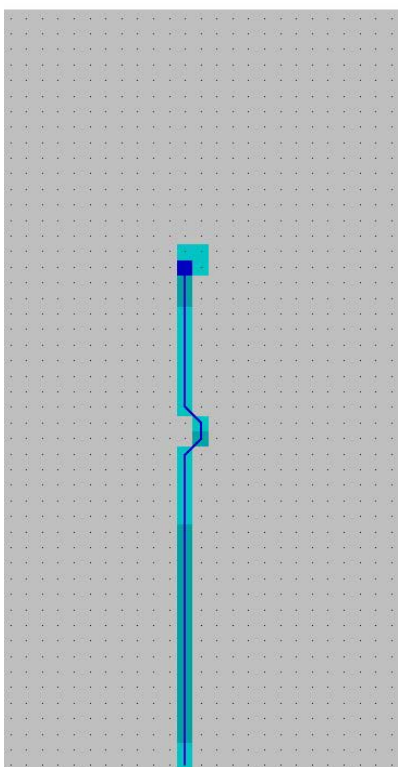


Abbildung 27 - Generiertes Raster mit 30 m Maschenweite als „Floodplain“ und der Künette als „Channel“

<sup>30</sup> Diese Zellenanzahl stößt an die Grenzen des Programms

**4.5.3 Rheologie**

Zur Beschreibung des Fließverhaltens wird das quadratische rheologische Modell von O'Brien und Julien (1985) verwendet:

$$\tau = \tau_c + \mu_b \frac{dv}{dy} + (\mu_\alpha + \mu_t) \left( \frac{dv}{dy} \right)^2 \tag{26} \text{ entspricht (9)}$$

<i>mit</i>	$\tau_c$	...	Grenzscherspannung
	$\mu_b$	...	bingham'sche Viskosität
	$\mu_\alpha$	...	dispersiver Parameter (entspricht $\alpha = a_1 \rho_s \lambda^2 d^2 \sin \varphi$ , s. Gleichung 2)
	$\mu_t$	...	turbulenter Parameter (entspricht $\rho_m l^2$ )
	$\rho_m$	...	Dichte der Mischung
	$l$	...	Prandtl'sche Mischweglänge

Wie bereits in Kapitel 2.4.2 erwähnt, erlaubt dieser Ansatz die Modellierung von viskosen und granularen Murgängen. Schreibt man Gleichung (26) anders an, ist ersichtlich, dass das Modell fünf Schubspannungskomponenten enthält:

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_\alpha + \tau_t \tag{27}$$

<i>mit</i>	$\tau_y$	...	kohäsive Grenzscherspannung
	$\tau_{mc}$	...	Mohr – Coulomb'sche Grenzscherspannung
	$\tau_v$	...	viskose Schubspannung
	$\tau_\alpha$	...	dispersive Schubspannung
	$\tau_t$	...	turbulente Schubspannung

Je nachdem, welche Komponenten im Murgang überwiegen, handelt es sich um einen viskosen, um einen granularen oder auch um einen Murgang mit überwiegend turbulenten Anteilen.

Die beiden ersten Terme auf der rechten Seite der Gleichung (26) repräsentieren ein Bingham – Fluid. Der letzte Term ist die Summe aus dispersiver und turbulenter Schubspannung.

Die Schubspannungen aus Gleichung (27) werden im Modell FLO-2D über die Tiefe integriert und als Reibungsgefälle ausgedrückt:

$$J_f = J_c + J_\mu + J_{\alpha t} = \frac{\tau_c}{\gamma_m h} + \frac{K \mu_b v}{8 \gamma_m h^2} + \frac{n_{\alpha t}^2 v^2}{h^{4/3}} \tag{28}$$

<i>mit</i>	$J_f$	...	totales Reibungsgefälle
	$J_c$	...	Reibungsgefälle aufgrund Grenzscherspannung
	$J_\mu$	...	viskoses Reibungsgefälle
	$J_{\alpha t}$	...	turbulent-dispersives Reibungsgefälle
	$\gamma_m$	...	Dichte der Mischung
	$K$	...	Widerstandsbeiwert für laminaren Abfluss



$n_{ot}$  ... kombinierter Manningwert für turbulent-dispersive Komponenten

Das Modell FLO-2D benötigt also folgende Eingabeparameter:

- $K$  kann mit Formel (29) berechnet werden:

$$1'460'865.81 \cdot n^{2.381} \quad (29)$$

mit  $n$  ... Manningbeiwert der Rasterzellen

- $n_{ot}$  kann einem äquivalenten Manningbeiwert entsprechend mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$n_{ot} = n_t \cdot b \cdot e^{m \cdot c_v} \quad (30)$$

mit  $n_t$  ... Manningbeiwert für turbulenten Fließwiderstand

$b, m$  ... empirische Faktoren: O'Brien (2001) gibt theoretisch abgeleitete Werte für  $b = 0.0538$  und  $m = 6.0896$  an.

Bei hohen Konzentrationen kommt es zu Kollisionen innerhalb der Partikel und es entstehen dispersive Scherspannungen, die den Fließwiderstand erhöhen.

- $\gamma_m$  hängt von der eingegebenen Volumenkonzentration ab.
- Die Grenzscherspannung  $\tau_c$  und die Viskosität  $\mu$  eines Murganges hängen – neben anderen Faktoren wie Kornverteilung, Kornform oder Gesteinsart der Körner – sehr stark von der Konzentration an Feststoffen ab. Im Modell FLO-2D werden sie durch folgende Formulierungen ausgedrückt:

$$\mu = \alpha_1 e^{\beta_1 c_v} \quad (31)$$

$$\tau_c = \alpha_2 e^{\beta_2 c_v} \quad (32)$$

mit  $\alpha_i, \beta_i$  ... empirische Koeffizienten

Die starke Abhängigkeit der rheologischen Parameter von der Konzentration wird durch die Gleichungen (31) und (32) deutlich. Es wurde beobachtet, dass sie bei minimalen Veränderungen der Konzentration sehr stark variieren können (Coussot, 1997, zitiert in Genevois, 2000).

Die Bestimmung der rheologischen Parameter kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen:

- a) Die exponentiellen Kurven (31) und (32) können im Labor bestimmt werden, wie z.B. beschrieben bei Hübl (2000) oder Boillat (2000).
- b) Man verwendet Angaben über andere Murgangsimulationen aus der Literatur.
- c) Direktmessungen (Frontgeschwindigkeit, Abflusstiefe, Geschwindigkeit an der Oberfläche), Videoaufnahmen oder Spuren von Murgängen (Ablagerungszungen und Levées) erlauben mit Hilfe von theoretischen Formulierungen (Mainali und Rajaratnam, 1991, Coussot, 1996, Genevois et al., 2000,) eine Abschätzung der rheologischen Parameter.

d) Anhand von aufgetretenen Ereignissen erfolgt eine Kalibrierung des Modells, wodurch die Parameter angepasst werden können.

Im vorliegenden Fall wurden die Möglichkeiten b, c und d herangezogen, da im Rahmen des Projektes keine Laboranalysen durchgeführt werden konnten.

In der Literatur ist eine große Anzahl von Angaben in Bezug auf die rheologischen Parameter zu finden. Im Folgenden wird eine kleine Auswahl davon aufgelistet:

Ort	Quelle	$\mu$ [Pas]	$\tau_c$ [Pa]	Herkunft
Dai et al. (1980)	O'Brien (2001)	0.06 - 1	50 - 1700	Literatur
Moschergraben	Hübl (2000)	0.04 - 2	7 - 89	Labor
Wartschenbach	Hübl (2000)	0.4 - 2.5	8 - 36	Labor
Ardenno	Ghilardi et al.(2000)		2000	Schätzung
Maschänserrufe	VAW (2001)	1 - 10	500 - 5000	Schätzung
kl. Murgang Acquabona	Genevois (2000)	127 - 178	611 - 800	Formel 35
gr. Murgang Acquabona	Genevois (2000)	21		Formel 35
Pierson (1986)	Genevois (2000)	8 - 12	780 - 840	Berechnung
Johnson (1970)	Genevois (2000)		600	Literatur
Johnson (1984)		130		Berechnung
	Cousot (1996)		1500	Feld

Tabelle 10 - Literaturangaben für die rheologischen Parameter verschiedener Murgänge

Die starke Streuung der Werte über etwa jeweils 2 Dimensionen ist mit ein Hinweis für die Schwierigkeit, zuverlässige Größen für die rheologischen Parameter zu bestimmen. Murgangspuren im Feld geben wertvolle Hinweise auf die Grenzscherspannung. Eine einfache Abschätzung der Grenzscherspannung kann aufgrund der Murgungenform mit folgender Formel (Cousot, 1996) erfolgen:

$$\tau_c = \rho_m \cdot g \cdot h_K \cdot \frac{\sin \alpha}{0.7} \quad \text{für } L_K/h_K < 10 \quad (33)$$

$$\tau_c = \rho_m \cdot g \cdot h_K \cdot \sin \alpha \quad \text{für } L_K/h_K > 10 \quad (34)$$

mit h ... Höhe der Ablagerungszunge  
 L ... Länge der Ablagerungszunge  
 α ... Neigung der Ablagerungszunge

Die Bestimmung der Viskosität ist schwieriger. Johnson (1970, zitiert in Genevois, 2000) hat Gleichung (35) vorgeschlagen, die angewandt werden kann, wenn im „Zentrum“ des Murganges eine scherfreie Zone und somit eine konstantes Geschwindigkeitsprofil existiert. Messungen der Geschwindigkeit an verschiedenen Punkten des Fließquerschnitts anhand von Direktbeobachtungen scheinen dieses Annahme zu bestätigen (Genevois et al., 2000).

$$\mu_b = \frac{\tau_c B_p}{4v_{max}} \left( \frac{B_g}{B_p} - 1 \right)^2 \quad (35)$$

mit B<sub>p</sub> ... Breite der schubfreien Zone  
 B<sub>g</sub> ... Breite des Gerinnes  
 v<sub>max</sub> ... maximale Geschwindigkeit in der schubfreien Zone

In dieser Formel ist also die Viskosität nur indirekt – über die direkte Proportionalität zur Grenzscherspannung – von der Konzentration abhängig. Nach Davies (1988) ist die Bingham'sche Viskosität überhaupt nicht von der Konzentration abhängig.

Im vorliegenden Fall kann eine Abschätzung der Viskosität über die Eichung des Modells anhand der Murreignisse von 1999 erfolgen, wobei die exakte Bestimmung von relativer Wichtigkeit ist. Wie Bergomi (2000) gezeigt hat, übt die Viskosität auf die Ergebnisse der Modellierung, wie z.B. Reichweite oder Ablagerungshöhe, einen viel geringeren Einfluss aus als die Grenzscherspannung. Der Einfluss wird insbesondere bei hohen Grenzscherspannungen sehr klein.

## 4.6 Untersuchung der Ereignisse 1999

Wie bereits mehrmals erwähnt, können von den Murgängen vom 16/08/1999 und 20/09/1999 einige Größen recht zuverlässig rekonstruiert werden. Dabei kann man sich auf Spuren im Feld, auf Zeugenaussagen sowie auf eine vorhandene Videoaufnahme stützen.

### 4.6.1 Niederschläge

Von den Niederschlagsmessstationen in Prad / Agums, Laas und Sulden (s. Kapitel 4.2.3.1) sind genaue Daten über die Regenfälle am 16/08/1999 und am 20/09/1999 bekannt. In Abbildung 28 sind sie im Vergleich mit den IDF – Kurven des Projektes VAPI dargestellt. Tabelle 11 zeigt die gemessenen Vorregenmengen.

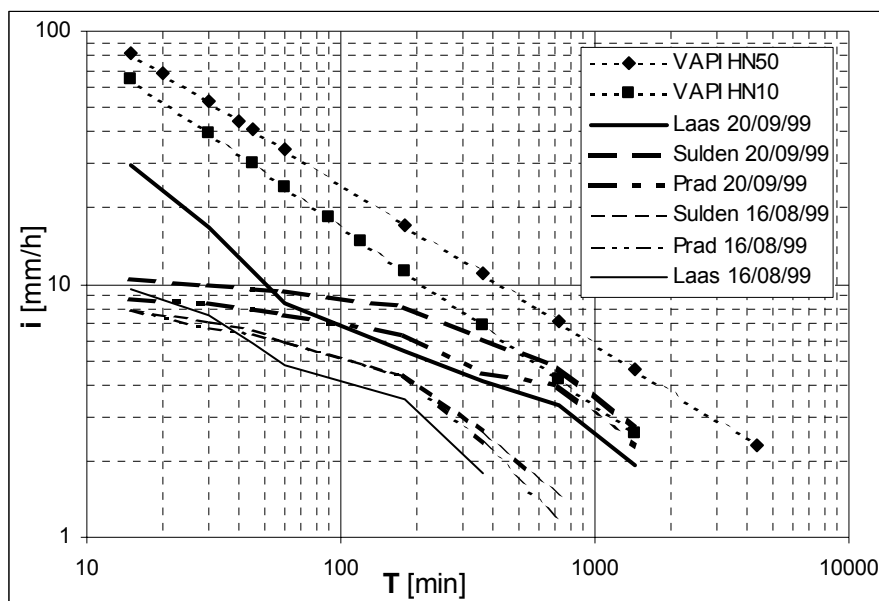


Abbildung 28 - Niederschläge am 16/08/1999 und 20/09/1999 in Prad / Agums, Laas und Sulden

Aus der Darstellung lassen sich folgende Erkenntnisse ziehen:

- Der Niederschlag beim Ereignis am 16/08/99 war nicht durch außergewöhnliche Intensitäten gekennzeichnet (Wiederkehrdauer < 2 Jahre).
- Am 20/09/99 entsprach der aufgetretene Niederschlag bei der Niederschlagsmessstation in Laas über die gesamte Niederschlagsdauer einem etwa 2 – jährigen Niederschlag. In

Sulden hatte das Ereignis ab einer Niederschlagsdauer von etwa 6 Stunden eine Wiederkehrperiode von ca. 10 Jahren, in Prad / Agums war dies ab einer Niederschlagsdauer von etwa 12 Stunden der Fall.

- Das Ereignis am 16/08/99 war von einer hohen Vorregenmenge gekennzeichnet, am Tag des Ereignisses waren keine großen Niederschlagsmengen zu verzeichnen. Beim Ereignis vom 20/09/99 gab es eher wenig Vorregen, dafür ein ziemlich intensives Niederschlagsereignis am Tag selber.

Diese Erkenntnisse führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Es wird auch hier bestätigt, dass Niederschlagsmessungen aus dem Umkreis eines Einzugsgebietes nur sehr vage Aussagen über die Niederschlagsereignisse im Einzugsgebiet selber zulassen. Wie auch schon im Kapitel 4.2 eingehend beschrieben, entziehen sich beispielsweise die an der Tschenglser Hochwand gefallenen Niederschläge weitgehend unserer Kenntnis.
- Es kann unmöglich eine Linearität im System Niederschlag – Abfluss – Murgangentstehung hergestellt werden. Vor allem die Murgangentstehung hängt stark auch von anderen Einflussfaktoren ab, bei einer großen variablen Disponibilität braucht es kleinere Auslösefaktoren und umgekehrt.

	16/08/1999			20/09/1999		
Station	Laas	Prad	Sulden	Laas	Prad	Sulden
Tage bevor	N	N	N	N	N	N
[ d ]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5	22.2	17.0	27.8	13.8	3.6	3.8
10	40.0	44.2	58.6	13.8	3.6	3.8
15	50.6	49.2	67.6	16.2	6.0	6.0
20	75.0	55.4	74.4	16.4	6.4	8.0
25	78.6	61.6	85.0	23.6	14.8	29.4
30	78.6	66.8	85.6	32.4	23.6	53.2
45	115.2	99.0	126.2	94.6	95.4	163.2
60	137.8	114.8	151.2	133.2	112.8	189.6

Tabelle 11 - Vorregenmengen in Prad / Agums, Laas und Sulden bei den Ereignissen 1999

#### 4.6.2 Feststofffrachten

Die bei den Murgängen 1999 umgesetzten Feststofffrachten lassen sich auf mehrere Weisen abschätzen:

- **Murgangentstehung:** Zeugenaussagen zufolge hat der Großteil der Murfrachten 1999 aus der Fernerbachrinne (8c) gestammt. Dabei wurde der heute vorhandene Querschnitt fast vollständig durch den Tiefenschurf der Muren gebildet. In einer Feldbegehung sind über die gesamte Länge des Schuttfächers Querprofile des Fernerbaches aufgenommen worden. Das Volumen der Fernerbachrinne beträgt an die 100.000 m³. Unter der Annahme einer Lagerungsdichte von 0.7 kann also das mobilisierte Feststoffvolumen auf 70.000 m³ geschätzt werden.

- **Murgangablagerung:** In einer gemeinsam mit dem Amt für Wildbachverbauung durchgeführten Feldbegehung sind die im Auenwald noch deutlich auszumachenden und aus dem Jahre 1999 stammenden Ablagerungszungen untersucht worden. Mit Hilfe eines digitalen Geländemodells ist das Volumen der Ablagerungen auf etwa 105.000 m<sup>3</sup> geschätzt worden, bei einer Lagerungsdichte von 0.7 ergibt sich ein reines Feststoffvolumen von 70.000 m<sup>3</sup>. Das Amt für Wildbachverbauung ist weiters im Besitz von Angaben über die nach den Murgängen 1999 aus dem Bachbett und aus den GRB entfernte Feststofffracht. Es handelt sich dabei um ein Volumen von insgesamt 34.000 m<sup>3</sup>. Damit haben die Murgänge 1999 insgesamt etwa 100.000 m<sup>3</sup> an Material verfrachtet.
- **Ablauf der Murgänge 1999:** Augenzeugen liefern recht genaue Angaben darüber, wie sich die Murgänge 1999 im Fließquerschnitt, der durch das Dorf verläuft, zugetragen haben (s. Kapitel 3.2.2). Relativiert man die Berichte aufgrund des subjektiven Empfindens der Beobachter ein wenig, ergibt sich ein durch die Murgänge insgesamt umgesetztes Feststoffvolumen von 50.000 – 120.000 m<sup>3</sup>. Ziemlich sicher scheint die Tatsache, dass die Murfracht vom 16/08/1999 etwa doppelt so groß war als jene des 20/09/1999.
- **Zusammenhang Feststofffracht – Ablagerungslänge:** In der Literatur existieren empirische Zusammenhänge zwischen der Feststofffracht eines Murganges und der Gesamtlänge (in Fließrichtung) der Ablagerungen auf dem Murkegel. Rickenmann schlägt folgende Beziehung vor:

$$L_k = 15 \cdot M^{0.33} \tag{36}$$

mit  $L_k$  ... Ablagerungslänge [m]  
 $M$  ... Murfracht [m<sup>3</sup>]

Bei einer vorhandenen Ablagerungslänge von 800 m hätte somit die Feststofffracht des Murganges vom 16/08/1999 etwa 130.000 m<sup>3</sup> betragen. Man sollte bei dieser Abschätzung den empirischen Charakter der Formulierung nicht außer Acht lassen und deshalb der ermittelten Zahl rein qualitativen Charakter zuweisen.

Aufgrund dieser Betrachtungen lassen sich die Feststofffrachten der Murgänge 1999 wie folgt abgrenzen:

Murgang	M <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> ]	M <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> ]
16/08/1999	46.000	66.000
20/09/1999	24.000	34.000
Summe	70.000	100.000

Tabelle 12 - Feststofffrachten der Murgänge 1999

### 4.6.3 Maximaler Abfluss

Noch deutlich vorhandene seitliche Levées entlang des Gerinnes 8 oberhalb der Wasserfälle, der Sperrenstrecke im Mittellauf sowie Spuren der maximalen Abflusstiefe entlang der Künette im Dorfbereich erlauben eine grobe Schätzung des maximalen Abflusses des Murganges vom 16/08/1999. Bei Ansetzen eines Stricklerbeiwertes  $k_{St} = 10$  und Anwendung der Abflussformel von Strickler ergeben sich folgende Abflüsse:

- Oberlauf:  $Q_{\max} \sim 160 \text{ m}^3/\text{s}$
- Mittellauf:  $Q_{\max} \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$
- Unterlauf:  $Q_{\max} \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$

Dabei scheint die Berechnung für den Oberlauf einen zu hohen Wert zu liefern, vergleicht man mit den in Kapitel 4.3.3.1 errechneten Murganghydrographen. Zieht man die Möglichkeit in Betracht, dass die Sohle sich erst beim zweiten Murgang am 20/09/1999 auf ihr heutiges Niveau eingetieft hat, ist es durchaus möglich, dass die angenommene Abflusstiefe für den Murgang vom 16/08/1999 zu hoch angesetzt ist.

Auf einer Videoaufnahme des Murganges am 16/18/1999, die den Ablauf des Murganges am GRB1 – leider erst nach dem Durchgang der Abflussspitze – zeigt, sind Spuren an den seitlichen Flanken des Überfalls am GRB zu erkennen. Daraus kann man schließen, dass die maximale Abflusshöhe am Überfall an die 1,5 m betragen hat. Unter Anwendung der Überfallgleichung für einen scharfkantigen Überfall (Graf und Altinakar, 2000)

$$Q = \frac{2}{3} \mu B \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad 0.58 < \mu < 0.67 \quad (37)$$

ergibt sich ein  $Q_{\max} \sim 70 - 80 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.6.4 Grenzscherspannung

Anhand der Geometrie der Ablagerungszungen im Auenwald lässt sich mit Formel (33) bzw. (34) eine Aussage über die Grenzscherspannung der Murgänge 1999 treffen.

Für die Murgänge des Jahres 1999 am Tschenglser Bach können die Grenzscherspannungen mit 200 – 700 Pa angesetzt werden. Bei Coussot (1996) findet sich auch ein Ansatz zur Abschätzung der Grenzscherspannungen anhand der Geometrie der Levées. Im vorliegenden Fall liefert diese Methode sehr hohe Werte (>3000 Pa), die nicht realistisch sind.

#### 4.6.5 Wiederkehrdauer

Aufgrund seiner Feststofffracht lässt sich der Murgang vom 16/08/1999 als ein Ereignis von häufiger bis seltener Wiederkehrdauer einstufen. Gestützt wird diese Annahme durch die Nachberechnung der maximalen Abflüsse. Der Murgang vom 20/09/1999 war eher ein kleines Ereignis mit häufiger Wiederkehrdauer und es stellt sich die Frage, ob er in dieser Form überhaupt bis ins Dorf gelangt wäre, wenn das GRB2 nicht noch fast vollständig gefüllt vom Ereignis am 16/08/1999 gewesen wäre und deshalb beim Ereignis vom 20/09/1999 kein Material dort abgelagert werden konnte.

Für einen groben Vergleich ist auch das Gesamtvolumen des Tschenglser Murkegels ermittelt worden. Es beträgt circa 11.000.000 m<sup>3</sup>. Wenn man folgende Annahmen trifft:

- der Murkegel ist in den letzten 10.000 Jahren seit dem Ende der letzten Eiszeit entstanden,
- der Kegel ist ausschließlich durch Murgänge aufgebaut worden, geschiebeführende Hochwässer haben die Feststoffe bis in die Etsch verfrachtet,
- die Wiederkehrdauer der Murgänge beträgt im Schnitt 10 – 15 Jahre (s. Kapitel 3.2.1),

lässt sich die durchschnittliche Feststofffracht eines Murganges mit 11.000 – 16.000 m<sup>3</sup> beziffern. Diese Angabe ist natürlich rein indikativ, aber nichtsdestotrotz bestätigt sie, dass die Murgänge des Jahres 1999 keine unerheblichen Ereignisse gewesen sind.

#### 4.7 Numerische Modellierung verschiedener Szenarien

Jeder Murgang hat eine eigene Ausprägung. Auch in ein und demselben Einzugsgebiet treten Murgänge mit stark unterschiedlichen Merkmalen auf. Die rheologischen Eigenschaften können selbst innerhalb eines Murschubes stark variieren, was in Feldbeobachtungen eindrücklich bestätigt wurde (Genevois et al., 2000).

Aus diesem Grund kann auch hier auf die Durchführung von Sensitivitätsanalysen nicht verzichtet werden. Dabei ist das Ziel, ein möglichst breites, aber realistisches Spektrum von Murgängen im Hinblick auf Ereignisgröße und rheologische Eigenschaften abzudecken.

In Bezug auf die Ereignisgröße bildet der in Abbildung 26 dargestellte Murganghydrograph (unterstrom GRB1) die Berechnungsgrundlage. Für jeden der nach häufig, selten und sehr selten eingestuftem Murganghydrographen wird eine Serie von Murgängen mit unterschiedlichen rheologischen Eigenschaften modelliert. Es stellt sich die Frage, ob die Murgänge im Tschenglser Bach viskoser oder granularer Natur sind.

Die Literatur bietet verschiedene Kriterien zur Bestimmung des rheologischen Verhaltens der Murgänge. Die Formeln (38), (39) und (40) sind Beispiele davon.

$$\frac{\rho_s \sqrt{\lambda} d^2}{\mu} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{v}{h} \leq 40 \quad \text{viskos} \quad \text{Armanini (1999) nach Bagnold (1954) (38)}$$

$$\frac{\rho_s \sqrt{\lambda} d^2}{\mu} \cdot \frac{5}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{v}{h} \geq 450 \quad \text{granular}$$

$$G^2 = \frac{\rho_s d^2 T}{\lambda \mu_a^2} \quad \text{Davies (1988) nach Bagnold (1954) (39)}$$

$$G^2 < 100 \quad \text{viskos}$$

$$G^2 > 1500 \quad \text{granular}$$

mit  $T$  ... totale Schubspannung

$$D^* = \sqrt{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right) g d^3 \frac{\lambda}{\mu_w}} \quad \text{Mainali und Rajaratnam (1991) (40)}$$

$$D^* < 350 \quad \text{newtonsch}$$

$$350 < D^* < 800 \quad \text{viskos}$$

$$800 < D^* < 1500 \quad \text{Übergang}$$

$$D^* > 1500 \quad \text{granular}$$

mit  $\mu_w$  ... dynamische Viskosität des Wassers

Bei Einsetzen von durchschnittlichen Werten für die Murgänge von 1999 zeigt sich eine Tendenz hin zu viskosen Murgängen (s. Anhang A7.1).

Auch die Form der Ablagerungen weist auf viskose Murgänge hin: Während bei granularen Murgängen die Murgänge eher „bröcklig“ sind und einzelne Steine sich leicht von den Ablagerungsrändern lösen, bilden die Ablagerungen von viskosen Murgängen eine runde Front (Cousot, 1996, zitiert in Bergomi, 2000).

Ein Kriterium zur Bestimmung des rheologischen Verhaltens der Murgänge ist auch der Anteil der Kornfraktionen <40µm am Murmaterial. Nach Cousot (1996) hat man einen viskosen Murgang zu erwarten, wenn die Korngrößen <40µm einen Anteil von >10% haben. Ein granularer Murgang entwickelt sich bei einem Anteil der Korngrößen <40µm von <1%. Im vorliegenden Fall kann jedoch darüber keine Aussage getroffen werden, da bei den durchgeführten Linienproben nur Korngrößen >1 cm erfasst werden. Die Fraktion der Feinanteile muss extrapoliert werden. Deshalb sind keine präzisen Angaben darüber möglich.

Ereignis	$\tau_c$	$\mu$	$n_{tc}$	$k_{st}$
	[Pa]	[Pas]	[s/m <sup>1/3</sup> ]	[m <sup>1/3</sup> /s]
Häufig	200	1	0.017	60.0
	200	5	0.017	60.0
	200	10	0.017	60.0
	400	1	0.017	60.0
	400	5	0.017	60.0
	400	10	0.017	60.0
	800	1	0.017	60.0
	800	5	0.017	60.0
	800	10	0.017	60.0
		10	0.1	0.064
Selten	200	1	0.017	60.0
	200	5	0.017	60.0
	200	10	0.017	60.0
	400	1	0.017	60.0
	400	5	0.017	60.0
	400	10	0.017	60.0
	800	1	0.017	60.0
	800	5	0.017	60.0
	800	10	0.017	60.0
	10	0.1	0.064	15.7
	10	1	0.017	60.0
	50	1	0.017	60.0
	100	1	0.017	60.0
	10	20	0.017	60.0
Sehr selten	200	1	0.017	60.0
	200	5	0.017	60.0
	200	10	0.017	60.0
	400	1	0.017	60.0
	400	5	0.017	60.0
	400	10	0.017	60.0
	800	1	0.017	60.0
	800	5	0.017	60.0
	800	10	0.017	60.0

Tabelle 13 - Durchgeführtes Rechenprogramm



Da also im Tschenglsler Bach eher viskose Murgänge zu erwarten sind, wird auf diese das Hauptaugenmerk gelegt. Die Möglichkeit, dass es zu granularen Murstößen kommt, soll aber nicht außer Acht gelassen werden.

Es wird das in Tabelle 13 aufgelistete Rechenprogramm durchgeführt. Bei Konstanthalten der Grenzscherspannung wird in jeweils drei Simulationen die Viskosität sukzessive gesteigert. In einigen Simulationen wird eine sehr kleine Viskosität angesetzt und ein anhand von Gleichung (30) erhöhter Manningbeiwert  $n_{tc}$ , um einen Murgang mit erhöhten dispersiven Scherspannungen zu modellieren. Der Beiwert wird direkt eingegeben und bleibt während der Simulation konstant, er wird unter Annahme einer maximal vorkommenden Konzentration von 0.7 berechnet.

Die Grenzscherspannung  $\tau_c$  und die Viskosität  $\mu$  hängen exponentiell von der Volumenkonzentration ab, deshalb erfahren die Werte im Lauf der Modellierung in Abhängigkeit der Volumenkonzentration eine ständige Veränderung. Die empirischen Koeffizienten  $\alpha_i, \beta_i$  aus Gleichungen (31) und (32) werden so gewählt, dass  $\tau_c$  und  $\mu$  ziemlich unempfindlich gegenüber Veränderungen der Volumenkonzentration reagieren. In Tabelle 13 sind die Werte für eine Volumenkonzentration von 70 % angegeben, in Abbildung 29 und Abbildung 30 sind die angenommenen Funktionen und andere Vergleichsfunktionen aus der Literatur graphisch dargestellt.

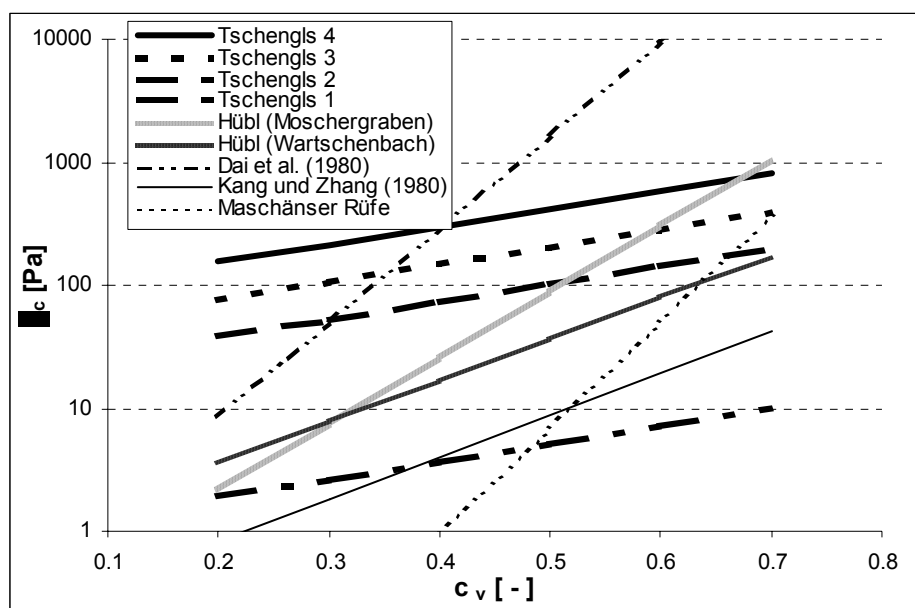


Abbildung 29 - angenommene Funktionen für Grenzscherspannung

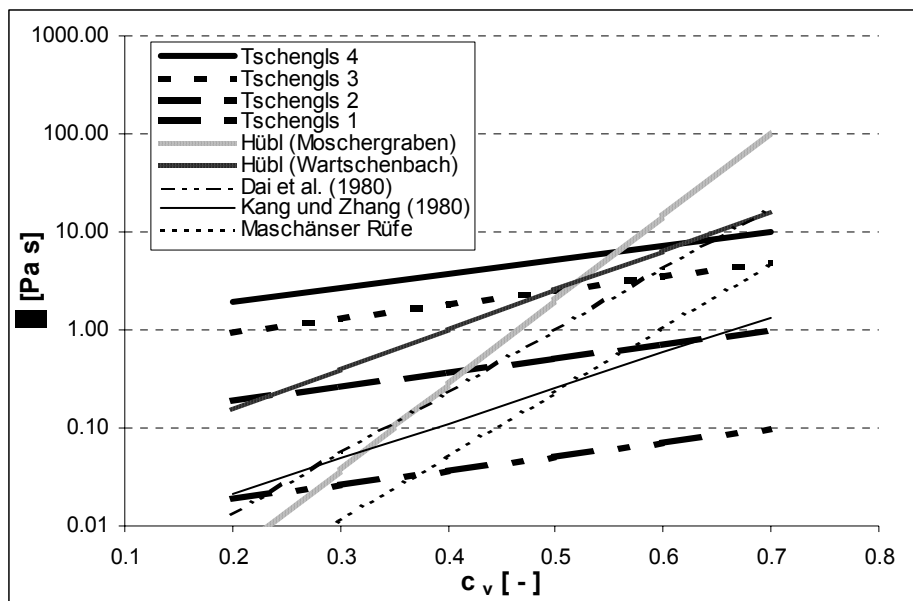


Abbildung 30 - angenommene Funktionen für Viskosität

#### 4.8 Diskussion der Ergebnisse

Mit dem in Tabelle 13 aufgelisteten Rechenprogramm hat man es sich zum Ziel gesetzt, ein realistisches Bild vom Ablauf der Murgänge im Dorfbereich von Tschengls und im Auenwald unterhalb des Dorfes zu zeichnen. Durch die Variation der rheologischen Parameter soll eine möglichst vollständige Bandbreite von verschiedenen Murausprägungen abgedeckt werden. Die Modellierungen haben zum Teil erwartete, zum Teil aber auch überraschende Ergebnisse geliefert, die im Wesentlichen zu den folgenden Erkenntnissen geführt haben:

- Es ist möglich, den Murgang vom 16/18/1999 mit den gewählten, in Tabelle 13 angeführten rheologischen Parametern nachzubilden. Das unterstreicht die Plausibilität der gewählten Szenarien. Zeugen berichten, dass der Murgang an den Brücken 2 und 3 angeschlagen hat. Diese Aussagen stimmen recht gut mit den errechneten maximalen Abflusstiefen überein.
- Die maximalen Abflusstiefen zeigen eine stärkere Abhängigkeit von der Viskosität als von der Grenzscherspannung. Dies ist ersichtlich in Tabelle 14, wo für mehrere Knoten die maximalen Abflusstiefen aufgelistet sind. Betrachtet man beispielsweise Zelle 544, welche die Brücke 3 repräsentiert, fällt auf, dass bei gleichbleibender Grenzscherspannung der Unterschied in der Abflusstiefe immerhin etwa 40 cm bei einer Veränderung der Viskosität von 1 auf 10 Pa s beträgt. Die Änderung der Abflusstiefe bei gleichbleibender Viskosität und veränderlicher Grenzscherspannung ist vergleichsweise gering, durchschnittlich etwa 20 cm bei einer Änderung der Grenzscherspannung von 200 auf 800 Pa. Dieses Merkmal steht eigentlich im Gegensatz zu den Analysen von Bergomi (2000). Jedoch waren dort die gewählten Grenzscherspannungen höher, weshalb die Viskosität möglicherweise kein großes Gewicht hatte.

Name	Ereignis	$\tau_c$	$\mu$	$k_{St}$	Abflusstiefe Knoten [m]					
Berechnung		[Pa]	[Pas]	[m <sup>1/3</sup> /s]	540	542	544	546	548	549
M11	Häufig	200	1	60.0	2.87	2.81	3.26	3.21	3.29	3.29
M12		200	5	60.0	2.90	3.08	3.43	3.39	3.43	3.43
M13		200	10	60.0	3.00	3.37	3.62	3.56	3.53	3.51
M15		400	1	60.0	2.89	2.85	3.32	3.26	3.35	3.36
M16		400	5	60.0	2.93	3.26	3.48	3.43	3.47	3.46
M17		400	10	60.0	3.04	3.42	3.65	3.75	3.52	3.53
M19		800	1	60.0	2.95	3.03	3.42	3.38	3.46	3.46
M110		800	5	60.0	2.99	3.36	3.58	3.55	3.53	3.53
M111		800	10	60.0	3.12	3.51	3.71	3.86	3.60	3.61
M14		10	0.1	16.0	3.38	4.01	4.63	4.36	4.02	3.91
M21	Selten	200	1	60.0	2.80	2.75	3.04	3.15	3.19	3.19
M22		200	5	60.0	2.85	3.03	3.37	3.33	3.35	3.34
M23		200	10	60.0	2.95	3.41	3.55	3.52	3.46	3.48
M25		400	1	60.0	2.82	2.78	3.13	3.17	3.23	3.23
M26		400	5	60.0	2.88	3.25	3.41	3.35	3.39	3.36
M27		400	10	60.0	3.01	3.43	3.63	3.58	3.51	3.51
M29		800	1	60.0	2.87	2.86	3.32	3.27	3.33	3.34
M210		800	5	60.0	2.94	3.34	3.53	3.49	3.47	3.44
M211		800	10	60.0	3.09	3.50	3.69	3.85	3.57	3.58
M24		10	0.1	16.0	3.34	3.96	4.58	4.29	3.90	3.93
M213		10	1	60.0	2.78	2.73	3.00	3.10	3.13	3.07
M214		50	1	60.0	2.78	2.73	3.01	3.11	3.14	3.10
M215		100	1	60.0	2.79	2.74	3.02	3.12	3.13	3.09
M216		10	20	60.0	3.12	3.61	3.82	3.96	3.66	3.75
M31	Sehr selten	200	1	60.0	3.02	3.06	3.43	3.34	3.44	3.44
M32		200	5	60.0	3.11	3.36	3.56	3.50	3.48	3.48
M33		200	10	60.0	3.22	3.51	3.74	3.86	3.60	3.63
M35		400	1	60.0	3.06	3.22	3.45	3.35	3.45	3.45
M36		400	5	60.0	3.17	3.39	3.65	3.56	3.54	3.52
M37		400	10	60.0	3.25	3.55	3.78	3.90	3.64	3.65
M39		800	1	60.0	3.12	3.31	3.57	3.50	3.56	3.56
M310		800	5	60.0	3.24	3.47	3.71	3.82	3.58	3.60
M311		800	10	60.0	3.33	3.63	3.87	3.99	3.72	3.73

Tabelle 14 - Ausgewählte maximale Abflusstiefen

- Gleichzeitig fällt auch auf, dass die Abflusshöhen sehr wenig streuen. Interessant ist die Tatsache, dass die maximale Abflusshöhe für ein „seltenes“ Ereignis tiefer liegt als für ein „häufiges“ Ereignis, obwohl in der Abflussspitze doch ein wesentlicher Unterschied besteht ( $Q_{max}$  für einen häufigen Murgang = 73 m<sup>3</sup>/s,  $Q_{max}$  für einen seltenen Murgang = 97 m<sup>3</sup>/s, s. Anhang A5). Dies deutet darauf hin, dass die Fließeigenschaften doch sehr stark von der Feststoffkonzentration abhängen. Beim häufig auftretenden Murgang ist eine maximale Volumenkonzentration von 0.7 errechnet worden, beim seltenen Murgang beträgt dieser Wert 0.77. Die sehr starke Abhängigkeit der rheologischen Parameter von der Konzentration und damit auch das Fließverhalten des Murganges, eine Tatsache, die in der Praxis schon oft beobachtet wurde, kann hier also durch eine theoretische Modellrechnung bestätigt werden. Offenbar ist die Zusammensetzung des Murganges viel entscheidender als der Maximalwert des Abflusses, dies steht also in starkem Gegensatz zum Reinwasserabfluss. Schon allein deshalb wäre es nicht sinnvoll, Murgängen auf ähnlichem Wege wie normalen Hochwässern eine Wiederkehrdauer zuweisen zu wollen.

Offen bleibt natürlich die Frage, wie korrekt die in der vorliegenden Arbeit gewählten Parameter sind.

- Auch Murgänge mit etwas außergewöhnlichen rheologischen Parametern wie z.B. die Berechnungen M213 bis M216 bewegen sich in etwa dem gleichen Rahmen wie die übrigen Berechnungen. Es fällt aber wieder auf, dass die Viskosität eine wichtige Rolle spielt. Bei der Berechnung M216, wo sie einen Wert von 20 Pas aufweist (bei  $c_v = 70\%$ ), wird das Maximum der Abflusstiefe für die seltenen Murgangereignisse erreicht.
- Eine Ausnahme von diesen Betrachtungen bilden die Berechnungen M14 und M24, bei denen der Stricklerbeiwert für turbulente Reibung anhand Gleichung (30) von 60 auf 16 verringert wird. Trotz der sehr kleinen bingham'schen Schubspannungsterme steigt der Abfluss in diesem Fall auf das höchste Niveau an. Es kommt im Modell auch zu Ausuferungen über die Ufermauern hinaus, als Beispiel wird ein Ausschnitt aus dem Ergebnis von Berechnung M14 wiedergegeben. Man sieht deutlich die Ausuferungen links und rechts vom Fließquerschnitt. Es stellt sich natürlich die Frage, inwieweit der in M14 und M24 verwendete Ansatz berechtigt ist.

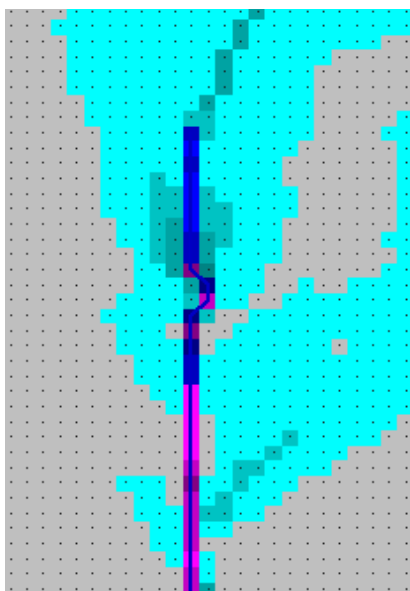


Abbildung 31 - Ergebnisse der Berechnung M14

- Eine wesentliche Erkenntnis der Modellierung bringt die Bestätigung der Augenzeugenberichte der Dorfbevölkerung. Der Abflussquerschnitt der Brücken ist sehr knapp bemessen, vor allem der Brücken 2 und 3. Bei einem Murgang mit einer höheren Abflusstiefe kann es an den Brückenquerschnitten zu einer Verklausung und in weiterer Folge zu einem Aufstau und zur Überflutung des Dorfbereiches kommen.
- Ansonsten weist der Tschenglser Bach durch seinen großen Querschnitt, sein hohes Gefälle und die niedere Rauigkeit ein hohes Abflussvermögen auf. Dazu tragen auch wesentlich die Ufermauern bei, die sich zu beiden Seiten des Baches praktisch über die gesamte Länge des Dorfes erstrecken. Selbst bei Extremereignissen ist die Abflusskapazität fast überall gegeben. Eine Ausnahme bildet der rechte Uferbereich zwischen Brücke 3 und Brücke 2. Schon bei einer mittelschweren Verkettung der Ereignisse (hohe Konzentration des Murganges bzw. hoher Abfluss) ist mit lokal begrenzten

Überflutungen zu rechnen. Beim Auftreten eines Extremereignisses ist auch der rechtsufrige Bereich oberhalb von Brücke 3 durch Übermuring gefährdet (s. Abbildung 32).



Abbildung 32 - Ausschnitt aus Modellrechnung M311: Dorfbereich

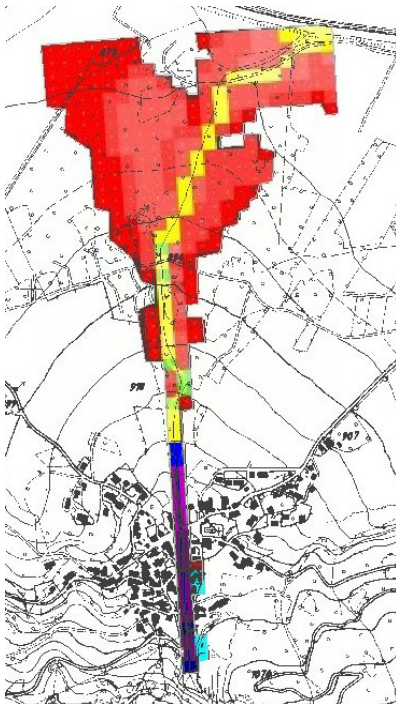


Abbildung 33 - Beispiel für eine Modellrechnung – gesamtes Rechengebiet (M110)

- Die Ufermauern wirken als Abflussquerschnitt natürlich nur mit, wenn bei Hochwasser ihre Durchgängigkeit gegeben ist, d.h. die Durchbrüche müssen mit Dammbalken verschlossen werden, um einen Austritt zu verhindern. Dies wäre besonders gefährlich, da es an diesen

Engstellen zu erhöhten dynamischen Belastungen und möglicherweise zu Unterspülungen kommen kann.

- Die Ablagerungen im Auenwald werden in der Modellrechnung nur annähernd erfasst. Dies liegt daran, dass die topographischen Grundlagen eine wesentlich schlechtere Qualität aufweisen als jene des Dorfbereiches. Überdies wären im Modell die Rauigkeitsverhältnisse des Auenwaldes genauer zu untersuchen. In Abbildung 33 ist die Modellrechnung 110 abgebildet. Vergleicht man mit den Ablagerungen des Jahres 1999, erkennt man, dass der orographisch linke Bereich zu klein ist und der orographisch rechts gelegene zu groß.

#### 4.9 Diskussion möglicher Maßnahmen

Ist eine Gefahr, welche in Konflikt mit einer bestehenden oder geplanten Nutzung steht, in Bezug auf Ausmaß und Wahrscheinlichkeit aufgezeigt, soll eine Maßnahme vorgesehen werden. Dabei werden folgende Unterscheidungen bezüglich der Art der Maßnahmen getroffen (entnommen aus: Heinemann et al., 1998):

- **Passive Maßnahmen (Verringerung des Schadens):** Durch raumplanerische Eingriffe soll eine der Gefährdung angepasste Nutzung sichergestellt und Objekte durch dem Gefahrenpotential entsprechende Bauweisen geschützt werden.
- **Aktive Maßnahmen (Verringerung der Gefahr):** Dadurch wird der Ablauf des Ereignisses beeinflusst. Dies geschieht durch wasserbauliche Schutzmaßnahmen wie Gewässerunterhalt und Schutzbauten, aber auch durch eine angepasste Schutzwaldpflege.
- **Notfallplanung:** Diese dient der Begrenzung des Restrisikos, denn keine Schutzmaßnahme garantiert die absolute Sicherheit gegenüber Naturereignissen. Frühwarndienste, Evakuationspläne, Rettungswarndienste, Katastrophenhilfe und temporäre Schutzmaßnahmen können das Schlimmste verhüten.

Die Maßnahmenplanung hat auf jeden Fall unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Folgenanalyse zu erfolgen, wünschenswert wäre für jede geplante Maßnahme eine Kosten-Nutzen-Analyse.

In Bezug auf den Ort der Maßnahmen trifft man folgende Unterscheidungen (aus Bezzola, 2000):

- **Maßnahmen im Entstehungsgebiet der Murgänge:** Dabei unterscheidet man
  - Wiederaufforstung, kontrollierte Bebauung und Ernte, kontrolliertes Abweiden,
  - Kontrolle bei der Errichtung von Forststraßen,
  - Stabilisierung der Geschiebequellen (Sperrungen, Uferstabilisierung),
- **Maßnahmen im Transportgebiet der Murgänge:** Darunter fallen
  - Bachverbauung mittels Betonschalen, Ablenkdammen, Ufermauern...,
  - Umleitstollen, Umleitgerinne,
  - Entfernung von Brücken, mobile Brücken,
  - Bypass unterhalb des Gerinnes,
- **Maßnahmen im Ablagerungsgebiet der Murgänge:** Dazu gehören
  - Geschieberückhaltebecken,
  - „Murbrecher“ in Form von Rechen,

- der Gefahr angepasste Bauweisen.

Es folgt eine kurze Besprechung von Vorschlägen für Maßnahmen am Tschenglser Bach. Die Vorschläge kommen dabei teilweise vom Amt für Wildbachverbauung, von der Dorfbevölkerung selber, zum Teil sind sie auch im Laufe der vorliegenden Arbeit gereift.

- **Stabilisierung des Entstehungsgebietes der Murgänge:** Dabei kann an die Ausführung von Holz- oder Betonsperren bzw. Gabionen in den Gerinnen, aus denen sich die Murgänge lösen, gedacht werden. Dieser Vorschlag ist aus mehreren Gründen als sehr kritisch zu beurteilen:
  - sehr große Errichtungs-, aber auch Unterhaltskosten wären damit verbunden,
  - es müssten mehrere Gerinne verbaut werden, da die Murgänge nicht nur aus einem stammen,
  - die Murganggefahr würde nur verzögert, nicht aber gebannt. Der zuerst positive Effekt könnte auch zu einem Damoklesschwert für das Dorf werden, wenn auf einmal eine große Menge an Geschiebe, das künstlich über mehrere Jahre zurückgehalten wird, vom oberen Einzugsgebiet „herunter will“.
- **Vergrößerung des Speichervolumens der Geschieberückhaltebecken:** Wie in der Modellierung der Transportstrecke der Geschieberückhaltebecken deutlich geworden ist, sind die GRB derzeit knapp nicht imstande, die Murgangabflussspitzen zu kappen. Bei einer Vergrößerung des Speichervolumens der GRB könnte dies jedoch der Fall sein. Die zusätzliche erforderliche Größe und die Zweckmäßigkeit dieser Maßnahme müssten aber zuerst einer eingehenden Prüfung unterzogen werden.
- **Ertüchtigung der Ufermauern im Dorf:** Es ist auf alle Fälle angebracht, die Ufermauern („Archen“) im Dorf zu untersuchen und gegebenenfalls zu sanieren, falls ihre Funktionstüchtigkeit im Hochwasserfall nicht sichergestellt ist.
- **Errichtung von mobilen Brücken:** Wie die Modellierungen gezeigt haben, stellen die Brücken eindeutig einen Schwachpunkt im System dar. Es wäre die Überlegung wert, die bestehenden Brücken abzureißen und an deren Stelle mobile Brücken zu errichten, die im Hochwasserfall entweder aufgeklappt oder hochgefahren werden und damit das Abflussprofil frei machen und gleichzeitig etwa durch seitliche Führungstafeln den Fließquerschnitt vergrößern. Hubbrücken sind öfters schon ausgeführt worden und haben sich auch bewährt (Vischer und Bezzola, 2000).
- **Verlängerung der Künette:** Dadurch soll die Abflusskapazität des Tschenglser Baches im Auenwald erhöht werden. Die Zweckmäßigkeit dieses Vorschlages muss in Frage gestellt werden, da am Ende der Künette normalerweise keine Probleme bei Murgängen auftreten. Sollte der Fall eintreten, dass der Abflussquerschnitt im Auenwald verstopft wird und bis in den Dorfbereich rückstaut, so könnte dies auch durch eine Verlängerung der Künette nicht verhindert werden, da ein Neigungswechsel ohnehin nicht zu vermeiden ist.
- **Errichtung einer Wasserleitung zur Wasserzufuhr im Notfall:** In der Nähe des GRB2 ist in nächster Zukunft die Errichtung eines Speicherbeckens für die Bewässerung geplant. Es ist die Idee entstanden, von diesem neuen Speicher aus eine Druckleitung bis unterhalb des GRB1 zu verlegen, um Murgänge, die eine hohe Konzentration und sehr niedere Fließgeschwindigkeit aufweisen, zu verdünnen. Dieser Vorschlag resultiert aus der Beobachtung, dass der Murgang am 16/08/1999 teilweise fast ins Stocken kam und bei der Erhöhung der Wasserzufuhr wieder beschleunigt wurde. Die Wirksamkeit dieser Maßnahme

ist noch kaum erprobt und es ist auch zu bedenken, dass eine große Menge an Wasser vonnöten wäre, um einen Murgang tatsächlich zu beschleunigen. Nimmt man an, dass mindestens über einen Zeitraum von 10 – 15 Minuten Wasser zugeschossen werden müsste und eine Wassermenge von 5 – 10 m<sup>3</sup>/s nötig wäre, um tatsächlich eine Verdünnung zu erreichen, wäre ein Wasservolumen von 3.000 – 9.000 m<sup>3</sup> notwendig.

Dieser Vorschlag kann als Experiment natürlich ausgeführt werden, er darf jedoch niemals andere Maßnahmen, die eine gezielte Verringerung des Risikos bedeuten, ersetzen.

- **Erhöhung der Abflusskapazität:** Die Erhöhung der Abflusskapazität des Fließquerschnitts im Dorf kann beispielsweise durch die Tieferlegung der Sohle bewirkt werden, was oft eine sehr effiziente Maßnahme ist. Bei Ergreifung dieser Maßnahme könnte gleichzeitig eine Aufwertung des Tschenglser Baches im Dorfbereich erfolgen, indem dem Fließquerschnitt durch eine naturnahe Gestaltung ein natürlicheres Aussehen verliehen wird als derzeit.
- **Gefahrenzonenplanung:** Diese ist als sehr wichtig zu beurteilen und soll in den nächsten Jahren im Rahmen der Erstellung der Gefahrenzonenpläne für die Autonome Provinz Bozen erfolgen. Die Ausweisung der Gefahrenzonen bildet eine solide Grundlage für raumplanerische Maßnahmen..
- **Warnsystem:** Es ist vorstellbar, im oberen Einzugsgebiet Sensoren zu installieren, die bei Auslösen eines Murganges einen Alarm an das Dorf weiterleiten, woraufhin dann die entsprechenden Notfallmaßnahmen durchgeführt werden können. Ein solches Alarmsystem ist natürlich auf Herz und Nieren zu testen, um dessen Wirksamkeit nicht durch das Auslösen von Fehlalarmen gleich wieder in Frage zu stellen.
- **Notfallplanung:** Selbst bei Ausführung von sehr aufwändigen und im Detail durchstudierten Maßnahmen bleibt ein Restrisiko bestehen. Deshalb ist eine Notfallplanung immer erforderlich, um beim Eintreten eines Katastrophenfalls gerüstet zu sein. Dazu gehört auch die regelmäßige Überprüfung auf Vollständigkeit und Funktionstüchtigkeit der bei den Durchbrüchen der Ufermauern bereitliegenden Dammbalken. Die Notfallplanung hat auf alle Fälle in Zusammenarbeit mit Vertretern des Zivilschutzkommandos der Dorfgemeinschaft zu erfolgen.
- **Gewässerunterhalt:** Ein regelmäßiger Gewässerunterhalt, wie er vom Amt für Wildbachverbauung bereits wahrgenommen wird, ist auch in Zukunft wichtig.



## 5. Zusammenfassung

### 5.1 Allgemeines

In der vorliegenden Studie sind durch ein schrittweises Vorgehen die Murgänge am Tschenglser Bach untersucht worden. Dabei konnten die wesentliche Vorgänge des Systems Murgang erfasst werden:

- mit Hilfe eines Niederschlag – Abfluss - Modells wurden Hochwasserganglinien für verschiedene Wiederkehrdauern ermittelt,
- anhand von in Laboruntersuchungen entwickelten Ansätzen konnten – auf Basis der Hochwasserganglinien – die Entstehung der Murgänge und die daraus resultierenden Murganghydrographen für verschiedene Ereignisgrößen ermittelt werden,
- die Deformation der Murgangwellen entlang der Transportstrecke erfolgte in einem eindimensionalen, instationären Modell, wobei die Geschieberückhaltebecken qualitativ berücksichtigt wurden,
- der Dorf- und Ablagerungsbereich im Auenwald wurden in einem zweidimensionalen, numerischen Modell untersucht.

Eine große Anzahl von Sensitivitätsanalysen in jedem Arbeitsschritt erlaubte die Definition von plausiblen Szenarien für die Murgänge am Tschenglser Bach. Ein wertvolles Hilfsmittel waren Spuren und Augenzeugenberichte über zwei Murgänge im Jahre 1999. Anhand dieser Ereignisse konnten die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte immer wieder verifiziert werden.

In der Studie wurden wertvolle Erkenntnisse im Hinblick auf das Gefahrenpotential des Tschenglser Baches gewonnen. Durch die bereits durchgeführten umfangreichen Verbauungen ist das Risiko im Dorf für Murgänge kleineren Ausmaßes minimiert. Bei größeren Murgängen jedoch sind die Schutzziele für das Dorf noch nicht ausreichend erfüllt. Vor allem die drei über den Bach führenden Brücken stellen ein Problem dar und können bei einem Murgang Verklausungen und darauffolgende Ausbrüche verursachen. In einer Kombination von Maßnahmen ist es möglich, eine Erhöhung des Schutzgrades für das Dorf zu erzielen. Nicht zu vernachlässigen ist eine sorgfältige Notfallplanung, die im Ernstfall mitentscheidend dafür ist, ob die größten Schäden abgewendet werden können.

Es ist empfehlenswert, den Tschenglser Bach in Zukunft eingehender zu beobachten. Dadurch können einerseits die Annahmen und Ergebnisse der vorliegenden Studie überprüft werden, andererseits lassen sich wertvolle Schlüsse auch für andere Einzugsgebiete ziehen. Denkbar wäre auch die Einrichtung einer Niederschlagsmessstationen auf der oberen Alm. Diese liegt in unmittelbarer Nähe der Murgangentstehungsgebiete, somit könnte das Niederschlagsverhalten im oberen Einzugsgebiet besser mitverfolgt werden. Durch die Schaffung einer Abflussmessstation im Dorfbereich wäre eine Überprüfung des Niederschlags – Abflussmodells möglich, was auch für andere Wildbacheinzugsgebiete von großem Wert sein könnte.

### 5.2 Weiterführende Studien

Im Verlauf des vorliegenden Projektes wurden Modellvorstellungen und Ansätze verwendet, die noch eingehender untersucht werden müssten:

- **Murganghydrograph:** Zur Erarbeitung des Murganghydrographen wurden die Ansätze von Tognacca (1999) und Takahashi (1991) kombiniert, weil der Ansatz von Tognacca für reelle Murgänge offenbar zu niedere Murfrachten liefert und jener von Takahashi zu hohe. Die genauere Untersuchung dieser Phänomene wäre wünschenswert, um über bessere Werkzeuge zur Berechnung des Geschiebetransportes von Murgängen verfügen zu können.
- **Deformation entlang der Transportstrecke:** Entlang der Transportstrecke wurde der Murgang als homogenes Fluid betrachtet. Dadurch ist es nicht möglich, die Veränderung der Murgangwelle in Bezug auf die Feststoffkonzentration zu beurteilen. Auch hierzu wären detailliertere Untersuchungen interessant.
- **Numerische Modellierung:** Bei der numerischen Modellierung stellt die Wahl der richtigen oder „am wenigsten falschen“ rheologischen Parameter den unsichersten Schritt dar. Nur anhand stattgefundenere Ereignisse kann eine Plausibilisierung der Annahmen erfolgen. Es bleibt zu hoffen, dass die derzeit betriebenen intensiven Forschungen auf diesem Gebiet in Zukunft bessere Instrumente zur Abschätzung der rheologischen Eigenschaften von Murgängen liefern können.
- **Wiederkehrdauer von Murgängen:** Die Ereignisgrößen von Murgängen hängen sicher nicht linear mit den Ereignisgrößen der dazugehörigen Reinwasserabflüsse zusammen. Es ist auch sehr schwierig, Murgänge hinsichtlich ihrer Wiederkehrdauer einzustufen, da sie nicht jedes Jahr auftreten. Damit wird eine wahrscheinlichkeitstheoretische Auswertung hinfällig. Überdies ist zu bedenken, dass zwei Murgänge gleicher Größe aufgrund ihrer rheologischen Eigenschaften gänzlich verschiedene Auswirkungen haben können. Deshalb müsste wohl ein Ansatz für die Wiederkehrdauer der schadensrelevanten Parameter aufgrund der Murgänge gefunden werden.

### 5.3 Hinweise zur Datenerhebung für Murgangereignisse

Um eine nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässer garantieren zu können, sollten für jedes Wildbacheinzugsgebiet eine Reihe von Daten vorhanden sein. Dazu gehören:

- **Ereignisdokumentation:** Diese bildet die beste Grundlage zur Beurteilung von murfähigen Wildbächen, wie sich auch in der vorliegenden Arbeit gezeigt hat. Folgende Größen sind von Interesse:
  - Ereignisgrößen anhand von Abschätzungen im Entstehungs-, Transport- und Ablagerungsgebiet,
  - Beobachtungen über Abflusstiefen und –geschwindigkeiten,
  - Kornverteilungskurven des verfrachteten Materials,
  - Aufnahmen der Geometrie von Ablagerungszungen und Levées,
  - Berichte über die Dauer und die Art der Ereignisse,
  - Niederschlagsdaten von den Ereignissen.
- **Videoaufnahmen:** Filme liefern sehr wertvolle Hinweise in Bezug auf Geschwindigkeiten, Abflusstiefen, Dauer und Art der Murgänge.
- **Projekte:** wie bereits heute vom Amt für Wildbachverbauung durchgeführt, ist die Archivierung der Pläne und Berichte von Bauprojekten sehr wichtig. Darin kann man

Hinweise darauf finden, wie gefährlich ein Bach einzustufen ist und welche Maßnahmen man schon getroffen hat.

- **Topographische Unterlagen:** Terrestrische Vermessungen oder Geländemodelle sind vor allem dort wichtig, wo genauere Aussagen über Murgänge notwendig sind. Normalerweise betrifft das Dorfbereiche oder Bereiche, wo wichtige Verkehrsadern verlaufen.
- **Geschiebequellen:** Aufzeichnungen darüber, wo welche Geschiebequellen mit welchem Volumen vorhanden sind, erlauben die Abschätzung von Murgangfrachten und sind sehr wichtig für realistische Einschätzungen der Murgangaktivität von Wildbacheinzugsgebieten.

Mals, am 15.01.2001

Walter Gostner

## Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 1 - Vereinfachtes Schema des Längenprofils eines Murganges
- Abbildung 2 - Zusammenhang zwischen Grunddisposition, variabler Disposition und auslösendem Ereignis
- Abbildung 3 - kritische Niederschlagsintensität für die Auslösung von Murgängen als Funktion des kumulativen Niederschlags (durchgezogene Linien: Einzugsgebiete in Japan; Punkte 1 – 6: Beobachtungen in der Schweiz) (aus: Bezzola, 2000)
- Abbildung 4 - Zusammenhang zwischen verschiedenen Abflussformen, Bettformen und Gefälle in erodierbaren Gerinnen (Datenquelle: M:Mizuyama, B:Bathurst, G:Gilbert, T:Takahashi, A:Ashida)
- Abbildung 5 - Domänen verschiedener Murgangstypen
- Abbildung 6 - Darstellung der wichtigsten Fließgesetze (aus: O'Brien, 2000)
- Abbildung 7 - Ereignisgeschichte der Murgänge am Tschenglser Bach
- Abbildung 8 - homogene Subzonen im Triveneto (Villi, 1994)
- Abbildung 9 - Vergleich der Intensitäten für den 50 – jährigen Niederschlag
- Abbildung 10 - Verlauf der Intensität  $i$  und der Niederschlagssumme  $\square$  für verschiedene Hyetographen
- Abbildung 11 -  $Q_{max}$  für unterschiedliche Hyetographen in Abhängigkeit der Niederschlagsdauer
- Abbildung 12 - Abflussganglinien an der Stelle WF1 (Niederschlagsdauer 360 – 540 min) für Kombination von dreiecksförmigen mit alternating – blocks – Hyetographen
- Abbildung 13 - Hochwasserwerte errechnet anhand Projekt VAPI
- Abbildung 14 - Hydrographen verschiedener Jährlichkeiten an maßgebenden Stellen
- Abbildung 15 - Hydrographen an maßgebenden Stellen für verschiedene Jährlichkeiten
- Abbildung 16 - Wahrscheinlichkeitsverteilung der Maximalabflüsse an verschiedenen Querschnitten
- Abbildung 17 - HQ50 am Querschnitt WF1 als Summe von 50 – jährigen Hochwasserganglinien verschiedener Teileinzugsgebiete
- Abbildung 18 - Normierte Feststoffkonzentration in Funktion des Gefälles nach Tognacca (1999)
- Abbildung 19 - Beispiel zur Erarbeitung eines Murganghydrographen ( $Q_{ges} = Q_W + Q_B$ )
- Abbildung 20 - Graphische Abbildung der Gleichungen (18) und (21)
- Abbildung 21 - Beispiel für die Kombination der Ansätze von Takahashi und Tognacca
- Abbildung 22 - Feststofffrachten bei der Anwendung verschiedener Geschiebetransportformeln am Querschnitt 8\_3 in Abhängigkeit von der Wiederkehrdauer der eingesetzten Reinwasserhydrographen
- Abbildung 23 - Reinwasser-, Feststoff- und Murganghydrographen, Volumenkonzentration an ausgewählten Querschnitten
- Abbildung 24 - Feststofffrachten in Funktion der Wiederkehrdauer der Reinwasserhydrographen
- Abbildung 25 - Murganghydrographen am Fuß des Wasserfalls (WF1)
- Abbildung 26 - Deformation der Murganghydrographen entlang Transportstrecke

- Abbildung 27 - Generiertes Raster mit 30 m Maschenweite als „Floodplain“ und der Künette als „Channel“
- Abbildung 28 - Niederschläge am 16/08/1999 und 20/09/1999 in Prad / Agums, Laas und Sulden
- Abbildung 29 - angenommene Funktionen für Grenzscherspannung
- Abbildung 30 - angenommene Funktionen für Viskosität
- Abbildung 31 - Ergebnisse der Berechnung M14
- Abbildung 32 - Ausschnitt aus Modellrechnung M311: Dorfbereich
- Abbildung 33 - Beispiel für eine Modellrechnung – gesamtes Rechengebiet (M110)

### **Verzeichnis der Tabellen**

- Tabelle 1 - Gleichungen zur Ermittlung der mittleren Fließgeschwindigkeit für verschiedenes rheologisches Verhalten
- Tabelle 2 - Abschnitte des Tschenglser Baches
- Tabelle 3 - Geschichte der Murgänge am Tschenglser Bach (ab 18. Jh.)
- Tabelle 4 - Verbauungsgeschichte am Tschenglser Bach
- Tabelle 5 - CN – Werte in Abhängigkeit von Bodengruppe und Bodennutzung für Bodenfeuchteklasse II (aus: Maniak, 1997)
- Tabelle 6 - Zur Verfügung stehende Niederschlagsmessungen
- Tabelle 7 - Maximalabflüsse maßgebender Hochwässer an verschiedenen Querschnitten
- Tabelle 8 - Murfrachten und Maximalabflüsse (bei WF1) für Murgänge aus dem Teileinzugsgebiet 8c
- Tabelle 9 - empirisch ermittelte Murfrachten für den Tschenglser Bach
- Tabelle 10 - Literaturangaben für die rheologischen Parameter verschiedener Murgänge
- Tabelle 11 - Vorregenmengen in Prad / Agums, Laas und Sulden bei den Ereignissen 1999
- Tabelle 12 - Feststofffrachten der Murgänge 1999
- Tabelle 13 - Durchgeführtes Rechenprogramm
- Tabelle 14 - Ausgewählte maximale Abflusstiefen

## Verzeichnis der verwendeten Symbole

A	[ - ]	geometrischer Korrekturfaktor (im Modell von Herschel – Bulkley)
$a_1$	[ - ]	empirische Konstante (lt. Bagnold = 0.042, lt. Takahashi $0.35 < a_1 < 0.5$ )
b	[ - ]	empirischer Koeffizient zur Ermittlung von $n_{ct}$
$B_g$	[m]	Breite des Gerinnes
$B_p$	[m]	Breite der scherfreien Zone
c	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	Kohäsion
c	[ - ]	Feststoffkonzentration
$c_v$	[ - ]	Volumenkonzentration der Feststoffe
C	[m <sup>1/2</sup> /s]	Chézybeiwert
CN	[ - ]	Kurvennummer (Charakterisierung des Bodens)
d	[m]	Korndurchmesser
$d_m$	[m]	mittlerer Durchmesser des Sohlmaterials
$\frac{dv}{dy}$	[m/s,m]	Scherrate
EL	[m <sup>3</sup> /m]	Erosionsleistung
g	[m/s <sup>2</sup> ]	Erdbeschleunigung
G	[ - ]	Fließparameter
h	[m]	Abflusstiefe
$h_k$	[m]	Höhe der Ablagerungszunge auf dem Murkegel
H	[m]	Abflusstiefe, bei der die Schubspannung der Grenzscherspannung entspricht
J	[ - ]	Gefälle des Gerinnes
$J_c$	[ - ]	Reibungsgefälle aufgrund Grenzscherspannung
$J_{ct}$	[ - ]	turbulent – dispersives Reibungsgefälle
$J_f$	[ - ]	totales Reibungsgefälle
$J_K$	[ - ]	Gefälle des Kegels
$J_v$	[ - ]	viskoses Reibungsgefälle
$k_{St}$	[m <sup>1/3</sup> /s]	Stricklerbeiwert
l	[m]	Prandtl'sche Mischweglänge
K	[Pa s <sup>1/3</sup> ]	rheologischer Parameter im Modell von Herschel – Bulkley
K	[s /m <sup>1/3</sup> ]	Widerstandsbeiwert für laminaren Abfluss

$L_K$	$[m]$	Länge der Ablagerungszunge auf dem Murkegel
$n$	$[s / m^{1/3}]$	Manningbeiwert
$n_{ot}$	$[s / m^{1/3}]$	kombinierter Manningbeiwert für turbulente und dispersive Komponenten
$m$	$[-]$	empirischer Koeffizient zur Ermittlung von $n_{ot}$
$M$	$[m^3]$	Feststofffracht (Murfracht)
$N$	$[-]$	Bagnoldzahl
$N_B$	$[mm]$	Bruttoregen
$N_D$	$[mm]$	Nettoregen
$q$	$[m^3/s, m]$	spezifischer Abfluss
$q^*$	$[-]$	dimensionsloser Abfluss, definiert durch $q^* = \frac{q}{\sqrt{g} \cdot d^{3/2}}$ (Abbildung 4)
$q_{Dlc}$	$[m^3/s, m]$	kritischer spezifischer Abfluss für die Murgangentstehung
$Q_B$	$[m^3/s]$	Feststoffabfluss
$Q_w$	$[m^3/s]$	Reinwasserabfluss
$Q_{ges}$	$[m^3/s]$	Gesamtabfluss
$r$	$[mm/h]$	Niederschlagsintensität (Abbildung 3)
$R$	$[mm]$	Niederschlagssumme (Abbildung 3)
$t, T$	$[min \text{ bzw. } h]$	Zeit
$T$	$[Pa = N/m^2]$	totale Schubspannung
$v_x, v_y$	$[m/s]$	x,y – Komponenten der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit
$x, y$	$[m]$	Raumkoordinaten
$\alpha$	$[Ns^2/m^2]$	Proportionalitätsfaktor ( $= a_1 \rho_s \lambda^2 d^2 \sin \varphi_d$ )
$\alpha_i, \beta_i$	$[-]$	empirische Koeffizienten zur Bestimmung der rheologischen Parameter
$\Delta$	$[-]$	$= \left( \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) = 1.65$
$\gamma_m$	$[N/m^3]$	spezifisches Gewicht des Wasser – Korn – Gemisches
$\varphi$	$[^\circ]$	innerer Reibungswinkel
$\varphi_d$	$[^\circ]$	dynamischer innerer Reibungswinkel
$\lambda$	$[-]$	lineare Feststoffkonzentration nach Bagnold
$\mu_b$	$[Pas]$	bingham'sche Viskosität des Fluids

$\mu_c$	[Pas]	dispersiver Parameter des Fluids (entspricht dem Proportionalitätsfaktor $\alpha$ )
$\mu_f$	[Pas]	bingham'sche Viskosität des Fluids
$\mu_m$	[Pas]	effektive Viskosität des Fluids
$\mu_t$	[Pas]	turbulenter Parameter des Fluids
$\mu_w$	[Pas]	dynamische Viskosität des Wassers
$\rho_m$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte des Wasser – Korn – Gemisches
$\rho_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Korndichte
$\rho_w$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Dichte des Wassers
$\tau$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	Scherspannung
$\tau_c$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	Grenzscherspannung
$\tau_{mc}$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	Mohr – Coulomb'sche Grenzscherspannung
$\tau_t$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	turbulente Schubspannung
$\tau_y$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	kohäsive Grenzscherspannung
$\tau_\alpha$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	dispersive Schubspannung
$\tau_v$	[Pa = N/m <sup>2</sup> ]	viskose Schubspannung

### Verzeichnis der Abkürzungen

GRB	Geschieberückhaltebecken
N-A-Modell	Niederschlags – Abfluss – Modell
B	Brücke
Amt für Wildbachverbauung	Abteilung 30 der Autonomen Provinz Bozen, Wasserschutzbauten, Sonderbetrieb für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung



## Literaturverzeichnis

- Armanini, A. (1998): „*Previsione e prevenzione del rischio da colata di detriti*“, Convegno sul rischio idrogeologico e la difesa del suolo, Roma 1998, Atti dei Convegni Lincei 154, pp. 13 – 47
- Armanini, A. (1999): „*Dinamica delle colate di detriti*“, Atti del Convegno „Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi“, Trento 17-18-19 giugno 1999, GEAM, Torino, pp. 207 - 221
- Artina, S. et al. (1997): „*Sistemi di fognatura*“, Manuale di progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli Milano, 932 p.
- Bagnold, R. (1954): „*Experiments in a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear*“, Proc. Royal. Soc. London, Vol. 225, pp. 49 – 63
- Bergomi, T. (2001): „*Numerische Untersuchung von Murgängen. Das Programm FLO-2D*“, Diplomarbeit an der VAW Zürich
- Bezzola, G.R. (2000): „*Debris flows*“, Vorlesung am Nachdiplomstudium für hydraulische Anlagen, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)
- Boillat, J.L., Bédard, Ch., A., Duvernay, B. (2000): „*Essais complémentaires sur l'ouvrage d'écroulement du Pissot pour la modélisation de laves torrentielles boueuses*“, Internationales Symposium Interpraevent 2000, Villach, Vol. 3, pp. 19 – 29
- Boss International (2000): „*Boss Dambrk – Hydrodynamic flood routing*“, User's Manual
- Cavazzana, R. et al. (1999): „*Hydrogeologischer Gefahrenzonenplan für Franzensfeste*“, Pilotprojekt der Autonomen Provinz Bozen, 1999
- Chen, R.H., Yang, S.C. (2000): „*Study on debris-flow triggered by pore water pressure*“, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wiczeorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, pp. 61 - 65
- Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988): „*Applied Hydrology*“, McGraw – Hill International Editions, Civil Engineering Series, 572 p.
- Coussot, P. (1996): „*Les laves torrentielles, Connaissances à l'usage du praticien*“, Equipement pour l'eau et l'environnement 23, Cemagref Editions, 177 p.
- Coussot, P. (1997): „*Mudflow rheology and dynamic*“, IAHR Monograph Rotterdam, Balkema
- Davies, T.R.H., (1988): „*Debris Flow Surges – a laboratory investigation*“, Mitteilungen 96 der VAW – Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 114 p.

- Fehr, R. (1987): „Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse“, Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck aus Heft 38, pp. 1104 – 1109
- Fliri, F. (1998): „Naturchronik von Tirol“, Universitätsverlag Wagner, Innsbruck, 370 p.
- Genevois, R. et al. (2000): „Debris-flows in the dolomites: experimental data from a monitoring system“, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wieczorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, pp. 283 – 290
- Genolet, F. (2002): „Modélisation de laves torrentielles, contribution à la paramétrisation du modèle Voellmy – Perla“, Master's Thesis, Cycle Postgrade en aménagements hydrauliques, EPFL Lausanne
- Ghilardi, P., Natale, L., Savi, F. (2000): „Debris flow propagation on urbanized alluvial fans“, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wieczorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, pp. 471 – 477
- Graf, W., Altinakar, M.S. (2000): „Hydraulique fluviale – écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple“, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 624 p.
- Hampel, R. (1990): „Formelsammlung und Rechenschema für Wasser und Geschiebe in Wildbächen“, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, Jg. 54, Heft 114, pp.167 - 175
- Heinimann, H.R. et al. (1998): „Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren“, Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren. Herausgeber.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern
- Henderson, F.M. (1966): „Open channel flow“, Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 522 p.
- Hübl, J., Steinwendtner, H. (2000): „Zweidimensionale Modellierung von Murgängen anhand zweier ausgewählter Beispiele in Österreich“, Internationales Symposium Interpraevent 2000 – Villach / Österreich, Tagungspublikation, Band 3, S. 179 – 190
- Jäggi, M. und Pellandini, S. (1993): „Torrent check dams as a control measure for debris flows“, Recent Developments on debris flows, Editors: Armanini, A. and Masanori, M., Springer, Berlin
- Jäggi, M. (1999 – 2000): „Flussbau“, ETH Zürich, Professur für Wasserbau, Prof. H. – E. Minor,
- Jan, Ch.D., Shen, H.W. (1993): „Review dynamic modeling of debris flows“, International Workshop on debris flows, Kagoshima, Japan, September 6 – 8, pp. 33 – 42
- Johnson, A.M. (1970): „Physical processes in geology“, San Francisco: Freeman, Cooper

- Klubertanz, G., Laloui, L., Vulliet, L. (2000): „*Parameters governing debris-flow initiation*“, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wieczorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, pp. 73 - 79
- Li, J., Chen, Q., Kang, Z. (1983): „*The main feature of the mudflow in Jiang-Jia Ravine*“, Zeitschrift für Geomorphologie, N.F.Band 27, Heft 3, pp. 326 – 341
- Mainali, A.P., Rajaratnam, N. (1991): „*Hydraulics of debris flows*“, Water Resources Engineering Report (WRE 91-2), Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada, T6G 2G7, 162 p.
- Maniak, U. (1997): „*Hydrologie und Wasserwirtschaft*“, eine Einführung für Ingenieure, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 624 p.
- O'Brien, J.S., und Julien, P.Y. (1985): „*Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows*“, specialty conference on delineation of landslide, flash flood and debris flow hazard in Utah, Utah State University, pp. 260 – 279
- O'Brien, J.S. (2001): „*FLO-2D, Users Manual*“, Version 2001.06, P.O. Box 66, Nutrioso, AZ 85932, 83 p.
- Pierson, T.C. (1980): „*Erosion and deposition by debris flows at Mt. Thomas, North Canterbury, New Zealand*“, Earth Surface Processes, Vol.5, pp. 227 – 247
- Plate, E., Ihringer, J. (2000): „*Flood estimation methods: current practice in Switzerland, Germany and Austria*“, International Workshop on “Flood estimation methods and associated impacts on design and management practices”, Pontresina (CH), April 6 – 7, 2000
- PWRI (Public Works Research Institute) (1987): „*Measures against debris flow on roads*“, Technical Memorandum of PWRI No. 2492, Sabo (Erosion control) Division, Ministry of construction, Japan, 25 p.
- PWRI (Public Works Research Institute) (1998): „*Technical standard for measures against debris flow (draft)*“, Technical Memorandum of PWRI No. 2632, Sabo (Erosion control) Division, Ministry of construction, Japan, 48 p.
- Raffener, H. (1990): „*Mit Gefahren leben*“, die freiwillige Feuerwehr in Tschengls 1890 – 1990, Meran 1990
- Rickenmann, D. (1990): „*Debris flows in 1987 in Switzerland: modelling and fluvial sediment transport*“, Hydrology in Mountainous Regions, Artificial Reservoirs, Water and Slopes, Proceedings of two Lausanne Symposia, August, IAHS Publ. No. 194, pp. 371 – 378
- Rickenmann, D. (1999): „*Empirical relationships*“, Natural Hazards 19, Kluwer Academic Publishers, pp. 47 – 77

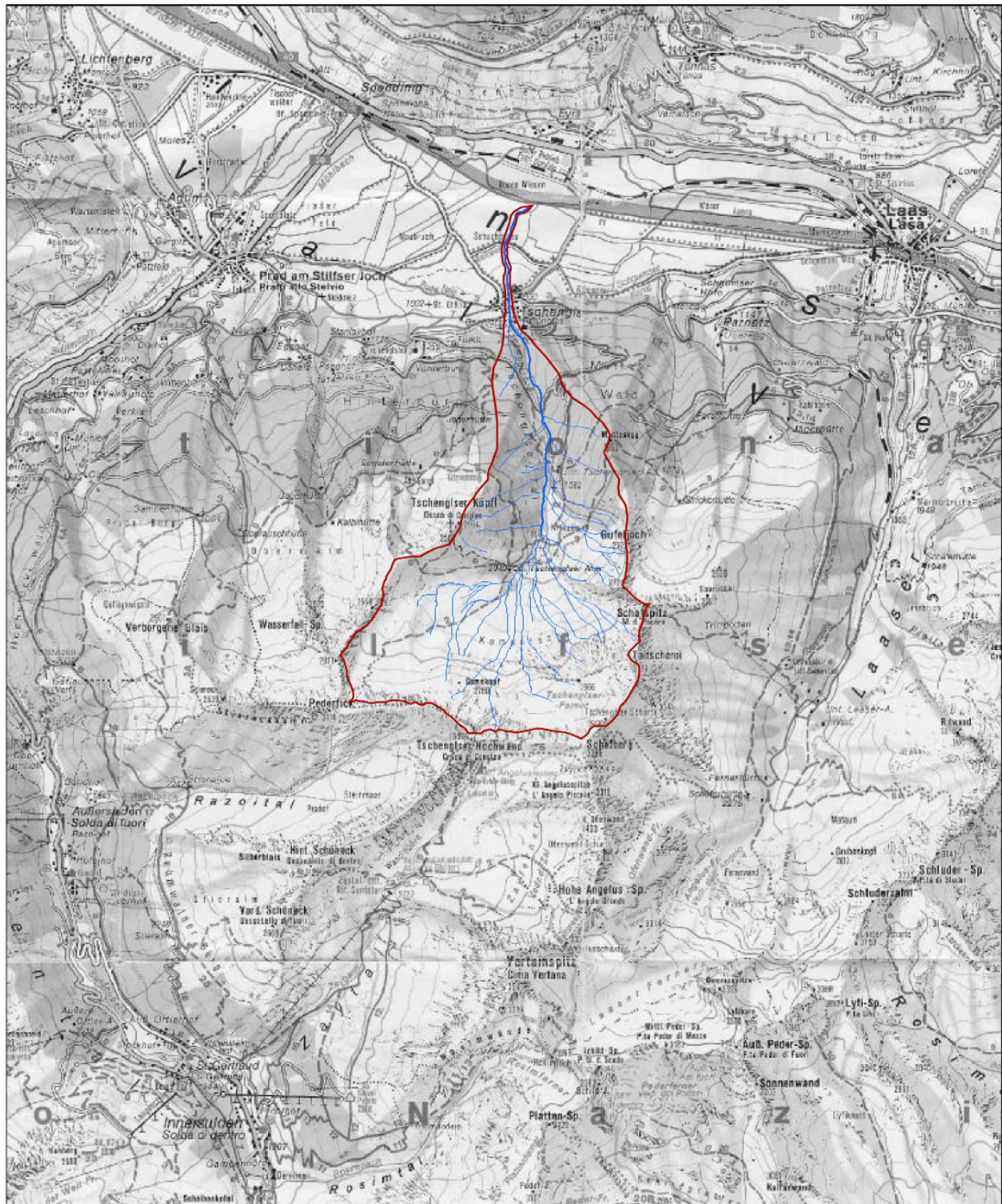
- Roesli, U., Schindler, C. (1990): *“Debris flows in 1987 in Switzerland: geological and hydrogeological aspects”*, Hydrology in Mountainous Regions, Artificial Reservoirs, Water and Slopes, Proceedings of two Lausanne Symposia, August, IAHS Publ. No. 194, pp. 379 – 393
- Rosso, R. und De Michele, C. (2000): *„CNR-GNDCI-U.O.1.8-Rapporto VAP”*, 2.Italia Nord-Occidentale: Bacino del Fiume Po e Liguria Tirrenica
- Stacul, P. (1979): *“Wildbachverbauung in Südtirol gestern und heute”*, Sonderbetrieb für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung, Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 116 p.
- Strunk, H. (1988): *„Episodische Murschübe in den Pragser Dolomiten – semiquantitative Erfassung von Frequenz und Transportmenge“*, Z Geomorph. N.F., Suppl.-Bd. 70: 163 – 186, Berlin – Stuttgart
- Takahashi, T. (1991): *„Debris flow“*, A.A. Balkema, Rotterdam
- Takahashi, T. (1993): *“Dynamics of inertial and viscous debris flows”*, International Workshop on debris flows, Kagoshima, Japan, September 6 – 8, pp. 43 – 55
- Takahashi, T. (2000): *“Initiation and flow of various types of debris-flow”*, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wieczorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, Keynote lectures, pp. 15 – 25
- Tognacca, C. (1999): *„Beitrag zur Untersuchung der Entstehungsmechanismen von Murgängen“*, Mitteilungen 164 der VAW – Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 259 p.
- Tognacca, Ch., Bezzola, G.R., Minor, H.-E. (2000): *“Threshold criterion for debris-flow initiation due to channel bed failure”*, Debris-Flow Hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment, Wieczorek & Naeser, Balkema, Rotterdam, pp. 89 - 97
- US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (2000): *„HEC-HMS 2-1 Hydraulic Modeling System“*, User Manual and Technical Reference Manual
- VAW (1992): *„Murgänge 1987, Dokumentation und Analyse“*, Bericht Nr. 97.6 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 620 p.
- VAW (2001): *„Numerische Simulation Maschänserrüfe“*, Bericht Nr. 4159 der VAW – Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 32 p.
- Villi, V. (1994): *„Valutazione delle piogge estreme nell’ Italia nord-orientale“*, in „La valutazione delle piene in Italia“, CNR, Roma
- Vischer, D. und Bezzola, G.R. (2000): *„Bewegliche Wildbachbrücken und alternative Lösungen“*, Sonderdruck aus Wasserwirtschaft, Zeitschrift für Wasser und Umwelt, Wiesbaden, 6p.

- Weber, D., Rickenmann, D. (2000): „*Zum Fließverhalten granularer Murschübe*“, Internationales Symposium Interpraevent 2000, Villach, Vol. 3, pp. 345 – 356
- Zeller, J., Geiger, H., Röthlisberger, G. (1976): „*Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes*“, 6 Bände, Birmensdorf
- Zimmermann, M., Mani, P. und Romang, H. (1997): „*Magnitude – Frequency aspects of alpine debris flows*“, Eclogae geol. Helv. 90
- Zimmermann, M., Mani, P. und Gamma, P. (1997): „*Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS – basierter Ansatz*“, vdf – Hochschulverlag, Zürich

## A. Anhang

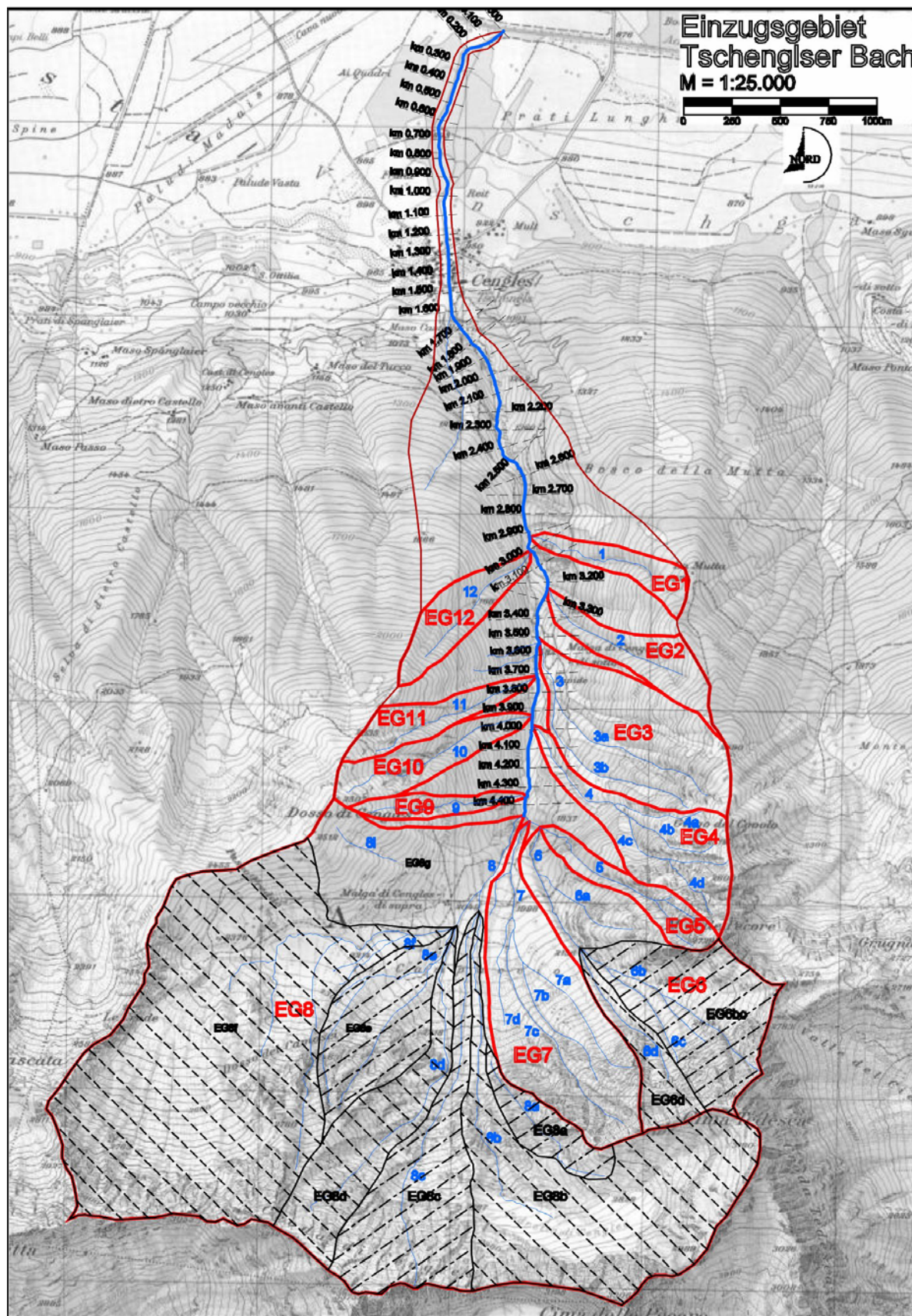
### A1. Das Einzugsgebiet

#### A1.1 Großräumige Lage des Einzugsgebietes 1:75.000





A1.2 Teileinzugsgebiete 1:25.000

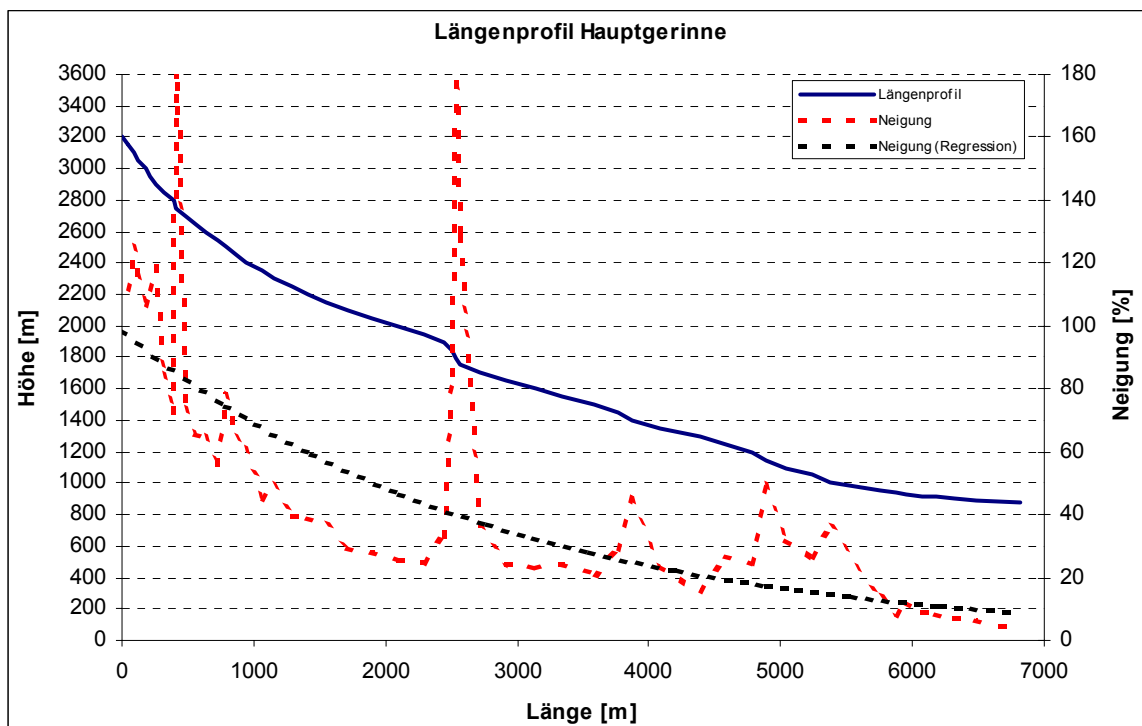


### Übersicht Einzugsgebiete

Gesamtfläche Einzugsgebiet [km<sup>2</sup>]

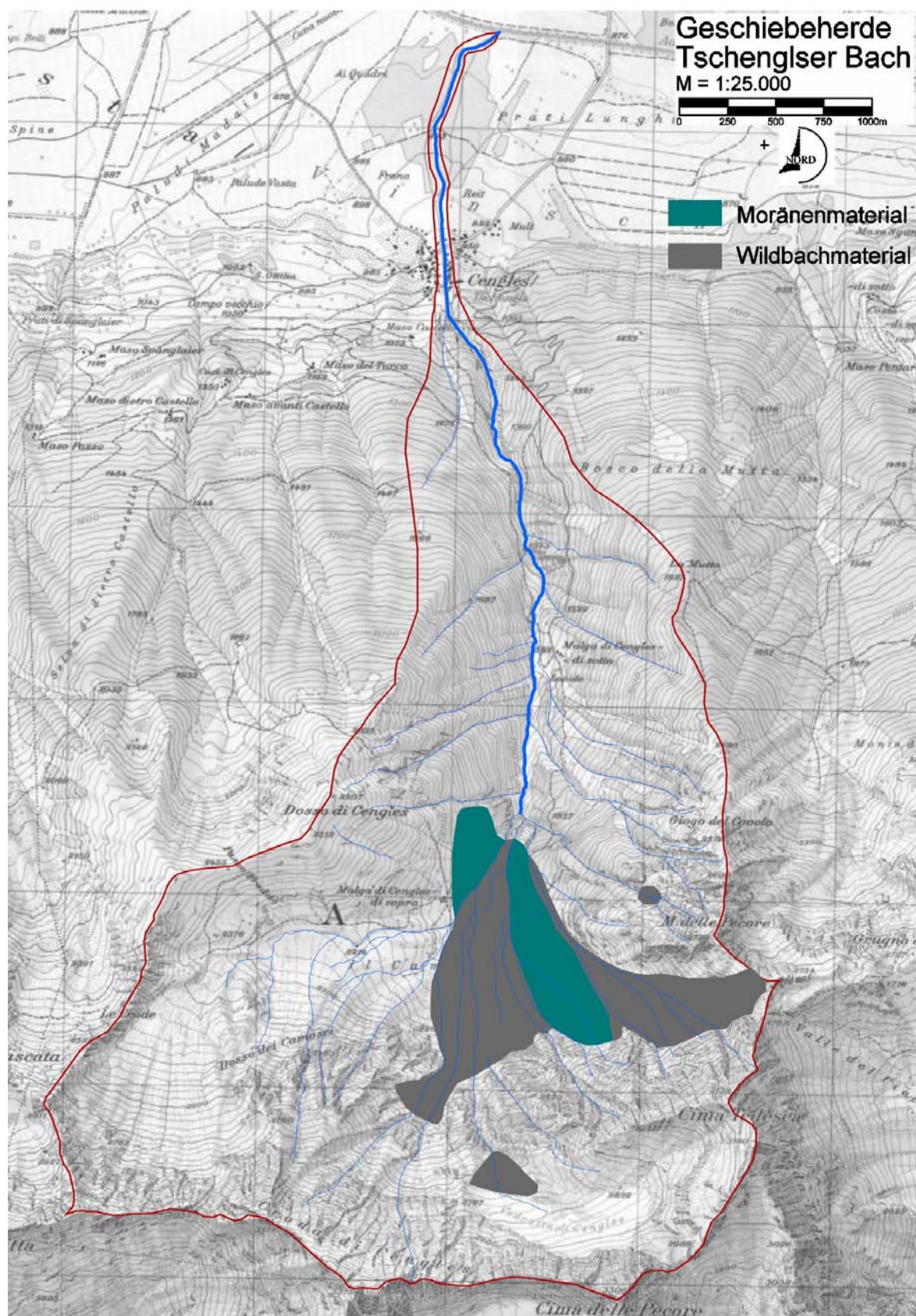
10.63

Teileinzugsgebiet (2.Ord.)	Teileinzugsgebiet (1.Ord.)	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Fläche [km <sup>2</sup> ]
	1		0.11
	2		0.18
	3		0.53
	4		0.34
	5		0.15
6bc		0.49	
6d		0.16	
	6		0.88
	7		0.68
8a		0.15	
8b		1.11	
8c		0.58	
8d		0.43	
8e		0.37	
8f		2.13	
	8		5.30
	9		0.08
	10		0.19
	11		0.15
	12		0.16





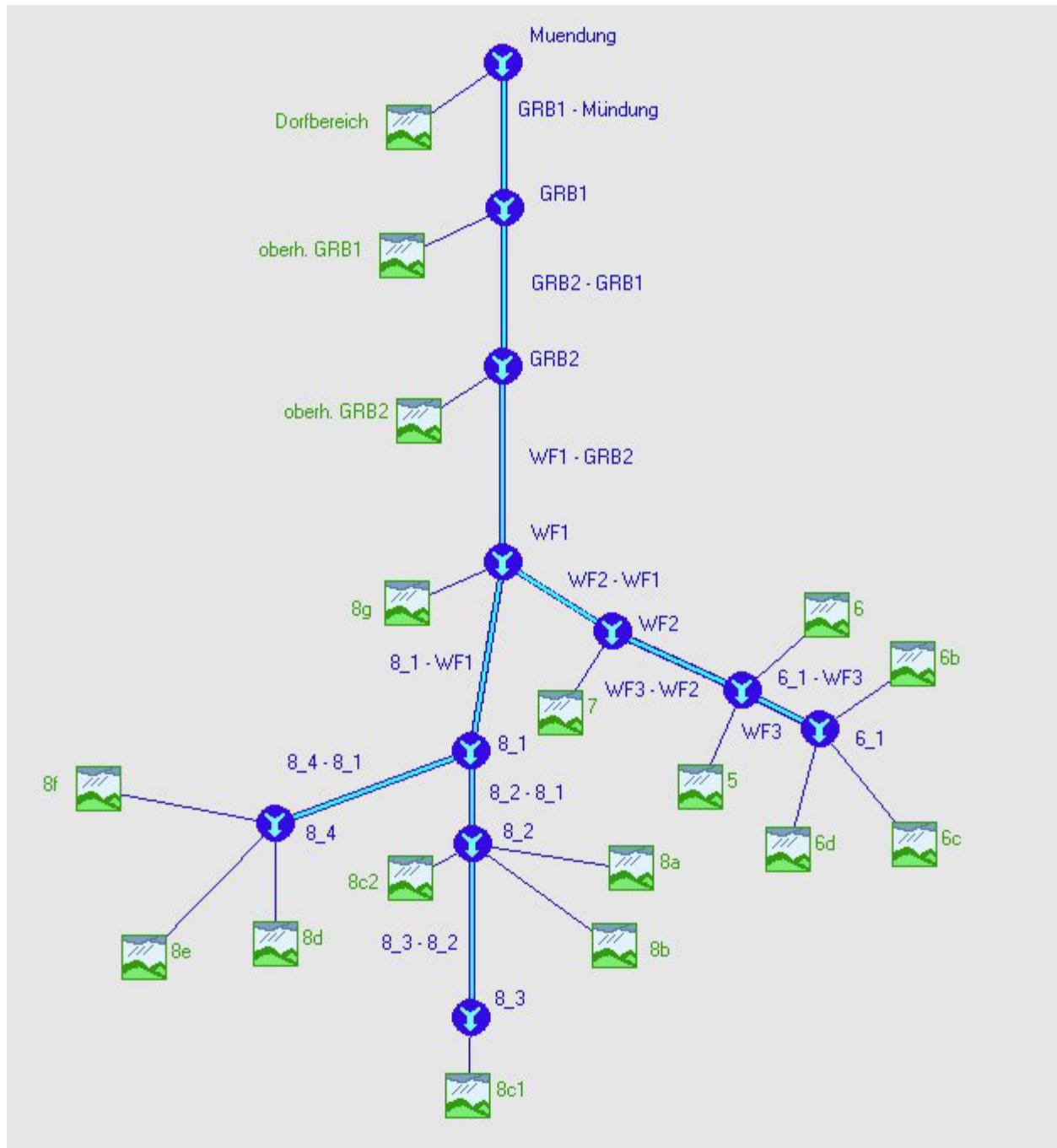
A1.3 Geschiebeherde 1:25.000



## A2. Hydrologie

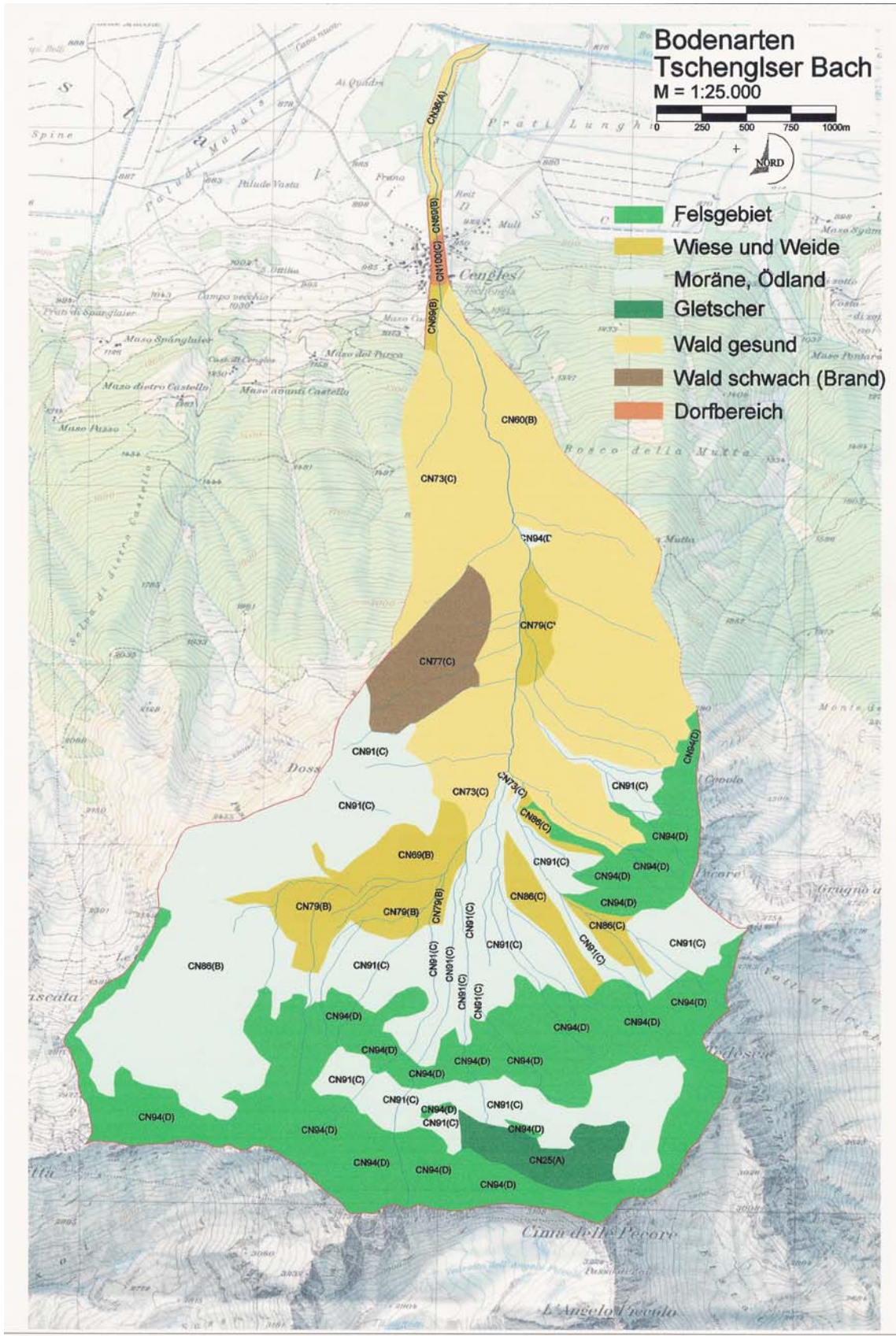
### A2.1 Teileinzugsgebiete

#### A2.1.1 Teileinzugsgebiete Modell HEC - HMS





### A2.1.2 Einteilung des Einzugsgebietes in Bodenarten zur Zuweisung des CN-Wertes



### A2.1.3 Wichtigste Kenndaten der Teileinzugsgebiete und Gerinneabschnitte

Ermittlung CN - Wert																
Einzugsgebiet	F1	CN	F2	CN	F3	CN	F4	CN	F5	CN	F6	CN	F7	CN	F tot	CN <sub>med</sub>
[Name]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[ha]	[-]	[km <sup>2</sup> ]	[-]
Dorfbereich	0.00	0	0.00	0	1.79	69	6.42	36	0.00	0	0.00	0	2.17	100	0.104	55
oberh. GRB 1	0.00	0	0.00	0	2.83	69	61.63	69	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.645	69
oberh. GRB 2	17.99	94	26.30	91.2	10.68	79	196.73	64.3	35.24	77	0.00	0	0.00	0	2.869	71
8g	0.00	94	30.14	91	16.89	69	7.10	73	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.541	82
7	24.24	94	31.12	91	12.40	86	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.678	91
5	6.98	94	0.00	0	0.00	0	7.95	60	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.149	76
6	7.18	94	11.86	91	3.11	86	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.222	91
6b	6.57	94	17.00	91	1.01	86	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.246	92
6c	14.74	94	4.10	91	5.87	86	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.247	92
6d	10.69	94	5.74	91	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.164	93
8a	14.09	94	1.11	91	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.152	94
8b	57.70	94	38.30	91	0.00	0	0.00	0	0.00	0	22.41	25	0.00	0	1.184	80
8c2	0.00	94	10.38	91	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.104	91
8c1	35.56	94	12.17	91	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.477	93
8f	57.69	94	128.99	86	25.79	79	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	2.125	87
8e	8.91	94	19.82	91	8.68	79	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.374	89
8d	23.61	94	17.47	91	1.54	79	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.426	92
Summe	285.95		354.50		90.59		279.83		35.24		22.41		2.17		10.71	

Ermittlung Konzentrationszeit																
Einzugsgebiet	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	L <sub>FI</sub>	I	Ret. C	i	Ret R	n	Rat C	t <sub>c1</sub>	t <sub>c2</sub>	t <sub>c3</sub>	t <sub>c4</sub>	t <sub>c</sub>	t <sub>L</sub>	
[Name]	[m]	[m]	[m]	[-]		[mm/h]		[-]		[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	[min]	
Dorfbereich	1000	875	1500	0.08	0.015		0.2	0.25	0.5		37.4	45.4	38.1	40	24	
oberh. GRB 1	1750	1000	1800	0.67	0.06		0.8	0.5	0.05	29.3	47.4	29.7	36.3	36	21	
oberh. GRB 2	2730	1300	2890	0.70	0.06		0.8	0.5	0.05	33.9	58.5	40.7	45.3	45	27	
8g	2516	1740	1250	0.62	0.045		0.6	0.5	0.15	20.1	35.6	21.3	28.1	26	16	
7	3000	1750	1800	0.69	0.045		0.6	0.5	0.2	22	41.1	29.3	30.8	31	18	
5	2730	1790	1050	0.90	0.03		0.4	0.25	0.3	11.4		18.9	19.1	16	10	
6	2150	1790	950	0.38	0.045		0.6	0.25	0.2	21.5	35.1	19.5	27.2	26	15	
6b	2900	2150	1050	0.71	0.045		0.6	0.25	0.3	18.2	31.8	18.8	20.7	22	13	
6c	3100	2150	1150	0.83	0.045		0.6	0.25	0.3	17.8	32	20.0	20.6	23	14	
6d	3100	2150	1000	0.95	0.045		0.6	0.25	0.3	16.3	29	17.6	18.4	20	12	
8a	2950	2230	950	0.76	0.015		0.2	0.17	0.4		17.9	17.6	16.8	17	10	
8b	3300	2020	2450	0.52	0.06		0.8	0.5	0.15	35.3	58.1	40.0	41.6	44	26	
8c2	2450	2020	1200	0.36	0.03		0.4	0.25	0.2	16	32.8	26.9	31.2	27	16	
8c1	3375	2450	900	1.03	0.015		0.2	0.17	0.4		16.2	14.0	14.8	15	9	
8f	3200	2050	2700	0.43	0.045		0.6	0.25	0.2	29.3	55.5	43.2	44.1	43	26	
8e	2810	2050	1250	0.61	0.015		0.2	0.17	0.4		21.4	22.2	20.8	21	13	
8d	3320	2050	1850	0.69	0.015		0.2	0.17	0.4		24.9	31.6	24.3	27	16	

#### Übersicht Teilstrecken

Teilstrecke	H <sub>max</sub>	H <sub>min</sub>	Länge	Gefälle	Sohlbreite	Uferneigung	Manning	Strickler	MNRI	
[Name]	[m]	[m]	[m]	[-]	[m]	[1:x]	[-]	[m <sup>1/3</sup> /s]		
GRB1 - Mündung	1000	875	1500	0.083		2	0.5	0.017	58.8	100
GRB2 - GRB1	1300	1000	1050	0.286		6	0.5	0.067	14.9	70
WF1 - GRB2	1740	1300	1800	0.244		10	1	0.04	25.0	120
WF2 - WF1	1750	1740	40	0.250		6	1	0.05	20.0	3
WF3 - WF2	1790	1750	70	0.571		6	1	0.05	20.0	5
6_1 - WF3	2150	1790	700	0.514		5	1	0.045	22.2	47
8_1 - WF1	1990	1740	480	0.521		5	1	0.045	22.2	32
8_2 - 8_1	2020	1990	120	0.250		5	1	0.045	22.2	8
8_3 - 8_2	2450	2020	1200	0.358		6	1.5	0.045	22.2	80
8_4 - 8_1	2050	2020	230	0.130		4	1.5	0.05	20.0	15

### A2.1.4 Koeffizienten zur Ermittlung der Konzentrationszeit

<b>Retardance Coefficient</b>	
glatter Asphalt	0.007
Sandboden	0.0075
Beton	0.012
Kies	0.017
dichtes Gras	0.06

<b>Retardance Roughness</b>	
glatter Boden	0.02
schwacher Grasbewuchs	0.3
mittlerer Grasbewuchs	0.4
dichter Grasbewuchs	0.8

<b>Rational Coefficient</b>	
Stadtzentrum	0.75 - 0.95
Einzelhaus	0.30 - 0.50
Asphalt / Beton	0.70 - 0.95
sandiger Boden	0.05 - 0.20
schwerer Boden	0.13 - 0.35
Ziegel	0.70 - 0.85

### Verzeichnis der Abkürzungen

F1	Felsgebiet
F2	Moräne + Ödland
F3	Almweide + Wiesen
F4	Wald gesund
F5	Wald schwach (Brand)
F6	Gletscher
F7	Dorfbereich
CN	SCS Kurvennummer
$H_{max}$	höchste Erhebung im EG
$H_{min}$	niederste Erhebung im EG
$L_{FI}$	längster Fließweg oberflächlich im EG
Ret. C	Retardance Coefficient
$i$	Regenintensität
Ret R	Retardance Roughness
$n$	Manningwert oberflächlich
Rat C	Rational Coefficient
$t_c$	Konzentrationszeit
$t_L$	Lag - Zeit
$t_{c1}$	$t_c$ (Izzard)
$t_{c2}$	$t_c$ (Kerby)
$t_{c3}$	$t_c$ (Bransby Williams)
$t_{c4}$	$t_c$ (Fed. Aviation Agenca eq.)
MNRI	Minimum number of routing increments

## A2.2 Niederschlagsdaten

### A2.2.1 Niederschlagsdaten Vinschgau

Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di : Stärkste Niederschläge, registriert an den Regenschreiber von :

**A608**

#### Agumes-Prato Agums-Prad

	INTERVALLO IN MINUTI ZEITABSTAND IN MINUTEN						INTERVALLO IN ORE ZEITABSTAND IN STUNDEN									
	15		30		45		1		3		6		12		24	
	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum
1	20.8	6/25/98	23.6	6/25/98	24.0	6/25/98	24.0	6/25/98	28.8	8/7/97	34.6	9/24/00	48.0	9/20/99	59.8	11/16/00
2	13.2	8/7/97	18.2	8/7/97	21.0	8/7/97	22.6	8/7/97	24.2	6/25/98	32.4	6/11/98	40.8	11/14/96	59.6	6/21/96
3	11.6	9/20/91	14.4	8/6/95	14.8	8/6/95	15.2	8/6/95	23.8	7/11/92	32.0	7/7/89	40.0	10/7/98	55.6	9/19/99
4	11.0	8/6/95	12.8	9/20/91	13.2	9/20/91	14.6	7/11/92	22.6	6/21/96	30.6	7/11/92	40.0	9/24/00	52.0	12/9/90
5	10.4	7/18/94	12.0	7/18/94	12.6	7/18/94	13.6	9/20/91	20.4	9/8/94	30.6	11/6/97	37.2	7/11/92	46.2	10/7/98
6	6.4	7/7/00	9.4	9/21/00	11.6	7/11/92	12.8	7/18/94	20.2	9/24/00	30.4	7/10/93	36.6	12/9/90	44.6	7/10/92
7	5.6	8/27/89	8.6	7/7/89	11.0	9/21/00	12.4	6/21/96	19.8	7/11/93	27.0	11/14/96	36.4	11/6/97	42.6	11/6/97
8	5.6	6/4/99	8.4	7/11/92	10.8	6/21/96	11.8	9/21/00	18.8	7/7/89	26.6	9/20/99	35.8	7/10/93	42.0	12/21/91
9	5.4	6/21/96	8.4	6/4/99	10.0	7/7/89	11.0	6/4/99	18.8	9/20/99	25.4	9/14/94	33.0	7/7/89	41.4	10/8/93
10	5.2	8/14/92	8.2	6/21/96	9.8	6/4/99	10.6	7/7/89	16.2	8/6/95	21.2	9/7/95	31.0	9/14/94	34.6	9/14/94
11	4.8	8/6/90	6.8	6/7/90	7.4	6/7/90	9.2	7/11/93	14.4	7/31/91	20.8	12/9/90	29.6	9/7/95	34.0	7/7/89
12	3.2	5/28/93	5.4	5/28/93	7.2	7/11/93	7.6	6/7/90	12.8	6/7/90	20.6	7/31/91	27.4	12/21/91	30.0	5/30/95

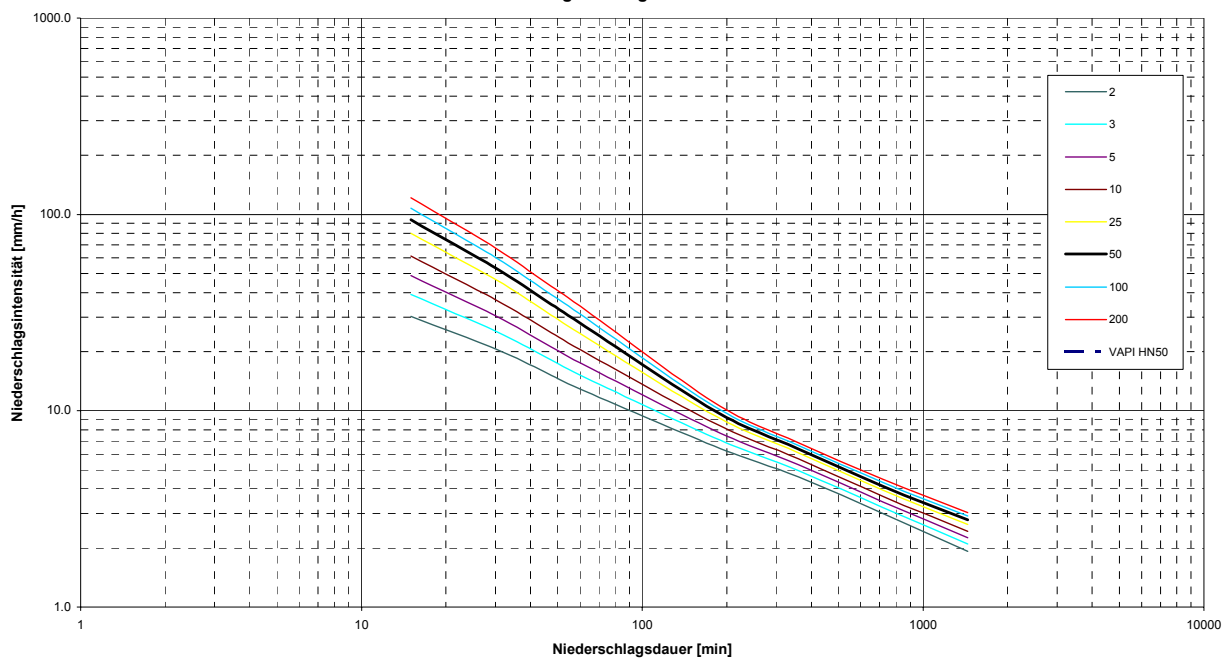
Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di : Stärkste Niederschläge, registriert an den Regenschreiber von :

**0910**

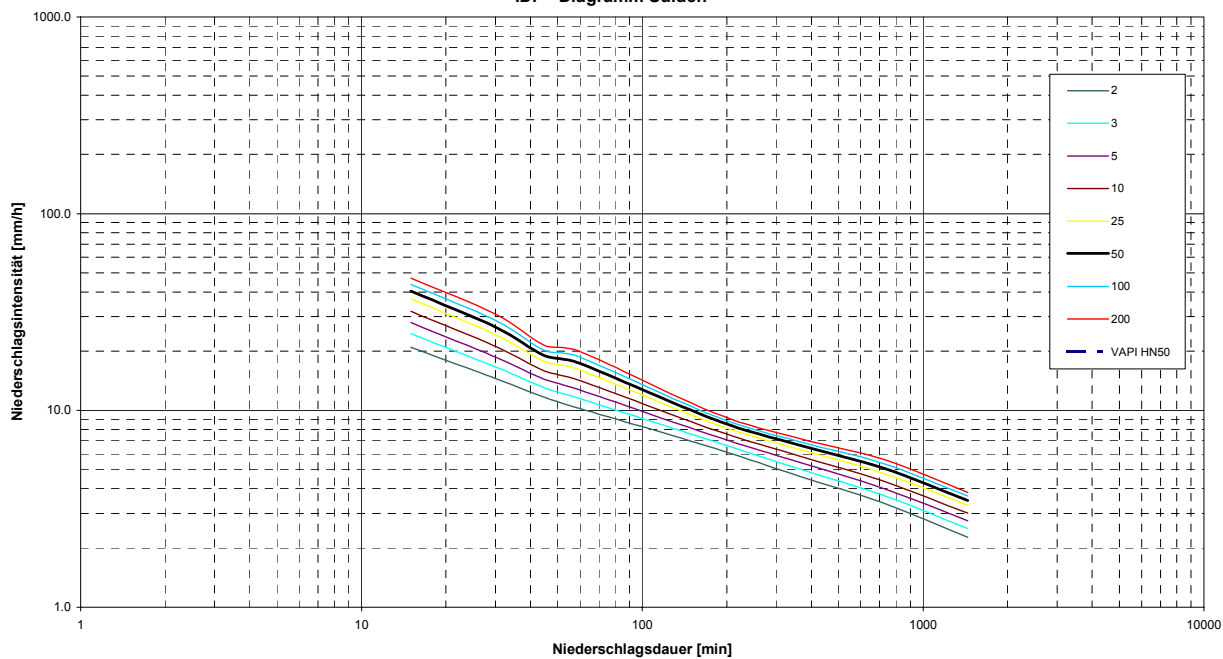
#### Solda Sulden

	INTERVALLO IN MINUTI ZEITABSTAND IN MINUTEN						INTERVALLO IN ORE ZEITABSTAND IN STUNDEN									
	15		30		45		1		3		6		12		24	
	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum	mm	data/datum
1	8.8	8/6/94	12.0	8/6/94	13.0	8/6/94	15.4	7/27/96	25.2	8/6/90	36.4	10/8/93	56.2	9/20/99	80.6	7/18/87
2	7.6	7/27/96	10.0	7/2/92	11.2	7/27/96	13.8	5/16/90	24.4	9/20/99	36.2	9/20/99	51.2	9/26/87	65.0	9/19/99
3	6.6	8/9/99	9.2	8/3/93	10.6	7/2/92	13.4	8/6/94	22.0	10/8/93	31.6	11/17/00	49.4	10/8/93	64.4	9/29/91
4	6.4	8/6/90	8.8	8/6/90	10.4	5/15/90	12.2	8/3/93	20.6	11/17/00	30.6	6/20/90	45.6	9/29/91	62.8	10/8/93
5	6.4	7/2/92	8.4	7/27/96	9.8	8/3/93	10.8	8/7/97	20.0	7/18/87	30.0	9/26/87	45.0	10/4/92	60.0	10/3/92
6	6.4	8/3/93	7.4	8/7/97	9.8	8/7/97	10.6	7/2/92	19.2	6/22/97	28.4	9/29/91	39.8	6/20/90	57.2	6/21/96
7	4.6	8/12/00	6.8	7/1/87	7.8	7/30/95	9.4	7/30/95	18.8	7/27/96	27.8	10/4/92	39.0	11/17/00	53.2	6/22/97
8	4.4	7/1/87	6.6	8/9/99	7.4	7/1/87	9.4	9/20/99	18.4	9/29/91	26.4	9/14/94	36.8	6/22/97	52.0	11/16/00
9	3.8	7/30/95	6.0	8/12/00	7.4	8/12/00	8.4	7/18/87	18.4	9/8/94	26.4	6/22/97	35.4	9/14/94	46.8	9/14/94
10	3.8	8/7/97	5.4	7/30/95	7.2	9/20/99	8.4	6/17/91	17.8	10/5/92	21.4	6/21/96	35.0	6/21/96	45.2	6/5/95
11	3.2	6/17/91	5.2	9/29/91	6.8	9/29/91	7.6	8/12/00	14.8	7/27/98	21.0	6/6/95	33.2	5/30/95	41.0	9/23/90
12	3.0	7/2/98	4.6	7/2/98	5.8	7/2/98	7.2	7/2/98	14.2	7/3/95	19.8	10/7/98	28.6	10/7/98	33.0	10/6/98

IDF - Diagramm Agums



IDF - Diagramm Sulden



## A2.2.2 Niederschlagsdaten Schweiz

### Niederschlagsmessstationen in Sta. Maria, Buffalora, S-charl (CH)

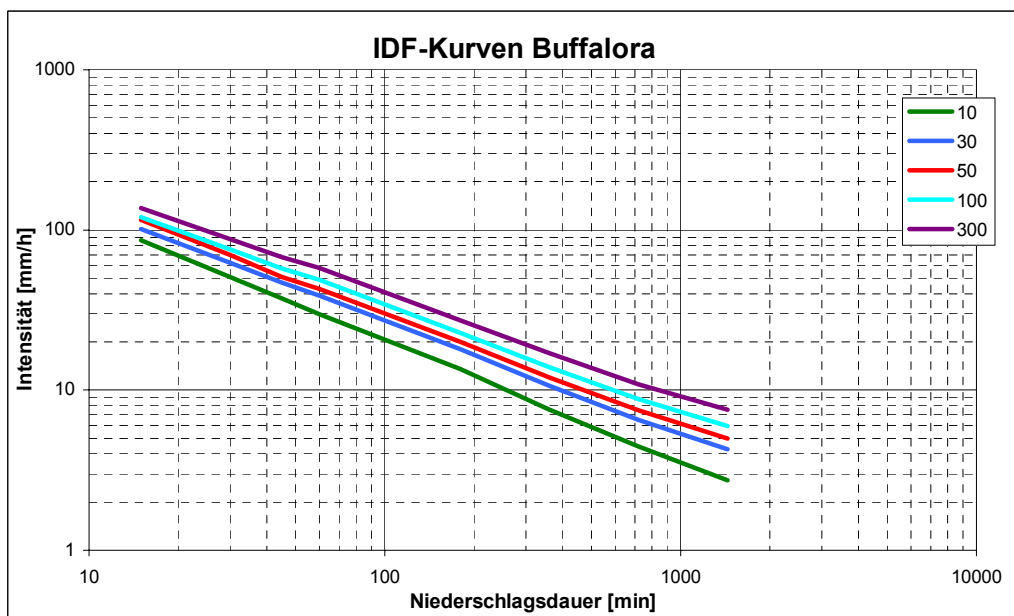
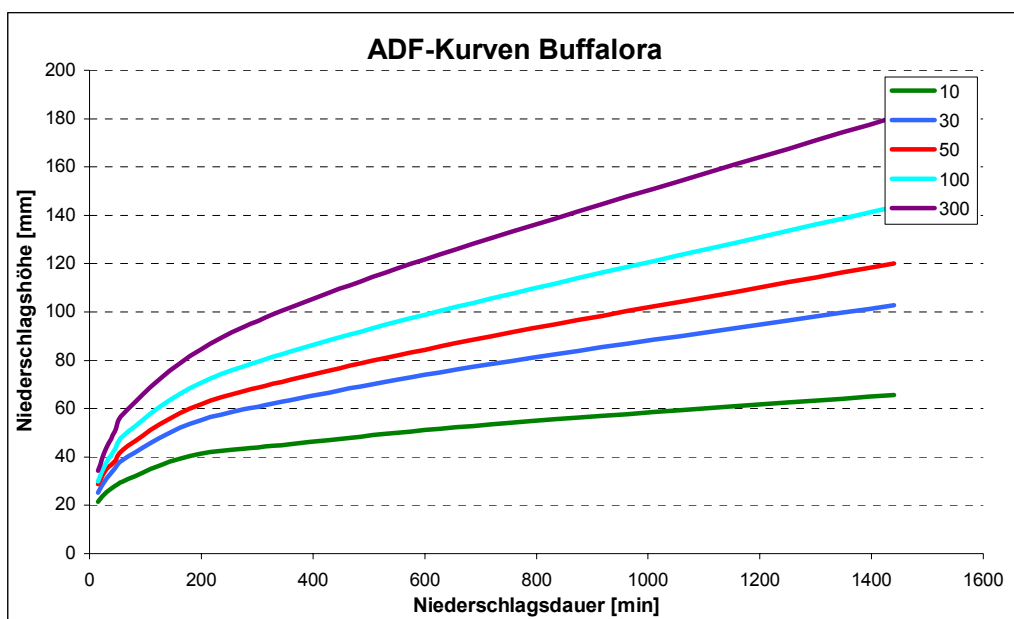
Messstation	Messreihe Beginn [ a ]	Messreihe Ende [ a ]	Messpe- riode [ a ]	Meeres- höhe [ m ]	
Santa Maria	1902	1970	68	1408	
Buffalora	1918	1970	52	1968	
S - charl	1917	1951	34	1810	
Furka	1903	1947	44	2418	
Grächen	1891	2001	110	1617	
Visp	1912	2001	89	658	
Grand Dix	1956	2001	45	2166	
Sion	1881	1977	96	542	
Les Marecotti	1912	2001	89	1040	
<b>Wiederkehrperiode</b>				<b>10 Jahre</b>	
	<b>i<sub>15min</sub></b>	<b>i<sub>30min</sub></b>	<b>i<sub>60min</sub></b>	<b>i<sub>180min</sub></b>	<b>i<sub>360min</sub></b>
	15	30	60	180	360
	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
Santa Maria	82	50	30	14	8
Buffalora	85	52	32	14	9
S - charl	90	53	31	14	8
Furka	80	50	30	15	9.5
Grächen	150	88	50	20	12
Visp	140	80	48	20	9
Grand Dix	100	60	35	14	8
Sion	30	20	14	7.5	5.4
Les Marecottes	90	68	37	18	12
<b>Wiederkehrperiode</b>				<b>50 Jahre</b>	
	<b>i<sub>15min</sub></b>	<b>i<sub>30min</sub></b>	<b>i<sub>60min</sub></b>	<b>i<sub>180min</sub></b>	<b>i<sub>360min</sub></b>
	105	65	40	18	11
	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
Santa Maria	105	65	40	18	11
Buffalora	115	70	43	20	12
S - charl	140	80	46	20	12
Furka	100	62	40	20	13
Grächen	220	120	72	30	17
Visp	200	115	70	29	17
Grand Dix	140	80	46	20	11
Sion	40	25	17	9.5	7
Les Marecottes	125	75	50	22	15
<b>Wiederkehrperiode</b>				<b>100 Jahre</b>	
	<b>i<sub>15min</sub></b>	<b>i<sub>30min</sub></b>	<b>i<sub>60min</sub></b>	<b>i<sub>180min</sub></b>	<b>i<sub>360min</sub></b>
	115	75	45	20	13
	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]	[mm/h]
Santa Maria	115	75	45	20	13
Buffalora	125	78	48	22	13
S - charl	150	90	52	22	13
Furka	110	73	47	23	15
Grächen	250	145	82	34	20
Visp	240	145	80	33	20
Grand Dix	150	90	53	22	13
Sion	45	28	18	11	7.5
Les Marecottes	140	85	55	27	17



### Angleichung IDF - Kurven für Buffalora

Annahme: entspricht dem Niederschlagsverhalten im oberen Einzugsgebiet

T (Jahre)		10		30		50		100		300	
d	d	h	i	h	i	h	i	h	i	h	i
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]
0.25	15	21.5	86.1	25.3	101.3	28.8	115.0	29.9	119.8	34.3	137.4
0.5	30	25.4	50.9	31.1	62.3	35.0	70.0	37.7	75.5	43.9	87.7
0.75	45	28.0	37.4	35.2	46.9	38.3	51.0	43.2	57.6	50.6	67.5
1	60	29.8	29.8	38.8	38.8	43.0	43.0	48.7	48.7	57.7	57.7
3	180	40.5	13.5	53.8	17.9	60.0	20.0	68.4	22.8	81.7	27.2
6	360	45.2	7.5	63.5	10.6	72.0	12.0	83.5	13.9	101.8	17.0
12	720	53.5	4.5	78.4	6.5	90.0	7.5	105.7	8.8	130.6	10.9
24	1440	65.7	2.7	102.8	4.3	120.0	5.0	143.4	6.0	180.5	7.5



### A2.2.3 Projekt VAPI

#### Erstes und zweites Regionalisierungsniveau

$$Y_T = a + b \cdot \ln T$$

standardisierte Variable

$$K_T = c + d \cdot \ln T$$

Wachstumskoeffizient für Jahreamaximniederschläge

#### Tagesniederschläge

$$Y_T = -0.18889 + 1.7218 \cdot \ln T$$

$$K_T = 0.65 + 0.324 \cdot \ln T$$

T	$Y_T$	$K_T$
[a]		
10	3.78	1.40
30	5.67	1.75
50	6.55	1.92
100	7.74	2.14
300	9.63	2.50

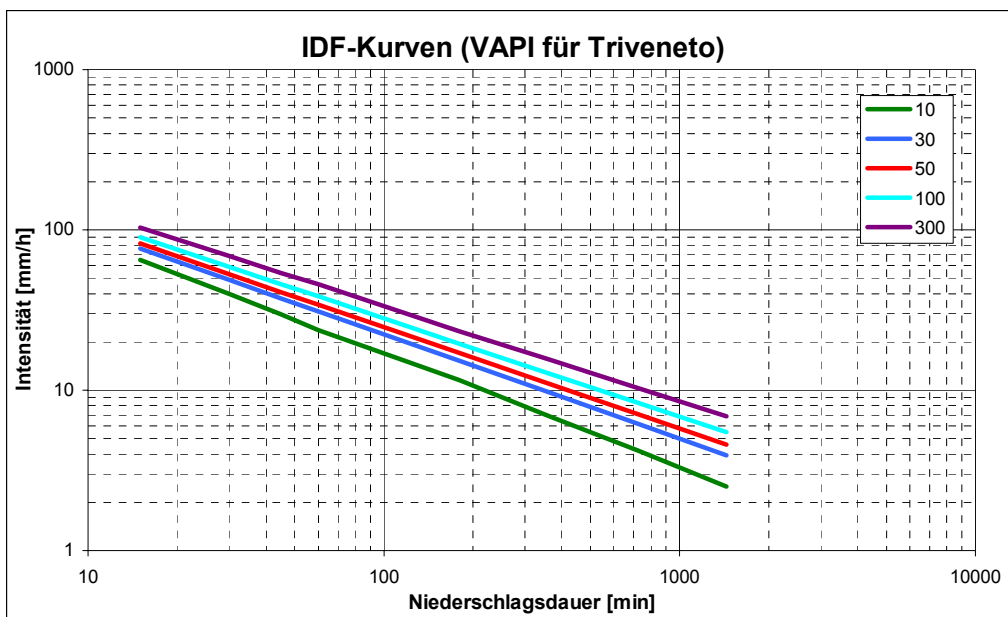
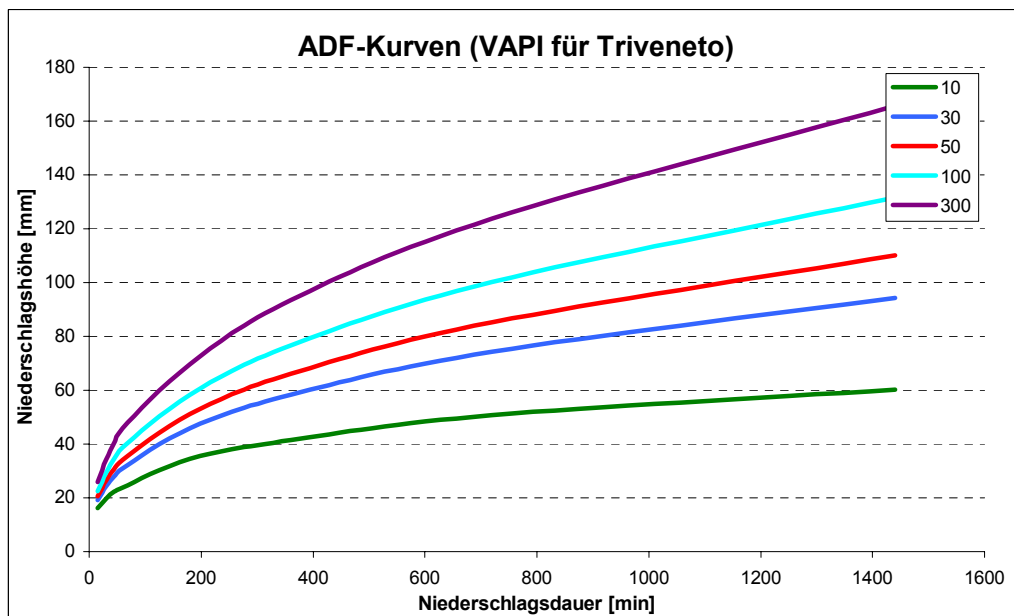
#### Maximalniederschläge von 1 bis 24 Stunden

D [h]	1	3	6	12	24
<b>a</b>	-1.6397	-1.4038	-2.8292	-3.5338	-4.3466
<b>b</b>	1.6868	1.6680	2.0847	2.0521	2.1128
T	$Y_T$				
[a]	1	3	6	12	24
10	2.24	2.44	1.97	1.19	0.52
30	4.10	4.27	4.26	3.45	2.84
50	4.96	5.12	5.33	4.49	3.92
100	6.13	6.28	6.77	5.92	5.38
300	7.98	8.11	9.06	8.17	7.70
<b>c</b>	0.566	0.407	0.183	0.025	-0.172
<b>d</b>	0.425	0.388	0.442	0.452	0.480
T	$K_T$				
[a]	1	3	6	12	24
10	1.545	1.300	1.201	1.066	0.933
30	2.013	1.727	1.686	1.562	1.461
50	2.230	1.925	1.912	1.793	1.706
100	2.525	2.194	2.218	2.107	2.038
300	2.992	2.620	2.704	2.603	2.566

### Drittes Regionalisierungsniveau

$$h_{HN50} [mm] = 34.2 * \delta [h]^{0.368}$$

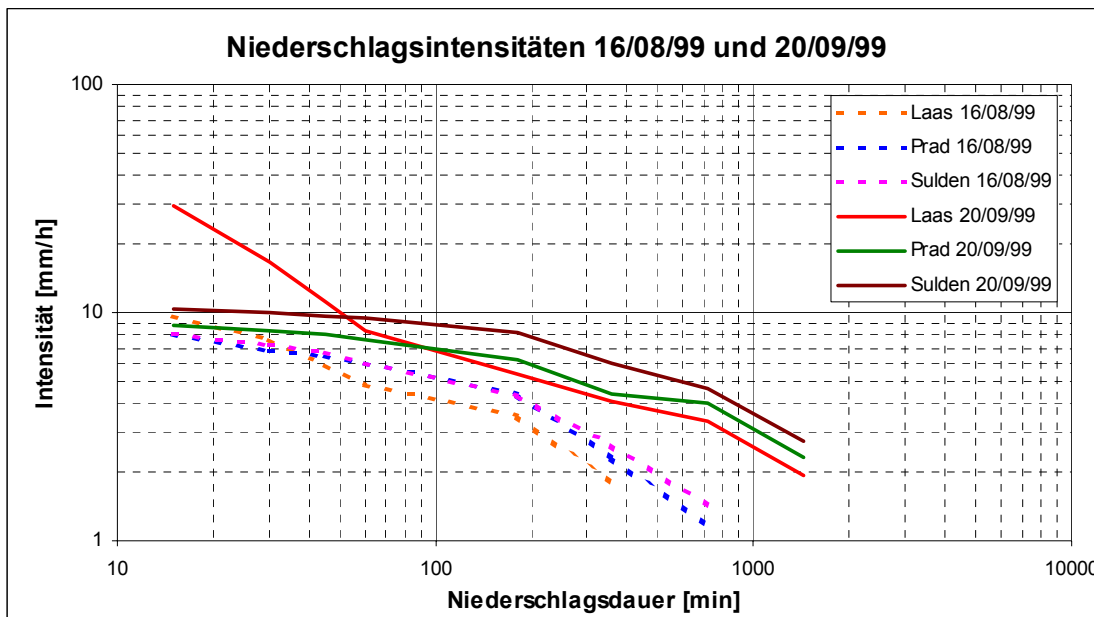
T (Jahre)		10		30		50		100		300	
d [h]	d [min]	h [mm]	i [mm/h]	h [mm]	i [mm/h]	h [mm]	i [mm/h]	h [mm]	i [mm/h]	h [mm]	i [mm/h]
0.25	15	16.2	64.9	19.1	76.3	20.5	82.1	22.6	90.3	25.9	103.5
0.5	30	19.9	39.7	24.3	48.7	26.5	53.0	29.5	59.0	34.3	68.6
0.75	45	22.4	29.8	28.1	37.4	30.8	41.0	34.5	46.0	40.4	53.9
1	60	23.7	23.7	30.9	30.9	34.2	34.2	38.7	38.7	45.9	45.9
3	180	34.6	11.5	46.0	15.3	51.2	17.1	58.4	19.5	69.7	23.2
6	360	41.5	6.9	58.3	9.7	66.1	11.0	76.7	12.8	93.5	15.6
12	720	50.7	4.2	74.4	6.2	85.3	7.1	100.3	8.4	123.9	10.3
24	1440	60.3	2.5	94.3	3.9	110.1	4.6	131.6	5.5	165.7	6.9



### A2.2.4 Niederschläge bei den Murgängen 1999

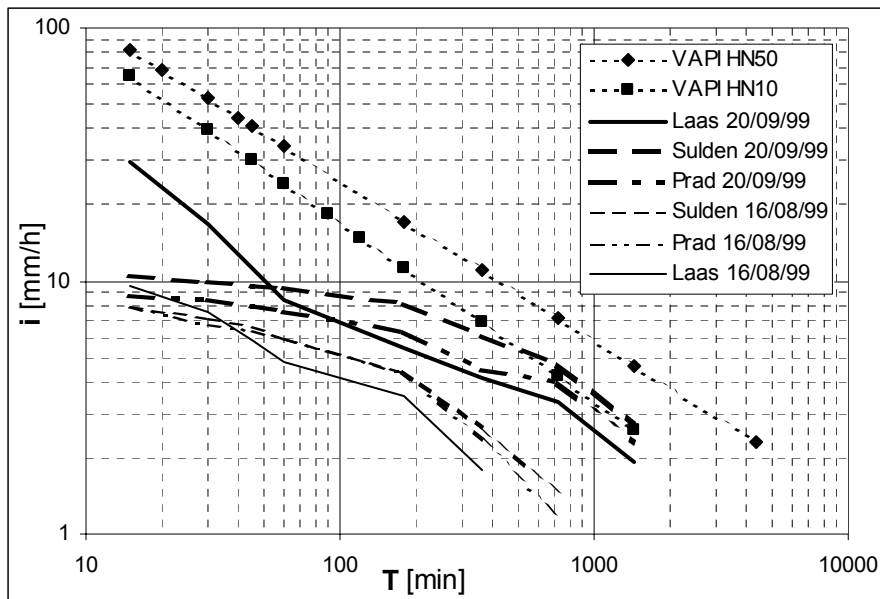
Maximale Niederschlagsintensitäten am 16/08/99 und 20/09/99

Station	16/08/1999						20/09/99					
	Laas 16/08/99		Prad 16/08/99		Sulden 16/08/99		Laas 20/09/99		Prad 20/09/99		Sulden 20/09/99	
	N	i	N	i	N	i	N	i	N	i	N	i
Zeitdauer [min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]
15	2.4	9.6	2.0	8.0	2.0	8.0	7.4	29.6	2.2	8.8	2.6	10.4
30	3.8	7.6	3.4	6.8	3.6	7.2	8.4	16.8	4.2	8.4	5.0	10.0
45	4.4	5.9	4.8	6.4	5.0	6.7	8.4	11.2	6.0	8.0	7.2	9.6
60	4.8	4.8	6.0	6.0	6.0	6.0	8.4	8.4	7.6	7.6	9.4	9.4
180	10.6	3.5	13.2	4.4	13.0	4.3	16.2	5.4	18.8	6.3	24.4	8.1
360	10.8	1.8	14.0	2.3	15.8	2.6	24.6	4.1	26.6	4.4	36.2	6.0
720			14.2	1.2	17.2	1.4	40.2	3.4	48.0	4.0	56.2	4.7
1440							46.4	1.9	55.6	2.3	65.0	2.7

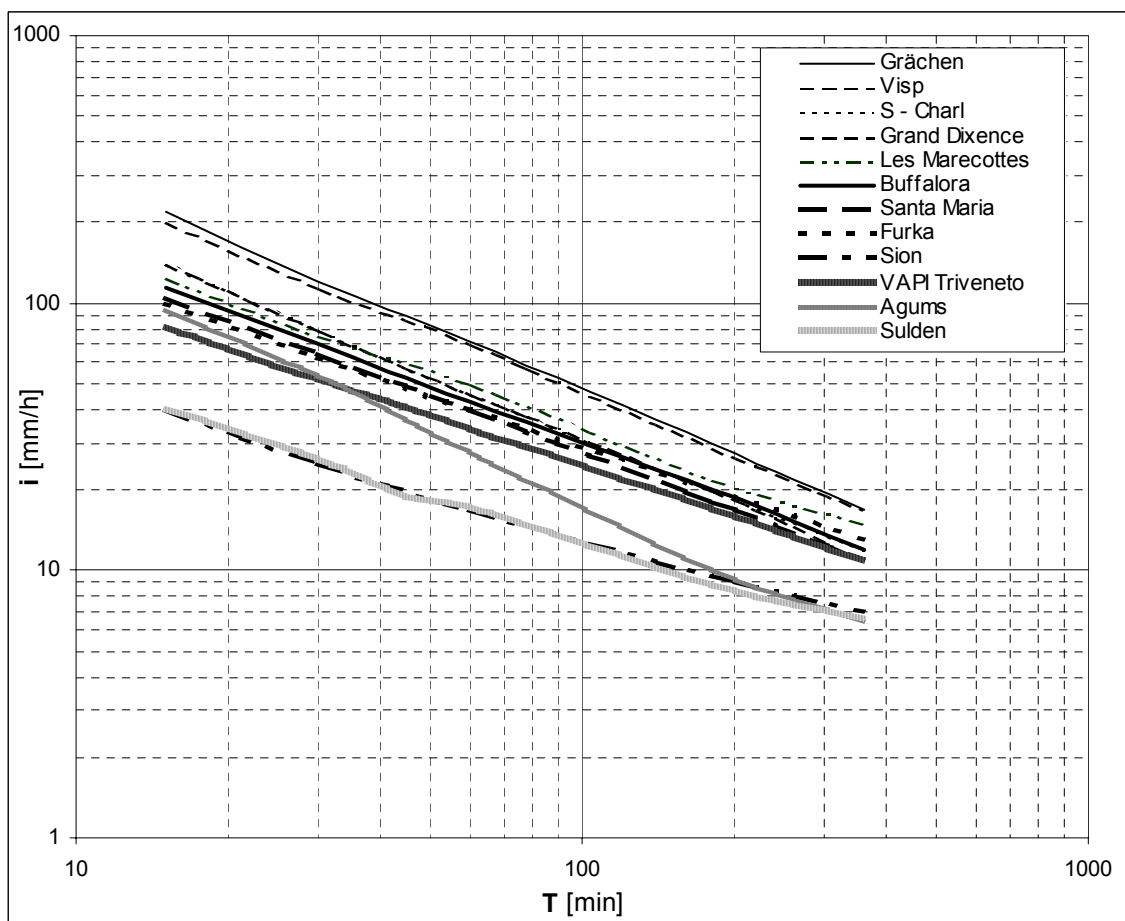


#### Vorregen

Station	16/08/1999			20/09/1999		
	Laas	Prad	Sulden	Laas	Prad	Sulden
	N	N	N	N	N	N
Tage bevor [d]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5	22.2	17.0	27.8	13.8	3.6	3.8
10	40.0	44.2	58.6	13.8	3.6	3.8
15	50.6	49.2	67.6	16.2	6.0	6.0
20	75.0	55.4	74.4	16.4	6.4	8.0
25	78.6	61.6	85.0	23.6	14.8	29.4
30	78.6	66.8	85.6	32.4	23.6	53.2
45	115.2	99.0	126.2	94.6	95.4	163.2
60	137.8	114.8	151.2	133.2	112.8	189.6



**A2.2.5 Vergleich Schweiz – Südtirol – Triveneto**



## A2.3 Sensitivitätsanalysen zur Ermittlung der Hochwässer

### A2.3.1 Vorversuche: Ermittlung des HQ50 anhand VAPI – Kurven

Szenario: Blockregen (rechteckiges Hyetogramm)

Beschreibung Ereignis	Junction	N <sub>tot</sub> [mm]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N <sub>eff</sub> [mm]	T <sub>Q,max</sub>	V [m <sup>3</sup> ]
HN50, rect, T = 10 min	8_3	17.7	3.3	5.8	12:16	2800
	8_1	17.7	7	2.5	12:22	11500
	WF1	17.7	12.6	2.8	12:24	19000
	GRB1	17.7	9.7	1.1	12:38	11800
	Mündung	17.7	7.1	0.9	12:46	9200
HN50, rect, T = 20 min	8_3	22.8	4.3	9.5	12:24	4500
	8_1	22.8	11.3	4.7	12:30	21900
	WF1	22.8	20.4	5.1	12:32	35400
	GRB1	22.8	16.8	2	12:44	20883
	Mündung	22.8	13.8	1.7	12:50	17600
HN50, rect, T = 30 min	8_3	26.5	4.3	12.3	12:32	5850
	8_1	26.5	14.4	6.6	12:40	30844
	WF1	26.5	25.4	7.1	12:40	49200
	GRB1	26.5	25.4	3.8	12:46	39500
	Mündung	26.5	19.8	2.4	12:56	25500
HN50, rect, T = 40 min	8_3	29.5	4.1	14.7	12:42	7020
	8_1	29.5	16.4	8.3	12:50	38700
	WF1	29.5	28.1	8.8	12:48	61300
	GRB1	29.5	28.7	5.6	12:54	58200
	Mündung	29.5	28.5	4.1	12:56	43700
HN50, rect, T = 50 min	8_3	32	3.9	16.8	12:52	8000
	8_1	32	17.8	9.8	12:58	46000
	WF1	32	29.7	10.4	12:58	72300
	GRB1	32	30.7	7.3	13:04	75800
	Mündung	32	30.6	7.1	13:04	75300
HN50, rect, T = 60 min	8_3	34.2	3.6	18.6	13:00	8890
	8_1	34.2	18.6	11.2	13:08	52500
	WF1	34.2	30.3	11.9	13:08	82300
	GRB1	34.2	32	8	13:12	83800
	Mündung	34.2	31.9	6.5	13:14	68400
HN50, rect, T = 120 min	8_3	44.1	2.6	27.3	14:00	13000
	8_1	44.1	18	18	14:04	84400
	WF1	44.1	27.9	18.8	14:04	130000
	GRB1	44.1	32.2	13.9	14:10	144900
	Mündung	44.1	32	13.5	14:10	143000
HN50, rect, T = 180 min	8_3	51.2	2	33.6	15:00	16000
	8_1	51.2	15.8	23.2	15:04	108700
	WF1	51.2	24	24.1	15:02	167100
	GRB1	51.2	29	18.2	15:08	190700
	Mündung	51.2	29	18	15:10	189700

**Die Konzentrationszeit des gesamten Einzugsgebietes liegt zwischen 1 und 2 h**

### Szenario: dreieckförmiges Hyetogramm

Beschreibung Ereignis	Junction	N <sub>tot</sub> [mm]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N <sub>eff</sub> [mm]	T <sub>Q,max</sub>	V [m <sup>3</sup> ]
HN50, tri, T = 15 min	8_3	21	4.1	7.7	12:18	3650
	8_1	21	9.5	3.5	12:26	16500
	WF1	21	17.2	3.9	12:26	27000
	GRB1	21	15.7	1.9	12:36	19600
	Mündung	21	13.1	1.6	12:42	16500
HN50, tri, T = 20 min	8_3	22.8	4.8	9.6	12:22	4600
	8_1	22.8	11.9	4.6	12:30	21500
	WF1	22.8	21.5	5.1	12:30	35300
	GRB1	22.8	21.3	2.9	12:36	30400
	Mündung	22.8	21.1	2.8	12:38	29900
HN50, tri, T =30 min	8_3	26.5	5.2	12.7	12:28	6100
	8_1	26.5	15.4	6.7	12:38	31400
	WF1	26.5	27.4	7.3	12:38	50300
	GRB1	26.5	27.6	4.6	12:42	47900
	Mündung	26.5	24.3	3.1	12:50	32300
HN50, tri, T = 60 min	8_3	34.2	4.9	18.7	12:46	8900
	8_1	34.2	19.8	11.2	13:00	52700
	WF1	34.2	33.2	11.9	12:58	82600
	GRB1	34.2	34.6	8.2	13:04	82900
	Mündung	34.2	34.5	7.8	13:04	81900
HN50, tri, T = 120 min	8_3	44.1	4	27.2	13:16	13000
	8_1	44.1	21.9	17.9	13:40	84000
	WF1	44.1	34.5	18.8	13:38	130000
	GRB1	44.1	38.1	13.4	13:44	140300
	Mündung	44.1	38.2	13	13:46	136800
HN50, tri, T = 180 min	8_3	51	3.2	33.8	13:52	16100
	8_1	51	20.8	23.5	14:14	109800
	WF1	51	32.3	24.3	14:10	168800
	GRB1	51	36.9	18.4	14:20	192500
	Mündung	51	36.8	18	14:22	190000
HN50, tri, T = 360 min	8_3	66	2.1	48.2	15:26	23000
	8_1	66	16	35.8	16:06	168000
	WF1	66	24.2	26.9	16:04	255800
	GRB1	66	29.5	29.1	16:14	303800
	Mündung	66	29.5	28.7	16:16	303000

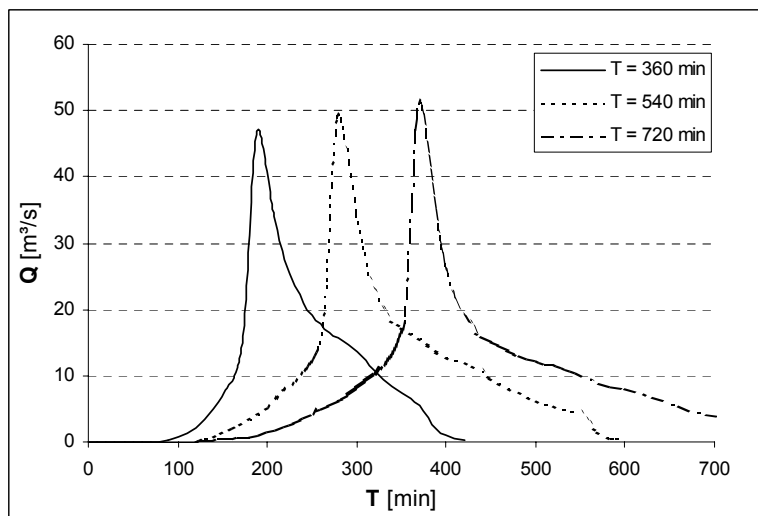
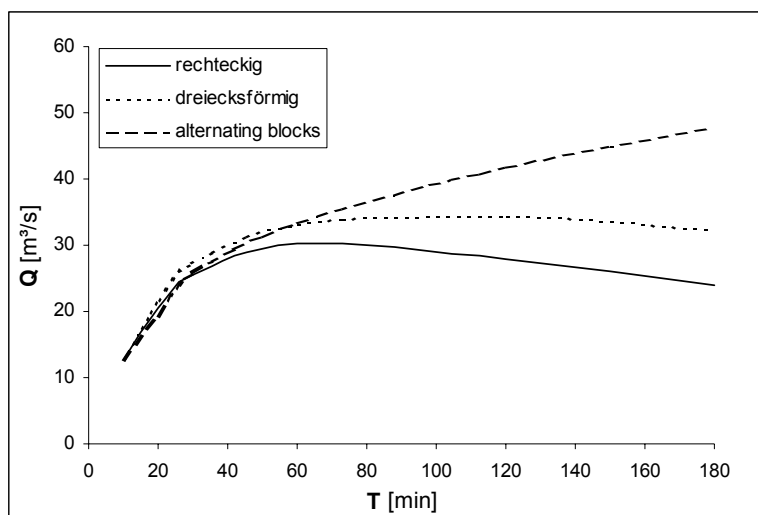
**Szenario: Hyetogramm nach Alternating Block Method (Chow)**

Beschreibung Ereignis	Junction	N <sub>tot</sub> [mm]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N <sub>eff</sub> [mm]	T <sub>Q,max</sub>	V [m <sup>3</sup> ]
HN50, tri, T = 10 min (Bem: gleich wie rect.)	8_3	17.7	3.3	5.8	12:16	2800
	8_1	17.7	7	2.5	12:22	11500
	WF1	17.7	12.6	2.8	12:24	19000
	GRB1	17.7	9.7	1.1	12:38	11800
	Mündung	17.7	7.1	0.9	12:46	9200
HN50, tri, T = 20 min	8_3	22.8	4.3	8.7	12:22	4200
	8_1	22.8	10.6	4.2	12:30	19700
	WF1	22.8	19.3	4.6	12:30	31900
	GRB1	22.8	18.6	2.3	12:38	24500
	Mündung	22.8	16.1	2	12:44	20700
HN50, tri, T = 30 min	8_3	26.5	5	12.2	12:28	5800
	8_1	26.5	14.5	6.4	12:38	29900
	WF1	26.5	25.9	6.9	12:38	48200
	GRB1	26.5	26.1	4.1	12:42	42900
	Mündung	26.5	26	4.1	12:44	43300
HN50, tri, T = 60 min	8_3	34.2	6	18.6	12:42	8900
	8_1	34.2	19.2	11.1	12:56	52200
	WF1	34.2	33.4	11.8	12:52	81800
	GRB1	34.2	34.3	7.3	12:58	76000
	Mündung	34.2	34.2	6.6	13:00	69500
HN50, tri, T = 120 min	8_3	44.1	7	27.2	13:10	13000
	8_1	44.1	24.3	17.9	13:24	84100
	WF1	44.1	41.8	18.8	13:22	130000
	GRB1	44.1	43.7	13.9	13:26	144800
	Mündung	44.1	43.6	12.7	13:28	133700
HN50, tri, T = 180 min	8_3	51	7.5	33.8	13:40	16100
	8_1	51	28	23.3	13:54	109400
	WF1	51	47.8	24.2	13:50	168000
	GRB1	51	50.7	18.4	13:56	192000
	Mündung	51	50.5	18.1	13:58	190600
HN50, tri, T = 240 min	8_3	66	7.5	33.8	13:40	16100
	8_1	66	30.7	27.9	14:22	130700
	WF1	66	52	28.9	14:20	200200
	GRB1	66	56	22.2	14:26	232000
	Mündung	66	55.9	21.9	14:26	231000
HN50, tri, T = 1440 min	8_3	110	9.3	90	0:06	42900
	8_1	110	44.8	74	0:16	347200
	WF1	110	73.4	75.4	0:14	522900
	GRB1	110	88.8	63.7	0:18	665700
	Mündung	110	88.9	63.2	0:20	667300



**Szenario: dreiecksförmiges Hyetogramm im unteren Einzugsgebiet,  
alternating Blocks im oberen Einzugsgebiet**

Beschreibung Ereignis	Junction	N <sub>tot</sub> [mm]	Q <sub>max</sub> [m³/s]	N <sub>eff</sub> [mm]	T <sub>Q,max</sub>	V [m³]
HQ50, final, T = 360 min	8_3	66	7.3	47.6	15:04	22730
	8_1	66	29	35.7	15:10	173000
	WF1	66	47	36.6	15:10	256700
	GRB1	66	49	28.9	15:14	306600
	Mündung	66	49	28.6	15:16	306400
HQ50, final, T = 540 min	8_3	77	8	57.8	16:34	27600
	8_1	77	30.6	45.3	16:40	219500
	WF1	77	49.4	46.3	16:40	328200
	GRB1	77	52	37.5	16:44	398000
	Mündung	77	52	37.2	16:46	398300
HQ50, final, T = 720 min	8_3	85	8.2	65.6	18:04	31300
	8_1	85	32	51.5	18:08	250000
	WF1	85	51.4	52.6	18:10	372600
	GRB1	85	54.5	42.7	18:14	452600
	Mündung	85	54.3	42.2	18:16	452000



### A2.3.2 Vergleich mit VAPI – Formeln für Hochwasser

#### Verwendete Methode: Regionalisierung für die Provinz Bozen

$$q_T = q_{\text{Indexe}} \cdot \chi_T$$

$$q_{\text{Indexe}} (\text{jährlicher Maximalabfluß}) = q(1) \cdot A^m$$

für Südtirol:

$$q(1) [\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-2}] = 1.586$$

$$m = 0.638 \pm 0.043$$

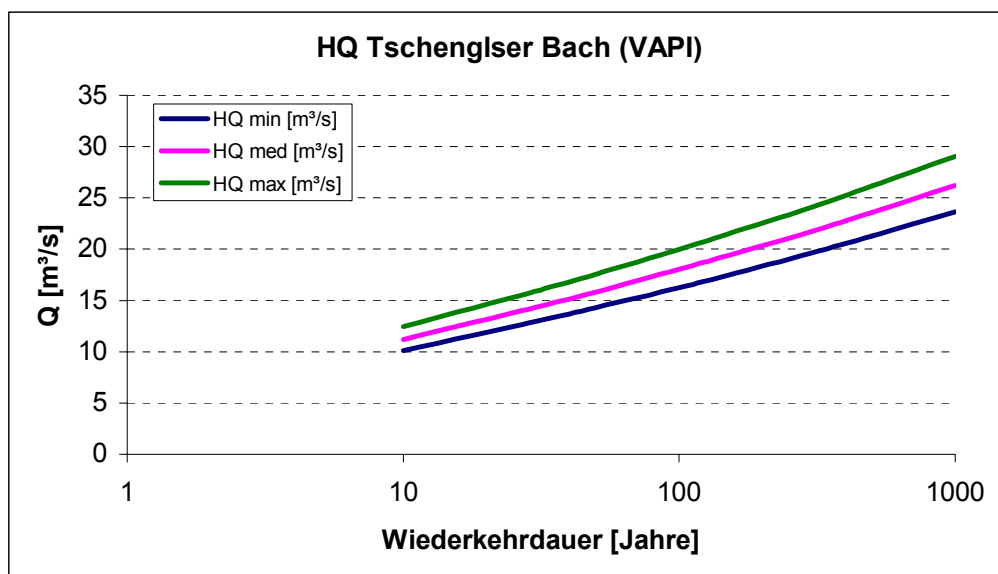
Größe Einzugsgebiet	11 km <sup>2</sup>
q <sub>Index, min</sub>	6.61 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
q <sub>Index, med</sub>	7.32 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
q <sub>Index, max</sub>	8.12 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>

$$\text{Wachstumsfaktor } \chi_T = \varepsilon + \alpha/k \cdot (1 - e^{-k \cdot y_T})$$

$$\text{reduzierte Gumbelvariable } y_T = -\ln(\ln(T / (T-1)))$$

k, α, ε ...	regionalspezifische Parameter
für Südtirol:	
α =	0.292
ε =	0.804
k =	-0.088

Jährlichkeit	y <sub>T</sub>	χ <sub>T</sub>	HQ <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>med</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]
10	2.250	1.53	10	11	12
30	3.384	1.96	13	14	16
50	3.902	2.16	14	16	18
100	4.600	2.46	16	18	20
150	5.007	2.64	17	19	21
300	5.702	2.97	20	22	24
500	6.214	3.22	21	24	26
1000	6.907	3.58	24	26	29



### A2.3.3 Ermittlung der maßgebenden Hochwässer

Annahme: Blockregen lt. VAPI im unteren Einzugsgebiet, alternating - blocks – Hyetograph anhand der IDF – Kurven von Buffalora im oberen Einzugsgebiet mit Unterteilung in Schauerzellen und normale Gewitterzellen ( $i_{\text{Schauerzelle}} = 2 * i_{\text{normale Gewitterzellen}}$ )

#### Hyetograph 1

Blockregen mit Niederschlagsintensitäten lt. VAPI

T (Jahre)		10		30		50		100		300	
d	d	h	i	h	i	h	i	h	i	h	i
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[mm/h]
0.25	15	16.2	64.9	19.1	76.3	20.5	82.1	22.6	90.3	25.9	103.5
0.5	30	19.9	39.7	24.3	48.7	26.5	53.0	29.5	59.0	34.3	68.6
0.75	45	22.4	29.8	28.1	37.4	30.8	41.0	34.5	46.0	40.4	53.9
1	60	24.3	24.3	31.0	31.0	34.2	34.2	38.5	38.5	45.4	45.4
1.5	90	27.4	18.3	35.8	23.9	39.7	26.5	45.0	30.0	53.5	35.7
2	120	29.8	14.9	39.6	19.8	44.1	22.1	50.3	25.1	60.1	30.0
3	180	33.6	11.2	45.7	15.2	51.2	17.1	58.8	19.6	70.8	23.6
6	360	41.1	6.8	58.2	9.7	66.1	11.0	76.8	12.8	93.8	15.6
12	720	50.3	4.2	74.3	6.2	85.3	7.1	100.3	8.4	124.2	10.3
24	1440	61.6	2.6	94.8	3.9	110.1	4.6	131.1	5.5	164.4	6.8

#### Hyetograph 2

Alternating Blocks mit IDF-Kurven Buffalora

##### HN30 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	22.4	134.5	22.4	0	10	2.0
0.33	20	27.6	82.8	5.2	10	20	2.8
0.50	30	31.1	62.3	3.6	20	30	22.4
0.67	40	33.9	50.9	2.8	30	40	5.2
0.83	50	36.3	43.6	2.3	40	50	3.6
1.00	60	38.3	38.3	2.0	50	60	2.3

##### HN50 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	24.7	148.3	24.7	0	10	2.3
0.33	20	30.6	91.8	5.9	10	20	3.2
0.50	30	34.7	69.3	4.1	20	30	24.7
0.67	40	37.9	56.8	3.2	30	40	5.9
0.83	50	40.6	48.7	2.7	40	50	4.1
1.00	60	42.9	42.9	2.3	50	60	2.7

##### HN30 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	25.3	101.3	25.3	0	15	2.3
0.50	30	31.1	62.3	5.8	15	30	3.2
0.75	45	35.2	46.9	4.0	30	45	25.3
1.00	60	38.3	38.3	3.2	45	60	5.8
1.25	75	41.0	32.8	2.6	60	75	4.0
1.50	90	43.3	28.8	2.3	75	90	2.6

##### HN50 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	28.0	112.0	28.0	0	15	2.7
0.50	30	34.7	69.3	6.7	15	30	3.6
0.75	45	39.3	52.4	4.6	30	45	28.0
1.00	60	42.9	42.9	3.6	45	60	6.7
1.25	75	46.0	36.8	3.1	60	75	4.6
1.50	90	48.6	32.4	2.7	75	90	3.1

##### HN30 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	25.3	101.3	25.3	0	15	1.8
0.50	30	31.1	62.3	5.8	15	30	2.3
0.75	45	35.2	46.9	4.0	30	45	3.2
1.00	60	38.3	38.3	3.2	45	60	25.3
1.25	75	41.0	32.8	2.6	60	75	5.8
1.50	90	43.3	28.8	2.3	75	90	4.0
1.75	105	45.3	25.9	2.0	90	105	2.6
2.00	120	47.2	23.6	1.8	105	120	2.3

##### HN50 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	28.0	112.0	28.0	0	15	2.1
0.50	30	34.7	69.3	6.7	15	30	2.7
0.75	45	39.3	52.4	4.6	30	45	3.6
1.00	60	42.9	42.9	3.6	45	60	28.0
1.25	75	46.0	36.8	3.1	60	75	6.7
1.50	90	48.6	32.4	2.7	75	90	4.6
1.75	105	51.0	29.1	2.4	90	105	3.1
2.00	120	53.1	26.6	2.1	105	120	2.7

HN100 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	26.2	157.0	26.2	0	10	2.8
0.33	20	33.0	98.9	6.8	10	20	3.8
0.50	30	37.7	75.5	4.8	20	30	26.2
0.67	40	41.5	62.3	3.8	30	40	6.8
0.83	50	44.7	53.7	3.2	40	50	4.8
1.00	60	47.6	47.6	2.8	50	60	3.2

HN300 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	29.8	178.6	29.8	0	10	3.5
0.33	20	38.0	114.0	8.3	10	20	4.7
0.50	30	43.9	87.7	5.9	20	30	29.8
0.67	40	48.6	72.8	4.7	30	40	8.3
0.83	50	52.5	63.0	4.0	40	50	5.9
1.00	60	56.0	56.0	3.5	50	60	4.0

HN100 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	29.9	119.8	29.9	0	15	3.2
0.50	30	37.7	75.5	7.8	15	30	4.4
0.75	45	43.2	57.6	5.5	30	45	29.9
1.00	60	47.6	47.6	4.4	45	60	7.8
1.25	75	51.2	41.0	3.7	60	75	5.5
1.50	90	54.4	36.3	3.2	75	90	3.7

HN300 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	34.3	137.4	34.3	0	15	4.0
0.50	30	43.9	87.7	9.5	15	30	5.4
0.75	45	50.6	67.5	6.8	30	45	34.3
1.00	60	56.0	56.0	5.4	45	60	9.5
1.25	75	60.6	48.5	4.6	60	75	6.8
1.50	90	64.7	43.1	4.0	75	90	4.6

HN100 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	29.9	119.8	29.9	0	15	2.6
0.50	30	37.7	75.5	7.8	15	30	3.2
0.75	45	43.2	57.6	5.5	30	45	4.4
1.00	60	47.6	47.6	4.4	45	60	29.9
1.25	75	51.2	41.0	3.7	60	75	7.8
1.50	90	54.4	36.3	3.2	75	90	5.5
1.75	105	57.3	32.8	2.9	90	105	3.7
2.00	120	59.9	30.0	2.6	105	120	3.2

HN300 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	34.3	137.4	34.3	0	15	3.3
0.50	30	43.9	87.7	9.5	15	30	4.0
0.75	45	50.6	67.5	6.8	30	45	5.4
1.00	60	56.0	56.0	5.4	45	60	34.3
1.25	75	60.6	48.5	4.6	60	75	9.5
1.50	90	64.7	43.1	4.0	75	90	6.8
1.75	105	68.3	39.0	3.6	90	105	4.6
2.00	120	71.6	35.8	3.3	105	120	4.0

**Hyetograph 3**

Alternating Blocks a (IDF-Kurven Buffalo mit Faktor 1.45 beaufschlagt)

HN30 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	32.5	195.1	32.5	0	10	3.0
0.33	20	40.0	120.0	7.5	10	20	4.1
0.50	30	45.2	90.3	5.2	20	30	32.5
0.67	40	49.2	73.8	4.1	30	40	7.5
0.83	50	52.6	63.1	3.4	40	50	5.2
1.00	60	55.6	55.6	3.0	50	60	3.4

HN50 (δ = 60min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	35.8	215.1	35.8	0	10	3.4
0.33	20	44.4	133.1	8.5	10	20	4.7
0.50	30	50.3	100.5	5.9	20	30	35.8
0.67	40	54.9	82.4	4.7	30	40	8.5
0.83	50	58.8	70.6	3.9	40	50	5.9
1.00	60	62.2	62.2	3.4	50	60	3.9

HN30 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	36.7	146.8	36.7	0	15	3.3
0.50	30	45.2	90.3	8.5	15	30	4.6
0.75	45	51.0	68.0	5.8	30	45	36.7
1.00	60	55.6	55.6	4.6	45	60	8.5
1.25	75	59.4	47.5	3.8	60	75	5.8
1.50	90	62.7	41.8	3.3	75	90	3.8

HN50 (δ = 90min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	40.6	162.5	40.6	0	15	3.8
0.50	30	50.3	100.5	9.7	15	30	5.3
0.75	45	57.0	75.9	6.7	30	45	40.6
1.00	60	62.2	62.2	5.3	45	60	9.7
1.25	75	66.6	53.3	4.4	60	75	6.7
1.50	90	70.5	47.0	3.8	75	90	4.4

HN30 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	36.7	146.8	36.7	0	15	2.7
0.50	30	45.2	90.3	8.5	15	30	3.3
0.75	45	51.0	68.0	5.8	30	45	4.6
1.00	60	55.6	55.6	4.6	45	60	36.7
1.25	75	59.4	47.5	3.8	60	75	8.5
1.50	90	62.7	41.8	3.3	75	90	5.8
1.75	105	65.7	37.5	3.0	90	105	3.8
2.00	120	68.4	34.2	2.7	105	120	3.3

HN50 (δ = 120min)

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	40.6	162.5	40.6	0	15	3.1
0.50	30	50.3	100.5	9.7	15	30	3.8
0.75	45	57.0	75.9	6.7	30	45	5.3
1.00	60	62.2	62.2	5.3	45	60	40.6
1.25	75	66.6	53.3	4.4	60	75	9.7
1.50	90	70.5	47.0	3.8	75	90	6.7
1.75	105	73.9	42.2	3.4	90	105	4.4
2.00	120	77.0	38.5	3.1	105	120	3.8

**HN100 (δ = 60min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	40.8	244.9	40.8	0	10	4.4
0.33	20	51.4	154.3	10.6	10	20	5.9
0.50	30	58.9	117.7	7.4	20	30	40.8
0.67	40	64.8	97.2	5.9	30	40	10.6
0.83	50	69.8	83.8	5.0	40	50	7.4
1.00	60	74.2	74.2	4.4	50	60	5.0

**HN300 (δ = 60min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	43.2	258.9	43.2	0	10	5.1
0.33	20	55.1	165.4	12.0	10	20	6.8
0.50	30	63.6	127.2	8.5	20	30	43.2
0.67	40	70.4	105.6	6.8	30	40	12.0
0.83	50	76.2	91.4	5.8	40	50	8.5
1.00	60	81.2	81.2	5.1	50	60	5.8

**HN100 (δ = 90min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	46.7	186.9	46.7	0	15	5.0
0.50	30	58.9	117.7	12.2	15	30	6.8
0.75	45	67.4	89.9	8.5	30	45	46.7
1.00	60	74.2	74.2	6.8	45	60	12.2
1.25	75	79.9	63.9	5.7	60	75	8.5
1.50	90	84.9	56.6	5.0	75	90	5.7

**HN300 (δ = 90min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	49.8	199.2	49.8	0	15	5.8
0.50	30	63.6	127.2	13.8	15	30	7.8
0.75	45	73.4	97.9	9.8	30	45	49.8
1.00	60	81.2	81.2	7.8	45	60	13.8
1.25	75	87.9	70.3	6.7	60	75	9.8
1.50	90	93.7	62.5	5.8	75	90	6.7

**HN100 (δ = 120min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	46.7	186.9	46.7	0	15	4.1
0.50	30	58.9	117.7	12.2	15	30	5.0
0.75	45	67.4	89.9	8.5	30	45	6.8
1.00	60	74.2	74.2	6.8	45	60	46.7
1.25	75	79.9	63.9	5.7	60	75	12.2
1.50	90	84.9	56.6	5.0	75	90	8.5
1.75	105	89.4	51.1	4.5	90	105	5.7
2.00	120	93.5	46.7	4.1	105	120	5.0

**HN300 (δ = 120min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	49.8	199.2	49.8	0	15	4.8
0.50	30	63.6	127.2	13.8	15	30	5.8
0.75	45	73.4	97.9	9.8	30	45	7.8
1.00	60	81.2	81.2	7.8	45	60	49.8
1.25	75	87.9	70.3	6.7	60	75	13.8
1.50	90	93.7	62.5	5.8	75	90	9.8
1.75	105	99.0	56.6	5.2	90	105	6.7
2.00	120	103.8	51.9	4.8	105	120	5.8

**Hyetograph 4**

Alternating Blocks b (IDF-Kurven Buffalo mit Faktor 0.73 beaufschlagt)

**HN30 (δ = 60min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	16.4	98.2	16.4	0	10	1.5
0.33	20	20.1	60.4	3.8	10	20	2.0
0.50	30	22.7	45.5	2.6	20	30	16.4
0.67	40	24.8	37.2	2.0	30	40	3.8
0.83	50	26.5	31.8	1.7	40	50	2.6
1.00	60	28.0	28.0	1.5	50	60	1.7

**HN50 (δ = 60min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	18.0	108.3	18.0	0	10	1.7
0.33	20	22.3	67.0	4.3	10	20	2.3
0.50	30	25.3	50.6	3.0	20	30	18.0
0.67	40	27.7	41.5	2.3	30	40	4.3
0.83	50	29.6	35.5	2.0	40	50	3.0
1.00	60	31.3	31.3	1.7	50	60	2.0

**HN30 (δ = 90min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	18.5	73.9	18.5	0	15	1.7
0.50	30	22.7	45.5	4.3	15	30	2.3
0.75	45	25.7	34.2	2.9	30	45	18.5
1.00	60	28.0	28.0	2.3	45	60	4.3
1.25	75	29.9	23.9	1.9	60	75	2.9
1.50	90	31.6	21.1	1.7	75	90	1.9

**HN50 (δ = 90min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	20.4	81.8	20.4	0	15	1.9
0.50	30	25.3	50.6	4.9	15	30	2.7
0.75	45	28.7	38.2	3.4	30	45	20.4
1.00	60	31.3	31.3	2.7	45	60	4.9
1.25	75	33.6	26.8	2.2	60	75	3.4
1.50	90	35.5	23.7	1.9	75	90	2.2

**HN30 (δ = 120min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	18.5	73.9	18.5	0	15	1.3
0.50	30	22.7	45.5	4.3	15	30	1.7
0.75	45	25.7	34.2	2.9	30	45	2.3
1.00	60	28.0	28.0	2.3	45	60	18.5
1.25	75	29.9	23.9	1.9	60	75	4.3
1.50	90	31.6	21.1	1.7	75	90	2.9
1.75	105	33.1	18.9	1.5	90	105	1.9
2.00	120	34.4	17.2	1.3	105	120	1.7

**HN50 (δ = 120min)**

d	d	h	i	Δh	T <sub>i</sub>	T <sub>i+1</sub>	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	20.4	81.8	20.4	0	15	1.6
0.50	30	25.3	50.6	4.9	15	30	1.9
0.75	45	28.7	38.2	3.4	30	45	2.7
1.00	60	31.3	31.3	2.7	45	60	20.4
1.25	75	33.6	26.8	2.2	60	75	4.9
1.50	90	35.5	23.7	1.9	75	90	3.4
1.75	105	37.2	21.3	1.7	90	105	2.2
2.00	120	38.8	19.4	1.6	105	120	1.9

**HN100 ( $\delta = 60\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	20.4	122.4	20.4	0	10	2.2
0.33	20	25.7	77.1	5.3	10	20	3.0
0.50	30	29.4	58.9	3.7	20	30	20.4
0.67	40	32.4	48.6	3.0	30	40	5.3
0.83	50	34.9	41.9	2.5	40	50	3.7
1.00	60	37.1	37.1	2.2	50	60	2.5

**HN300 ( $\delta = 60\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.17	10	21.7	130.4	21.7	0	10	2.6
0.33	20	27.8	83.3	6.0	10	20	3.4
0.50	30	32.0	64.0	4.3	20	30	21.7
0.67	40	35.4	53.2	3.4	30	40	6.0
0.83	50	38.4	46.0	2.9	40	50	4.3
1.00	60	40.9	40.9	2.6	50	60	2.9

**HN100 ( $\delta = 90\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	23.4	93.4	23.4	0	15	2.5
0.50	30	29.4	58.9	6.1	15	30	3.4
0.75	45	33.7	44.9	4.3	30	45	23.4
1.00	60	37.1	37.1	3.4	45	60	6.1
1.25	75	40.0	32.0	2.9	60	75	4.3
1.50	90	42.5	28.3	2.5	75	90	2.9

**HN300 ( $\delta = 90\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	25.1	100.3	25.1	0	15	2.9
0.50	30	32.0	64.0	7.0	15	30	4.0
0.75	45	37.0	49.3	4.9	30	45	25.1
1.00	60	40.9	40.9	4.0	45	60	7.0
1.25	75	44.3	35.4	3.4	60	75	4.9
1.50	90	47.2	31.5	2.9	75	90	3.4

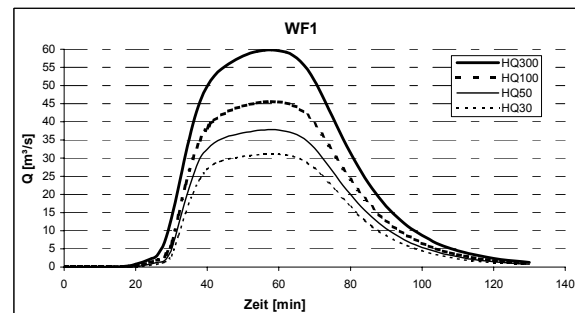
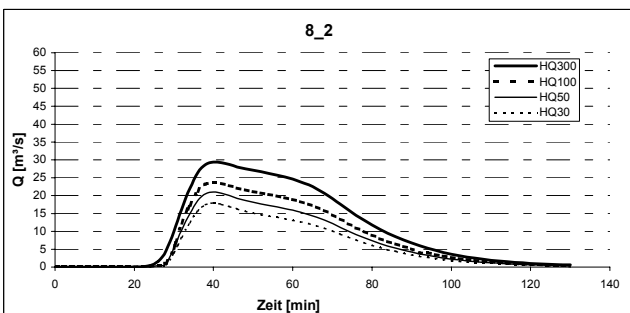
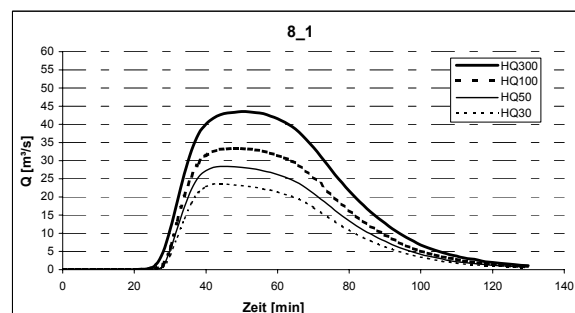
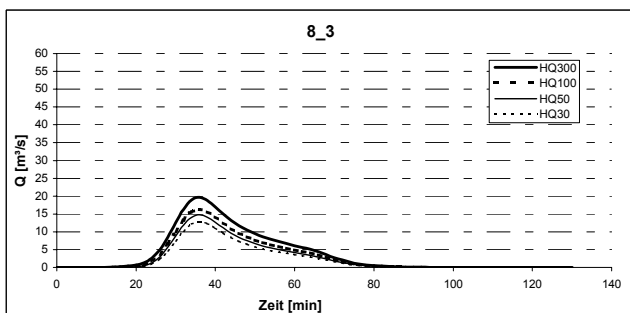
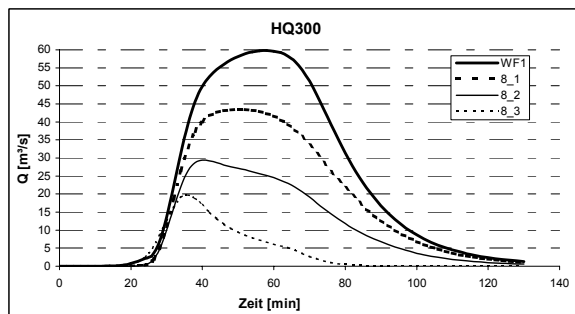
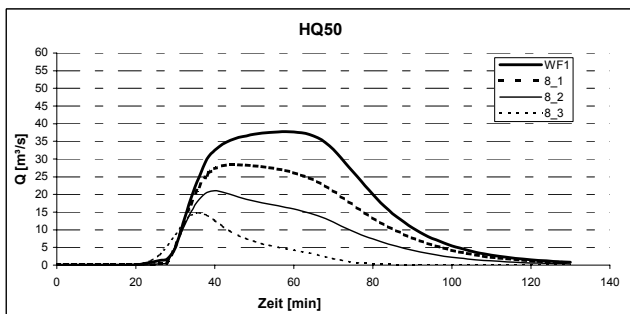
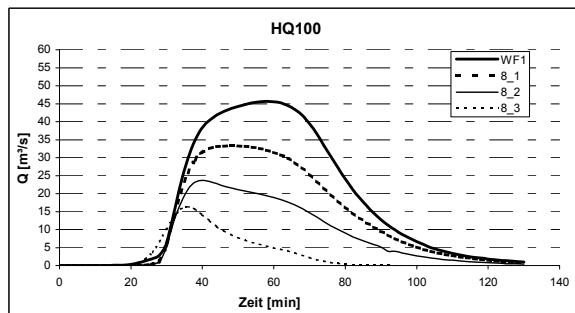
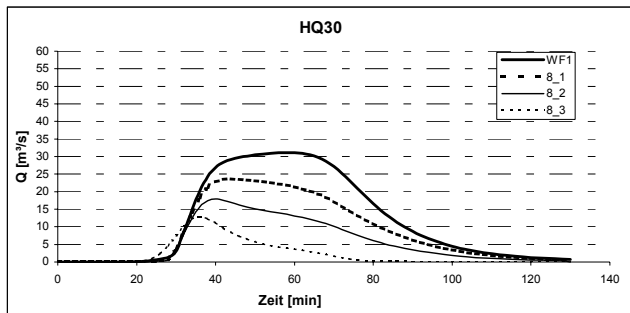
**HN100 ( $\delta = 120\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	23.4	93.4	23.4	0	15	2.0
0.50	30	29.4	58.9	6.1	15	30	2.5
0.75	45	33.7	44.9	4.3	30	45	3.4
1.00	60	37.1	37.1	3.4	45	60	23.4
1.25	75	40.0	32.0	2.9	60	75	6.1
1.50	90	42.5	28.3	2.5	75	90	4.3
1.75	105	44.7	25.5	2.2	90	105	2.9
2.00	120	46.7	23.4	2.0	105	120	2.5

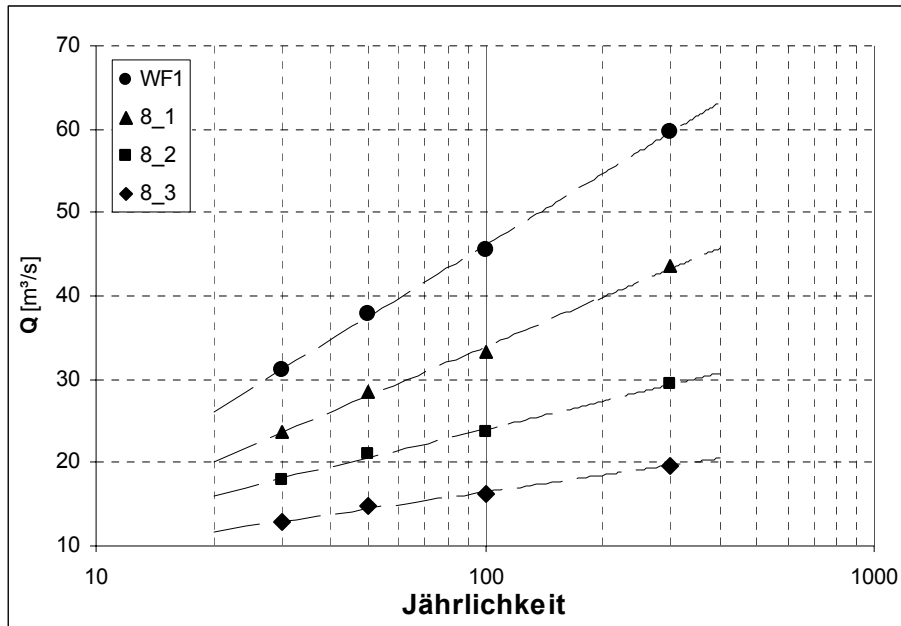
**HN300 ( $\delta = 120\text{min}$ )**

d	d	h	i	$\Delta h$	$T_i$	$T_{i+1}$	Blocks
[h]	[min]	[mm]	[mm/h]	[mm]	[min]	[min]	[mm]
0.25	15	25.1	100.3	25.1	0	15	2.4
0.50	30	32.0	64.0	7.0	15	30	2.9
0.75	45	37.0	49.3	4.9	30	45	4.0
1.00	60	40.9	40.9	4.0	45	60	25.1
1.25	75	44.3	35.4	3.4	60	75	7.0
1.50	90	47.2	31.5	2.9	75	90	4.9
1.75	105	49.8	28.5	2.6	90	105	3.4
2.00	120	52.2	26.1	2.4	105	120	2.9

Beschreibung Ereignis	Junction	N <sub>tot</sub> [mm]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N <sub>eff</sub> [mm]	T <sub>Q,max</sub> [min]
HQ30, δ = 60 min	8_3	55,6	12,8	37,9	36
	8_1		23,6	14,1	44
	WF1		31,1	13,1	58
	GRB1		31,5	8,3	64
	Mündung		31,5	7,8	66
HQ30, δ = 90 min	8_3	62,7	12,4	44,4	50
	8_1		25,3	17,5	58
	WF1		30,9	16,5	62
	GRB1		31	10,8	70
	Mündung		31	10,1	72
HQ30, δ = 120 min	8_3	68,4	13	50,1	64
	8_1		27,4	20,4	72
	WF1		32,7	19,3	74
	GRB1		32,7	13,6	80
	Mündung		32,7	13,3	80
HQ50, δ = 60 min	8_3	62,2	14,8	44	36
	8_1		28,4	17,2	44
	WF1		37,8	16	58
	GRB1		38,6	10,3	64
	Mündung		38,6	9,4	66
HQ50, δ = 90 min	8_3	70,5	14,3	51,8	50
	8_1		30,5	21,4	58
	WF1		37,6	20,1	66
	GRB1		37,9	14,3	72
	Mündung		37,9	13,7	74
HQ50, δ = 120 min	8_3	77,0	14,9	58,4	64
	8_1		33,2	24,9	72
	WF1		39,8	23,5	74
	GRB1		39,9	16,9	80
	Mündung		39,9	16,5	82
HQ100, δ = 60 min	8_3	74,2	16,3	50,4	36
	8_1		33,3	20,6	48
	WF1		45,6	19,2	58
	GRB1		47,3	13,6	66
	Mündung		47,3	13,2	66
HQ100, δ = 90 min	8_3	84,9	15,8	59,8	50
	8_1		35,8	25,9	58
	WF1		45,3	24,4	66
	GRB1		46,3	17,0	74
	Mündung		46,3	13,5	76
HQ100, δ = 120 min	8_3	93,5	16,5	68	64
	8_1		39,0	30,3	74
	WF1		50,4	27,4	76
	GRB1		53,1	19,3	86
	Mündung		53,1	18,3	88
HQ300, δ = 60 min	8_3	81,2	16,7	62,2	36
	8_1		43,4	27,2	50
	WF1		59,8	25,4	58
	GRB1		63,5	17,7	64
	Mündung		63,5	13,8	66
HQ300, δ = 90 min	8_3	93,7	18,9	74,1	50
	8_1		46,4	34,1	60
	WF1		59,5	32,1	66
	GRB1		62,2	23,5	74
	Mündung		62,2	22,9	76







### A3. Linienzahlanalysen



**Linienzahlanalyse Fernerbach**

Geschiebeanalyse	Fernerbach	Datum	10.10.01
Linienzahlanalyse No.	1	Beobachter	hs + WaG
Standort	H=2180m (in der Gerinnesohle auf einer Kiesbank)		

$d_m = 5,9$

Fraktion min [cm]	max [cm]	Anzahl [-]	$d_{mi}$ [cm]	$\Delta$ [%]	Fraktion [cm]	$\Sigma$ [%]	$\Delta q_i$	$\Delta p_i$	$p_i$	$p_{i c}$	$p_{FU(i+1)}$	$p_{iC-p_{FU(i+1)}}$	$p_{iFU}$	$p_i^v$ [%]	$d_{mi} * n$
<=	0,025												0,040	4,0	
0,025	0,1												0,079	7,9	0
0,1	0,25												0,125	12,5	0
0,25	0,5												0,177	17,7	0
0,5	1	0	0,75	0,0	1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,250			0,250	25,0	0
1	2	9	1,5	7,4	2	7,4	0,10	0,03	0,03	0,269	0,354	0,084	0,353	35,3	13,5
2	3	20	2,5	16,4	3	23,8	0,34	0,09	0,11	0,334	0,330	0,004	0,433	43,3	50
3	4	23	3,5	18,9	4	42,6	0,51	0,129	0,241	0,430	0,385	0,045	0,500	50,0	80,5
4	6	31	5,0	25,4	6	68,0	0,92	0,231	0,472	0,604	0,527	0,077	0,612	61,2	155
6	8	14	7,0	11,5	8	79,5	0,54	0,137	0,609	0,707	0,697	0,009	0,707	70,7	98
8	10	9	9,0	7,4	10	86,9	0,43	0,108	0,716	0,787	0,790	0,003	0,790	78,7	81
10	12	3	11,0	2,5	12	89,3	0,17	0,042	0,758	0,819	0,862	0,044	0,865	81,9	33
12	15	6	13,50	4,9	15	94,3	0,39	0,099	0,858	0,893	0,915	0,022	0,968	89,3	81
15	20	7	17,50	5,7	20	100,0	0,57	0,142	1,000	1,000	1,031	0,031	1,117	100,0	122,5
20	30		25,0		30	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,368	100,0	0
30	40		35,0		40	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,155	0,155	1,580	100,0	0
40	60		50,0		60	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,935	100,0	0
60	80		70,0		80	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,234	100,0	0
80	100		90,0		100	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,498	100,0	0
100	120		110,0		120	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,737	100,0	0
120	150		135,0		150	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			3,060	100,0	0
150	200		175,0		200	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			3,533	100,0	0
$\Sigma =$		122		100,0			3,978								714,5

**Linienzahlanalyse Fernerbach**

Geschiebeanalyse	Fernerbach	Datum	10.10.01
Linienzahlanalyse No.	2	Beobachter	hs + WaG
Standort	H = 2090 m (Gerinnesohle auf einer Kiesbank li.)		

$d_m = 6,6$

Fraktion min [cm]	max [cm]	Anzahl [-]	$d_{mi}$ [cm]	$\Delta$ [%]	Fraktion [cm]	$\Sigma$ [%]	$\Delta q_i$	$\Delta p_i$	$p_i$	$p_{i c}$	$p_{FU(i+1)}$	$p_{iC-p_{FU(i+1)}}$	$p_{iFU}$	$p_i^v$ [%]	$d_{mi} * n$
<=	0,025												0,037	3,7	
0,025	0,1												0,073	7,3	0
0,1	0,25												0,116	11,6	0
0,25	0,5												0,163	16,3	0
0,5	1	1	0,75	0,8	1	0,8	0,01	0,00	0,00	0,251			0,231	23,1	0,75
1	2	5	1,5	3,8	2	4,5	0,05	0,01	0,01	0,260	0,355	0,095	0,327	32,7	7,5
2	3	18	2,5	13,6	3	18,2	0,28	0,07	0,08	0,309	0,319	0,010	0,400	40,0	45
3	4	23	3,5	17,4	4	35,6	0,47	0,109	0,188	0,391	0,357	0,034	0,462	46,2	80,5
4	6	36	5,0	27,3	6	62,9	0,99	0,227	0,415	0,561	0,479	0,082	0,566	56,6	180
6	8	15	7,0	11,4	8	74,2	0,54	0,124	0,538	0,654	0,648	0,006	0,654	65,4	105
8	10	10	9,0	7,6	10	81,8	0,44	0,101	0,639	0,730	0,731	0,001	0,731	73,0	90
10	12	7	11,0	5,3	12	87,1	0,36	0,083	0,722	0,792	0,799	0,007	0,801	79,2	77
12	15	8	13,50	6,1	15	93,2	0,49	0,112	0,834	0,876	0,885	0,010	0,895	87,6	108
15	20	7	17,50	5,3	20	98,5	0,52	0,120	0,954	0,966	1,011	0,045	1,034	96,6	122,5
20	30	2	25,0	1,5	30	100,0	0,20	0,046	1,000	1,000	1,183	0,183	1,266	100,0	50
30	40		35,0		40	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,155	0,155	1,462	100,0	0
40	60		50,0		60	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,791	100,0	0
60	80		70,0		80	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,068	100,0	0
80	100		90,0		100	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,312	100,0	0
100	120		110,0		120	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,532	100,0	0
120	150		135,0		150	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,831	100,0	0
150	200		175,0		200	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			3,269	100,0	0
$\Sigma =$		132		100,0			4,353								866,25

**Linienzahlanalyse Fernerbach**

Geschiebeanalyse	Fernerbach	Datum	10.10.01	$d_m =$	5,6
Linienzahlanalyse No.	3	Beobachter	hs + WaG		
Standort	H = 2030 m (Gerinnesohle auf Kiesbank, wo Bach bei Niedrigwasser im Untergrund verschwindet)				

Fraktion min [cm]	max [cm]	Anzahl [-]	$d_{mi}$ [cm]	$\Delta$ [%]	Fraktion [cm]	$\Sigma$ [%]	$\Delta q_i$	$\Delta p_i$	$p_i$	$p_i c$	$p_{FU(i+1)}$	$p_i c - p_{FU(i+1)}$	$p_{iFU}$	$p_i^v$ [%]	$d_{mi} * n$
<=	0,025												0,039	3,9	
0,025	0,1												0,079	7,9	0
0,1	0,25												0,125	12,5	0
0,25	0,5												0,177	17,7	0
0,5	1	0	0,75	0,0	1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,250			0,250	25,0	0
1	2	17	1,5	11,4	2	11,4	0,16	0,04	0,04	0,281	0,354	0,072	0,353	35,3	25,5
2	3	30	2,5	20,1	3	31,5	0,42	0,11	0,15	0,364	0,344	0,019	0,433	43,3	75
3	4	26	3,5	17,4	4	49,0	0,48	0,125	0,276	0,457	0,420	0,037	0,499	49,9	91
4	6	35	5,0	23,5	6	72,5	0,85	0,224	0,500	0,625	0,560	0,065	0,612	61,2	175
6	8	13	7,0	8,7	8	81,2	0,41	0,109	0,608	0,706	0,722	0,015	0,706	70,6	91
8	10	10	9,0	6,7	10	87,9	0,39	0,102	0,711	0,783	0,790	0,007	0,790	78,3	90
10	12	7	11,0	4,7	12	92,6	0,32	0,084	0,795	0,846	0,858	0,012	0,865	84,6	77
12	15	1	13,50	0,7	15	93,3	0,05	0,014	0,809	0,857	0,946	0,089	0,967	85,7	13,5
15	20	7	17,50	4,7	20	98,0	0,46	0,122	0,931	0,948	0,989	0,041	1,117	94,8	122,5
20	30	3	25,0	2,0	30	100,0	0,26	0,069	1,000	1,000	1,161	0,161	1,368	100,0	75
30	40		35,0		40	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,155	0,155	1,579	100,0	0
40	60		50,0		60	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,934	100,0	0
60	80		70,0		80	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,234	100,0	0
80	100		90,0		100	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,497	100,0	0
100	120		110,0		120	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,736	100,0	0
120	150		135,0		150	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			3,059	100,0	0
150	200		175,0		200	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			3,532	100,0	0
$\Sigma =$		149		100,0			3,809								835,5

**Linienzahlanalyse Fernerbach**

Geschiebeanalyse	Fernerbach	Datum	10.10.01	$d_m =$	6,0
Linienzahlanalyse No.	4	Beobachter	hs + WaG		
Standort	H = 1990 m (Bachsohle beim Almsteig)				

Fraktion min [cm]	max [cm]	Anzahl [-]	$d_{mi}$ [cm]	$\Delta$ [%]	Fraktion [cm]	$\Sigma$ [%]	$\Delta q_i$	$\Delta p_i$	$p_i$	$p_i c$	$p_{FU(i+1)}$	$p_i c - p_{FU(i+1)}$	$p_{iFU}$	$p_i^v$ [%]	$d_{mi} * n$
<=	0,025												0,031	3,1	
0,025	0,1												0,061	6,1	0
0,1	0,25												0,097	9,7	0
0,25	0,5												0,137	13,7	0
0,5	1	2	0,75	1,6	1	1,6	0,01	0,00	0,00	0,252			0,194	19,4	1,5
1	2	11	1,5	8,7	2	10,3	0,12	0,03	0,03	0,275	0,357	0,082	0,275	27,5	16,5
2	3	24	2,5	19,0	3	29,4	0,40	0,10	0,13	0,349	0,337	0,012	0,337	34,9	60
3	4	19	3,5	15,1	4	44,4	0,41	0,102	0,234	0,425	0,403	0,023	0,389	42,5	66,5
4	6	25	5,0	19,8	6	64,3	0,72	0,179	0,413	0,560	0,521	0,038	0,476	56,0	125
6	8	15	7,0	11,9	8	76,2	0,56	0,140	0,553	0,665	0,646	0,019	0,550	66,5	105
8	10	15	9,0	11,9	10	88,1	0,69	0,172	0,725	0,794	0,743	0,050	0,615	79,4	135
10	12	3	11,0	2,4	12	90,5	0,16	0,040	0,765	0,824	0,869	0,046	0,673	82,4	33
12	15	5	13,50	4,0	15	94,4	0,32	0,079	0,844	0,883	0,921	0,038	0,753	88,3	67,5
15	20	4	17,50	3,2	20	97,6	0,31	0,078	0,922	0,942	1,020	0,078	0,869	94,2	70
20	30	3	25,0	2,4	30	100,0	0,31	0,078	1,000	1,000	1,153	0,153	1,065	100,0	75
30	40		35,0		40	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,155	0,155	1,229	100,0	0
40	60		50,0		60	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,506	100,0	0
60	80		70,0		80	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			1,738	100,0	0
80	100		90,0		100	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			1,944	100,0	0
100	120		110,0		120	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,129	100,0	0
120	150		135,0		150	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,380	100,0	0
150	200		175,0		200	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,749	100,0	0
$\Sigma =$		126		100,0			4,021								755

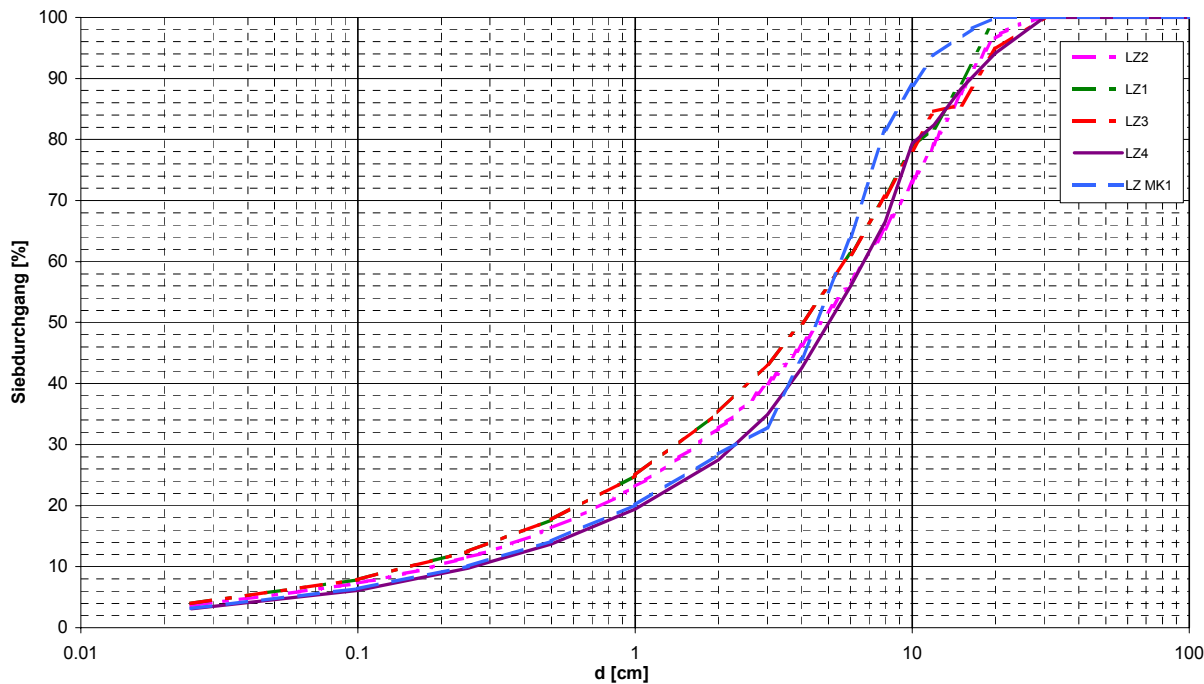
**Linienzahlanalyse Murkegel (orogr. links)**

Geschiebeanalyse	Murkegel	Datum	06.10.01
Linienzahlanalyse No.	1	Beobachter	eh + WaG
Standort			

$d_m = 5,2$

Fraktion min [cm]	max [cm]	Anzahl [-]	$d_{mi}$ [cm]	$\Delta$ [%]	Fraktion [cm]	$\Sigma$ [%]	$\Delta q_i$	$\Delta p_i$	$p_i$	$p_{i c}$	$p_{FU(i+1)}$	$p_{i c} - p_{FU(i+1)}$	$p_{iFU}$	$p_i^v$ [%]	$d_{mi} * n$
<=	0,025												0,032	3,2	
0,025	0,1												0,064	6,4	0
0,1	0,25												0,101	10,1	0
0,25	0,5												0,142	14,2	0
0,5	1	0	0,75	0,0	1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,250			0,201	20,1	0
1	2	14	1,5	12,1	2	12,1	0,17	0,05	0,05	0,284	0,354	0,069	0,284	28,4	21
2	3	12	2,5	10,3	3	22,4	0,22	0,06	0,11	0,329	0,348	0,020	0,348	32,9	30
3	4	23	3,5	19,8	4	42,2	0,54	0,148	0,253	0,440	0,380	0,060	0,402	44,0	80,5
4	6	31	5,0	26,7	6	69,0	0,97	0,266	0,520	0,640	0,539	0,101	0,493	64,0	155
6	8	21	7,0	18,1	8	87,1	0,86	0,236	0,756	0,817	0,739	0,078	0,569	81,7	147
8	10	7	9,0	6,0	10	93,1	0,35	0,096	0,852	0,889	0,913	0,024	0,636	88,9	63
10	12	4	11,0	3,4	12	96,6	0,23	0,065	0,916	0,937	0,974	0,036	0,697	93,7	44
12	16,5	3	14,25	2,6	16,5	99,1	0,22	0,060	0,976	0,982	1,099	0,117	0,817	98,2	42,75
16,5	20	1	18,25	0,9	20	100,0	0,09	0,024	1,000	1,000	1,081	0,081	0,899	100,0	18,25
20	30		25,0		30	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,101	100,0	0
30	40		35,0		40	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,155	0,155	1,272	100,0	0
40	60		50,0		60	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000	1,225	0,225	1,558	100,0	0
60	80		70,0		80	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			1,799	100,0	0
80	100		90,0		100	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,011	100,0	0
100	120		110,0		120	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,203	100,0	0
120	150		135,0		150	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,463	100,0	0
150	200		175,0		200	100,0	0,00	0,000	1,000	1,000			2,844	100,0	0
$\Sigma =$		116		100,0			3,639								601,5

**Kornverteilungskurve**



## A4. Entwicklung Murganghydrographen

### A4.1 Vorversuch 1: HQ50 mit T (Ereignisdauer) = 540 min

Grundlage: Entstehungsmechanismen von Murgängen (Tognacca, 1999)

1. Bestimmung des kritischen Abflusses für Murgangentstehung

$$q_{\text{Dic}} = g^{0.5} \cdot (\rho_s / \rho_w - 1)^{0.5} \cdot d_m^{1.5} / (\tan \theta)^{1.17} \quad (\text{Formel 7.37})$$

2. Bestimmung von  $c/c^*$

$$c / c^* = [\tanh(7.10 \cdot J^{0.80} - 2.15)] / 2.30 + 0.43 \quad (\text{Formel 7.28})$$

3. Bestimmung von  $Q_B$

$$Q_B = c / (1-c) \cdot Q_W \quad (\text{Formel 7.29})$$

#### Eingangsdaten

$g =$	9.81 m/s <sup>2</sup>	$\tan \theta_{\text{min}} =$	0.25
$\rho_s =$	2650 kg/m <sup>3</sup>	$\tan \theta_{\text{max}} =$	0.64
$\rho_w =$	1000 kg/m <sup>3</sup>	$q_{\text{Dic,min}} =$	0.08 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,\text{min}} =$	5 cm	$q_{\text{Dic,max}} =$	0.38 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,\text{max}} =$	7 cm	$b_{\text{min}} =$	4 m
$c^* =$	0.7	$b_{\text{max}} =$	6 m

#### Anpassung an Ereignis 1999

Höhe [m]	Teillänge [m]	Neigung [-]	$c/c^*$	$V_{E1,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{E2,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{\text{ges},99}$ [m <sup>3</sup> ]	Station
2500	64						
2450	78	0.64	0.86	11600	4100	15700	8_3
2400	82	0.61	0.86	15400	5400	20800	
2350	110	0.45	0.83	21800	7700	29500	
2300	102	0.49	0.84	29400	10300	39700	
2250	126	0.40	0.80	36900	12900	49800	
2200	128	0.39	0.79	43900	15400	59300	
2150	137	0.36	0.76	50500	17700	68200	
2100	170	0.29	0.64	57400	20100	77500	
2050	180	0.28	0.59	65600	23000	88600	
2020				71900	25200	97100	8_2
2000	195	0.26	0.53	77000	27000	104000	
1990				79800	28100	107900	8_1

T = 540 min													
Station	8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
[min]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]										
0	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00				
10	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
20	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
30	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
40	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
50	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
60	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
70	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
80	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
90	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
100	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.10	0	0	30	30
110	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.10	0	0	60	90
120	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.10	0	0	60	150
130	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.20	0	0	90	240
140	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.20	0	0	120	360
150	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.30	0	0	150	510
160	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.30	0	0	180	690
170	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.30	0	0	180	870
180	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.40	0	0	210	1080
190	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.50	0	0	270	1350
200	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.50	0	0	300	1650
210	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.60	0	0	330	1980
220	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.86	1.06	1.76	318	318	708	2688
230	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.86	1.21	2.01	681	998	1131	3818
240	1	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	1.51	2.51	817	1815	1357	5175
242	1	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	1.51	2.51	182	1997	302	5477
244	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.86	1.66	2.76	191	2187	317	5793
246	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.86	1.66	2.76	200	2387	332	6125
248	1.3	0.22	0.33	ja	nein	ja	0.86	1.97	3.27	218	2605	362	6487
250	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.86	2.12	3.52	245	2850	407	6894
252	1.5	0.25	0.38	ja	nein	ja	0.86	2.27	3.77	263	3113	437	7331
254	1.5	0.25	0.38	ja	nein	ja	0.86	2.27	3.77	272	3385	452	7783
256	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.86	2.42	4.02	281	3666	467	8250
258	1.9	0.32	0.48	ja	nein	ja	0.86	2.87	4.77	318	3984	528	8778
260	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.86	3.78	6.28	399	4383	663	9441
262	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.86	4.99	8.29	526	4910	874	10316
264	4.4	0.73	1.10	ja	ja	ja	0.86	6.66	11.06	699	5609	1161	11477
266	5.5	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.86	8.32	13.82	898	6507	1492	12969
268	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.86	9.83	16.33	1089	7596	1809	14778
270	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.86	11.04	18.34	1252	8848	2080	16858
272	7.9	1.32	1.98	ja	ja	ja	0.86	11.95	19.85	1379	10228	2291	19150
274	8	1.33	2.00	ja	ja	ja	0.86	12.10	20.10	1443	11671	2397	21547
276	7.7	1.28	1.93	ja	ja	ja	0.86	11.65	19.35	1425	13096	2367	23914
278	7	1.17	1.75	ja	ja	ja	0.86	10.59	17.59	1334	14430	2216	26130
280	6.2	1.03	1.55	ja	ja	ja	0.86	9.38	15.58	1198	15628	1990	28120
282	5.4	0.90	1.35	ja	ja	ja	0.83	7.49	12.89	1012	16640	1708	29828
284	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.83	6.52	11.22	840	17480	1446	31274
286	4.1	0.68	1.03	ja	ja	ja	0.83	5.69	9.79	732	18212	1260	32534
288	3.8	0.63	0.95	ja	ja	ja	0.83	5.27	9.07	657	18869	1131	33665
290	3.4	0.57	0.85	ja	ja	ja	0.83	4.71	8.11	599	19468	1031	34696
292	3.1	0.52	0.78	ja	ja	ja	0.83	4.30	7.40	541	20009	931	35627
294	2.8	0.47	0.70	ja	ja	ja	0.83	3.88	6.68	491	20500	845	36472
296	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.83	3.47	5.97	441	20941	759	37231
298	2.3	0.38	0.58	ja	ja	ja	0.83	3.19	5.49	399	21340	687	37918
300	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.83	2.91	5.01	366	21707	630	38549
310	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.84	2.28	3.88	1559	23265	2669	41217
320	1.3	0.22	0.33	ja	nein	ja	0.84	1.86	3.16	1242	24507	2112	43329
330	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.84	1.57	2.67	1028	25534	1748	45076
340	1	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.84	1.43	2.43	899	26433	1529	46605
350	0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.84	1.28	2.18	813	27247	1383	47989
360	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.84	1.14	1.94	728	27975	1238	49227
370	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.84	1.14	1.94	685	28660	1165	50392
380	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.84	1.00	1.70	642	29302	1092	51484
390	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.8	0.89	1.59	567	29869	987	52471
400	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.8	0.00	0.60	267	30136	657	53128
410	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.8	0.00	0.60	0	30136	360	53488
420	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.8	0.00	0.60	0	30136	360	53848
430	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.8	0.00	0.60	0	30136	360	54208
440	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.8	0.00	0.60	0	30136	360	54568



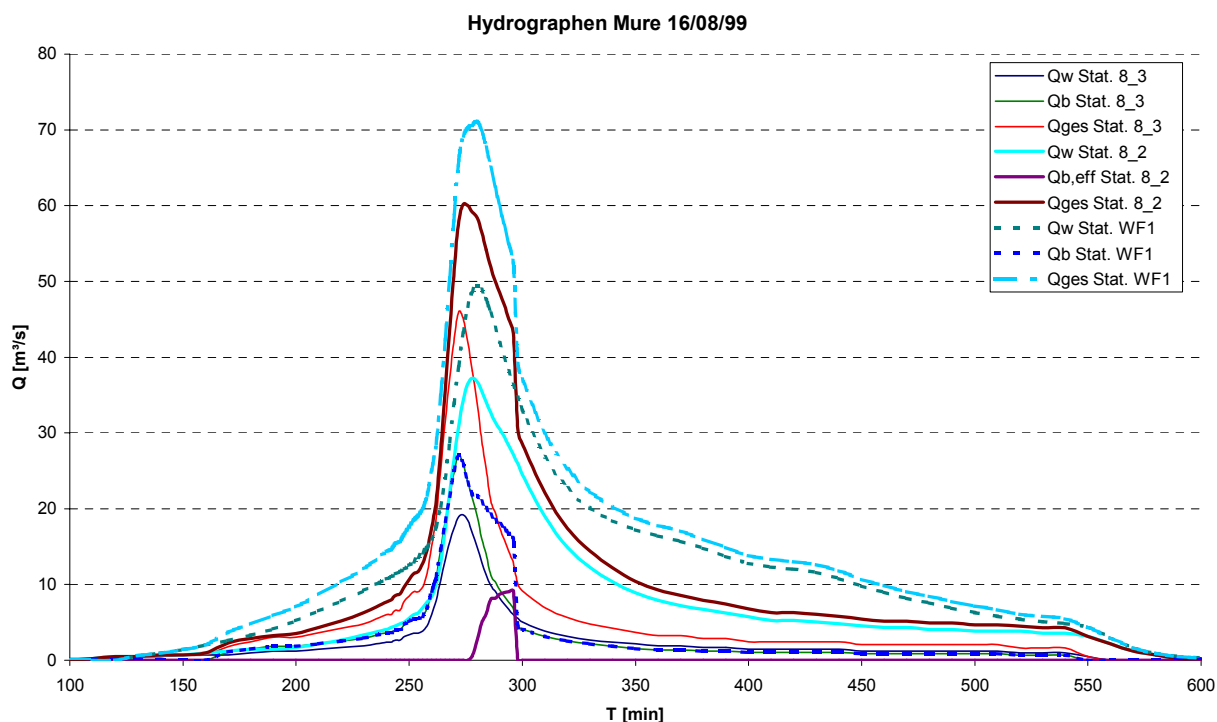
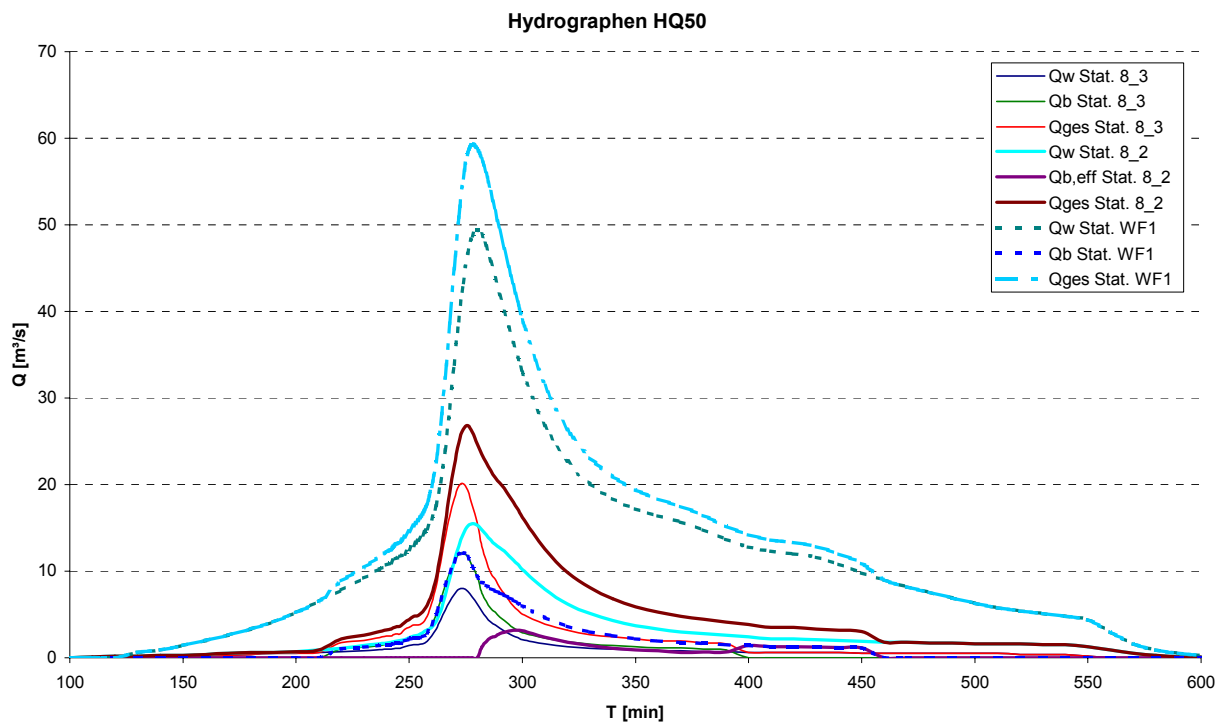
**A4.2 Vorversuch 2: Murgang am 16/08/1999 mit HQ aus VAPI und T = 540 min**

T = 540 min													
Station	8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)										
[min]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00				
10	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
20	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
30	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
40	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
50	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
60	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
70	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
80	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
90	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.00	0	0	0	0
100	0.24	0.04	0.06	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.24	0	0	70	100
110	0.24	0.04	0.06	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.24	0	0	140	200
120	0.24	0.04	0.06	nein	nein	nein	0.86	0.00	0.24	0	0	140	300
130	0.48	0.08	0.12	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.48	0	0	220	500
140	0.48	0.08	0.12	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.48	0	0	290	800
150	0.72	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.72	0	0	360	1200
160	0.72	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.86	0.00	0.72	0	0	430	1600
170	0.72	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.86	1.09	1.81	330	300	760	2400
180	0.96	0.16	0.24	ja	nein	ja	0.86	1.45	2.41	760	1100	1270	3700
190	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.86	1.82	3.02	980	2100	1630	5300
200	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.86	1.82	3.02	1090	3200	1810	7100
210	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.86	2.18	3.62	1200	4400	1990	9100
220	1.68	0.28	0.42	ja	nein	ja	0.86	2.54	4.22	1420	5800	2350	11500
230	1.92	0.32	0.48	ja	nein	ja	0.86	2.90	4.82	1630	7400	2710	14200
240	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	3.63	6.03	1960	9400	3260	17500
242	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	3.63	6.03	440	9800	720	18200
244	2.64	0.44	0.66	ja	ja	ja	0.86	3.99	6.63	460	10300	760	19000
246	2.64	0.44	0.66	ja	ja	ja	0.86	3.99	6.63	480	10800	800	19800
248	3.12	0.52	0.78	ja	ja	ja	0.86	4.72	7.84	520	11300	870	20700
250	3.36	0.56	0.84	ja	ja	ja	0.86	5.08	8.44	590	11900	980	21700
252	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.86	5.45	9.05	630	12500	1050	22800
254	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.86	5.45	9.05	650	13200	1090	23900
256	3.84	0.64	0.96	ja	ja	ja	0.86	5.81	9.65	680	13900	1120	25000
258	4.56	0.76	1.14	ja	ja	ja	0.86	6.90	11.46	760	14700	1270	26300
260	6	1.00	1.50	ja	ja	ja	0.86	9.08	15.08	960	15700	1590	27900
262	7.92	1.32	1.98	ja	ja	ja	0.83	10.98	18.90	1200	16900	2040	29900
264	10.56	1.76	2.64	ja	ja	ja	0.83	14.64	25.20	1540	18400	2650	32600
266	13.2	2.20	3.30	ja	ja	ja	0.83	18.30	31.50	1980	20400	3400	36000
268	15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.83	21.63	37.23	2400	22800	4120	40100
270	17.52	2.92	4.38	ja	ja	ja	0.84	25.00	42.52	2800	25600	4790	44900
272	18.96	3.16	4.74	ja	ja	ja	0.84	27.06	46.02	3120	28700	5310	50200
274	19.2	3.20	4.80	ja	ja	ja	0.82	25.87	45.07	3180	31900	5470	55700
276	18.48	3.08	4.62	ja	ja	ja	0.8	23.52	42.00	2960	34900	5220	60900
278	16.8	2.80	4.20	ja	ja	ja	0.8	21.38	38.18	2690	37600	4810	65700
280	14.88	2.48	3.72	ja	ja	ja	0.8	18.94	33.82	2420	40000	4320	70000
282	12.96	2.16	3.24	ja	ja	ja	0.79	16.03	28.99	2100	42100	3770	73800
284	11.28	1.88	2.82	ja	ja	ja	0.79	13.95	25.23	1800	43900	3250	77100
286	9.84	1.64	2.46	ja	ja	ja	0.76	11.19	21.03	1510	45400	2780	79900
288	9.12	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.76	10.37	19.49	1290	46700	2430	82300
290	8.16	1.36	2.04	ja	ja	ja	0.76	9.28	17.44	1180	47900	2220	84500
292	7.44	1.24	1.86	ja	ja	ja	0.76	8.46	15.90	1060	49000	2000	86500
294	6.72	1.12	1.68	ja	ja	ja	0.76	7.64	14.36	970	50000	1820	88300
296	6	1.00	1.50	ja	ja	ja	0.76	6.82	12.82	870	50900	1630	89900
298	5.52	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.64	4.48	10.00	680	51600	1370	91300
300	5.04	0.84	1.26	ja	ja	ja	0.64	4.09	9.13	510	52100	1150	92500
310	3.84	0.64	0.96	ja	ja	ja	0.64	3.12	6.96	2160	54300	4830	97300
320	3.12	0.52	0.78	ja	ja	ja	0.64	2.53	5.65	1690	56000	3780	101100
330	2.64	0.44	0.66	ja	ja	ja	0.64	2.14	4.78	1400	57400	3130	104200
340	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.62	1.84	4.24	1190	58600	2710	106900
350	2.16	0.36	0.54	ja	nein	ja	0.59	1.52	3.68	1010	59600	2380	109300
360	1.92	0.32	0.48	ja	nein	ja	0.59	1.35	3.27	860	60500	2090	111400
370	1.92	0.32	0.48	ja	nein	ja	0.59	1.35	3.27	810	61300	1960	113400
380	1.68	0.28	0.42	ja	nein	ja	0.59	1.18	2.86	760	62100	1840	115200
390	1.68	0.28	0.42	ja	nein	ja	0.59	1.18	2.86	710	62800	1720	116900
400	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.59	1.01	2.45	660	63500	1590	118500
410	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.59	1.01	2.45	610	64100	1470	120000
420	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.59	1.01	2.45	610	64700	1470	121500
430	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.59	1.01	2.45	610	65300	1470	123000
440	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.59	1.01	2.45	610	65900	1470	124500



8_2															
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)	Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,th</sub>	Q <sub>B,eff</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
[min]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]					[m³/s]		[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00					
10	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
20	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
30	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
40	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
50	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
60	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
70	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
80	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
90	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
100	0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0
110	0.24	0.04	0.06	nein	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.24	0	0	0	70	100
120	0.48	0.08	0.12	ja	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.48	0	0	0	220	300
130	0.48	0.08	0.12	ja	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.48	0	0	0	290	600
140	0.72	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.72	0	0	0	360	1000
150	0.72	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.72	0	0	0	430	1400
160	0.96	0.16	0.24	ja	nein	nein	0.53	0.00	0.00	0.96	0	0	0	500	1900
170	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.53	0.71	0.00	2.29	0	0	300	970	2900
180	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.53	0.85	0.00	2.89	0	0	1100	1550	4500
190	1.44	0.24	0.36	ja	nein	ja	0.53	0.85	0.00	3.26	0	0	2100	1840	6300
200	1.68	0.28	0.42	ja	nein	ja	0.53	0.99	0.00	3.50	0	0	3200	2030	8300
210	2.16	0.36	0.54	ja	nein	ja	0.53	1.27	0.00	4.34	0	0	4400	2350	10700
220	2.64	0.44	0.66	ja	ja	ja	0.53	1.56	0.00	5.18	0	0	5800	2860	13600
230	3.36	0.56	0.84	ja	ja	ja	0.53	1.98	0.00	6.26	0	0	7400	3430	17000
240	4.08	0.68	1.02	ja	ja	ja	0.53	2.41	0.00	7.71	0	0	9400	4190	21200
242	4.32	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.53	2.55	0.00	7.95	0	0	9800	940	22100
244	4.56	0.76	1.14	ja	ja	ja	0.53	2.69	0.00	8.55	0	0	10300	990	23100
246	4.8	0.80	1.20	ja	ja	ja	0.53	2.83	0.00	8.79	0	0	10800	1040	24100
248	5.04	0.84	1.26	ja	ja	ja	0.53	2.97	0.00	9.76	0	0	11300	1110	25200
250	5.52	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.53	3.26	0.00	10.60	0	0	11900	1220	26400
252	6	1.00	1.50	ja	ja	ja	0.53	3.54	0.00	11.45	0	0	12500	1320	27700
254	6.24	1.04	1.56	ja	ja	ja	0.53	3.68	0.00	11.69	0	0	13200	1390	29100
256	6.96	1.16	1.74	ja	ja	ja	0.53	4.11	0.00	12.77	0	0	13900	1470	30600
258	7.68	1.28	1.92	ja	ja	ja	0.53	4.53	0.00	14.58	0	0	14700	1640	32200
260	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.53	4.95	0.00	17.48	0	0	15700	1920	34100
262	10.08	1.68	2.52	ja	ja	ja	0.53	5.95	0.00	21.06	0	0	16900	2310	36400
264	12.96	2.16	3.24	ja	ja	ja	0.53	7.64	0.00	27.60	0	0	18400	2920	39300
266	17.28	2.88	4.32	ja	ja	ja	0.53	10.19	0.00	35.58	0	0	20400	3790	43100
268	22.08	3.68	5.52	ja	ja	ja	0.53	13.02	0.00	43.71	0	0	22800	4760	47900
270	26.64	4.44	6.66	ja	ja	ja	0.53	15.71	0.00	51.64	0	0	25600	5720	53600
272	30.96	5.16	7.74	ja	ja	ja	0.53	18.26	0.00	58.02	0	0	28700	6580	60200
274	34.32	5.72	8.58	ja	ja	ja	0.53	20.24	0.00	60.19	0	0	31900	7090	67300
276	36.48	6.08	9.12	ja	ja	ja	0.53	21.52	0.00	60.00	0	0	34900	7210	74500
278	37.2	6.20	9.30	ja	ja	ja	0.53	21.94	0.56	59.14	30	0	37600	7150	81700
280	36.72	6.12	9.18	ja	ja	ja	0.53	21.66	2.72	58.38	200	200	40200	7050	88800
282	35.52	5.92	8.88	ja	ja	ja	0.53	20.95	4.92	56.47	460	700	42800	6890	95700
284	34.08	5.68	8.52	ja	ja	ja	0.53	20.10	6.15	54.18	660	1400	45300	6640	102300
286	32.64	5.44	8.16	ja	ja	ja	0.53	19.25	8.07	51.89	850	2300	47700	6360	108700
288	31.44	5.24	7.86	ja	ja	ja	0.53	18.54	8.18	49.98	970	3300	50000	6110	114800
290	30.48	5.08	7.62	ja	ja	ja	0.53	17.98	8.70	48.46	1010	4300	52200	5910	120700
292	29.52	4.92	7.38	ja	ja	ja	0.53	17.41	8.95	46.93	1060	5400	54400	5720	126400
294	28.32	4.72	7.08	ja	ja	ja	0.53	16.70	9.06	45.02	1080	6500	56500	5520	131900
296	27.12	4.52	6.78	ja	ja	ja	0.53	16.00	9.18	43.12	1090	7600	58500	5290	137200
298	25.92	4.32	6.48	ja	ja	ja	0.53	15.29	0.00	30.40	550	8000	59600	4410	141600
300	24.48	4.08	6.12	ja	ja	ja	0.53	14.44	0.00	28.57	0	8000	60100	3540	145100
310	18.96	3.16	4.74	ja	ja	ja	0.53	11.18	0.00	22.08	0	8000	62300	15190	160300
320	14.88	2.48	3.72	ja	ja	ja	0.53	8.78	0.00	17.41	0	8000	64000	11850	172200
330	12.24	2.04	3.06	ja	ja	ja	0.53	7.22	0.00	14.38	0	8000	65400	9540	181700
340	10.32	1.72	2.58	ja	ja	ja	0.53	6.09	0.00	12.16	0	8000	66600	7960	189700
350	8.88	1.48	2.22	ja	ja	ja	0.53	5.24	0.00	10.40	0	8000	67600	6770	196500
360	7.92	1.32	1.98	ja	ja	ja	0.53	4.67	0.00	9.27	0	8000	68500	5900	202400
370	7.2	1.20	1.80	ja	ja	ja	0.53	4.25	0.00	8.55	0	8000	69300	5350	207800
380	6.72	1.12	1.68	ja	ja	ja	0.53	3.96	0.00	7.90	0	8000	70100	4940	212700
390	6.24	1.04	1.56	ja	ja	ja	0.53	3.68	0.00	7.42	0	8000	70800	4600	217300
400	5.76	0.96	1.44	ja	ja	ja	0.53	3.40	0.00	6.77	0	8000	71500	4260	221600
410	5.28	0.88	1.32	ja	ja	ja	0.53	3.11	0.00	6.29	0	8000	72100	3920	225500
420	5.28	0.88	1.32	ja	ja	ja	0.53	3.11	0.00	6.29	0	8000	72700	3780	229300
430	5.04	0.84	1.26	ja	ja	ja	0.53	2.97	0.00	6.05	0	8000	73300	3700	233000
440	4.8	0.80	1.20	ja	ja	ja	0.53	2.83	0.00	5.81	0	8000	73900	3560	236600
450	4.56	0.76	1.14	ja	ja	ja	0.53	2.69	0.00	5.40	0	8000	74500	3370	240000
460	4.32	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.53	2.55	0.00	5.16	0	8000	75000	3170	243200

WF1											
T	T	Q <sub>w</sub>	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	c <sub>v</sub>	γ	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>	
[min]	[h]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]		[kg/m]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
0		0	0.00	0.00							
10		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
20		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
30		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
40		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
50		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
60		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
70		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
80		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
90		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
100		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
110		0	0.00	0.00			0	0	0	0	
120	0.00	0	0.00	0.00			0	0	0	0	
130	0.17	0.6	0.00	0.60	0.00	1000	0	0	180	200	
140	0.33	0.9	0.00	0.90	0.00	1000	0	0	450	700	
150	0.50	1.4	0.00	1.40	0.00	1000	0	0	690	1400	
160	0.67	2	0.00	2.00	0.00	1000	0	0	1020	2400	
170	0.83	2.6	1.09	3.69	0.30	1487	330	300	1710	4100	
180	1.00	3.3	1.45	4.75	0.31	1504	760	1100	2530	6600	
190	1.17	4.1	1.82	5.92	0.31	1506	980	2100	3200	9800	
200	1.33	5.2	1.82	7.02	0.26	1427	1090	3200	3880	13700	
210	1.50	6.5	2.18	8.68	0.25	1414	1200	4400	4710	18400	
220	1.67	7.8	2.54	10.34	0.25	1405	1420	5800	5710	24100	
230	1.83	9.2	2.90	12.10	0.24	1396	1630	7400	6730	30800	
240	2.00	10.7	3.63	14.33	0.25	1418	1960	9400	7930	38700	
242	2.03	11	3.63	14.63	0.25	1409	440	9800	1740	40400	
244	2.07	11.4	3.99	15.39	0.26	1428	460	10300	1800	42200	
246	2.10	11.7	3.99	15.69	0.25	1420	480	10800	1870	44100	
248	2.13	12	4.72	16.72	0.28	1466	520	11300	1940	46000	
250	2.17	12.5	5.08	17.58	0.29	1477	590	11900	2060	48100	
252	2.20	13	5.45	18.45	0.30	1487	630	12500	2160	50300	
254	2.23	13.6	5.45	19.05	0.29	1472	650	13200	2250	52600	
256	2.27	14.2	5.81	20.01	0.29	1479	680	13900	2340	54900	
258	2.30	14.9	6.90	21.80	0.32	1522	760	14700	2510	57400	
260	2.33	16	9.08	25.08	0.36	1597	960	15700	2810	60200	
262	2.37	17.6	10.98	28.58	0.38	1634	1200	16900	3220	63400	
264	2.40	20.3	14.64	34.94	0.42	1691	1540	18400	3810	67200	
266	2.43	24	18.30	42.30	0.43	1714	1980	20400	4630	71800	
268	2.47	28.8	21.63	50.43	0.43	1708	2400	22800	5560	77400	
270	2.50	33.9	25.00	58.90	0.42	1700	2800	25600	6560	84000	
272	2.53	38.9	27.06	65.96	0.41	1677	3120	28700	7490	91500	
274	2.57	43.3	25.87	69.17	0.37	1617	3180	31900	8110	99600	
276	2.60	46.7	23.52	70.22	0.33	1553	2960	34900	8360	108000	
278	2.63	48.7	21.94	70.64	0.31	1512	2730	37600	8450	116500	
280	2.67	49.4	21.66	71.06	0.30	1503	2620	40200	8500	125000	
282	2.70	48.9	20.95	69.85	0.30	1495	2560	42800	8450	133500	
284	2.73	47.6	20.10	67.70	0.30	1490	2460	45300	8250	141800	
286	2.77	45.8	19.25	65.05	0.30	1488	2360	47700	7970	149800	
288	2.80	43.9	18.54	62.44	0.30	1490	2270	50000	7650	157500	
290	2.83	41.9	17.98	59.88	0.30	1495	2190	52200	7340	164800	
292	2.87	40	17.41	57.41	0.30	1500	2120	54300	7040	171800	
294	2.90	38.2	16.70	54.90	0.30	1502	2050	56400	6740	178500	
296	2.93	36.4	16.00	52.40	0.31	1504	1960	58400	6440	184900	
298	2.97	34.7	4.48	39.18	0.11	1189	1230	59600	5490	190400	
300	3.00	33	4.09	37.09	0.11	1182	510	60100	4580	195000	
310	3.17	26.8	3.12	29.92	0.10	1172	2160	62300	20100	215100	
320	3.33	22.7	2.53	25.23	0.10	1166	1690	64000	16540	231600	
330	3.50	20.1	2.14	22.24	0.10	1159	1400	65400	14240	245800	
340	3.67	18.4	1.84	20.24	0.09	1150	1190	66600	12740	258500	
350	3.83	17.2	1.52	18.72	0.08	1134	1010	67600	11690	270200	
360	4.00	16.4	1.35	17.75	0.08	1126	860	68500	10940	281100	
370	4.17	15.7	1.35	17.05	0.08	1131	810	69300	10440	291500	
380	4.33	14.8	1.18	15.98	0.07	1122	760	70100	9910	301400	
390	4.50	13.7	1.18	14.88	0.08	1131	710	70800	9260	310700	
400	4.67	12.8	1.01	13.81	0.07	1121	660	71500	8610	319300	
410	4.83	12.3	1.01	13.31	0.08	1126	610	72100	8140	327400	
420	5.00	12	1.01	13.01	0.08	1128	610	72700	7900	335300	
430	5.17	11.6	1.01	12.61	0.08	1133	610	73300	7690	343000	
440	5.33	10.8	1.01	11.81	0.09	1142	610	73900	7330	350300	
450	5.50	9.8	0.84	10.64	0.08	1131	560	74500	6740	357000	
460	5.67	9	0.84	9.84	0.09	1142	510	75000	6150	363200	



### A4.3 Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Tognacca (1999) Fall a

Fall a: G1 kommt als gesättigter Murgang bei der Mündung von G2 an, d.h. keine weitere Materialaufnahme ist möglich. Unter der Annahme, dass G2 selbst nur Reinwasser führt, besitzt

das Gerinne aufgrund des zusätzlichen Reinwassers aus G2 plötzlich wieder eine Erosionskapazität. Es kann also im Abschnitt G3 die Differenz zwischen  $Q_B$  aus G1 und  $Q_{B,theoretisch}$  aufgrund des summierten Reinwasserabflusses aus G1 und G2 erodieren, und man erhält am untersten Querschnitt von G3 einen neuen Murganghydrographen. Theoretisch könnte dieses Vorgehen immer weiter nach unten fortgesetzt werden, normalerweise ist jedoch der Erosionskapazität eine Grenze gesetzt, weil bei Eintritt in die Transportstrecke kein erodierbares Material mehr vorhanden ist, oder – wie es beim Tschengliser Bach der Fall ist – der Gerinnevertiefung durch Verbauungen Einhalt geboten ist.

### Grundlage: Entstehungsmechanismen von Murgängen (Tognacca, 1999)

1. Bestimmung des kritischen Abflusses für Murgangentstehung

$$q_{Dic} = g^{0.5} \cdot (\rho_s / \rho_w - 1)^{0.5} \cdot d_m^{1.5} / (\tan \theta)^{1.17} \quad (\text{Formel 7.37})$$

2. Bestimmung von  $c/c^*$

$$c / c^* = [\tanh(7.10 \cdot J^{0.80} - 2.15)] / 2.30 + 0.43 \quad (\text{Formel 7.28})$$

3. Bestimmung von  $Q_B$

$$Q_B = c / (1-c) \cdot Q_W \quad (\text{Formel 7.29})$$

### Eingangsdaten

$g =$	9.81 m/s <sup>2</sup>	$\tan \theta_{\min} =$	0.25
$\rho_s =$	2650 kg/m <sup>3</sup>	$\tan \theta_{\max} =$	0.64
$\rho_w =$	1000 kg/m <sup>3</sup>	$q_{Dic,\min} =$	0.08 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,\min} =$	5 cm	$q_{Dic,\max} =$	0.38 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,\max} =$	7 cm	$b_{\min} =$	4 m
$c^* =$	0.7	$b_{\max} =$	6 m

### Anpassung an Ereignis 1999

Höhe [m]	Teillänge [m]	Neigung [-]	$c/c^*$	$V_{E1,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{E2,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{ges,99}$ [m <sup>3</sup> ]	Station
2500	64						
2450	78	0.64	0.86	3300	1200	4500	8_3
2400	82	0.61	0.86	9100	3200	12300	
2350	110	0.45	0.83	15200	5300	20500	
2300	102	0.49	0.84	21600	7600	29200	
2250	126	0.40	0.80	28600	10000	38600	
2200	128	0.39	0.79	35900	12600	48500	
2150	137	0.36	0.76	43900	15400	59300	
2100	170	0.29	0.64	52500	18400	70900	
2050	180	0.28	0.59	61700	21700	83400	
2020	125	0.24	0.48	67600	23700	91300	8_2
2000	70	0.29	0.62	71700	25200	96900	
1980	85	0.24	0.47	75900	26700	102600	8_1

T = 130 min													
Station	8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)										
[min]	[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0		0	0	0
22	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1		0	10	10
24	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.3		0	20	30
26	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	1.5	2.5	90	90	170	200
28	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	3.6	6.0	310	400	510	710
30	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.86	7.1	11.8	640	1040	1070	1780
32	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.86	11.3	18.8	1110	2150	1840	3620
34	10.2	1.70	2.55	ja	ja	ja	0.86	15.4	25.6	1610	3760	2670	6290
36	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.86	18.5	30.7	2030	5790	3380	9670
38	12.8	2.13	3.20	ja	ja	ja	0.86	19.4	32.2	2270	8060	3770	13440
40	12.3	2.05	3.08	ja	ja	ja	0.86	18.6	30.9	2280	10340	3780	17220
42	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.86	16.8	27.9	2120	12460	3530	20750
44	9.7	1.62	2.43	ja	ja	ja	0.86	14.7	24.4	1890	14350	3140	23890
46	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.83	11.6	20.0	1580	15930	2670	26560
48	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.83	10.1	17.4	1310	17240	2250	28810
50	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.83	9.0	15.5	1150	18390	1980	30790
52	5.8	0.97	1.45	ja	ja	ja	0.83	8.0	13.8	1020	19410	1760	32550
54	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.83	7.2	12.4	920	20330	1580	34130
56	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.83	6.5	11.2	820	21150	1420	35550
58	4.3	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.83	6.0	10.3	750	21900	1290	36840
60	4.0	0.67	1.00	ja	ja	ja	0.84	5.7	9.7	700	22600	1200	38040
62	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.84	5.1	8.7	650	23250	1110	39150
64	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.84	4.7	8.0	590	23840	1000	40150
66	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.84	4.1	7.0	530	24370	900	41050
68	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.84	3.6	6.1	460	24830	790	41840
70	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.84	3.0	5.1	390	25220	670	42510
72	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.84	2.3	3.9	320	25540	540	43050
74	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.84	1.7	2.9	240	25780	410	43460
76	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.84	1.1	1.9	170	25950	290	43750
78	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.84	0.0	0.6	70	26020	150	43900
80	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.84	0.0	0.4	0	26020	60	43960
82	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.3	0	26020	40	44000
84	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.2	0	26020	30	44030
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.2	0	26020	20	44050
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.1	0	26020	20	44070
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.1	0	26020	10	44080
92	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	10	44090
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090

Station	8_2			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,th</sub>	Q <sub>B,eff</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)					[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
[min]	[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]													
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
22	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
24	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.1	0	0	0	10	10
26	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	1.5	1.8	0	0	90	110	120
28	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.62	0.5	0.0	3.6	4.3	0	0	400	370	490
30	3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.62	3.0	0.0	7.1	11.0	0	0	1040	920	1410
32	8.3	1.38	2.08	ja	ja	ja	0.62	6.4	0.0	11.3	19.6	0	0	2150	1840	3250
34	12.5	2.08	3.13	ja	ja	ja	0.62	9.6	0.0	15.4	27.9	0	0	3760	2850	6100
36	15.7	2.62	3.93	ja	ja	ja	0.62	12.0	0.0	18.5	34.2	0	0	5790	3720	9820
38	17.4	2.90	4.35	ja	ja	ja	0.62	13.3	0.0	19.4	36.8	0	0	8060	4250	14070
40	17.9	2.98	4.48	ja	ja	ja	0.62	13.7	0.0	18.6	36.5	0	0	10340	4400	18470
42	17.5	2.92	4.38	ja	ja	ja	0.62	13.4	0.0	16.8	34.3	0	0	12460	4250	22720
44	16.9	2.82	4.23	ja	ja	ja	0.62	13.0	0.0	14.7	31.6	0	0	14350	3950	26670
46	16.2	2.70	4.05	ja	ja	ja	0.62	12.4	0.8	12.4	28.6	50	50	15980	3610	30280
48	15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.62	12.0	1.8	12.0	27.6	160	210	17450	3370	33650
50	15.1	2.52	3.78	ja	ja	ja	0.62	11.6	2.6	11.6	26.7	260	470	18860	3250	36900
52	14.7	2.45	3.68	ja	ja	ja	0.62	11.3	3.2	11.3	26.0	350	820	20230	3160	40060
54	14.3	2.38	3.58	ja	ja	ja	0.62	11.0	3.8	11.0	25.3	420	1240	21570	3070	43130
56	14.0	2.33	3.50	ja	ja	ja	0.62	10.7	4.2	10.7	24.7	480	1720	22870	3000	46130
58	13.6	2.27	3.40	ja	ja	ja	0.62	10.4	4.5	10.4	24.0	520	2240	24140	2930	49060
60	13.1	2.18	3.28	ja	ja	ja	0.62	10.0	4.3	10.0	23.1	530	2770	25370	2830	51890
62	12.7	2.12	3.18	ja	ja	ja	0.62	9.7	4.6	9.7	22.4	540	3310	26560	2730	54620
64	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.62	9.4	4.6	9.4	21.6	550	3860	27700	2640	57260
66	11.6	1.93	2.90	ja	ja	ja	0.62	8.9	4.8	8.9	20.5	560	4420	28790	2520	59780
68	10.9	1.82	2.73	ja	ja	ja	0.62	8.4	4.8	8.4	19.3	570	4990	29820	2390	62170
70	10.1	1.68	2.53	ja	ja	ja	0.47	5.0	2.0	5.0	15.1	400	5390	30610	2060	64230
72	9.2	1.53	2.30	ja	ja	ja	0.47	4.5	2.2	4.5	13.7	250	5640	31180	1730	65960
74	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.47	4.1	2.4	4.1	12.5	280	5920	31700	1570	67530
76	7.6	1.27	1.90	ja	ja	ja	0.47	3.7	2.6	3.7	11.3	300	6220	32170	1430	68960
78	6.8	1.13	1.70	ja	ja	ja	0.47	3.3	3.3	3.3	10.1	360	6580	32600	1290	70250
80	6.1	1.02	1.53	ja	ja	ja	0.47	3.0	3.0	3.0	9.1	380	6960	32980	1150	71400
82	5.5	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.47	2.7	2.7	2.7	8.2	340	7300	33320	1040	72440
84	4.8	0.80	1.20	ja	ja	ja	0.47	2.4	2.4	2.4	7.2	300	7600	33620	920	73360
86	4.4	0.73	1.10	ja	ja	ja	0.47	2.2	2.2	2.2	6.6	270	7870	33890	820	74180
88	3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.47	1.9	1.9	1.9	5.8	240	8110	34130	740	74920
90	3.4	0.57	0.85	ja	ja	ja	0.47	1.7	1.7	1.7	5.1	210	8320	34340	650	75570
92	3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.47	1.5	1.5	1.5	4.5	190	8510	34530	570	76140
94	2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.47	1.3	1.3	1.3	4.0	170	8680	34700	510	76650
96	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.47	1.2	1.2	1.2	3.6	150	8830	34850	460	77110
98	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.47	1.0	1.0	1.0	3.1	130	8960	34980	400	77510
100	1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.47	0.9	0.9	0.9	2.7	110	9070	35090	350	77860
102	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.47	0.8	0.8	0.8	2.4	100	9170	35190	300	78160
104	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.47	0.7	0.7	0.7	2.1	90	9260	35280	270	78430
106	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.47	0.6	0.6	0.6	1.8	80	9340	35360	230	78660
108	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	0.5	1.6	70	9410	35430	210	78870
110	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	0.5	1.5	60	9470	35490	190	79060
112	0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	0.4	1.3	60	9530	35550	170	79230
114	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	0.4	1.2	50	9580	35600	150	79380
116	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.47	0.3	0.3	0.3	1.0	40	9620	35640	130	79510
118	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.6	20	9640	35660	100	79610
120	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0	9640	35660	70	79680
122	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0	9640	35660	60	79740
124	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0	9640	35660	50	79790
126	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0	9640	35660	50	79840
128	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.3	0	9640	35660	40	79880
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0	9640	<b>35660</b>	20	79900

Station	WF1									
T [min]	Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>W,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>W,teil</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>B,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub>	γ [kg/m]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000		
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
20	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	1000	10	10
22	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.00	1000	20	30
24	0.5	0.1	0.4	0.1	0.0	0.5	0.00	1000	40	70
26	0.8	0.3	0.5	1.8	1.5	2.3	0.65	2079	170	240
28	1.3	0.7	0.6	4.3	3.6	4.9	0.74	2215	430	670
30	3.0	3.9	0.6	11.0	7.1	11.6	0.62	1889	990	1660
32	8.8	8.3	0.5	19.6	11.3	20.1	0.56	1929	1900	3560
34	14.9	12.5	2.4	27.9	15.4	30.3	0.51	1839	3030	6590
36	20.3	15.7	4.6	34.2	18.5	38.8	0.48	1786	4140	10730
38	24.3	17.4	6.9	36.8	19.4	43.7	0.44	1732	4940	15670
40	26.9	17.9	9.0	36.5	18.6	45.5	0.41	1675	5350	21020
42	28.4	17.5	10.9	34.3	16.8	45.2	0.37	1613	5440	26460
44	29.2	16.9	12.3	31.6	14.7	43.9	0.33	1552	5340	31800
46	29.8	16.2	13.6	28.6	12.4	42.2	0.29	1485	5170	36970
48	30.1	15.6	14.5	27.6	12.0	42.1	0.28	1469	5060	42030
50	30.5	15.1	15.4	26.7	11.6	42.1	0.28	1454	5050	47080
52	30.7	14.7	16.0	26.0	11.3	42.0	0.27	1443	5040	52120
54	30.9	14.3	16.6	25.3	11.0	41.9	0.26	1432	5030	57150
56	31.1	14.0	17.1	24.7	10.7	41.8	0.26	1423	5020	62170
58	31.1	13.6	17.5	24.0	10.4	41.5	0.25	1414	5000	67170
60	31.1	13.1	18.0	23.1	10.0	41.1	0.24	1403	4960	72130
62	30.9	12.7	18.2	22.4	9.7	40.6	0.24	1395	4910	77040
64	30.5	12.2	18.3	21.6	9.4	39.9	0.23	1387	4830	81870
66	29.8	11.6	18.2	20.5	8.9	38.7	0.23	1379	4710	86580
68	28.7	10.9	17.8	19.3	8.4	37.1	0.23	1372	4550	91130
70	27.2	10.1	17.1	15.1	5.0	32.2	0.15	1254	4150	95280
72	25.2	9.2	16.0	13.7	4.5	29.7	0.15	1251	3710	98990
74	23.1	8.4	14.7	12.5	4.1	27.2	0.15	1250	3420	102410
76	20.9	7.6	13.3	11.3	3.7	24.6	0.15	1250	3110	105520
78	18.7	6.8	11.9	10.1	3.3	22.0	0.15	1250	2800	108320
80	16.6	6.1	10.5	9.1	3.0	19.6	0.15	1252	2500	110820
82	14.6	5.5	9.1	8.2	2.7	17.3	0.16	1257	2210	113030
84	12.9	4.8	8.1	7.2	2.4	15.3	0.15	1255	1950	114980
86	11.3	4.4	6.9	6.6	2.2	13.5	0.16	1265	1720	116700
88	9.9	3.9	6.0	5.8	1.9	11.8	0.16	1267	1520	118220
90	8.7	3.4	5.3	5.1	1.7	10.4	0.16	1265	1330	119550
92	7.6	3.0	4.6	4.5	1.5	9.1	0.16	1268	1170	120720
94	6.7	2.7	4.0	4.0	1.3	8.0	0.16	1272	1030	121750
96	5.9	2.4	3.5	3.6	1.2	7.1	0.17	1274	910	122660
98	5.1	2.1	3.0	3.1	1.0	6.1	0.17	1277	790	123450
100	4.5	1.8	2.7	2.7	0.9	5.4	0.16	1271	690	124140
102	3.9	1.6	2.3	2.4	0.8	4.7	0.17	1276	600	124740
104	3.4	1.4	2.0	2.1	0.7	4.1	0.17	1277	530	125270
106	3.0	1.2	1.8	1.8	0.6	3.6	0.16	1271	460	125730
108	2.6	1.1	1.5	1.6	0.5	3.1	0.17	1283	400	126130
110	2.3	1.0	1.3	1.5	0.5	2.8	0.18	1290	360	126490
112	2.0	0.9	1.1	1.3	0.4	2.4	0.18	1298	310	126800
114	1.8	0.8	1.0	1.2	0.4	2.2	0.18	1295	280	127080
116	1.6	0.7	0.9	1.0	0.3	1.9	0.18	1291	250	127330
118	1.4	0.6	0.8	0.6	0.0	1.4	0.00	1000	200	127530
120	1.2	0.5	0.7	0.5	0.0	1.2	0.00	1000	160	127690
122	1.1	0.5	0.6	0.5	0.0	1.1	0.00	1000	140	127830
124	1.0	0.4	0.6	0.4	0.0	1.0	0.00	1000	130	127960
126	0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.9	0.00	1000	110	128070
128	0.8	0.3	0.5	0.3	0.0	0.8	0.00	1000	100	128170
130	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1000	90	128260

#### **A4.4 Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Tognacca (1999) Fall b**

Fall b: Der zusätzlich Feststoffabfluss aus G3 kann auch dadurch modelliert werden, dass man, getrennt von G1, einen Murganghydrographen aufgrund der Erosionskapazität des Reinwasserabflusses aus G2 in G3 berechnet und dann mit dem von G1 kommenden Murganghydrographen überlagert. Es ergeben sich höhere Feststofffrachten am Ausgang von G3, da aber die Grundüberlegung mehr oder weniger dieselbe ist wie bei Fall a, sind die Unterschiede gering.



T = 540 min													
Station	8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)										
[min]	[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0				
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0				
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
22	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0	0	10	10
24	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.3	0	0	20	30
26	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	1.5	2.5	90	90	170	200
28	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	3.6	6.0	310	400	510	710
30	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.86	7.1	11.8	640	1040	1070	1780
32	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.86	11.3	18.8	1110	2150	1840	3620
34	10.2	1.70	2.55	ja	ja	ja	0.86	15.4	25.6	1610	3760	2670	6290
36	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.86	18.5	30.7	2030	5790	3380	9670
38	12.8	2.13	3.20	ja	ja	ja	0.86	19.4	32.2	2270	8060	3770	13440
40	12.3	2.05	3.08	ja	ja	ja	0.86	18.6	30.9	2280	10340	3780	17220
42	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.86	16.8	27.9	2120	12460	3530	20750
44	9.7	1.62	2.43	ja	ja	ja	0.86	14.7	24.4	1890	14350	3140	23890
46	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.83	11.6	20.0	1580	15930	2670	26560
48	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.83	10.1	17.4	1310	17240	2250	28810
50	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.83	9.0	15.5	1150	18390	1980	30790
52	5.8	0.97	1.45	ja	ja	ja	0.83	8.0	13.8	1020	19410	1760	32550
54	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.83	7.2	12.4	920	20330	1580	34130
56	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.83	6.5	11.2	820	21150	1420	35550
58	4.3	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.83	6.0	10.3	750	21900	1290	36840
60	4.0	0.67	1.00	ja	ja	ja	0.84	5.7	9.7	700	22600	1200	38040
62	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.84	5.1	8.7	650	23250	1110	39150
64	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.84	4.7	8.0	590	23840	1000	40150
66	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.84	4.1	7.0	530	24370	900	41050
68	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.84	3.6	6.1	460	24830	790	41840
70	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.84	3.0	5.1	390	25220	670	42510
72	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.84	2.3	3.9	320	25540	540	43050
74	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.84	1.7	2.9	240	25780	410	43460
76	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.84	1.1	1.9	170	25950	290	43750
78	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.84	0.0	0.6	70	26020	150	43900
80	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.84	0.0	0.4	0	26020	60	43960
82	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.3	0	26020	40	44000
84	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.2	0	26020	30	44030
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.2	0	26020	20	44050
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.1	0	26020	20	44070
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.1	0	26020	10	44080
92	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	10	44090
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.84	0.0	0.0	0	26020	0	44090

8_2					Mure(1) Mure(2) Annahme			c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
Q <sub>W,tot</sub>	Q <sub>W,8_1</sub>	Q <sub>W,teil</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)				[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0					
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.1	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.1	0.3	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.1	0	0	0	10	10
0.3	1.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	1.5	1.8	0	0	90	110	120
0.7	2.4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	3.6	4.3	0	0	400	370	490
3.9	4.7	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	7.1	11.0	0	0	1040	920	1410
8.3	7.5	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.62	0.6	12.0	20.3	40	40	2190	1880	3290
12.5	10.2	2.3	0.38	0.58	ja	ja	ja	0.62	1.8	17.2	29.7	140	180	3940	3000	6290
15.7	12.2	3.5	0.58	0.88	ja	ja	ja	0.62	2.7	21.1	36.8	270	450	6240	3990	10280
17.4	12.8	4.6	0.77	1.15	ja	ja	ja	0.62	3.5	22.9	40.3	370	820	8880	4630	14910
17.9	12.3	5.6	0.93	1.40	ja	ja	ja	0.62	4.3	22.9	40.8	470	1290	11630	4870	19780
17.5	11.1	6.4	1.07	1.60	ja	ja	ja	0.62	4.9	21.7	39.2	550	1840	14300	4800	24580
16.9	9.7	7.2	1.20	1.80	ja	ja	ja	0.62	5.5	20.2	37.1	630	2470	16820	4580	29160
16.2	8.4	7.8	1.30	1.95	ja	ja	ja	0.62	6.0	17.6	33.8	690	3160	19090	4260	33420
15.6	7.3	8.3	1.38	2.08	ja	ja	ja	0.62	6.4	16.5	32.1	740	3900	21140	3950	37370
15.1	6.5	8.6	1.43	2.15	ja	ja	ja	0.62	6.6	15.6	30.7	780	4680	23070	3770	41140
14.7	5.8	8.9	1.48	2.23	ja	ja	ja	0.62	6.8	14.9	29.6	810	5490	24900	3620	44760
14.3	5.2	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	4.5	11.7	26.0	680	6170	26500	3330	48090
14.0	4.7	9.3	1.55	2.33	ja	ja	ja	0.47	4.6	11.1	25.1	540	6710	27860	3060	51150
13.6	4.3	9.3	1.55	2.33	ja	ja	ja	0.47	4.6	10.5	24.1	550	7260	29160	2950	54100
13.1	4.0	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	4.5	10.2	23.3	540	7800	30400	2840	56940
12.7	3.6	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	4.5	9.6	22.3	540	8340	31590	2730	59670
12.2	3.3	8.9	1.48	2.23	ja	ja	ja	0.47	4.4	9.1	21.3	530	8870	32710	2610	62280
11.6	2.9	8.7	1.45	2.18	ja	ja	ja	0.47	4.3	8.4	20.0	520	9390	33760	2480	64760
10.9	2.5	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.47	4.1	7.7	18.6	500	9890	34720	2320	67080
10.1	2.1	8.0	1.33	2.00	ja	ja	ja	0.47	3.9	6.9	17.0	480	10370	35590	2140	69220
9.2	1.6	7.6	1.27	1.90	ja	ja	ja	0.47	3.7	6.0	15.2	460	10830	36370	1930	71150
8.4	1.2	7.2	1.20	1.80	ja	ja	ja	0.47	3.5	5.2	13.6	440	11270	37050	1730	72880
7.6	0.8	6.8	1.13	1.70	ja	ja	ja	0.47	3.3	4.5	12.1	410	11680	37630	1540	74420
6.8	0.6	6.2	1.03	1.55	ja	ja	ja	0.47	3.0	3.0	9.8	380	12060	38080	1310	75730
6.1	0.4	5.7	0.95	1.43	ja	ja	ja	0.47	2.8	2.8	8.9	350	12410	38430	1120	76850
5.5	0.3	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.47	2.5	2.5	8.0	320	12730	38750	1020	77870
4.8	0.2	4.6	0.77	1.15	ja	ja	ja	0.47	2.3	2.3	7.1	290	13020	39040	910	78780
4.4	0.2	4.2	0.70	1.05	ja	ja	ja	0.47	2.1	2.1	6.5	260	13280	39300	810	79590
3.9	0.1	3.8	0.63	0.95	ja	ja	ja	0.47	1.9	1.9	5.8	240	13520	39540	730	80320
3.4	0.1	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.47	1.6	1.6	5.0	210	13730	39750	650	80970
3.0	0.0	3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.47	1.5	1.5	4.5	190	13920	39940	570	81540
2.7	0.0	2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.47	1.3	1.3	4.0	170	14090	40110	510	82050
2.4	0.0	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.47	1.2	1.2	3.6	150	14240	40260	460	82510
2.1	0.0	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.47	1.0	1.0	3.1	130	14370	40390	400	82910
1.8	0.0	1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.47	0.9	0.9	2.7	110	14480	40500	350	83260
1.6	0.0	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.47	0.8	0.8	2.4	100	14580	40600	300	83560
1.4	0.0	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.47	0.7	0.7	2.1	90	14670	40690	270	83830
1.2	0.0	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.47	0.6	0.6	1.8	80	14750	40770	230	84060
1.1	0.0	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	1.6	70	14820	40840	210	84270
1.0	0.0	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	1.5	60	14880	40900	190	84460
0.9	0.0	0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	1.3	60	14940	40960	170	84630
0.8	0.0	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	1.2	50	14990	41010	150	84780
0.7	0.0	0.7	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.7	20	15010	41030	110	84890
0.6	0.0	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.6	0	15010	41030	80	84970
0.5	0.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.5	0	15010	41030	70	85040
0.5	0.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.5	0	15010	41030	60	85100
0.4	0.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.4	0	15010	41030	50	85150
0.4	0.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.4	0	15010	41030	50	85200
0.3	0.0	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.3	0	15010	41030	40	85240
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0	15010	<b>41030</b>	20	85260

WF1									
Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>W,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>W,teil</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>B,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub>	γ [kg/m]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	1000	10	10
0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.00	1000	20	30
0.5	0.1	0.4	0.1	0.0	0.5	0.00	1000	40	70
0.8	0.3	0.5	1.8	1.5	2.3	0.65	2079	170	240
1.3	0.7	0.6	4.3	3.6	4.9	0.74	2215	430	670
3.0	3.9	0.6	11.0	7.1	11.6	0.62	1889	990	1660
8.8	8.3	0.5	20.3	12.0	20.8	0.58	1950	1940	3600
14.9	12.5	2.4	29.7	17.2	32.1	0.54	1884	3170	6770
20.3	15.7	4.6	36.8	21.1	41.4	0.51	1842	4410	11180
24.3	17.4	6.9	40.3	22.9	47.2	0.49	1800	5320	16500
26.9	17.9	9.0	40.8	22.9	49.8	0.46	1759	5820	22320
28.4	17.5	10.9	39.2	21.7	50.1	0.43	1715	5990	28310
29.2	16.9	12.3	37.1	20.2	49.4	0.41	1675	5970	34280
29.8	16.2	13.6	33.8	17.6	47.4	0.37	1613	5810	40090
30.1	15.6	14.5	32.1	16.5	46.6	0.35	1584	5640	45730
30.5	15.1	15.4	30.7	15.6	46.1	0.34	1559	5560	51290
30.7	14.7	16.0	29.6	14.9	45.6	0.33	1538	5500	56790
30.9	14.3	16.6	26.0	11.7	42.6	0.27	1452	5290	62080
31.1	14.0	17.1	25.1	11.1	42.2	0.26	1433	5080	67160
31.1	13.6	17.5	24.1	10.5	41.6	0.25	1417	5030	72190
31.1	13.1	18.0	23.3	10.2	41.3	0.25	1407	4970	77160
30.9	12.7	18.2	22.3	9.6	40.5	0.24	1391	4910	82070
30.5	12.2	18.3	21.3	9.1	39.6	0.23	1378	4800	86870
29.8	11.6	18.2	20.0	8.4	38.2	0.22	1363	4670	91540
28.7	10.9	17.8	18.6	7.7	36.4	0.21	1349	4480	96020
27.2	10.1	17.1	17.0	6.9	34.1	0.20	1335	4230	100250
25.2	9.2	16.0	15.2	6.0	31.2	0.19	1318	3920	104170
23.1	8.4	14.7	13.6	5.2	28.3	0.18	1305	3570	107740
20.9	7.6	13.3	12.1	4.5	25.4	0.18	1291	3220	110960
18.7	6.8	11.9	9.8	3.0	21.7	0.14	1231	2830	113790
16.6	6.1	10.5	8.9	2.8	19.4	0.14	1238	2470	116260
14.6	5.5	9.1	8.0	2.5	17.1	0.15	1245	2190	118450
12.9	4.8	8.1	7.1	2.3	15.2	0.15	1246	1940	120390
11.3	4.4	6.9	6.5	2.1	13.4	0.15	1254	1710	122100
9.9	3.9	6.0	5.8	1.9	11.8	0.16	1261	1510	123610
8.7	3.4	5.3	5.0	1.6	10.3	0.16	1259	1320	124930
7.6	3.0	4.6	4.5	1.5	9.1	0.16	1268	1160	126090
6.7	2.7	4.0	4.0	1.3	8.0	0.16	1272	1030	127120
5.9	2.4	3.5	3.6	1.2	7.1	0.17	1274	910	128030
5.1	2.1	3.0	3.1	1.0	6.1	0.17	1277	790	128820
4.5	1.8	2.7	2.7	0.9	5.4	0.16	1271	690	129510
3.9	1.6	2.3	2.4	0.8	4.7	0.17	1276	600	130110
3.4	1.4	2.0	2.1	0.7	4.1	0.17	1277	530	130640
3.0	1.2	1.8	1.8	0.6	3.6	0.16	1271	460	131100
2.6	1.1	1.5	1.6	0.5	3.1	0.17	1283	400	131500
2.3	1.0	1.3	1.5	0.5	2.8	0.18	1290	360	131860
2.0	0.9	1.1	1.3	0.4	2.4	0.18	1298	310	132170
1.8	0.8	1.0	1.2	0.4	2.2	0.18	1295	280	132450
1.6	0.7	0.9	0.7	0.0	1.6	0.00	1000	230	132680
1.4	0.6	0.8	0.6	0.0	1.4	0.00	1000	180	132860
1.2	0.5	0.7	0.5	0.0	1.2	0.00	1000	160	133020
1.1	0.5	0.6	0.5	0.0	1.1	0.00	1000	140	133160
1.0	0.4	0.6	0.4	0.0	1.0	0.00	1000	130	133290
0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.9	0.00	1000	110	133400
0.8	0.3	0.5	0.3	0.0	0.8	0.00	1000	100	133500
0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1000	90	133590

### A4.5 Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Takahashi (1991) Fall a

Grundlage: Entstehungsmechanismen von Murgängen (Tognacca, 1999)  
Debris Flow (Takahashi, 1991)

1. Bestimmung des kritischen Abflusses für Murgangentstehung  
 $q_{Dic} = g^{0.5} \cdot (\rho_s / \rho_w - 1)^{0.5} \cdot d_m^{1.5} / (\tan \theta)^{1.17}$  ( Formel 7.37, Tognacca)
2. Bestimmung von  $c/c^*$   
 $c / c^* = [\tanh (7.10 \cdot J^{0.80} - 2.15)] / 2.30 + 0.43$  ( Formel 7.28, Tognacca)
3. Bestimmung von  $Q_{ges}$   
 $Q_{ges} = c^* / (c^* - c_v) \cdot Q_w$  ( Formel 4.1.4, Takahashi)

#### Eingangsdaten

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$	$\tan \theta_{\min} = 0.25$
$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$	$\tan \theta_{\max} = 0.64$
$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$	$q_{Dic,\min} = 0.08 \text{ m}^3/\text{s,m}$
$d_{m,\min} = 5 \text{ cm}$	$q_{Dic,\max} = 0.38 \text{ m}^3/\text{s,m}$
$d_{m,\max} = 7 \text{ cm}$	$b_{\min} = 4 \text{ m}$
$c^* = 0.7$	$b_{\max} = 6 \text{ m}$

Station		8_3											
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)	Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
[min]	[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0				
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
22	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0	0	10	10
24	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.3	0	0	20	30
26	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	6.1	7.1	370	370	450	480
28	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	14.7	17.1	1250	1620	1460	1940
30	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.86	28.9	33.6	2620	4240	3040	4980
32	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.86	46.1	53.6	4500	8740	5230	10210
34	10.2	1.70	2.55	ja	ja	ja	0.86	62.7	72.9	6520	15260	7590	17800
36	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.83	59.6	71.8	7330	22590	8680	26480
38	12.8	2.13	3.20	ja	ja	ja	0.84	67.2	80.0	7610	30200	9110	35590
40	12.3	2.05	3.08	ja	ja	ja	0.80	49.2	61.5	6980	37180	8490	44080
42	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.79	41.8	52.9	5460	42640	6860	50940
44	9.7	1.62	2.43	ja	ja	ja	0.77	32.5	42.2	4450	47090	5700	56640
46	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.76	26.6	35.0	3540	50630	4630	61270
48	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.64	13.0	20.3	2370	53000	3320	64590
50	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.64	11.6	18.1	1470	54470	2300	66890
52	5.8	0.97	1.45	ja	ja	ja	0.64	10.3	16.1	1310	55780	2050	68940
54	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.64	9.2	14.4	1170	56950	1830	70770
56	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.64	8.4	13.1	1060	58010	1650	72420
58	4.3	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.64	7.6	11.9	960	58970	1500	73920
60	4.0	0.67	1.00	ja	ja	ja	0.64	7.1	11.1	890	59860	1380	75300
62	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.64	6.4	10.0	810	60670	1270	76570
64	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.64	5.9	9.2	740	61410	1150	77720
66	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.64	5.2	8.1	660	62070	1030	78750
68	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.64	4.4	6.9	580	62650	900	79650
70	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.64	3.7	5.8	490	63140	770	80420
72	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.64	2.8	4.4	390	63530	620	81040
74	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.64	2.1	3.3	300	63830	470	81510
76	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.64	1.4	2.2	210	64040	330	81840
78	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.64	0.0	0.6	90	64130	170	82010
80	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.64	0.0	0.4	0	64130	60	82070
82	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.3	0	64130	40	82110
84	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	0	64130	30	82140
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	0	64130	20	82160
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	0	64130	20	82180
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	0	64130	10	82190
92	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	10	82200
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200

Q <sub>w</sub> [m³/s]	q <sub>min</sub> (1) [m³/s,m]	q <sub>max</sub> (2) [m³/s,m]	Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,th</sub> [m³/s]	Q <sub>B,eff</sub> [m³/s]	Q <sub>B,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	ΔV <sub>B,eff</sub> [m³]	ΣV <sub>B,eff</sub> [m³]	ΣV <sub>B,ges</sub> [m³]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0					
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.1	0	0	0	10	10
0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	6.1	6.4	0	0	370	390	400
0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.62	1.1	0.0	14.7	15.4	0	0	1620	1310	1710
3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.62	6.4	0.0	28.9	32.8	0	0	4240	2890	4600
8.3	1.38	2.08	ja	ja	ja	0.62	13.5	0.0	46.1	54.4	0	0	8740	5230	9830
12.5	2.08	3.13	ja	ja	ja	0.62	20.4	0.0	62.7	75.2	0	0	15260	7770	17600
15.7	2.62	3.93	ja	ja	ja	0.62	25.6	0.0	59.6	75.3	0	0	22590	9030	26630
17.4	2.90	4.35	ja	ja	ja	0.62	28.4	0.0	67.2	84.6	0	0	30200	9590	36220
17.9	2.98	4.48	ja	ja	ja	0.62	29.2	0.0	49.2	67.1	0	0	37180	9100	45320
17.5	2.92	4.38	ja	ja	ja	0.62	28.6	0.0	41.8	59.3	0	0	42640	7580	52900
16.9	2.82	4.23	ja	ja	ja	0.62	27.6	0.0	32.5	49.4	0	0	47090	6520	59420
16.2	2.70	4.05	ja	ja	ja	0.62	26.4	0.0	26.6	42.8	0	0	50630	5530	64950
15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.62	25.5	12.5	25.5	41.1	750	750	53750	5030	69980
15.1	2.52	3.78	ja	ja	ja	0.62	24.6	13.1	24.6	39.7	1530	2280	56750	4850	74830
14.7	2.45	3.68	ja	ja	ja	0.62	24.0	13.7	24.0	38.7	1610	3890	59670	4710	79540
14.3	2.38	3.58	ja	ja	ja	0.62	23.3	14.1	23.3	37.6	1670	5560	62510	4580	84120
14.0	2.33	3.50	ja	ja	ja	0.47	12.4	4.1	12.4	26.4	1090	6650	64660	3840	87960
13.6	2.27	3.40	ja	ja	ja	0.47	12.1	4.4	12.1	25.7	510	7160	66130	3120	91080
13.1	2.18	3.28	ja	ja	ja	0.47	11.6	4.5	11.6	24.7	540	7700	67560	3020	94100
12.7	2.12	3.18	ja	ja	ja	0.47	11.3	4.9	11.3	24.0	560	8260	68930	2920	97020
12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.47	10.8	5.0	10.8	23.0	590	8850	70260	2820	99840
11.6	1.93	2.90	ja	ja	ja	0.47	10.3	5.1	10.3	21.9	610	9460	71530	2690	102530
10.9	1.82	2.73	ja	ja	ja	0.47	9.7	5.2	9.7	20.6	620	10080	72730	2550	105080
10.1	1.68	2.53	ja	ja	ja	0.47	9.0	5.2	9.0	19.1	630	10710	73850	2380	107460
9.2	1.53	2.30	ja	ja	ja	0.47	8.2	5.3	8.2	17.4	630	11340	74870	2180	109640
8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.47	7.4	5.3	7.4	15.8	640	11980	75810	1990	111630
7.6	1.27	1.90	ja	ja	ja	0.47	6.7	5.3	6.7	14.3	640	12620	76660	1810	113440
6.8	1.13	1.70	ja	ja	ja	0.47	6.0	6.0	6.0	12.8	680	13300	77430	1630	115070
6.1	1.02	1.53	ja	ja	ja	0.47	5.4	5.4	5.4	11.5	690	13990	78120	1460	116530
5.5	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.47	4.9	4.9	4.9	10.4	620	14610	78740	1310	117840
4.8	0.80	1.20	ja	ja	ja	0.47	4.3	4.3	4.3	9.1	550	15160	79290	1170	119010
4.4	0.73	1.10	ja	ja	ja	0.47	3.9	3.9	3.9	8.3	490	15650	79780	1040	120050
3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.47	3.5	3.5	3.5	7.4	440	16090	80220	940	120990
3.4	0.57	0.85	ja	ja	ja	0.47	3.0	3.0	3.0	6.4	390	16480	80610	830	121820
3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.47	2.7	2.7	2.7	5.7	340	16820	80950	720	122540
2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.47	2.4	2.4	2.4	5.1	300	17120	81250	650	123190
2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.47	2.1	2.1	2.1	4.5	270	17390	81520	580	123770
2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.47	1.9	1.9	1.9	4.0	240	17630	81760	510	124280
1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.47	1.6	1.6	1.6	3.4	210	17840	81970	440	124720
1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.47	1.4	1.4	1.4	3.0	180	18020	82150	380	125100
1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.47	1.2	1.2	1.2	2.6	160	18180	82310	340	125440
1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.47	1.1	1.1	1.1	2.3	140	18320	82450	290	125730
1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.47	1.0	1.0	1.0	2.1	120	18440	82570	260	125990
1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.47	0.9	0.9	0.9	1.9	110	18550	82680	240	126230
0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.47	0.8	0.8	0.8	1.7	100	18650	82780	220	126450
0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.47	0.7	0.7	0.7	1.5	90	18740	82870	190	126640
0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.47	0.6	0.6	0.6	1.3	80	18820	82950	170	126810
0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.6	40	18860	82990	120	126930
0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0	18860	82990	70	127000
0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0	18860	82990	60	127060
0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0	18860	82990	50	127110
0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0	18860	82990	50	127160
0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.3	0	18860	82990	40	127200
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0	18860	<b>82990</b>	20	127220

WF1									
Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>W,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>W,teil</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>B,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub>	γ [kg/m]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	1000	10	10
0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.00	1000	20	30
0.5	0.1	0.4	0.1	0.0	0.5	0.00	1000	40	70
0.8	0.3	0.5	6.4	6.1	6.9	0.88	2460	450	520
1.3	0.7	0.6	15.4	14.7	16.0	0.92	2516	1380	1900
3.0	3.9	0.6	32.8	28.9	33.3	0.87	2386	2960	4860
8.8	8.3	0.5	54.4	46.1	54.9	0.84	2385	5290	10150
14.9	12.5	2.4	75.2	62.7	77.6	0.81	2333	7950	18100
20.3	15.7	4.6	75.3	59.6	79.9	0.75	2231	9450	27550
24.3	17.4	6.9	84.6	67.2	91.5	0.73	2212	10280	37830
26.9	17.9	9.0	67.1	49.2	76.1	0.65	2067	10060	47890
28.4	17.5	10.9	59.3	41.8	70.2	0.60	1982	8780	56670
29.2	16.9	12.3	49.4	32.5	61.7	0.53	1869	7910	64580
29.8	16.2	13.6	42.8	26.6	56.4	0.47	1778	7080	71660
30.1	15.6	14.5	41.1	25.5	55.6	0.46	1756	6720	78380
30.5	15.1	15.4	39.7	24.6	55.1	0.45	1737	6640	85020
30.7	14.7	16.0	38.7	24.0	54.7	0.44	1724	6590	91610
30.9	14.3	16.6	37.6	23.3	54.2	0.43	1710	6530	98140
31.1	14.0	17.1	26.4	12.4	43.5	0.29	1471	5860	104000
31.1	13.6	17.5	25.7	12.1	43.2	0.28	1461	5200	109200
31.1	13.1	18.0	24.7	11.6	42.7	0.27	1449	5150	114350
30.9	12.7	18.2	24.0	11.3	42.2	0.27	1441	5090	119440
30.5	12.2	18.3	23.0	10.8	41.3	0.26	1432	5010	124450
29.8	11.6	18.2	21.9	10.3	40.1	0.26	1423	4880	129330
28.7	10.9	17.8	20.6	9.7	38.4	0.25	1416	4710	134040
27.2	10.1	17.1	19.1	9.0	36.2	0.25	1409	4470	138510
25.2	9.2	16.0	17.4	8.2	33.4	0.24	1404	4170	142680
23.1	8.4	14.7	15.8	7.4	30.5	0.24	1402	3830	146510
20.9	7.6	13.3	14.3	6.7	27.6	0.24	1402	3490	150000
18.7	6.8	11.9	12.8	6.0	24.7	0.24	1402	3140	153140
16.6	6.1	10.5	11.5	5.4	22.0	0.25	1406	2800	155940
14.6	5.5	9.1	10.4	4.9	19.5	0.25	1413	2490	158430
12.9	4.8	8.1	9.1	4.3	17.2	0.25	1409	2200	160630
11.3	4.4	6.9	8.3	3.9	15.2	0.26	1424	1940	162570
9.9	3.9	6.0	7.4	3.5	13.4	0.26	1427	1710	164280
8.7	3.4	5.3	6.4	3.0	11.7	0.26	1425	1500	165780
7.6	3.0	4.6	5.7	2.7	10.3	0.26	1428	1320	167100
6.7	2.7	4.0	5.1	2.4	9.1	0.26	1434	1160	168260
5.9	2.4	3.5	4.5	2.1	8.0	0.27	1437	1030	169290
5.1	2.1	3.0	4.0	1.9	7.0	0.27	1441	900	170190
4.5	1.8	2.7	3.4	1.6	6.1	0.26	1432	780	170970
3.9	1.6	2.3	3.0	1.4	5.3	0.27	1440	680	171650
3.4	1.4	2.0	2.6	1.2	4.6	0.27	1441	600	172250
3.0	1.2	1.8	2.3	1.1	4.1	0.26	1432	520	172770
2.6	1.1	1.5	2.1	1.0	3.6	0.27	1450	460	173230
2.3	1.0	1.3	1.9	0.9	3.2	0.28	1459	410	173640
2.0	0.9	1.1	1.7	0.8	2.8	0.29	1471	360	174000
1.8	0.8	1.0	1.5	0.7	2.5	0.28	1466	320	174320
1.6	0.7	0.9	1.3	0.6	2.2	0.28	1461	280	174600
1.4	0.6	0.8	0.6	0.0	1.4	0.00	1000	220	174820
1.2	0.5	0.7	0.5	0.0	1.2	0.00	1000	160	174980
1.1	0.5	0.6	0.5	0.0	1.1	0.00	1000	140	175120
1.0	0.4	0.6	0.4	0.0	1.0	0.00	1000	130	175250
0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.9	0.00	1000	110	175360
0.8	0.3	0.5	0.3	0.0	0.8	0.00	1000	100	175460
0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1000	90	175550

### A4.6 Vorversuch 3: Ermittlung der Murganghydrographen nach Takahashi (1991) Fall b

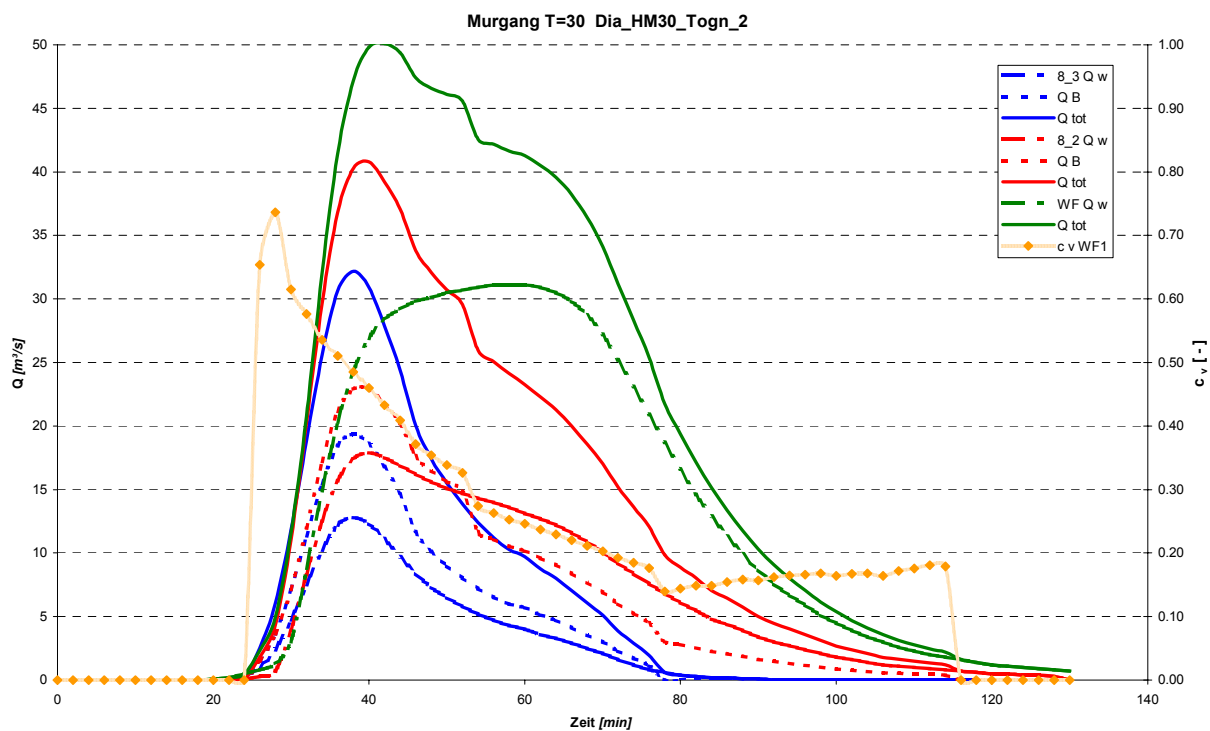
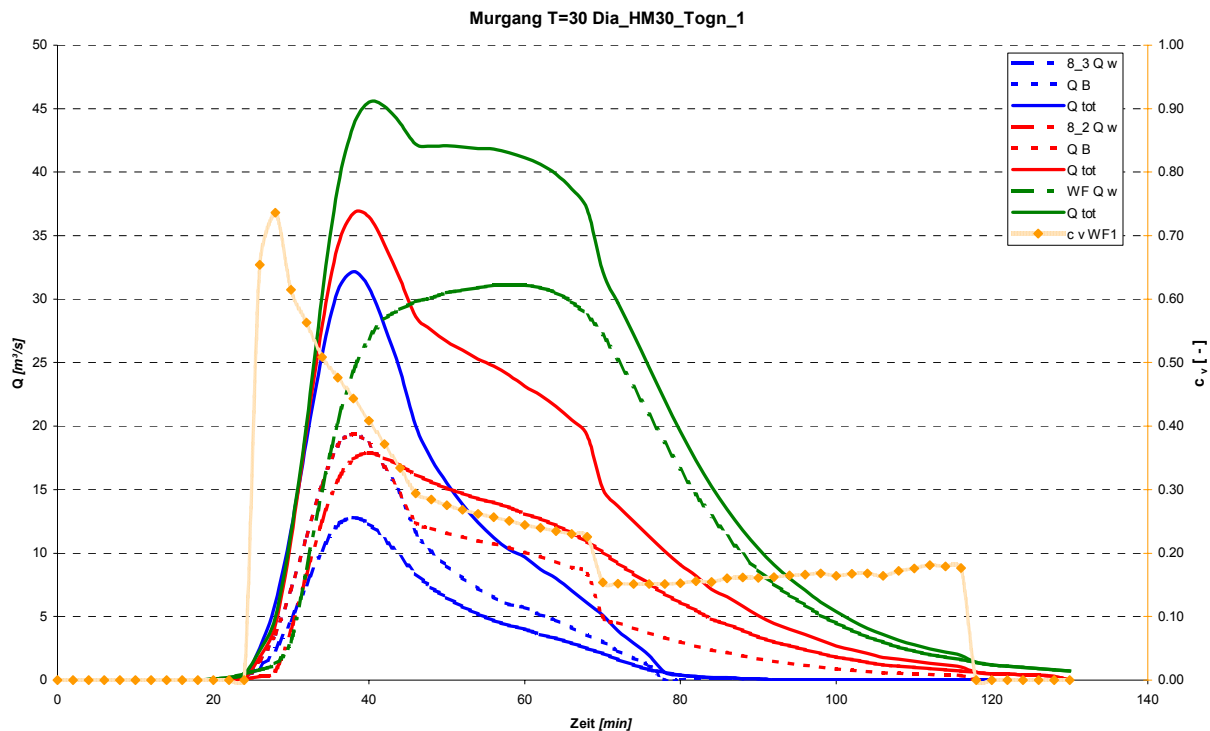
Station	8 3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)										
[min]	[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]					[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0				
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0	0	0	0
22	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0	0	10	10
24	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.3	0	0	20	30
26	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	6.1	7.1	370	370	450	480
28	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	14.7	17.1	1250	1620	1460	1940
30	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.86	28.9	33.6	2620	4240	3040	4980
32	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.86	46.1	53.6	4500	8740	5230	10210
34	10.2	1.70	2.55	ja	ja	ja	0.86	62.7	72.9	6520	15260	7590	17800
36	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.83	59.6	71.8	7330	22590	8680	26480
38	12.8	2.13	3.20	ja	ja	ja	0.84	67.2	80.0	7610	30200	9110	35590
40	12.3	2.05	3.08	ja	ja	ja	0.80	49.2	61.5	6980	37180	8490	44080
42	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.79	41.8	52.9	5460	42640	6860	50940
44	9.7	1.62	2.43	ja	ja	ja	0.77	32.5	42.2	4450	47090	5700	56640
46	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.76	26.6	35.0	3540	50630	4630	61270
48	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.64	13.0	20.3	2370	53000	3320	64590
50	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.64	11.6	18.1	1470	54470	2300	66890
52	5.8	0.97	1.45	ja	ja	ja	0.64	10.3	16.1	1310	55780	2050	68940
54	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.64	9.2	14.4	1170	56950	1830	70770
56	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.64	8.4	13.1	1060	58010	1650	72420
58	4.3	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.64	7.6	11.9	960	58970	1500	73920
60	4.0	0.67	1.00	ja	ja	ja	0.64	7.1	11.1	890	59860	1380	75300
62	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.64	6.4	10.0	810	60670	1270	76570
64	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.64	5.9	9.2	740	61410	1150	77720
66	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.64	5.2	8.1	660	62070	1030	78750
68	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.64	4.4	6.9	580	62650	900	79650
70	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.64	3.7	5.8	490	63140	770	80420
72	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.64	2.8	4.4	390	63530	620	81040
74	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.64	2.1	3.3	300	63830	470	81510
76	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.64	1.4	2.2	210	64040	330	81840
78	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.64	0.0	0.6	90	64130	170	82010
80	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.64	0.0	0.4	0	64130	60	82070
82	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.3	0	64130	40	82110
84	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	0	64130	30	82140
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	0	64130	20	82160
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	0	64130	20	82180
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	0	64130	10	82190
92	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	10	82200
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0	64130	0	82200

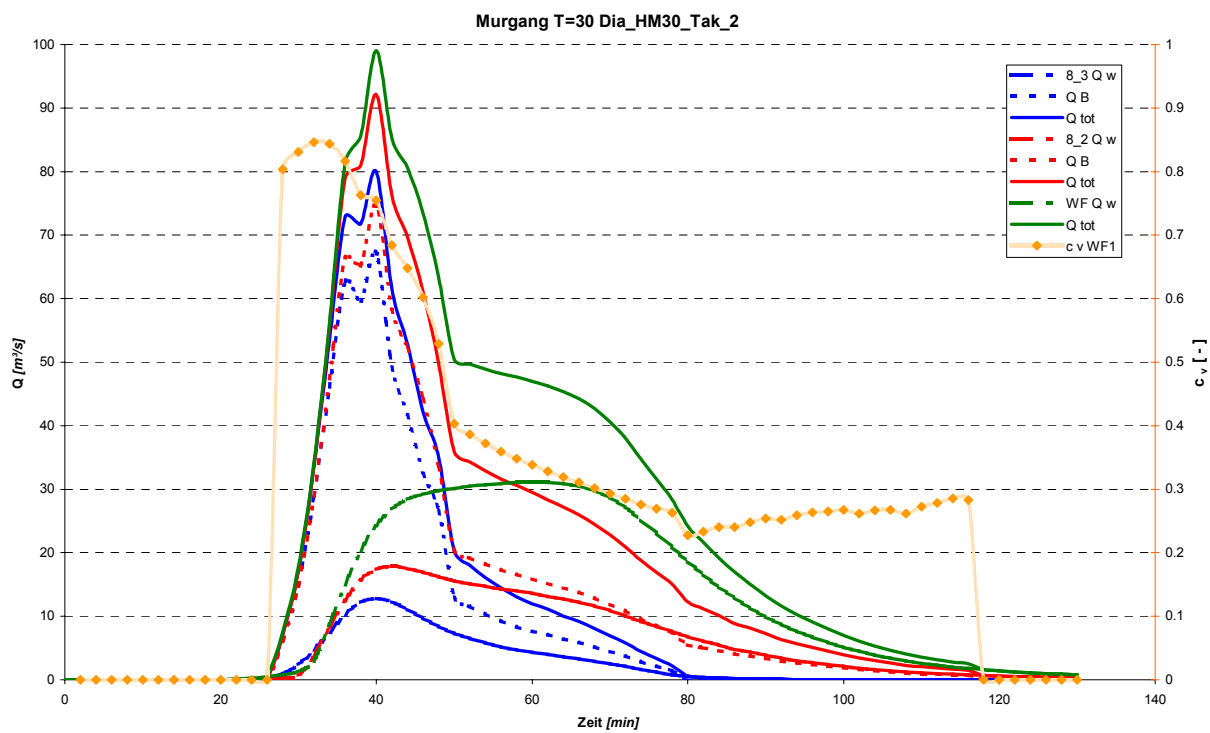
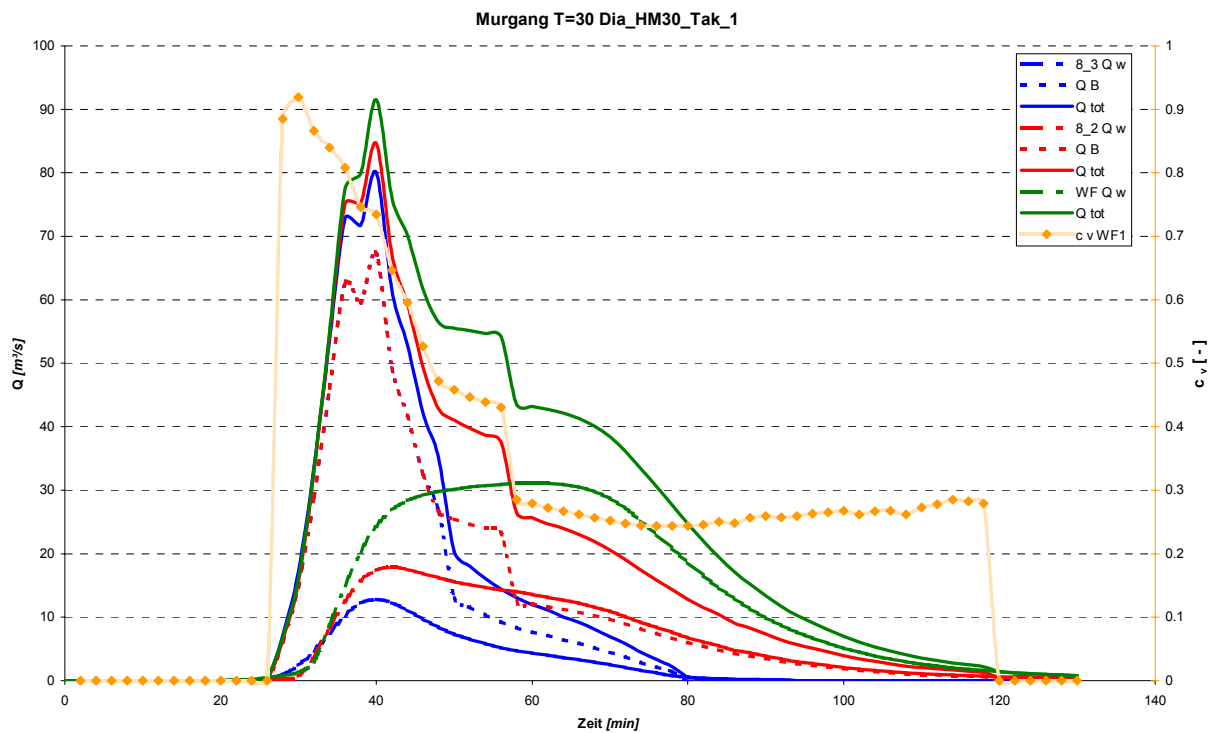


8_2					Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>ges,teil</sub>	Q <sub>ges</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
Q <sub>W,tot</sub>	Q <sub>W,8_1</sub>	Q <sub>W,teil</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)				[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0					
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0	0
0.0	0.1	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.1	0	0	0	10	10
0.1	0.3	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.3	0	0	0	20	30
0.3	1.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	6.1	0.0	7.1	0	0	370	450	480
0.7	2.4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	14.7	0.0	17.1	0	0	1620	1460	1940
3.9	4.7	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	28.9	0.0	33.6	0	0	4240	3040	4980
8.3	7.5	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.62	1.3	47.4	2.1	55.7	80	80	8820	5350	10330
12.5	10.2	2.3	0.38	0.58	ja	ja	ja	0.62	3.8	66.4	6.1	78.9	300	380	15640	8080	18410
15.7	12.2	3.5	0.58	0.88	ja	ja	ja	0.62	5.7	65.3	9.2	81.0	570	950	23540	9590	28000
17.4	12.8	4.6	0.77	1.15	ja	ja	ja	0.62	7.5	74.7	12.1	92.1	790	1740	31940	10380	38380
17.9	12.3	5.6	0.93	1.40	ja	ja	ja	0.62	9.1	58.3	14.7	76.2	1000	2740	39920	10100	48480
17.5	11.1	6.4	1.07	1.60	ja	ja	ja	0.62	10.4	52.2	16.8	69.7	1170	3910	46550	8760	57240
16.9	9.7	7.2	1.20	1.80	ja	ja	ja	0.62	11.7	44.2	18.9	61.1	1330	5240	52330	7850	65090
16.2	8.4	7.8	1.30	1.95	ja	ja	ja	0.47	6.9	33.5	14.7	49.7	1120	6360	56990	6650	71740
15.6	7.3	8.3	1.38	2.08	ja	ja	ja	0.47	7.4	20.3	15.7	35.9	860	7220	60220	5140	76880
15.1	6.5	8.6	1.43	2.15	ja	ja	ja	0.47	7.6	19.2	16.2	34.3	900	8120	62590	4210	81090
14.7	5.8	8.9	1.48	2.23	ja	ja	ja	0.47	7.9	18.2	16.8	32.9	930	9050	64830	4030	85120
14.3	5.2	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	8.1	17.3	17.2	31.6	960	10010	66960	3870	88990
14.0	4.7	9.3	1.55	2.33	ja	ja	ja	0.47	8.2	16.6	17.5	30.6	980	10990	69000	3730	92720
13.6	4.3	9.3	1.55	2.33	ja	ja	ja	0.47	8.2	15.9	17.5	29.5	990	11980	70950	3610	96330
13.1	4.0	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	8.1	15.2	17.2	28.3	980	12960	72820	3470	99800
12.7	3.6	9.1	1.52	2.28	ja	ja	ja	0.47	8.1	14.5	17.2	27.2	970	13930	74600	3330	103130
12.2	3.3	8.9	1.48	2.23	ja	ja	ja	0.47	7.9	13.8	16.8	26.0	960	14890	76300	3190	106320
11.6	2.9	8.7	1.45	2.18	ja	ja	ja	0.47	7.7	12.9	16.4	24.5	940	15830	77900	3030	109350
10.9	2.5	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.47	7.4	11.9	15.8	22.8	910	16740	79390	2840	112190
10.1	2.1	8.0	1.33	2.00	ja	ja	ja	0.47	7.1	10.8	15.1	20.9	870	17610	80750	2620	114810
9.2	1.6	7.6	1.27	1.90	ja	ja	ja	0.47	6.7	9.6	14.3	18.8	830	18440	81970	2380	117190
8.4	1.2	7.2	1.20	1.80	ja	ja	ja	0.47	6.4	8.5	13.6	16.9	790	19230	83060	2140	119330
7.6	0.8	6.8	1.13	1.70	ja	ja	ja	0.47	6.0	7.5	12.8	15.1	740	19970	84010	1920	121250
6.8	0.6	6.2	1.03	1.55	ja	ja	ja	0.47	5.5	5.5	11.7	12.3	690	20660	84790	1640	122890
6.1	0.4	5.7	0.95	1.43	ja	ja	ja	0.47	5.1	5.1	10.8	11.2	630	21290	85420	1410	124300
5.5	0.3	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.47	4.6	4.6	9.8	10.1	580	21870	86000	1280	125580
4.8	0.2	4.6	0.77	1.15	ja	ja	ja	0.47	4.1	4.1	8.7	8.9	520	22390	86520	1140	126720
4.4	0.2	4.2	0.70	1.05	ja	ja	ja	0.47	3.7	3.7	7.9	8.1	470	22860	86990	1020	127740
3.9	0.1	3.8	0.63	0.95	ja	ja	ja	0.47	3.4	3.4	7.2	7.3	430	23290	87420	920	128660
3.4	0.1	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.47	2.9	2.9	6.2	6.3	380	23670	87800	820	129480
3.0	0.0	3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.47	2.7	2.7	5.7	5.7	340	24010	88140	720	130200
2.7	0.0	2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.47	2.4	2.4	5.1	5.1	300	24310	88440	650	130850
2.4	0.0	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.47	2.1	2.1	4.5	4.5	270	24580	88710	580	131430
2.1	0.0	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.47	1.9	1.9	4.0	4.0	240	24820	88950	510	131940
1.8	0.0	1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.47	1.6	1.6	3.4	3.4	210	25030	89160	440	132380
1.6	0.0	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.47	1.4	1.4	3.0	3.0	180	25210	89340	380	132760
1.4	0.0	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.47	1.2	1.2	2.6	2.6	160	25370	89500	340	133100
1.2	0.0	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.47	1.1	1.1	2.3	2.3	140	25510	89640	290	133390
1.1	0.0	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.47	1.0	1.0	2.1	2.1	120	25630	89760	260	133650
1.0	0.0	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.47	0.9	0.9	1.9	1.9	110	25740	89870	240	133890
0.9	0.0	0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.47	0.8	0.8	1.7	1.7	100	25840	89970	220	134110
0.8	0.0	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.47	0.7	0.7	1.5	1.5	90	25930	90060	190	134300
0.7	0.0	0.7	0.12	0.18	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.7	0.7	40	25970	90100	130	134430
0.6	0.0	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.6	0.6	0	25970	90100	80	134510
0.5	0.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.5	0.5	0	25970	90100	70	134580
0.5	0.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.5	0.5	0	25970	90100	60	134640
0.4	0.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.4	0.4	0	25970	90100	50	134690
0.4	0.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.4	0.4	0	25970	90100	50	134740
0.3	0.0	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.3	0.3	0	25970	90100	40	134780
0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0	25970	90100	20	134800

WF1									
Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>W,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>W,teil</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>B,8.2</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub>	γ [kg/m]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000		
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	1000	10	10
0.2	0.0	0.2	0.1	0.0	0.3	0.00	667	20	30
0.5	0.1	0.4	0.3	0.0	0.7	0.00	714	60	90
0.8	0.3	0.5	7.1	6.1	7.6	0.80	2235	500	590
1.3	0.7	0.6	17.1	14.7	17.7	0.83	2275	1520	2110
3.0	3.9	0.6	33.6	28.9	34.1	0.85	2330	3110	5220
8.8	8.3	0.5	55.7	47.4	56.2	0.84	2392	5420	10640
14.9	12.5	2.4	78.9	66.4	81.3	0.82	2348	8250	18890
20.3	15.7	4.6	81.0	65.3	85.6	0.76	2259	10010	28900
24.3	17.4	6.9	92.1	74.7	99.0	0.75	2245	11070	39970
26.9	17.9	9.0	76.2	58.3	85.2	0.68	2129	11050	51020
28.4	17.5	10.9	69.7	52.2	80.6	0.65	2069	9950	60970
29.2	16.9	12.3	61.1	44.2	73.4	0.60	1994	9240	70210
29.8	16.2	13.6	49.7	33.5	63.3	0.53	1873	8200	78410
30.1	15.6	14.5	35.9	20.3	50.4	0.40	1665	6830	85240
30.5	15.1	15.4	34.3	19.2	49.7	0.39	1637	6010	91250
30.7	14.7	16.0	32.9	18.2	48.9	0.37	1614	5920	97170
30.9	14.3	16.6	31.6	17.3	48.2	0.36	1593	5830	103000
31.1	14.0	17.1	30.6	16.6	47.7	0.35	1574	5760	108760
31.1	13.6	17.5	29.5	15.9	47.0	0.34	1558	5680	114440
31.1	13.1	18.0	28.3	15.2	46.3	0.33	1541	5600	120040
30.9	12.7	18.2	27.2	14.5	45.4	0.32	1526	5500	125540
30.5	12.2	18.3	26.0	13.8	44.3	0.31	1513	5380	130920
29.8	11.6	18.2	24.5	12.9	42.7	0.30	1498	5220	136140
28.7	10.9	17.8	22.8	11.9	40.6	0.29	1483	5000	141140
27.2	10.1	17.1	20.9	10.8	38.0	0.28	1470	4720	145860
25.2	9.2	16.0	18.8	9.6	34.8	0.28	1455	4370	150230
23.1	8.4	14.7	16.9	8.5	31.6	0.27	1445	3980	154210
20.9	7.6	13.3	15.1	7.5	28.4	0.26	1434	3600	157810
18.7	6.8	11.9	12.3	5.5	24.2	0.23	1375	3150	160960
16.6	6.1	10.5	11.2	5.1	21.7	0.23	1385	2750	163710
14.6	5.5	9.1	10.1	4.6	19.2	0.24	1396	2450	166160
12.9	4.8	8.1	8.9	4.1	17.0	0.24	1396	2170	168330
11.3	4.4	6.9	8.1	3.7	15.0	0.25	1409	1920	170250
9.9	3.9	6.0	7.3	3.4	13.3	0.25	1419	1700	171950
8.7	3.4	5.3	6.3	2.9	11.6	0.25	1415	1490	173440
7.6	3.0	4.6	5.7	2.7	10.3	0.26	1428	1310	174750
6.7	2.7	4.0	5.1	2.4	9.1	0.26	1434	1160	175910
5.9	2.4	3.5	4.5	2.1	8.0	0.27	1437	1030	176940
5.1	2.1	3.0	4.0	1.9	7.0	0.27	1441	900	177840
4.5	1.8	2.7	3.4	1.6	6.1	0.26	1432	780	178620
3.9	1.6	2.3	3.0	1.4	5.3	0.27	1440	680	179300
3.4	1.4	2.0	2.6	1.2	4.6	0.27	1441	600	179900
3.0	1.2	1.8	2.3	1.1	4.1	0.26	1432	520	180420
2.6	1.1	1.5	2.1	1.0	3.6	0.27	1450	460	180880
2.3	1.0	1.3	1.9	0.9	3.2	0.28	1459	410	181290
2.0	0.9	1.1	1.7	0.8	2.8	0.29	1471	360	181650
1.8	0.8	1.0	1.5	0.7	2.5	0.28	1466	320	181970
1.6	0.7	0.9	0.7	0.0	1.6	0.00	1000	250	182220
1.4	0.6	0.8	0.6	0.0	1.4	0.00	1000	180	182400
1.2	0.5	0.7	0.5	0.0	1.2	0.00	1000	160	182560
1.1	0.5	0.6	0.5	0.0	1.1	0.00	1000	140	182700
1.0	0.4	0.6	0.4	0.0	1.0	0.00	1000	130	182830
0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.9	0.00	1000	110	182940
0.8	0.3	0.5	0.3	0.0	0.8	0.00	1000	100	183040
0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1000	90	183130

### A4.7 Diagramme: Tognacca 1 + 2, Takahashi 1 + 2





## A4.8 Murganghydrographen: Kombination aus Tognacca (a) und Takahashi (b)

**Grundlage:** Entstehungsmechanismen von Murgängen (Tognacca, 1999)  
Debris Flow (Takahashi, 1991)

1. Bestimmung des kritischen Abflusses für Murgangentstehung	
$q_{Dic} = g^{0.5} * (\rho_s / \rho_w - 1)^{0.5} * d_m^{1.5} / (\tan \theta)^{1.17}$	( Formel 7.37, Tognacca)
2. Bestimmung von $c/c^*$	
$c / c^* = [\tanh (7.10 * J^{0.80} - 2.15)] / 2.30 + 0.43$	( Formel 7.28, Tognacca)
3. Bestimmung von $Q_{ges}$	
$Q_{ges} = c^* / (c^* - c_v) * Q_w$ ... für Abflussspitze	( Formel 4.1.4, Takahashi)
$Q_B = c / (1 - c) * Q_w$ ... für den Rest	( Formel 7.29, Tognacca)

### Eingangsdaten

$g =$	9.81 m/s <sup>2</sup>	$\tan \theta_{min} =$	0.25
$\rho_s =$	2650 kg/m <sup>3</sup>	$\tan \theta_{max} =$	0.64
$\rho_w =$	1000 kg/m <sup>3</sup>	$q_{Dic,min} =$	0.08 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,min} =$	5 cm	$q_{Dic,max} =$	0.38 m <sup>3</sup> /s,m
$d_{m,max} =$	7 cm	$b_{min} =$	4 m
$c^* =$	0.7	$b_{max} =$	6 m

### Anpassung an Ereignis 1999

Höhe [m]	Teillänge [m]	Neigung [-]	$c/c^*$	$V_{E1,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{E2,99}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{ges,99}$ [m <sup>3</sup> ]	Station
2500	64						
2450	78	0.64	0.86	3300	1200	4500	8_3
2400	82	0.61	0.86	9100	3200	12300	
2350	110	0.45	0.83	15200	5300	20500	
2300	102	0.49	0.84	21600	7600	29200	
2250	126	0.40	0.80	28600	10000	38600	
2200	128	0.39	0.79	35900	12600	48500	
2150	137	0.36	0.76	43900	15400	59300	
2100	170	0.29	0.64	52500	18400	70900	
2050	180	0.28	0.59	61700	21700	83400	
2020	125	0.24	0.48	67600	23700	91300	8_2
2000	70	0.29	0.62	71700	25200	96900	
1980	85	0.24	0.47	75900	26700	102600	8_1

### A4.8.1 Aufgrund HQ30

Station	8_3																		
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)	Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,Togn1</sub>	Q <sub>ges,Togn1</sub>	ΔQ/ΔT	Q <sub>B,Tak1</sub>	Q <sub>ges,Tak1</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>tot</sub>	c <sub>v</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
[min]	[m³/s]	[m³/s.m]	[m³/s.m]					[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
20	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0
22	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	10
24	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.3	0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.00	0	0	20	30
26	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.86	1.5	2.5	1.1	6.1	7.1	1.5	2.5	0.60	90	90	170	200
28	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.86	3.6	6.0	1.8	14.7	17.1	3.6	6.0	0.60	310	400	510	710
30	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.86	7.1	11.8	2.9	28.9	33.6	7.1	11.8	0.60	640	1040	1070	1780
32	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.86	11.3	18.8	3.5	46.1	53.6	11.3	18.8	0.60	1110	2150	1840	3620
34	10.2	1.70	2.55	ja	ja	ja	0.86	15.4	25.6	3.4	62.7	72.9	62.7	72.9	0.86	4440	6590	2670	6290
36	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.84	17.4	29.6	2.0	64.1	76.3	64.1	76.3	0.84	7600	14190	3310	9600
38	12.8	2.13	3.20	ja	ja	ja	0.84	18.3	31.1	0.7	67.2	80.0	67.2	80.0	0.84	7880	22070	3640	13240
40	12.3	2.05	3.08	ja	ja	ja	0.80	15.7	28.0	-1.6	49.2	61.5	49.2	61.5	0.80	6980	29050	3540	16780
42	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.79	13.7	24.8	-1.6	41.8	52.9	41.8	52.9	0.79	5460	34510	3170	19950
44	9.7	1.62	2.43	ja	ja	ja	0.76	11.0	20.7	-2.1	30.7	40.4	30.7	40.4	0.76	4350	38860	2730	22680
46	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.76	9.5	17.9	-1.4	26.6	35.0	9.5	17.9	0.53	2420	41280	2320	25000
48	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.76	8.3	15.6	-1.2	23.1	30.4	8.3	15.6	0.53	1070	42350	2010	27010
50	6.5	1.08	1.63	ja	ja	ja	0.76	7.4	13.9	-0.9	20.6	27.1	7.4	13.9	0.53	940	43290	1770	28780
52	5.8	0.97	1.45	ja	ja	ja	0.76	6.6	12.4	-0.7	18.4	24.2	6.6	12.4	0.53	840	44130	1580	30380
54	5.2	0.87	1.30	ja	ja	ja	0.64	4.2	9.4	-1.5	9.2	14.4	4.2	9.4	0.45	650	44780	1310	31670
56	4.7	0.78	1.18	ja	ja	ja	0.64	3.8	8.5	-0.5	8.4	13.1	3.8	8.5	0.45	480	45260	1080	32750
58	4.3	0.72	1.08	ja	ja	ja	0.64	3.5	7.8	-0.4	7.6	11.9	3.5	7.8	0.45	440	45700	980	33730
60	4.0	0.67	1.00	ja	ja	ja	0.64	3.2	7.2	-0.3	7.1	11.1	3.2	7.2	0.45	400	46100	900	34630
62	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.64	2.9	6.5	-0.4	6.4	10.0	2.9	6.5	0.45	370	46470	830	35460
64	3.3	0.55	0.83	ja	ja	ja	0.64	2.7	6.0	-0.3	5.9	9.2	2.7	6.0	0.45	340	46810	750	36210
66	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.64	2.4	5.3	-0.4	5.2	8.1	2.4	5.3	0.45	300	47110	670	36880
68	2.5	0.42	0.63	ja	ja	ja	0.64	2.0	4.5	-0.4	4.4	6.9	2.0	4.5	0.45	260	47370	590	37470
70	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.64	1.7	3.8	-0.4	3.7	5.8	1.7	3.8	0.45	220	47590	500	37970
72	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.64	1.3	2.9	-0.5	2.8	4.4	1.3	2.9	0.45	180	47770	400	38370
74	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.64	1.0	2.2	-0.4	2.1	3.3	1.0	2.2	0.45	140	47910	300	38670
76	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.64	0.6	1.4	-0.4	1.4	2.2	0.6	1.4	0.45	100	48010	220	38890
78	0.6	0.10	0.15	ja	nein	ja	0.64	0.5	1.1	-0.2	1.1	1.7	0.5	1.1	0.45	70	48080	150	39040
80	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.64	0.0	0.4	-0.3	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	30	48110	90	39130
82	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.00	0	48110	40	39170
84	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	48110	30	39200
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	48110	20	39220
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	48110	20	39240
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	48110	10	39250
92	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	10	39260
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	48110	0	39260

8_2				Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,th</sub>	Q <sub>B,eff</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>ges</sub>	c <sub>v</sub>	ΔV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,eff</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>	
Q <sub>w</sub>	q <sub>min(1)</sub>	q <sub>max(2)</sub>						[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
[m³/s]	[m³/s,m]	[m³/s,m]																
0.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00						
2.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
4.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
6.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
8.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
10.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
12.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
14.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
16.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
18.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
20.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
22.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0	
24.0	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.1	0.00	0	0	0	10	10	
26.0	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.62	0.0	0.0	0.0	0.9	1.8	0.50	0	0	50	110	120
28.0	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.62	0.5	0.0	2.3	4.3	0.52	0	0	240	370	490	
30.0	3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.62	3.0	0.0	5.9	11.0	0.54	0	0	730	920	1410	
32.0	8.3	1.38	2.08	ja	ja	ja	0.62	6.4	0.0	11.3	19.6	0.58	0	0	1770	1840	3250	
34.0	12.5	2.08	3.13	ja	ja	ja	0.62	9.6	0.0	62.7	75.2	0.83	0	0	6210	5690	8940	
36.0	15.7	2.62	3.93	ja	ja	ja	0.62	12.0	0.0	64.1	79.8	0.80	0	0	13810	9290	18230	
38.0	17.4	2.90	4.35	ja	ja	ja	0.62	13.3	0.0	67.2	84.6	0.79	0	0	21690	9860	28090	
40.0	17.9	2.98	4.48	ja	ja	ja	0.62	13.7	0.0	49.2	67.1	0.73	0	0	28670	9100	37190	
42.0	17.5	2.92	4.38	ja	ja	ja	0.62	13.4	0.0	41.8	59.3	0.70	0	0	34130	7580	44770	
44.0	16.9	2.82	4.23	ja	ja	ja	0.62	13.0	0.0	30.7	47.6	0.65	0	0	38480	6410	51180	
46.0	16.2	2.70	4.05	ja	ja	ja	0.62	12.70	2.9	12.4	28.6	0.43	170	170	41070	4570	55750	
48.0	15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.62	12.0	3.7	12.0	27.6	0.43	390	560	42530	3370	59120	
50.0	15.1	2.52	3.78	ja	ja	ja	0.62	11.6	4.2	11.6	26.7	0.43	470	1030	43940	3250	62370	
52.0	14.7	2.45	3.68	ja	ja	ja	0.62	11.3	4.7	11.3	26.0	0.43	530	1560	45310	3160	65530	
54.0	14.3	2.38	3.58	ja	ja	ja	0.62	11.0	6.7	11.0	25.3	0.43	690	2250	46640	3070	68600	
56.0	14.0	2.33	3.50	ja	ja	ja	0.62	10.7	6.9	10.7	24.7	0.43	820	3070	47940	3000	71600	
58.0	13.6	2.27	3.40	ja	ja	ja	0.62	10.4	6.9	10.4	24.0	0.43	830	3900	49210	2930	74530	
60.0	13.1	2.18	3.28	ja	ja	ja	0.47	6.4	3.2	6.4	19.5	0.33	610	4510	50220	2610	77140	
62.0	12.7	2.12	3.18	ja	ja	ja	0.47	6.2	3.3	6.2	18.9	0.33	390	4900	50980	2310	79450	
64.0	12.2	2.03	3.05	ja	ja	ja	0.47	6.0	3.3	6.0	18.2	0.33	400	5300	51710	2230	81680	
66.0	11.6	1.93	2.90	ja	ja	ja	0.47	5.7	3.3	5.7	17.3	0.33	400	5700	52410	2130	83810	
68.0	10.9	1.82	2.73	ja	ja	ja	0.47	5.3	3.3	5.3	16.2	0.33	400	6100	53070	2010	85820	
70.0	10.1	1.68	2.53	ja	ja	ja	0.47	5.0	3.2	5.0	15.1	0.33	390	6490	53690	1880	87700	
72.0	9.2	1.53	2.30	ja	ja	ja	0.47	4.5	3.2	4.5	13.7	0.33	390	6880	54260	1730	89430	
74.0	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.47	4.1	3.1	4.1	12.5	0.33	380	7260	54780	1570	91000	
76.0	7.6	1.27	1.90	ja	ja	ja	0.47	3.7	3.1	3.7	11.3	0.33	370	7630	55250	1430	92430	
78.0	6.8	1.13	1.70	ja	ja	ja	0.47	3.3	2.8	3.3	10.1	0.33	360	7990	55670	1290	93720	
80.0	6.1	1.02	1.53	ja	ja	ja	0.47	3.0	3.0	3.0	9.1	0.33	350	8340	56050	1150	94870	
82.0	5.5	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.47	2.7	2.7	2.7	8.2	0.33	340	8680	56390	1040	95910	
84.0	4.8	0.80	1.20	ja	ja	ja	0.47	2.4	2.4	2.4	7.2	0.33	300	8980	56690	920	96830	
86.0	4.4	0.73	1.10	ja	ja	ja	0.47	2.2	2.2	2.2	6.6	0.33	270	9250	56960	820	97650	
88.0	3.9	0.65	0.98	ja	ja	ja	0.47	1.9	1.9	1.9	5.8	0.33	240	9490	57200	740	98390	
90.0	3.4	0.57	0.85	ja	ja	ja	0.47	1.7	1.7	1.7	5.1	0.33	210	9700	57410	650	99040	
92.0	3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.47	1.5	1.5	1.5	4.5	0.33	190	9890	57600	570	99610	
94.0	2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.47	1.3	1.3	1.3	4.0	0.33	170	10060	57770	510	100120	
96.0	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.47	1.2	1.2	1.2	3.6	0.33	150	10210	57920	460	100580	
98.0	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.47	1.0	1.0	1.0	3.1	0.33	130	10340	58050	400	100980	
100.0	1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.47	0.9	0.9	0.9	2.7	0.33	110	10450	58160	350	101330	
102.0	1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.47	0.8	0.8	0.8	2.4	0.33	100	10550	58260	300	101630	
104.0	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.47	0.7	0.7	0.7	2.1	0.33	90	10640	58350	270	101900	
106.0	1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.47	0.6	0.6	0.6	1.8	0.33	80	10720	58430	230	102130	
108.0	1.1	0.18	0.28	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	0.5	1.6	0.33	70	10790	58500	210	102340	
110.0	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.47	0.5	0.5	0.5	1.5	0.33	60	10850	58560	190	102530	
112.0	0.9	0.15	0.23	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	0.4	1.3	0.33	60	10910	58620	170	102700	
114.0	0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.47	0.4	0.4	0.4	1.2	0.33	50	10960	58670	150	102850	
116.0	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.47	0.3	0.3	0.3	1.0	0.33	40	11000	58710	130	102980	
118.0	0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.6	0.00	20	11020	58730	100	103080	
120.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0.00	0	11020	58730	70	103150	
122.0	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.5	0.00	0	11020	58730	60	103210	
124.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0.00	0	11020	58730	50	103260	
126.0	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.4	0.00	0	11020	58730	50	103310	
128.0	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.3	0.00	0	11020	58730	40	103350	
130.0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	11020	<b>58730</b>	20	103370	

WF1										
T	Q <sub>W,tot</sub>	Q <sub>W,8.2</sub>	Q <sub>W,teil</sub>	Q <sub>ges,8.2</sub>	Q <sub>B,8.2</sub>	Q <sub>ges</sub>	c <sub>v</sub>	γ	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>
[min]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]		[kg/m]	[m³]	[m³]
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000		
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0
20	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.00	1000	10	10
22	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.00	1000	20	30
24	0.5	0.1	0.4	0.1	0.0	0.5	0.00	1000	40	70
26	0.8	0.3	0.5	1.8	0.9	2.3	0.39	1647	170	240
28	1.3	0.7	0.6	4.3	2.3	4.9	0.46	1754	430	670
30	3.0	3.9	0.6	11.0	5.9	11.6	0.51	1849	990	1660
32	8.8	8.3	0.5	19.6	11.3	20.1	0.56	1929	1900	3560
34	14.9	12.5	2.4	75.2	62.7	77.6	0.81	2333	5860	9420
36	20.3	15.7	4.6	79.8	64.1	84.4	0.76	2253	9710	19130
38	24.3	17.4	6.9	84.6	67.2	91.5	0.73	2212	10550	29680
40	26.9	17.9	9.0	67.1	49.2	76.1	0.65	2067	10060	39740
42	28.4	17.5	10.9	59.3	41.8	70.2	0.60	1982	8780	48520
44	29.2	16.9	12.3	47.6	30.7	59.9	0.51	1846	7800	56320
46	29.8	16.2	13.6	28.6	12.4	42.2	0.29	1485	6130	62450
48	30.1	15.6	14.5	27.6	12.0	42.1	0.28	1469	5060	67510
50	30.5	15.1	15.4	26.7	11.6	42.1	0.28	1454	5050	72560
52	30.7	14.7	16.0	26.0	11.3	42.0	0.27	1443	5040	77600
54	30.9	14.3	16.6	25.3	11.0	41.9	0.26	1432	5030	82630
56	31.1	14.0	17.1	24.7	10.7	41.8	0.26	1423	5020	87650
58	31.1	13.6	17.5	24.0	10.4	41.5	0.25	1414	5000	92650
60	31.1	13.1	18.0	19.5	6.4	37.5	0.17	1282	4740	97390
62	30.9	12.7	18.2	18.9	6.2	37.1	0.17	1277	4480	101870
64	30.5	12.2	18.3	18.2	6.0	36.5	0.16	1271	4420	106290
66	29.8	11.6	18.2	17.3	5.7	35.5	0.16	1264	4320	110610
68	28.7	10.9	17.8	16.2	5.3	34.0	0.16	1259	4170	114780
70	27.2	10.1	17.1	15.1	5.0	32.2	0.15	1254	3970	118750
72	25.2	9.2	16.0	13.7	4.5	29.7	0.15	1251	3710	122460
74	23.1	8.4	14.7	12.5	4.1	27.2	0.15	1250	3420	125880
76	20.9	7.6	13.3	11.3	3.7	24.6	0.15	1250	3110	128990
78	18.7	6.8	11.9	10.1	3.3	22.0	0.15	1250	2800	131790
80	16.6	6.1	10.5	9.1	3.0	19.6	0.15	1252	2500	134290
82	14.6	5.5	9.1	8.2	2.7	17.3	0.16	1257	2210	136500
84	12.9	4.8	8.1	7.2	2.4	15.3	0.15	1255	1950	138450
86	11.3	4.4	6.9	6.6	2.2	13.5	0.16	1265	1720	140170
88	9.9	3.9	6.0	5.8	1.9	11.8	0.16	1267	1520	141690
90	8.7	3.4	5.3	5.1	1.7	10.4	0.16	1265	1330	143020
92	7.6	3.0	4.6	4.5	1.5	9.1	0.16	1268	1170	144190
94	6.7	2.7	4.0	4.0	1.3	8.0	0.16	1272	1030	145220
96	5.9	2.4	3.5	3.6	1.2	7.1	0.17	1274	910	146130
98	5.1	2.1	3.0	3.1	1.0	6.1	0.17	1277	790	146920
100	4.5	1.8	2.7	2.7	0.9	5.4	0.16	1271	690	147610
102	3.9	1.6	2.3	2.4	0.8	4.7	0.17	1276	600	148210
104	3.4	1.4	2.0	2.1	0.7	4.1	0.17	1277	530	148740
106	3.0	1.2	1.8	1.8	0.6	3.6	0.16	1271	460	149200
108	2.6	1.1	1.5	1.6	0.5	3.1	0.17	1283	400	149600
110	2.3	1.0	1.3	1.5	0.5	2.8	0.18	1290	360	149960
112	2.0	0.9	1.1	1.3	0.4	2.4	0.18	1298	310	150270
114	1.8	0.8	1.0	1.2	0.4	2.2	0.18	1295	280	150550
116	1.6	0.7	0.9	1.0	0.3	1.9	0.18	1291	250	150800
118	1.4	0.6	0.8	0.6	0.0	1.4	0.00	1000	200	151000
120	1.2	0.5	0.7	0.5	0.0	1.2	0.00	1000	160	151160
122	1.1	0.5	0.6	0.5	0.0	1.1	0.00	1000	140	151300
124	1.0	0.4	0.6	0.4	0.0	1.0	0.00	1000	130	151430
126	0.9	0.4	0.5	0.4	0.0	0.9	0.00	1000	110	151540
128	0.8	0.3	0.5	0.3	0.0	0.8	0.00	1000	100	151640
130	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7	0.00	1000	90	151730



A4.8.2 Aufgrund HQ50

Station 8_3																				
T	Q <sub>w</sub>	q <sub>min</sub> (1)	q <sub>max</sub> (2)	Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,Togn1</sub>	Q <sub>ges,Togn1</sub>	ΔQ/ΔT	Q <sub>B,Tak1</sub>	Q <sub>ges,Tak1</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>ges,tot</sub>	c <sub>v</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>	
[min]	[m³/s]	[m³/s.m]	[m³/s.m]					[m³/s]	[m³/s]		[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
16	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
18	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
20	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	10	
22	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	0	20	30	
24	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.86	0.0	0.5	0.2	0.0	0.5	0.0	0.5	0.00	0	0	40	70	
26	1.3	0.22	0.33	ja	nein	ja	0.86	2.0	3.3	1.4	8.0	9.3	2.0	3.3	0.60	120	120	230	300	
28	3.0	0.50	0.75	ja	ja	ja	0.86	4.5	7.5	2.1	18.4	21.4	4.5	7.5	0.60	390	510	650	950	
30	5.7	0.95	1.43	ja	ja	ja	0.86	8.6	14.3	3.4	35.0	40.7	8.6	14.3	0.60	790	1300	1310	2260	
32	8.8	1.47	2.20	ja	ja	ja	0.86	13.3	23.1	3.9	54.1	62.9	13.3	23.1	0.60	1320	2620	2190	4450	
34	11.9	1.98	2.98	ja	ja	ja	0.86	18.0	29.9	3.9	73.1	85.0	18.0	29.9	0.60	1880	3700	3120	7570	
36	14.1	2.35	3.53	ja	ja	ja	0.84	20.1	34.2	2.2	74.0	88.1	20.1	34.2	0.60	2080	4160	3850	11420	
38	14.8	2.47	3.70	ja	ja	ja	0.82	19.9	34.7	0.3	67.4	82.2	19.9	34.7	0.60	1980	3960	4140	15560	
40	14.1	2.35	3.53	ja	ja	ja	0.80	17.9	32.0	-1.3	56.4	70.5	17.9	32.0	0.60	1790	3580	4010	19570	
42	12.7	2.12	3.18	ja	ja	ja	0.78	15.3	28.0	-2.0	45.0	57.7	15.3	28.0	0.60	1530	3060	3600	23170	
44	11.1	1.85	2.78	ja	ja	ja	0.76	12.6	23.7	-2.1	35.2	46.3	12.6	23.7	0.60	1260	2520	3100	26270	
46	9.6	1.60	2.40	ja	ja	ja	0.64	7.8	17.4	-3.2	17.1	26.7	7.8	17.1	0.60	780	1560	2470	28740	
48	8.4	1.40	2.10	ja	ja	ja	0.64	6.8	15.2	-1.1	14.9	23.3	6.8	15.2	0.45	1430	2860	1960	30700	
50	7.5	1.25	1.88	ja	ja	ja	0.64	6.1	13.6	-0.8	13.3	20.8	6.1	13.6	0.45	1220	2440	1730	32430	
52	6.7	1.12	1.68	ja	ja	ja	0.64	5.4	12.1	-0.7	11.9	18.6	5.4	12.1	0.45	1090	2180	1540	33970	
54	6.0	1.00	1.50	ja	ja	ja	0.64	4.9	10.9	-0.6	10.7	16.7	4.9	10.9	0.45	980	1960	1380	35350	
56	5.5	0.92	1.38	ja	ja	ja	0.64	4.5	10.0	-0.5	9.8	15.3	4.5	10.0	0.45	900	1800	1250	36600	
58	5.0	0.83	1.25	ja	ja	ja	0.64	4.1	9.1	-0.5	8.9	13.9	4.1	9.1	0.45	820	1640	1140	37740	
60	4.6	0.77	1.15	ja	ja	ja	0.64	3.7	8.3	-0.4	8.2	12.8	3.7	8.3	0.45	750	1500	1040	38780	
62	4.2	0.70	1.05	ja	ja	ja	0.64	3.4	7.6	-0.4	7.5	11.7	3.4	7.6	0.45	690	1380	960	39740	
64	3.8	0.63	0.95	ja	ja	ja	0.64	3.1	6.9	-0.4	6.8	10.6	3.1	6.9	0.45	640	1280	870	40610	
66	3.4	0.57	0.85	ja	ja	ja	0.59	2.4	5.8	-0.5	4.9	8.3	2.4	5.8	0.41	500	1000	760	41370	
68	2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.59	2.0	4.9	-0.4	4.2	7.1	2.0	4.9	0.41	440	880	640	42010	
70	2.4	0.40	0.60	ja	ja	ja	0.59	1.7	4.1	-0.4	3.5	5.9	1.7	4.1	0.41	390	780	540	42550	
72	1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.59	1.3	3.1	-0.5	2.6	4.4	1.3	3.1	0.41	300	600	430	42980	
74	1.4	0.23	0.35	ja	nein	ja	0.59	1.0	2.4	-0.3	2.0	3.4	1.0	2.4	0.41	230	460	330	43310	
76	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.59	0.7	1.7	-0.3	1.4	2.4	0.7	1.7	0.41	170	340	250	43560	
78	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.59	0.5	1.2	-0.3	1.0	1.7	0.5	1.2	0.41	120	240	170	43730	
80	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.5	-0.3	0.0	0.5	0.0	0.5	0.00	30	60	100	43830	
82	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	0	0	50	43880	
84	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.00	0	0	40	43920	
86	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	0	30	43950	
88	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	20	43970	
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	43980	
92	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	43990	
94	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	10	44000	
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	44000	

Table with columns: 8.2, T [min], Q\_w [m³/s], q\_min(1) [m³/s.m], q\_max(2) [m³/s.m], Mure(1), Mure(2), Annahme, c/c', Q\_g.th [m³/s], Q\_g.eff [m³/s], Q\_g.tot [m³/s], Q\_g.ss [m³/s], c\_v [-], ΔV\_g.eff [m³], ΣV\_g.eff [m³], ΣV\_g.ges [m³], ΔV\_g.ss [m³], ΣV\_g.ss [m³], WF1, T [min], Q\_w.tot [m³/s], Q\_w.8.2 [m³/s], Q\_w.rill [m³/s]. Rows 0-130.

**A4.8.3** Aufgrund HQ100

8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,Togn1</sub>	Q <sub>ges,Togn1</sub>	ΔQ/ΔT	Q <sub>B,Tak1</sub>	Q <sub>ges,Tak1</sub>	Q <sub>B,tot</sub>	Q <sub>tot</sub>	c <sub>v</sub>	ΔV <sub>B</sub>	ΣV <sub>B,ges</sub>	ΔV <sub>ges</sub>	ΣV <sub>ges</sub>	
Q <sub>w</sub>	q <sub>min(1)</sub>	q <sub>max(2)</sub>					[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]	
[m³/s]	[m³/s.m]	[m³/s.m]																	
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00					
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	0
0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	10	10
0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	0	20	30	30
0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.86	0.0	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	0	0	40	70	70
0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.86	1.2	2.0	0.8	4.9	5.7	1.2	2.0	0.60	70	70	140	210	210
1.8	0.30	0.45	ja	nein	ja	0.86	2.7	4.5	1.3	11.1	12.9	2.7	4.5	0.60	240	310	390	600	600
3.7	0.62	0.93	ja	ja	ja	0.86	5.6	9.3	2.4	22.7	26.4	5.6	9.3	0.60	500	810	830	1430	1430
6.6	1.10	1.65	ja	ja	ja	0.86	10.0	16.6	3.6	40.5	47.1	10.0	16.6	0.60	930	1740	1550	2980	2980
10.1	1.68	2.53	ja	ja	ja	0.86	15.3	25.4	4.4	62.0	72.1	15.3	25.4	0.60	1520	3260	2520	5500	5500
13.3	2.22	3.33	ja	ja	ja	0.86	20.1	33.4	4.0	81.7	95.0	20.1	33.4	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.83	21.6	37.2	1.9	76.2	91.8	21.6	37.2	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
16.3	2.72	4.08	ja	ja	ja	0.82	22.0	38.3	0.5	74.3	90.6	22.0	38.3	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
15.6	2.60	3.90	ja	ja	ja	0.79	19.3	34.9	-1.7	58.7	74.3	19.3	34.9	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
14.2	2.37	3.55	ja	ja	ja	0.76	16.1	30.3	-2.3	45.0	59.2	16.1	30.3	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
12.5	2.08	3.13	ja	ja	ja	0.73	13.1	25.6	-2.4	33.8	46.3	13.1	25.6	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
10.9	1.82	2.73	ja	ja	ja	0.64	8.8	19.7	-2.9	19.4	30.3	8.8	19.4	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
9.6	1.60	2.40	ja	ja	ja	0.64	7.8	17.4	-1.2	17.1	26.7	7.8	17.4	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
8.6	1.43	2.15	ja	ja	ja	0.64	7.0	15.6	-0.9	15.3	23.9	7.0	15.6	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
7.7	1.28	1.93	ja	ja	ja	0.59	5.4	13.1	-1.2	11.1	18.8	5.4	13.1	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
7.0	1.17	1.75	ja	ja	ja	0.59	4.9	11.9	-0.6	10.1	17.1	4.9	11.9	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
6.4	1.07	1.60	ja	ja	ja	0.59	4.5	10.9	-0.5	9.2	15.6	4.5	10.9	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
5.9	0.98	1.48	ja	ja	ja	0.59	4.2	10.1	-0.4	8.5	14.4	4.2	10.1	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
5.4	0.90	1.35	ja	ja	ja	0.59	3.8	9.2	-0.4	7.8	13.2	3.8	9.2	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
4.9	0.82	1.23	ja	ja	ja	0.59	3.4	8.3	-0.4	7.1	12.0	3.4	8.3	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
4.5	0.75	1.13	ja	ja	ja	0.59	3.2	7.7	-0.3	6.5	11.0	3.2	7.7	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
4.1	0.68	1.03	ja	ja	ja	0.59	2.9	7.0	-0.3	5.9	10.0	2.9	7.0	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
3.5	0.58	0.88	ja	ja	ja	0.59	2.5	6.0	-0.5	5.0	8.5	2.5	6.0	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
2.9	0.48	0.73	ja	ja	ja	0.59	2.0	4.9	-0.5	4.2	7.1	2.0	4.9	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
2.2	0.37	0.55	ja	nein	ja	0.59	1.5	3.7	-0.6	3.2	5.4	1.5	3.7	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
1.6	0.27	0.40	ja	nein	ja	0.59	1.1	2.7	-0.5	2.3	3.9	1.1	2.7	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
1.2	0.20	0.30	ja	nein	ja	0.59	0.8	2.0	-0.3	1.7	2.9	0.8	2.0	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
0.8	0.13	0.20	ja	nein	ja	0.59	0.6	1.4	-0.3	1.2	2.0	0.6	1.4	0.60	1930	4130	3130	6530	6530
0.6	0.10	0.15	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.6	-0.4	0.0	0.6	0.0	0.6	0.00	30	57540	120	49230	49230
0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	0	57540	60	49290	49290
0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.00	0	57540	40	49330	49330
0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	57540	30	49360	49360
0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	57540	20	49380	49380
0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	57540	20	49400	49400
0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	57540	10	49410	49410
0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	57540	10	49420	49420
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	10	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430
0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	57540	0	49430	49430

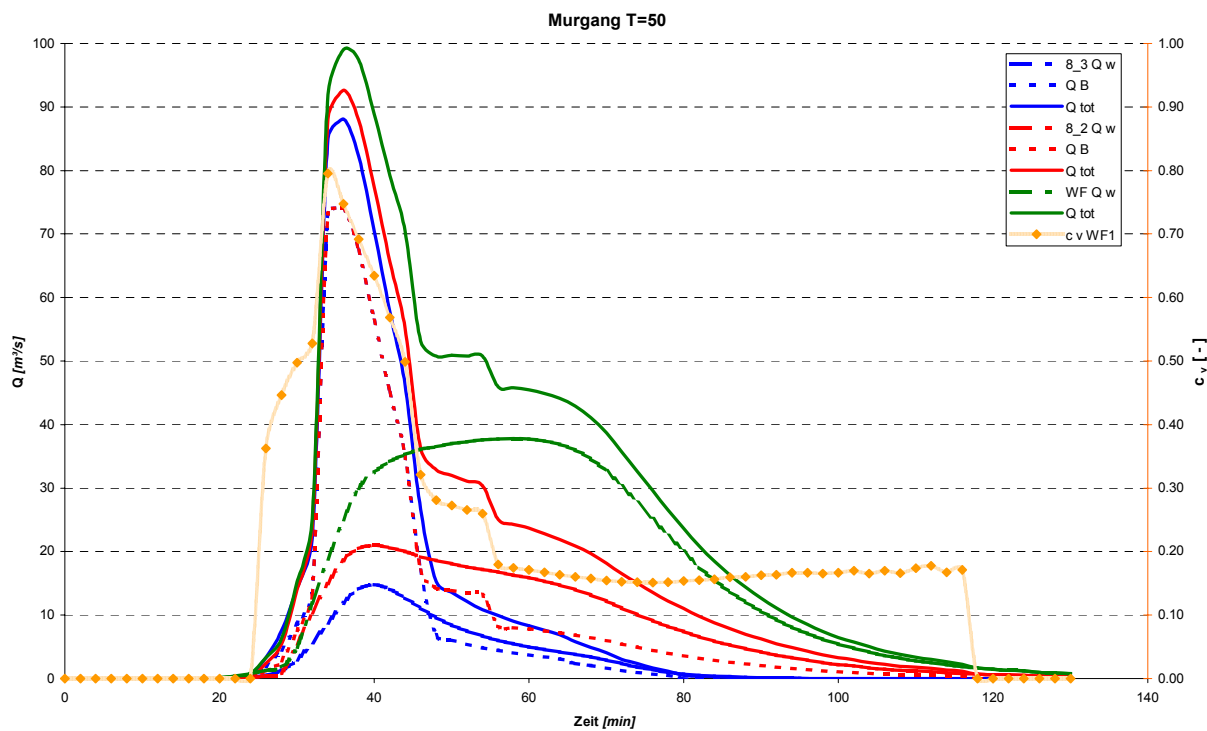
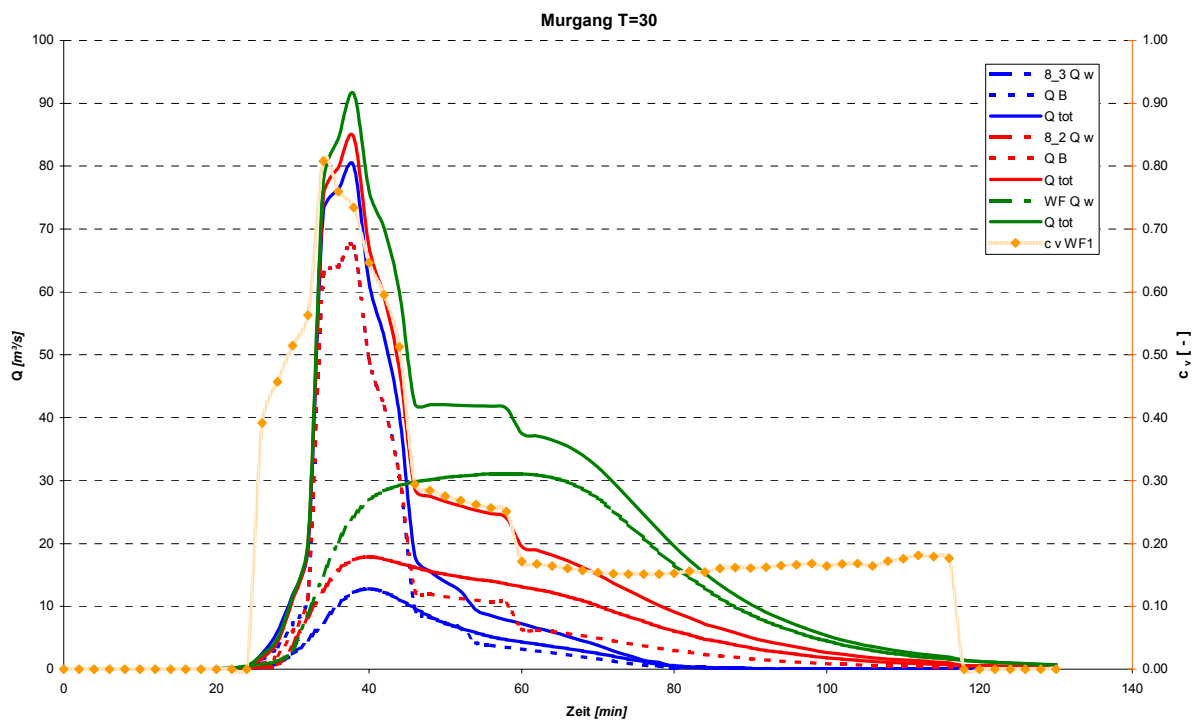


### A4.8.4 Aufgrund HQ300

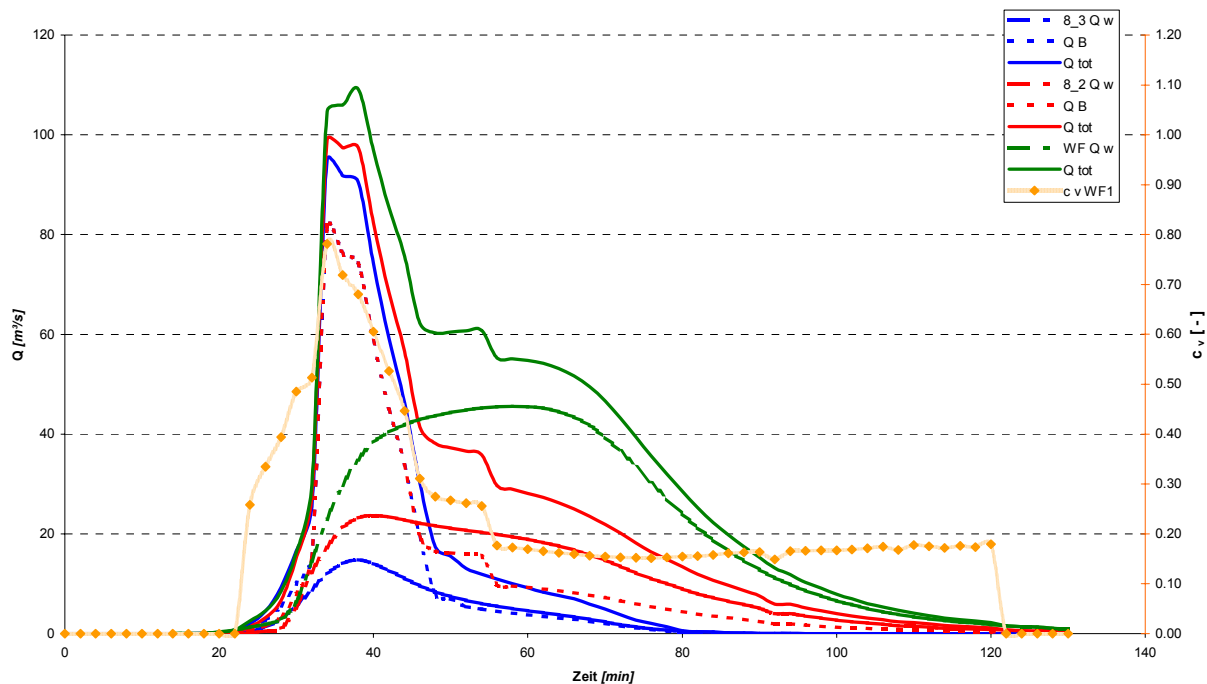
Station		8_3			Mure(1)	Mure(2)	Annahme	c/c*	Q <sub>B,Togn1</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,Togn1</sub> [m³/s]	ΔQ/ΔT	Q <sub>B,Tak1</sub> [m³/s]	Q <sub>ges,Tak1</sub> [m³/s]	Q <sub>B,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>tot</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	ΔV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>B,ges</sub> [m³]	ΔV <sub>ges</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]
T [min]	Q <sub>w</sub> [m³/s]	q <sub>min</sub> (1) [m³/s.m]	q <sub>max</sub> (2) [m³/s.m]																	
0	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
2	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
4	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
6	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
8	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
10	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
12	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
14	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0	0	0	
16	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	0	10	10	
18	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.86	0.0	0.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	0	20	30	
20	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.86	0.0	0.4	0.1	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	0	0	40	70	
22	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.86	1.1	1.8	0.7	4.3	5.0	1.1	1.8	0.60	60	60	130	200	
24	1.3	0.22	0.33	ja	nein	ja	0.86	2.0	3.3	0.8	8.0	9.3	2.0	3.3	0.60	180	240	300	500	
26	2.6	0.43	0.65	ja	ja	ja	0.86	3.9	6.5	1.6	16.0	18.6	3.9	6.5	0.60	350	590	590	1090	
28	5.0	0.83	1.25	ja	ja	ja	0.86	7.6	12.6	3.0	30.7	35.7	7.6	12.6	0.60	690	1280	1150	2240	
30	8.5	1.42	2.13	ja	ja	ja	0.86	12.9	21.4	4.4	52.2	60.7	12.9	21.4	0.60	1230	2510	2040	4280	
32	12.6	2.10	3.15	ja	ja	ja	0.86	19.1	31.7	5.2	77.4	90.0	19.1	31.7	0.60	1910	4420	3180	7460	
34	16.3	2.72	4.08	ja	ja	ja	0.85	23.9	40.2	4.3	92.4	108.7	23.9	40.2	0.85	6990	11110	4310	11770	
36	19.0	3.17	4.75	ja	ja	ja	0.83	26.3	45.3	2.5	92.8	111.8	26.3	45.3	0.83	11110	22220	5140	16910	
38	19.7	3.28	4.93	ja	ja	ja	0.80	25.1	44.8	-0.3	78.8	98.5	25.1	44.8	0.80	10290	32510	5410	22320	
40	18.8	3.13	4.70	ja	ja	ja	0.77	22.0	40.8	-2.0	62.9	81.7	22.0	40.8	0.77	8500	41010	5130	27450	
42	17.0	2.83	4.25	ja	ja	ja	0.70	16.3	33.3	-3.7	39.7	56.7	16.3	33.3	0.70	6160	41710	4450	31900	
44	15.0	2.50	3.75	ja	ja	ja	0.64	12.2	27.2	-3.1	26.7	41.7	12.2	27.2	0.45	3110	50280	3630	35530	
46	13.2	2.20	3.30	ja	ja	ja	0.64	10.7	23.9	-1.6	23.5	36.7	10.7	23.9	0.45	1370	51650	3070	38600	
48	11.7	1.95	2.93	ja	ja	ja	0.64	9.5	21.2	-1.4	20.8	32.5	9.5	21.2	0.45	1210	52860	2710	41310	
50	10.5	1.75	2.63	ja	ja	ja	0.59	7.4	17.9	-1.7	15.1	25.6	7.4	17.9	0.41	1010	53870	2340	43650	
52	9.5	1.58	2.38	ja	ja	ja	0.59	6.7	16.2	-0.9	13.7	23.2	6.7	16.2	0.41	840	54710	2040	45690	
54	8.6	1.43	2.15	ja	ja	ja	0.59	6.1	14.7	-0.8	12.4	21.0	6.1	14.7	0.41	760	55470	1850	47540	
56	7.9	1.32	1.98	ja	ja	ja	0.59	5.6	13.5	-0.6	11.4	19.3	5.6	13.5	0.41	700	56170	1690	49230	
58	7.3	1.22	1.83	ja	ja	ja	0.59	5.1	12.4	-0.5	10.5	17.8	5.1	12.4	0.41	640	56810	1550	50780	
60	6.7	1.12	1.68	ja	ja	ja	0.59	4.7	11.4	-0.5	9.6	16.3	4.7	11.4	0.41	590	57400	1430	52210	
62	6.1	1.02	1.53	ja	ja	ja	0.59	4.3	10.4	-0.5	8.8	14.9	4.3	10.4	0.41	540	57940	1310	53520	
64	5.6	0.93	1.40	ja	ja	ja	0.59	3.9	9.5	-0.4	8.1	13.7	3.9	9.5	0.41	490	58430	1200	54720	
66	5.1	0.85	1.28	ja	ja	ja	0.59	3.6	8.7	-0.4	7.3	12.4	3.6	8.7	0.41	450	58880	1090	55810	
68	4.4	0.73	1.10	ja	ja	ja	0.59	3.1	7.5	-0.6	6.3	10.7	3.1	7.5	0.41	400	59280	970	56780	
70	3.6	0.60	0.90	ja	ja	ja	0.59	2.5	6.1	-0.7	5.2	8.8	2.5	6.1	0.41	340	59620	820	57600	
72	2.7	0.45	0.68	ja	ja	ja	0.59	1.9	4.6	-0.8	3.9	6.6	1.9	4.6	0.41	270	59890	640	58240	
74	2.1	0.35	0.53	ja	nein	ja	0.59	1.5	3.6	-0.5	3.0	5.1	1.5	3.6	0.41	200	60090	490	58730	
76	1.5	0.25	0.38	ja	nein	ja	0.59	1.1	2.6	-0.5	2.2	3.7	1.1	2.6	0.41	150	60240	370	59100	
78	1.0	0.17	0.25	ja	nein	ja	0.59	0.7	1.7	-0.4	1.4	2.4	0.7	1.7	0.41	110	60350	260	59360	
80	0.7	0.12	0.18	ja	nein	ja	0.59	0.5	1.2	-0.3	1.0	1.7	0.5	1.2	0.41	70	60420	170	59530	
82	0.5	0.08	0.13	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.5	-0.3	0.0	0.5	0.0	0.5	0.00	30	60450	100	59630	
84	0.4	0.07	0.10	ja	nein	nein	0.59	0.0	0.4	-0.1	0.0	0.4	0.0	0.4	0.00	0	60450	50	59680	
86	0.3	0.05	0.08	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.3	-0.1	0.0	0.3	0.0	0.3	0.00	0	60450	40	59720	
88	0.2	0.03	0.05	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.00	0	60450	30	59750	
90	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	60450	20	59770	
92	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	60450	10	59780	
94	0.1	0.02	0.03	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.00	0	60450	10	59790	
96	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	10	59800	
98	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
100	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
102	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
104	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
106	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
108	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
110	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
112	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
114	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
116	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
118	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
120	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
122	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
124	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
126	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
128	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	
130	0.0	0.00	0.00	nein	nein	nein	0.59	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	60450	0	59800	



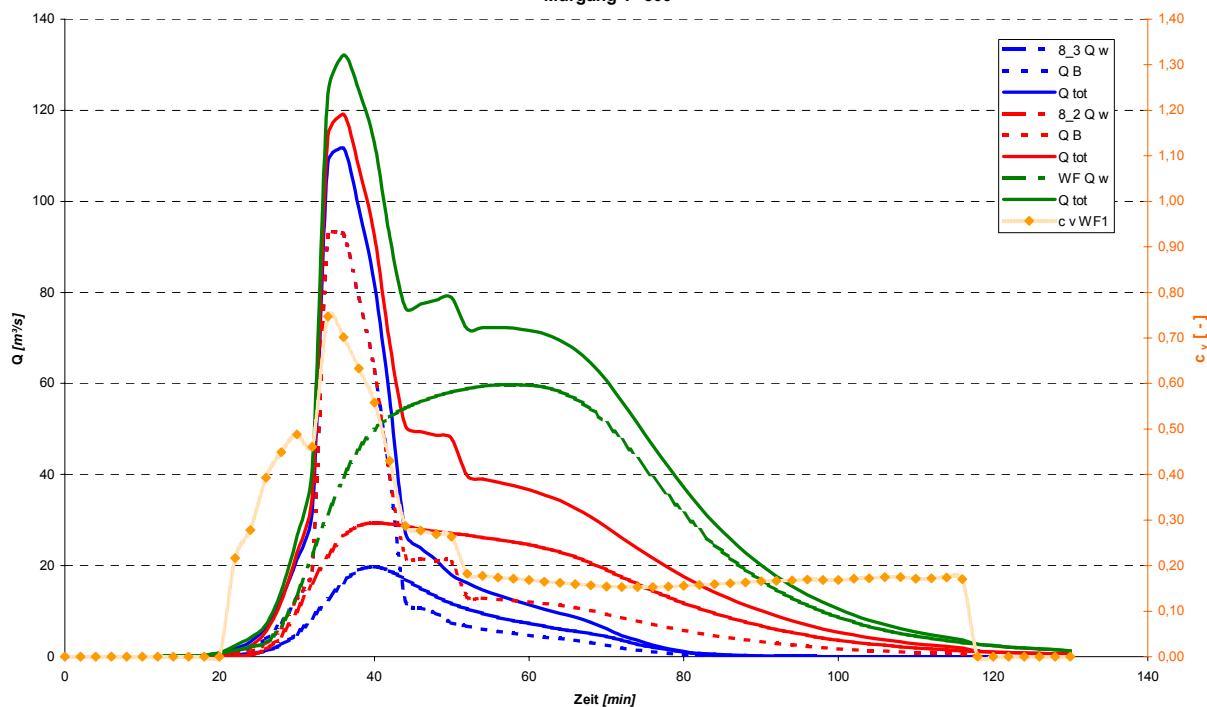
A4.8.5 Diagramme



Murgang T=100



Murgang T=300





## A4.9 Zusammenfassung der berechneten Murfrachten

Übersicht über die Ergebnisse, die mit Hilfe 4 verschiedener Methoden ermittelt worden sind

	verw. Formel für $Q_{max,ges}$	ang. Szenario	Bezeichnung
Meth. 1	Tognacca	a	Togn 1
Meth. 2	Tognacca	b	Togn 2
Meth. 3	Takahashi	a	Tak 1
Meth. 4	Takahashi	b	Tak 2
Meth. 5	Komb. 1+3		Komb.

	Methode	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$				
		[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]				
		<b>MQ30</b>				<b>30</b>	<b>MQ50</b>				<b>50</b>	<b>MQ100</b>				<b>100</b>	<b>MQ300</b>				<b>300</b>
<b>8_3</b>	Togn 1	12.8	19.4	32.2	26020	14.8	22.4	37.2	30220	16.3	24.7	41.0	34110	19.7	29.8	49.5	41040				
	Togn 2	12.8	19.4	32.2	26020	14.8	22.4	37.2	30220	16.3	24.7	41.0	34110	19.7	29.8	49.5	41040				
	Tak 1	12.8	67.2	80.0	64130	14.8	72.3	87.1	67460	16.3	81.9	97.5	70060	19.7	81.0	100.0	76350				
	Tak 2	12.8	67.2	80.0	64130	14.8	72.3	87.1	67460	16.3	81.9	97.5	70060	19.7	81.0	100.0	76350				
	Komb	12.8	67.2	80.0	48110	14.8	74.0	88.1	53790	16.3	81.7	95.0	57540	19.7	92.8	111.8	60450				
<b>8_2</b>	Togn 1	17.9	19.4	36.8	35660	21.0	22.4	42.9	41230	23.7	24.7	47.9	46730	29.4	29.8	58.5	57950				
	Togn 2	17.9	22.9	40.8	41030	21.0	26.8	47.6	47900	23.7	29.9	53.5	55150	29.4	36.7	65.4	68340				
	Tak 1	17.9	67.2	84.6	82990	21.0	72.3	92.8	92550	23.7	81.9	103.1	102310	29.4	81.0	107.4	120270				
	Tak 2	17.9	74.7	92.1	90100	21.0	81.6	102.1	98640	23.7	91.0	112.2	107070	29.4	93.1	119.5	124830				
	Komb	17.9	67.2	67.2	58730	21.0	74.0	92.6	66440	23.7	81.7	99.0	73220	29.4	92.8	92.8	82530				
<b>WF1</b>	Togn 1	31.1	19.4	45.5	35660	37.8	22.4	53.8	41230	45.6	24.7	61.9	46730	59.8	29.8	79.5	57950				
	Togn 2	31.1	22.9	50.1	41030	37.8	26.8	59.5	47900	45.6	29.9	68.1	55150	59.8	36.7	85.9	68340				
	Tak 1	31.1	67.2	91.5	82990	37.8	72.3	102.3	92550	45.6	81.9	111.7	102310	59.8	81.0	120.4	120270				
	Tak 2	31.1	74.7	99.0	90100	37.8	81.6	111.6	98640	45.6	91.0	120.8	107070	59.8	93.1	134.4	124830				
	Komb	31.1	67.2	84.6	58730	37.8	74.0	99.0	66440	45.6	81.7	109.2	73220	59.8	92.8	119.2	82530				

Stelle	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$	$Q_{max,w}$	$Q_{max,B}$	$Q_{max,ges}$	$V_B$
	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> ]
	<b>häufiger Murgang</b>				<b>seltener Murgang</b>				<b>sehr seltener Murgang</b>			
<b>8_3</b>	12.8	67.2	80.0	48000	16.3	81.7	95.0	58000	19.7	92.8	111.8	60000
<b>8_2</b>	17.9	67.2	84.6	59000	23.7	81.7	99.0	73000	29.4	92.8	119.2	83000
<b>WF1</b>	31.1	67.2	91.5	59000	45.6	81.7	109.2	73000	59.8	92.8	132.2	83000

## A4.10 Berechnung der Geschiebefrachten mit empirischen Formeln

### Geschiebefrachtformeln

Hampel (1977)	$M = 150 E (I_K [\%] - 3)^{2,3}$ $I_K [\%] \dots$ Schwemmkegelgefälle	
Hampel (1980)	$M = \{4,47 * E * h_{100} * \psi_0 * (1 - H_u / 2400) * (I_K [\%] - 1,28)^{2,63}\} / I [\%]$ $h_{100} \dots$ 100-jährlicher 24-Stundenregen $\psi_0 \dots$ Abflußreduktion durch Versickerung $H_u \dots$ Seehöhe des Talbodens im Bereich der Mündung $I_K [\%] \dots$ Schwemmkegelgefälle $I [\%] \dots$ Gerinneneigung	
Marchi e Tecca (1996)	$M = 7000 * E$	
VAW (1990)	$M = (6,4 * I_K [\%] - 23) * L$ für $7\% < I_K < 15\%$ $M = (110 - 2,5 * I_K [\%]) * L$ für $15\% < I_K < 40\%$	
Takei (1984)	$M = c * 13600 * E^{0,61}$ $c \dots$ Korrekturfaktor abhängig von der Überschreitungswahrscheinlichkeit des Ereignisses	
Zeller (1985)	$M = (17000 - 27000) * E^{0,78}$	

Einzugsgebiet		<b>Tschenglsler Bach</b>
Fläche	[km <sup>2</sup> ]	10,71
Höhe	[m]	870
mittlere Neigung Gerinne	[%]	24
mittlere Neigung Gerinne	[°]	13,50
mittlere Murkegelneigung	[%]	8
mittlere Murkegelneigung	[°]	4,57
h <sub>100</sub>	[mm]	130
ψ <sub>0</sub>		0,5
Lauflänge	[m]	3000
Hampel (1977)	[m <sup>3</sup> ]	65.000
Hampel (1980)	[m <sup>3</sup> ]	38.000
Marchi e Tecca (1996)	[m <sup>3</sup> ]	75.000
VAW (1990)	[m <sup>3</sup> ]	85.000
Takei (1984)	[m <sup>3</sup> ]	58.000
Zeller <sub>max</sub> (1985)	[m <sup>3</sup> ]	172.000
Zeller <sub>min</sub> (1985)	[m <sup>3</sup> ]	108.000



GRB 1 o/s					GRB 1 u/s					Flo - 2d						
Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB2u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB1u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	T [min]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4333	0.0	0.00
0.3	0.0	0.3	0.00	1000	0	20	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4667	0.0	0.00
0.5	0.0	0.5	0.00	1000	0	70	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5000	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	160	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5333	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	280	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5667	0.0	0.00
0.5	0.5	1.0	0.48	1792	30	400	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6000	0.0	0.00
0.9	1.1	2.0	0.54	1892	120	580	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6333	0.0	0.00
1.2	1.8	3.0	0.59	1977	290	880	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6667	0.0	0.00
1.4	7.6	9.0	0.85	2402	860	1600	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7000	0.0	0.00
9.3	36.7	46.0	0.80	2317	3520	4900	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7333	0.0	0.00
16.6	56.4	73.0	0.77	2274	9110	12040	16.6	56.4	73.0	0.77	2274	2110	4380	0.7667	16.6	0.77
22.1	46.9	69.0	0.68	2122	15310	20560	22.1	46.9	69.0	0.68	2122	8310	12900	0.8000	22.1	0.68
22.5	37.5	60.0	0.63	2033	20380	28300	22.5	37.5	60.0	0.63	2033	13380	20640	0.8333	22.5	0.63
24.0	28.0	52.0	0.54	1889	24310	35020	24.0	28.0	52.0	0.54	1889	17310	27360	0.8667	24.0	0.54
31.8	14.2	46.0	0.31	1510	26850	40900	31.8	14.2	46.0	0.31	1510	19850	33240	0.9000	31.8	0.31
30.8	13.2	44.0	0.30	1493	28490	46300	30.8	13.2	44.0	0.30	1493	21490	38640	0.9333	30.8	0.30
29.8	12.2	42.0	0.29	1477	30010	51460	29.8	12.2	42.0	0.29	1477	23010	43800	0.9667	29.8	0.29
30.1	11.9	42.0	0.28	1466	31450	56500	30.1	11.9	42.0	0.28	1466	24450	48840	1.0000	30.1	0.28
30.4	11.6	42.0	0.28	1454	32860	61540	30.4	11.6	42.0	0.28	1454	25860	53880	1.0333	30.4	0.28
29.9	11.1	41.0	0.27	1445	34220	66520	29.9	11.1	41.0	0.27	1445	27220	58860	1.0667	29.9	0.27
29.4	10.6	40.0	0.26	1436	35520	71380	29.4	10.6	40.0	0.26	1436	28520	63720	1.1000	29.4	0.26
31.2	6.8	38.0	0.18	1297	36560	76060	31.2	6.8	38.0	0.18	1297	29560	68400	1.1333	31.2	0.18
30.5	6.5	37.0	0.18	1291	37360	80560	30.5	6.5	37.0	0.18	1291	30360	72900	1.1667	30.5	0.18
29.8	6.2	36.0	0.17	1284	38120	84940	29.8	6.2	36.0	0.17	1284	31120	77280	1.2000	29.8	0.17
29.1	5.9	35.0	0.17	1278	38850	89200	29.1	5.9	35.0	0.17	1278	31850	81540	1.2333	29.1	0.17
27.6	5.4	33.0	0.17	1272	39530	93280	27.6	5.4	33.0	0.17	1272	32530	85620	1.2667	27.6	0.17
26.8	5.2	32.0	0.16	1267	40170	97180	26.8	5.2	32.0	0.16	1267	33170	89520	1.3000	26.8	0.16
24.4	4.6	29.0	0.16	1263	40760	100840	24.4	4.6	29.0	0.16	1263	33760	93180	1.3333	24.4	0.16
22.7	4.3	27.0	0.16	1263	41300	104200	22.7	4.3	27.0	0.16	1263	34300	96540	1.3667	22.7	0.16
21.0	4.0	25.0	0.16	1263	41800	107320	21.0	4.0	25.0	0.16	1263	34800	99660	1.4000	21.0	0.16
18.5	3.5	22.0	0.16	1263	42250	110140	18.5	3.5	22.0	0.16	1263	35250	102480	1.4333	18.5	0.16
16.8	3.2	20.0	0.16	1265	42650	112660	16.8	3.2	20.0	0.16	1265	35650	105000	1.4667	16.8	0.16
15.0	3.0	18.0	0.16	1270	43020	114940	15.0	3.0	18.0	0.16	1270	36020	107280	1.5000	15.0	0.16
13.4	2.6	16.0	0.16	1268	43350	116980	13.4	2.6	16.0	0.16	1268	36350	109320	1.5333	13.4	0.16
12.5	2.5	15.0	0.17	1278	43660	118840	12.5	2.5	15.0	0.17	1278	36660	111180	1.5667	12.5	0.17
10.8	2.2	13.0	0.17	1281	43940	120520	10.8	2.2	13.0	0.17	1281	36940	112860	1.6000	10.8	0.17
10.0	2.0	12.0	0.17	1279	44190	122020	10.0	2.0	12.0	0.17	1279	37190	114360	1.6333	10.0	0.17
9.1	1.9	11.0	0.17	1281	44420	123400	9.1	1.9	11.0	0.17	1281	37420	115740	1.6667	9.1	0.17
8.3	1.7	10.0	0.17	1286	44640	124660	8.3	1.7	10.0	0.17	1286	37640	117000	1.7000	8.3	0.17
7.4	1.6	9.0	0.17	1288	44840	125800	7.4	1.6	9.0	0.17	1288	37840	118140	1.7333	7.4	0.17
6.6	1.4	8.0	0.18	1291	45020	126820	6.6	1.4	8.0	0.18	1291	38020	119160	1.7667	6.6	0.18
5.8	1.2	7.0	0.17	1284	45180	127720	5.8	1.2	7.0	0.17	1284	38180	120060	1.8000	5.8	0.17
4.9	1.1	6.0	0.18	1291	45320	128500	4.9	1.1	6.0	0.18	1291	38320	120840	1.8333	4.9	0.18
4.9	1.1	6.0	0.18	1291	45450	129220	4.9	1.1	6.0	0.18	1291	38450	121560	1.8667	4.9	0.18
4.1	0.9	5.0	0.17	1284	45570	129880	4.1	0.9	5.0	0.17	1284	38570	122220	1.9000	4.1	0.17
4.1	0.9	5.0	0.18	1298	45680	130480	4.1	0.9	5.0	0.18	1298	38680	122820	1.9333	4.1	0.18
3.3	0.7	4.0	0.18	1305	45780	131020	3.3	0.7	4.0	0.18	1305	38780	123360	1.9667	3.3	0.18
3.2	0.8	4.0	0.19	1314	45870	131500	3.2	0.8	4.0	0.19	1314	38870	123840	2.0000	3.2	0.19
2.4	0.6	3.0	0.19	1310	45950	131920	2.4	0.6	3.0	0.19	1310	38950	124260	2.0333	2.4	0.19
2.4	0.6	3.0	0.19	1306	46020	132280	2.4	0.6	3.0	0.19	1306	39020	124620	2.0667	2.4	0.19
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	46050	132640	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	39050	124980	2.1000	3.0	0.00
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	46050	133000	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	39050	125340	2.1333	3.0	0.00
2.0	0.0	2.0	0.00	1000	46050	133300	2.0	0.0	2.0	0.00	1000	39050	125640	2.1667	2.0	0.00



GRB 1 o/s						GRB 1 u/s						Flo - 2d				
Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB2u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB1o/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	T [min]	Q <sub>W,tot</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3667	0.0	0.00
0.7	0.0	0.7	0.00	1000	0	40	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4000	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	140	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4333	0.0	0.00
1.3	0.0	1.3	0.00	1000	0	280	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4667	0.0	0.00
1.6	0.0	1.6	0.00	1000	0	450	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5000	0.0	0.00
2.0	0.0	2.0	0.00	1000	0	670	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5333	0.0	0.00
2.4	0.0	2.4	0.00	1000	0	930	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5667	0.0	0.00
1.9	1.1	3.0	0.36	1598	70	1250	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6000	0.0	0.00
1.7	1.3	3.0	0.45	1736	220	1610	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6333	0.0	0.00
1.5	1.5	3.0	0.50	1821	390	1970	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6667	0.0	0.00
9.4	10.6	20.0	0.53	1871	1110	3350	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7000	0.0	0.00
15.5	60.5	76.0	0.80	2312	5370	9110	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7333	0.0	0.00
20.7	61.3	82.0	0.75	2233	12680	18590	20.7	61.3	82.0	0.75	2233	5880	4920	0.7667	20.7	0.75
22.8	51.2	74.0	0.69	2142	19430	27950	22.8	51.2	74.0	0.69	2142	12430	14280	0.8000	22.8	0.69
23.8	41.2	65.0	0.63	2047	24980	36290	23.8	41.2	65.0	0.63	2047	17980	22620	0.8333	23.8	0.63
24.6	32.4	57.0	0.57	1938	29400	43610	24.6	32.4	57.0	0.57	1938	22400	29940	0.8667	24.6	0.57
26.6	26.4	53.0	0.50	1823	32930	50210	26.6	26.4	53.0	0.50	1823	25930	36540	0.9000	26.6	0.50
34.6	16.4	51.0	0.32	1530	35500	56450	34.6	16.4	51.0	0.32	1530	28500	42780	0.9333	34.6	0.32
36.0	14.0	50.0	0.28	1464	37330	62510	36.0	14.0	50.0	0.28	1464	30330	48840	0.9667	36.0	0.28
35.6	13.4	49.0	0.27	1450	38970	68450	35.6	13.4	49.0	0.27	1450	31970	54780	1.0000	35.6	0.27
34.5	12.5	47.0	0.27	1438	40520	74210	34.5	12.5	47.0	0.27	1438	33520	60540	1.0333	34.5	0.27
34.1	11.9	46.0	0.26	1428	41990	79790	34.1	11.9	46.0	0.26	1428	34990	66120	1.0667	34.1	0.26
37.8	8.2	46.0	0.18	1296	43200	85310	37.8	8.2	46.0	0.18	1296	36200	71640	1.1000	37.8	0.18
37.1	7.9	45.0	0.17	1288	44170	90770	37.1	7.9	45.0	0.17	1288	37170	77100	1.1333	37.1	0.17
36.5	7.5	44.0	0.17	1283	45090	96110	36.5	7.5	44.0	0.17	1283	38090	82440	1.1667	36.5	0.17
35.0	7.0	42.0	0.17	1276	45960	101270	35.0	7.0	42.0	0.17	1276	38960	87600	1.2000	35.0	0.17
34.3	6.7	41.0	0.16	1270	46780	106250	34.3	6.7	41.0	0.16	1270	39780	92580	1.2333	34.3	0.16
31.9	6.1	38.0	0.16	1264	47550	110990	31.9	6.1	38.0	0.16	1264	40550	97320	1.2667	31.9	0.16
30.3	5.7	36.0	0.16	1260	48260	115430	30.3	5.7	36.0	0.16	1260	41260	101760	1.3000	30.3	0.16
27.9	5.1	33.0	0.15	1255	48910	119570	27.9	5.1	33.0	0.15	1255	41910	105900	1.3333	27.9	0.15
26.3	4.7	31.0	0.15	1251	49500	123410	26.3	4.7	31.0	0.15	1251	42500	109740	1.3667	26.3	0.15
23.8	4.2	28.0	0.15	1250	50040	126950	23.8	4.2	28.0	0.15	1250	43040	113280	1.4000	23.8	0.15
21.2	3.8	25.0	0.15	1249	50520	130130	21.2	3.8	25.0	0.15	1249	43520	116460	1.4333	21.2	0.15
19.5	3.5	23.0	0.15	1250	50960	133010	19.5	3.5	23.0	0.15	1250	43960	119340	1.4667	19.5	0.15
16.9	3.1	20.0	0.15	1253	51350	135590	16.9	3.1	20.0	0.15	1253	44350	121920	1.5000	16.9	0.15
15.2	2.8	18.0	0.16	1256	51700	137870	15.2	2.8	18.0	0.16	1256	44700	124200	1.5333	15.2	0.16
13.5	2.5	16.0	0.16	1258	52020	139910	13.5	2.5	16.0	0.16	1258	45020	126240	1.5667	13.5	0.16
12.6	2.4	15.0	0.16	1263	52310	141770	12.6	2.4	15.0	0.16	1263	45310	128100	1.6000	12.6	0.16
11.8	2.2	14.0	0.16	1264	52590	143510	11.8	2.2	14.0	0.16	1264	45590	129840	1.6333	11.8	0.16
10.0	2.0	12.0	0.16	1268	52840	145070	10.0	2.0	12.0	0.16	1268	45840	131400	1.6667	10.0	0.16
9.2	1.8	11.0	0.16	1269	53060	146450	9.2	1.8	11.0	0.16	1269	46060	132780	1.7000	9.2	0.16
8.3	1.7	10.0	0.17	1275	53270	147710	8.3	1.7	10.0	0.17	1275	46270	134040	1.7333	8.3	0.17
7.5	1.5	9.0	0.17	1275	53460	148850	7.5	1.5	9.0	0.17	1275	46460	135180	1.7667	7.5	0.17
6.7	1.3	8.0	0.17	1272	53630	149870	6.7	1.3	8.0	0.17	1272	46630	136200	1.8000	6.7	0.17
5.8	1.2	7.0	0.17	1275	53780	150770	5.8	1.2	7.0	0.17	1275	46780	137100	1.8333	5.8	0.17
5.0	1.0	6.0	0.17	1280	53910	151550	5.0	1.0	6.0	0.17	1280	46910	137880	1.8667	5.0	0.17
5.0	1.0	6.0	0.17	1273	54030	152270	5.0	1.0	6.0	0.17	1273	47030	138600	1.9000	5.0	0.17
4.2	0.8	5.0	0.17	1280	54140	152930	4.2	0.8	5.0	0.17	1280	47140	139260	1.9333	4.2	0.17
4.2	0.8	5.0	0.17	1274	54240	153530	4.2	0.8	5.0	0.17	1274	47240	139860	1.9667	4.2	0.17
3.3	0.7	4.0	0.17	1287	54330	154070	3.3	0.7	4.0	0.17	1287	47330	140400	2.0000	3.3	0.17
3.3	0.7	4.0	0.18	1293	54410	154550	3.3	0.7	4.0	0.18	1293	47410	140880	2.0333	3.3	0.18
2.5	0.5	3.0	0.17	1276	54480	154970	2.5	0.5	3.0	0.17	1276	47480	141300	2.0667	2.5	0.17
2.5	0.5	3.0	0.17	1282	54540	155330	2.5	0.5	3.0	0.17	1282	47540	141660	2.1000	2.5	0.17
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	54570	155890	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	47570	142020	2.1333	3.0	0.00
2.0	0.0	2.0	0.00	1000	54570	155990	2.0	0.0	2.0	0.00	1000	47570	142320	2.1667	2.0	0.00



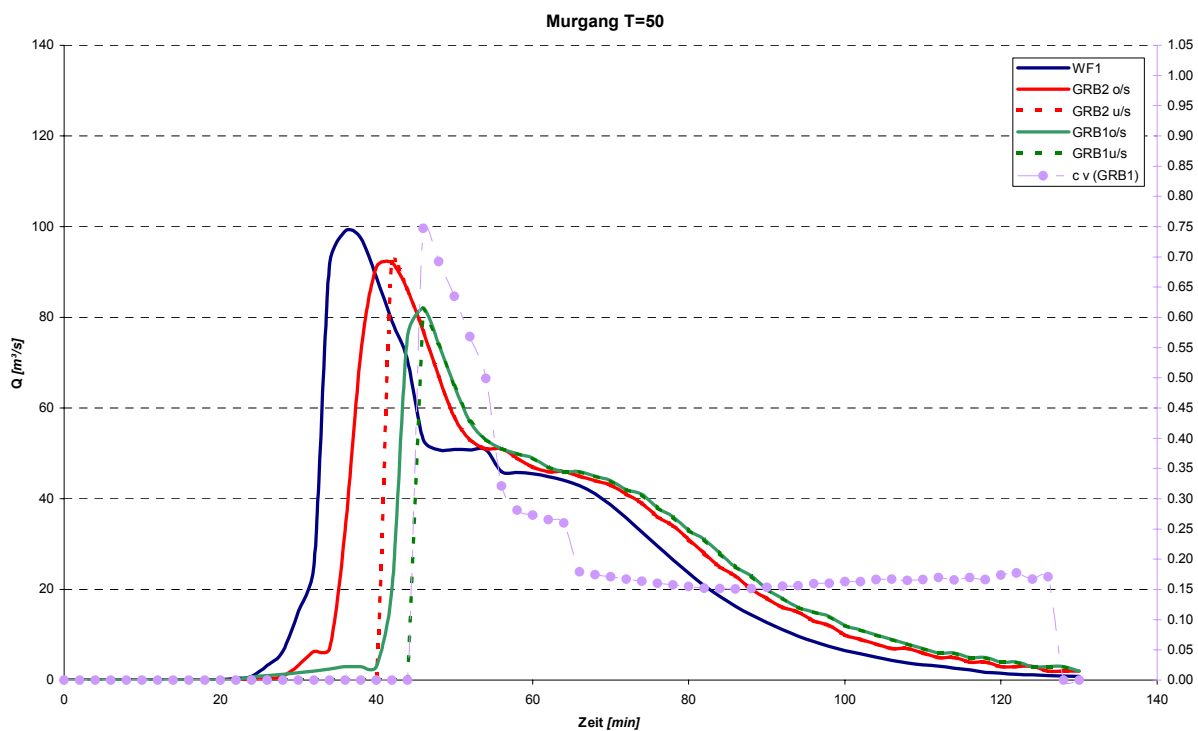
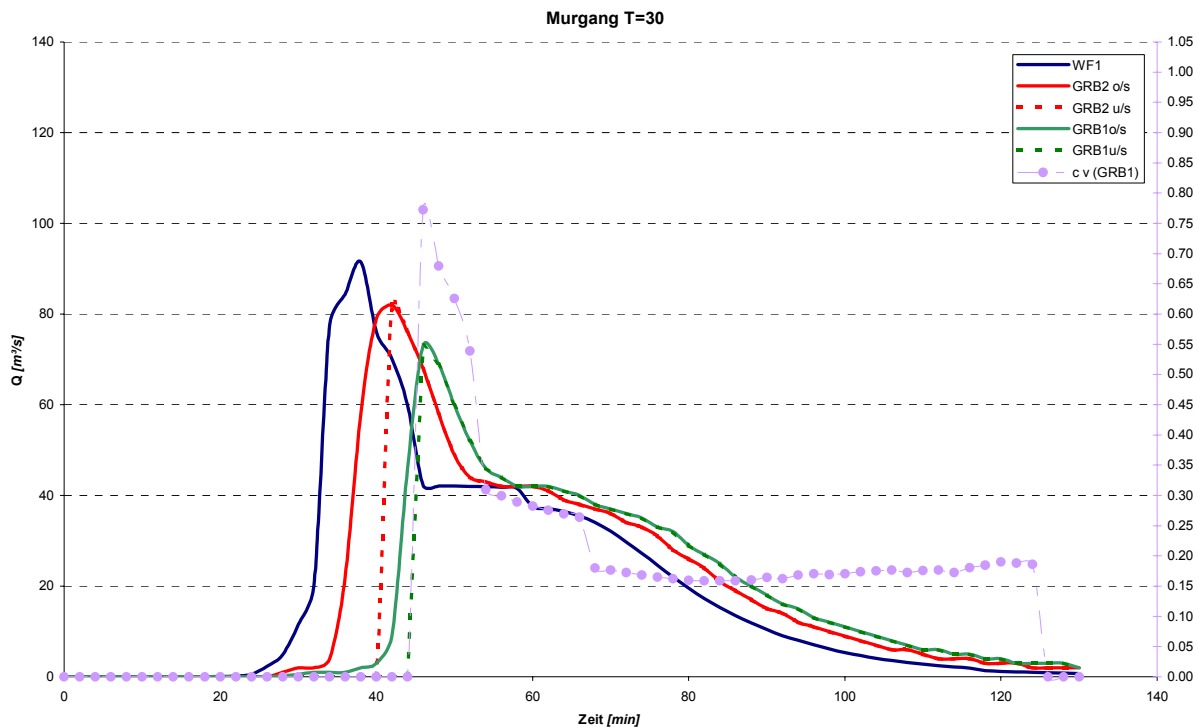
GRB 1 o/s						GRB 1 u/s						Flo - 2d				
Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB2u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB1o/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	T [min]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4333	0.0	0.00
0.3	0.0	0.3	0.00	1000	0	20	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4667	0.0	0.00
0.5	0.0	0.5	0.00	1000	0	70	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5000	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	160	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5333	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	280	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5667	0.0	0.00
1.0	1.0	2.0	0.50	1828	60	460	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6000	0.0	0.00
1.4	1.6	3.0	0.53	1876	220	760	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6333	0.0	0.00
2.1	8.9	11.0	0.81	2334	850	1600	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6667	0.0	0.00
16.1	46.9	63.0	0.74	2228	4200	6040	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7000	0.0	0.00
28.7	68.3	97.0	0.70	2162	11110	15640	28.7	68.3	97.0	0.70	2162	4110	5820	0.7333	28.7	0.70
35.5	59.5	95.0	0.63	2033	18780	27160	35.5	59.5	95.0	0.63	2033	11780	17340	0.7667	35.5	0.63
39.1	46.9	86.0	0.55	1900	25160	38020	39.1	46.9	86.0	0.55	1900	18160	28200	0.8000	39.1	0.55
40.9	35.1	76.0	0.46	1763	30080	47740	40.9	35.1	76.0	0.46	1763	23080	37920	0.8333	40.9	0.46
46.1	21.9	68.0	0.32	1531	33500	56380	46.1	21.9	68.0	0.32	1531	26500	46560	0.8667	46.1	0.32
45.1	17.9	63.0	0.28	1469	35890	64240	45.1	17.9	63.0	0.28	1469	28890	54420	0.9000	45.1	0.28
44.1	16.9	61.0	0.28	1457	37980	71680	44.1	16.9	61.0	0.28	1457	30980	61860	0.9333	44.1	0.28
43.8	16.2	60.0	0.27	1447	39970	78940	43.8	16.2	60.0	0.27	1447	32970	69120	0.9667	43.8	0.27
43.4	15.6	59.0	0.27	1437	41880	86080	43.4	15.6	59.0	0.27	1437	34880	76260	1.0000	43.4	0.27
47.4	10.6	58.0	0.18	1302	43450	93100	47.4	10.6	58.0	0.18	1302	36450	83280	1.0333	47.4	0.18
46.0	10.0	56.0	0.18	1295	44690	99940	46.0	10.0	56.0	0.18	1295	37690	90120	1.0667	46.0	0.18
45.4	9.6	55.0	0.18	1289	45870	106600	45.4	9.6	55.0	0.18	1289	38870	96780	1.1000	45.4	0.18
44.7	9.3	54.0	0.17	1283	47000	113140	44.7	9.3	54.0	0.17	1283	40000	103320	1.1333	44.7	0.17
44.1	8.9	53.0	0.17	1277	48090	119560	44.1	8.9	53.0	0.17	1277	41090	109740	1.1667	44.1	0.17
43.4	8.6	52.0	0.17	1272	49140	125860	43.4	8.6	52.0	0.17	1272	42140	116040	1.2000	43.4	0.17
41.9	8.1	50.0	0.16	1267	50140	131980	41.9	8.1	50.0	0.16	1267	43140	122160	1.2333	41.9	0.16
39.5	7.5	47.0	0.16	1264	51080	137800	39.5	7.5	47.0	0.16	1264	44080	127980	1.2667	39.5	0.16
37.9	7.1	45.0	0.16	1262	51960	143320	37.9	7.1	45.0	0.16	1262	44960	133500	1.3000	37.9	0.16
34.6	6.4	41.0	0.16	1259	52770	148480	34.6	6.4	41.0	0.16	1259	45770	138660	1.3333	34.6	0.16
32.0	6.0	38.0	0.16	1259	53510	153220	32.0	6.0	38.0	0.16	1259	46510	143400	1.3667	32.0	0.16
29.4	5.6	35.0	0.16	1262	54200	157600	29.4	5.6	35.0	0.16	1262	47200	147780	1.4000	29.4	0.16
26.0	5.0	31.0	0.16	1264	54830	161580	26.0	5.0	31.0	0.16	1264	47830	151740	1.4333	26.0	0.16
23.5	4.5	28.0	0.16	1266	55400	165100	23.5	4.5	28.0	0.16	1266	48400	155280	1.4667	23.5	0.16
20.9	4.1	25.0	0.16	1270	55920	168280	20.9	4.1	25.0	0.16	1270	48920	158460	1.5000	20.9	0.16
19.2	3.8	23.0	0.17	1275	56400	171160	19.2	3.8	23.0	0.17	1275	49400	161340	1.5333	19.2	0.17
17.5	3.5	21.0	0.17	1278	56840	173800	17.5	3.5	21.0	0.17	1278	49840	163980	1.5667	17.5	0.17
15.0	3.0	18.0	0.17	1279	57240	176140	15.0	3.0	18.0	0.17	1279	50240	166320	1.6000	15.0	0.17
13.5	2.5	16.0	0.15	1255	57570	178180	13.5	2.5	16.0	0.15	1255	50570	168360	1.6333	13.5	0.15
12.4	2.6	15.0	0.17	1282	57870	180040	12.4	2.6	15.0	0.17	1282	50870	170220	1.6667	12.4	0.17
10.8	2.2	13.0	0.17	1284	58160	181720	10.8	2.2	13.0	0.17	1284	51160	171900	1.7000	10.8	0.17
9.9	2.1	12.0	0.17	1285	58420	183220	9.9	2.1	12.0	0.17	1285	51420	173400	1.7333	9.9	0.17
9.1	1.9	11.0	0.17	1285	58660	184600	9.1	1.9	11.0	0.17	1285	51660	174780	1.7667	9.1	0.17
8.3	1.7	10.0	0.17	1288	58880	185860	8.3	1.7	10.0	0.17	1288	51880	176040	1.8000	8.3	0.17
7.4	1.6	9.0	0.18	1292	59080	187000	7.4	1.6	9.0	0.18	1292	52080	177180	1.8333	7.4	0.18
6.6	1.4	8.0	0.18	1298	59260	188020	6.6	1.4	8.0	0.18	1298	52260	178200	1.8667	6.6	0.18
5.8	1.2	7.0	0.17	1286	59420	188920	5.8	1.2	7.0	0.17	1286	52420	179100	1.9000	5.8	0.17
4.9	1.1	6.0	0.18	1304	59560	189700	4.9	1.1	6.0	0.18	1304	52560	179880	1.9333	4.9	0.18
4.9	1.1	6.0	0.18	1299	59690	190420	4.9	1.1	6.0	0.18	1299	52690	180600	1.9667	4.9	0.18
4.1	0.9	5.0	0.18	1293	59810	191080	4.1	0.9	5.0	0.18	1293	52810	181260	2.0000	4.1	0.18
4.1	0.9	5.0	0.18	1300	59920	191680	4.1	0.9	5.0	0.18	1300	52920	181860	2.0333	4.1	0.18
3.3	0.7	4.0	0.18	1297	60020	192220	3.3	0.7	4.0	0.18	1297	53020	182400	2.0667	3.3	0.18
3.3	0.7	4.0	0.19	1306	60110	192700	3.3	0.7	4.0	0.19	1306	53110	182880	2.1000	3.3	0.19
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	60150	193120	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	53150	183300	2.1333	3.0	0.00
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	60150	193480	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	53150	183660	2.1667	3.0	0.00

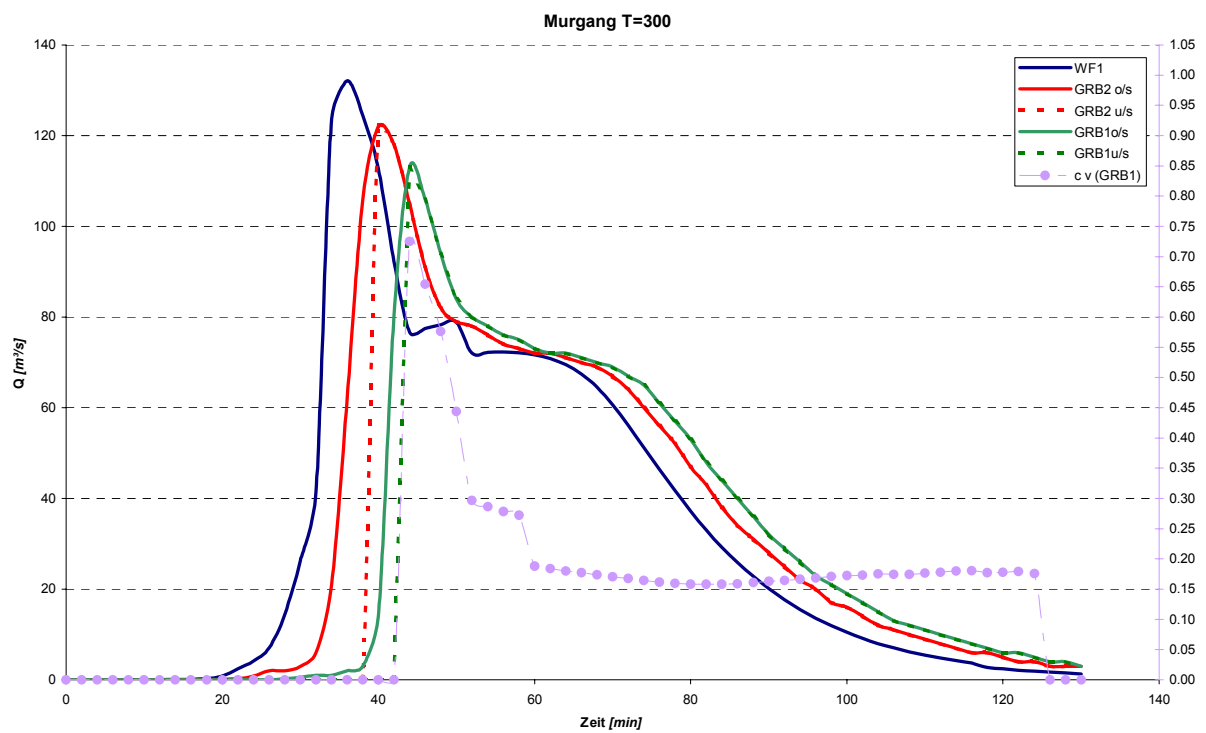
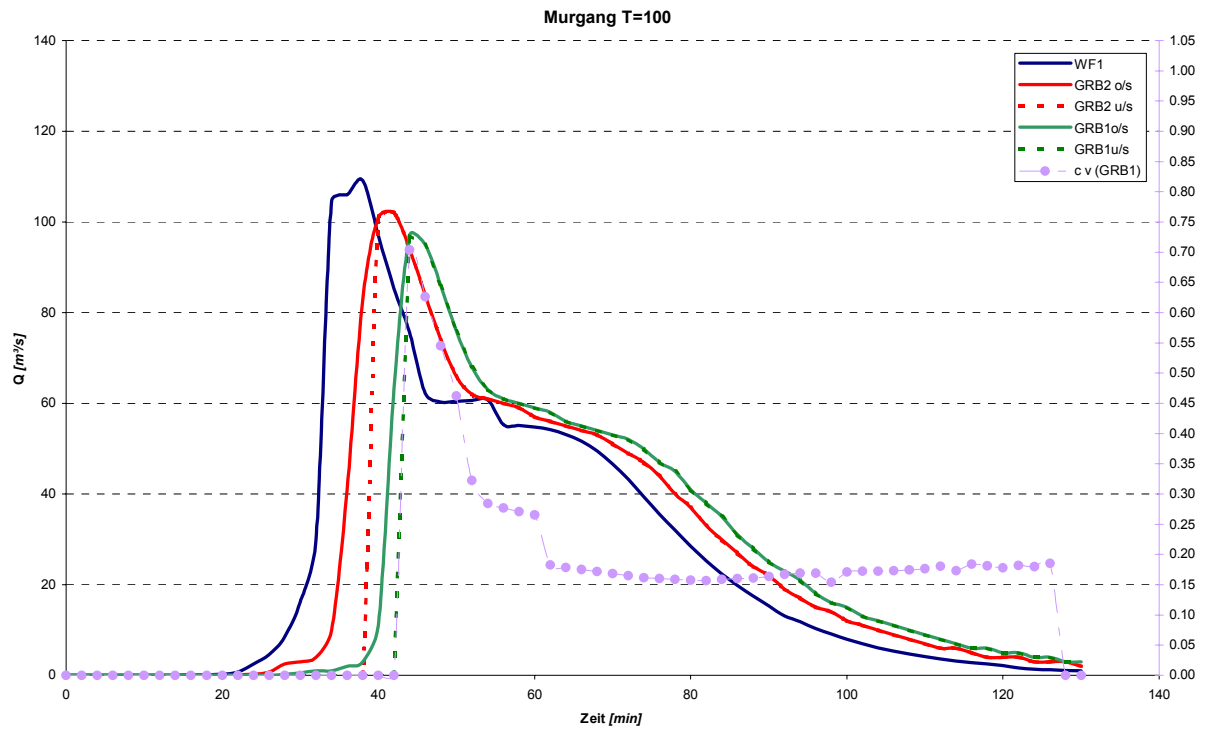




GRB 1 o/s				GRB 1 u/s							Flo - 2d					
Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB2u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	Q <sub>B,GRB1u/s</sub> [m³/s]	Q <sub>ges</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]	γ [kg/m]	ΣV <sub>B</sub> [m³]	ΣV <sub>ges</sub> [m³]	T [min]	Q <sub>Wtot</sub> [m³/s]	c <sub>v</sub> [-]
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.1667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.2667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3333	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.3667	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4000	0.0	0.00
0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4333	0.0	0.00
0.3	0.0	0.3	0.00	1000	0	20	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.4667	0.0	0.00
0.5	0.0	0.5	0.00	1000	0	70	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5000	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	160	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5333	0.0	0.00
1.0	0.0	1.0	0.00	1000	0	280	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.5667	0.0	0.00
1.1	0.9	2.0	0.46	1765	60	460	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6000	0.0	0.00
1.5	1.5	3.0	0.50	1831	210	760	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6333	0.0	0.00
7.3	6.7	14.0	0.48	1785	700	1780	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.6667	0.0	0.00
18.3	61.7	80.0	0.77	2273	4800	7420	0.0	0.0	0.0	0.00	1000	0	0	0.7000	0.0	0.00
31.1	81.9	113.0	0.72	2196	13420	19000	31.1	81.9	113.0	0.72	2196	6420	6780	0.7333	31.1	0.72
36.7	69.3	106.0	0.65	2079	22490	32140	36.7	69.3	106.0	0.65	2079	15490	19920	0.7667	36.7	0.65
39.8	54.2	94.0	0.58	1951	29900	44140	39.8	54.2	94.0	0.58	1951	22900	31920	0.8000	39.8	0.58
46.7	37.3	84.0	0.44	1733	35390	54820	46.7	37.3	84.0	0.44	1733	28390	42600	0.8333	46.7	0.44
56.3	23.7	80.0	0.30	1489	39050	64660	56.3	23.7	80.0	0.30	1489	32050	52440	0.8667	56.3	0.30
55.7	22.3	78.0	0.29	1472	41810	74140	55.7	22.3	78.0	0.29	1472	34810	61920	0.9000	55.7	0.29
54.9	21.1	76.0	0.28	1459	44420	83380	54.9	21.1	76.0	0.28	1459	37420	71160	0.9333	54.9	0.28
54.6	20.4	75.0	0.27	1449	46910	92440	54.6	20.4	75.0	0.27	1449	39910	80220	0.9667	54.6	0.27
59.3	13.7	73.0	0.19	1310	48960	101320	59.3	13.7	73.0	0.19	1310	41960	89100	1.0000	59.3	0.19
58.8	13.2	72.0	0.18	1303	50580	110020	58.8	13.2	72.0	0.18	1303	43580	97800	1.0333	58.8	0.18
59.0	13.0	72.0	0.18	1297	52150	118660	59.0	13.0	72.0	0.18	1297	45150	106440	1.0667	59.0	0.18
58.4	12.6	71.0	0.18	1292	53680	127240	58.4	12.6	71.0	0.18	1292	46680	115020	1.1000	58.4	0.18
57.8	12.2	70.0	0.17	1287	55160	135700	57.8	12.2	70.0	0.17	1287	48160	123480	1.1333	57.8	0.17
57.3	11.7	69.0	0.17	1281	56590	144040	57.3	11.7	69.0	0.17	1281	49590	131820	1.1667	57.3	0.17
55.8	11.2	67.0	0.17	1277	57970	152200	55.8	11.2	67.0	0.17	1277	50970	139980	1.2000	55.8	0.17
54.3	10.7	65.0	0.16	1271	59290	160120	54.3	10.7	65.0	0.16	1271	52290	147900	1.2333	54.3	0.16
51.1	9.9	61.0	0.16	1267	60520	167680	51.1	9.9	61.0	0.16	1267	53520	155460	1.2667	51.1	0.16
47.9	9.1	57.0	0.16	1263	61660	174760	47.9	9.1	57.0	0.16	1263	54660	162540	1.3000	47.9	0.16
44.6	8.4	53.0	0.16	1261	62710	181360	44.6	8.4	53.0	0.16	1261	55710	169140	1.3333	44.6	0.16
40.4	7.6	48.0	0.16	1261	63670	187420	40.4	7.6	48.0	0.16	1261	56670	175200	1.3667	40.4	0.16
37.0	7.0	44.0	0.16	1261	64540	192940	37.0	7.0	44.0	0.16	1261	57540	180720	1.4000	37.0	0.16
33.6	6.4	40.0	0.16	1262	65340	197980	33.6	6.4	40.0	0.16	1262	58340	185760	1.4333	33.6	0.16
30.2	5.8	36.0	0.16	1265	66070	202540	30.2	5.8	36.0	0.16	1265	59070	190320	1.4667	30.2	0.16
26.8	5.2	32.0	0.16	1268	66730	206620	26.8	5.2	32.0	0.16	1268	59730	194400	1.5000	26.8	0.16
24.2	4.8	29.0	0.16	1271	67330	210280	24.2	4.8	29.0	0.16	1271	60330	198060	1.5333	24.2	0.16
21.7	4.3	26.0	0.17	1275	67880	213580	21.7	4.3	26.0	0.17	1275	60880	201360	1.5667	21.7	0.17
19.1	3.9	23.0	0.17	1278	68370	216520	19.1	3.9	23.0	0.17	1278	61370	204300	1.6000	19.1	0.17
17.4	3.6	21.0	0.17	1282	68820	219160	17.4	3.6	21.0	0.17	1282	61820	206940	1.6333	17.4	0.17
15.7	3.3	19.0	0.17	1284	69230	221560	15.7	3.3	19.0	0.17	1284	62230	209340	1.6667	15.7	0.17
14.1	2.9	17.0	0.17	1286	69600	223720	14.1	2.9	17.0	0.17	1286	62600	211500	1.7000	14.1	0.17
12.4	2.6	15.0	0.17	1289	69930	225640	12.4	2.6	15.0	0.17	1289	62930	213420	1.7333	12.4	0.17
10.7	2.3	13.0	0.17	1288	70220	227320	10.7	2.3	13.0	0.17	1288	63220	215100	1.7667	10.7	0.17
9.9	2.1	12.0	0.17	1287	70480	228820	9.9	2.1	12.0	0.17	1287	63480	216600	1.8000	9.9	0.17
9.1	1.9	11.0	0.18	1292	70720	230200	9.1	1.9	11.0	0.18	1292	63720	217980	1.8333	9.1	0.18
8.2	1.8	10.0	0.18	1293	70940	231460	8.2	1.8	10.0	0.18	1293	63940	219240	1.8667	8.2	0.18
7.4	1.6	9.0	0.18	1297	71140	232600	7.4	1.6	9.0	0.18	1297	64140	220380	1.9000	7.4	0.18
6.6	1.4	8.0	0.18	1297	71320	233620	6.6	1.4	8.0	0.18	1297	64320	221400	1.9333	6.6	0.18
5.8	1.2	7.0	0.18	1292	71480	234520	5.8	1.2	7.0	0.18	1292	64480	222300	1.9667	5.8	0.18
4.9	1.1	6.0	0.18	1294	71620	235300	4.9	1.1	6.0	0.18	1294	64620	223080	2.0000	4.9	0.18
4.9	1.1	6.0	0.18	1296	71750	236020	4.9	1.1	6.0	0.18	1296	64750	223800	2.0333	4.9	0.18
4.1	0.9	5.0	0.18	1291	71870	236680	4.1	0.9	5.0	0.18	1291	64870	224460	2.0667	4.1	0.18
4.0	0.0	4.0	0.00	1000	71920	237220	4.0	0.0	4.0	0.00	1000	64920	225000	2.1000	4.0	0.00
4.0	0.0	4.0	0.00	1000	71920	237700	4.0	0.0	4.0	0.00	1000	64920	225480	2.1333	4.0	0.00
3.0	0.0	3.0	0.00	1000	71920	238120	3.0	0.0	3.0	0.00	1000	64920	225900	2.1667	3.0	0.00

### A5.5 Diagramme

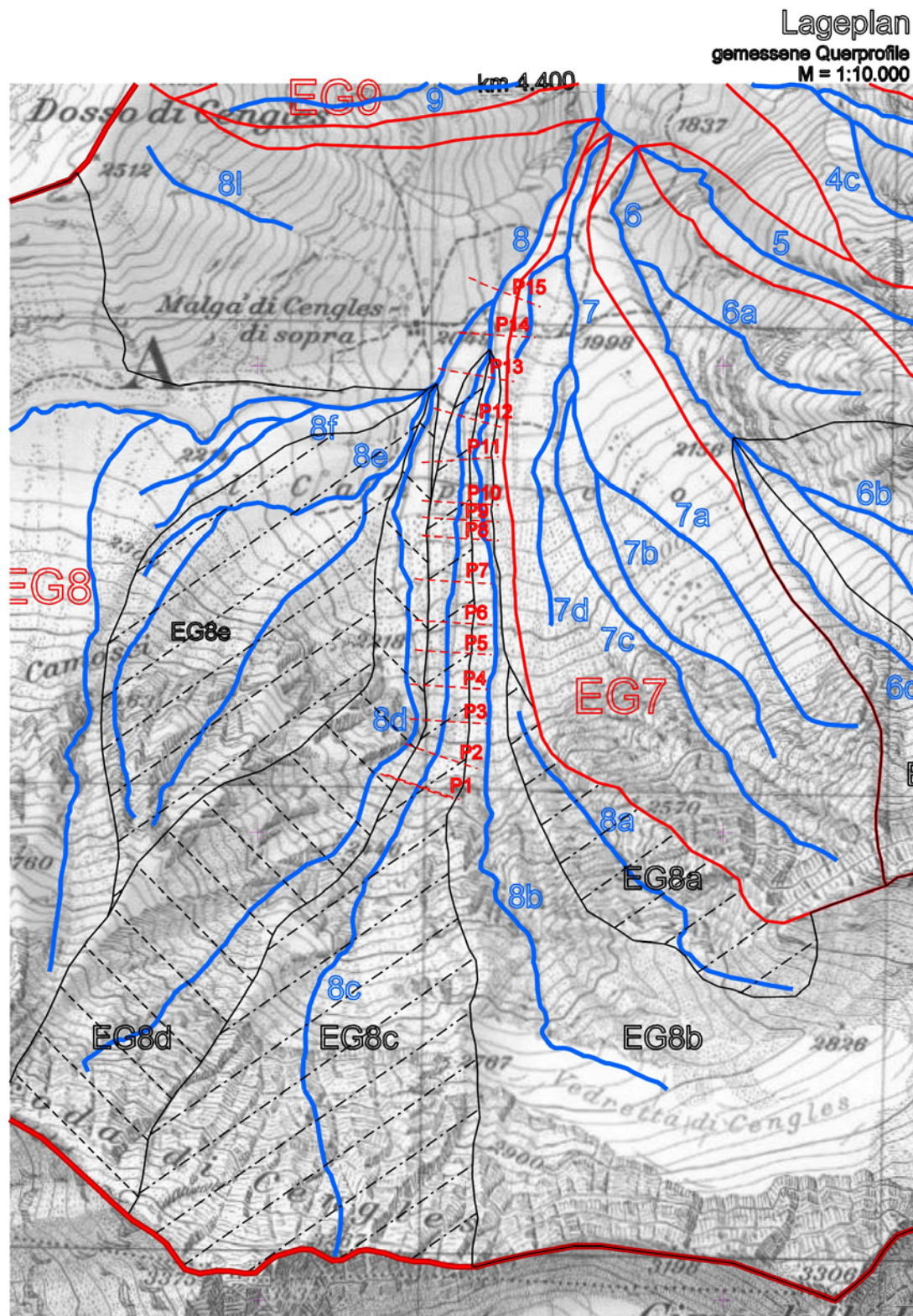




## A6. Die Murereignisse 1999

### A6.1 Abschätzung Volumen

#### A6.1.1 Fernerbachrinne





Aufnahme von mehreren Querprofilen

Volumenberechnung 1: Die Flächen werden linear zwischen den Profilen gemittelt

<b>Σ Vol</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>	<b>104100</b>
--------------	------------------------	---------------

<b>V (2750 m - 2600 m)</b>		
Annahme: Aufgrund Orthophotos kann man annehmen, dass auch dort schon Material erodiert wurde		
<b>H<sub>max</sub></b>	[m]	2750
<b>H<sub>min</sub></b>	[m]	2600
<b>L<sub>hor</sub></b>	[m]	210
<b>L<sub>abs</sub></b>	[m]	258
<b>A<sub>ang</sub></b>	[m <sup>2</sup> ]	18.0
<b>V<sub>ang</sub></b>	[m <sup>3</sup> ]	4600

<b>Profil 0</b> (zwischen Start Anriss und Profil 1)		
<b>H<sub>max</sub></b>	[m]	2480
<b>H<sub>min</sub></b>	[m]	2345
<b>L<sub>hor</sub></b>	[m]	230
<b>L<sub>abs</sub></b>	[m]	267
<b>B<sub>o</sub></b>	[m]	23.5
<b>B<sub>u</sub></b>	[m]	11
<b>BL<sub>l</sub></b>	[m]	6.9
<b>BL<sub>r</sub></b>	[m]	7.4
<b>b<sub>l</sub></b>	[m]	6.0
<b>b<sub>r</sub></b>	[m]	6.5
<b>H</b>	[m]	3.5
<b>BN<sub>l</sub></b>	[°]	30.2
<b>BN<sub>r</sub></b>	[°]	28.0
<b>A</b>	[m <sup>2</sup> ]	59.9
<b>V</b>	[m <sup>3</sup> ]	16000

<b>Profil 1</b>		
<b>H<sub>abs</sub></b>	[m]	2330
<b>B<sub>o</sub></b>	[m]	38
<b>B<sub>u</sub></b>	[m]	26
<b>BL<sub>l</sub></b>	[m]	7
<b>BL<sub>r</sub></b>	[m]	7
<b>b<sub>l</sub></b>	[m]	6.0
<b>b<sub>r</sub></b>	[m]	6.0
<b>H</b>	[m]	3.6
<b>BN<sub>l</sub></b>	[°]	31.0
<b>BN<sub>r</sub></b>	[°]	31.0
<b>A</b>	[m <sup>2</sup> ]	115.4

<b>Profil 2</b>		
<b>H<sub>abs</sub></b>	[m]	2310
<b>L<sub>abs</sub></b>	[m]	80
<b>L<sub>hor</sub></b>	[m]	77
<b>B<sub>o</sub></b>	[m]	31.5
<b>B<sub>u</sub></b>	[m]	15.7
<b>BL<sub>l</sub></b>	[m]	8.6
<b>BL<sub>r</sub></b>	[m]	10.7
<b>b<sub>l</sub></b>	[m]	6.6
<b>b<sub>r</sub></b>	[m]	9.2
<b>H</b>	[m]	5.5
<b>BN<sub>l</sub></b>	[°]	39.7
<b>BN<sub>r</sub></b>	[°]	30.9
<b>A</b>	[m <sup>2</sup> ]	129.6
<b>V</b>	[m <sup>3</sup> ]	9800

Profil 3		
$H_{abs}$	[m]	2280
$L_{abs}$	[m]	80
$L_{hor}$	[m]	74
$B_o$	[m]	26.7
$B_u$	[m]	22.3
$BL_l$	[m]	4.4
$BL_r$	[m]	5
$b_l$	[m]	1.6
$b_r$	[m]	2.8
$H$	[m]	4.1
$BN_l$	[°]	69.2
$BN_r$	[°]	55.4
$A$	[m <sup>2</sup> ]	100.8
$V$	[m <sup>3</sup> ]	9200

Profil 6		
$H_{abs}$	[m]	2190
$L_{abs}$	[m]	80
$L_{hor}$	[m]	74
$B_o$	[m]	17
$B_u$	[m]	5.6
$BL_l$	[m]	10.5
$BL_r$	[m]	5.3
$b_l$	[m]	9.3
$b_r$	[m]	2.1
$H$	[m]	4.9
$BN_l$	[°]	27.6
$BN_r$	[°]	66.7
$A$	[m <sup>2</sup> ]	55.0
$V$	[m <sup>3</sup> ]	4800

Profil 4		
$H_{abs}$	[m]	2250
$L_{abs}$	[m]	80
$L_{hor}$	[m]	74
$B_o$	[m]	27.5
$B_u$	[m]	21.3
$BL_l$	[m]	3
$BL_r$	[m]	4.1
$b_l$	[m]	2.5
$b_r$	[m]	3.7
$H$	[m]	1.7
$BN_l$	[°]	34.6
$BN_r$	[°]	24.5
$A$	[m <sup>2</sup> ]	41.5
$V$	[m <sup>3</sup> ]	5700

Profil 7		
$H_{abs}$	[m]	2160
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	95
$B_o$	[m]	16.6
$B_u$	[m]	5
$BL_l$	[m]	9.7
$BL_r$	[m]	9.7
$b_l$	[m]	5.8
$b_r$	[m]	5.8
$H$	[m]	7.8
$BN_l$	[°]	53.3
$BN_r$	[°]	53.3
$A$	[m <sup>2</sup> ]	84.0
$V$	[m <sup>3</sup> ]	6900

Profil 5		
$H_{abs}$	[m]	2220
$L_{abs}$	[m]	80
$L_{hor}$	[m]	74
$B_o$	[m]	22.6
$B_u$	[m]	14.3
$BL_l$	[m]	7.2
$BL_r$	[m]	4
$b_l$	[m]	6.3
$b_r$	[m]	2.0
$H$	[m]	3.5
$BN_l$	[°]	28.8
$BN_r$	[°]	60.1
$A$	[m <sup>2</sup> ]	64.0
$V$	[m <sup>3</sup> ]	4200

Profil 8		
$H_{abs}$	[m]	2130
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	95
$B_o$	[m]	15
$B_u$	[m]	7
$BL_l$	[m]	6
$BL_r$	[m]	6.6
$b_l$	[m]	3.5
$b_r$	[m]	4.5
$H$	[m]	4.9
$BN_l$	[°]	54.0
$BN_r$	[°]	47.3
$A$	[m <sup>2</sup> ]	53.4
$V$	[m <sup>3</sup> ]	6900

Profil 9		
$H_{abs}$	[m]	2120
$L_{abs}$	[m]	50
$L_{hor}$	[m]	49
$B_o$	[m]	11.5
$B_u$	[m]	4.5
$BL_l$	[m]	6
$BL_r$	[m]	7
$b_l$	[m]	2.6
$b_r$	[m]	4.4
$H$	[m]	5.4
$BN_l$	[°]	64.6
$BN_r$	[°]	50.8
$A$	[m <sup>2</sup> ]	43.4
$V$	[m <sup>3</sup> ]	2400

Profil 12		
$H_{abs}$	[m]	2060
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	98
$B_o$	[m]	19
$B_u$	[m]	6.1
$BL_l$	[m]	10.6
$BL_r$	[m]	8.9
$b_l$	[m]	7.7
$b_r$	[m]	5.2
$H$	[m]	7.2
$BN_l$	[°]	43.1
$BN_r$	[°]	54.5
$A$	[m <sup>2</sup> ]	91.0
$V$	[m <sup>3</sup> ]	6800

Profil 10		
$H_{abs}$	[m]	2110
$L_{abs}$	[m]	50
$L_{hor}$	[m]	49
$B_o$	[m]	15
$B_u$	[m]	6
$BL_l$	[m]	6
$BL_r$	[m]	5.2
$b_l$	[m]	5.0
$b_r$	[m]	4.0
$H$	[m]	3.3
$BN_l$	[°]	33.6
$BN_r$	[°]	39.7
$A$	[m <sup>2</sup> ]	34.9
$V$	[m <sup>3</sup> ]	2000

Profil 13		
$H_{abs}$	[m]	2030
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	95
$B_o$	[m]	20
$B_u$	[m]	4
$BL_l$	[m]	11.5
$BL_r$	[m]	11.5
$b_l$	[m]	8.0
$b_r$	[m]	8.0
$H$	[m]	8.3
$BN_l$	[°]	45.9
$BN_r$	[°]	45.9
$A$	[m <sup>2</sup> ]	99.1
$V$	[m <sup>3</sup> ]	9500

Profil 11		
$H_{abs}$	[m]	2080
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	95
$B_o$	[m]	15.6
$B_u$	[m]	6
$BL_l$	[m]	7.6
$BL_r$	[m]	5.2
$b_l$	[m]	6.4
$b_r$	[m]	3.2
$H$	[m]	4.1
$BN_l$	[°]	32.6
$BN_r$	[°]	52.0
$A$	[m <sup>2</sup> ]	44.3
$V$	[m <sup>3</sup> ]	4000

Profil 14		
$H_{abs}$	[m]	2010
$L_{abs}$	[m]	100
$L_{hor}$	[m]	98
$B_o$	[m]	15
$B_u$	[m]	4.1
$BL_l$	[m]	7.5
$BL_r$	[m]	7.4
$b_l$	[m]	5.5
$b_r$	[m]	5.4
$H$	[m]	5.1
$BN_l$	[°]	42.6
$BN_r$	[°]	43.3
$A$	[m <sup>2</sup> ]	48.5
$V$	[m <sup>3</sup> ]	7400



Profil 15		
H <sub>abs</sub>	[m]	1990
L <sub>abs</sub>	[m]	100
L <sub>hor</sub>	[m]	98
B <sub>o</sub>	[m]	12
B <sub>u</sub>	[m]	6
BL <sub>l</sub>	[m]	4.5
BL <sub>r</sub>	[m]	4.5
b <sub>l</sub>	[m]	3.0
b <sub>r</sub>	[m]	3.0
H	[m]	3.4
BN <sub>l</sub>	[°]	48.2
BN <sub>r</sub>	[°]	48.2
A	[m <sup>2</sup> ]	30.2
V	[m <sup>3</sup> ]	3900

#### A6.1.2 Abschätzung aufgrund Volumenangaben und Beurteilung der Ablagerungen der Murgänge 1999

Σ Vol	[m <sup>3</sup> ]	107680
-------	-------------------	--------

#### Räumungen der Wildbachverbauung

Ereignis 1		
Bachbett	[m <sup>3</sup> ]	1920
GRB 2	[m <sup>3</sup> ]	4000
GRB 1	[m <sup>3</sup> ]	6920
Σ V	[m <sup>3</sup> ]	12840

Ereignis 2		
Bachbett	[m <sup>3</sup> ]	3040
GRB 2	[m <sup>3</sup> ]	11800
GRB 1	[m <sup>3</sup> ]	7200
Σ V	[m <sup>3</sup> ]	22040

#### Volumen der Murkegels aufgrund der Kartierung

Abschätzung des Volumens mit Hilfe eines DTM

Volumen	[m <sup>3</sup> ]	104000
Nettovolumen	[m <sup>3</sup> ]	72800 (Lagerungsdichte = 0.7)



### A6.1.3 Volumenabschätzung aufgrund von Berichten über den Ablauf der Murgänge 1999

$\Sigma \text{Vol}_{\min}$	[m <sup>3</sup> ]	52580
$\Sigma \text{Vol}_{\max}$	[m <sup>3</sup> ]	120360

#### Räumungen der Wildbachverbauung

<b>Ereignis 1</b>		
Bachbett	[m <sup>3</sup> ]	1920
GRB 2	[m <sup>3</sup> ]	4000
GRB 1	[m <sup>3</sup> ]	6920
$\Sigma V$	[m <sup>3</sup> ]	12840

<b>Ereignis 2</b>		
Bachbett	[m <sup>3</sup> ]	3040
GRB 2	[m <sup>3</sup> ]	11800
GRB 1	[m <sup>3</sup> ]	7200
$\Sigma V$	[m <sup>3</sup> ]	22040

**Bemerkung:** Die Bachbetträumungen beziehen sich auf den Bereich in der Au, können also nicht extra in Rechnung gestellt werden

#### Volumen des ersten Ereignisses

Stelle	H Murstrich [m]	H Sohle [m]	H BK [m]	H Abfluss [m]	BL [m]	A [m <sup>2</sup> ]	v <sub>min</sub> [m/s]	v <sub>max</sub> [m/s]	T <sub>min</sub> [min]	T <sub>max</sub> [min]	Q <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> ]
u/s B1 re.	942.51	939.65	941.05	2.86	3.95	13.7	1.0	2.0	20	40	13.7	27.3	16400	65600
u/s B1 li.	942.29	939.24	940.45	3.05	3.95	15.5	1.0	2.0	20	40	15.5	30.9	18600	74200
unter B1	949.53	946.97	948.18	2.56	3.95	12.5	1.0	2.0	20	40	12.5	25.0	15000	59900
o/s B1 re.	951.68	949.38	950.66	2.3	3.95	10.5	1.0	2.0	20	40	10.5	21.0	12600	50300
o/s B1 li.	953.06	950.96	952.09	2.1	3.95	9.8	1.0	2.0	20	40	9.8	19.5	11700	46800
Mittelwert													14860	59360

#### Volumen des zweiten Ereignisses

Stelle	H Murstrich [m]	H Sohle [m]	H BK [m]	H Abfluss [m]	BL [m]	A [m <sup>2</sup> ]	v <sub>min</sub> [m/s]	v <sub>max</sub> [m/s]	T <sub>min</sub> [min]	T <sub>max</sub> [min]	Q <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> ]
u/s B1 re.	941.05	939.65	941.05	1.4	3.95	3.6	2.0	4.0	20	40	7.3	14.6	8700	34900
u/s B1 li.	940.45	939.24	940.45	1.21	3.95	3.1	2.0	4.0	20	40	6.3	12.6	7600	30200
unter B1	948.18	946.97	948.18	1.21	3.95	3.1	2.0	4.0	20	40	6.3	12.6	7600	30200
o/s B1 re.	950.66	949.38	950.66	1.28	3.95	3.3	2.0	4.0	20	40	6.7	13.3	8000	31900
o/s B1 li.	952.09	950.96	952.09	1.13	3.95	2.9	2.0	4.0	20	40	5.9	11.8	7100	28200
													7800	31080
E1/E2													1.91	1.91

### A6.1.4 Volumenbemessung aufgrund Länge der Kegelablagerungen

#### Bemessung der Murfracht aufgrund der Länge der Murkegelablagerung

Empirische Formeln:

$$L_K = 25 * M^{0,3} \text{ (Rickenmann)}$$

$$L_K = 15 * M^{0,33} \text{ (Bezzola)}$$

$L_{K,min}$ [m]	$L_{K,max}$ [m]	$M_{min,1}$ [m <sup>3</sup> ]	$M_{min,2}$ [m <sup>3</sup> ]	$M_{max,1}$ [m <sup>3</sup> ]	$M_{max,2}$ [m <sup>3</sup> ]
800	850	104000	151700	127300	182000

Ansatz von Takahashi

$$x_L = K_v^2 / K_G$$

$$K_v = v_u * \cos(\theta_u - \theta) * [1 + (g * h_u * \cos \theta_u) / 2 * v_u^2]$$

$$K_G = g * (S_f \cos \theta - \sin \theta)$$

$v_u$  ... Geschwindigkeit der Zulaufstrecke

$h_u$  ... Abflusstiefe der Zulaufstrecke

$\theta_u$  ... Neigung der Zulaufstrecke

$\theta$  ... Neigung der Auslaufstrecke

$S_f$  ... Reibungsgefälle (10°)

$h_{min}$ [m]	$h_{max}$ [m]	$v_{min}$ [m/s]	$v_{max}$ [m/s]	$\theta_u$ [°]	$\theta$ [°]	$S_f$	$K_{u,min}$	$K_{u,max}$	$K_{G,min}$	$K_{G,max}$	$x_{L,min}$ [m]	$x_{L,max}$ [m]
2	3	1.1	1.4	6	3.6	0.075	9.96	11.84	0.118	0.118	838	1185

### A6.1.5 Resümee

Volumen Fernerbachrinne (Annahme: Lagerungsdichte = 0.7)	72870 m <sup>3</sup>
Volumen Murkegel + Materialtransporte der WBV	107680 m <sup>3</sup>
Volumen aufgrund Beschreibung des Ereignisses	$V_{min}$ 52580 m <sup>3</sup>
	$V_{max}$ 120360 m <sup>3</sup>

#### Annahmen

1. Zum Volumen der Fernerbachrinne sind noch diffuse Einträge dazugekommen
2. Das erste Ereignis war etwa doppelt so groß als das zweite

#### Getroffene Volumenabschätzungen

Volumen beider Murgänge zusammen	$V_{min}$	70000 m <sup>3</sup>
	$V_{max}$	100000 m <sup>3</sup>
Volumen Murgang 1 (16/08/1999)	$V_{min}$	46000 m <sup>3</sup>
	$V_{max}$	66000 m <sup>3</sup>
Volumen Murgang 2 (20/09/1999)	$V_{min}$	24000 m <sup>3</sup>
	$V_{max}$	34000 m <sup>3</sup>

### A6.1.6 Volumen Murkegel

<b>Volumen Murkegel</b>	11200000 m <sup>3</sup>
Annahme :	
hat sich seit der letzten Eiszeit aufgebaut	
Daraus folgt:	
<b>jährliche Geschiebefracht</b>	1120 m <sup>3</sup>
Daraus folgt:	
Ereignis 1999 war ein sehr wichtiges Ereignis	
Murfracht ca. (2 Murgänge) V <sub>min</sub>	70000 m <sup>3</sup>
V <sub>max</sub>	100000 m <sup>3</sup>

### A6.2 Abschätzung Maximalabfluss

**Bemessung des maximalen Murgangabflusses aufgrund Spuren (Levéés) im Gelände**

Anwendung der Stricklerformel mit k<sub>ST</sub> = 10 (PWRI für Murenfront und natürliches Gerinne)

	H <sub>abs</sub> [m]	B <sub>o</sub> [m]	B <sub>u</sub> [m]	BL <sub>l</sub> [m]	BL <sub>r</sub> [m]	b <sub>l</sub> [m]	b <sub>r</sub> [m]	H [m]	BN <sub>l</sub> [°]	BN <sub>r</sub> [°]	A [m <sup>2</sup> ]	I [-]	k <sub>ST</sub> [m <sup>1/3</sup> /s]	v [m/s]	Q [m <sup>3</sup> /s]	
<b>Profil 1</b>	1960	10.6	4.2	4	4.8	2.7	3.8	3.0	48.5	38.6	22.2	0.25	10	7.14	158	o/s Wasserfall
<b>Profil 2</b>	1940	10.8	3.8	4.8	4.4	3.8	3.2	3.0	38.4	42.6	21.8	0.27	10	7.32	159	o/s Wasserfall
<b>Profil 3</b>	1550	15.5	10.8	3	4	1.6	3.1	2.5	57.6	39.3	33.3	0.22	10	7.13	237	(Pauschalgefälle)
<b>Profil 3</b>	1550	15.5	10.8	3	4	1.6	3.1	2.5	57.6	39.3	33.3	0.04	10	3.04	101	(Gef. zw Sperren)
<b>Profil 4</b>	940		2	3.88	3.88			2.56			15.3	0.11	10	4.48	68	(Künette)
<b>Profil 5</b>	894	7	5.3	2	2	0.9	0.9	1.8	64.8	64.8	11.1	0.06	10	2.76	31	(Murkegel bei Brücke)
<b>Profil 6</b>	880	6.9	4.5	2.5	2.5	1.2	1.2	2.2	61.3	61.3	12.5	0.06	10	2.99	37	(Murkegel u/s Brücke)

Laut Aussagen braucht die Mure ca. eine halbe Stunde bis zum Dorf.  
Das entspricht bei einer Fließlänge von ca. 3 km ab Wasserfallfuss 6 km /h (=1.67m/s)

**Abschätzung des maximalen Murgangabflusses aufgrund empirischer Formeln**

Mizuyama 1992	Q <sub>max</sub> = 0,135 * M <sup>0,78</sup>	... für granulare Murgänge	(1)
	Q <sub>max</sub> = 0,015 * M <sup>0,82</sup>	... für viskose Murgänge	(2)
Bezzola 2000	Q <sub>max</sub> = 0,1 * M <sup>5/6</sup>	... für granulare Murgänge	(3)
	Q <sub>max</sub> = 0,014 * M <sup>5/6</sup>	... für viskose Murgänge (min)	(4)
	Q <sub>max</sub> = 0,059 * M <sup>5/6</sup>	... für viskose Murgänge (max)	(5)

Murfracht m <sup>3</sup>	(1) m <sup>3</sup> /s	(2) m <sup>3</sup> /s	(3) m <sup>3</sup> /s	(4) m <sup>3</sup> /s	(5) m <sup>3</sup> /s
30000	419	70	538	75	318
40000	525	89	684	96	404
70000	812	141	1090	153	643
90000	988	173	1344	188	793

### A6.3 Abschätzung Grenzscherspannung

#### Untersuchungen aufgrund der Murzungenform (1)

$$\tau_c = 0.5 \cdot \rho \cdot g \cdot h^2(x) / x \quad (\text{"Laborformel"})$$

Untersuchung Grenzscherspannung	Murkegel	Datum	10/10/01
Grenzscherspannungsversuch No.	1	Beobachter	eh + WaG
Standort	H = 890m, linker Ablagerungsbereich (eher grobkörnig)		

x	h	$\rho$	$\tau_c$
[cm]	[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Pa]
10	10	2000	981
20	15	2000	1104
30	20	2000	1308
40	22	2000	1187
50	23	2000	1038
60	24	2000	942

Untersuchung Grenzscherspannung	Murkegel	Datum	10/10/01
Grenzscherspannungsversuch No.	2	Beobachter	eh + WaG
Standort	H = 900m, rechter Ablagerungsbereich (feinkörnig)		

x	h	$\rho$	$\tau_c$
[cm]	[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Pa]
10	20	2000	3924
20	23	2000	2595
30	25	2000	2044
40	23	2000	1297
50	25	2000	1226
60	27	2000	1192
70	28	2000	1099
80	29	2000	1031

Bem: x = 10, x = 20, x = 30 scheinen falsch (weil nachgerutscht)

Untersuchung Grenzscherspannung	Murkegel	Datum	10/10/01
Grenzscherspannungsversuch No.	3	Beobachter	hs + WaG
Standort	880m, linker Ablagerungsbereich (feinkörnig)		

x	h	$\rho$	$\tau_c$
[cm]	[cm]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Pa]
15	12.5	2000	1022
30	16.5	2000	890
45	21	2000	961
60	22.5	2000	828
75	23.5	2000	722

!! Verwendete Formel ist « Laborformel », deshalb mit Vorsicht zu genießen !!



### Untersuchungen aufgrund der Murzungenform (2)

$$\begin{aligned} \tau_c &= \rho * g * h * \sin \alpha / 0.7 && \text{für } L/h < 10 \\ \tau_c &= \rho * g * h * \sin \alpha && \text{für } L/h > 10 \end{aligned}$$

(Formel aufgrund von beobachteten Ereignissen in der Natur)

h ... Höhe Ablagerung  
L ... Länge Ablagerung  
a ... Neigung Ablagerung

Annahmen (aufgrund Fotos)

h [m]	$\alpha$ [°]	L [m]	$\rho$ [kg³/m]	$\tau_c$ [Pa]	$\tau_c / \rho$ [-]
0.24	3	10	2000	246	0.12
0.27	5	10	2000	462	0.23
0.29	7	10	2000	693	0.35

### Untersuchungen aufgrund der Levéeform

$$\tau_c = \rho * g * (d^2 + L^2 \tan^2 \alpha) / (2 * L) \quad (\text{normal um 1,3 überschätzt})$$

$$\tau_{c, \text{reell}} = \tau_c / 1.3$$

d ... Höhe Levee  
L ... Halbe Breite Levee  
 $\alpha$  ... Neigung Levee (entspricht ca. Neigung Gerinne)

d [m]	L [m]	$\alpha$ [°]	$\rho$ [kg³/m]	$\tau_c$ [Pa]	$\tau_{c, \text{reell}}$	$\tau_c / \rho$ [-]
0.45	0.5	1.8	2000	3978	3060	1.53
0.5	0.55	2.7	2000	4917	3782	1.89
0.55	0.6	3.6	2000	5958	4583	2.29

## A7. Rheologie

### A7.1 Beurteilung viskose – granulare Murgänge

#### Kriterium 1

$$G^2 = (T^* \rho^* d^2) / (\lambda^* \mu_f)$$

Wenn  $G^2 > 1500$  dilatant  
Wenn  $G^2 < 100$  viskos

#### Kriterium 2 (Bagnoldnummer)

$$N = (\rho^* \lambda^{1/2} d^2 / \mu_f) * 5 / (2^{0.5}) * v/h > 450$$

dilatant

$$N = (\rho^* \lambda^{1/2} d^2 / \mu_f) * 3/2 * v/h < 40$$

viskos

#### Kriterium 3

$$D^* = [(\rho_s / \rho_w - 1) g d^3]^{0.5} * \lambda / \mu_{f,dyn}$$

Wenn  $D^* < 350$  newtonsch  
 $350 < D^* < 800$  viskos  
 $800 < D^* < 1500$  Übergang  
 $D^* > 1500$  dilatant

#### Annahmen

$\rho$ 2650	d min 0.04	d max 0.06	$c^*$ min 0.65	$c^*$ max 0.75	c min 0.3	c max 0.65
$\mu_{dyn,H_2O}$ 1.3E-06	$\lambda$ min 3.4	$\lambda$ max 20.5	$\mu_{f,min}$ 1	$\mu_{f,max}$ 10	h min 2.5	h max 4
J 0.11	$\rho_B$ min 1495	$\rho_B$ max 2073	v min 3	v max 4	T min 4033	T max 8946

#### Sensitivitätsanalyse

$G^2$ min	$G^2$ max	N min	N max	$D^*$ min	$D^*$ max
65.34	14154	0.7941		60	2711
					930979

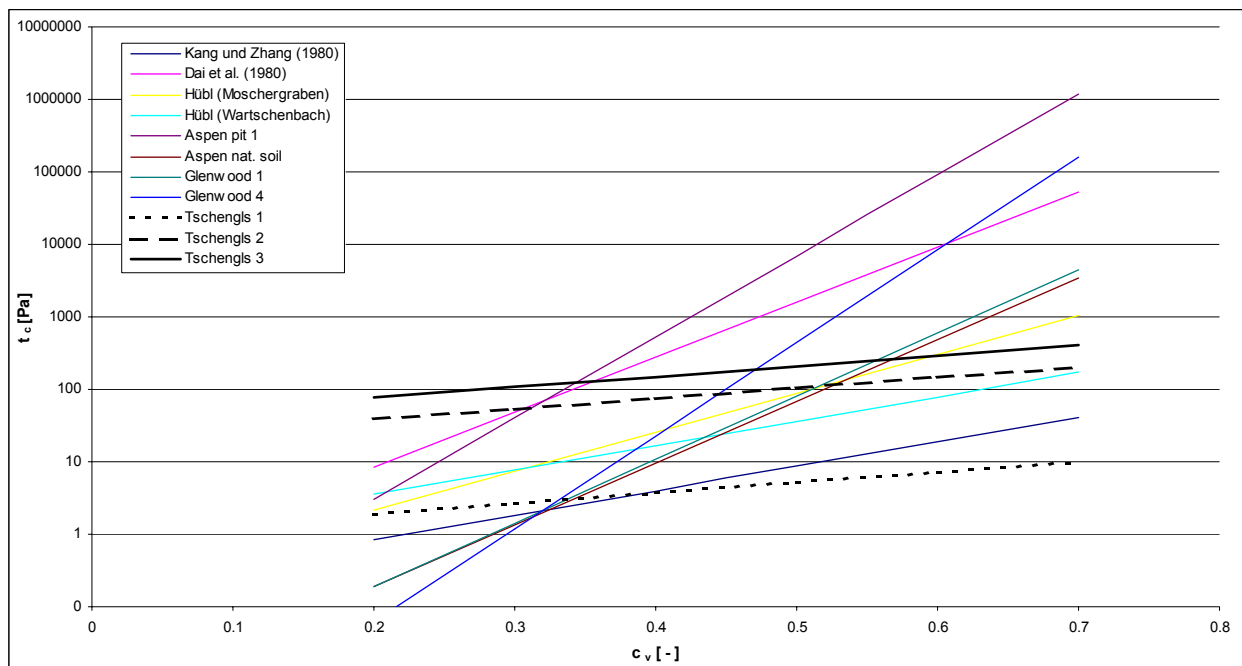
Es ist sehr schwierig, ad hoc die Art zu bestimmen

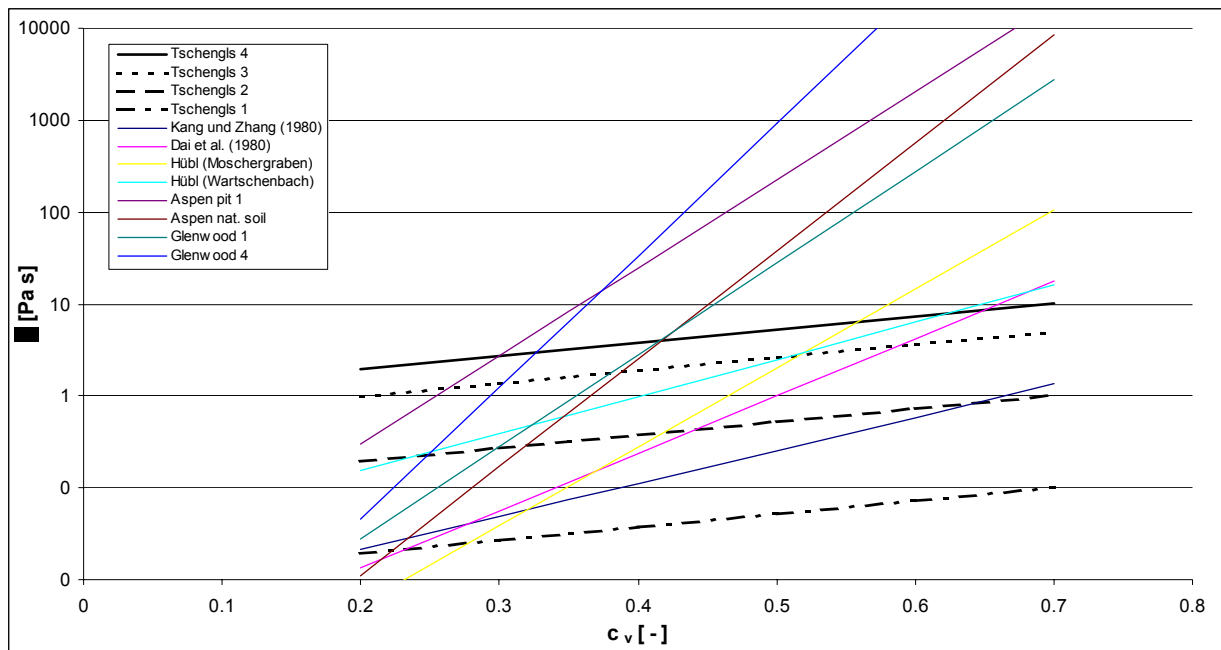


### A7.2 Koeffizienten zur Bestimmung der rheologischen Parameter

$\eta = \alpha_1 * e^{\beta_1 * \dot{\gamma}^{c_v}}$ $\tau_y = \alpha_2 * e^{\beta_2 * \dot{\gamma}^{c_v}}$	$\mu$ [dynsec/m <sup>2</sup> ]	$\mu$ [Pas]	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\tau_c$ [dyn/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_c$ [Pa]	$\alpha_2$	$\beta_2$	$c_v$ [-]
Kang und Zhang (1980)	0.21	0.021	0.0405	8.29	8.4	0.84	1.75	7.82	0.2
	0.49	0.049	0.0405	8.29	18.3	1.83	1.75	7.82	0.3
	1.12	0.112	0.0405	8.29	39.9	3.99	1.75	7.82	0.4
	2.56	0.256	0.0405	8.29	87.3	8.73	1.75	7.82	0.5
	5.86	0.586	0.0405	8.29	190.9	19.09	1.75	7.82	0.6
13.42	1.342	0.0405	8.29	417.2	41.72	1.75	7.82	0.7	
Dai et al. (1980)	0.13	0.013	0.0075	14.39	85.8	8.58	2.6	17.48	0.2
	0.56	0.056	0.0075	14.39	492.5	49.25	2.6	17.48	0.3
	2.37	0.237	0.0075	14.39	2828.5	282.85	2.6	17.48	0.4
	10.00	1.000	0.0075	14.39	16244.5	1624.45	2.6	17.48	0.5
	42.15	4.215	0.0075	14.39	93294.0	9329.40	2.6	17.48	0.6
177.71	17.771	0.0075	14.39	535797.4	53579.74	2.6	17.48	0.7	
Hübl (Moschergraben)	0.05	0.005	0.0001	19.814	21.7	2.17	0.1826	12.367	0.2
	0.38	0.038	0.0001	19.814	74.6	7.46	0.1826	12.367	0.3
	2.77	0.277	0.0001	19.814	257.0	25.70	0.1826	12.367	0.4
	20.07	2.007	0.0001	19.814	885.0	88.50	0.1826	12.367	0.5
	145.57	14.557	0.0001	19.814	3048.3	304.83	0.1826	12.367	0.6
1055.79	105.579	0.0001	19.814	10498.9	1049.89	0.1826	12.367	0.7	
Hübl (Wartschenbach)	1.55	0.155	0.0243	9.2693	35.5	3.55	0.7535	7.7471	0.2
	3.92	0.392	0.0243	9.2693	77.0	7.70	0.7535	7.7471	0.3
	9.90	0.990	0.0243	9.2693	167.1	16.71	0.7535	7.7471	0.4
	25.03	2.503	0.0243	9.2693	362.5	36.25	0.7535	7.7471	0.5
	63.24	6.324	0.0243	9.2693	786.7	78.67	0.7535	7.7471	0.6
159.78	15.978	0.0243	9.2693	1707.1	170.71	0.7535	7.7471	0.7	
Aspen pit 1	2.99	0.299	0.0360	22.1	30.9	3.09	0.181	25.7	0.2
	27.27	2.727	0.0360	22.1	403.7	40.37	0.181	25.7	0.3
	248.58	24.858	0.0360	22.1	5275.0	527.50	0.181	25.7	0.4
	2265.98	226.598	0.0360	22.1	68922.8	6892.28	0.181	25.7	0.5
	20656.05	2065.605	0.0360	22.1	900532.7	90053.27	0.181	25.7	0.6
188294.72	18829.472	0.0360	22.1	11766202.1	1176620.21	0.181	25.7	0.7	
Aspen nat. soil	0.11	0.011	0.000495	27.1	1.9	0.19	0.0383	19.6	0.2
	1.68	0.168	0.000495	27.1	13.7	1.37	0.0383	19.6	0.3
	25.26	2.526	0.000495	27.1	97.3	9.73	0.0383	19.6	0.4
	379.57	37.957	0.000495	27.1	690.7	69.07	0.0383	19.6	0.5
	5704.71	570.471	0.0005	27.1	4903.5	490.35	0.0383	19.6	0.6
85737.64	8573.764	0.0005	27.1	34811.2	3481.12	0.0383	19.6	0.7	
Glenwood 1	0.28	0.028	0.0028	23	1.9	0.19	0.0345	20.1	0.2
	2.81	0.281	0.0028	23	14.3	1.43	0.0345	20.1	0.3
	28.01	2.801	0.0028	23	107.0	10.70	0.0345	20.1	0.4
	279.37	27.937	0.0028	23	798.9	79.89	0.0345	20.1	0.5
	2786.44	278.644	0.0028	23	5962.3	596.23	0.0345	20.1	0.6
27792.50	2779.250	0.0028	23	44498.2	4449.82	0.0345	20.1	0.7	
Glenwood 4	0.45	0.045	0.000602	33.1	0.6	0.06	0.00172	29.5	0.2
	12.36	1.236	0.000602	33.1	12.0	1.20	0.00172	29.5	0.3
	338.58	33.858	0.000602	33.1	229.2	22.92	0.00172	29.5	0.4
	9271.93	927.193	0.000602	33.1	4379.0	437.90	0.00172	29.5	0.5
	253912.98	25391.298	0.0006	33.1	83664.4	8366.44	0.00172	29.5	0.6
6953438.81	695343.881	0.0006	33.1	1598488.4	159848.84	0.00172	29.5	0.7	
Boillat (2000)	0.04	0.00	0.002	0.0647	91.9	9.2	0.066	24.7	0.2
	22.34	2.23	0.002	0.0647	1084.7	108.5	0.066	24.7	0.3
			0.002	0.0647	12801.1	1280.1	0.066	24.7	0.4
			0.002	0.0647	151067.9	15106.8	0.066	24.7	0.5
			0.0020	0.0647	1782780.1	178278.01	0.066	24.682	0.6
$\eta = \alpha_1 * e^{\beta_1 * \dot{\gamma}^{c_v}}$	0.00	0.000	0.0020	0.0647	2103891.9	210389.19	0.066	24.682	0.7

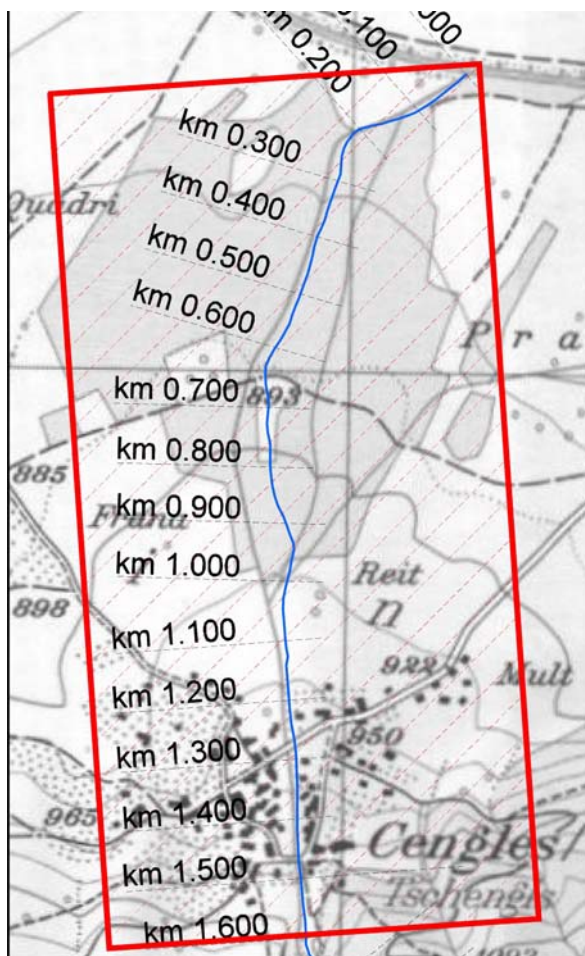
Tschengls	$\mu$	$\mu$	$\alpha_1$	$\beta_1$	$\tau_y$	$\tau_y$	$\alpha_2$	$\beta_2$	$c_v$
	[dynsec/m <sup>2</sup> ]	[Pas]			[dyn/cm <sup>2</sup> ]	[Pa]			[-]
	0.19	0.019	0.10	3.3	19.3	1.93	10	3.3	0.2
	0.27	0.027	0.10	3.3	26.8	2.68	10	3.3	0.3
	0.37	0.037	0.10	3.3	37.3	3.73	10	3.3	0.4
	0.52	0.052	0.10	3.3	51.8	5.18	10	3.3	0.5
	0.72	0.072	0.10	3.3	72.0	7.20	10	3.3	0.6
	1.00	0.100	0.10	3.3	100.0	10.00	10	3.3	0.7
	1.93	0.193	1.00	3.3	386.1	38.61	200	3.3	0.2
	2.68	0.268	1.00	3.3	536.5	53.65	200	3.3	0.3
	3.73	0.373	1.00	3.3	745.5	74.55	200	3.3	0.4
	5.18	0.518	1.00	3.3	1035.9	103.59	200	3.3	0.5
	7.20	0.720	1.00	3.3	1439.4	143.94	200	3.3	0.6
	10.00	1.000	1.00	3.3	2000.0	200.00	200	3.3	0.7
	9.65	0.965	5.0	3.3	772.3	77.23	400	3.3	0.2
	13.41	1.341	5.0	3.3	1073.1	107.31	400	3.3	0.3
	18.64	1.864	5.0	3.3	1491.0	149.10	400	3.3	0.4
	25.90	2.590	5.0	3.3	2071.8	207.18	400	3.3	0.5
	35.98	3.598	5.0	3.3	2878.7	287.87	400	3.3	0.6
	50.00	5.000	5.0	3.3	4000.0	400.00	400	3.3	0.7
	19.31	1.931	10.0	3.3	1544.6	154.46	800	3.3	0.2
	26.83	2.683	10.0	3.3	2146.2	214.62	800	3.3	0.3
	37.28	3.728	10.0	3.3	2982.1	298.21	800	3.3	0.4
	51.79	5.179	10.0	3.3	4143.6	414.36	800	3.3	0.5
	71.97	7.197	10.0	3.3	5757.5	575.75	800	3.3	0.6
	100.00	10.000	10.0	3.3	8000.0	800.00	800	3.3	0.7
Maschänserrüfe	0.03	0.003	0.001301	15	0.2	0.02	0.003059	20.0	0.2
	0.12	0.012	0.001301	15	1.2	0.12	0.003059	20.0	0.3
	0.52	0.052	0.001301	15	9.1	0.91	0.003059	20.0	0.4
	2.35	0.235	0.001301	15	67.4	6.74	0.003059	20.0	0.5
	10.54	1.054	0.001301	15	497.9	49.79	0.003059	20.0	0.6
	47.25	4.725	0.0013	15	3678.8	367.88	0.003059	20	0.7





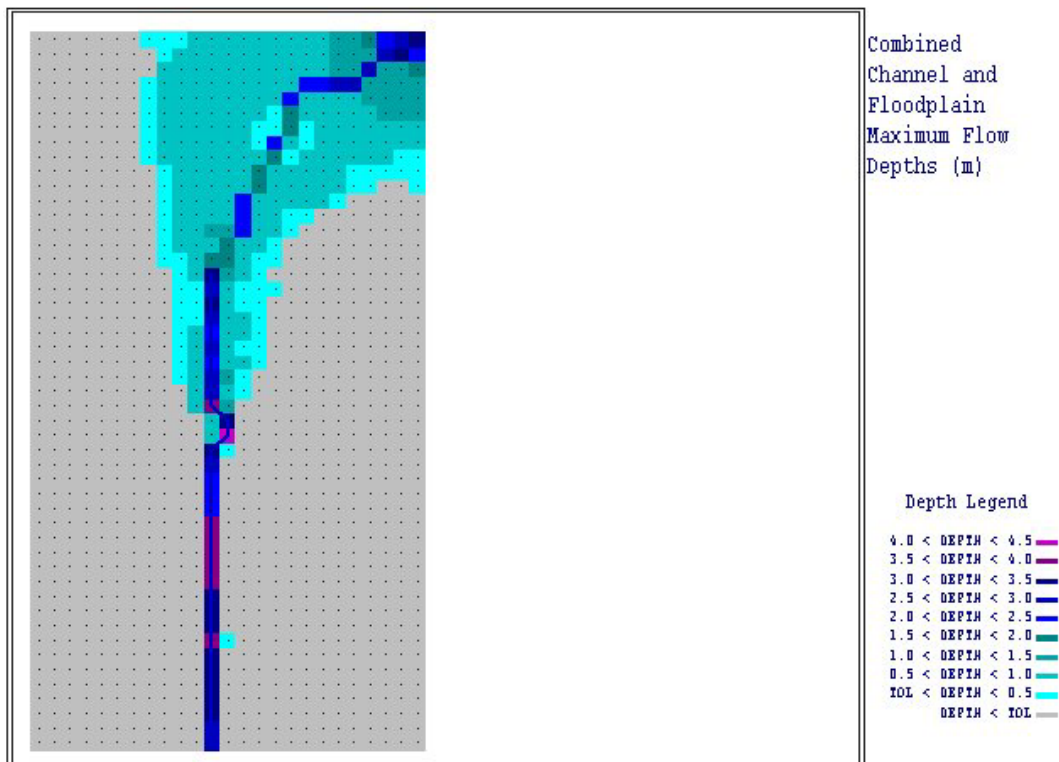
### A8. Rechengebiet Flo -2d

1225 Rasterzellen, 49 x 25, Abstand 30 m

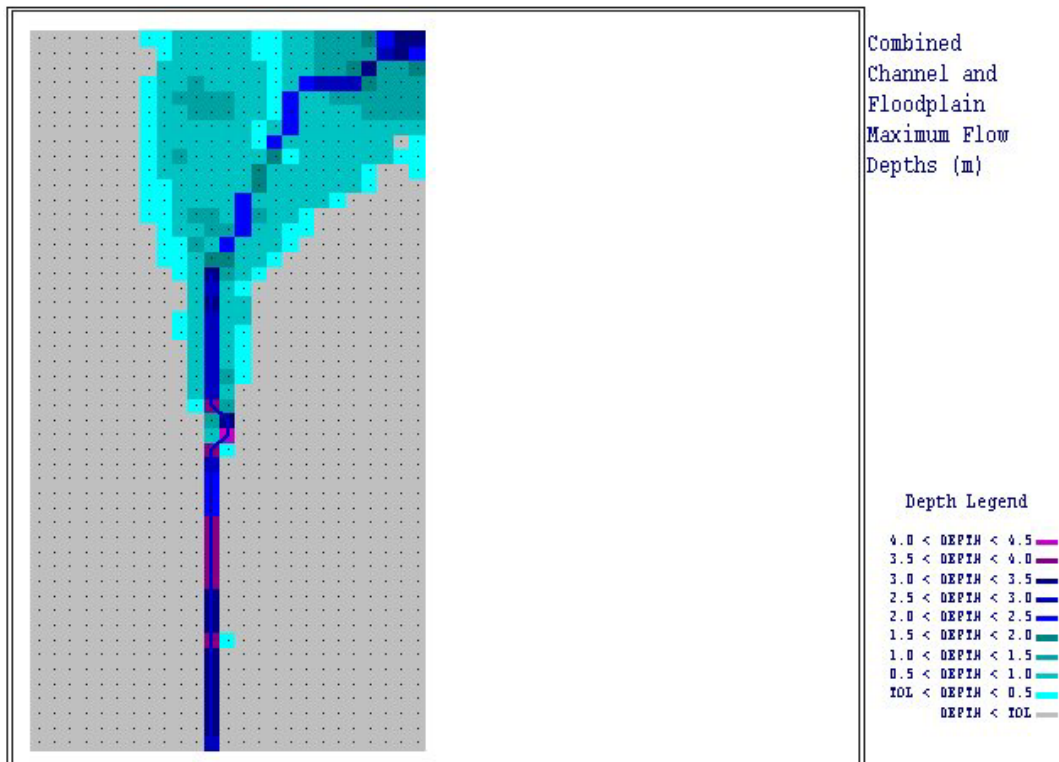


## A9. Ausgewählte Beispiele der numerischen Modellierung

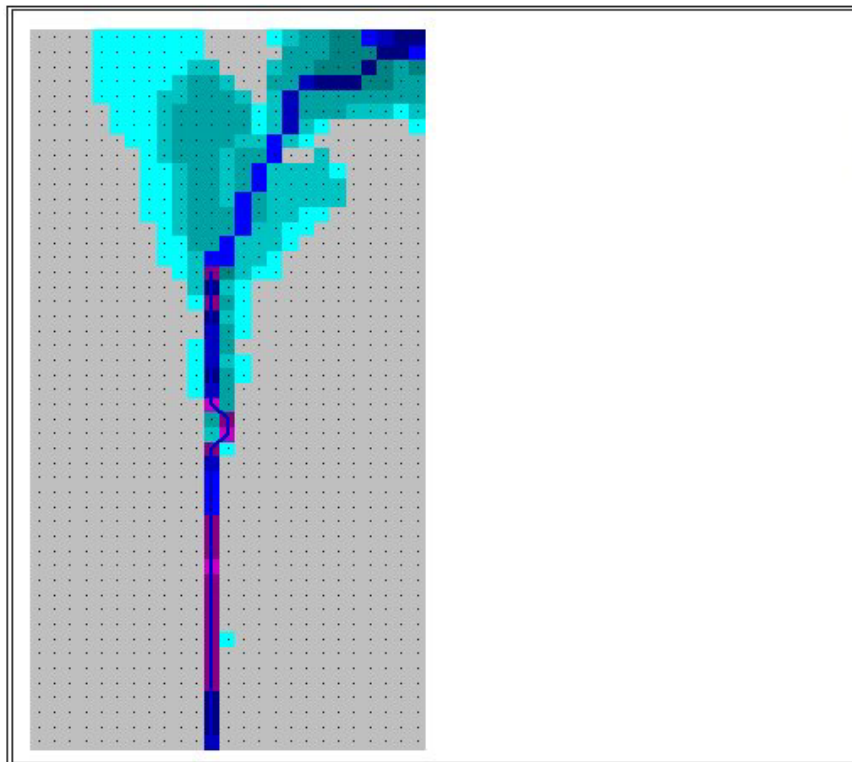
### A9.1 M12



### A9.2 M16



**A9.3 M110**

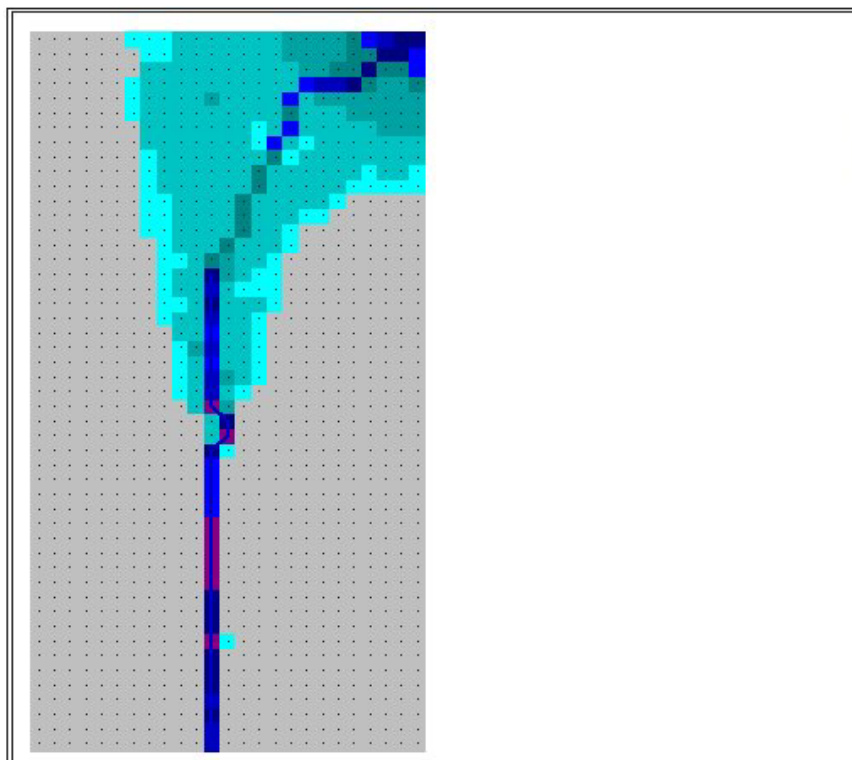


Combined  
Channel and  
Floodplain  
Maximum Flow  
Depths (m)

Depth Legend

- 4.0 < DEPTH < 4.5
- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL

**A9.4 M22**



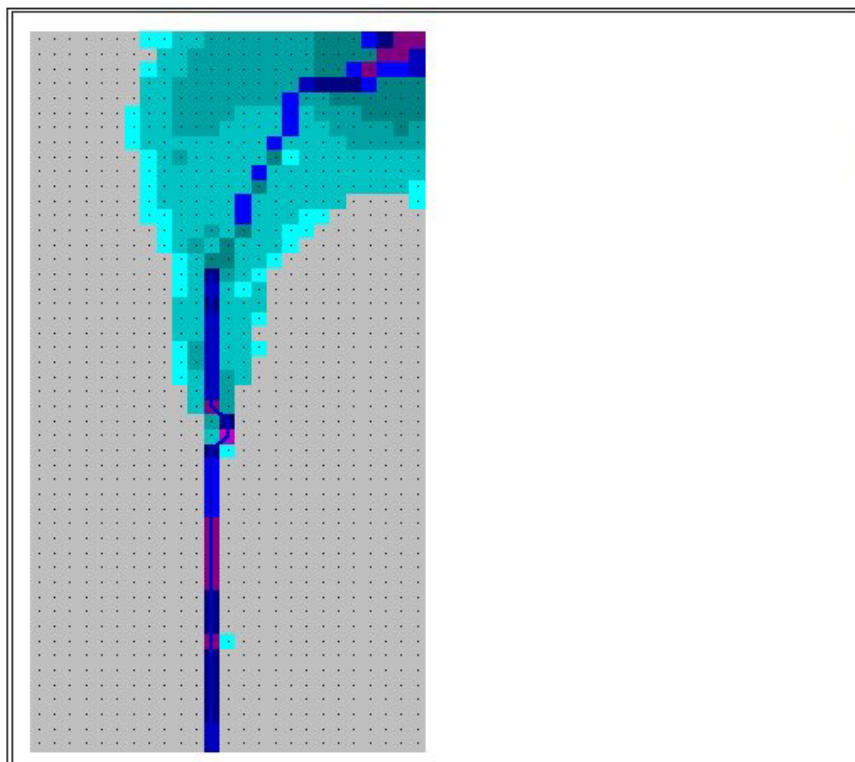
Combined  
Channel and  
Floodplain  
Maximum Flow  
Depths (m)

Depth Legend

- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL



**A9.5 M26**

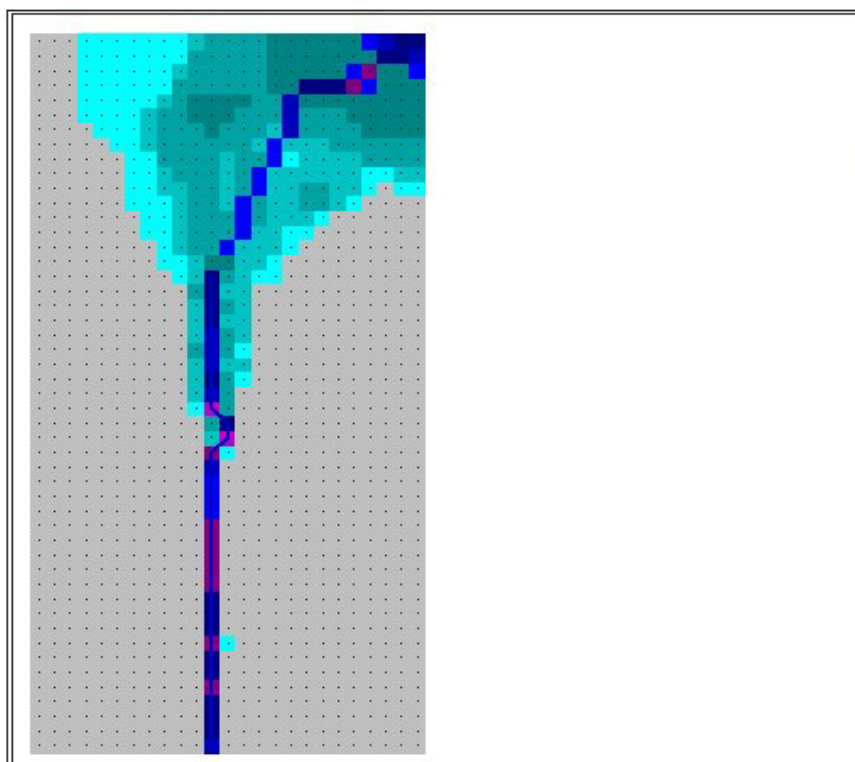


Combined Channel and Floodplain Maximum Flow Depths (m)

Depth Legend

- 4.0 < DEPTH < 4.5
- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL

**A9.6 M210**

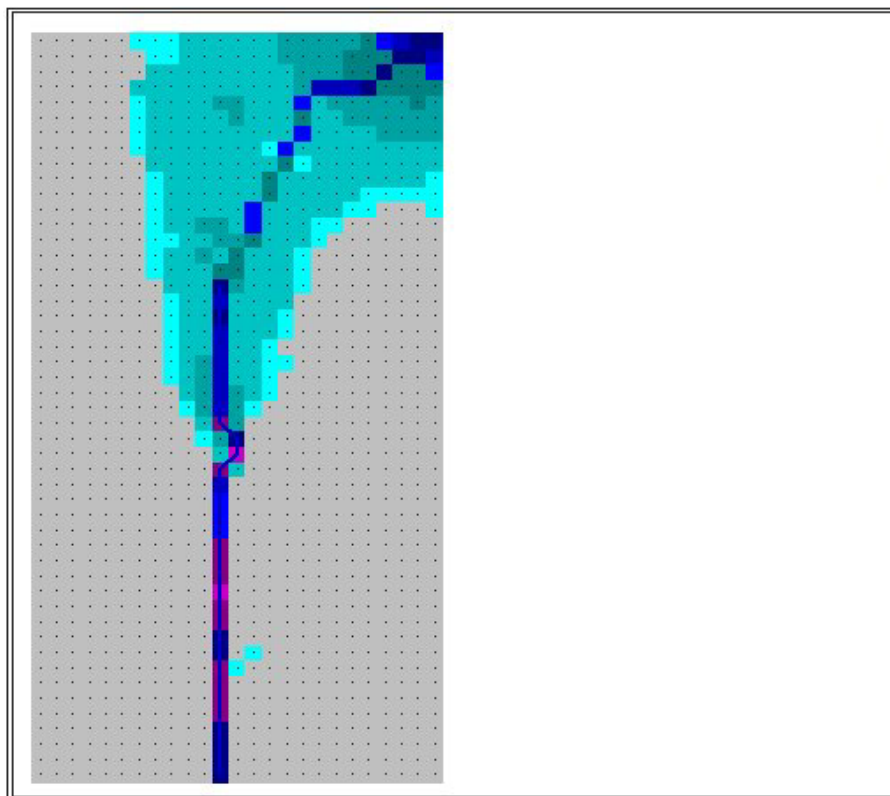


Combined Channel and Floodplain Maximum Flow Depths (m)

Depth Legend

- 4.0 < DEPTH < 4.5
- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL

**A9.7 M32**

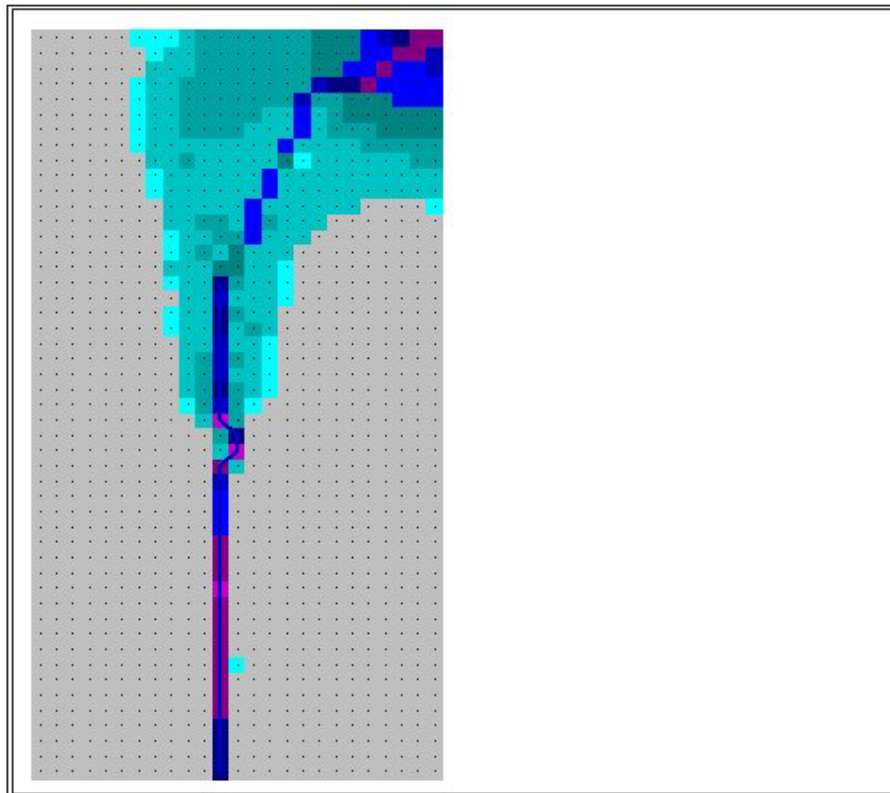


Combined  
Channel and  
Floodplain  
Maximum Flow  
Depths (m)

Depth Legend

- 4.0 < DEPTH < 4.5
- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL

**A9.8 M36**



Combined  
Channel and  
Floodplain  
Maximum Flow  
Depths (m)

Depth Legend

- 4.0 < DEPTH < 4.5
- 3.5 < DEPTH < 4.0
- 3.0 < DEPTH < 3.5
- 2.5 < DEPTH < 3.0
- 2.0 < DEPTH < 2.5
- 1.5 < DEPTH < 2.0
- 1.0 < DEPTH < 1.5
- 0.5 < DEPTH < 1.0
- TOL < DEPTH < 0.5
- DEPTH < TOL

**A9.9 M310**

