



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

WLS REPORT 1

**Das Hochwasserereignis 1987 im Tuxertal
Eine hydrologische - hydraulische Simulation
als Element des Katastrophenschutzes**



Projektleitung: Hübl Hannes
Bearbeiter: Rauch Hans-Peter



Im Auftrag des Forsttechnischen Dienstes
für Wildbach und Lawinenverbauung
Gebietsbauleitung Westliches Unterinntal

März 1996

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORWORT.....	6
2. PROBLEMSTELLUNG	7
3. METHODIK UND ZIELSETZUNG.....	11
4. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES PROGRAMMSYSTEM NASIM.....	14
4.1 Modellbeschreibung	14
4.2 Belastungsbildung	16
4.3 Belastungsverteilung	16
4.4 Belastungsaufteilung	16
4.4.1 Verdunstung	16
4.4.2 Bodenfeuchtespeicher	17
4.4.3 Abflusskonzentration	17
4.4.4 Wellenverformung	18
5. THEORETISCHE GRUNDLAGEN DES PROGRAMMSYSTEM JABRON	19
5.1 Überblick Programmsystem Jabron	19
5.2 Leistungsmerkmale	19
5.3 Abfluß im offenen Gerinne	21
5.3.1 Arbeitsgleichungen	21
5.3.2 Fließzustände	25
5.3.3 Rauheitsbeiwerte	26
5.3.4 Interaktion Vorland-Hauptgerinne.....	31
5.3.5 Kontinuierliche Querschnittsänderungen.....	33
5.3.6 Punktförmige, örtliche Verluste.....	34
5.3.7 Schleppspannung	35

6. BESCHREIBUNG DES PROJEKTGEBIETES	37
6.1 Lage des Einzugsgebietes	37
6.2 Geologie	38
6.3 Klima und Vegetation	39
6.4 Entstehung der Talbecken	40
7. CHARAKTERISTIKA DES HAUPTBACHES	42
7.1 Der Tuxbach.....	42
7.2 Potentielle Gefahrensituation	43
7.3 Extremwertanalyse des Pegel Persal.....	43
7.3.1 Ausgangsdaten für die Extremwertberechnung	43
7.3.2 Ergebnisse für die Ausgangsdaten	44
7.3.3 Graphische Darstellung der Gumbelverteilung.....	44
8. HOCHWASSEREREIGNISSE IM TUXERTAL	47
8.1 Allgemeine Auslösebedingungen.....	47
8.2 Einflußfaktoren.....	48
8.2.1 Bodenspeicher und Schneedecke	48
8.2.2 Schneefallgrenze	48
8.3 Ausgewählte Hochwasserereignisse des Tuxbaches.....	50
8.3.1 Hochwasserereignis vom August 1985.....	50
8.3.2 Die Hochwasserereignisse 1987 im Tuxertal.....	52
8.3.2.1 Klimatische Verhältnisse der Vorperiode.....	52
8.3.2.2 Meteorologische Situation am 18.-19. Juli in den Alpen	53
8.3.2.3 Meteorologische Situation am 23.-25. August 1987 in den Alpen.....	54
8.3.2.4 Temperaturverlauf und Gletscherspende	54
8.3.3 Ereignis vom Juli 1987	56
8.3.3.1 Niederschlagsverteilung	56
8.3.3.2 Abflußsituation	56

8.3.4 Ereignis vom August 1987.....	57
8.3.4.1 Niederschlagsverteilung	57
8.3.4.2 Abflußsituation	59
8.3.5 Hochwasserschäden vom Ereignis August 1987	61
8.3.6 Fotodokumentation	62
9. AUFARBEITUNG PROJEKTSBEZOGENER SYSTEMDATEN	64
9.1 Zeitunabhängige Systemdaten	64
9.1.1 Teileinzugsgebietsgrenzen	64
9.1.2 Gerinnedaten	67
9.1.2.1 Allgemeine Hinweise zur Erstellung von Datensätzen.....	67
9.1.2.2 Querprofilsdaten	67
9.1.2.3 Längsschnittdaten	70
9.1.3 Datenerhebung	70
9.1.3.1 Berechnungsabschnitte	71
9.1.4 Bestimmung der Bodenkennwerte	72
9.2 Zeitabhängige Systemdaten	73
9.2.1 Übersicht	73
9.2.2 Grundlagen.....	74
9.2.3 Niederschlagsdaten	74
9.2.4 Abflußdaten.....	74
9.2.5 Klimadaten	75
10. ERGEBNISSE.....	77
10.1 Niederschlag Abflußsimulation	77
10.1.1 Tageswertsimulation	77
10.1.2 Kurzzeitsimulation	77
10.1.3 Mittlere Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1987.....	78
10.1.4 Mittlere Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1985.....	78

10.2 Wasserspiegellagenberechnung	79
11. DISKUSSION	81
12. BEILAGENVERZEICHNIS	85
13. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	87
14. LITERATURVERZEICHNIS	89

ANHANG A

Ausgabe der Berechnungen in Form von Tabellen

ANHANG B

Graphische Ausgabe: Hydrologische- Hydraulische Längsschnitte

ANHANG C

Graphische Ausgabe: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen

1. Vorwort

Im August 1987 kam es im Tuxertal zu großflächigen Überschwemmungen, ausgelöst durch langanhaltende Niederschläge über dem Gletscher. Ein hochwasserführender Tuxbach, der aus seinem Bachbett austritt, ist der Bevölkerung des Tuxertales nicht unbekannt. Die Schadenschronik des Tuxbaches dokumentiert, daß es im Abstand von nur wenigen Jahren immer wieder zu Überflutungen und Schäden an der Infrastruktur kommt.

Unwetter vergleichbaren Ausmaßes und ihre Folgen abseits der Kulturlandschaft pflegen wir als Naturphänomene zu bezeichnen, so fern sie überhaupt wahrgenommen werden. Kommt aber der Mensch und seine materiellen Güter infolge solcher Ereignisse zu Schaden, sprechen wir von einer Katastrophe. Die Katastrophe, die aus antroponzentrischer Sichtweise so genannt wird, ist im Vergleich des kurzen individuellen Daseins des Menschen zum erdgeschichtlichen Ablauf eine geologische Norm.

Das Schauspiel der Erosion unterscheidet sich im Aufbau von unseren Bühnenstücken dadurch, daß die Pausen viel länger dauern als die einzelnen Akte; diese werden dafür mit ungeheurer Intensität und Dramatik „gespielt“.(LAMBERT, 1994)

Naturkatastrophen sind demnach meistens extreme Naturvorgänge, die eher als menschliche Katastrophen oder Kulturkatastrophen zu bezeichnen sind. Lange Zeit mied der Mensch hochwassergefährdete Gebiete und paßte sich den gegebenen Verhältnissen an. Man versuchte nicht den Naturgewalten die Stirn zu bieten, sondern beugte sich ihrem Diktat.

Mit der schrittweisen Eroberung der Talböden wagten sich die Menschen an die Flüsse heran und versuchten sie zunächst für den landwirtschaftlichen Anbau zu nutzen und allmählich auch zu besiedeln. Auf diese Art und Weise ging auch im Tuxertal viel „Lebensraum“ des Tuxbaches verloren, sodaß heute die Schadempfindlichkeit gewaltig gestiegen ist. Die Menschen vor 100 Jahren hätten den Wassermengen zwar beeindruckt zugeschaut, wegen fehlender Einrichtungen und Anlagen der Tourismuswirtschaft aber kaum von einem Schaden reden können.

2. Problemstellung

Die wesentlichen Ursachen der heutigen Problematik, die bei lang anhaltenden Niederschlägen über dem Gletscher im Tuxertal durch die Hochwasserführung des Tuxbaches entsteht, sind:

- der Verlust von Retentionsräumen und eine dadurch weniger gedämpfte Hochwasserwelle
- die gestiegene Schadempfindlichkeit
- der veränderter Geschiebehaushalt durch Ausleitungen und Verbauungen

Anfänglich waren Maßnahmen von Bauern, die ihre im Tuxertal begrenzte landwirtschaftliche Fläche bei Hochwassersituationen vor Uferanrissen und Überschwemmungen zu schützen versuchten. Am Bachabschnitt Nösslau vor der Steilstufe nach Hintertux, wo der Besiedelungsdruck nicht so groß ist, sind solche einfache Bauwerke noch zu sehen (Abb. 1).

Abbildung 1: Kompakt geschichtete Steine zum Schutz vor Uferanrissen im Außenbogen

Durch das Fehlen der Möglichkeit, Maschinen einzusetzen, wurden Steine, die vor Ort gesammelt wurden, kompakt geschichtet. Durch die geringe Mächtigkeit konnte sich ein

schmäler Ufersaum ausbilden, der für das Bauwerk zusätzliche Stabilität bedeutet. Diese Maßnahmen zeigen ein gutes Gefühl für die Reaktion des Gewässers und für die Wahl des Bemessungsereignisses. In diesen Bereichen kann der Tuxbach Retentionsräume in Anspruch nehmen, es kommt zu keiner Konzentration der wichtigsten Abflußparameter (Geschwindigkeit, Schleppspannung), wodurch lokale Uferanrisse vermieden und Hochwasserspitzen abgebaut werden.

In den letzten 20 Jahren kam es zu einer vermehrten Bereitstellung an Siedlungsflächen, Gewerbeflächen, Verkehrswegen und Infrastrukturen im Talbereich.

Die dadurch bedingte starke Bautätigkeit, eine Folge von intensivsten Tourismusaktivitäten in den letzten Jahren, bedingte einen starken Anfall von Abbruch und Aushubmaterial. Mit Vorliebe wurde dieses Material in den tiefliegenden Überflutungsräumen des Tuxbaches angeschüttet. Genehmigungen wurden erteilt, um dieses Material zur Erhöhung von Uferböschungen zu verwenden und damit hochwasserfreies Grünland zu erhalten. Die Schadempfindlichkeit und das damit verbundene Schutzbedürfnis stieg. Die Deckung des Schutzbedürfnisses bestand in einer Reihe von Genehmigungen und Maßnahmen der Wildbach- und Lawinerverbauung in Form von Leitwerken, Sohlgurten und Steinschichtungen (Abbildung 2).

Abbildung 2: Beispiel für einen unangemessenen Schutzgrad einer Weidefläche im Bereich von Hintertux

Bei sehr vielen Fällen vermißt man dabei die Verhältnismäßigkeit des Schutzgrades. Hochwasserschutz kann im allgemeinen nicht so weit gehen, daß überall jegliche Gefährdung ausgeschlossen ist. Bei der Entscheidung über den angemessenen Schutzgrad muß der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit der Mittel beachtet werden, dabei spielt insbesondere das Sicherheitsbedürfnis der Öffentlichkeit, die Belange der Natur und Landschaft und die Wirtschaftlichkeit eine Rolle.

- Viel zu oft wurden Regelprofile verwendet und die Kenntnis des örtlichen und zeitlichen Wellenablaufes außer Acht gelassen.
- Viel zu oft handelte man aus einer reduktionistischen Sichtweise, indem man Probleme lokal zu lösen versuchte, ohne dabei die Auswirkungen auf tieferliegende Bereiche abzuschätzen (Abbildung 3).

Abbildung 3: Sofortmaßnahme der Wildbach- und Lawinenverbauung nach dem Hochwasserereignis August 1987 zwischen Lanersbach und Vorderlanersbach

Die Veränderung des Abflußregimes bezüglich einer Sedimentation im Sohlenbereich, verursacht durch die Ausleitung von ca. 3 m³/s der Tauernkraftwerke in den Schlegeisspeicher und einer damit verbundenen geringeren Wasserführung, stand im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Diskussion, da die Tauernkraftwerke sich der Gemeinde gegenüber

verpflichteten, in regelmäßigen Abständen Beweise in Form von Querprofilsvermessungen vorzulegen, daß die verminderte Wasserführung des Tuxbaches ausreicht, um anfallendes Geschiebe der Zubringer abzutransportieren und es zu keinen Auflandungstendenzen kommt. Für die Bewilligung weiterer Maßnahmen und Aufschüttungen im Uferbereich des Tuxbaches wandte sich die Bezirkshauptmannschaft an die zuständige Gebietsbauleitung, die Ausarbeitung eines generellen Projektes durchzuführen, dessen Ziel die Erfassung von potentiellen Überschwemmungsflächen im Ist-Zustand ist. Im Gefahrenzonenplan, der im Jahre 1970 erstellt wurde, sind wesentliche Retentionsräume des Tuxbaches als gelbe oder rote Gefahrenbereiche ausgewiesen, wodurch eine Erhaltung zur Dämpfung der Hochwasserwelle rein gesetzlich nicht gegeben ist (Abbildung 4). Überflutungsräume müßten als Vorbehaltsflächen ausgewiesen werden, um in der Raumplanung als Element der Naturraumplanung berücksichtigt zu werden.

Abbildung 4: Auszug aus dem Gefahrenzonenplan (STAUDER, NEUNER, 1971)

3. Methodik und Zielsetzung

Die Rekonstruktion von Kausalitäten und das Prozeßverständnis bilden eine wichtige Grundlage einer Systemanalyse. Der Prozeß der Niederschlag- Abflußbildung der Hochwasserkatastrophe 1987 im Tuxertal und die Auswirkungen im Talbereich bilden die Schwerpunkte dieser Arbeit. Die versuchten Lösungsansätze lassen sich anhand von fünf wesentlichen Projektschwerpunkten beschreiben:

- Extremwertstatistische Auswertung des Pegel Persal
- Analyse der Hochwasserereignisse 1987 im Tuxertal
- Niederschlag- Abflußsimulation
- Wasserspiegellagenberechnung für ausgewählte Abflüsse
- Festlegung der Überflutungsflächen für ausgewählte Abflüsse

In Abbildung 5 werden die Zusammenhänge und die Abläufe in Form eines Flußdiagrammes dargestellt. Im Rahmen einer Diplomarbeit simulierte PRESSLAUER insgesamt sieben Varianten und erhielt dadurch mittlere Gebietsparameter, die die Grundlage zur Bestimmung von maßgebenden Abflüsse für die Wasserspiegellinienberechnung bildeten. Die theoretischen Grundlagen und die Ausführungen sind in den nachfolgenden Kapiteln erläutert.

Die Niederschlagabflußsimulation für das Einzugsgebiet des Tuxbaches wurde von PRESSLAUER an Hand der Hochwasserereignisse August 1985 und August 1987 mit dem Programmsystem NASIM von der Firma Hydrotec (Aachen) durchgeführt. Ziel dieser Arbeit war es, mit den vorhandenen Abflußdaten zwei Ereignisse zu simulieren, um daraus mittlere spezifische Abflußparameter, die bei einem bestimmten Niederschlagsereignis die Hochwasserwelle des Tuxbaches charakterisieren, zu erhalten. Anschließend daran konnten für jeden Berechnungsabschnitt drei charakteristische Abflüsse festgelegt werden, die als Grundlagen für die Wasserspiegellagenberechnung dienten.

Zwischen dem Pegel Wasserfall, der den Abfluß des vergletscherten Teil des Einzugsgebietes erfaßt, und dem Pegel Persal (Beilage 1) wurden an den Einmündungen der wichtigsten Zubringer Systemknoten gesetzt, um für die Ereignisse differenzierte Abflüsse zu erhalten. Die Abflüsse für die Wasserspiegellagenberechnung basieren nicht auf Jährlichkeiten,

sondern auf Extremwerten des Pegels Persal und auf dem Pegelwert des Hochwasserereignisses im August 1987. Die Abflußwerte beim Pegel Persal für die Festlegung von potentiellen Überschwemmungsflächen betragen 130 m³/s, 100 m³/s und für das Hochwasserereignis im August 1987 75 m³/s. An Hand von ca. 400 Querprofilen, die den Talbereich zwischen den zwei Pegeln beschreiben, wurden mit dem Ansatz des stationär ungleichförmigen Abflusses Retentionsflächen ausgeschieden.

Da seitens der Wildbach und Lawinenverbauung keine ausreichende Ereignisdokumentation durchgeführt wurde und der von der Tiroler Landesregierung im Jahr 1991 erstellte Schichtenplan bereits die Sofortmaßnahmen des Hochwasserereignisses 1987 inkludiert, können die simulierten Flächen nicht den tatsächlich beanspruchten Retentionsflächen im August 1987 entsprechen.

Ziel dieser Arbeit ist es, Zusammenhänge des Systems Tuxbach zu erkennen und Lösungsansätze nicht auf lokale Abschnitte zu beschränken, sondern ganzheitliche und längerfristige Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Kurzfristig von Menschen als positiv gesetzte Schutzmaßnahmen, etwa in Form eines Dammes, können sich längerfristig durch eine Beschleunigung der Hochwasserwelle für das Ökosystem und damit für den Menschen als negativ und unkontrolliert entpuppen. Dem Gewässer muß genügend Raum gelassen werden, damit die zerstörerischen Kräfte abgebaut werden können.

Im Sinne der nachhaltigen Optimierung der Eingriffe in die Landschaft stellt eine entsprechende Raumordnung, die das Ausweisen von gefährdeten Zonen berücksichtigt und diese frei von speziellen Nutzungen hält, das wesentlichste Instrumentarium dar. Das Freihalten von Gefahrenbereichen erfordert keinen Einsatz technischer Maßnahmen und ist damit in Hinblick auf die langfristige Erhaltung der Schutzwirkung die kostengünstigste Form des Schutzes. Dies ist auch auf jeden Fall positiv im Sinn der Erhaltung der ökologischen Funktionsfähigkeit des Fließgewässers. Die eingesparten Geldmittel könnten für die Abgeltung von Schäden oder Ertragsausfällen wegen der erforderlichen extensiven Nutzung der Überschwemmungsflächen herangezogen werden. Die Gefahrenzonenplanung besitzt mit den Vorbehaltsflächen ein geeignetes Instrument, diese Flächen kenntlich zu machen.

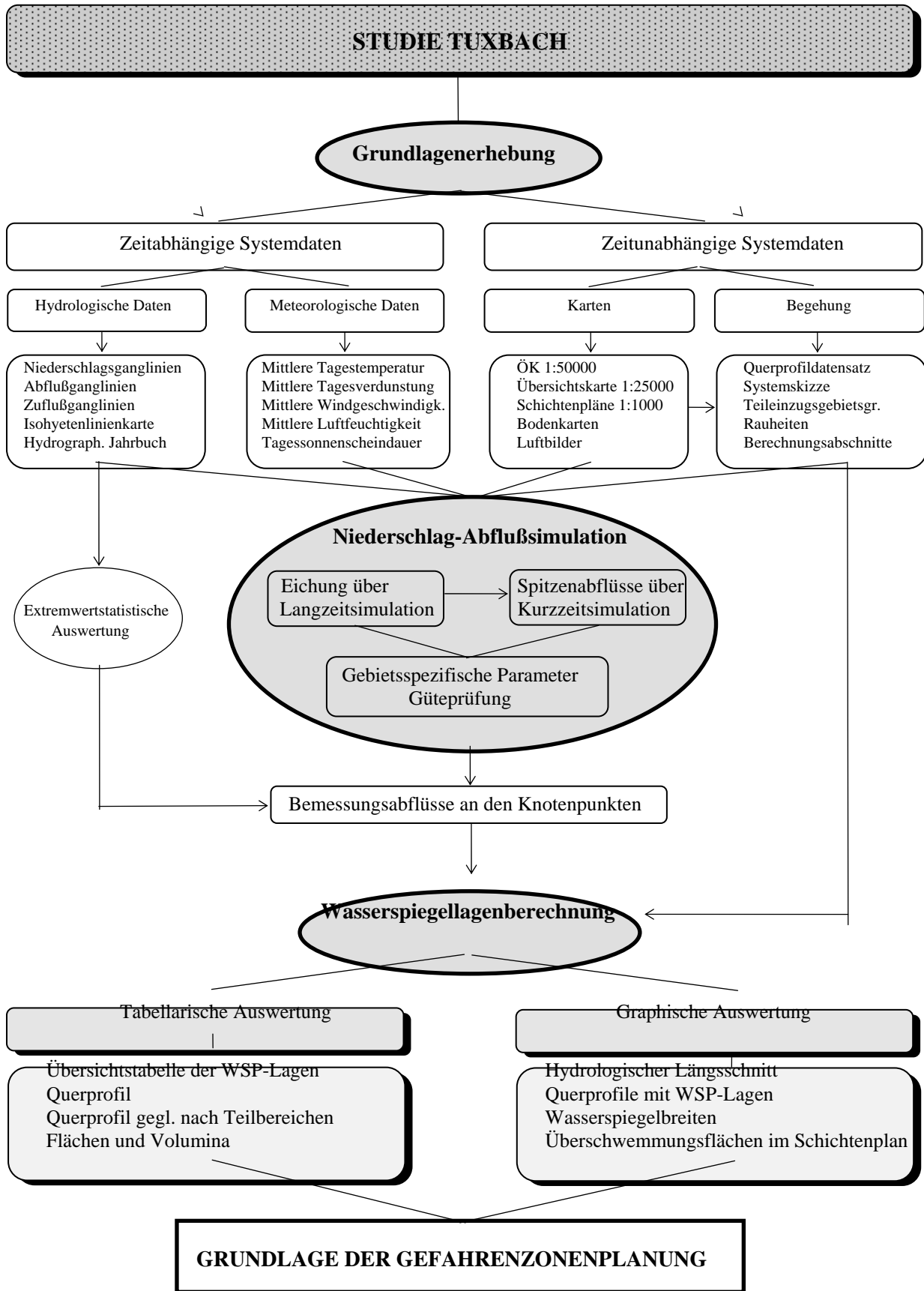


Abbildung 5: Flußdiagramm der Studie Tuxbach

4. Theoretische Grundlagen des Programmsystem NASIM

4.1 Modellbeschreibung

Grundsätzlich ist NASIM als eine Aneinanderreihung verschiedener hydrologischer Verfahren zu betrachten, die anschließend kurz beschrieben werden. Der Aufbau des Modells wird in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: Untergliederung des hydrologischen Kreislaufes (HYDROTEC, 1991)

Die einzelnen verwendeten Verfahren sind in Abbildung 7 zusammengefaßt.

Teilprozeß	Verfahren	Parameter	Quelle
Belastungsbildung	Temperaturfaktor kombin. mit Snow- Compaction- Verf.	3	Knauf (1975)
Belastungsverteilung	Thiessen- Verfahren	-	Thiessen (1944)
Belastungsaufteilung	Linearer Bodenfeuchtespeicher	8	Ostrowski (1982) Hatzfeld (1987)
Abflußkonzentration	Oberfläche: Isochronen Einzellinearspeicher für Oberfläche, Interflow, Basisabfluß; Tiefes Grundwasser	4	Clark 81945) Ostrowski (1982/85) (1989)
Wellenverformung	Kalinin- Miljukov-Verfahren für Gerinne und Kanäle; Modified-Plus- Verfahren für Speicher	1	Roseman (1970) EPA (1983)

Abbildung 7: Tabelle der verwendeten Verfahren (HYDROTEC, 1991)

4.2 Belastungsbildung

Mit Belastung wird sämtliches, auf die Erdoberfläche auftreffende Wasser bezeichnet, das versickert, oberflächenhaft abfließt oder in Interceptionsspeichern aufgefangen wird.

Neben der Belastung aus Regen spielt im alpinen Bereich auch die Belastung aus der Schneeschmelze eine enorm wichtige Rolle, was mehrfach Überschwemmungen im Frühjahr zeigen.

Literaturangaben: COLPECK (1972), KNAUF (1975), HERRMANN (1978), OBLED & HARDER (1978), HERRMANN &RAU (1984), BAUMGARTNER (1990)

4.3 Belastungsverteilung

Die Belastungsverteilung findet auf der Basis der Berechnung des Gebietsniederschlages nach THIESSEN (1944) statt. Jeder Station wird eine representative Fläche zugeordnet, die durch die Streckensymetralen der Verbindungsstrecken benachbarter Stationen gebildet wird. Der Gebietsniederschlag ist das mit den Flächenanteilen jeder Station gewichtete Mittel der Stationsniederschläge.

4.4 Belastungsaufteilung

4.4.1 Verdunstung

Die Verdunstung hat bei isoliert betrachteten Kurzzeitsimulationen von Hochwässern eher eine geringe Bedeutung. Umso wichtiger ist sie bei langfristigen Bilanzrechnungen, wo sie einen großen Einfluß auf den Bodenspeicher hat. Allerdings muß angeführt werden, daß für die Verdunstungsrechnung eine ganze Reihe von Daten benötigt werden, die im Einzugsgebiet meistens nicht vorhanden sind, und daher von weiter entfernt liegenden Klimastationen besorgt werden müssen.

Die Berechnung der Verdunstung bzw. Evaporation erfolgt nach PENMAN (1948) durch den Ansatz der Energiebilanz und setzt sich aus der Verdunstung von der Bodenoberfläche, Transpiration der Pflanzen und Interceptionsverlusten zusammen.

Nach Angaben der DVWK-Schriften 86 (1990) fallen die Verdunstungswerte meistens zu hoch aus, da an der Oberfläche Dampfsättigung herrschen muß, was jedoch meistens nur für Wasseroberflächen gilt.

Literaturangaben: PENMAN (1948), BAUMGARTNER (1966,1970)

4.4.2 Bodenfeuchtespeicher

Anders als bei der Verdunstung, der vor allem bei der Langzeitsimulation eine wichtige Rolle zu zuordnen ist, hat die Bodenfeuchte auch bei der Hochwassersimulation einen wichtigen Stellenwert, sodaß es angebracht ist, vor einer Hochwassersimulation mit Hilfe einer mehrmonatigen Langzeitsimulation die Anfangsbodenfeuchte zu bestimmen, und diese als Basis für die Hochwasserberechnung zu verwenden.

Die wichtigsten Faktoren für die Berechnung der Bodenfeuchte sind die Infiltration, aktuelle Evapotranspiration und Perkolation (Durchsickerung der obersten Bodenzone).

Literaturangaben: PENMAN (1954), OSTROWSKI (1989, 1991)

4.4.3 Abflusskonzentration

Grundsätzlich unterscheidet NASIM bei der Abflußsimulation zwischen einem natürlichen Einzugsgebiet und einem versiegelten, urbanen Gebiet. Im Projekt Tuxbach wird das gesamte Einzugsgebiet als natürlich betrachtet.

Transport und Verzögerung der Abflußanteile (Oberflächenanteile, Interflow und Basisabfluß) werden durch Einzellinearspeicher beschrieben. Für den Oberflächenabfluß wurde eine neue Variante des Isochronenverfahrens mit nachfolgender Retention entwickelt. Und zwar wird für jedes Teileinzugsgebiet eine vereinfachte Gebietstopographie mit einem linken und einem rechten Hang, sowie einem Übergangsbogen erstellt. Aus der Gebietstopographie und dem mittleren Gerinnequerschnitt können die Isochronen, und damit die Zeitflächenfunktion bestimmt werden.

Abbildung 8: Beispiel für die Berechnung der Zeitflächenfunktion (HYDROTEC, 1991)

4.4.4 Wellenverformung

Der Ablauf von Hochwasserwellen (Flood-Routing-Verfahren) wird in der Literatur mit den hydraulischen und den hydrologischen Berechnungsverfahren beschrieben. Während erstere auf der Integration der Saint-Venant-Gleichung (Erhaltung der Masse und der Energie) beruht, geht das hydrologische Verfahren von der Kontinuitätsgleichung aus. Die Energiegleichung wird in Form von Parametern berücksichtigt. In NASIM wird zur Berechnung der instationären Hochwasserwellenabläufe das hydrologische Verfahren nach KALININ-MILJUKOV verwendet. Hier wird eine Verzögerung des Wellenmaximums dadurch erreicht, daß der Flußabschnitt als eine Kette von vielen hintereinander geschalteten Einzelspeichern aufgefaßt wird. Die Parameter können aus der Gerinnegeometrie gefunden werden.

Literaturangaben: CHOW VEN TE (1964), ROSEMAN (1970), VERWORN (1980),
TREIBER (1981), MANIAK (1988)

5. Theoretische Grundlagen des Programmsystem JABRON

5.1 Überblick Programmsystem Jabron

Das Programmsystem Jabron ist für die Berechnung natürlicher bzw naturnah ausgebauter Gewässer konzipiert worden. Es ermöglicht sowohl die Berechnung der örtlichen Gerinnekapazität mit einem stationär gleichförmigen Ansatz als auch die Wasserspiegellagenberechnung für stationär ungleichförmigen Abfluß.

Die Berechnungsalgorithmen basieren wahlweise auf dem Ansatz nach MANNING-STRICKLER oder auf dem allgemeinen Fließgesetz nach DARCY-WEISBACH. In der praktischen Anwendung liegen die größten Erfahrungen mit dem Rauheitsbeiwert k_{st} nach MANNING-STRICKLER zur Abschätzung der Fließverluste vor. Die Interaktion zwischen dem Vorland- und dem Hauptgerinneabfluß wird durch eine Aufteilung des Gerinneprofils in Flußschlauch und Vorländer (fiktive Trennwand), der Bewuchs kann im Abflußquerschnitt durch Angabe von Bewuchsparametern berücksichtigt werden. Bauwerke die in ausgebauten Bereichen häufig den Abfluß beeinflussen, können in die Berechnung einbezogen werden.

5.2 Leistungsmerkmale

Natürliche Gerinne:

- Fließvorgänge in Gerinnen mit gegliederten Querschnitten
- Rauheiten je Profil
 - global
 - abschnittsweise für Sohle, Ufer und Vorländer oder für jeden Profilabschnitt zwischen zwei Stützstellen
- Berücksichtigung der Charakteristik natürlicher oder naturnah ausgebauter Gewässer

Berücksichtigung von Sonderbauwerken:

- Standardprofile Kreis und Kasten
- Durchlässe mit beliebigen Querschnittsformen
- Überströmung von Bauwerken
- verschiedene Wehrtypen

Verluste:

- Vorlandbewuchs (Klassifizierung oder Einzelparameter)
- Einzelverluste je Streckenabschnitt
- Ein und Auslaufverluste bei Bauwerken

Verwaltung von

- Lagekoordinaten (zur lagegetreuen Darstellung in Karten)
- Flußname, Gewässerkennzahl, Dienststelle und Vermessungsdatum

Stationär gleichförmige oder stationär ungleichförmige Berechnung

getrennte Berechnung von Flußschlauch und Vorländern

Berechnung von Vorländern

- entweder gleichzeitig mit dem Hauptgerinne
- oder Angabe eines Mindestwasserstandes im Hauptgerinne (Eindeichung)
bevor eine Vorlanddurchströmung gerechnet wird

Berechnung für

- einzelne Abflüsse
- mehrere vorgegebene Abflüsse oder
- in vorgegebenen Schritten gestaffelte Abflüsse (Auswertung der Gerinneleistungsfähigkeit durch Ausweisung von Freibordhöhen)

5.3 Abfluß im offenen Gerinne

5.3.1 Arbeitsgleichungen

Die JABRON zugrunde liegenden Berechnungsansätze werden im folgenden zusammengefaßt dargestellt. Die Berechnungsansätze sind zum Teil empirische Fließformeln, die eine Verknüpfung der Gerinnegrößen wie geometrische Form, Wandbeschaffenheit und Gefälle mit den Abflußgrößen wie Wassermenge, Wasserstand und durchflossener Querschnitt darstellen.

Die Ermittlung der Abflußkapazität der Gerinneprofile nach dem stationär ungleichförmigen Ansatz ($I_e=I_s$) erfolgt in JABRON nach MANNING-STRICKLER:

$$Q = k_{st} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot I_e^{1/2} \cdot A \quad (1)$$

Q	[m ³ /s].....	Abfluß
A	[m ²].....	durchströmte Fläche
k _{st}	[m ^{1/3} /s].....	Rauheitsbeiwert nach STRICKLER
r _{hy}	[m].....	hydraulischer Radius
I _e	[-].....	Energieliniengefälle

Das Energieliniengefälle ergibt sich als:

$$I_e = \frac{Q^2}{\left(k_{st} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot A\right)^2} \quad (2)$$

Alternativ ist es mit JABRON möglich, den Abfluß in einem Gerinne nach dem Ansatz von DARCY-WEISBACH (universelles Fließgesetz) zu berechnen.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot r_{hy} \cdot I_e} \cdot A \quad (3)$$

g	[m/s ²].....	Erdbeschleunigung
λ	[-].....	Widerstandsbeiwert nach COLEBROOK/WHITE

Für den hier vorliegenden ausschließlich rauhen Bereich gilt:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg\left(\frac{k_s / r_{hy}}{14,84}\right) \quad (4)$$

mit:

k_s [m].....Äquivalente Sandrauheit

Das Energieliniengefälle ergibt sich als:

$$I_e = \frac{Q^2}{\left(8 \cdot g \cdot A \sqrt{r_{hy} / \lambda}\right)^2} \quad (5)$$

Als Voraussetzung für eine stationär gleichförmige Berechnung eines Gerinneabschnitts gilt, daß sich Gefälle und Gerinnegeometrie im Bereich des ausgesuchten Profils nicht stark ändern. In der Praxis wird bei einer leichten Gefälleänderung mit einem mittleren Gefälle gerechnet, das aus dem Gefälle vor und hinter dem betrachteten Profil ermittelt wird.

Die Arbeitsgleichung zur iterativen Berechnung des stationär ungleichförmigen Abflusses ist in SEUS/USLU (1974) oder DFG (1987) hergeleitet (Trapezansatz).

Ausgehend von einem bekannten Wasserspiegel h_{alt} wird der gesuchte Wasserspiegel h an einem benachbarten Profil berechnet.

$$h = h_{alt} + \frac{\beta}{2g} \cdot \left(\alpha_{alt} \cdot \left(\frac{Q}{A_{alt}} \right)^2 - \alpha \cdot \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \right) + 0,5 \cdot dx \cdot (I_{e_{alt}} + I_e) \quad (6)$$

mit:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot \left[r_{hy_j} / \lambda_j \right]^{3/2}}{\left[\sum_{j=1}^n A_j \cdot \left[r_{hy_j} / \lambda_j \right]^{1/2} \right]^3} \quad (7) \quad (\text{Darcy-Weisbach Ansatz})$$

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot \left[k_{st} \cdot r_{hy_j}^{2/3} \right]^3}{\left[\sum_{j=1}^n A_j \cdot k_{st} \cdot r_{hy_j}^{2/3} \right]^3} \quad (8) \quad (\text{Manning-Strickler Ansatz})$$

wobei n die Zahl der Teilquerschnitte ist und j der Index der Teilquerschnitte

$$\beta = \frac{2A}{A + A_{alt}} \dots\dots\dots \text{für } A_{alt} > A$$

$$\beta = 1,0 \dots\dots\dots \text{für } A_{alt} < A$$

$$h_r = 0,5 \cdot dx \cdot \left(I_{e_{alt}} + I_e \right) \dots\dots\dots \text{arithm. Wichtung } I_e$$

$$v_{alt} = \frac{Q}{A_{alt}} \dots\dots\dots [\text{m/s}]$$

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots [\text{m/s}]$$

α ist der Geschwindigkeitsverteilungsbeiwert nach NAUDASCHER (1992). Er berücksichtigt die durch stark unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten in den Teilquerschnitten auftretenden unterschiedlichen dynamischen Energiehöhen $\frac{v^2}{2g}$ in einem Profil.

β ist ein Ungleichförmigkeitsbeiwert, der den bei Aufweitungen auftretenden Fließverlust berücksichtigt.

In Fällen, in denen eine starke Variation der Gerinnegeometrie oder eine Diskontinuität auftritt, ist auch eine Berechnung mit geometrischer Wichtung des Energieliniengefälles möglich.

geometrische Wichtung des Energieliniengefälles:

$$h_r = dx \cdot \sqrt{I_{e_{alt}} \cdot I_e} \quad (9)$$

Die geometrische Wichtung ergibt in diesen Fällen ein korrekteres Ergebnis, da eine Überschätzung der Rauheitsverluste durch das Energieliniengefälle im Unterwasserbereich vermieden wird.

Für lokale, punktförmige Einzelverluste wird die Arbeitsgleichung (6) erweitert auf:

$$h = h_{alt} + \frac{\beta}{2g} \cdot (\alpha_{alt} \cdot v_{alt}^2 - \alpha \cdot v^2) + 0,5 \cdot dx \cdot (I_{e_{alt}} + I_e) + Xi_p \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

Die Einzelverluste werden vom Benutzer vorgegeben. Beim Übergang von Gerinnen zu Bauwerken bzw. umgekehrt wird das Energieliniengefälle entsprechend der Bauwerkslänge gewichtet und es kommen ggf. Ein- bzw. Auslaufverluste hinzu:

$$h = h_{alt} + \frac{\beta}{2g} \cdot (\alpha_{alt} \cdot v_{alt}^2 - \alpha \cdot v^2) + dx_{alt} \cdot I_{e_{alt}} + dx_b \cdot I_{e_{bg}} + Xi_p \cdot \frac{v^2}{2g} + hv_e + hv_a \quad (11)$$

dx_{alt}	[-].....	Wichtung der Entfernung zum Bauwerksanfang dx_{alt}
dx_b	[-].....	Wichtung der Entfernung zur halben Bauwerkslänge dx_b
hv_e	[m].....	Einlaufverlust
hv_a	[m].....	Auslaufverlust

Um den Einfluß der Aufteilung des Gerinnes in Hauptgerinne und Vorländer korrekt zu erfassen (vgl. NAUDASCHER 1992), wird das Energieliniengefälle berechnet als:

$$I_e = \frac{Q^2}{(K_l + K_{re} + K_h)^2} \quad (12)$$

K Conveyance (linkes/rechtes Vorland und Hauptgerinne)

Fehler! Textmarke nicht definiert. $K = k_{st} \cdot A \cdot r_{hy}^{2/3}$ (MANNING/STRICKLER)

Die Berechnung greift bei einem stationär gleichförmigen Ansatz auf die abgelegten Geometrieinformationen zurück (alle Größen als Funktion der Höhe). Die Gleichung wird

iterativ gelöst, wenn die Änderung der berechneten Wasserspiegellage h zwischen zwei Iterationsschritten kleiner als eine vorgegebene Schranke ist:

$$\left| \frac{dh_j - dh_{j-1}}{h_j} \right| < \text{Grenzwert} \quad (13)$$

d_h $h - h_{\text{alt}}$
 j Iterationsindex

Der Grenzwert ist frei wählbar. Üblicherweise wird er zu $0,5 \cdot 10^{-3}$ [m] gesetzt. Die Iteration erfolgt im Bisektionsverfahren (SEUS/USLU 1974).

$$h_{\text{neu}} = \frac{h_{n+1} - h_n}{m} + h_n \quad (14)$$

m [-].....Faktor 2,0
 n [-].....Iterationsindex; Anfangsbedingung: $h_0 = h_{i-1}$ (Predictor)

Die Berechnungsreihenfolge für strömenden Abfluß ist so festgesetzt, daß ausgehend von einem Startprofil entgegen der Fließrichtung der Oberwasserspiegel berechnet wird. Zu beachten ist, daß für die Berechnung entweder ein vorgegebener Wasserspiegel im ersten Berechnungsprofil benötigt wird, oder bei Nichteingabe der Wasserspiegellänge ein Wert aus der stationär gleichförmigen Berechnung für den vorgegebenen Abfluß programmintern eingesetzt wird.

5.3.2 Fließzustände

Wird ein Fließwechsel vom Schießen zum Strömen in Fließrichtung festgestellt (Abflußtiefe kleiner Grenztiefe), setzt Jabron für die Oberwassertiefe die Grenztiefe ein. Die Grenztiefe oder kritische Abflußtiefe ist definiert als die Tiefe mit der minimalen Energiehöhe H_{min} , unter der gegebene Abfluß abfließen kann.

Für jedes oberhalb liegende Profil wird solange die Grenztiefe eingesetzt, bis wieder strömender Abfluß ermittelt wird. Die berechneten Wasserspiegeltiefen entsprechen also bei den gegebenen Verhältnissen den maximal möglichen Tiefen, nicht den wirklich vorhandenen.

Während der Wechsel vom Strömen zum Schießen in Fließrichtung ohne signifikante Fließverluste geschieht, ist der Wechsel vom Schießen zum Strömen (in Fließrichtung) mit einem Wechselsprung und erheblichen Verlusten durch Verwirbelung und Reibung verbunden. Die Verluste durch den Wechselsprung zwischen den Profilen werden nicht berechnet, da es keinen allgemeinen theoretischen Berechnungsansatz gibt.

Die Abschätzung des Fließzustandes ermöglicht die Froude-Zahl (FR). Bei $FR < 1$ besteht strömender Abfluß, $FR = 1$ bedeutet Abfluß mit Grenztiefe (minimale Energiehöhe, Übergang vom Strömen zum Schießen) und bei $FR > 1$ herrscht schießender Abfluß.

Bei einem starken Wechsel in der Gerinnegeometrie bzw. starken Gefällewechsel ist es in manchen Fällen notwendig, die Normaltiefe h_n (Normalabflußtiefe) als Kontrollgröße für den iterativ berechneten Wasserspiegel heranzuziehen. Die Normalabflußtiefe ist definiert als die Tiefe, mit der in einem Gerinne ein gegebener konstanter Abfluß stationär-gleichförmig abfließt. In diesem Fall haben Energielinie, Wasserspiegel und Sohle das gleiche Gefälle. Eine Wasserspiegellinienberechnung darf keinen Wasserspiegel als Ergebnis haben, der höher als die Normaltiefe h_n ist. Allerdings sind Rückstauinflüsse bei dieser Prüfung zu berücksichtigen.

5.3.3 Rauheitsbeiwerte

Die Beschaffenheit der Gerinnewandungen wird mit Rauheitsbeiwerten nach MANNING-STRICKLER oder COLEBROOK/WHITE berücksichtigt. Da die einzelnen Gerinneabschnitte unterschiedliche Rauheiten aufweisen, wird die in der Fließformel eingehende Gesamtrauheit k_{Ges} eines Profil mit der Überlagerungsformel (Wichtung) nach EINSTEIN ermittelt.

$$k_{Ges} = \left(\frac{lu}{\sum_i (lu_i / k_i^{3/2})} \right)^{2/3} \quad (15)$$

lu	[m].....	benetzter Umfang des Profils
lu_i	[m].....	benetzter Umfang eines Gerinnewandabschnittes
k_i	[-].....	Rauheitsbeiwert des Gerinnewandabschnittes
k_{sti}	$[m^{1/3}/s]$	nach MANNING-STRICKLER
k_{si}	[m].....	nach COLEBROOK/WHITE

Die Verluste infolge Reibung auf dem Fließweg lassen sich mit der Verlusthöhe h_{vr} beschreiben, deren Berechnung mit der umgeformten STRICKLER-Formel vorgenommen wird.

$$h_{v_r} = I_r \cdot L = \frac{v_m^2 \cdot L}{k_{Ges}^2 \cdot R^{4/3}} \quad (16)$$

h_{v_r}	[m].....	Verlusthöhe infolge Reibung
I_r	[-].....	Reibungs- und Energieliniengefälle
L	[m].....	Länge des Gerinneabschnittes
v_m	[m/s].....	mittlere Geschwindigkeit
R	[m].....	hydraulische Radius
k_{Ges}	[m ^{1/3} /s]	Gesamtrauheit nach EINSTEIN ermittelt

Die Gerinnerauheiten sind ein wesentlicher Faktor bei der Ermittlung der Abflußkapazität von Gerinneprofilen. Die Rauheitsbeiwerte (k_{st} -Werte nach MANNING/STRICKLER) sind anhand von Erfahrungswerten und Richtwerten aus der Literatur im Gelände zu bestimmen. Tabellen der üblicherweise verwendeten k_{st} -Werte sind von VEN TE CHOW (1981), von BOLLRICH/PREISLER (1992) oder SCHEWIOR/PRESS (1992) veröffentlicht worden. In JABRON muß sämtlichen Profilabschnitten eine Rauheit zugeordnet werden. Die nachfolgenden Tabellen werden als Beispiele für empirisch ermittelte k_{st} -Werte für verschiedene Wandungsbeschaffenheiten angeführt.

Für das universelle Fließgesetz gilt die Gesamtrauheit λ_{Ges}

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{ges}}} = \sqrt{\frac{lu}{\sum lu_i \cdot \lambda_i}} \quad (17)$$

Die Verluste infolge Reibung ergeben sich zu:

$$h_{v_r} = I_r \cdot L = \frac{v_m^2 \cdot L}{\left(8g \cdot \sqrt{r_{hy} / \lambda}\right)^2} \quad (18)$$

Beispiele für die äquivalenten Sandrauheiten sind in den nachfolgenden Abb. angeführt.

Abbildung 9: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach SCHEWIOR/PRESS in NAUDASCHER (1992)

Abbildung 10: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach BOLLRICH/PREISLER (1992)

Abbildung 11: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach BOLLRICH/PREISLER (1992)-Fortsetzung

5.3.4 Interaktion Vorland-Hauptgerinne

Beim Abfluß in einem gegliederten Querschnitt treten auf Grund der unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und der daraus resultierenden Wechselwirkung (Querimpulsaustausch) zwischen Vorland und Hauptgerinne in der Trennwandebene Reibungsverluste auf, die nicht vernachlässigt werden dürfen.

In der Literatur lassen sich verschiedene, zum Teil durch Modellversuche abgesicherte Ansätze finden, die rechen technisch diese Interaktion zwischen langsam fließendem Vorlandabfluß und schnell fließendem Hauptgerinneabfluß berücksichtigen. Der Berechnungsansatz für die einzelnen Gerinneabschnitte bleibt allerdings eindimensional.

Das im Programmsystem JABRON angewendete Berechnungsverfahren beruht auf der Trennung der Gerinneteile durch fiktive vertikale Trennwände. Es wird davon ausgegangen, daß wegen der Interaktion in der Ebene dieser Trennwand eine Schubspannung wirkt, deren Größe maßgeblich vom Verhältnis zwischen den Geschwindigkeiten in den Gerinneteilen beeinflußt wird.

Diese Interaktion, die entweder hervorgerufen ist durch den Formeinfluß (Wechsel Abflußtiefe Flußschlauch zu geringer Abflußtiefe im Vorland) oder durch den Bewuchs (erhöhter Fließwiderstand durch Bewuchs) kann nach drei verschiedenen Verfahren berechnet werden.

EVERS:
(1983) Konzept der fiktiven Trennwand mit einer Rauheit, die vom Verhältnis der Fließgeschwindigkeit v_{vorl}/v_h abhängig ist. Die Berücksichtigung vom Bewuchs erfolgt durch die Abminderung des k_{st} Wertes im Vorland.

MERTENS:
(1984) Konzept der fiktiven Trennwand, Rauheit der Trennwand abhängig vom Bewuchs im Vorland und der mitwirkenden Breite der Makroturbulenz. Bewuchseinfluß wird durch Überlagerung von Sohl- und Bewuchsrauheit berücksichtigt.

PASCHE:
(1984) Wie Mertens aber andere Berechnung des Bewuchseinflußes auf die Trennwandrauheit (Berechnung von Nachlaufbreiten/längen, iterative Berechnung des Formwiderstandbeiwertes).

Das Verfahren von EVERS, das bei der Berechnung der Wasserspiegellagen für den Tuxbach angewendet wurde, läßt sich wie folgt beschreiben:

Abbildung 12: Konzept der fiktiven Trennwand nach EVERS/PASCHE (1983)

Der Ablauf der Berechnung.

1. Die Wandrauheiten der fiktiven Trennwand als Begrenzung des Hauptgerinnes werden mit einem Schätzwert vorbesetzt.
2. Die geometrischen Größen des Profils (Fließfläche, Umfang, hydraulischer Radius) werden berechnet. Der benetzte Umfang der fiktiven Trennwand wird bei der Berechnung der Vorlandquerschnitte nicht berücksichtigt.
3. Die Geschwindigkeiten im Vorland und im Hauptgerinne werden nach der Fließformel (1) ermittelt, wobei der Wasserspiegel im Hauptgerinne größer oder gleich dem Uferpunkt sein muß.
4. Die Wandrauheit der fiktiven Trennwand für die Berechnung im Hauptgerinne wird mit Hilfe des Geschwindigkeitsquotienten nach Abbildung 13 bestimmt.
5. Falls die Schätzgröße von dem ermittelten Rauheitsbeiwert abweicht, wird die iterative Berechnung ab Punkt 2 wiederholt.

Abbildung 13: Funktionaler Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsquotient Vorland/Hauptgerinne und entsprechenden Wandrauheiten nach EVERS (1983)

Die Abflüsse in den einzelnen Querschnittsteilen (linkes und rechtes Vorland, Hauptgerinne) werden mit der Fließformel (1) oder (3) ermittelt; d.h. sie werden als eindimensionales Problem behandelt und für stationären Abfluß getrennt berechnet. Die Summe der Teilabflüsse ergibt den Gesamtabfluß.

Die Berechnung des Abflusses erfolgt also gemeinsam für Hauptgerinne und Vorland mit gleichen Ansätzen, allerdings werden die Vorlandbeeinflussung des Hauptgerinnes und der Einfluß von Bewuchs im Vorlandbereich berücksichtigt.

5.3.5 Kontinuierliche Querschnittsänderungen

Bei beschleunigter Bewegung (stationär ungleichförmige Bewegung) werden neben den Rauheitsverlusten und dem Ungleichförmigkeitsgrad β keine weiteren Verluste angesetzt. Treten bei plötzlichen Querschnittsänderungen Stoßverluste auf, so kann dies durch Berechnung von Verlusten nach BORDA-CARNOT erfolgen. Die Abflußtiefe des flußaufwärts liegenden Querschnitts h berechnet sich aus der alten Abflußtiefe h_{alt} des flußabwärts liegenden Querschnitts:

$$h = h_{alt} + \frac{\beta}{2g} \cdot (\alpha_{alt} \cdot v_u^2) + 0,5 \cdot dx \cdot (I_{e_u} + I_e) + h_{v_b} \quad (19)$$

Der Verlust aus Stoßeinflüssen h_{v_b} (BORDA-CARNOT'scher Stoßverlust) berechnet sich als:

$$h_{v_b} = \frac{(v_o - v_u)^2}{2g} + t_u - \sqrt{\left(\frac{v_o \cdot v_u - v_u^2}{g}\right)^2} + t_o^2 \quad (20)$$

tu [m]..... Abflußtiefe am Profil unten

to [m]..... Abflußtiefe am Profil oben

5.3.6 Punktförmige, örtliche Verluste

Punktförmige Verluste sind z. B. Einzelverluste an Sohlschwellen, Sohlstufen, Tauchwänden, Öffnungen oder Pfeilern. Sie können in JABRON explizit durch Angabe eines Steuerwortes vorgegeben werden.

Bei stationär ungleichförmiger Berechnung werden sie als Erweiterung zur oben angeführten Gleichung der Energiehöhenverluste, abhängig von der mittleren Fließgeschwindigkeit berechnet:

$$h = h_{alt} + \frac{\beta}{2g} \cdot (\alpha_{alt} \cdot v_u^2) + 0,5 \cdot dx \cdot (I_{e_u} + I_e) + h_{v_b} + h_{v_p} \quad (21)$$

$$h_{v_p} = Xi_p \cdot \frac{v_m^2}{2g} \quad (22)$$

h_{v_p} [m].....Verlusthöhe

Xi_p [m]..... Verlustbeiwert

v_m [m/s] mittlere Geschwindigkeit im Berechnungsabschnitt

5.3.7 Schleppspannung

Die Schleppspannung kann an der Sohle getrennt für Hauptgerinne und Vorländer näherungsweise berechnet werden (stationär ungleichförmige Berechnung).

$$\tau = \delta \cdot g \cdot R \cdot I_e \quad (23)$$

R	[m].....	hydraulischer Radius
I _e	[-].....	Energieliniengefälle
δ	[kg/m ³].....	Dichte=1000
g	[m/s ²].....	Erdbeschleunigung=9,81

Alternativ kann die Schleppspannung auch nach folgendem Ansatz berechnet werden:

$$\tau = \delta \cdot g \cdot h \cdot I_e \quad (24)$$

h	[m].....	Abflußtiefe
---	----------	-------------

Die mit (24) berechneten Werte sind in der Regel wesentlich größer, da der dämpfende Einfluß des hydraulischen Radius bei kompakten Gerinnen (relativ geringer benetzter Umfang) entfällt.

Abbildung 14: Tabelle der Schleppspannung τ_{krit} , kritische Fließgeschwindigkeit v_{krit} und MANNING-STRICKLER Beiwert k_{st} (BOLLRICH/PREISSLER (1992))

6. Beschreibung des Projektgebietes

6.1 Lage des Einzugsgebietes

Bei Mayrhofen teilt sich das Zillertal in vier Täler, die auch Gründe genannt werden. An den Zilllergrund im Osten schließen sich der Stillupp und der Zemmgrund an. Das Tuxertal ist das Westlichste und von allen Gründen am stärksten besiedelt.

Abbildung 15: Großräumige Lage des Tuxertales

Der Verlauf des Tuxertales erstreckt sich von Mayrhofen (670 m SH) aus in weitem Bogen nach Westen und steigt bis Vorderlanersbach auf 1250 m an. Von hier wendet es sich nach Südwesten und findet in den Gletscherfeldern rund um den Olperer (3476m) und die gefrorene Wandspitze (3288 m) seinen Abschluß (Beilage 1). Die Begrenzungen zu dem nördlich gelegenen Weertal und Wattental sowie dem Schmirntal im Westen erreichen eine geringere Höhe (ca. 2500 - 2700 m). Dadurch besteht mit diesen Tälern schon seit alter Zeit eine sehr enge Verbindung, von wo aus auch die Besiedelung des Tuxertales erfolgte.

Das Hochtal im Südwesten bildet die Gemeinde Tux, während der vordere, tiefergelegene Teil des Tuxertales zur Gemeinde Finkenberg gehört. In vier deutlich voneinander unterscheidbaren Talbecken liegen die Fraktionen Vorderlanersbach-Lanersbach, Junsberg, Madseit und Hintertux. Während im hinteren Tal nur der Talboden Dauersiedlungen zeigt, wurden im vorderen Teil zuerst die sonnseitigen Hänge, z.B. am Junsberg, Gemais, Schöneben, Naustein gerodet und bewirtschaftet. Hier liegt auch die höchste Dauerbesiedelung des Zillertales, die Geiselhöfe (1611 m).

6.2 Geologie

Die geologischen Verhältnisse sind gekennzeichnet durch das Vorkommen verschiedenster Gesteinsgruppen. Die südliche Talseite liegt im Bereich der Zillertaler Zentralgneise mit allen Übergängen vom reinen Granit bis zu den verschiedenen Gneisen. Das Haupttal sowie die nördliche Talseite liegen in einem Streifen von Hüllengesteinen, die dem Zentralgneis vorgelagert sind. Die wichtigsten Gesteine sind dunkle Tonschiefer mit Kalkeinlagerungen, Quarzite und grüne Talkschiefer.

Ein Kalkvorkommen zieht über Finkenberg taleinwärts und erreicht nördlich von Hintertux wieder den Talboden. In dessen Grenzzonen tritt ein Magnesitvorkommen auf. Am Talschluß beim Tuxerjoch finden sich sogenannte Tuxergrauwacken, das sind Gesteine mit körnigem und schiefrigem Aussehen. Quarzschichten wechseln mit kohligen Schieferletten ab.

Aus den Schiefen des Schmittenberges treten an der östlichen Berglehne warme Quellen zu Tage, die den Brenner- und Gasteinerquellen gleichen.

Vielfach werden die Grundgesteine von Moränen und Hangschutt überlagert, die für die Geschiebetätigkeit der Bäche von großer Bedeutung sind.

6.3 Klima und Vegetation

Auf Grund seiner geographischen Lage gehört das Tuxertal noch zum kontinentalen Bereich der Inneralpen mit heißen Sommern und kalten Wintern. Diese Extreme werden durch zwei Gegebenheiten gemildert. Einerseits strömen bei Nordstaulagen milde, feuchte Luftmassen über die relativ niederen Jöcher der Tuxer Voralpen bis zum Alpenhauptkamm, andererseits kommt das Tuxertal infolge seiner Nähe zum Alpenhauptkamm und dessen tiefster Nord-Südfurche, dem Brenner auch in den Randbereich von Südstaulagen.

Die natürliche, standortsbedingte Vegetation wurde durch den Einfluß des Menschen verändert, denn im Urzustand war mit Sicherheit das ganze Tal bewaldet.

Die Bergwaldstufe der reinen Fichtenwälder und Fichten-Lärchenwälder reicht bis ca. 1600 m Seehöhe. Entlang von Bachläufen befinden sich Weiden und Grauerlen. Die subalpine Stufe zeigt die Übergänge von reinem Fichtenwald zum Fichten-Lärchenwald. Anstelle der Grauerlen treten Grünerlen, Birken, Ebereschen und Legföhren. In diesem Bereich liegen Asten und die Niederleger der Almen sowie die derzeitige Waldgrenze zwischen 1900 und 2000 m Seehöhe. Die Baumgrenze bei ca. 2200 m Seehöhe reicht noch in die alpine Stufe über die heutige klimatische Waldgrenze hinauf. Besonders im Talinneren am Junsberg, Madseitberg und bei Hintertux im Weitental werden weite Teile dieser Stufe von Bergmähdern bedeckt, die allerdings heute kaum noch genutzt werden.

Heute sind von der Gesamtfläche von 11 111 ha:

Landwirtschaftliche Intensivflächen	8854 ha	7,7%
Alpines Grünland (Weide und Almen)	5578 ha	50,2%
Wald	2078 ha	18,7%
Ödland (Gletscher,Fels)	2601 ha	23,4%
Gesamt	11111 ha	100%

Abbildung 16: Tabelle der Flächenanteile an der Gesamtfläche (WLV, 1971)

6.4 Entstehung der Talbecken

Das Tuxertal weist vier deutlich ausgebildete Talbecken mit zwei großen und zwei kleineren Steilstufen auf.

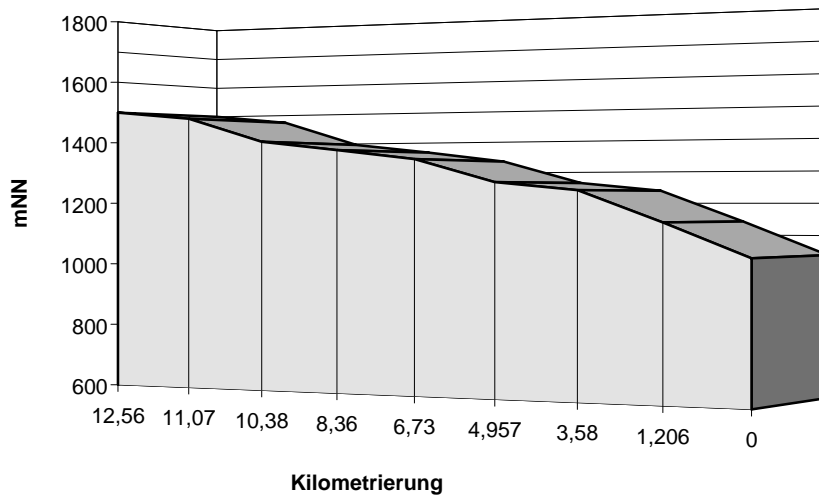


Abbildung 17: Geländestufen des Tuxertales

Die Ausbildung dieser unterschiedlichen Talbecken ist auf die Eiszeit zurückzuführen, in der die Gletscher den alpinen Tälern ihre Form gaben. Der durch den Gletscher geformte Talquerschnitt ist durch hohe steile Flanken charakterisiert. Viele dieser steilen Flanken befanden sich nach dem Abschmelzen der Eisströme in einem labilen Gleichgewicht. Das Eis war ja nicht nur die Ursache für die Übersteilung sondern auch eine Stütze für die Hänge. Die weitere Entwicklung dieser labilen Hänge hing hauptsächlich vom Material ab. In massigeren Gesteinen (Granite, Kalk) bildeten sich Bergstürze oder Gleitflächen aus. Die Voraussetzung dafür ist das Lösen von Gesteinsmassen (oft entlang von Klüften und Schichtflächen), die dann abstürzen oder auf einer Gleitbahn wie ein Schlitten abfahren (VAN HUSEN, 1991).

Diese Art der Talformung ist für die erste Steilstufe nach Hintertux verantwortlich, die durch die grobblockige Bergsturzmasse einen schluchtähnlichen Charakter aufweist. Im Bereich des Burgschrofens ist ein Bergsturz für den Talzusub verantwortlich und durch rückschreitende Erosion des Wassers kam es zur heutigen Ausformung des Talquerschnittes.

Ein anderer Typ dieser Bewegung ist hauptsächlich an dünn-schichtige, blättrige Gesteine gebunden. In diesen geologischen Schichten ereignen sich viele kleine Bewegungen an

einzelnen Schichtflächen, wodurch es zu einer großräumigen Deformation des Hanges kommt. Durch diese langsame, kriechende Bewegung entstehen eigenartige Hangformen mit weit vorgewölbtem Fuß, während es im oberen Bereich Hohlformen mit aufreißenden Spalten sind.

Auch diese Art der Massenbewegung setzte bald nach dem Abschmelzen ein und ist im Tuxertal beim Mündungsbereich des Junsbaches und des Tappentalbaches ausgebildet, wo es durch die riesigen Schwemmkegel nach dem Abschmelzen des Gletschers zu einem Aufstau des Tuxbaches und zur fluviatilen Talverfüllung kam. Nach einer Zeit der Sedimentation, in der durch Ablagerung feinkörniger Sedimente eine Sumpffläche entstand, kam es auch hier wieder zu einer rückschreitenden Erosion des Wassers, das zu einer Eintiefung des Tuxbaches führte.

7. Charakteristika des Hauptbaches

7.1 Der Tuxbach

Der Tuxbach ($E=132,9 \text{ km}^2$), der das Tal entwässert, nimmt auf seinem Lauf nach Nordosten zahlreiche links und rechtsufrige Bäche, Rinnsale und Giesen auf, die zum Teil murfähige Bäche darstellen, wie der Madseit-, Juns-, Niklas-, Röthel- und Hoserbach. Die Beschaffenheit der Ufer ist ganz unterschiedlich. Steile Uferböschungen wechseln mit flachen Ufern ab. In den Hauptsiedlungsgebieten wurde das Ufer oft durch Holz- oder Steinbauten künstlich verändert.

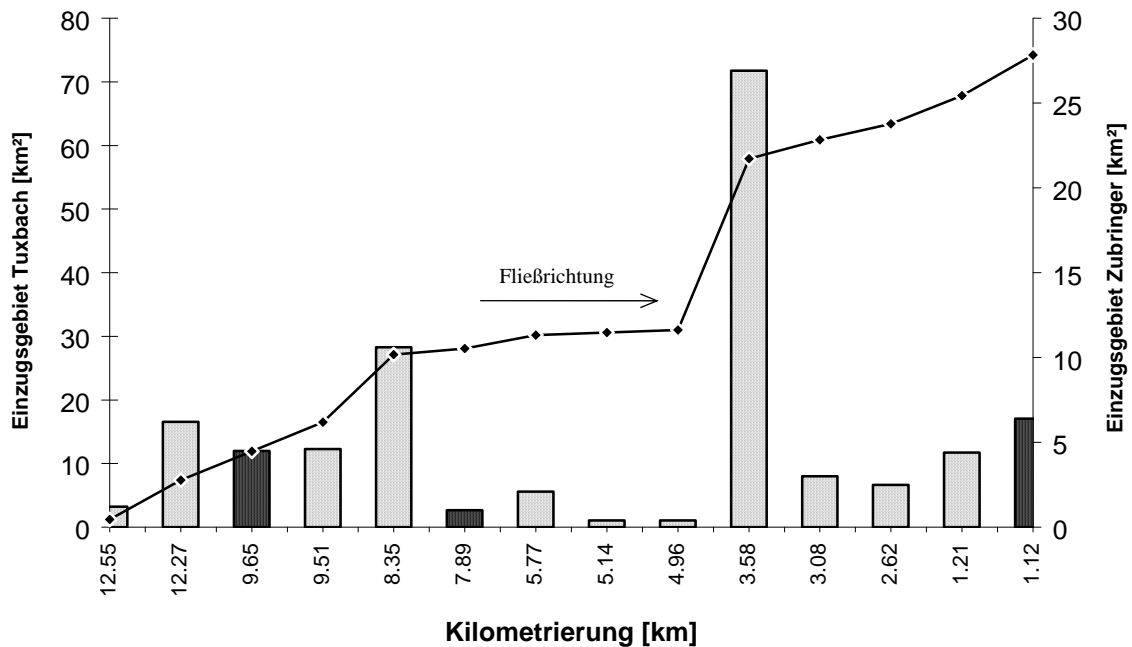


Abbildung 18: Links (hell) und rechtsseitige (dunkel) Zubringer des Tuxbaches im Gemeindegebiet von Lanersbach

7.2 Potentielle Gefahrensituation

- Langanhaltende Regen besonders über dem Gletscher bei einer gleichzeitigen Sättigung des Bodens führen zu einem vermehrten Wasserabfluß.
- Ein Murereignis eines Zubringers führt zu einem Abriegeln des Hauptbaches und durch einen plötzlichen Durchbruch werden große Wasser- und Geschiebemengen abtransportiert.

7.3 Extremwertanalyse des Pegel Persal

7.3.1 Ausgangsdaten für die Extremwertberechnung

Pegel Persal: 26 Jahre (1961-1987)

74.9	14.3	67.3	16.9	28.0	21.0	39.3	24.0
23.6	25.3	24.4	17.3	46.0	16.5	22.0	21.0
27.0	41.0	33.0	29.0	24.7*	51.0	60.0	18.0
28.0	35.0						

* 24.7 anstatt 130

7.3.2 Ergebnisse für die Ausgangsdaten

Verteilungen	Jährlichkeiten					
	5	30	50	100	120	150
NORMAL	45.40	61.36	64.89	69.28	70.37	71.66
LOG-NORMAL-2	41.86	65.20	71.92	81.23	83.72	86,79
LOG-NORMAL-3	41.47	67.25	75.07	86.15	89.16	92,9
GUMBEL	43.43	67.06	73.55	82.30	84.60	87,40
LOG-GUMBEL	39.64	76.37	91.45	116.60	124.27	134,35
GAMMA	44.02	66.92	72.84	80.61	82.64	85,07
LOG-GAMMA	40.64	74.43	86.71	105.94	111.52	118,66
LOG-PEARS-3	41.06	72.08	82.77	0.00	103.59	109,51
WEIBULL-2	45.22	64.80	69.31	74.97	76.38	78,07
LOG-WEIB-2	42.03	68.82	76.78	87.93	90.93	94,65
WEIBULL-3	42.84	69.50	76.68	86.21	88.68	91,08
LOG-WEIB-3	41.65	71.81	81.42	95.30	99.13	103,91
EXPONENT-1	51.29	108.38	124.66	146.75	152.56	159,67

Abbildung 19: Tabelle der berechneten Jährlichkeiten aller Verteilungen, Pegel Persal (1961 - 1987)

7.3.3 Graphische Darstellung der Gumbelverteilung

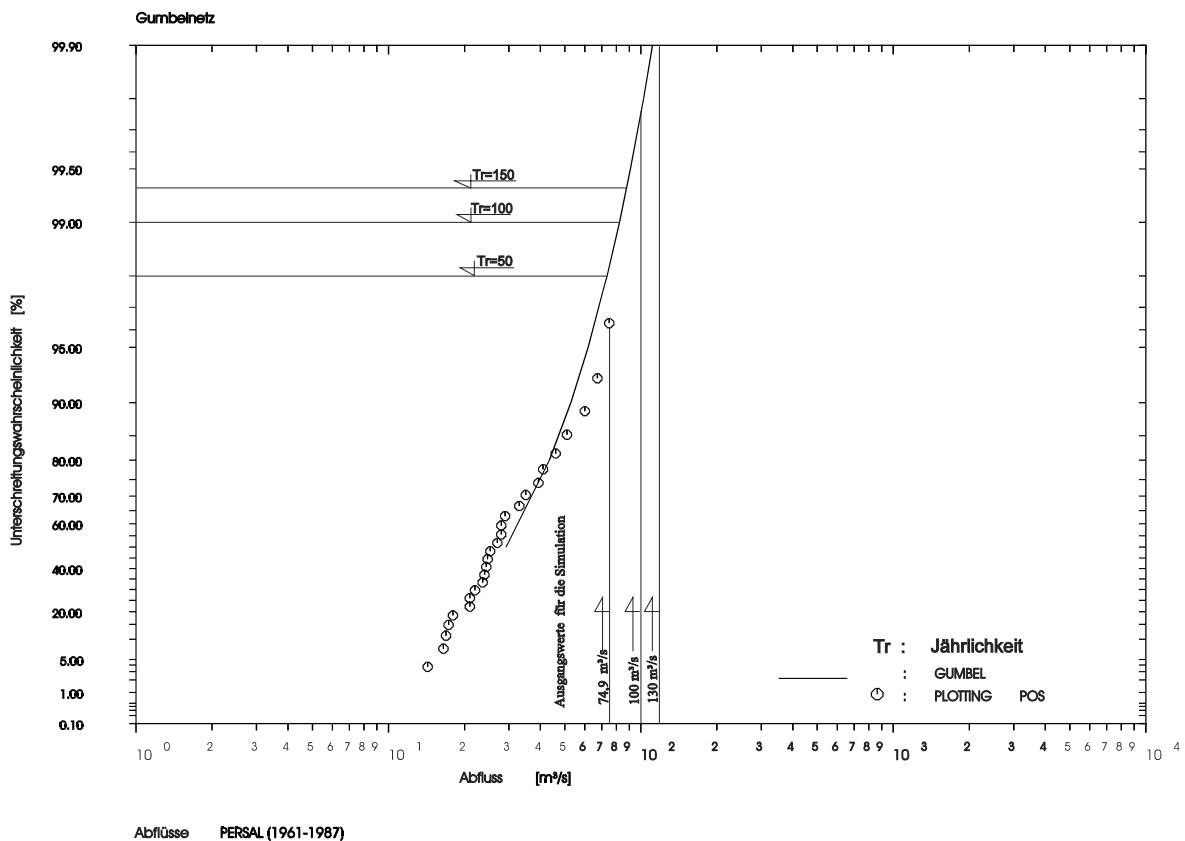


Abbildung 20: Graphische Darstellung der Gumbelverteilung, Pegel Persal (1961 - 1987)

Schadenschronik des Tuxbaches

Jahr	Ereignis	Quelle
1758	In Lanersbach hat der Tuxbach eine riesigen Graben ausgeschwemmt, die Brücke wurde weggerissen und diese mußte neu verarcht werden	Index Realis 1827 und Tiroler Gewässer 1912
1859	Im Sommer gehen die Seitenbäche über und der Tuxbach rinnt durch die Felder und verursacht große Flurschäden	Index Realis und Aufzeichnungen von Pfarrer Sebastian Widmer
1879	Im August dieses Jahres geht ein fürchterliches Unwetter nieder und die Bäche brachten soviel Wasser, daß man bei der Säge ans Ausziehen dachte	Pfarrer Sebastian Widmer
1883	Am 2.9. dieses Jahres erfolgte in der Felsklamm beim Teufelssteg ein Felssturz, der die Klamm auffüllte und den Bach zu einem beträchtlichen See aufstaute.	WLV-Chronik
1887	Der Rötelbach bricht bei einem Unwetter aus, staut den Tuxbach auf und richtet außerhalb großen Schaden an den Fluren an	Pfarrchronik II. Band
1896	Große Schäden an den Feldern	Chronik II. Teil
1900	Der Tuxbach wird durch Schotter der Seitenbäche gestaut und verwüstet Felder	Parrchronik II. Teil
1903	Durch Unwetter und starken tagelangen Regen werden Uferverbauungen stark beschädigt. Auch der Ziller, Stillup so wie der Gunglbach richten im Zillertal große Schäden an.	Pfarr Chronik und Pfarrer Widmer
1906	Schäden an den Fluren	Keine Angabe
1908	Der Talboden zwischen Lanersbach und Vorderlanersbach wurde überflutet. Die Stocksäge in Vorderlanersbach mußte geräumt werden.	WLV-Chronik
1910	Der Rötenbach vermurte die Ufer und richtet großen Schaden an. Der Tuxbach wird am 14. Juni gestaut.	Pfarrer Widmer
1921	Am 31. Juli 1921 um sieben Uhr abends geht der Talbach und kleinere Seitenbäche über und es entsteht großer Schaden an den Kulturen.	Pfarrer Widmer
1928	Der Talboden zwischen Lanersbach und Vorderlanersbach war wieder überflutet. Teile von Lanersbach mußten wieder evakuiert werden.	WLV-Chronik
1936	Am 20. August kommt es im Junstal zu einem Hochwetter. Ein Erdbeben setzt sich in Bewegung. Aufräumarbeiten basieren auf einem Gemeinderatsbeschuß.	Tuxer Chronik
1946	Am 28. Juli tritt der Talbach in Lanersbach über und beschädigt die Talstraße. Der Rötenbach zerstört die Talstation beim Magnesitwerk.	Tuxer Chronik
1953	Im Juli geht der Talbach in der Nacht über, riß Uferböschungen weg und richtete großen Schaden an.	Tuxer Chronik
1956	Hochwasser	WIV-Chronik
1963	Am 23.Juli entsteht im Dorf durch die Seitenbäche und dem Talbach großer Schaden. Das halbe Dorf ist vermurt.	Tuxer Chronik
1965	Am 27.6. geht der Hanggerbach über. Stehende Bäume kommen herunter und der Bach rinnt der Straße entlang.	Tuxer Chronik
1967	Am 1.8. kommt es beim Rötenbach zu einem Murenabgang.	Tuxer Chronik
1969	Am 29.7. geht ein Unwetter im Tuxertal nieder.	Tuxer Chronik

1970	Am 24.und 25. 7.geht ein gewaltiges Unwetter über das Tal nieder. Die Widerlager der Arche bei der Lahnbachbrücke, welche 1780 erbaut wurde und 1949 vom Zimmermeister Stock Johann restauriert wurden, hingen in der Luft und es entstand ein 6m tiefer Graben. Dies geschah um vier Uhr am Morgen.	Tuxer Chronik
1970	Am 7. und 8.8. stieg durch langandauernde Niederschläge die Wasserführung des Tuxbaches derart an, daß im Bereich von Lanersbach eine Güterwegbrücke, ein Wehr und der alte Uferschutz zerstört wurden und Teile von Lanersbach und die Tuxer Landesstraße ernsthaft gefährdet waren.	WLV-Chronik
1971	Am 10.4 geht ein Wärmegewitter mit Blitz und Donner mit anschließend leichtem Regen nieder.	Tuxer Chronik

8. Hochwasserereignisse im Tuxertal

8.1 Allgemeine Auslösebedingungen

Hochwasserereignisse in den Alpen werden von verschiedenen Faktoren beeinflusst: An erster Stelle muß hier das Witterungsgeschehen, speziell die zeitliche und räumliche Verteilung von Extremniederschlägen, genannt werden. Neben dem Niederschlag sind für die Ausbildung und den Ablauf von Hochwasserwellen vor allem die Größe des Einzugsgebiets, das Relief und das Vorhandensein bzw. Fehlen von Speicherelementen entscheidend. Für die Ausbildung von Wildbächen mit großem Geschiebetrieb spielen geologische und geomorphologische Parameter sowie die Vegetationsbedeckung eine große Rolle. Für die Entstehung von Katastrophenhochwässern müssen verschiedene dieser Faktoren geeignet zusammenwirken.

Als Ursache für extreme Hochwasser im Gebiet der Alpen zeichnen sich einige typische Wettersituationen ab. Zur Produktion von Niederschlag muß Luft gehoben werden, weil durch die Abkühlung des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes Kondensation eintritt. Nach den für den Niederschlagsbildung verantwortlichen Hebungsprozess erfolgt die Einteilung nach GREBNER (1980).

- Hochwasser durch schauererzeugende Konvektion
- Hochwasser durch Dauerregen in Aufgleitströmungen
 - Hochwasser ohne Schneeschmelze
 - Hochwasser während der Schneeschmelze:

8.2 Einflußfaktoren

8.2.1 Bodenspeicher und Schneedecke

Durch ausgiebige Vorregen kann der Wassergehalt im Boden bis zur Sättigung ansteigen. Ein ähnlicher Effekt tritt auf, wenn Regen auf eine schmelzende und bereits völlig durchnäßte Schneedecke fällt. In beiden Fällen ist zu berücksichtigen, daß das Rückhaltevermögen des Bodens praktisch nicht vorhanden ist, der fallende Niederschlag also vollständig und ohne Verzögerung abfließen kann.

Der Beitrag der Schmelzung von Eis und Schnee durch Regen an einer Hochwassersituation wird vielfach überschätzt. Durch glazialmeteorologische-hydrologische Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß der Schmelzwasseranteil am Abfluß bei Niederschlag sehr rasch zurückgeht. Energetisch läßt sich dabei zeigen, daß es einer Regenmenge von 20 mm bei +4° (Temperatur der Regentropfen) bedarf, um 1 mm (Wasseräquivalent) Schnee oder Eis zu schmelzen (OERTER und REINWARTH, 1988). Der extreme Abfluß an der Pegelstation Vernagtbach im innersten Ötztal, deren Einzugsgebiet überwiegend vergletschert ist, war beim Hochwasserereignis im August 1987 zu 93 % vom Niederschlag verursacht worden (ESCHER-VETTER, 1988).

8.2.2 Schneefallgrenze

Ganz wesentlich für ein Hochwassereignis in den Alpen ist die Lage der Nullgrad- bzw. Schneefallgrenze. In Abbildung 21 ist als Beispiel die hypsographische Kurve für das Ötztal insgesamt und bis Sölden (inneres Ötztal) dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß etwa für das orographische Einzugsgebiet oberhalb von Sölden bei einer Schneefallgrenze von 2900 m aus 35 %, bei 2800 m 45 % der Gesamtfläche der Niederschlag nicht direkt abfließen kann. 100 m Unterschied in der Schneefallgrenze können daher eine signifikante Änderung der Abflußmenge bewirken.

Abbildung 21: Hypsographische Kurve des orographischen Einzugsgebietes der Ötztaler Ache insgesamt (durchgezogen) und bis Sölden (strichliert) (STEINACKER, 1983)

In der warmen aus dem Mittelmeerraum stammenden Luftmasse liegt die Schneefallgrenze im Sommer typischerweise um 3500 m, während sie in der aus dem Nordseeraum stammenden Kaltluft um rd. 1000 m tiefer liegt. Hat die Kaltluft einmal die Höhe des Alpenhauptkammes erreicht, so erhält ein beträchtlicher Teil der zentralalpinen Einzugsflächen den Niederschlag auch im Sommer in Form von Schnee, der für den sofortigen Abfluß somit ausfällt.

Die Natur hat sich bei diesen Wetterlagen sozusagen eine "Selbstsicherung" eingebaut. Dadurch, daß bei uns der Niederschlag auch im Sommer über die Eisphase generiert wird, muß der Niederschlag (Schnee, Graupel) in der Luft während des Fallens geschmolzen werden, um in Regen überzugehen. Das Schmelzen bedarf einer großen Energiemenge, die der Luft entzogen wird und diese daher abkühlt. Die Schneefallgrenze arbeitet sich also von selbst nach unten vor. Dieser Effekt wird allerdings erst dann nennenswert wirksam, wenn die Schneefallgrenze die mittleren Höhen der Bergkämme erreicht hat, was im Tiroler Zentralalpenraum einer Höhe von etwa 3000 m entspricht, weil erst dann der Entzug der Schmelzwärme aus einem nur sehr langsam ausgetauschten Luftvolumen erfolgt (STEINACKER, 1983).

8.3 Ausgewählte Hochwasserereignisse des Tuxbaches

8.3.1 Hochwasserereignis vom August 1985

Die Schneefallgrenze sank innerhalb relativ kurzer Zeit auf 3000 m, wodurch am 6. August 1985 die Einzugsgebiete in der Nähe des Alpenhauptkammes fast den gesamten Niederschlag in fester Form erhielten. Es konnte dadurch nur die Hälfte des gefallenen Niederschlages sofort abfließen. Hätte der Selbstsicherungseffekt nicht gegriffen, so wäre rund ein Drittel mehr an Abfluß zu erwarten gewesen. Wäre damals die gleiche Niederschlagsmenge wie im August 1987 in den Einzugsgebieten in flüssiger Form gefallen, so hätte das Hochwasser wohl unvorstellbare Ausmaße erreicht (STEINACKER, 1988).

Dies ist auch an der Abflußganglinie des Tuxbaches für diesen Zeitraum gut ersichtlich (Abbildung 22). Am Pegel Wasserfall, der den vergletscherten Teil und somit auch die höchstgelegenen Gebiete des Einzugsgebietes entwässert, ist der Temperatursturz innerhalb von 12 Stunden einer der Gründe warum die Niederschläge keine extreme Hochwassersituation, wie es im Juli und August 1987 der Fall war, verursachen konnten. Für Abflußspitze und Abflußfracht in diesem Zeitraum an der Pegelstelle Persal sind vor allem die Zubringer zwischen den beiden Pegelstellen verantwortlich. Diese Einzugsgebiete entwässern Flächen mit einer geringeren Höhenlage und der Temperatursturz wirkt sich nicht so abflußhemmend aus, wie dies über dem vergletscherten Teil des Einzugsgebietes (Pegel Wasserfall) der Fall ist. Hätte der Abfluß vom vergletscherten Einzugsgebiet einen ähnlich großen Anteil an der Hochwassersituation gehabt, wie dies im Juli und August 1987 der Fall war, wäre es mit Sicherheit zu Schäden gekommen, die jene vom August 1987 übertroffen hätten.

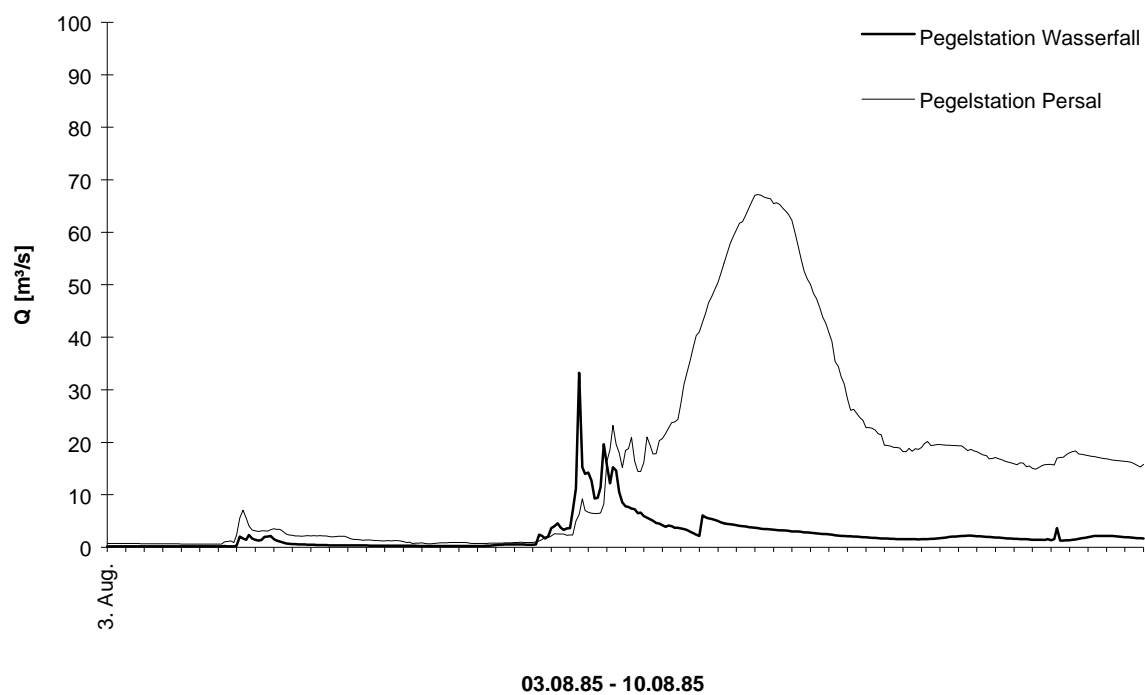


Abbildung 22: Hochwasserganglinie der Pegel Wasserfall und Persal vom Zeitraum 3.08.-10.08 1985
(Datenquelle: TKW, 1992)

8.3.2 Die Hochwasserereignisse 1987 im Tuxertal

8.3.2.1 Klimatische Verhältnisse der Vorperiode

Der Winter 1986/87 brachte gegenüber den Vorjahren erstmals wieder Niederschläge, die einige Prozent über dem Mittelwert lagen. Im Frühjahr verzögerte sich im Hochgebirge die Schmelze bis in den Frühsommer hinein. Der anhaltend kühle Witterungsverlauf in den Monaten Mai und Juni führte zu einer starken Verzögerung der Schneeschmelze in mittleren und höheren Lagen. In Höhen über 1800 m war gegen Ende Mai 1987 größtenteils noch eine geschlossene Schneedecke zu beobachten. Zögernde Erwärmung in der ersten Junidekade - unterbrochen von Kälterückfällen um den 4. Juni sowie Neuschnee bis in mittlere Lagen um den 8. Juni - verhinderten weitgehend einen wirksamen Abbau der Schneedecke in höheren Lagen (GANAHL, 1988).

Der Juli muß als gewitterreicher Hochsommermonat mit überdurchschnittlichen Temperaturen und Niederschlagsmengen eingestuft werden. Das anhaltend hohe Temperaturniveau begünstigt ab Monatsbeginn in den hochgelegenen Einzugsgebieten die längst überfällige Schneeschmelze. Jahreszeitlich bedingte starke Sonneneinstrahlung untertags und das Fehlen der nächtlichen Abkühlung selbst in den Gletscherregionen infolge der hochgelegenen Nullgradgrenze halten den eingeleiteten Schmelzprozeß ohne Unterbrechung in Gang. Das anfallende Schmelzwasser wurde durch zunächst unerhebliche Flächenniederschläge etwas aufgebessert und konnte bis zum 17. dieses Monats schadlos abgeführt werden. Unterdessen dauerte die Durchfeuchtung des Bodens und der Schneedecke in den höheren Regionen über 2000 m an, wodurch das Speichervermögen einer allmählichen Sättigung entgegen ging.

Abbildung 23: Klima und Abflußdaten für die Periode Mai bis August 1987 (GANAHL, 1988)

Die Wetterlage zu beiden Terminen war in ihren Grundzügen sehr ähnlich und als typisch für eine alpine Hochwasserlage zu charakterisieren. Auch die Untersuchungen der Hochwässer in Kärnten 1965 und 1966 (TROSCHL, 1971) und 1978 in der Schweiz (GREBNER, 1980) zeigen, daß es ein und dieselbe großräumige Konfiguration der Atmosphäre ist, die mit solchen Ereignissen zusammenhängt.

8.3.2.2 Meteorologische Situation am 18.-19. Juli in den Alpen

Am 18. Juli erreichten die von einem Tief über den Britischen Inseln ausgehenden Störungsfronten den Westen Österreichs. Bei anhaltender südwestlicher Höhenströmung wurden feuchtwarmer Luftmassen gegen die Alpen geführt (Abbildung 24). Diese bodennahe Luft wies in 850 hPa (ca. 1500 m) Werte der äquivalentpotentiellen Temperatur von rund 60°C auf, was als extrem hoch angesehen werden muß. Die äquivalentpotentielle Temperatur gibt den statistischen Energiegehalt der Luft an, das ist die Summe aus potentieller Energie (bezogen auf die 1000-hPa-Fläche), innerer Energie und latenter Energie und steht im engen Zusammenhang mit der Schneefallgrenze (STEINACKER, 1988). Bodenstationen meldeten sehr hohe Taupunkttemperaturen: am 19. Juli 1987 um 12 Uhr UTC in Verona 26°C, was auf einen hohen Feuchtigkeitsgehalt der Luft schließen läßt.

In der westlich der Alpen nach Süden vordringenden Kaltluft ging die äquivalentpotentielle Temperatur im 850-hPa-Niveau auf unter 40 °C zurück. Der große Temperaturkontrast bewirkte eine stürmische südwestliche Höhenströmung mit Divergenz über dem Alpenraum.

Abbildung 24: Isohypsen der 500-hPa-Fläche (ca. 5500 m) am 19. Juli 1987 (links) und am 24. August 1987 (rechts), 00 UTC. Die Lage der Bodenfronten ist mit üblicher Symbolik und die bodennahe Strömung (dicke Pfeile) schematisch eingetragen, wobei ausgefüllte Pfeile feuchtwarmer, offene Pfeile eine kühle Luftmasse bedeuten. (ZAMG, 1988)

8.3.2.3 Meteorologische Situation am 23.-25. August 1987 in den Alpen

Die atmosphärischen Entwicklungen vom 23.-25. August sind mit denen vom 17.-19. Juli vergleichbar (Abbildung 24). Ein hochreichendes Tief verlagert sich zwischen 23. und 25. August von Schottland nach Belgien. Die von Nordwesten gegen Westeuropa vordringende Kaltluft ist am Boden durch 2 Fronten markiert und baut zur Warmluft über Mitteleuropa sehr starke Temperaturgradienten auf. Die Taupunkttemperatur am 25. August beträgt um 6 Uhr UTC in Rom bereits 25°C und in Ancona 23°C, was wieder auf einen hohen Feuchtigkeitsgehalt schließen läßt.

8.3.2.4 Temperaturverlauf und Gletscherspende

Der zeitliche Verlauf der Schneefallgrenze zeigt, daß bei beiden Ereignissen der Niederschlag im fast gesamten Einzugsgebiet in flüssiger Form fiel und deshalb die im Vergleich zum August 1985 viel geringeren Niederschlagsmengen einen ähnlich hohen Abfluß bewirkten. Der Selbstsicherungseffekt konnte sich in beiden Fällen erst gegen Ende der intensivsten Niederschlagsphase auswirken, weil die Schneefallgrenze anfänglich über der mittleren Kammhöhe lag, sodaß die Schmelzwärme nicht einem stationärem Luftkörper entzogen wurde (STEINACKER, 1988).

Am 19. Juli war noch ein großer Teil der inneralpinen Hochflächen von Schnee bedeckt, der durch intensiven Strahlungsgenuß bei hoher Temperatur an den vorangegangenen Tagen bis in die Gipfellagen kräftig schmolz und völlig durchnäßt war. Der darauffolgende Regen konnte ohne wesentliche Verzögerung und ohne Verluste abfließen.

Um den 25. August war das Hochgebirge infolge des warmen Sommers größtenteils ausgeapert, und selbst die Gletscher hatten nur noch in den höchstgelegenen Firngebieten eine Schneebedeckung. Fällt nun Regen auf einen weitgehend ausgeaperten Gletscher, so fließt der Niederschlag äußerst rasch ab und kann zu einem plötzlichen Anwachsen des Abflusses führen (OERTER und REINWARTH, 1988). Diese Abflußspitze ist wohl als eigentliche Ursache für die Überschwemmungen talauswärts zu sehen (BUBIK, 1987). GANAHL gibt entsprechend den hohen Temperaturen an den niederschlagsfreien Tagen von 20. bis 22.08.1987 eine Gletscherspende je nach Grad der Vergletscherung von 70 l/s.km² (bei einer Vergletscherung von 4,2 %) bis 350 l/s.km² (bei einer Vergletscherung von 42 %) an (GANAHL, 1988).

Von der Station Plattkopf im Zillergrund auf einer 2250 m Höhe wurden im August vor und während des Hochwasserereignisses folgende Temperaturen gemessen:

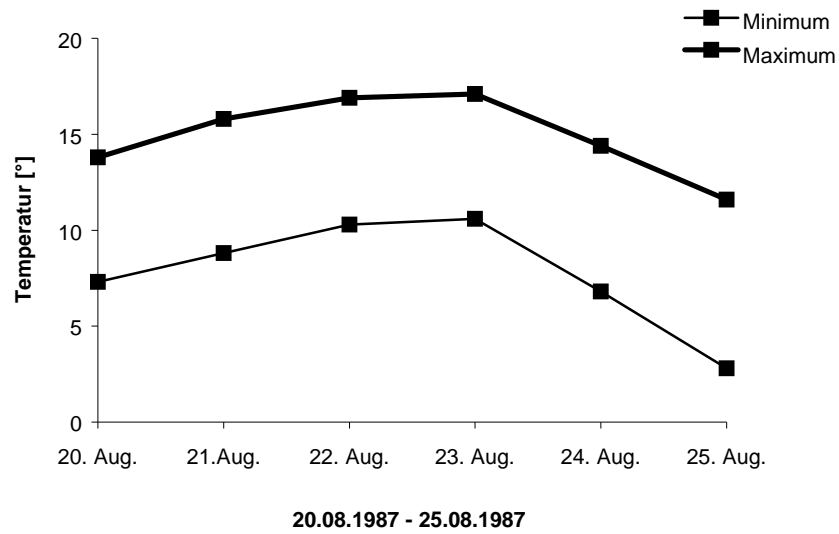


Abbildung 25: Temperaturverlauf (Min. und Max.) der Station Plattkopf im Zillergrund auf 2250 m Höhe für den Zeitraum 20. bis 25. August 1987 (Datenquelle: Ganahl, 1988).

8.3.3 Ereignis vom Juli 1987

8.3.3.1 Niederschlagsverteilung

Nach Angaben des Amtes der Tiroler Landesregierung - Abteilung für Hydrographie (BUBIK, 1987) entsprachen die Niederschläge im Zeitraum 18./19. Juli in Südtirol örtlich 100-200 mm, in Nord und Osttirol verbreitet 40-50 mm. In Hochlagenbereichen unmittelbar nördlich des Alpenhauptkammes fielen zum Teil 24 Stundenniederschläge von mehr als 100 mm, denen schon in den Tagen zuvor nicht unerhebliche Regenmengen vorausgegangen waren.

8.3.3.2 Abflußsituation

Im Zeitraum 18./19. Juli 1987 waren die den Alpenhauptkamm entwässernden Einzugsgebiete in ihrer Wasserführung hauptsächlich von der Schneeschmelze geprägt. Die beobachteten Niederschlagsmengen entsprachen bei weitem nicht den gemessenen Wasserständen und ermittelten Durchflüssen, was wiederum die Beobachtung der gegebenen Sättigung der Schneedecke in den Hochlagen voll bestätigt (KRAVOGEL, 1988). Nach BUBIK entsprachen die Abflüsse in den gletschernahen Gewässern in ihren Spitzenwerten etwa einem 100-jährlichen Ereignis. Die abflußstarken Zuläufe brachten eine beachtliche Hochwasserwelle, die jedoch im Unterlauf stark an Vehemenz verlor (BUBIK, 1987).

Schmelzgänge in Verbindung mit Niederschlägen führten am Tuxbach am 19.07 1987 zu ersten angespannten Hochwassersituation (Pegel Wasserfall um 13:00 Uhr 43,9 m³/s und Pegel Persal um 18:30 Uhr 37,2 m³/s). Die Abflußspitze und die Abflußfracht betreffend weisen beide Pegel einen ähnlichen Verlauf auf, was darauf schließen läßt, daß sich die Abflußbildung wesentlich auf das vergletscherte Einzugsgebiet des Alpenhauptkammes konzentrierte. Die Zubringer des Tuxbaches waren beim Hochwasserereignis im Juli (Abbildung 27) nicht in dem Ausmaß an der extremen Abflußsituation beteiligt, wie dies beim August-Ereignis (Abbildung 30) der Fall war, bei dem die Zubringer sehr wohl einen Einfluß auf das Ausmaß des Hochwassers hatten. Dies dürfte auch der Grund sein, warum das August-Ereignis im Tuxertal weit größere Schäden verursachte als das Juli -Ereignis.

8.3.4 Ereignis vom August 1987

8.3.4.1 Niederschlagsverteilung

Beim Ereignis im August setzte der Vorregen am 23. 08 um 18:00 ein und war am 24.08 zwischen 7 und 9:00 beendet. Die Niederschlagswerte im Bereich des Alpenhauptkammes erreichten 15 bis 40 mm, sodaß es zu einer ausreichenden Befeuchtung des Bodens kam. Am Abend des 24.08 setzte wieder Niederschlag ein. Die stärksten Intensitäten erreichten 10 bis 15 mm pro Stunde (0,2 mm/min) zwischen 21:00 und 02:00 Uhr. Am Schlegeisspeicher wurde am 24.08 ein Tagesniederschlag von 81,1 mm gemessen. Ab diesem Zeitpunkt nahm die Intensität bis 8:00 Uhr früh des folgenden Tages ab. Nur ein kurzfristiger Starkregen wurde zwischen 09:00 und 10:00 Uhr in einzelnen Gebieten registriert (GANAHL).

Abbildung 26 zeigt die Niederschlagsisohypsenkarte vom 24.08 und 25.08. Nur im Bereich des Alpenhauptkammes vom Ötztal bis zur Krimmler Ache im Oberpinzgau sind größere Tagesniederschläge als 90 mm gefallen. An der Niederschlagstation Lanersbach (ca. 1200 m) wurden für den Zeitraum 23. bis 25. August die Tageswerte von 31,4, 44 und 18,4 mm gemessen, was einer Summe von 89,8 mm entspricht. Für den Schlegeisspeicher gibt BUBIK eine Dreitagessumme für den gleichen Zeitraum von 145 mm an.

Abbildung 26: Niederschlagsverteilung nördlich des Alpenhauptkammes vom 24.08 und 25.08 1987
(AMT DER TIR. LANDESREG., 1992)

8.3.4.2 Abflußsituation

Auch das Hochwasserereignis im August 1987, dem eine Jährlichkeit von über 100 Jahren zuzuordnen sein dürfte, hatte also sein Schadwasserherkunftsgebiet in Seehöhen über 2000 m (BUBIK, 1987). Die Abbildung 28 zeigt den Verlauf der Ganglinien, wobei der Spitzenwert der Pegelstation Wasserfall (94 m³/sec) nach Auskunft der Tauernkraftwerke sehr kritisch zu betrachten ist und korrigiert werden muß. Der Zufluß zu den Speichern in den benachbarten Tälern im gleichen Zeitraum beträgt für Schlegeis 1,9, Stilllupp 1,97, Zillergründl 2,37 und Durchlaßboden 0,99 m³/sec.km² (GANAHL, 1988), daher wird der reale Wert von den Tauernkraftwerken mit ungefähr 35 m³/sec angegeben.

Andauernde Niederschläge bewirkten ein Ansteigen des Pegels Wasserfall auf 10,54 m³/sec am 23.08 um 23:00 Uhr und des Pegels Persal auf 28,759 m³/sec am 24.08 um 00:30. Ohne weitere Niederschläge wäre es zu einem Abbau dieser Abflußwerte gekommen, jedoch durch die nun einsetzenden intensivsten Niederschläge dieser Periode, kam es zu einem sprunghaften Anstieg an beiden Pegeln. Das bereits hohe Abflußniveau (Pegel Wasserfall 5 m³/sec und Pegel Persal 20 m³/sec) steigerte sich im Laufe des 25. August auf das Maximum (Pegel Wasserfall 35 m³/sec um 02:00 Uhr und Pegel Persal 74,75 m³/sec um 06:00 Uhr). Vor allem die Ganglinie des Pegels Wasserfalls weist durch 2 Abflußspitzen und zahlreiche kleinere Zunahmen während des Abklingens der Welle einen typischen Verlauf für das Hochwasserereignis August 1987 im Tuxertal auf. Ausgehend von einem hohen Niveau sind zahlreiche Impulse innerhalb eines kurzen Zeitraumes in Summe für die Hochwasserschäden verantwortlich. Die ausgiebigen Regen davor hatten für eine Benetzung des Bodens und für einen hohen Abfluß gesorgt auf dem sich die extreme Spitze aufsetzte. Die gefährlichste Situation spielte sich also im Zeitraum von 4 Stunden, in der Nacht von 24. auf den 25. August ab, was sich auch mit den Aussagen Ortsansässiger (STOCK,SCHIESTL 1992) deckt.

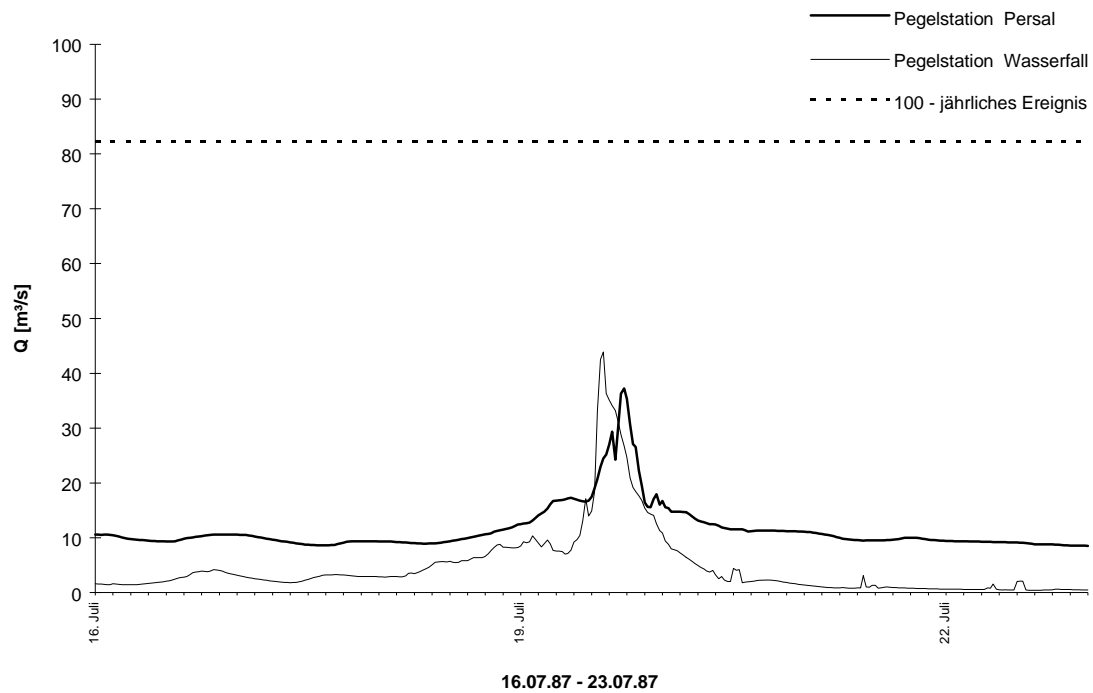


Abbildung 27: Hochwasserganglinie der Pegelstationen Wasserfall und Persal des Tuxbaches im Zeitraum von 16.07.87 bis 23.07.1987 (Datenquelle: TKW, 1992)

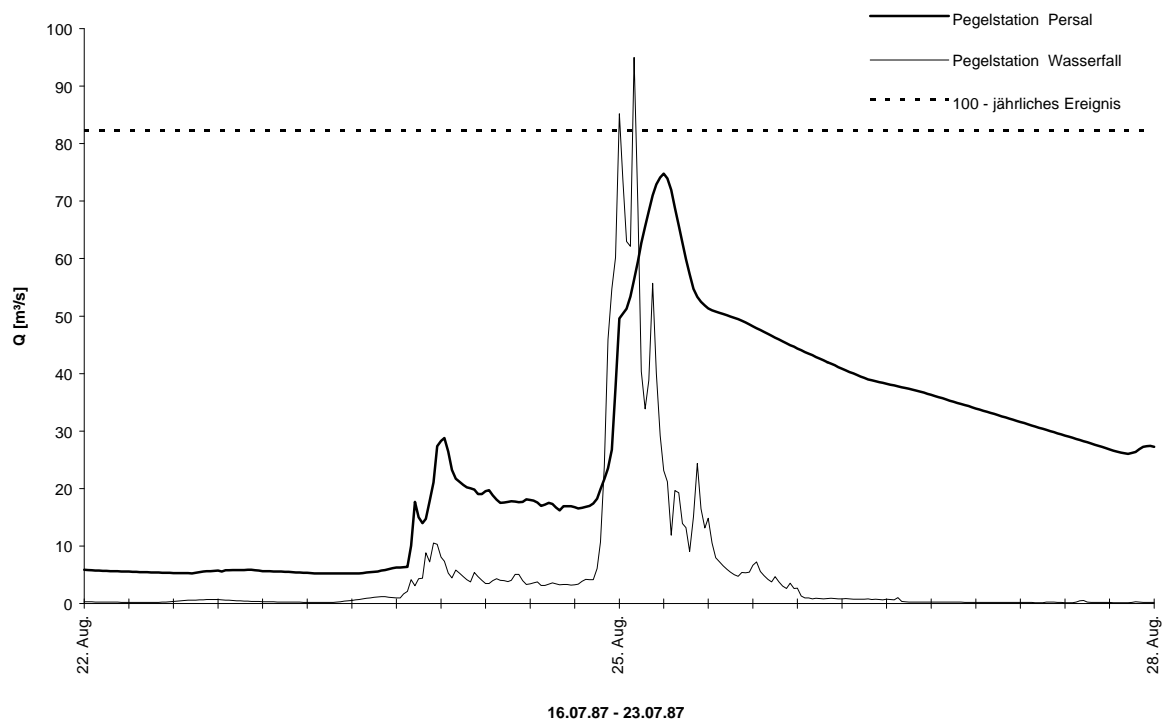


Abbildung 28: Hochwasserganglinie der Pegelstationen Wasserfall und Persal des Tuxbaches im Zeitraum von 22.08.87 bis 27.08.87 (Datenquelle: TKW, 1992)

8.3.5 Hochwasserschäden vom Ereignis August 1987

Die am 25. August 1987 verursachten Schäden am Gemeindevermögen werden von der Gemeinde mit insgesamt 2,843.000 ÖS angegeben, wobei ein Bundeszuschuß aus dem Katastrophenfond in der Höhe von 1,012.000 ÖS gewährt wurde. Darüber hinaus wurde der Gemeinde zur erleichterten Schadensbehebung eine Bedarfszuweisung aus Landesmitteln in Höhe von 700.000 ÖS zugesprochen. Der Beitrag der Gemeinde an der Wildbachverbauung von 15 % bezieht sich dabei auf Sofortmaßnahmen, die von der zuständigen Gebietsbauleitung durchgeführt wurden. Die Anteile am anerkannten Gesamtschaden werden von der Gemeinde wie folgt angegeben:

Sportplatz der Gemeinde	2,600.000	ÖS
Gemeindewasserleitung	83.000	ÖS
Feuerwehreinsatz	10.000	ÖS
Beitrag an der Wildbachverbauung (15%)	150.000	ÖS
<i>SUMME</i>	<i>2,843.000</i>	<i>ÖS</i>

8.3.6 Fotodokumentation

Abbildung 29: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach gegen die Fließrichtung

Abbildung 30: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach in Fließrichtung

Abbildung 31: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach gegen die Fließrichtung

Abbildung 32: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach in Fließrichtung

9. Aufarbeitung projektsbezogener Systemdaten

9.1 Zeitunabhängige Systemdaten

Die zeitunabhängigen Systemdaten setzen sich aus Steuerdaten, Teilgebietsdaten, Gerinnedaten, und den Modellparametern zusammen (Abbildung 5).

Das Programmpaket NASIM und das Programmpaket JABRON der Fa. Hydrotec bestehen aus mehreren Modulen. Die Differenzierung der Dateien in Steuer- und Datenfiles ermöglicht eine problemangepaßte Programmnutzung. Die Informationen im Steuerfile regeln den Programmablauf. Mit Hilfe von Steuerworten werden die möglichen Programmoptionen angewählt, wobei die meisten Optionen mit bestimmten Standardwerten vorbesetzt sind, die für viele Anwendungsfälle gültig sind. Die Eingabe erfolgt wortorientiert und ist formatfrei. Inhaltliche zusammenhängende Daten werden als Eingabeblocke behandelt und unter Steuerworten zusammengefaßt.

9.1.1 Teileinzugsgebietsgrenzen

Die Einzugsgebietsgrenze wird anhand der vorhandenen Karten (Beilage 1) festgelegt, und in weiterer Folge die Teileinzugsgebietsgrenzen eingezeichnet, wobei man bei der Untergliederung in Teileinzugsgebiete, die gemeinsam mit PRESSLAUER festgelegt wurden, nach bestimmten Kriterien vorgehen muß.

- Die einzelnen Teilgebiete sollten annähernd homogene Charakteristiken aufweisen, und ihre Größe möglichst ähnlich sein.
- Die Querschnittsform innerhalb eines Gerinneabschnitts in einem Teilgebiet sollte nicht zu stark variieren.
- Die Teilgebiete werden meist in einen rechten und einen linken Hang, und wenn vorhanden in einen hinteren Hang aufgeteilt.
- Oberirdische und unterirdische Wasserscheiden stellen Teilgebietsgrenzen dar.
- Geologische und hydrogeologische Wasserscheiden stellen Teilgebietsgrenzen dar.
- Bei vorhandenen oder geplanten Rückhaltebecken sind die Einzugsgebietsgrenzen dieser Becken als Teilgebietsgrenzen zu übernehmen.
- Vorhandene Pegel sind ebenfalls Zwangspunkte.

Die Nummerierung kann grundsätzlich beliebig gewählt werden. Aus Übersichtsgründen sollte jedoch die Nummerierung in Fließrichtung des Gerinnes erfolgen.

Abbildung 33 zeigt eine Systemskizze, die für die Studie Tuxbach erstellt wurde, wobei der Pegel Wasserfall als externer Zufluß berücksichtigt wurde. Die Systemknoten erhalten eine 5-ziffrige Zahl, z. B. 91000, 11000, ..., wobei die erste Ziffer die Kennung der Lage des Knotens bezogen auf das Gesamtsystem enthält. Dabei bedeutet:

‘9’ Anfangsknoten eines Teileinzugsgebiets

‘n’, n=1...8 n Systemelemente führen auf einen Knoten zu

Teilgebiete erhalten eine 4-ziffrige Zahl. Für die Aufnahme der Teilgebietsdaten werden die Teilgebietsgrenzen und das Gerinne (Beilage 1) auf das Transparentpapier übertragen, und für jedes Teilgebiet eine gut angepaßte idealisierte Teilfläche eingetragen, deren Berechnung das Programm selbst vornimmt. Neben den geometrischen Größen, wie idealisierte Flußlänge, Hanglänge unten und oben und Winkel zw. Gerinne und Hangfließrichtung, werden für jedes Teilgebiet, am besten in tabellarischer Form, die Teilgebietsnummer, die Teilgebietsfläche, das Hanggefälle, mittlere Höhe und Knotennummer oben und unten ermittelt .

SYSTEMSKIZZE-STUDIE TUXBACH

Legende:

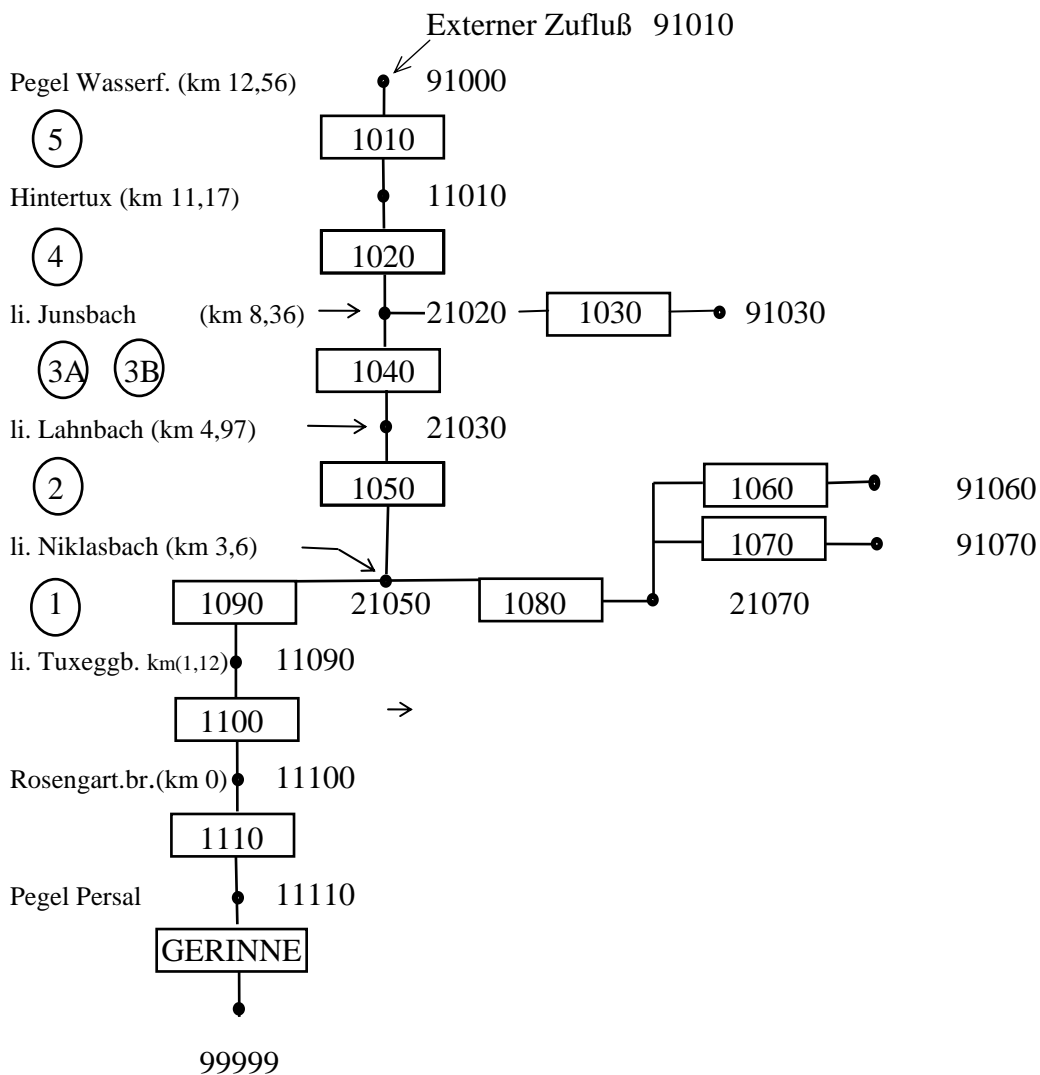
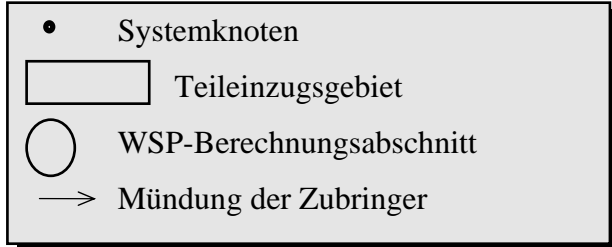


Abbildung 33: Systemskizze Studie Tuxbach

9.1.2 Gerinnedaten

9.1.2.1 Allgemeine Hinweise zur Erstellung von Datensätzen

In einem Gerinnesystem müssen alle Gerinne einzeln von der Mündung oder einem festzulegenden Ort flußaufwärts gerechnet werden. Mit Hilfe der querschnittsbezogenen Daten kann die Kapazität der Profile bestimmt werden. Mit den längsschnittbezogenen Daten ist die Berechnungsreihenfolge festgelegt und es können Wasserspiegellinien mittels stationär ungleichförmiger Berechnung ermittelt werden.

9.1.2.2 Querprofilsdaten

Für jedes Profil müssen vorhanden sein:

- die Profilnummer
- die Stationierung in [km] (aufsteigend entgegen der Fließrichtung); es ist besonders bei mäandrierenden Gerinnen darauf zu achten, daß die wahre Gerinnelänge für die Profilkilometrierung verwendet wird, da die eingegebene Kilometrierung zur Ermittlung des Profilabstandes bei der WSP-Rechnung benutzt wird.
- der Profiltyp (offenes, geschlossenes Gerinne, Wehr, Durchlaßtyp)
- die Orientierung des Profils und die Gauss-Krüger-Koordinaten des Flußmittelpunktes erfolgt optional für die lagetreue Darstellung in der Karte und für die Berechnung von Überschwemmungsflächen.
- die Profilrauheiten der Polygonabschnitte (k_s -Werte) werden bei der Vermessung oder Begehung anhand von Tabellen bestimmt.

Abbildung 34: Definitionsskizze zur Orientierung des Profils und zur Ermittlung des Flußpunktes
(HYDROTEC, 1991)

- die Profilgeometrie wird durch den Polygonzug über das Hauptgerinne und abflußrelevante Vorlandbereiche mit Berücksichtigung der Knickstellen im Profil festgelegt. Die Anzahl der Polygonpunkte und die horizontale Lage der Punkte (x-Koordinaten) im Polygonzug kann auf einen beliebigen Punkt bezogen werden. Die vertikalen Koordinaten der Polygonpunkte (y-Koordinaten) sollten in [mNN] eingegeben werden. Die Eingabe der Punkte erfolgt in Fließrichtung gesehen von links nach rechts. Dabei sind auch Querprofileinschnürungen (abnehmende Breite bei zunehmender Höhe) zulässig. Abbildung 35 zeigt ein Beispiel des Polygonzuges für ein Profil mit berechneten Wasserspiegeln und die Zuweisung von Rauigkeiten für die Teilabschnitte.

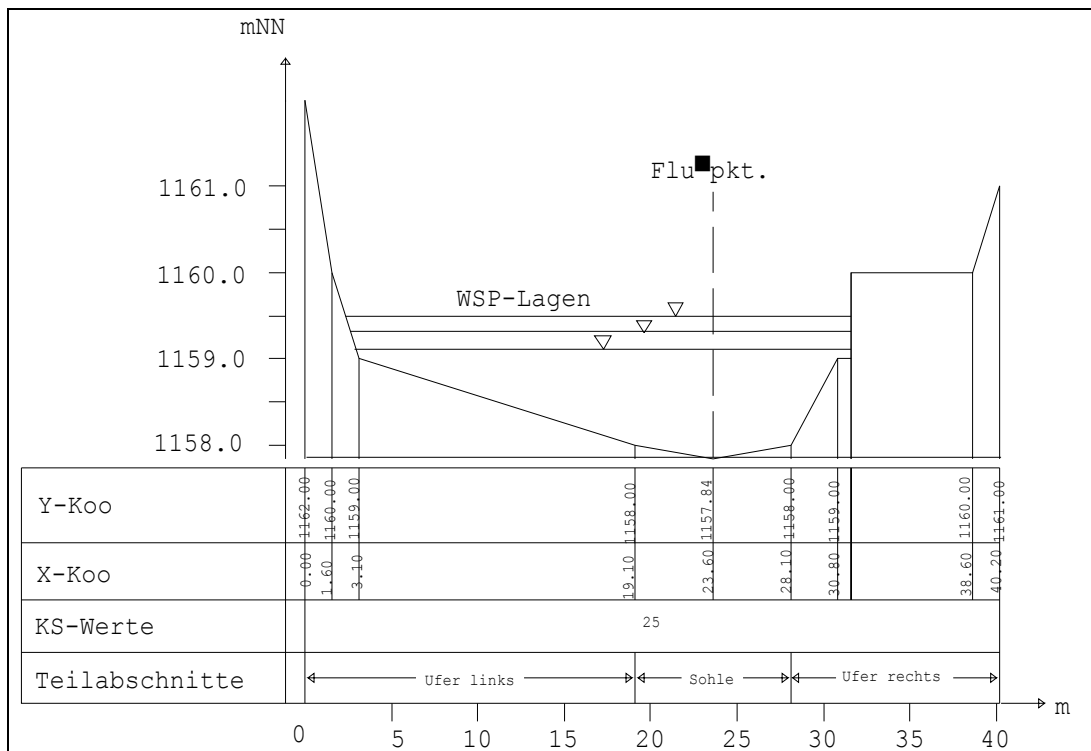


Abbildung 35: Polygonzug eines Profils in Fließrichtung, erstellt mit dem Programmodul Plotquer

9.1.2.3 Längsschnittdaten

Das betrachtete Gerinne wird für die Berechnung in Berechnungselemente aufgeteilt. Ein Element wird durch zwei Profile festgelegt. Sie beschreibt die Verknüpfung der Profile und beinhaltet die streckenbezogenen Informationen. Die Nummerierung und Kilometrierung der Profile und die Nummerierung der Teilstücke erfolgt von der Mündung zur Quelle.

Diese Daten umfassen zwei Gruppen:

Allgemeine Informationen:

- Transport Elementnr.
- Elementtyp
- begrenzende Profile

Zusätzliche (optionale) Daten:

- Verlustbeiwerte für Krümmungen
- Verlustbeiwerte für Verzweigungen und Zusammenflüsse
- Verlustbeiwerte für Stufen und Sohlschwellen
- Verlustbeiwerte für Einläufe, Ausläufe und Durchlässe
- Zufluß- bzw. Abflüsse von einmündenden bzw. abzweigenden Nebenläufen oder Verzweigungen

9.1.3 Datenerhebung

Als Information zur Beschreibung des Tuxbaches und seiner Geometrie diente eine photogrammetrische Auswertung vom Amt der Tiroler Landesregierung. Das Aufnahmedatum war der 28.05. 1991. Der erstellte Schichtenplan im Maßstab 1:1000 enthält bereits Maßnahmen, Dammschüttung, Steinschlichtungen oder lokale Uferbefestigungen der WLK, die im Zuge der Hochwasserkatastrophen 1987 durchgeführt wurden, wodurch ein Vergleich mit der Simulation der Wasserspiegellagen in diesen Bereichen nicht möglich war. Die Tatsache, daß nach dem Hochwasserereignis im August 1987 die Anschlaglinien von den zuständigen Behörden nicht kartiert wurden, stellt ein weiteres Problem bei der Simulation dar. Bei der Begehung konnten aufgrund der unterschiedlichen Aussagen der Bevölkerung über das Ereignis nur an wenigen Stellen die Hochwasserstände detailliert rekonstruiert werden.

Die Rosengartenbrücke, die Gemeindegrenze zwischen Lanersbach und Finkenbergr diente als Ausgangspunkt für die Kilometrierung, die entgegen der Fließrichtung beim Pegel Wasserfall

bei Kilometer 12,56 endet. Auf dieser Länge wurden insgesamt 408 Querprofile für die Wasserspiegellinienberechnung aufgenommen.

Die Erstellung der einzelnen Berechnungsabschnitte für die Wasserspiegellagen erfolgte gleichzeitig mit der Abgrenzung der Teileinzugsgebiete für die Niederschlag-Abflußsimulation. Für jeden Systemknoten erhält man aus einer Niederschlag- und Abflußsimulation spezifische Gebietsparameter, mit denen einem Gerinneabschnitt differenzierte Abflüsse zugewiesen werden können. Insgesamt ergeben sich 6 Berechnungsabschnitte, die sich auf Grund ihres Gefälles weitgehend mit dem Verlauf der einzelnen Talbeckenbereiche (Abbildung 17) decken. In der nachfolgenden Abbildung sind die wichtigsten Parameter der Berechnungsabschnitte angeführt. Schluchtstrecken scheiden für eine hydraulische Simulation aus, da auf Grund des extremen Gefälles einerseits hydraulische Abflußbedingungen herrschen, die nicht simuliert werden können und andererseits die Erstellung der Querprofile aus dem Schichtenplan kaum möglich ist. Die Berechnungen beginnen am Ende der Schluchtstrecke bei Kilometer 1,206. Der Abschnitt vor Hintertux von Kilometer 10,38 bis Kilometer 11,065 weist ebenfalls schluchtartigen Charakter auf und scheidet somit für eine Simulation aus.

9.1.3.1 Berechnungsabschnitte

	mittl. Gefälle	Länge	+/- Pkt.	Anz.d.QP	Startpr.	Endpr.
	%	m	mNN	-	-	-
Berechnungsabschnitt 1	4,1	2374	1143/1240	79	900	1680
Berechnungsabschnitt 2	1,8	1377	1240/1265	49	1690	2170
Berechnungsabschnitt 3A	4,1	1770	1265/1337	53	2180	2700
Berechnungsabschnitt 3B	1,9	1630	1337/1368	43	2710	3130
Berechnungsabschnitt 4	1,4	2023	1368/1397	51	3140	3650
Berechnungsabschnitt 5	1,8	1495	1474/1500	42	3660	4080

Abbildung 36: Parameter der einzelnen Berechnungsabschnitte

9.1.4 Bestimmung der Bodenkennwerte

Die Bestimmung der Bodenkennwerte ist sicher ein kritischer Punkt der Simulation, da in Österreich nur in den seltensten Fällen exakte Bodenkarten zur Verfügung stehen.

Die in der NASIM-Dokumentation recht ausführlich beschriebene Anleitung der Bodenkennwertermittlung mit verschiedenen Bodengruppen und Bodenflächenanteilen ist bei großen Untersuchungsgebieten sehr aufwendig, weshalb bei der Berechnung der Bodenkennwerte hauptsächlich mit den DVWK-Regeln 115 (1980) und 116 (1980) gearbeitet wurde. Detailliertere Information und Tabellenwerte sind der Diplomarbeit von PRESSLAUER (1994) und der NASIM Dokumentation zu entnehmen.

Grundsätzlich werden für die Niederschlag- Abflußsimulation 4 Werte benötigt. Es sind dies die maximale Bodenfeuchte, die Feldkapazität, der Infiltrationsfaktor und der Perkolationsfaktor.

9.2 Zeitabhängige Systemdaten

9.2.1 Übersicht

Zeitabhängige Systemdaten setzen sich aus den hydrologischen und den meteorologischen Daten zusammen (Abbildung 7).

Grundsätzlich wird zwischen einer Kurzzeitsimulation und einer Tagessimulation (Zeitschritt 24h) unterschieden. Der gewählte Zeitschritt für die Kurzzeitsimulation beträgt eine halbe Stunde. Grundsätzlich wurde die Vorgangsweise so festgelegt, daß beide Simulationsarten kombiniert angewendet wurden. Mit der Tageswertsimulation für den Zeitraum von einigen Monaten erhält man den Bodenfeuchtezustand, und geht mit diesen Werten als Anfangsparameter in eine Hochwassersimulation.

Es wurden zwei Hochwasserereignisse der letzten Jahre bearbeitet. Die Ereignisse sollten nicht zulange zurück bzw. auseinanderliegen, da in der Zwischenzeit erfolgte Baumaßnahmen die Abflußwelle verändern und somit keine Kalibrierung mehr vorgenommen werden kann.

Die Tageszeitsimulation erfolgte für den Zeitraum eines Jahres

vom	28.08.86	bis	27.08.87.
-----	----------	-----	-----------

Die Kurzzeitsimulation von zwei Hochwasserereignissen erstreckt sich

vom	04.08.85	00 Uhr	bis	09.08.85	00 Uhr
vom	22.08.87	00 Uhr	bis	27.08.87	00 Uhr

Das ursprünglich geplante dritte Ereignis im Juli 1987 konnte nicht simuliert werden, da auf Grund heftiger Gewitter der Niederschlagsschreiber ausgefallen ist.

9.2.2 Grundlagen

- Niederschlagsganglinien
- Abflußganglinien
- Zuflußganglinien bei externen Zuflüssen
- Mittlere Tagestemperatur in °C
- Mittlere Tagesverdunstung in mm/d
- bzw. falls Verdunstungsdaten nicht vorhanden sind
 - mittlere Windgeschwindigkeit (m/s)
 - mittlere Luftfeuchtigkeit (%)
 - Tagessonnenscheindauer (h/d)

9.2.3 Niederschlagsdaten

Die für die Kurzzeitsimulation benötigten Halbstundenniederschläge stammen aus einer Auswertung von Niederschlagsstreifen der Meßstation Schlegeis-Speicher, welche von den Tauernkraftwerken zur Verfügung gestellt wurden. Allerdings liegt diese Station nicht mehr im bearbeiteten Einzugsgebiet. Es war daher nötig, diese Daten auf die Station Lanersbach welche nur Tageswerte liefert, umzurechnen. Eine Verteilung der Niederschläge vom 23., 24. und 25. August sind mittels einer Isohyetenkarte vom Hydrographischen Dienst Innsbruck ersichtlich.

Daraus wird eine kontinuierliche Zunahme des Niederschlages mit steigender Seehöhe in Richtung Alpenhauptkamm ersichtlich. Durch den Vergleich mehrerer Tagesniederschläge der Station Schlegeis mit der Station Lanersbach wurde ein Faktor ermittelt, mit dem die Halbstundenwerte der Station Schlegeis in Beziehung gesetzt werden konnten.

Bei der Simulation wird mit einer gleichmäßigen Überregnung des gesamten Einzugsgebietes gerechnet, was nicht die natürlichen Gegebenheiten im Alpenraum widerspiegelt, wo Regenschauer auf sehr eng begrenzten Raum niedergehen können.

9.2.4 Abflußdaten

Die Abflußdaten stammen vom Pegel Persal der sich in der Schluchtstrecke im Gemeindegebiet von Finkenberg befindet. Seit einigen Jahren besteht knapp unterhalb des Gletschers eine Wasserfassung, womit rd. 3 m³/s Wasser in den Schlegeisspeicher übergeleitet werden kann. Nach Angaben der Tauernkraftwerke ist diese Menge der

Tuxbachüberleitung zu den Abflußwerten der Pegelstellen Wasserfall und Persal noch hinzuzurechnen.

Um diesen Ableitungsfehler und die nur schwer zu simulierenden Gletscherabschmelz- und Abflußprozesse auszuschalten wurde in einer Variante nur das Zwischeneinzugsgebiet der Pegelstationen Persal und Wasserfall betrachtet. Indem der Wasserfallpegel als Zuflußganglinie verwendet wird, braucht das oberhalb liegende Gebiet nicht mehr berücksichtigt werden.

9.2.5 Klimadaten

Die Klimadaten werden alle als mittlere Tageswerte eingegeben, wobei nur die mittlere Tagestemperatur ($^{\circ}\text{C}$) und die potentielle Verdunstung (mm/d) nötig ist. Da allerdings im Einzugsgebiet des Tuxbaches keine Verdunstungsmessung stattfindet, ist die mittlere Windgeschwindigkeit pro Tag (m/s), die mittlere Luftfeuchtigkeit pro Tag (%) und die summierten Sonnenscheinstunden (h/d) notwendig.

Die Größenordnung der potentiellen Verdunstung im Jahresgang ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.

Abbildung 37: Jahresgang der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen P und der potentiellen Verdunstung E_p (BAUMGARTNER, 1990)

Die Windgeschwindigkeiten, die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt wurden, sind nach der zwölfteiligen Beaufort-Skala angegeben, wobei die Messungen täglich um 7 Uhr, 14 Uhr und um 19 Uhr stattfanden.

Abbildung 38: Tabelle der Beaufort -Skala

Um einen Tagesmittelwert zu bekommen, wurden jeweils die drei Tageswerte gemittelt, und nach einem Umrechnungsschlüssel, der mittlere Beaufort-Grad berechnet. Diese Umrechnung mag zwar recht aufwendig erscheinen, für einen Simulationszeitraum von mehreren Monaten hat der Wind jedoch einen entscheidenden Einfluß auf die Verdunstung (PRESSLAUER, 1994).

10. Ergebnisse

10.1 Niederschlag Abflußsimulation

Ziel der Niederschlag- Abflußsimulation ist es durch die Bestimmung mittlerer Gebietsparameter, Ereignisse zu simulieren.

Grundsätzlich geht man bei der Datenauswertung so vor, daß mit der Langzeitsimulation begonnen wird, wobei die einzelnen Parameter solange verändert werden, bis die gerechnete Abflußganglinie mit der gemessenen übereinstimmt,

Als zweiter Schritt erfolgt am Ende der Langzeitsimulation die Kurzzeitsimulation. Die Anfangsbodenfeuchte erhält man aus der vorherigen Langzeitsimulation. In Folge werden dann weitere Hochwässer simuliert, die man nun schon viel rascher simulieren kann, da viele Parameter von der ersten Simulation übernommen werden können.

10.1.1 Tageswertsimulation

Bei dieser Variante simulierte PRESSLAUER nur das Zwischeneinzugsgebiet. Die den Gletscher ersetzende Wasserfallpegelganglinie wurde als externer Zufluß gerechnet, da die Abflußvorgänge von einem Gletscher durch eine Unzahl von Faktoren beeinflußt werden und so der Einfluß des Gletschers besser berücksichtigt werden kann (Beilage 2).

Zu Beginn der Simulation weist die simulierte Abflußkurve (schwarz) im Vergleich mit dem gemessenen Pegel (rot) einen viel zu geringen Wert auf. Die Ursache dafür ist die, daß bei der Langzeitsimulation die Anfangsbodenfeuchtigkeit auf den Wert der Feldkapazität gesetzt wird und sich erst im Laufe der Wochen die simulierte Bodenfeuchtigkeit der "wahren" Bodenfeuchtigkeit annähert. Da jedoch ab November/Dezember der anfallende Niederschlag in den höheren Lagen sich bereits in Form von Schnee ablagert, wird der Pegel auch weiterhin ständig unterschritten. Im Hochsommer stimmen die Abflüsse recht gut überein, jedoch verzögert sich auch hier die Schneeschmelze recht stark (PRESSLAUER, 1994).

10.1.2 Kurzzeitsimulation

Nachdem für die beiden Ereignisse August 1985 und August 1987 die Gebietsparameter aus der Tageswertsimulation ermittelt wurden, konnten mittlere Parameter für alle zukünftigen Niederschlagsereignisse bestimmt werden. Dazu wurde allerdings auf die Simulation mit

einer externen Zuflußganglinie verzichtet, da ja weitere Simulationen ohne jeden Pegel betrieben werden (Beilage 3).

10.1.3 Mittlere Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1987

Ger. Abflußbeiwert	60,4	(%)
Gem. Abflußbeiwert	62,9	(%)
Mittl. ger. Abfluß	29,2	(m ³ /s)
Mittl. gem Abfluß	30,4	(m ³ /s)
Niederschlagssumme	146,4	(mm)
Simulationszeitraum	110,0	(h)
Korrelationskoeff.	0,957	(-)

Abbildung 39: Tabelle der mittleren Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1987

10.1.4 Mittlere Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1985

Ger. Abflußbeiwert	46,9	(%)
Gem. Abflußbeiwert	43,1	(%)
Mittl. ger. Abfluß	20,3	(m ³ /s)
Mittl. gem Abfluß	18,6	(m ³ /s)
Niederschlagssumme	130,9	(mm)
Simulationszeitraum	110,0	(h)
Korrelationskoeff.	0,976	(-)

Abbildung 40: Tabelle der mittleren Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1985

10.2 Wasserspiegellagenberechnung

Die Abflüsse für die Berechnungsabschnitte der Wasserspiegellagenberechnung basieren auf der Grundlage der größten Abflußereignisse, die am Pegel Persal aufgezeichnet wurden und der ermittelten Gebietsparameter aus der Niederschlag- Abflußsimulation. Die größte Abflußmenge am Pegel Persal beträgt 130 m³/s, gemessen am 7. August 1967 und reduziert sich am Pegel Wasserfall auf 48,8 m³/s bei km 12,56. Die weiteren berechneten Abflüsse des Pegel Persal betragen 100 m³/s und 75 m³/s. In Abbildung 44 sind die einzelnen Abflüsse für alle Berechnungsabschnitte dargestellt.

Berechnungsabschnitt -	Länge km	Abflüsse m ³ /s		
Schluchtstrecke	1,206	75	100	130
1	2,374	62,3	85,7	112,9
2	1,377	58,6	81,6	105,9
3A,3B	3,4	46,9	63,5	83,5
4	2023	39,2	53,9	69,6
Schluchtstrecke	0,685	32,1	48,7	55,5
5	1,495	29,1	38,6	48,8

Abbildung 41: Ablußmengen der einzelnen Berechnungsabschnitte für die Wasserspiegellagenberechnung

Ausgehend vom Startprofil des jeweiligen Berechnungsabschnittes wurde mittels der Arbeitsgleichung (2) der Wasserspiegel für 3 Abflüsse berechnet. 408 Querprofile mit den berechneten Wasserspiegeln beschreiben den Talverlauf des Tuxbaches und seiner benötigten Retentionsflächen.

Für die graphische Darstellung der Abflüsse wurde für Q=130 m³/s die Farbe rot, für Q=100 m³/s die Farbe grün und für Q=75m³/s die Farbe blau verwendet.

In den nachfolgenden Beilagen (5-7,13-15,20-22,29-31,32-34,40-42) sind die Wasserspiegelbreiten des gestreckten Bachverlaufes für die einzelnen Abflüsse dargestellt. Anhand der Abgrenzung des Hauptgerinnes mit den Wasserspiegelbreiten sind die benötigten Überschwemmungsflächen für die unterschiedlichen Abflüsse des gesamten Berechnungsabschnittes gut ersichtlich.

Die graphische Darstellung der Querprofile beschränkt sich auf einige Wesentliche, die das Abflußregime des Berechnungsabschnittes am Besten charakterisieren.

Für jedes der Querprofile wurden die wichtigsten Abflußparameter berechnet, wobei alle relevanten Abflußparameter sowohl für das Gesamtprofil als auch getrennt nach Vorland, Ufer und Böschungen wiedergegeben sind. Nähere Erläuterungen zu den Tabellen und eine Auflistung der verwendeten Symbole sind dem Anhang A beigelegt.

Für die Darstellung der Längsschnitte und der Schichtenpläne wurden die Berechnungsabschnitte geteilt. Die Ausgabe der Schichtenpläne erfolgte im Maßstab von 1:1000. Die Maßstäbe der Längsschnitte richten sich nach dem Gefälle und sind in der folgenden Abbildung übersichtsmäßig dargestellt.

Abschnitt	von[km]	bis[km]	x-Maßstab	y-Maßstab	Überhöhung
1	1,3	3,6	1500	500	3
2	3,57	4,97	1000	100	10
3A	4,89	6,75	1500	300	5
3B	6,67	8,36	1000	200	5
4	8,35	10,38	1500	150	15
5	11,17	12,68	1500	150	15

Abbildung 42: Tabelle der verwendeten Maßstäbe in den Längsschnittdarstellungen

11. Diskussion

NASIM und JABRON wurden erstmals in Österreich auf ein alpines Einzugsgebiet angewendet und es ist daher von besonderer Bedeutung, diese Module an weiteren Einzugsgebieten zu testen und in Zusammenarbeit mit der Fa. Hydrotec die Programme weiter zu entwickeln, um spezifische Anwendungsmöglichkeiten für den Alpenraum einfließen lassen zu können.

Von besonderem Vorteil ist es, beide Systeme parallel zu verwenden, da sie miteinander verknüpft werden können. Eine direkt von NASIM erzeugte Datei weist jedem Querprofil eine bezüglich Lage und Hochwasserwelle entsprechende Abflußmenge zu. Diese Möglichkeit war in diesem Fall nicht gegeben, da die Anzahl der Teileinzugsgebiete und der Querprofile zu groß gewesen wäre.

Die Möglichkeit einer Verknüpfung der hydrologischen und hydraulischen Komponenten mit einem Geländemodell zur Bestimmung von Retentionskonstanten, Erstellung von Querprofilen und zur automatischen Darstellung von Überschwemmungsflächen besteht derzeit am Institut noch nicht. Es ist aber zu hoffen, daß es in nächster Zeit auf diesem Gebiet zu einer Weiterentwicklung kommt, da wie in diesem Fall das Erstellen von den ca. 400 Querprofilen auf einer Flußlänge von ca. 12,5 km, das Editieren der gescannten Pläne in einem CAD- System und die Übertragung der Überschwemmungsflächen auf den Schichtenplan im Maßstab 1:1000 mit einem zu hohen Zeitaufwand verbunden ist. Diese Erfahrung möge man bei der künftigen Vergabe von Diplomarbeiten und Aufgabenstellung unbedingt berücksichtigen, da sonst in jedem Fall die Qualität darunter leidet.

Positiv hervorzuheben bezüglich der Anwendungsmöglichkeit und der Leistungsstärke des Programmsystem JABRON ist die Tatsache, daß mit einer Erstellung der Querprofilsdatei nicht nur die Berechnung der Wasserspiegellagen in Form von Tabellen, sondern automatisch auch die graphische Darstellung in Form eines hydrologischen- hydraulischen Längsschnittes und der Querprofile ermöglicht wird.

Im folgenden sind noch einmal wesentliche zu berücksichtigende Punkte bei der Anwendung von NASIM (PRESSLAUER, 1994) und JABRON an der Studie Tuxbach angeführt:

NASIM:

- Für den Abfluß von Felsflächen besteht keine gesonderte Eingabemöglichkeit. Die Notlösung durch die Eingabe als versiegeltes urbanes Gebiet entspricht nicht der Realität, da bei der Berechnung des urbanen Abflusses das Wasser direkt über die Kanäle dem Vorfluter zugeführt wird. Im Gelände jedoch fließt das Wasser, abgesehen von ganz anderen Neigungsverhältnissen, vom Felsen entweder in einen Schuttkörper oder aber ins freie Gelände.
- Die Simulation des Schneeschmelzprozesses, die im Gebirgsland Österreich sicher eine sehr große Rolle spielt, ist unzureichend. Bei der Tageszeitsimulation setzt die Schneeschmelze im Frühjahr zu spät ein. Durch die Erhöhung der Schneeschmelzrate konnte der Zeitpunkt zwar vorgeschoben werden, allerdings waren dann im Sommer die berechneten Abflüsse viel zu gering.
- Die Niederschlagsverteilung wird nach der Thiessen- Methode berechnet. Im alpinen Bereich spielt aber die Niederschlagsverteilung in Abhängigkeit der Seehöhe eine entscheidende Rolle.
- Die in den DVWK- Regeln angegebenen Tabellen für die Bodenkennwertermittlung gilt nur beschränkt für den alpinen Raum.

JABRON:

- Das Geschiebe wird bei den Berechnungen nicht berücksichtigt. Es wird von annähernd sohlstabilen Zuständen ausgegangen und die berechneten Wasserspiegel geben daher den Ist- Zustand wieder.
- Einzelverlustwerte bei Zuflüssen und die Brücken der Tuxerlandesstraße wurden nicht berücksichtigt, da für diese Berechnungen eine eigene Vermessung und die genaue Aufnahme der Brückenquerprofile notwendig gewesen wäre. Die Kapazität der Brückendurchlässe stellten beim Hochwasserereignis im August 1987 kein Problem dar, daher wurde auf die Berechnung einzelner Brückenbauwerke verzichtet.
- Fließzustände: Wird ein Fließwechsel vom Schieben zum Strömen in Fließrichtung festgestellt, wird für die Oberwassertiefe Grenztiefe eingesetzt. Für jedes oberhalb liegende Profil wird solange Grenztiefe eingesetzt, bis wieder strömender Abfluß ermittelt wird. Die Berechnungen entsprechen also bei den gegebenen Verhältnissen den maximal möglichen, nicht den wirklich vorhandenen Abflußtiefen.
- Die Berücksichtigung des Bewuchses erfolgte nicht durch die Eingabe entsprechender Bewuchsklassen gemäß den DVWK- Angaben, sondern anhand von Literaturangaben zum Strickler- Beiwert.
- Bei einigen Querprofilen im Berechnungsabschnitt 2 kam es zu Iterationsproblemen, da es durch die Errichtung von Dämmen zur Eindeichung vom Vorland gekommen ist. Das Vorland wird erst nach dem Überschreiten einer bestimmten Abflußtiefe im Hauptgerinne berücksichtigt. Dies kann durch die Eingabe einer minimalen Wasserspiegelhöhe berücksichtigt werden. Erst wenn diese Höhe im Hauptgerinne erreicht wird, wird das über die Profilpunkte definierte Vorland am Abfluß beteiligt, wodurch ein großer Wechsel der Abflußkapazitäten im Hauptgerinne stattfindet. Es muß auch darauf geachtet werden, ob nicht gegebenenfalls das Vorland durch niedrigere Begrenzungshöhen im Profil oberhalb als durchströmt anzusehen ist, auch wenn lokal ein Damm oder eine Aufhöhung eine Quereinströmung ins Vorland verhindern würde.

- Ausleitungen für Kleinkraftwerke wurden nicht berücksichtigt, da man davon ausgehen kann, daß sie bei Hochwasserereignissen keinen bedeutenden Einfluß haben.
- Durch Geschiebeeinstöße der murfähigen Zubringer könnten Abflußsituationen entstehen (Aufstauung des Tuxbaches und ein anschließendes Durchreißen), die mit dieser Art von Berechnung nicht simuliert werden können.

Zusammenhänge in Prozeßvorgängen und die Erfassung des Naturraumes als dynamisches System ist die Voraussetzung für das Aufzeigen von Wirkungsanalysen bei einem Niederschlag- Abflußprozeß. Die von der Fa. Hydrotec erzeugten Module, NASIM und JABRON, wurden für ein Gebiet in Mitteldeutschland entwickelt. Die Übertragung auf den alpinen Raum darf nur unter einem kritischen Blickwinkel erfolgen. Im Vergleich zu Mitteldeutschland mangelt es im alpinen Raum vor allem am Vorhandensein flächendeckender und qualitativer Niederschlags und Abflußparameter. Für die Bereitstellung solcher Parameter bietet sich eine intensivere Zusammenarbeit in Form einer interdisziplinären Forschung, etwa auf dem Gebiet der Hydrogeologie, Meteorologie und der Botanik an.

12. Beilagenverzeichnis

Beilage 1: Übersichtskarte ÖK 1:50 000

Beilage 2: Tageszeitsimulation

Beilage 3: Kurzzeitsimulation

Beilage 4: Klimadaten für den 23. - 27. August 1987

Berechnungsabschnitt 1 Beilagen 5 -12

Beilage 5: Wasserspiegelbreite $Q=62,3 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 6: Wasserspiegelbreite $Q=85,7 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 7: Wasserspiegelbreite $Q=112,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 8: Querprofil 1140

Beilage 9: Querprofil 1210

Beilage 10: Querprofil 1310

Beilage 11: Querprofil 1380

Beilage 12: Querprofil 1570

Berechnungsabschnitt 2 Beilagen 13 -19

Beilage 13: Wasserspiegelbreite $Q=58,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 14: Wasserspiegelbreite $Q=81,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 15: Wasserspiegelbreite $Q=105,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 16: Querprofil 1820

Beilage 17: Querprofil 2040

Beilage 18: Querprofil 2090

Beilage 19: Querprofil 2160

Berechnungsabschnitt 3A Beilagen 20 -25

Beilage 20: Wasserspiegelbreite $Q=46,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 21: Wasserspiegelbreite $Q=63,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 22: Wasserspiegelbreite $Q=83,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 23: Querprofil 2280

Beilage 24: Querprofil 2330

Beilage 25: Querprofil 2570

Berechnungsabschnitt 3B Beilagen 26-31

Beilage 26: Wasserspiegelbreite $Q=46,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 27: Wasserspiegelbreite $Q=63,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 28: Wasserspiegelbreite $Q=83,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 29: Querprofil 2720

Beilage 30: Querprofil 2930

Beilage 31: Querprofil 3090

Berechnungsabschnitt 4 Beilagen 32 -39

Beilage 32: Wasserspiegelbreite $Q=39,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 33: Wasserspiegelbreite $Q=53,9 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 34: Wasserspiegelbreite $Q=69,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 35: Querprofil 3310

Beilage 36: Querprofil 3420

Beilage 37: Querprofil 3470

Beilage 38: Querprofil 3520

Beilage 39: Querprofil 3620

Berechnungsabschnitt 5 Beilagen 40 -45

Beilage 40: Wasserspiegelbreite $Q=29,1 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 41: Wasserspiegelbreite $Q=38,6 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 42: Wasserspiegelbreite $Q=48,8 \text{ m}^3/\text{s}$

Beilage 43: Querprofil 3690

Beilage 44: Querprofil 3880

Beilage 45: Querprofil 4010

13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kompakt geschichtete Steine zum Schutz vor Uferanrissen im Außenbogen	7
Abbildung 2: Beispiel für einen unangemessenen Schutzgrad einer Weidefläche im Bereich von Hintertux	8
Abbildung 3: Sofortmaßnahme der Wildbach- und Lawinenverbauung nach dem Hochwasserereignis August 1987 zwischen Lanersbach und Vorderlanersbach	9
Abbildung 4: Auszug aus dem Gefahrenzonenplan (STAUDER, NEUNER, 1971)	10
Abbildung 5: Flußdiagramm der Studie Tuxbach	13
Abbildung 6: Untergliederung des hydrologischen Kreislaufes (HYDROTEC, 1991)	14
Abbildung 7: Tabelle der verwendeten Verfahren (HYDROTEC, 1991)	15
Abbildung 8: Beispiel für die Berechnung der Zeitflächenfunktion (HYDROTEC, 1991)	18
Abbildung 9: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach SCHEWIOR/PRESS in NAUDASCHER (1992)	28
Abbildung 10: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach BOLLRICH/PREISLER (1992)	29
Abbildung 11: Tabelle der Rauheitsbeiwerte nach BOLLRICH/PREISLER (1992)-Fortsetzung	30
Abbildung 12: Konzept der fiktiven Trennwand nach EVERS/PASCHE (1983)	32
Abbildung 13: Funktionaler Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsquotient Vorland/Hauptgerinne und entsprechenden Wandrauheiten nach EVERS (1983)	33
Abbildung 14: Tabelle der Schleppspannung τ_{krit} , kritische Fließgeschwindigkeit v_{krit} und MANNING-STRICKLER Beiwert k_{st} (BOLLRICH/PREISLER (1992))	36
Abbildung 15: Großräumige Lage des Tuxertales	37
Abbildung 16: Tabelle der Flächenanteile an der Gesamtfläche (WLV, 1971)	39
Abbildung 17: Geländestufen des Tuxertales	40
Abbildung 18: Links (hell) und rechtsseitige (dunkel) Zubringer des Tuxbaches im Gemeindegebiet von Lanersbach	42
Abbildung 19: Tabelle der berechneten Jährlichkeiten aller Verteilungen, Pegel Persal (1961 - 1987)	44
Abbildung 20: Graphische Darstellung der Gumbelverteilung, Pegel Persal (1961 - 1987)	44
Abbildung 21: Hypsographische Kurve des orographischen Einzugsgebietes der Ötztaler Ache insgesamt (durchgezogen) und bis Sölden (strichliert) (STEINACKER, 1983)	49
Abbildung 22: Hochwasserganglinie der Pegel Wasserfall und Persal vom Zeitraum 3.08.-10.08 1985 (Datenquelle: TKW, 1992)	51
Abbildung 23: Klima und Abflußdaten für die Periode Mai bis August 1987 (GANAHL, 1988)	52
Abbildung 24: Isohypsen der 500-hPa-Fläche (ca. 5500 m) am 19. Juli 1987 (links) und am 24. August 1987 (rechts), 00 UTC. Die Lage der Bodenfronten ist mit üblicher Symbolik und die bodennahe Strömung (dicke Pfeile) schematisch eingetragen, wobei ausgefüllte Pfeile feuchtwarme, offene Pfeile eine kühle Luftmasse bedeuten. (ZAMG, 1988)	53
Abbildung 25: Temperaturverlauf (Min. und Max.) der Station Plattkopf im Zillergrund auf 2250 m Höhe für den Zeitraum 20. bis 25. August 1987 (Datenquelle: Ganahl, 1988).	55
Abbildung 26: Niederschlagsverteilung nördlich des Alpenhauptkammes vom 24.08 und 25.08 1987 (AMT DER TIR. LANDESREG., 1992)	58
Abbildung 27: Hochwasserganglinie der Pegelstationen Wasserfall und Persal des Tuxbaches im Zeitraum von 16.07.87 bis 23.07.1987 (Datenquelle: TKW, 1992)	60
Abbildung 28: Hochwasserganglinie der Pegelstationen Wasserfall und Persal des Tuxbaches im Zeitraum von 22.08.87 bis 27.08.87 (Datenquelle: TKW, 1992)	60
	87

Abbildung 29: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach gegen die Fließrichtung	62
Abbildung 30: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach in Fließrichtung	62
Abbildung 31: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach gegen die Fließrichtung	63
Abbildung 32: Foto des HW-Ereignis August 1987 im Bereich Lanersbach-Vorderlanersbach in Fließrichtung	63
Abbildung 33: Systemskizze Studie Tuxbach	66
Abbildung 34: Definitionsskizze zur Orientierung des Profils und zur Ermittlung des Flußpunktes (HYDROTEC, 1991)	68
Abbildung 35: Polygonzug eines Profils in Fließrichtung, erstellt mit dem Programmmodul Plotquer	69
Abbildung 36: Parameter der einzelnen Berechnungsabschnitte	71
Abbildung 37: Jahresgang der mittleren monatlichen Niederschlagshöhen P und der potentiellen Verdunstung Ep (BAUMGARTNER, 1990)	75
Abbildung 38: Tabelle der Beaufort -Skala	76
Abbildung 39: Tabelle der mittleren Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1987	78
Abbildung 40: Tabelle der mittleren Gebietsparameter für das HW-Ereignis August 1985	78
Abbildung 41: Ablußmengen der einzelnen Berechnungsabschnitte für die Wasserspiegellagenberechnung	79
Abbildung 42: Tabelle der verwendeten Maßstäbe in den Längsschnittdarstellungen	80

14. Literaturverzeichnis

- AULITZKY, H.: Analyse der Schadensursachen von Unwetterkatastrophen zum Zweck der Vorbeugung. ÖWW 20 (1968), H:5/6 u. 7/8, 90-97, 144-154.
- AULITZKY, H.: Sommerhochwässer 1987 in Tirol-Naturkatastrophen oder fehlende Vorbeugung? ÖWW 40 (1988), H 5/6, 122-128.
- BAUMGARTNER, A.: Lehrbuch der Hydrologie, Band 1, 1990
- BRETSCHNEIDER/ SCHULZ, Literaturstudie zur hydraulischen Quantifizierung des natürlichen Bewuchses 1983
- BUBIK, W.: Bericht über die Hochwasserereignisse im Sommer 1987 nach vorläufigen Ermittlungen des Hydrographischen Dienstes, 1987. (Nicht veröffentlichter amtsinterner Bericht.)
- CHOW, VEN TE: Handbook of applied hydrology. New York, MC-Graw Hill 1964
- DFG: Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau. VCH Verlag, Weinheim, 1987
- DVWK,: Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte, Teil 1: Grundansprache von Böden, Teil 2: Ermittlung von Standortkennwerten mit Hilfe der Grundansprache der Böden, Regeln der Wasserwirtschaft 1980, 1982
- DVWK,: Arbeitsanleitung zur Anwendung von N-A-Modellen in Kleinzugsgebieten. Merkblatt zur Wasserwirtschaft 112, 1982
- DVWK,: Grundlagen der Verdunstungsermittlung und Erosivität von Niederschlägen, Heft 86 1990
- DVWK,: Hochwasserschutz/ Hochwasserrückhaltebecken, Merkblatt zur Wasserwirtschaft 202.
- DVWK Merkblatt 220: Hydraulische Berechnung von Fließgewässern, Verlag Paul Parey, Hamburg. 1991
- EVERS, P.: Untersuchung der Strömungsvorgänge in gegliederten Gerinnen mit extremen Rauheitsunterschieden, in: Mitt. Inst. F. Wasserbau, Nr. 45, RWTH Aachen, Aachen 1983.
- ESCHER-VETTER, h.: Persönliche Mitteilung. Meteorologisches Institut der Universität München, 1988.
- FLIRI, F.: Das Klima der Alpen im Raume Tirol. 108 S. Innsbruck: Universitätsverlag Wagner, 1975.
- GANAHL, P.: Rückhalt eines 100-jährlichen Ereignisses durch die Speicher im Zillertal. Tagungsbericht Interpraevent 1988-Graz, Bd. 4, 43-54.
- GREBNER, D.: Starkregensituation vom 7./8. August 1978 im Schweizer Alpenraum. Tagungsbericht Interpraevent 1980, Bd 1, 215-224.
- HYDROTEC: Dokumentation Plotlong, Darstellung von Längsschnitten, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser, Umwelt, Aachen 1991

- HYDROTEC: Dokumentation PlotQuer, Darstellung von Querprofilen, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser, Umwelt, Aachen 1991
- HYDROTEC: Dokumentation JABRON, Berechnung naturnaher Gerinne, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser, Umwelt, Aachen 1991
- HYDROTEC: Dokumentation NASIM, Berechnung von Niederschlag-Abfußmodellen, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser, Umwelt, Aachen 1991
- KNAUF, D.: Abfluß aus Regen und Schneeschmelze. 6. Fortbildungslehrgang für Hydrologie, Bad Herrenalb 1974
- KRAVOGEL, A.: Vorläufige Analyse der Hochwasserereignisse des Jahres 1987. ÖWW 40 (1988), H 5/6, 152-154.
- LAMBERT, A.: Hochwasser im Alpenraum, Pulsschläge der Erosion, Die Geowissenschaften 6. Jahrgang Nr. 7, Weinheim 1988
- MASON, B. J.: The Physics of Clouds. Oxford: Clarendon Press, 1971.
- MENDEL, H.G.: Die Berechnung von Gebietsniederschlägen aus Punktmessungen, Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrol. u. Glaziol. ETH.41, Zürich 1979
- MENDEL, H.G.: Die Berechnung von Gebietsniederschlägen.-Dt. Gewässerkundliche Mitteilungen 21(6): 129-141,1977
- NAUDASCHER. E.: Hydraulik der Gerinne und Gerinnebauwerke, 2. Auflage, Springer Verlag, 1992
- OERTER, H. und REINWARTH O: Beobachtungen zum Hochwasserabfluß von einem Alpengletscher (Vernagtferner, Ötztaleralpen). Festschrift für H. Röthlisberger, ETH Zürich, 1988.
- ORTNER, F. Ortschronik von Tux, Lanersbach 1993
- PASCHE, E.: Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und die Möglichkeiten ihrer mathematischen Erfassung, Mittl. Inst. F. Wasserbau, Nr. 52, RWTH Aachen, Aachen, 1984
- PENMAN, H.L.: Evaporation over parts of Europe.-Proc.Gen..Ass.Rome, IASH Publ.37(12): 168-176, 1954
- PREISSLER/BOLLRICH: Technische Hydromechanik, 2. Auflage, VEB Verlag Bauwesen, Berlin 1987
- PRESS/SCHRÖDER: Hydromechanik im Wasserbau, Verlag Ernst und Sohn, Berlin 1985
- RÖSSERT, R.: Hydraulik im Wasserbau, München 1978
- ROSEMANN, H.J. u. VEDRAL, J.: Das Kalinin-Miljukov-Verfahren zur Berechnung des Ablaufes von Hochwasserwellen. Schriftenreihe der bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, Heft 6, München 1970
- SCHADENSBERICHT: Schadensbericht der Gemeinde Tux an die Landesregierung, Lanersbach, 1988
- SEUS, G. u. O. USLU: Berechnung von Wasserspiegellagen bei stationär ungleichförmigen Abfluß in natürlichen Gerinnen und die Optimierung der Ermittlung der Fließbeiwerte, in: W.Zielke, Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen, München 1974

STAUDER, S. NEUNER, J.:Raumordnung demonstriert am Beispiel Tux, Sonderdruck aus Publikation Bau Life, 1971

STEINACKER, R.: Die alpinen Hochwasserereignisse des Sommers 1987 und ihre meteorologischen Rahmenbedingungen. ÖWW 40 (1988), H5/6, 129-134.

STEINACKER, R.: Diagnose und Prognose über die Schneefallgrenze. Wetter und Leben 35 (1983), 81-90.

TROSCHL, H.:Die Hochwasserwetterlagen 1965 1966. Hochwasser und Raumplanung. Schriftenreihe für Raumforschung und Raumordnung, 19-23, Klagenfurt 1987.

TKW, Tauernkraftwerke, Pegeldata für drei Ereignisse, Kaprun 1991

VAN HUSEN, D.: Mitschrift geotechnischer u. eiszeitlicher Sedimente u. Vorgänge, TU Wien 1991

WLV-WESTL. UNTERINNTAL: Technischer Bericht des Verbauungsprojektes Tuxerbach, Lanersbach 1971

ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien, Wetterberichte, Juli und August 1987

ANHANG A

Ausgabe der Berechnungen in Form von Tabellen

ANHANG B

Graphische Ausgabe

Hydrologisch-Hydraulische Längsschnitte

Beilagenverzeichnis

Berechnungsabschnitt 1

B.1.1:	Längsschnitt	km 1,3- km 2,725
B.1.2:	Längsschnitt	km 2,72- km 3,6

Berechnungsabschnitt 2

B.2.1:	Längsschnitt	km 3,57- km 4,267
B.2.2:	Längsschnitt	km 4,26- km 4,97

Berechnungsabschnitt 3A

B.3.1:	Längsschnitt	km 4,89- km 5,79
B.3.2:	Längsschnitt	km 5,79- km 6,75

Berechnungsabschnitt 3B

B.3.3:	Längsschnitt	km 6,67- km 7,74
B.3.4:	Längsschnitt	km 7,72- km 8,36

Berechnungsabschnitt 4

B.4.1:	Längsschnitt	km 8,35- km 9,5
B.4.2:	Längsschnitt	km 9,51- km 10,38

Berechnungsabschnitt 5

B.5.1:	Längsschnitt	km 11,17- km 11,92
B.5.2:	Längsschnitt	km 11,89- km 12,68

ANHANG C

Graphische Ausgabe

Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen

Beilagenverzeichnis

Berechnungsabschnitt 1

C.1.1: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km1,3 - km 2,725

C.1.2: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 2,72 - km 3,6

Berechnungsabschnitt 2

C.2.1: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 3,57- km 4,267

C.2.2: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 4,26 - km 4,97

Berechnungsabschnitt 3A

C.3.1: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 4,89- km 5,79

C.3.2: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 5,79- km 6,75

Berechnungsabschnitt 3B

C.3.3: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 6,67- km 7,74

C.3.4: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 7,72- km 8,36

Berechnungsabschnitt 4

C.4.1: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 8,35- km 9,5

C.4.2: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 9,51- km 10,38

Berechnungsabschnitt 5

C.5.1: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 11,17- km 11,92

C.5.2: Schichtenplan mit Überschwemmungsflächen km 11,89- km12,68