

FRÜHWARNSYSTEM FÜR KLEINE EINZUGSGEBIETE

EIN DISPOSITIONSANSATZ

Peter Mani¹, Judith Dobmann², Anton Lüthi³ und Bruno Gerber⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Frühwarnung vor Hochwasser- und Murgangereignissen in Seitengerinnen (10 bis ca. 100 km²) eines Talflusses können verschiedene Konzepte eingesetzt werden. Im vorliegenden Paper wird anhand des Dispositionsansatzes gezeigt, wie aus der Grunddisposition und der variablen Disposition die aktuelle Disposition abgeleitet werden kann. Dabei werden der Niederschlag sowie hydrologische und geschieberelevante Parameter berücksichtigt. Beim Warnsystem dient die aktuelle Disposition als Grundlage dafür, die Empfindlichkeit eines Gebiets gegenüber einem bevorstehenden Unwetterereignis zu bestimmen. Aus der aktuellen Disposition können Warnstufen abgeleitet werden. Die vorgestellten Ansätze zur Bestimmung der Grunddisposition, variablen und aktuellen Disposition sind für ein Frühwarnsystem gut geeignet. Die Aussagegenauigkeit wird jedoch massgeblich von der räumlichen und zeitlichen Auflösung der Grundlagendaten bestimmt (z.B. Kartenmassstab, Güte der Niederschlagsdaten).

Dieses Konzept eines Frühwarnsystems wird am Beispiel des Emme-Einzugsgebiets vorgestellt. Grundsätzlich ist eine Übertragbarkeit auf andere Gebiete möglich. Der dafür benötigte Aufwand hängt hauptsächlich von den verfügbaren Grundlagendaten ab.

Keywords: Dispositionsmodell, Frühwarnsystem, Geschiebetransport, Hangmuren, Hochwasser, kleine Einzugsgebiete, Murgang

ABSTRACT

To perform an early warning system of flood and debris flow in lateral tributaries (10 to some 100 km²) of rivers various concepts can be applied. The current paper presents by using the disposition approach how base disposition and variable disposition can be combined to a current disposition. In this aspect, precipitation as well as hydrological and bed load relevant parameters are considered. With regard to the warning system, the current disposition serves as basis to determine the sensitivity of an area given an upcoming storm event. In other words, alert levels can be retrieved from the current disposition.

The approaches to determine the base, variable and current disposition are well suited for an early warning system. However the accuracy of statement is largely determined by the spatial and temporal resolution of the basics (e.g. map scale, the performance of precipitation data).

This concept of an early warning system is presented on the example of the Emme River. Basically, it is possible to assign the presented approach to other catchments. The necessary effort mainly depends on the basics available.

Keywords: debris flow, disposition model, early warning system, flood, sediment transport, torrents, unconfined debris flow

¹ Peter Mani: geo7 AG, Geograph, 3012 Bern, Schweiz (e-mail: peter.mani@geo7.ch)

² Dr. Judith Dobmann: geo7 AG, Geographin, 3012 Bern, Schweiz (e-mail: judith.dobmann@geo7.ch)

³ Anton Lüthi: Amt für Bevölkerungsschutz, Sport und Militär, 3000 Bern 22, Schweiz (e-mail: anton.luethi@pom.be.ch)

⁴ Bruno Gerber: Amt für Wasser und Abfall, Geograph, 3011 Bern, Schweiz (e-mail: bruno.gerber@bve.be.ch)

EINLEITUNG

Für die Frühwarnung vor Unwetterereignissen stehen heute verschiedene Konzepte zur Verfügung. An den Unterläufen von grossen Flüssen können Warnungen auf der Basis von Abflussmessungen an den Oberläufen ausgegeben werden. Hier kann es genügen, wenn für die Warnung die aktuellen Abflusswerte mit Warnschwellen verglichen werden. In komplexen Einzugsgebieten kann es notwendig sein, zusätzlich zu den Messungen Abflussprognosen mit Hilfe von Niederschlag/Abfluss-Modellen zu ermitteln.

In kleinen Einzugsgebieten sind beide Ansätze nicht zielführend. Die Auslösung gefährlicher Prozesse wird hier meistens durch konvektive Gewitterzellen ausgelöst, die üblicherweise eine Ausdehnung von 10 bis 100 km² aufweisen. Die örtliche und zeitliche Lage einer Gewitterzelle einigermaßen präzise vorher zu sagen, ist heute und in näherer Zukunft nicht möglich, was eine zuverlässige Abflussprognose für kleinere Einzugsgebiete mit Hilfe von Modellen verunmöglicht.

Auch Warnungen auf der Basis von Abflussmessungen sind in kleinen Einzugsgebieten nicht hilfreich, da sie nur zu einer kurzen Vorwarnzeit führen. Ausserdem erfordern die Installation und der Betrieb von Messsystemen in einer grossen Zahl von Einzugsgebieten einen immensen Aufwand.

Ein Ansatz, um für kleine Einzugsgebiete dennoch eine Frühwarnung zu ermöglichen, ist die Beurteilung der aktuellen Auslösebereitschaft eines Einzugsgebietes. Dazu kann ein Bewertungsmodell dienen, in dem basierend auf dem Dispositionsansatz aus verschiedenen Indikatoren die Auslösebereitschaft ermittelt wird. Aus diesem Modell können anschliessend Warnstufen abgeleitet werden.

Die Hochwasserereignisse der Jahre 2005 und 2007 haben in der Schweiz umfangreiche Aktivitäten im Bereich Naturgefahrenprävention ausgelöst. Der Kanton Bern gehörte bei beiden Ereignissen zum Hauptschadensgebiet. Die Anstrengungen für den Aufbau einer Infrastruktur für die Frühwarnung vor Unwetterereignissen wurden danach auch hier verstärkt vorangetrieben. Im Rahmen des Projektes WARN werden in drei Pilotregionen Warnsysteme aufgebaut. Eine Pilotregion stellt das Emmental dar. Hier geht es nicht primär um die Hochwasserabflüsse in der Emme selbst, sondern um Hochwasser und Murgänge in den Seitenzubringern zur Emme und um Hangmuren. Im Folgenden wird ein Konzept vorgestellt, das für die Vorwarnung vor Hochwasser- und Murgangereignissen in Seitengerinnen eines Talflusses eingesetzt werden kann. Zudem beinhaltet das Konzept einen Ansatz für die Warnung vor Hangmurenereignissen in einem Einzugsgebiet.

ZIELE DES FRÜHWARNSYSTEMS

Das Frühwarnsystem hat zum Ziel, Informationen für die Beurteilung der aktuellen Gefährdung ausgehend von Hochwasser/Murgang und Hangmuren bereitzustellen. Nutzer sind neben kantonalen Fachstellen regionale und lokale Naturgefahrenberater wie auch Führungsorgane auf regionaler und kommunaler Ebene. Das Ziel ist eine Einschätzung der Gefahr ausgehend von den genannten Prozessen für die kommenden Tage. Ob eine Prozessauslösung effektiv zu erwarten ist, wird kurzfristig anhand der Nowcasting-Werkzeuge, v.a. des Radars, beurteilt.

Das System soll während des ganzen Jahres operationell betrieben werden können und so die Vorwarnzeit für das Auslösen von temporären Massnahmen und allenfalls von Evakuationen verbessern.

Die Warnung soll in Anlehnung an das Lawinenbulletin des Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) erfolgen. Eine Warnung umfasst das Hochwasserbulletin respektive das Hangmurenbulletin, in dem neben allgemeineren Informationen zur aktuellen Situation die verschiedenen qualitativen Gefahrenstufen und die Art der zu erwartenden Ereignisse beschrieben werden. Zusätzlich wird im Bulletin darauf hingewiesen, ob in einem Gebiet grundsätzlich mit einer überproportionalen Abflussreaktion – ausgelöst durch Schwellenprozesse – zu rechnen ist oder nicht.

AUSSCHEIDEN VON WARNREGIONEN

Die für Hochwasser, Murgänge und Hangmuren relevanten Prozesse spielen sich in unterschiedlichen räumlichen Skalen ab. Für die Abflussbildung im Hang spielen kleinräumige Unterschiede in den Bodeneigenschaften eine wichtige Rolle (Bereich Aren bis Hektaren). Diese werden aber bei der Abflusskonzentration im Gerinnenetz teilweise ausgemittelt. Die Auslösung von Prozessen erfolgt in

kleineren Einzugsgebieten hauptsächlich durch Gewitterzellen, die meistens eine Grösse von 10 bis 100 km² aufweisen.

Andererseits gilt es auch die Anforderungen der Warnung zu berücksichtigen. Eine Warnung auf der Stufe eines einzelnen Seitengrabens oder einer Hangmure ist nicht praktikabel. Grössere Probleme entstehen meistens, wenn Einzugsgebiete von einigen 10 bis 100 km² betroffen sind. Bei solchen Ereignissen sind meistens mehrere Schadenstellen zu verzeichnen, und der Einsatz der Wehrkräfte sollte entsprechend vorbereitet werden können. Deshalb werden als Warnregionen die hydrologischen Basisgebiete aus dem Hydrologischen Atlas der Schweiz (HADES) (BWG, 1997) vorgeschlagen. Diese unterteilen die Schweiz in 1050 hydrologisch verhältnismässig homogene Gebiete mit einer medianen Grösse von 37 km². Im Frühwarnsystem wird jeder Warnregion (Basisgebiet) eine Warnstufe zugeordnet.

DISPOSITIONSMODELL

Die Beurteilung der Gefahrensituation nach dem Konzept von Disposition und Auslösung (vgl. Fig. 1). Die Disposition beschreibt die Anfälligkeit eines Systems bzw. eines Gebietes für einen bestimmten Prozess. Dabei wird zwischen Grunddisposition (in Fig. 1, dunkelgrau) und variabler Disposition (in Fig. 1, hellgrau) unterschieden. Die Grunddisposition umfasst die langfristig weitgehend stabilen Eigenschaften eines Systems. Die variable Disposition umfasst die im Verlaufe der Zeit sich ändernden Gebieteigenschaften, welche die Schwelle für die Prozessauslösung beeinflussen. Die Auslösung beinhaltet die Prozesse, mit denen ein System über den Schwellenwert für die Prozessauslösung belastet werden kann.

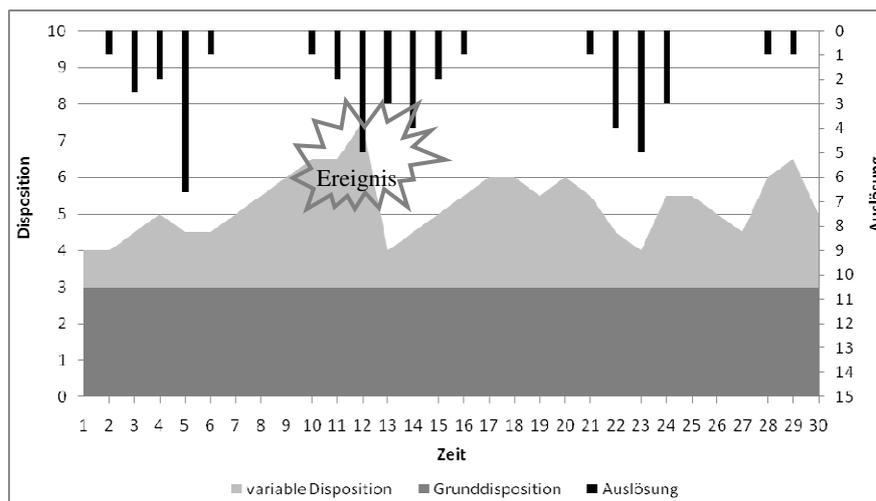


Fig. 1 Dispositionsmodell

Fig. 1 Disposition model

Auf ein konkretes Beispiel übertragen, können in einem Wildbacheinzugsgebiet die geologischen Eigenschaften als Grunddisposition betrachtet werden. Das aktuelle Geschiebepotenzial im Gebiet ist ein Teil der variablen Disposition und der Starkniederschlag das auslösende Ereignis für einen Murgang.

Abhängig vom Prozess sind bei der variablen Disposition unterschiedliche Zeiträume relevant. So kann sich die Abflussbereitschaft von Einzugsgebieten innerhalb von Stunden oder einigen Tagen wesentlich verändern, während sich das Geschiebepotenzial meistens über Jahre aufbaut. Der Abbau kann aber auch hier innerhalb weniger Stunden erfolgen, wenn beispielsweise ein Murgang ein Gerinne ausräumt.

Im Zusammenhang mit Frühwarnsystemen kann die Kombination von Grund- und variabler Disposition zur aktuellen Disposition die Grundlage für die Beurteilung bilden, ob ein Gebiet auf eine erwartete Belastung (z..B. einen Starkniederschlag) eher gutmütig oder stark reagiert. Daraus lassen sich Warnstufen für die aktuelle Situation ableiten. Sind Schwellenwerte für die Prozessauslösung bekannt, lässt sich unter Beizug von Meteoprognozen abschätzen, ob eine Prozessauslösung zu erwarten ist oder nicht.

Relevante Parameter

Um die Grund- und variable Disposition in einem Einzugsgebiet bewerten zu können, sind Kenntnisse über verschiedene Gebietsparameter notwendig. Für die Bewertung der Grunddisposition sind Parameter zu bestimmen, welche die langfristig stabilen Einzugsgebietseigenschaften charakterisieren. Die Bewertung der variablen Disposition erfolgt anhand von Parametern, die sich innerhalb von Stunden, Tagen aber auch Jahren verändern können. In der Tab. 1 sind die relevanten Parameter für die Grund- und variable Disposition für den Abfluss, das Geschiebe sowie wie für den Prozess Hangmuren zusammengestellt.

Tab. 1 Relevante Parameter für die Grunddisposition und variable Disposition

Tab. 1 Relevant parameters to describe the base disposition and the variable disposition

	Grunddisposition	Variable Disposition
Abfluss	<ul style="list-style-type: none">– Relevante Abflussbildungsprozesse– Kapazität der Speicher im Untergrund (Boden und geologischer Untergrund) sowie deren Regenerationsgeschwindigkeit– Schwellenprozesse	<ul style="list-style-type: none">– Zustand/Füllungsgrad der Speicher– Wasseräquivalent der Schneedecke
Geschiebe	<ul style="list-style-type: none">– Art der Geschiebeherde (Altschutt-/Jungschuttgebiete)– Relevante Gerinneprozesse (Murgang, fluvialer Geschiebetrieb)	<ul style="list-style-type: none">– Grösse der Geschiebespeicher (z.B. Gerinne mit Geschiebedepots oder ausgeräumte Gerinne)
Hangmuren	<ul style="list-style-type: none">– Geologische und hydrogeologische Eigenschaften– Relief	<ul style="list-style-type: none">– Bodensättigung in Anrissgebieten von Hangmuren

UMSETZUNG IN EIN FRÜHWARNSYSTEM

Im Folgenden werden basierend auf den relevanten Parametern für den Abfluss, das Geschiebe und die Hangmuren Ansätze zur Herleitung der Grund- und variablen Disposition am Beispiel des oberen Emme-Einzugsgebiets aufgezeigt. Das obere Emme-Einzugsgebiet ist in 10 Warnregionen (Basisgebiete) mit einer Fläche zwischen 28 und 55 km² eingeteilt.

Grunddisposition Abfluss

Bei der Herleitung der Grunddisposition sind die Abflussprozesse, die verschiedenen Speicher (Bodenspeicher, Speicher im geol. Untergrund) sowie die Schwellenprozesse zu berücksichtigen.

Für die Beurteilung der Abflussbildungsprozesse und Speicher wurden zwei Verfahren evaluiert: die Abflussprozessstypenkarte von Scherrer und Näf (2003) sowie der Ansatz „Hochwasserdisposition“ von Dobmann (2009).

Die Abflusstypen werden basierend auf digital verfügbaren Raumdaten (Bodeneignungskarte, geotechnische Karte, Landnutzungsdaten, Gewässernetz) und aus Erkenntnissen aus Feldversuchen ausgeschieden. In der Karte werden fünf Abflusstypen differenziert (vgl. Fig. 2). Sie unterscheiden sich hinsichtlich des Wasserflusses im Boden, dessen Intensität und des Speichervermögens im Boden. Die Speichervermögen sind aus der Arbeit von Schmocker-Fackel (2004) abgeleitet, wobei die Werte auf Daten aus zwei Testeinzugsgebieten (Ror und Isert, rund 30 km südöstlich von Zürich) stammen.

Beim Verfahren zur Bestimmung der Hochwasserdisposition von Dobmann (2009) wird aus hydrologisch bewerteten und in einem GIS kombinierten Raumdaten die Karte der Hochwasserdisposition ermittelt. Dies erfolgt in zwei Schritten:

Karte der Grunddisposition: Sie ist aufgebaut aus längerfristig eher konstanten Parametern. Es gehen folgende Informationen ein: Wölbung des Geländes, Gerinneedichte, Wasserspeichervermögen des Bodens, Permeabilität des Bodens und des geologischen Untergrundes.

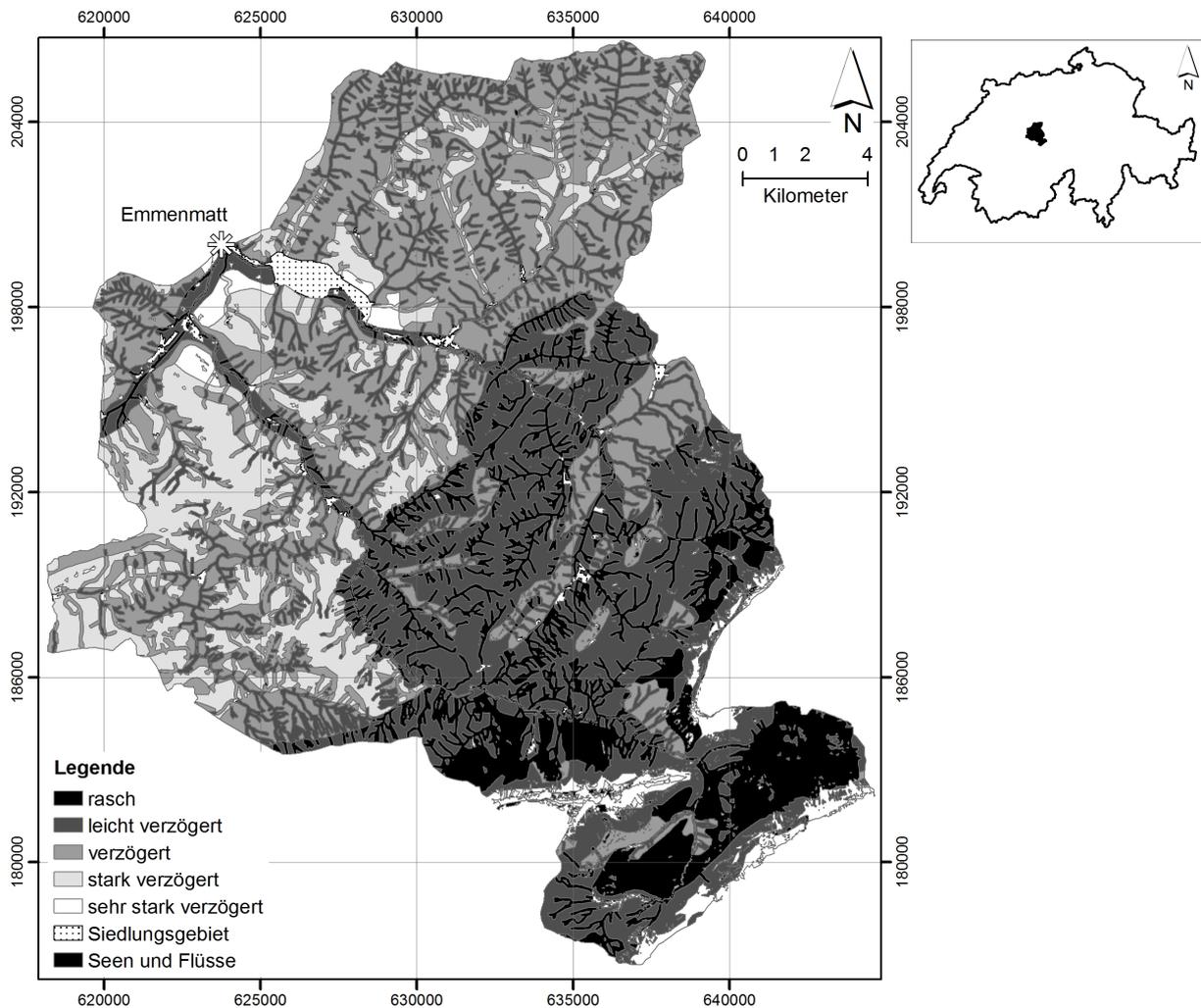


Fig. 2 Abflusstypenkarte nach Scherrer und Näf (2003) für das obere Emme-Einzugsgebiet (440 km²)

Fig. 2 Type of runoff processes (Scherrer and Näf, 2003) mapped within the upper catchment area of the Emme River (440 km²)

Karte der Disposition aufgrund der primären Bodenbedeckung: Sie ist aus längerfristig eher variablen Parametern aufgebaut. Für diese Karte werden die Landnutzung und die Bodenbedeckung benötigt. Die beiden Karten werden schliesslich zur Karte der Hochwasserdisposition kombiniert (vgl. Fig. 3). Die Abstufung erfolgt in fünf Stufen der Hochwasserdisposition, welche folgende zusammengefasste Aussagen ermöglichen:

- Stufe 1 und 2: Kleine Relevanz für Hochwasserbildung, dominante Abflussprozesse sind Abflussprozesse im Boden
- Stufe 3: Mittlere Relevanz für Hochwasserbildung, dominante Abflussprozesse sind verzögerte Abflussprozesse an der Oberfläche oder solche, die aufgrund von Bodensättigung auftreten
- Stufe 4 und 5: Hohe Relevanz für Hochwasserbildung, dominanter Abflussprozess ist der schnelle Abflussprozess an der Oberfläche (Hortonian Overland Flow)

Für die Beurteilung der Schwellenprozesse bei seltenen Hochwasserereignissen wird die Methodik von Dobmann (2009) verwendet. Darin werden folgende Parameter berücksichtigt:

- Abflusskoeffizient (flächendifferenziert, ableitbar aus verschiedenen Ansätzen)
- Hochwasserdisposition (ermittelt nach Methode von Dobmann (2009))
- Speichervermögen der Böden (Grundlage bildet die Bodeneignungskarte der Schweiz)
- Permeabilität des geologischen Untergrundes (Grundlage bildet die geotechnische Karte der Schweiz)
- Einfallen der geologischen Schichten, Klüftung (Grundlage bildet die geologische Karte)

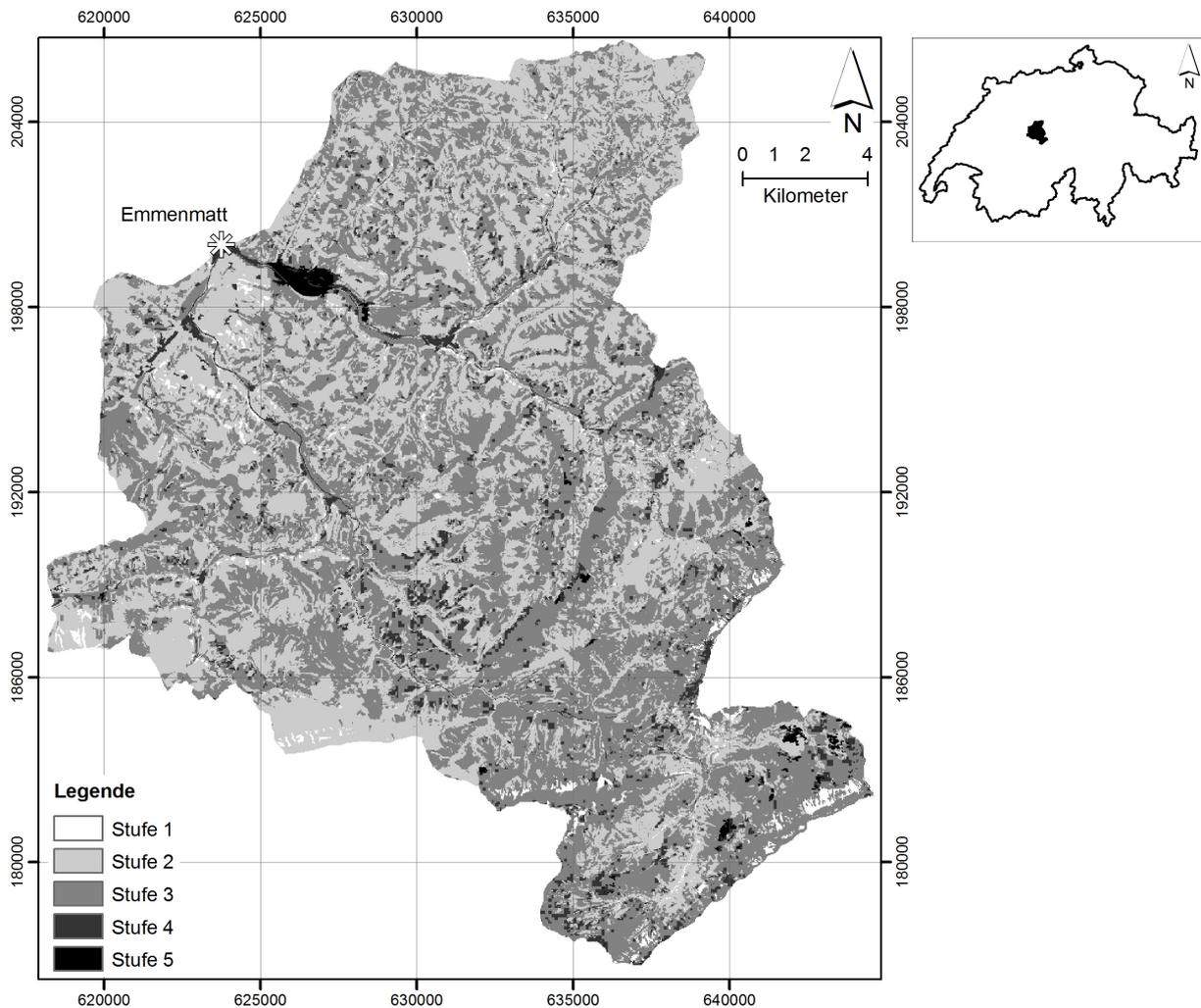


Fig. 3 Karte der Hochwasserdisposition nach Dobmann (2009) für das obere Emme-Einzugsgebiet (440 km²)
Fig. 3 Disposition of flood (Dobmann, 2009) mapped within the upper catchment area of the Emme River (440 km²)

Die Beurteilung der Schwellenbedingungen erlaubt eine Aussage in der Form, ob mit einer überproportionalen Abflussreaktion zu rechnen ist oder nicht.

Variable Disposition Abfluss

Die Beurteilung der variablen Disposition Abfluss erfordert Informationen zum Zustand der Bodenspeicher. In diesem Zusammenhang wurden zwei Verfahren evaluiert: Einerseits der Einsatz von räumlich differenzierten Bodenspeicherdaten aus hydrologischen Modellen (z.B. WaSiM oder PREVAH) und andererseits die Verwendung des Vorregenindex.

Für den operationellen Prognosebetrieb am Bundesamt für Umwelt (BAFU) wurde das hydrologische Modell WaSiM (2011) für das Emme-Einzugsgebiet bereits kalibriert und aufgesetzt. Im Modell WaSiM werden verschiedene Speicher verwendet. Für das Frühwarnsystem sind davon die relative Bodenfeuchte, der absolute Wassergehalt in der obersten Bodenschicht (bis ca. 30 cm Tiefe) sowie der Schneespeicher (fest und flüssig) von Interesse.

Aus dem operationellen Betrieb von WaSiM am BAFU können für die einzelnen Warnregionen im Emmental die täglichen Speicherfüllungen übernommen werden. Daraus kann die variable Disposition abgeleitet werden, indem die aktuellen Bodenspeicherwerte mit den langjährigen Modellwerten verglichen werden. Das Vorgehen wird am Beispiel des Emme-Einzugsgebietes beim Pegel Emmenmatt erläutert: Für den Bodenspeicher werden für jeden Monat der Median sowie das 25- und 75 % Quantil berechnet (vgl. Fig. 4). Dabei wird auf die Kalibrier- resp. Simulationsperiode des hydrologischen Modells zurückgegriffen die im vorliegenden Beispiel den Zeitraum 1997 bis 2008 abdeckt. Einen ähnlichen Ansatz schlagen Martina et al. (2006) vor, wobei sie anstelle realer Werte

mit einem stochastischen Modell eine 10000 jährige Datenreihe für Bodenspeicher-Charakterisierung erzeugt haben.

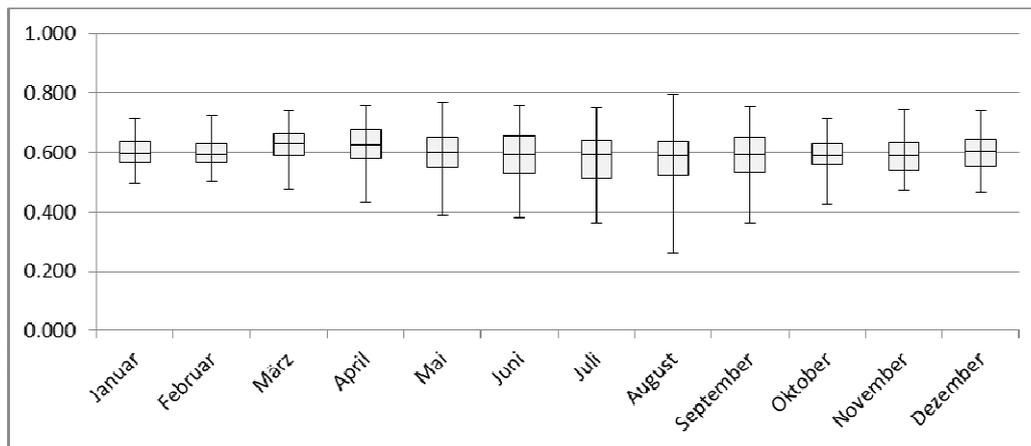


Fig. 4 Boxplots der monatlichen Speicherfüllung für das Emme-Einzugsgebiet, Pegel Emmenmatt (Quelle der Daten: BAFU)

Fig. 4 Boxplots of monthly storage filling in the catchment area of the Emme River, Emmenmatt (source of data: BAFU)

Bei der Variante Vorregenindex wird das kurzfristige Niederschlagsgeschehen in einem Einzugsgebiet verwendet, um den aktuellen hydrologischen Zustand in einem Gebiet zu bestimmen. Dazu wird über einen bestimmten Zeitraum (in kleineren Einzugsgebieten rund drei bis 10 Tage) der jeweilige Tagesniederschlag aufsummiert, wobei Tagesniederschläge die weiter zurück liegen mit einem niedrigeren Gewicht eingehen, als die aktuellen Niederschläge. Dies gründet auf der Annahme, dass der Einfluss eines Niederschlagsereignisses auf den hydrologischen Zustand in einem Einzugsgebiet umso geringer wird, je länger er zurückliegt. Der Gewichtung- oder Abminderungsfaktor und der Zeitraum, für den die Niederschläge berücksichtigt werden, hängen von der allgemeinen hydrologischen Charakteristik in einem Einzugsgebiet ab.

In der Fig. 5 ist der 5-Tages-Vorregenindex (schwarze Linie) an einem Beispiel illustriert. Dabei ist als Vergleich einerseits der Tagesniederschlag (graue Balken) und andererseits der ungewichtete, aufsummierte Tagesniederschlag (gestrichelte Linie) eingezeichnet.

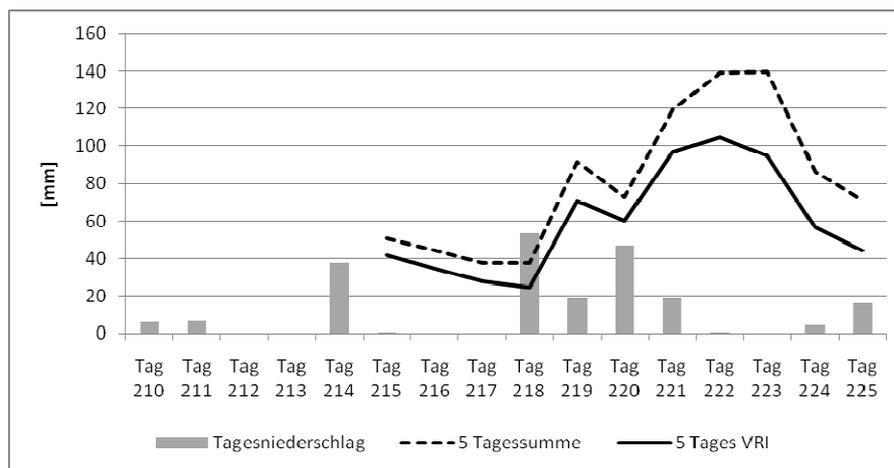


Fig. 5 Tagesniederschlag, 5-Tages-Niederschlagssumme und 5-Tages-Vorregenindex mit Abminderungsfaktor von 0.9 (Quelle der Daten: MeteoSchweiz)

Fig. 5 Daily precipitation, sum of precipitation during 5 days, pre-precipitation-index during 5 days considering a depletion factor of 0.9 (source of data: MeteoSchweiz)

Als Inputdaten für die Berechnung des Vorregenindex können Radardaten eingesetzt werden. Bei der Verwendung von Stationsdaten besteht eine grosse Gefahr, dass lokale Niederschlagsereignisse nicht erfasst werden.

Grunddisposition Geschiebe

Für die Beurteilung der Relevanz von Geschiebeprozessen kann die gewichtete geschieberelevante Fläche, die im Rahmen des Projektes SilvaProtect-CH (BAFU, 2008) für die ganze Schweiz berechnet wurde, verwendet werden (vgl. Fig. 6). Die Gewichtung der Geschiebeherde entsprechend erfolgte aufgrund ihrer Produktivität. Diese Werte wurden anschliessend entlang der Fliessrichtung aufsummiert. Für jedes Einzugsgebiet kann der maximale Wert ermittelt werden, der dann als Indikator für die Geschiebe-Disposition in Jungschuttgebieten verwendet wird.

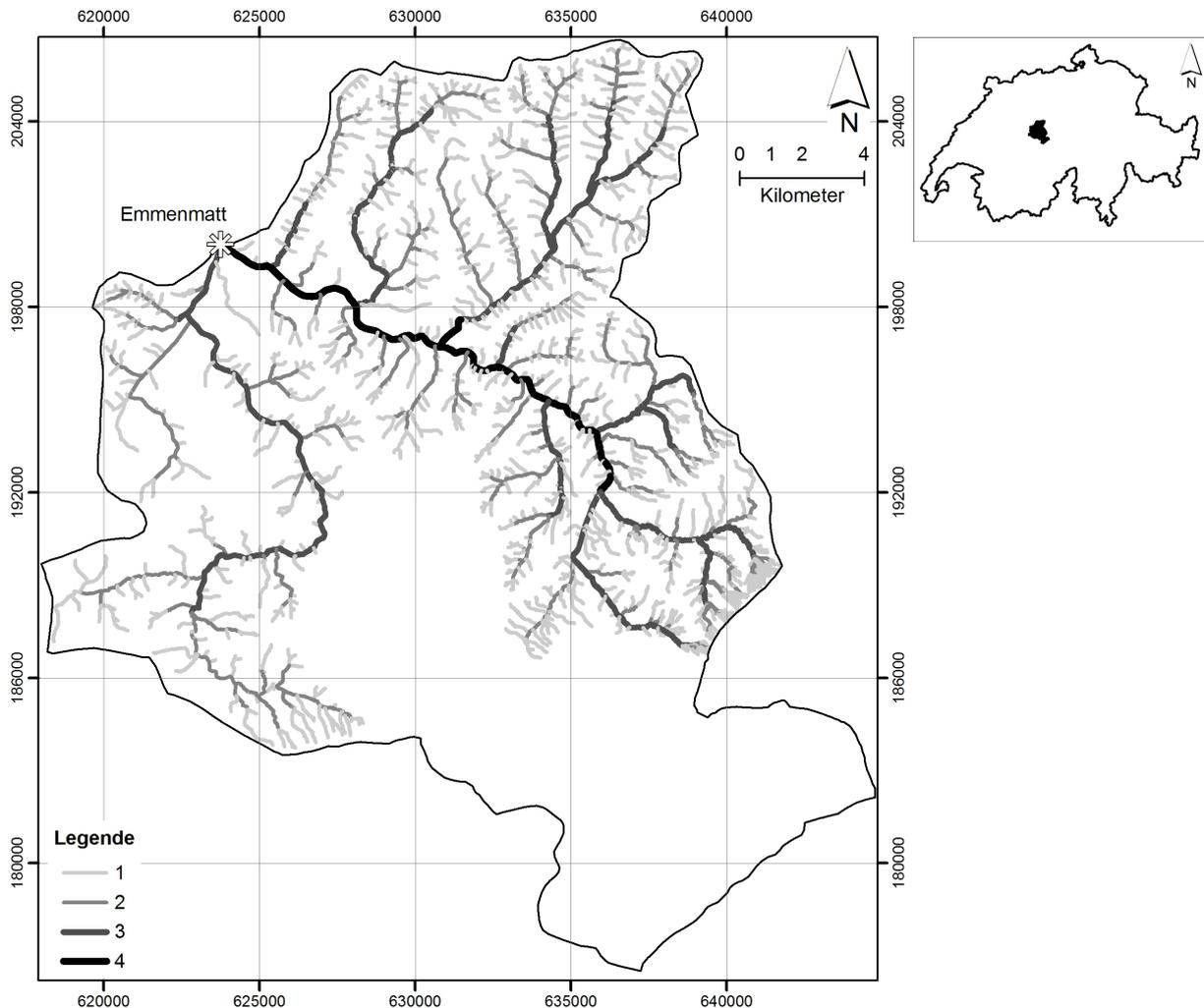


Fig. 6 Geschieberelevante Fläche (Jungschuttgebiete) des oberen Emme-Einzugsgebiets (440 km²) (Quelle der Daten: BAFU)

Fig. 6 Relevant sediment source area (Jungschuttgebiete) within the upper catchment area of the Emme River (440 km²) (source of data: BAFU)

Für die Beurteilung der Bedeutung der Altschuttherde kann die geotechnische Karte der Schweiz oder allenfalls der detailliertere, neu in Entstehung begriffene Geologie-Datensatz "GeoCover" von Swisstopo (2010) verwendet werden. Daraus werden die geologischen Einheiten, die als Altschutt klassiert werden können, herausgefiltert und mit dem Gerinnenetz überlagert (vgl. Fig. 7). Als Indikator der Bedeutung der Altschuttherde wird die Länge des Gerinneverlaufs in Altschuttherden verwendet. Zusätzlich werden der Verbauungsgrad und der Zustand der Verbauungen in den Altschuttstrecken in die Bewertung mit einbezogen. Diese Daten können aus Schutzbautenkataster übernommen werden, soweit diese vorliegen.

Die Beurteilung des für den Geschiebetransport massgebenden Gerinneprozesses kann auf der Basis der SilvaProtect-CH Daten (BAFU, 2008) erfolgen. Aus diesen Daten ist ersichtlich, ob in einem Gerinne Murgänge auftreten können oder nicht. Falls keine Murgänge ausgewiesen werden, ist mit geschiebeführenden Hochwassern zu rechnen.

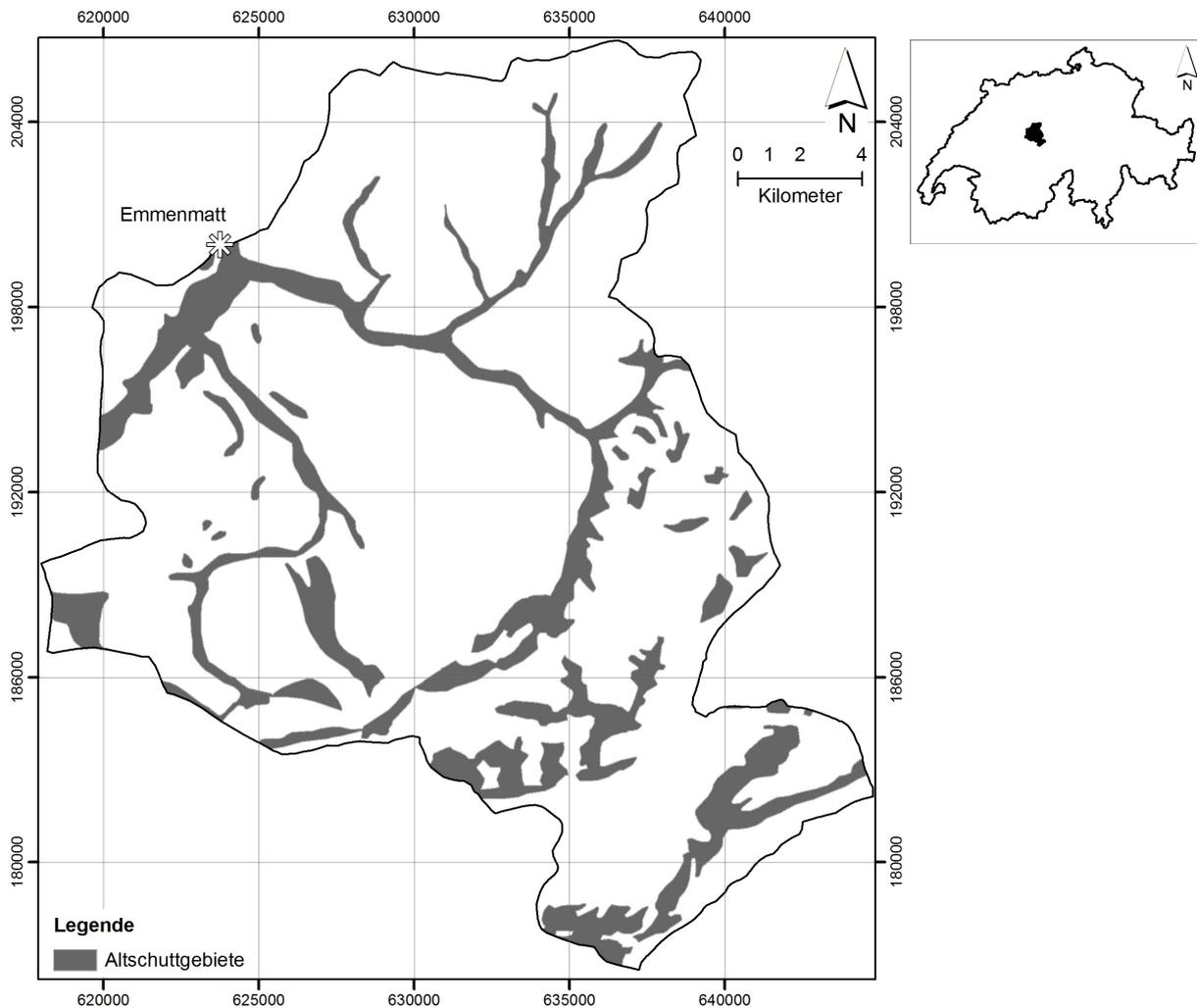


Fig. 7 Geschieberelevante Fläche (Altschuttgebiete) des oberen Emme-Einzugsgebiets (440 km²)

Fig. 7 Relevant sediment source area (Altschuttgebiete) within the upper catchment area of the Emme River (440 km²)

Variable Disposition Geschiebe

Für die Bewertung der variablen Disposition Geschiebe muss das aktuell verfügbare Geschiebe grob abgeschätzt werden. Dazu sind stichprobenweise Feldbeurteilungen notwendig, wobei sich die Frequenz der Feldaufnahmen nach der Grunddisposition richtet. Automatisierte Verfahren für die Bestimmung des aktuell verfügbaren Geschiebes stehen in absehbarer Zeit kaum zur Verfügung.

In Gebieten mit einer grossen Bedeutung von Hangmuren für das Geschiebepotenzial wird zusätzlich die Auslösebereitschaft von Hangmuren in die Bewertung mit einbezogen (vgl. nachfolgendes Kapitel „Grunddisposition Hangmuren“).

Grunddisposition Hangmuren

Für die Bewertung der Grunddisposition können die Rohdaten aus dem Projekt SilvaProtect-CH (BAFU, 2008) verwendet werden. In diesem Projekt wurden die Hangmuren-Anrissgebiete mit dem Simulationsmodell SliDisp von Liener (2000) ausgeschieden. Dazu wurden in einer Monte-Carlo-Simulation die Bodenparameter variiert und anschliessend die Anzahl Realisationen mit einem Sicherheitsgrad <1.0 für jede Rasterzelle von 10 x 10 m ermittelt. Liegt der Anteil über 60 %, wurde im Projekt SilvaProtect-CH die Rasterzelle als Startgebiet für Hangmuren ausgeschieden. Aus der Anzahl der Rasterzellen, die in einem Einzugsgebiet als Startgebiete ausgeschieden wurden, kann die Grunddisposition abgeleitet werden. Dazu wird jedoch noch eine weitere Differenzierung vorgenommen, indem neben der 60 % Grenze auch der Anteil der Rasterzellen mit 40, 80 und 100 % ermittelt wurden. Diese Flächenanteile sind in Fig. 8 dargestellt. Je grösser der Anteil mit 60 % oder mehr Realisationen mit einem Sicherheitsgrad <1.0 ist, umso höher ist die Grunddisposition für Hangmuren.

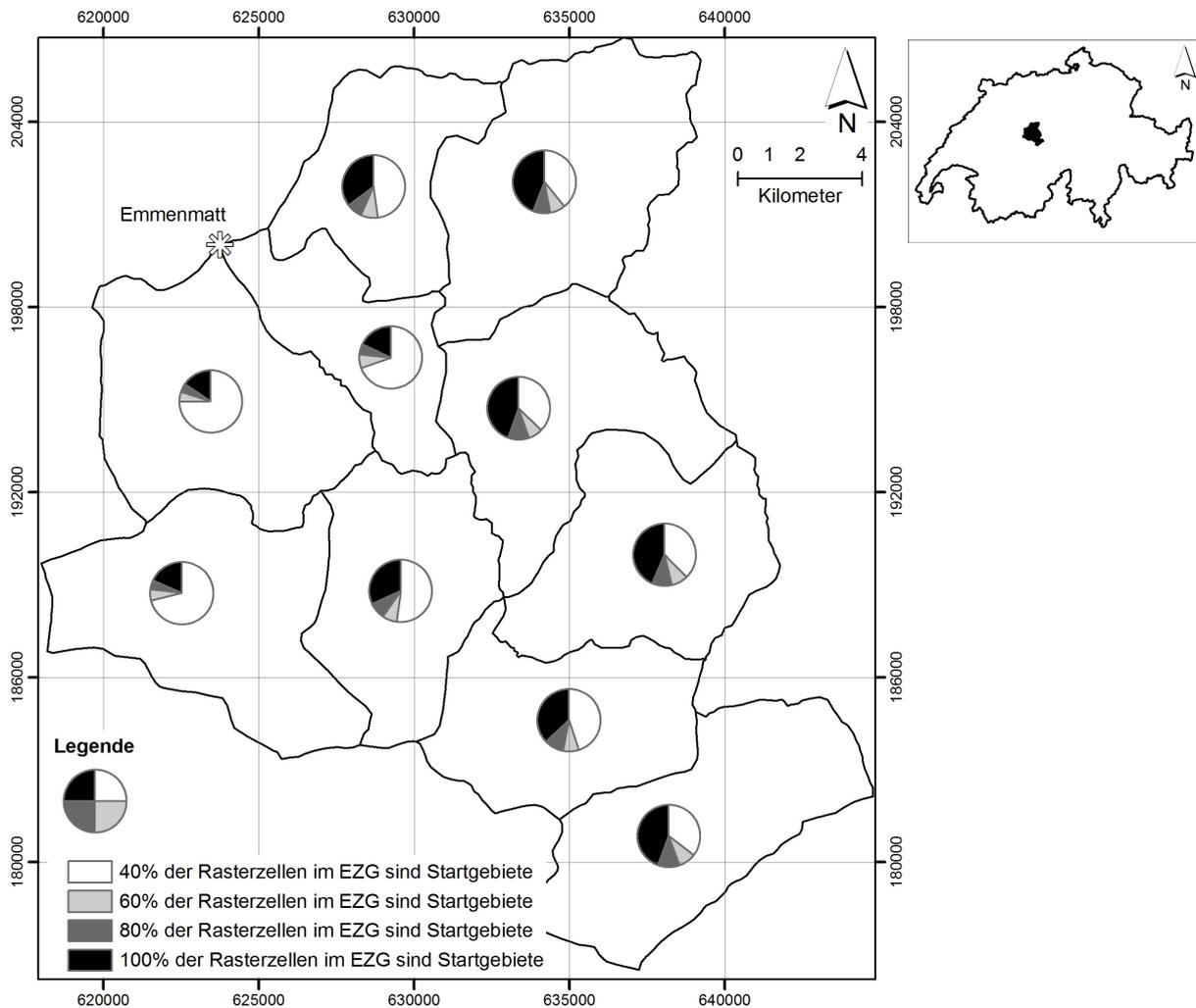


Fig. 8 Grunddisposition Hangmuren für das obere Emme-Einzugsgebiet pro Basisgebiet (EZG: Einzugsgebiet)
Fig. 8 Base disposition of slope-type debris flow within the upper catchment area of the Emme River integrated for each base catchment (EZG: catchment)

Variable Disposition Hangmuren

Für die Bewertung der variablen Disposition wird die Bodensättigung aus dem Kapitel „variable Disposition Abfluss“ verwendet. Bei geringer Bodensättigung weisen v.a. Rasterzellen mit 80 oder 100 % Realisationen mit einem Sicherheitsgrad <1.0 eine erhöhte Disposition auf. Bei sehr hoher Bodensättigung sind auch Hangmuren aus Flächen mit einem Anteil von 40 % nicht auszuschliessen.

Umsetzung in Warnstufen

Pro Warngebiet wird einmalig die Grunddisposition für den Abfluss, das Geschiebe sowie die Hangmuren bestimmt und klassiert. Anschliessend werden laufend (täglich) die verschiedenen Indikatoren bewertet (variable Disposition) und mit der Grunddisposition zur aktuellen Disposition kombiniert. Aus der klassierten aktuellen Disposition können schliesslich die aktuellen Warnstufen – sie sind je nach Prozess saisonal unterschiedlich – pro Warngebiet abgeleitet werden.

ANWENDUNG UND UMSETZUNG

Der Bund hat nach den Ereignissen 2005 und 2007 unter anderem die gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN) aufgebaut. Dort werden den Naturgefahrenfachleuten aus Bund, Kantonen und Gemeinden verschiedene Daten zur Verfügung gestellt. GIN umfasst sowohl Vorhersagen, Warnungen, Modelle und Bulletins als auch aktuelle Mess- und Beobachtungsdaten des Bundesamts für Umwelt BAFU, des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF und der kantonalen Fachstellen.

Die Idee ist nun, aus den Daten der GIN-Plattform, allenfalls ergänzt mit lokalen Messdaten für ein definiertes Einzugsgebiet ein Frühwarnsystem aufzubauen. Der Aufbau von solchen lokalen oder regionalen Systemen soll durch die Kantone erfolgen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, für den operationellen Betrieb die Services der GIN-Plattform zu verwenden.

Im Kanton Bern ist nun geplant, in einem ersten Schritt eine vereinfachte Version dieses Konzeptes umzusetzen. Im Vordergrund steht dabei die Bewertung der variablen Disposition für den Abfluss.

Im Rahmen eines Interreg-Projektes wird das Konzept für den Kanton Graubünden und die Autonome Provinz Südtirol – Bozen weiter entwickelt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aussagegenauigkeit Grunddisposition

Die Aussagegenauigkeit ist vor allem wegen der beschränkten Aussagegenauigkeit der Bodeneignungskarte der Schweiz in den höher gelegenen Gebieten eingeschränkt. Die Bodentypen werden in diesen Gebieten nur aufgrund von Reliefparametern und einer groben geologischen Klassifikation ausgeschieden. Dies wirkt sich hauptsächlich auf die hydrologischen Indikatoren aus.

Beim Geschiebe sind es die räumliche Ungenauigkeit und inhaltliche Heterogenität der geotechnischen Karte im Massstab 1:200'000 der Schweiz, welche die Genauigkeit der Aussagen einschränken.

Aussagegenauigkeit variable Disposition

Die Aussagegenauigkeit hängt hier vor allem von den Niederschlagsdaten und deren Berücksichtigung im Verfahren ab. Wegen der kleinräumigen Struktur der konvektiven Niederschläge sind Daten von Messstationen für die Beurteilung des Zustandes der Bodenspeicher wenig geeignet. Die Gefahr, dass Gebiete mit hohen Niederschlagsmengen von den Messstationen nicht erfasst werden, ist gross. Die Daten des Niederschlagsradars sind besser geeignet, wobei hier grössere Unsicherheiten bezüglich des effektiv gefallenen Niederschlages bestehen. In näherer Zukunft wird MeteoSchweiz jedoch eine Kombination von Radar- und Stationsdaten als „near realtime“ Produkt anbieten. Damit stehen für die Nachführung der hydrologischen Modelle schon bald räumlich differenzierte Inputdaten zur Verfügung.

Beim Einsatz von hydrologischen Modellen wie WaSiM oder PREVAH kommt die Frage der räumlichen Auflösung im Modell hinzu. Wenn die Niederschlagsinputs nicht mindestens in der gleichen Feinheit ins Modell eingehen, wie die Aussagen zur Disposition gemacht werden sollen, führt dies zur Ausmittelung von lokalen Effekten. Das Modell WaSiM arbeitet im Emme-Einzugsgebiet mit Rasterzellen von 500 x 500 m. Die Auswertung der Bodenspeicher erfolgt zurzeit aber nur auf der Stufe der vier Abflusspegel resp. der vier dazugehörigen Einzugsgebiete. Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Parametrisierung der Bodeneigenschaften anhand der Bodeneignungskarte erfolgt, die, wie vorab beschrieben, in höher gelegenen Gebieten relativ grob ist.

Übertragbarkeit auf andere Gebiete

Der hier beschriebene Ansatz wurde bis jetzt auf konzeptioneller Ebene im Emme-Einzugsgebiet getestet. Die Übertragbarkeit auf andere Gebiete ist grundsätzlich möglich, wobei der dafür notwendige Aufwand vor allem von den verfügbaren Datengrundlagen abhängig ist. Vor allem beim Einsatz der Abflussprozessstypenkarte für die Beurteilung der Grunddisposition kann dieser recht hoch sein.

Bei der variablen Disposition steht mit dem Vorregenindex ein Verfahren zur Verfügung, das auch beim Fehlen eines Niederschlag/Abfluss-Modells eine Abschätzung der Bodenfeuchte erlaubt. Dort wo räumlich differenzierte Modelldaten vorliegen und dieses Modell auch operationell betrieben wird, können die Bodenspeicherdaten normalerweise mit relativ geringem Aufwand übernommen werden.

Vorteile/Schwachstellen der einzelnen Ansätze

Die vorab beschriebenen Ansätze weisen Vorteile aber auch Schwachstellen auf. Die Tab. 2 und 3 fassen diese zusammen.

Tab. 2 Vorteile der einzelnen Ansätze**Tab. 2** Advantage of each approach

Ansätze	Vorteile
Schwellenprozesse, Karte der Hochwasserdisposition, Grunddisposition Hangmuren	<ul style="list-style-type: none"> – Einfache, pragmatische Ansätze – Benötigen nur einen einmaligen Aufwand
Vorregenindex	<ul style="list-style-type: none"> – Einfacher, pragmatischer Ansatz – Gute räumliche Auflösung – Verbreitet anwendbar (beliebige Gebiete, für welche Radardaten zur Verfügung stehen)
Hydrologisches Modell	<ul style="list-style-type: none"> – Echtzeitmodellierung des Gebietszustandes im Stundenschritt abrufbar – Physiknahe Abbildung der hydrologischen Prozesse – Saisonale Differenzierung ist im Modell berücksichtigt

Tab. 3 Schwachstellen der einzelnen Ansätze**Tab. 3** Weak point of each approach

Ansätze	Schwachstellen
Schwellenprozesse, Grunddisposition Abfluss und Geschiebe	<ul style="list-style-type: none"> – Räumliche Heterogenität und räumliche Lagegenauigkeit der Bodeneignungskarte und der geotechnischen Karte sind eigentlich ungenügend – Geologische Informationen in ausreichender Auflösung sind nicht flächendeckend vorhanden
Grund- und variable Disposition Geschiebe	<ul style="list-style-type: none"> – Es ist notwendig, zwischenzeitlich Feldbegehungen durchzuführen und diese manuell ins System einzugeben (ist mit einem laufenden Aufwand verbunden)
Variable Disposition hydrologisches Modell	<ul style="list-style-type: none"> – Räumliche Auflösung im Modell (v.a. beim Input der Meteorodaten und bei der Auswertung der Speicherdaten) – Ohne grossen Zusatzaufwand ist das Modell nur in Gebieten anwendbar, für die bereits ein hydrologisches Modell kalibriert und aufgesetzt wurde – Ein gewisses Mass an Expertenwissen ist notwendig – Keine absolute Aussage möglich, denn sie steht immer in Relation zu den langjährigen Daten (Quartilsauswertung) des entsprechenden Indikators (z.B. Bodenspeicher)
Variable Disposition Vorregenindex	<ul style="list-style-type: none"> – Kosten für den täglichen Bezug der Radardaten können als Nachteil gewertet werden, der aber in Zukunft nicht mehr so stark ins Gewicht fallen sollte

REFERENZEN

- BAFU (2008). SilvaProtect-CH - Phase I. Projektdokumentation.
- BWG (1997). Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES). Landeshydrologie, Bern.
- Dobmann J. (2009). Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz. Interpretations- und Praxishilfe. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften AG Co. KG. ISBN 978-3-8381-1420-0.
- Liener S. (2000). Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia G64, Bern.
- Scherrer S., Näf F. (2003). A decision scheme to identify dominant flow processes at the plotscale for the evaluation of contributing areas at the catchments-scale. Hydrological Processes, 17(2): 391-401. J. Wiley & Sons, 1-8. Chichester.
- Martina M.L.V., Todini E., Libralon A. (2006). A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning. Hydrol. Earth Syst. Sci., 10:413-426.
- Schmocker-Fackel P. (2004). A Method to Delineate Runoff Processes in a Catchment and its Implications for Runoff Simulations. Dissertation Nr. 15638, ETH Zürich.
- Swisstopo (2010). Projekt GeoCover.
(http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/media/100427_GeoCover.html, 05.07.2011)
- WaSiM-Homepage (<http://www.wasim.ch>, 06.07.2011)