



## Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

### PROMAB<sup>GIS</sup>: EIN GIS-BASIERTES WERKZEUG FÜR DIE ERMITTLUNG VON MASSENBILANZEN IN ALPINEN EINZUGSGEBIETEN

### PROMAB<sup>GIS</sup>: A GIS-BASED TOOL FOR ESTIMATING RUNOFF AND SEDIMENT DISCHARGE IN ALPINE CATCHMENT AREAS

Friedrich Schöberl<sup>1</sup>, Johann Stötter<sup>1</sup>, Helmut Schönlaub<sup>2</sup>, Alexander Ploner<sup>3</sup>, Thomas Sönsner<sup>3</sup>, Stephan Jenewein<sup>3,4</sup> und Michael Rinderer<sup>3,4</sup>

#### ZUSAMMENFASSUNG

Kenntnisse über das Abflussverhalten und die Feststoffmobilisierung in alpinen Fließgewässern bilden eine wesentliche Voraussetzung für die Abschätzung von Gefährdungen und für die prozessorientierte Planung von Schutzmaßnahmen. Das neu konzipierte Modell PROMAB<sup>GIS</sup> Version 1.0 soll Experten bei der ereignisbezogenen Bilanzierung von Abfluss- und Feststofffrachten in kleinen bis mittleren Einzugsgebieten sowie bei der Analyse unterschiedlicher Szenarien unterstützen. Grundlage für die Modellierung ist eine Erfassung des Geo-, Hydro- und Bioinventars. Das modular aufgebaute PROMAB<sup>GIS</sup> berücksichtigt sowohl die räumliche Variabilität des Einzugsgebietes als auch den Faktor Zeit. Die Ermittlung des direkten Abflusses basiert auf dem Abflussbeiwertverfahren, wobei nicht Teileinzugsgebiete, sondern Rasterzellen als kleinste räumliche Einheiten fungieren. Für die Bestimmung des zeitlichen Verlaufes der Ganglinie werden Fließzeiten-Grids bestimmt und daraus die für jeden Berechnungszeitschritt abflusswirksame Fläche abgeleitet. Bei der Abschätzung des Feststofftransportes wird für jede Gerinnezelle der aktuell wirksame Grabenprozess (Erosion, Feststofftransport oder Akkumulation) ermittelt, wobei zwischen den Abflussformen Reinwasser, geschiebebelasteter Abfluss, murartiger Abfluss und Murgang differenziert wird. Als Ergebnis der Modellierungen erhält der Bearbeiter eine Abfluss- und Feststoffganglinie für jede Stelle des relevanten Gerinnenetzes.

**Keywords:** Hochwasser, Abfluss, Feststoffe, Massenbilanz, numerische Modellierung, GIS

---

<sup>1</sup> Institut für Geographie, Leopold-Franzens-Universität, Innrain 52, 6010 Innsbruck, Österreich  
(Tel.: +43-512-507-5419, Fax: +43-512-507-2895, e-mail: f.schoe@uibk.ac.at)

<sup>2</sup> TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG, Eduard-Wallnöfer-Platz 2, 6020 Innsbruck, Österreich

<sup>3</sup> i.n.n. - ingenieurbüro für naturraum-management, Grabenweg 3, 6020 Innsbruck, Österreich

<sup>4</sup> alpS - Zentrum für Naturgefahren Management, Grabenweg 3, 6020 Innsbruck, Österreich

## ABSTRACT

The runoff and sediment discharge computational model PROMAB<sup>GIS</sup> Version 1.0 shows a modular structure and is designed as an expert support-system. Within the framework of a process-oriented watershed investigation, the software can be used to estimate runoff and sediment yield for small alpine catchment areas (catchment area < 20 km<sup>2</sup>). PROMAB<sup>GIS</sup> has been developed as a spatially distributed model capable to consider the spatial variability of input data. Furthermore, the model runs time-dependent calculations. The estimation of direct runoff relies upon the “rational formula”, whereas not sub-catchments, but grid cells are handled as hydrological response units. The determination of hydrographs is realized by computing flow-time-grids resulting in areas of active discharge for every calculation step. The sediment yield for each cell of the channel network is estimated by determining the actual process type (erosion, transport or accumulation). Four types of transport processes are considered: clear water, sediment transport, hyperconcentrated flows and debris flows. Applying PROMAB<sup>GIS</sup> an expert can obtain hydro- and sedigraphs for every channel position needed.

**Keywords:** floods, runoff, sediment discharge, numerical modelling, GIS

## EINLEITUNG

Kleinräumige Hochwasserereignisse in Wildbacheinzugsgebieten sind Jahr für Jahr für große Schäden verantwortlich. Diese werden z.B. allein für die Schweiz jährlich mit 50-100 Millionen Franken beziffert (Bundesamt für Wasser und Geologie, 2003). Während in größeren Einzugsgebieten meist Abflussmessungen vorhanden sind, muss eine Massenbilanzierung in kleinen Einzugsgebieten in der Regel ohne diese Information auskommen. Die Lösung verschiedenster Bemessungsaufgaben erfordert jedoch auch zuverlässige Hochwasserabschätzungen in unbeobachteten Gebieten. Für ein zeitgemäßes Naturgefahrenmanagement sind deshalb geeignete Abschätzverfahren eine grundlegende Voraussetzung (Stötter et al., 1998).

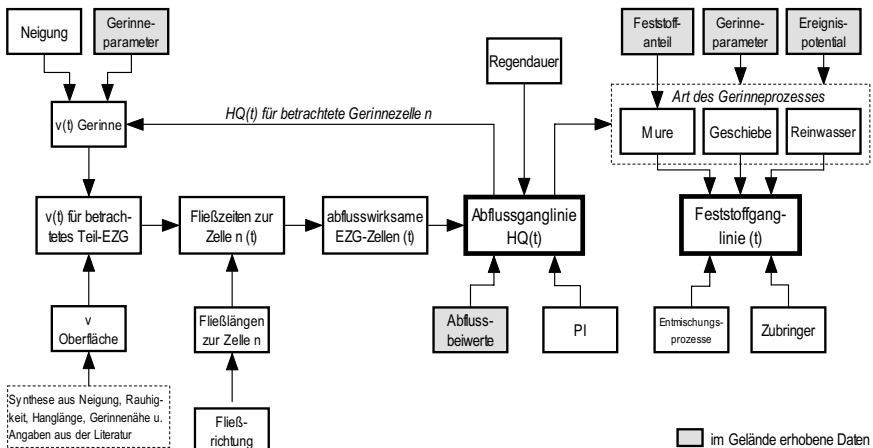
Ein wichtiger Aspekt bei der Erfassung von Bemessungsereignissen ist der zeitliche Verlauf einer Hochwasserwelle. Erst durch die Ermittlung der Ganglinie können Wasserfrachten adäquat z.B. für Dimensionierung von Retentionsmaßnahmen abgeschätzt werden. Viele im Einsatz stehende Verfahren ermöglichen nur die Berechnung der Hochwasserspitze. Für kleine Wildbacheinzugsgebiete sind auch die mitgeführten Feststofffrachten ein wesentlicher Faktor bei der Gefahrenbeurteilung. Und nicht zuletzt sollten Abschätzmethoden eine praxisgerechte Vorgangsweise erlauben. Mit einem vertretbaren Aufwand für Feld- und Computerarbeit (Dimension einige Tage) müssen plausible Ergebnisse erzielbar sein. Bei der Entwicklung von PROMAB<sup>GIS</sup> bestanden deshalb folgende Zielvorgaben:

- Massenbilanzierung für Ereignisse bestimmter Jährlichkeit
- Generierung von Abfluss- und Feststoffganglinien in einem Modellsystem
- Flächendetaillierte Niederschlag-Abfluss Modellierung, um die erhobene Gebietsausprägung, v.a. was deren räumliche Verteilung betrifft, voll erfassen zu können
- Nutzung moderner Technologien (z.B. Generierung geometrischer Parameter aus DGM), die es dem Bearbeiter ermöglichen, sich weitgehend auf die fachliche Beurteilung zu konzentrieren

- Bewertung von geplanten und bereits bestehenden Schutzmaßnahmen
- Rasche Berechnung von Szenarien, um die Bandbreite der Ergebnisse aufzuzeigen
- Datenhaltung, Datenaufbereitung, Ganglinienberechnungen, Analyse sowie Visualisierung der Ergebnisse innerhalb eines Systems
- Anwendungsbereitschaft des Modells innerhalb eines angemessenen Zeitaufwandes

## MODELLKONZEPT

Das Massenbilanzierungsmodell PROMAB<sup>GIS</sup> setzt sich aus den Kernkomponenten Abfluss- und Feststoffmodul zusammen, die seriell verknüpft werden (Abb. 1). In einem ersten Berechnungsschritt erfolgt die Ermittlung der Abflussganglinie, wobei zunächst Reinwasserverhältnisse unterstellt werden. Mit den gewonnenen, zeitabhängigen Abflusswerten erfolgt die Abschätzung des zu erwartenden Feststofftransportes im Gerinne. Der Abflussmodul ist als flächendetailliertes Niederschlag-Abfluss Modell konzipiert. Als kleinste Homogeneinheiten fungieren Rasterzellen. Die räumliche Variabilität der verschiedenen Ausprägungen des Geo-, Hydro- und Bioinventars innerhalb eines Einzugsgebietes kann somit der Genauigkeit der Geländekartierung entsprechend abgebildet werden. Detailliert vorliegende Eingangsdaten erfahren somit keinen Informationsverlust durch z.B. Mittelwertbildung, sondern fließen direkt in die Berechnungen ein.



**Abb. 1:** Prinzipielles Wirkungsgefüge und Eingangsdaten von PROMAB<sup>GIS</sup>. Zentrale Bestandteile von PROMAB<sup>GIS</sup> sind die Teilmodelle „Abfluss“ (Abflussganglinie) und „Feststofftransport“ (Feststoffganglinie).

**Fig. 1:** Principle workflow and input data of PROMAB<sup>GIS</sup>. The two main components are the runoff module and the sediment discharge module.

Voraussetzung für die Anwendung des Modells ist das Vorhandensein eines digitalen Geländemodells (DGM). Dabei ist die räumliche Auflösung und Höhengenaugkeit „gängiger“ DGMs (z.B. vom BEV) oder aus Höhenlinien interpolierte DGMs ausreichend. Die geometrischen Kennwerte der einzelnen Gerinne werden nämlich nicht aus dem DGM abgeleitet, sondern im Zuge der Feldarbeit erhoben und den einzelnen Gerinnezellen als Attributwerte zugeordnet.

Für die Aussagegüte des Modells ist die prozessorientierte Kartierung des Einzugsgebietes von zentraler Bedeutung. Einerseits geht es dabei um die einzugsgebietsweite Erfassung aller für die Massenbilanz relevanten geomorphologischen und hydrologischen Prozesse bei gleichzeitiger Beachtung des wirksamen Boden-Vegetationskomplexes. Andererseits muss auch der morphologische Zustand des Gerinnes kartiert und nach möglichen Abflussprozessen begutachtet werden. Während die Gerinneparameter direkt erfasst werden können (Sohlenbreite, Böschungswinkel, Korngrößen etc.) müssen die Transportprozessparameter aus der Bewertung und Synthese der verschiedenen Kartierergebnisse (Ereignispotential, Feststoffanteil etc.) abgeleitet werden.

Die Programmabwicklung von PROMAB<sup>GIS</sup> erfolgt innerhalb eines Geographischen Informationssystems (GIS) und bietet den Vorteil, dass die einzelnen Schritte der Massenbilanzierung – von der digitalen Datenerfassung und Datenverwaltung, über die eigentliche Modellierung bis hin zur Analyse und Visualisierung der Ergebnisse – innerhalb eines Systems erfolgen kann. Um einen praxisgerechten und anwenderfreundlichen Einsatz des Modells zu ermöglichen, wurden alle Funktionalitäten in eine graphische Benutzeroberfläche implementiert. Als GIS-Software wurde ArcView 3.2 der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute) gewählt.

## **ABFLUSSMODUL**

Für den Hochwasserabfluss ist im Wesentlichen der oberflächennahe Abfluss und unter bestimmten Bodenverhältnissen auch der Zwischenabfluss maßgebend (Forster et al., 1993). Dies gilt vor allem für die Betrachtung von kurzen Starkniederschlagsereignissen. Das Modell PROMAB<sup>GIS</sup> beschränkt sich in der derzeitigen Version auf die Erfassung der direkten Abflusskomponente. Eine geeignete Möglichkeit der modellmäßigen Beschreibung dieser Komponente stellt das häufig verwendete Abflussbeiwertverfahren bzw. allgemeines Fließzeitverfahren (Rational Formula) dar (z.B. Kölla, 1986; Dyck & Peschke, 1995; Bundesamt für Wasser und Geologie, 2003).

Auch PROMAB<sup>GIS</sup> baut auf dieses Verfahren auf, wobei als homogene Flächeneinheiten hinsichtlich der Abflussbildung und der Beschreibung des Feststofftransports einzelne Rasterzellen betrachtet werden. Somit können alle flächenhaften Eingangsdaten in jener räumlichen Auflösung berücksichtigt werden, in der sie auch im Feld erhoben wurden. Spezifische Verteilungsmuster bleiben somit erhalten und gehen nicht durch Mittelung verloren. Dieser Aspekt ist vor allem dann relevant, wenn es nicht nur um die Beurteilung des Abflussgeschehens am Auslass eines Einzugsgebietes geht, sondern auch die Abflussentwicklung einzelner Zubringer von Interesse ist (z.B. Planung von Retentionsmaßnahmen).

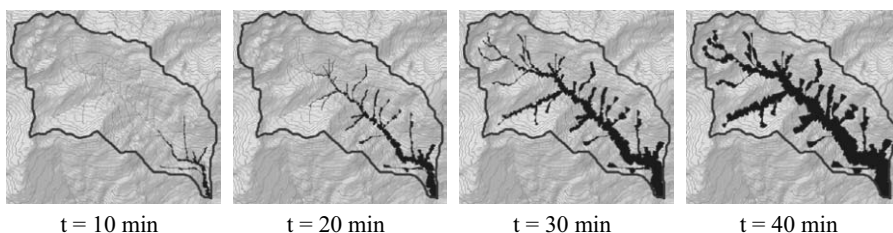
Das Abflussbeiwertverfahren bzw. allgemeine Fließzeitverfahren geht bezüglich des Niederschlags von folgenden Annahmen aus:

- Die höchsten Spitzenabflüsse treten dann auf, wenn die Dauer des Bemessungsniederschlags gerade der Konzentrationszeit entspricht.
- Die Intensität des Niederschlages ist über die gesamte Dauer konstant.

Wie das Bundesamt für Wasser und Geologie (2003) zeigt, können jedoch gleich große und ähnlich geformte Einzugsgebiete gänzlich unterschiedliche Abflussbereitschaften zeigen. Ob ein Landregen oder ein Gewitterregen zum Spitzenabfluss führt, kann deshalb nur bedingt

über die Ermittlung der Konzentrationszeit (z.B. Ansatz von Kirpich), bzw. Konzentrationszeit plus Benetzungsdauer (modifiziertes Fließzeitverfahren) beurteilt werden. Mit PROMAB<sup>GIS</sup> ist es möglich, Abflüsse für verschiedenste Kombinationen aus Niederschlagsintensität und -dauer zu ermitteln womit auch maximale Abflüsse bestimmter Jährlichkeit abgeschätzt werden können.

Für die Dimensionierung von Retentionsbecken oder gezielte Maßnahmen im Bereich der Abflussbildung ist es nicht ausreichend nur den Spitzenabfluss eines Einzugsgebiets zu kennen. Die Berücksichtigung des Faktors Zeit in PROMAB<sup>GIS</sup> war daher ein wesentliches Anliegen. Realisiert wurde dies durch die rasterbasierte Implementierung des Fließzeitverfahrens. Für jede Rasterzelle im Einzugsgebiet wird die entsprechende Fließzeit zur gerade betrachteten Stelle im Gerinnenetz berechnet. Aus diesen Fließzeiten-Grids lassen sich abflusswirksame Flächen ableiten (Abb. 2). Der direkte Abfluss wird letztlich aus der Multiplikation des Abflussbeiwerte-Grids mit dem Niederschlags-Grid für alle abflusswirksamen Zellen ermittelt. Durch schrittweises Vorgehen können Abflussganglinien somit für jede Position im Gerinne generiert werden.



**Abb. 2:** Entwicklung der abflusswirksamen Flächen für den Auslass des Einzugsgebiets in Abhängigkeit der Zeit.

**Fig. 2:** Runoff contributing grid cells for different time steps shown for the outlet of the catchment.

Für die Berechnung der Fließzeitengrids sind Geschwindigkeitswerte erforderlich. Während die Fließgeschwindigkeit in der Fläche unter Einbezug der Rauigkeit, Neigungsverhältnisse, Hanglänge und der Gerinnenähe gutachterlich geschätzt werden muss (Richtwerte siehe Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, 1998), kann sie im Gerinne in Abhängigkeit der Abflusstiefe sowie geometrischer Daten und Rauigkeitsparameter berechnet werden.

Was den Niederschlag betrifft, können infolge der Rasterstruktur des Modells unterschiedliche Verteilungen der Niederschlagsintensität berücksichtigt und damit auch räumlich begrenzte Gewitterniederschläge auf Gebietsflächen mit hoher und rasch reagierender Abflussbereitschaft simuliert werden. In der Version 1.0 von PROMAB<sup>GIS</sup> ist es jedoch noch nicht möglich, zeitlich variable Niederschläge einfließen zu lassen.

## FESTSTOFFMODUL

Die Menge der vom Wasser transportierten Feststoffe hängt einerseits vom Gesamtdargebot an mobilisierbaren Material sowie den Transportbedingungen des Streckenabschnittes selbst ab. Die Feststoffcharakteristika der Sohle und der in den Hangbereichen liegenden Feststoffquellen müssen im Zuge einer Erhebung der Prozessbereiche aufgenommen werden.

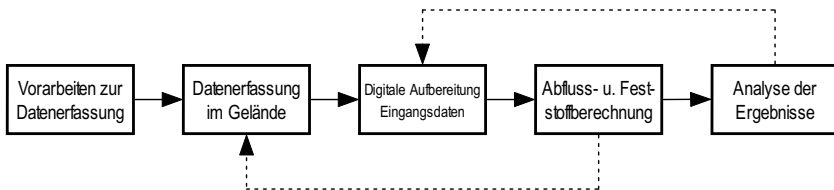
In der Modellierung der Massenbilanzen wird zwischen Reinwasserabfluss, Geschiebetransport und Murgang unterschieden. Wann Reinwasserabfluss, Geschiebetransport oder ein Murgang im Gerinne stattfindet, wird vom Feststoffpotential, von den Gerinneigenschaften und der zum jeweils betrachteten Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Fließenergie bestimmt. Für den Übergang vom Reinwasserabfluss zum Geschiebetransport wird im Modell die einfache und praxisbewährte Grenzabflussbeziehung nach Rickenmann (1990) herangezogen, siehe auch (Lehmann, 1993; Hegg, 1997). Der Übergang vom Geschiebetransport zum Murgang wird über ein Grenzkriterium von Takahashi (1981) festgelegt.

Die Größe der Materialverfrachtung wird über Transportkapazitätsgleichungen erfasst (Schöberl, 1998). Für Gerinneneigungen über 5 % kommt dabei ein Ansatz von Rickenmann (1990) zum Einsatz. Die Erfassung von Murgängen erfolgt derzeit über die Abschätzung der unter den gegebenen Randbedingungen zu erwartenden Feststoffkonzentration (Ploner & Söner, 2000).

Die durch den jeweils stattfindenden Prozess mobilisierten Massen werden entsprechend einer Speicherkaskade im Gerinne abwärts verlagert und sowohl die im Gerinne vorhandenen Feststoffmengen als auch der Massenanstieg aus den im Einflussbereich des Baches situierten Feststoffherden mitberücksichtigt. Bereits mobilisiertes Material wird im Modell PROMAB<sup>GIS</sup> je nach den hydraulischen Randbedingungen zwischenzeitlich oder langfristig im Gerinne akkumuliert.

### ANWENDUNG VON PROMAB<sup>GIS</sup>

Um Massenbilanzierungen mit PROMAB<sup>GIS</sup> effizient und qualitativ zuverlässig durchführen zu können, ist eine bestimmte Vorgangsweise einzuhalten. Reibungsverluste an der Schnittstelle zwischen analoger Datenerfassung und digitaler Datenauswertung können dadurch gering gehalten werden. Die Anwendung von PROMAB<sup>GIS</sup> lässt sich grob in fünf Schritte gliedern (Abb. 3).



**Abb. 3:** Schematisierte Vorgangsweise beim Einsatz von PROMAB<sup>GIS</sup> für die Erstellung von Massenbilanzen.  
**Fig. 3:** Schematised operations applying PROMAB<sup>GIS</sup> for runoff and sediment discharge calculations.

(a) Vorarbeiten:

Vorbereitende Schritte für die Aufnahmen im Gelände betreffen die Auswertung von Kartenmaterial, Luftbildern, Chroniken, regionalmaßstäbliche Erhebungen des Naturgefahrenpotentials (z.B. EGAR<sup>5</sup>). Die aufgenommenen Felddaten müssen verortet werden, weshalb entsprechende Kartiergrundlagen benötigt werden. Eine direkte digitale Datenaufnahme mittels GPS ist meist nur für Ausprägungen oberhalb der Waldgrenze möglich. In tief eingeschnittenen Gerinnen ist die Abschattung zu den Satelliten in der Regel jedoch zu massiv, um Positionsbestimmungen durchzuführen.

Zu den Vorarbeiten ist auch die Beschaffung bzw. Erstellung des DGM zu zählen. Viele PROMAB<sup>GIS</sup>-Rechenoperationen beziehen sich auf das aus dem DGM abgeleitete Gerinnenetz, weshalb die Generierung bereits vor der Feldarbeit erfolgen sollte. Im Zuge der Kartierung im Gelände kann dann geprüft werden, inwieweit es mit den tatsächlich im Einzugsgebiet ausgeprägten Gerinneläufen übereinstimmt. Sind wesentliche Unterschiede zu verzeichnen, muss das DGM adaptiert werden.

(b) Feldarbeit:

Im Unterschied zu mittelgroßen Einzugsgebieten (20-500 km<sup>2</sup>) verlangt die Modellierung kleiner Einzugsgebiete wesentlich detailliertere Gebietsdaten, die eine umfassendere Geländebegehung voraussetzen. Wichtig dabei ist eine prozessorientierte Erhebung der abflussbildenden und transportbeeinflussenden Kenngrößen. So ist es unerlässlich, großräumigere geomorphologische Prozesse wie Kriechbewegungen an einem Gerinneinhang zu erkennen, und bei der Bewertung des Ereignispotentials zu berücksichtigen. (erst am Ende des Untersuchungsablaufes steht die quantitative Bewertung).

(c) Aufbereitung der Geländedaten:

Die im Feld erhobenen Daten müssen für die Ermittlung der Massenbilanz mit PROMAB<sup>GIS</sup> digital aufbereitet werden. Das aus dem DGM abgeleitete Gerinnenetz wird an die tatsächlichen Verhältnisse im Gelände angepasst, in einzelne Homogenabschnitte unterteilt, und unterstützt durch eigens programmierte Eingabemasken mit den kartierten Sachdaten versehen (Abb. 4).

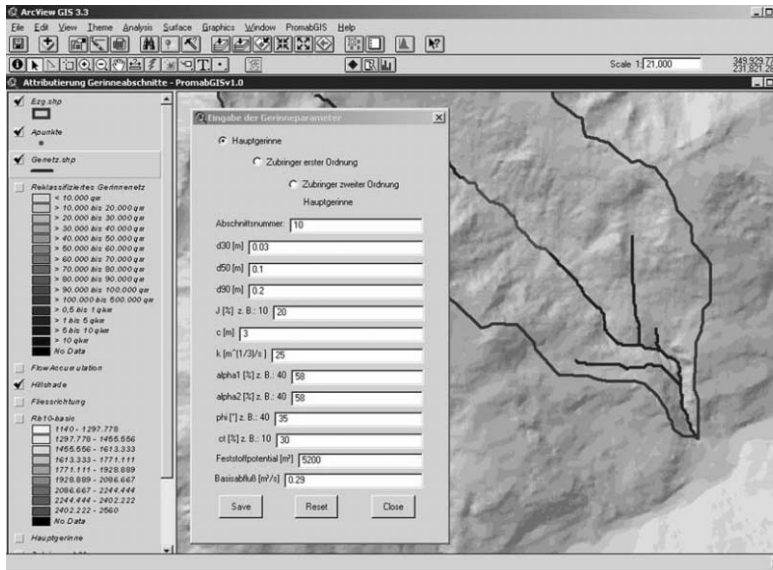
Weiters erfolgt eine automatische Codierung des Gerinnenetzes mit entsprechender Untergliederung der Zubringer (Jenewein, 2002). Alle flächenhaften Eingangsdaten wie Abflussbeiwerte, Fließgeschwindigkeiten und Niederschlagsintensitäten werden in digitalisierter Form als GRID Rasterdatensatz aufbereitet.

(d) Abfluss- und Feststoffberechnung:

In einem ersten Schritt erfolgt die Ermittlung der Ganglinie für Reinwasserverhältnisse. Neben den anzugebenden Inputgrids muss die Dauer des Niederschlagsereignisses und das Berechnungsintervall festgelegt werden. Aus den für jede Gerinnezelle errechneten Abflusswerten wird pro Zeitschritt der Feststofftransport berechnet.

---

<sup>5</sup> EGAR (Einzugsgebiete in Alpinen Regionen) war Teil eines von der EU geförderten überregionalen und länderübergreifenden Projektes zum Thema „Transnationale Raumentwicklung und Raumplanung in den Alpen“, durchgeführt in den Jahren 1998 bis 2000.



**Abb. 4:** Die Zuweisung der Sachdaten an die einzelnen Gerinneabschnitte wird durch Eingabemasken unterstützt.

**Fig. 4:** The assignment of field data to channel segments is supported by special forms.

(e) Nachbearbeitung der Ergebnisse:

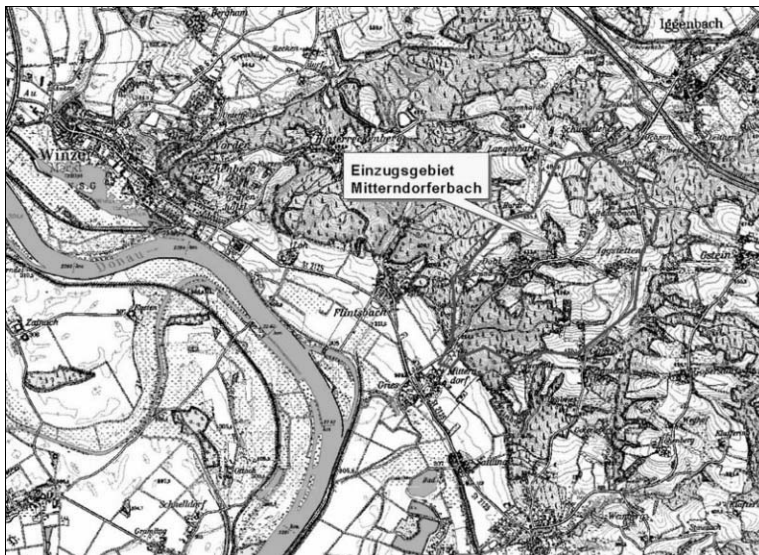
Die erhaltenen Ergebnisse können in PROMAB<sup>GIS</sup> rasch und einfach visualisiert, analysiert und auf ihre Plausibilität hin geprüft werden. So können Ganglinien per Mausklick auf eine entsprechende Gerinnezelle gezeichnet, oder alle abflusswirksamen Zellen für einen gewählten Zeitpunkt dargestellt werden. Alle Ergebnisse können für eine weitere Bearbeitung in andere Softwareprogramme exportiert werden.

Das Massenbilanzierungsmodell PROMAB<sup>GIS</sup> Version 1.0 wurde mittlerweile schon mehrfach in verschiedenen Einzugsgebieten wie z.B. Lainbach (Bunza et al., 2004), Moosbach (i.n.n., 2003), Fagge (TIWAG, 2003), Riederbach (Jenewein, 2002), Pletzbach (Rinderer, 2002) eingesetzt. Das im Folgenden skizzierte Fallbeispiel soll einen kurzen Einblick in die funktionellen Möglichkeiten des Programms geben.

## FALLBEISPIEL MITTERNDORFERBACH – GEMEINDE WINZER

### Gebietscharakteristika

Das 2 km<sup>2</sup> große, zur Gemeinde Winzer gehörende Einzugsgebiet, liegt auf der orografisch linken Seite der Donau, wenige Kilometer südöstlich von Deggendorf in Unterbayern (siehe Abb. 5).



**Abb. 5:** Einzugsgebietsgrenzen des Mitterndorferbaches.  
**Fig. 5:** The catchment area of the Mitterndorferbach.

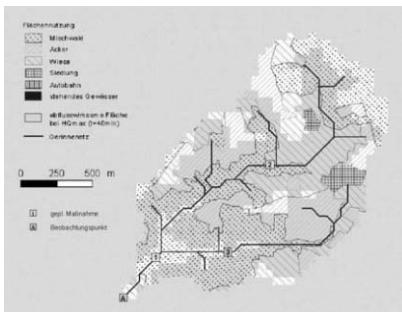
Es ist dem westlichen Rand der Böhmisches Masse zuzurechnen, einem alten Hochgebirgsstock mit typisch sanften und gerundeten Geländeformen. Nur die gerinnenahen Taleinhänge weisen größerer Neigungen mit maximal  $25^\circ$  auf. Das zur Einheit des Moldanubikums zählende Gebiet wird hauptsächlich von magmatischen Gesteinen (Granite, Granodiorite, Amphibolite etc.) sowie verschiedenen Gneisen aufgebaut, die oberflächlich stark verwittert sind. Bei den Böden sind Braunerden mit hohem Ton- und Schluffanteil und relativ dichter Lagerung vorherrschend. Entlang der Talsohlen dominieren infolge des hohen Grundwasserstands Gleyböden, d.h. Vernässungsmerkmale treten bereits ab einer Tiefe von 30 cm auf. Das Gerinnematerial ist relativ feinkörnig zusammengesetzt, Feststoffherde aus den Hängen sind vernachlässigbar gering. Die für die Abflussbeiwertbestimmung maßgebliche Landbedeckung setzt sich grob aus 50 % buchendominierten Mischwald, 25 % Mähwiesen und 25 % Ackerflächen mit Getreide und Maisanbau zusammen. Entlang der Bäche hält sich außerhalb der Nutzungseinflüsse eine Auwaldvegetation mit Weiden, Erlen, Eschen und Traubenkirschen.

Anlass der Studie waren schwere Unwetterereignisse in den Jahren 1996 und 2002, welche nicht nur am Mitterndorferbach, sondern auch noch in benachbarten Einzugsgebieten der Marktgemeinde große Schäden verursachten. Die Ergebnisse der Studie sollen Entscheidungsgrundlage für geeignete Hochwasserschutzmaßnahmen sowie für eine Dringlichkeitsbewertung bilden.

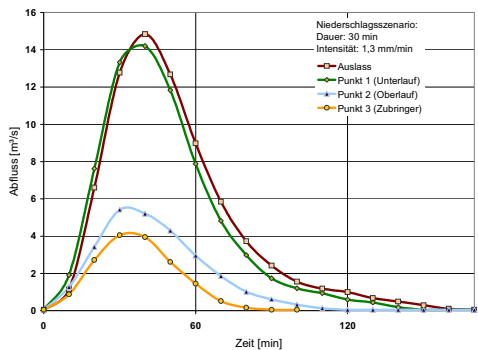
## Simulationsgrundlagen

Als Analysegrundlage diene gemäß den Angaben des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft ein Niederschlagszenario, das in Abhängigkeit der für das Einzugsgebiet relevanten Konzentrationszeit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren entspricht. Für die Festlegung der Abflussbeiwerte wurden ungünstige Ausgangsbedingungen hinsichtlich Abflussbereitschaft im Einzugsgebiet angesetzt. Die Kombination aus 100-jährlichem Niederschlag und ungünstigen Systemzuständen führt zu Simulationsergebnissen, deren Wiederkehrperiode somit 100 Jahre übersteigt.

Die Vorteile der im PROMAB<sup>GIS</sup> gewählten detaillierten Darstellung des Gerinnenetzes liegen in einer verfeinerten Verfolgungsmöglichkeit des Abflussbildungsprozesses. In Abb. 6 sind beispielhaft 4 Stellen ausgewiesen, für die eine nachfolgende Abflussganglinienvisualisierung durchgeführt wurde. In dieser Abbildung ist auch die Verteilung der Landbedeckung, sowie die zum Spitzenabfluss bei  $t = 40$  min abflussbeitragenden Flächen (Rasterzellen) dargestellt. Das Einzugsgebiet des Mitterndorferbachs weist zwei ausgeprägte Gerinne auf, deren Abflussbeiträge sich kurz vor dem Gebietsauslass überlagern. Die kleinere Fläche des südlich gelegenen Gerinnezweigs wird durch den größeren Anteil abflusswirksamer Flächen ausgeglichen. Im vorliegenden Fall führt dies zu akzentuierten Abflussspitzen, die sich entlang der Wegstrecke in etwa verdreifachen (siehe Abb. 7).



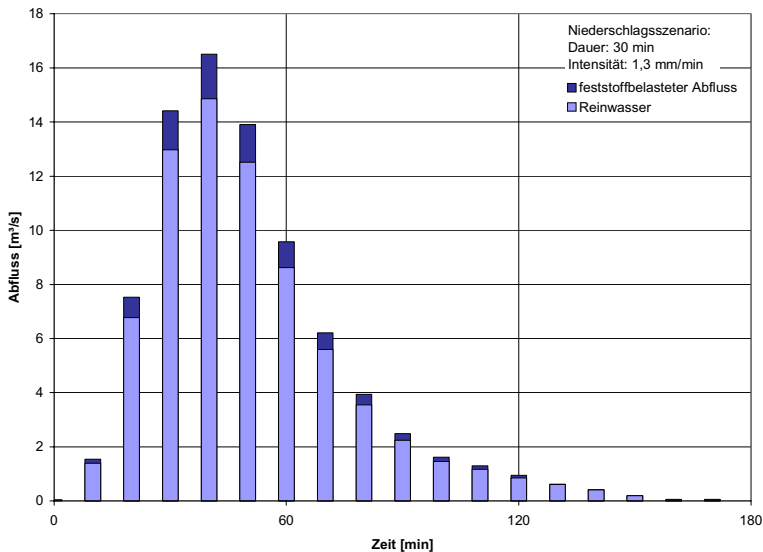
**Abb. 6:** Positionen der in Abb. 7 dargestellten Abflussganglinien.  
**Fig. 6:** Positions of the hydrographs shown in Fig 7.



**Abb. 7:** Abflussganglinie Mitterndorferbach.  
**Fig. 7:** Hydrographs Mitterndorferbach.

Der aus den Geländeerhebungen und den anschließenden Modellierung erhaltene Feststoffaustrag führt gemäß Modellrechnung am Auslasspunkt zu einer weiteren Erhöhung der Abflussspitze um ca. 15 % (Abb. 8). Auch hier erlaubt das Modell Bilanzaussagen zu jeder beliebigen Stelle im Gerinnesystem, wodurch Zonen mit verstärkter Akkumulation bzw. verstärktem Erosionsverhalten lokalisiert werden können.

Das vorliegende Beispiel kann die grundsätzlichen Möglichkeiten nur fallspezifisch und auszugswise veranschaulichen. Für eine detaillierte Beschreibung der Modellfunktionen und der weiteren Auswertemethodiken muss auf die Arbeiten von Jenewein (2002) und Rinderer (2002) verwiesen werden.



**Abb. 8:** Abfluss-Feststoffganglinie für den Mitterndorferbach.  
**Fig. 8:** Hydro-sedigraph of the Mitterndorferbach.

## DISKUSSION UND AUSBLICK

Für viele Planungsaufgaben ist der zeitliche Verlauf des Abflusses von großer Bedeutung. Durch den Einsatz von GIS-Technologie konnte dieser wichtige Aspekt im Massenbilanzierungsmodell PROMAB<sup>GIS</sup> direkt umgesetzt werden. Unter Einbezug des alpS – Zentrum für Naturgefahrenmanagement soll nun der bestehende Ansatz erweitert und optimiert werden. So ist etwa die Implementierung verschiedener Berechnungsalgorithmen für unterschiedliche Genauigkeitsansprüche, Datenverfügbarkeit und Skalenebenen vorgesehen. Unter anderem soll auch geprüft werden, ob der Einsatz erweiterter hydraulischer Berechnungsverfahren zur Beschreibung des Feststofftransportes in den zumeist sehr inhomogenen Wildbachgerinnen geeignet ist.

Die flächendetaillierte Handhabung der Eingangsgrößen auf Rasterbasis erfordert einen hohen Rechenaufwand. Probleme bereiten momentan die teilweise langen Berechnungszeiten von bis zu mehreren Stunden, sobald ein ausgedehntes Gerinnenetz zu simulieren ist. Für den operationellen Einsatz wäre es jedoch wichtig, Ergebnisse rasch zu erhalten, um eine größere Bandbreite von Szenarien zu bearbeiten und damit die Aussagen über Schwankungsbreiten der Resultate fundiert untermauern zu können. Für die Version 2.0 von PROMAB<sup>GIS</sup> wurde deshalb eine Optimierung der Berechnungsweise vorgenommen.

## LITERATUR

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1998): Umsetzung des Integralen Wildbachschutzkonzeptes in die Planung, Abschlussbericht zum Entwicklungsvorhaben.
- Bundesamt für Wasser und Geologie (2003): Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Bericht des BWG, Serie Wasser, Bern.
- Bunza G., Sönsner T., & Ploner A. (2004): Die Modellierung des Abfluss- und Feststofftransportes in Wildbächen für die Beurteilung und Planung von Schutzmaßnahmen. Dargestellt am Beispiel des Lainbach bei Benediktbeuern, Bayern. Beitrag zum Symposium Interpraevent 2004, Riva del Garda.
- Dyck S. & Peschke G. (1995): Allgemeine Hydrologie. - 3. Auflage, Berlin.
- Forster F., Keller H.M., Rickenmann D. & Röhthlisberger G. (1993): Hochwasser. - In: Forum für Wissen, S. 23-32.
- Hegg C. (1997): Zur Erfassung und Modellierung von gefährlichen Prozessen in steilen Wildbacheinzugsgebieten. In: Germann P. et al. (Hg.): Geographica Bernensia, G52, Bern.
- i.n.n. ingenieurbüro (2003): „Schutzkonzept Steinberg am Rofan“, Gutachten im Auftrag der Gemeinde Steinberg am Rofan.
- Jenewein S. (2002): Entwicklung einer GIS-basierten Applikation (PROMAB<sup>GIS</sup>) für die Berechnung von Abfluss und Feststofffrachten in Wildbacheinzugsgebieten unter Verwendung des prozessorientierten Ansatzes PROMAB. - Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Kölla E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwassern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete. (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), 87) - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Lehmann C. (1993): Zur Abschätzung der Feststofffracht in Wildbächen. Grundlagen und Anleitung. In: Germann P. et al. (Hg.): Geographica Bernensia, G42, Bern.
- Ploner A. & Sönsner T. (2000): Naturraumanalyse – neue Strategien für Fließgewässer. Beratende Ingenieure. In: Beratende Ingenieure, Zeitschrift des internationalen Consultings, S. 15-17.
- Rickenmann D. (1990): Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. (= Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), 103) - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Rinderer M. (2002): Entwicklung, Optimierung und Anwendung des numerischen Computermodells BEDLOAD<sup>GIS</sup> zur Simulation des Geschiebetransportes in Wildbächen. Beitrag zur Verbesserung des GIS-gestützten Massenbilanzierungsmodells PROMAB<sup>GIS</sup>. - Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Schöberl F. (1998): Zur Hydraulik steiler Fließgewässer im alpinen Bereich, Beitrag zum ÖWAV Ausschuß "Gestaltung von Fließgewässern auf Schwemmkegel im dichtbesiedelten alpinen Raum", Veröffentlichung IWI Innsbruck, siehe auch Schriftenreihe des ÖWAV
- Stötter J., Belitz K., Frisch U., Geist T., Maier M. & Maukisch M. (1998): Konzeptvorschlag zum Umgang mit Naturgefahren – Herausforderung an Praxis und Wissenschaft zur interdisziplinären Zusammenarbeit, Jahresbericht der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 1997/1998, Innsbruck.
- Takahashi T. (1981): Debris flows. In: Annual Review of Fluid Mechanics, 13, S. 57-77.
- TIWAG (2003): Studie zur Niederschlags/Abflussprognose für den Speicher Gepatsch.