



Originally published as:

Tilch, N., Zillgens, B., Uhlenbrook, S., Leibundgut, Ch., Kirnbauer, R., Merz, B. (2006): Gisgestützte Ausweisung von hydrologischen Umsatzräumen und Prozessen im Löhnersbacheinzugsgebiet (Nördliche Grauwackenzone, Salzburger Land). - Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 58, 9-10, 141-151.

GIS-gestützte Ausweisung von hydrologischen Umsatzräumen und Prozessen im Löhnersbach-Einzugsgebiet (Nördliche Grauwackenzone, Salzburger Land)

von N. Tilch, B. Zillgens, S. Uhlenbrook, Ch. Leibundgut, R. Kirnbauer und B. Merz

### **Zusammenfassung**

Am Beispiel des mesoskaligen Einzugsgebietes des Löhnersbaches (Kitzbüheler Alpen, ca. 16 km<sup>2</sup>) wird erläutert, wie auf der Basis von Expertenwissen zur Landschaftsgenese und allgemein verfügbarer Daten mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) hydrologische Homogenbereiche (Hydrotope) rasterbasiert ausgewiesen werden können. Es wurde ein Regionalisierungsansatz für die flächenhafte Abschätzung der Struktur- und Lithovarianz des quartären Hangschutts entwickelt, welcher auf der Hangentwicklungsgenese basiert. Jeder der ausgewiesenen hydrologischen Homogenbereiche ist sowohl durch die gleichen prozessrelevanten Umsatzräume, als auch durch die gleichen dominanten Abflussbildungsprozesse gekennzeichnet. Die Ausweisung erfolgt prozessebenenspezifisch, so dass Prozesse der Geländeoberfläche, Zwischenabflussprozesse der Deckschichten, sowie basisabflussbildende Prozesse der Kluftgrundwasserleiter unterschieden werden. Die Plausibilität der für das mesoskalige Löhnersbach-Einzugsgebiet erzielten hydrologischen Raumgliederung konnte auf Basis einer empirischen Raumgliederungskarte geprüft werden.

### **Summary**

GIS-based delineation of hydrological source areas processes in the Löhnersbach basin (Northern Greywacke zone, Salzburger Land)

A method to delineate hydrological response units (HRU) within a GIS environment using generally available data sets and expert knowledge on landscape genesis is presented for the meso-scale Löhnersbach basin, located in the Austrian alps (Kitzbüheler Alpen, 16 km<sup>2</sup>). Based on the genesis

of the hillslope material a regionalization approach was developed which delineates the spatial structure and the lithological variance of the quaternary drift covers. Each of the delineated HRUs is characterized by the same runoff source areas and the same dominating runoff generation processes. The delineation was conducted using different process levels, differentiating between near surface processes, interflow processes in the drift cover, and base flow generating processes in the fractured hard rock aquifer. The delineation approach applied to the meso-scale Löhnersbach basin and the plausibility was proofed by a comparison with an empirically generated map.

## **1 Einleitung**

Für viele prozessbasierte Niederschlag-Abfluss-Modellierungen werden Datensätze zur Heterogenität der hydrologischen Gebietseigenschaften benötigt. Von besonderer Bedeutung für die prozessorientierte hydrologische Modellierung ist dabei, Teilflächen innerhalb eines mesoskaligen Untersuchungsgebietes (ca. 10 – 1000 km<sup>2</sup>, BECKER, 1992) auszuweisen, in denen die gleichen Abflussbildungsprozesse dominieren. Hierfür werden in der Literatur verschiedenste Methoden vorgeschlagen (z.B. FLÜGEL, 1995; SCHERRER & NAEF, 2001; WALDENMEYER & CASPER, 2001; RICHTER & SIEGEL, 2002, UHLENBROOK 2003), für die zum Teil recht aufwendige Kartierungen und umfangreiche Feldexperimente durchgeführt werden müssen. Ferner gibt es weniger aufwendige Ansätze für makroskalige Gebiete, die im Wesentlichen aus der Überlagerung von Oberflächen-Informationen im GIS bestehen, wie beispielsweise Landnutzung, Höhenlage, Hangneigung, Exposition etc. (z.B. MEHLHORN, 1998). Eine solche Raumgliederung hat jedoch häufig nur eine bedingte Aussagefähigkeit für die Fließprozesse im Untergrund und unterscheidet häufig eher Regionen, in denen ein ähnlicher Wasserhaushalt vorherrscht. Vielfältigste Prozessstudien belegen, dass für die Hochwasserentstehung in gebirgigen Einzugsgebieten unterirdische Fließsysteme bedeutend sein können (z.B. SKLASH & FARVOLDEN, 1979; BUTTLE, 1994). So konnte auch für das Löhnersbach-Einzugsgebiet mit Hilfe tracerhydrologischer

Methoden gezeigt werden, dass ein großer Teil des Hochwasserabflusses aus Abflusskomponenten besteht, die bereits vor dem Ereignis im Einzugsgebiet gespeichert waren und erst durch das Niederschlagsereignis mobilisiert werden (TILCH et al. 2003). Verantwortlich dafür sind meistens komplexe Abflussbildungsprozesse, die im Zuge der Abflusskonzentration durch das raum-zeitliche Wirkungsgeflecht oberflächlicher und unterirdischer Abflussbildungsprozesse hervorgerufen werden (UHLENBROOK & LEIBUNDGUT, 1997). Diese komplexen Prozesse können allerdings nur dann mit einem hydrologischen Modell prozessadäquat beschrieben werden, wenn die Heterogenität des Untergrundes, insbesondere jene der für die Hochwasserentstehung bedeutenden unterirdischen Wasserumsatzräume, hinreichend flächendetailliert in das hydrologische Modell integriert wird.

Im Gegensatz zu mikroskaligen Einzugsgebieten erstrecken sich jene der Mesoskala häufig über mehrere Naturräume. Daraus ergibt sich für diesen Raumskalenbereich eine bedeutsame Gebietsheterogenität und Vielfalt der dominanten hydrologischen Prozesse. Im Gegensatz dazu nehmen im Allgemeinen die räumliche Auflösung und der Informationsgehalt der allgemein verfügbaren, flächendeckenden digitalen Datenbasis deutlich ab. So existieren vor allem für alpine Bereiche keine flächendetaillierten digitalen Geodaten mit Informationen zur Heterogenität der abflussrelevanten quartären Hangsedimente. Ferner beinhalten verschiedene thematische Kartenwerke Informationslücken (z.B. Geologische Karten mit abgedeckten und gedeckten Bereichen). All dies sind Mängel der Geodaten, denen im Rahmen eines Regionalisierungsverfahrens mit Expertenwissen begegnet werden muss.

Am Beispiel des Einzugsgebietes des Löhnersbaches (ca. 16 km<sup>2</sup>, Kitzbüheler Alpen, Abb. 1) wird ein Regionalisierungsverfahren vorgestellt, das mit Hilfe eines GIS rasterbasiert hydrogeologische Homogenbereiche, also Bereiche mit ähnlichen ober- und unterirdischen Umsatzräumen, ausweist. Um lateralen und vertikalen Prozessrauminteraktionen und daraus resultierenden komplexen Abflussbildungsprozessen Rechnung zu tragen, werden die Wasserumsatzräume generell flächendeckend und rasterbasiert nach Prozessebenen ausgewiesen. Hierbei werden unterschieden (i) obere Prozessebene der Oberflächenprozesse, (ii) mittlere Prozessebene der

flachgründigen Deckschichtenprozesse und (iii) untere Prozessebene der Kluft- und mächtigen Porengrundwasserleiter. Diesen Umsatzräumen werden dann per Expertenwissen, beispielsweise basierend auf Erkenntnisse der Prozessforschung, dominante Abflussbildungsprozesse zugewiesen. Das Ergebnis ist eine hydrologische Raumgliederungskarte, über die Bereiche mit den gleichen dominanten Abflussbildungsprozessen (Hydrotupe) ausgewiesen werden. Für die Anwendung dieses Regionalisierungsverfahrens werden weitestgehend allgemein verfügbare, flächendeckende und -detaillierte Daten (DGM, Topographische und Geologische Karten) benötigt. Deshalb ist dieses Verfahren vor allem für mesoskalige Einzugsgebiete in der Nördlichen Grauwackenzone geeignet.

## **2 Untersuchungsgebiet**

Das Löhnersbach-Einzugsgebiet ist im Westen des Bundeslandes Salzburg im Bereich der Kitzbüheler Alpen gelegen (Abb. 1). Aus geologischer Sicht befindet sich dieses im Bereich der Nördlichen Grauwackenzone, die dort im Wesentlichen durch schwach metamorphe, flyschoide, altpaläozoische Gesteinsserien aufgebaut wird.

Der Löhnersbach hat den Charakter eines Wildbaches und gefährdet die Gemeinden des unteren Saalachtals. Deshalb wird dieses Gebiet seit 1987 intensiv erforscht (eine Zusammenstellung findet sich in KIRNBAUER et al. 1996). Neben einer detaillierten ingenieurgeologischen Kartierung (PIRKL, 1990) wurde ein hydrologisches Messnetz (KIRNBAUER et al., 1996) installiert und zahlreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt, wie z.B. Berechnungsversuche und tracerhydrologische Untersuchungen (MARKART & KOHL, 1995; TILCH et al., 2003).

Besonders während extremer Hochwasserereignisse ist die Geschiebeführung groß. Dieses liegt nach KIRNBAUER et al. (1996) vor allem in den geologisch-tektonischen Voraussetzungen und der Landschaftsgenese im Einzugsgebiet begründet. So ist vielerorts festzustellen, dass in weiten Bereichen die glazigen übersteilten Hangbereiche nach Rückzug der pleistozänen Gletscher instabil wurden. Dies äußert sich auch derzeit noch in Rutschungen im Locker- und

Festgestein, Felssackungen und Talzuschüben, die neben partiell noch vorhandenen Moränen die wesentlichen Geschiebeherde darstellen.

In Bereichen tiefgründiger Felsauflockerung mit resultierenden schuttreichen Hangpartien ist kein Oberflächenabfluss festzustellen. Im Gegensatz dazu befinden sich in Hangbereichen mit Grundmoräne oder oberflächennah überkonsolidierten Lockergesteinen ausgedehnte Feuchtfächen und Niedermoorbereiche. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Karmulden und flachere Hangbereiche (Abb. 1 und 2).

Die Vegetationsdecke ist charakterisiert durch Fichtenwald, der auf der orographisch rechten Talseite (Nord-West exponiert) bis zur natürlichen Waldgrenze geschlossen ist. Auf der linken Seite (Süd-Ost exponiert) ist der Wald durch Alpnutzung zurück gedrängt. In höheren Lagen beider Talseiten dominiert subalpine Heidevegetation.

Aufgrund eines umfangreichen hydrometrischen und meteorologischen Messnetzes innerhalb des Löhnersbach-Einzugsgebietes, konnte die zeitliche Variabilität und räumliche Heterogenität des Abflussgeschehens in verschiedenen Raumskalen (4 ha bis 16 km<sup>2</sup>) untersucht und verglichen werden. So ist beispielsweise raumskalenübergreifend festzustellen, dass bei unterschiedlichen Gebietszuständen im Allgemeinen zur Niederschlagsverteilung synchrone Abflussimpulse resultieren. Episodisch ist das Abflussgeschehen jedoch komplexer. Dann resultieren in den mikroskaligen Einzugsgebieten bimodale Abflussganglinien, die zum Einen durch zum Niederschlag kovariante, schnelle Abflussreaktionen, und zum Anderen durch eine zeitlich verzögerte Abflussreaktion („nachlaufende Welle“) gekennzeichnet sind (Kirnbauer et al. 2001). Zeitgleich ist dann der abfallende Ast der Abflussganglinie des mesoskaligen Einzugsgebietes des Löhnersbaches durch anhaltende, deutlich erhöhte Abflusswerte gekennzeichnet. Die Koexistenz dieser episodisch auftretenden Abflussreaktionen in unterschiedlichen Raumskalen ist ein Indiz dafür, dass raumskalenübergreifend die gleichen Wasserumsatzräume und Abflussbildungsprozesse hochwasserrelevant sind.

Um Informationen zur zeitlichen und räumlichen Variabilität der hochwasserrelevanten Umsatzräume und deren dominanten Prozesse zu

erhalten, wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche (tracer-) hydrologische Untersuchungen im mikroskaligen Teileinzugsgebiet des Pegel Limbergalm (PL in Abb. 1) durchgeführt (TILCH et al., 2003; KIRNBAUER et al., 2004). Mit Hilfe dieser Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass neben oberflächlichen Umsatzräumen (Feuchtplächen, Felsoberflächen) auch unterirdische Umsatzräume einen bedeutsamen Anteil an der schnellen, niederschlagsynchronen Abflussreaktion haben. Hierbei handelt es sich um Zwischenabflusskomponenten, die (1) im aufgelockerten, makroporigen Hangschutt der steileren Hangbereiche und (2) in der Rohhumusauflage der Standorte mit Zwergstrauch- und Besenheide generiert werden. Deren Anteil am Gesamtabfluss variiert erheblich mit dem Gebietszustand (Gebietsfeuchte) und der Ereignischarakteristik. So ist beispielsweise für den Zwischenabfluss der Rohhumusauflage festgestellt worden, dass diese erst im Zuge von Ereignissen mit hinreichender Niederschlagsdauer und – Intensität einen nennenswerten Beitrag am Gesamtabfluss hat (TILCH et al., 2004).

Ebenso variiert der Abflussanteil des Hangschutts am Gesamtabfluss erheblich, je nach Ankopplung des Hangschutts an das Gerinnenetz und in Abhängigkeit von Gebietszustand und Ereignischarakteristik. So haben beispielsweise Regressionen zwischen ereignisspezifischer Niederschlagssumme und korrespondierenden Abflussvolumen eindeutig gezeigt, dass das generierte Abflussvolumen überproportional zur Niederschlagssumme ansteigt. Dies lässt sich mit einer progressiven Erhöhung des Abflussbeiwertes oder Ausweitung des abflusswirksamen Einzugsgebietes am Schutthang erklären (TILCH et al., 2005; in Begutachtung).

Nach TILCH et al. (2003) konnte für die episodisch auftretende, verzögerte Abflussreaktion (nachlaufende Welle) mit Hilfe der Tracer Deuterium und gelöster Kieselsäure festgestellt werden, dass der generierte Abfluss ausschließlich aus Vorereigniswasser besteht. Deren Herkunfts- und Umsatzraum ist das aufgelockerte Grundgebirge und der tiefere quartäre Hangschutt. Diese Umsatzräume sind auch zusammen mit den Bereichen überkonsolidierter Lockergesteine (z.B. Moräne) für die Basisabflussbildung

und Gebietsretention verantwortlich.

Die Gesamtheit der experimentellen Ergebnisse ermöglichte, zunächst ein Abflussbildungskonzept für das untersuchte mikroskalige Einzugsgebiet des Pegels Limbergalm zu entwerfen. Dieses berücksichtigt oberflächliche und unterirdische hochwasserrelevanter Umsatzräume und Prozesse (Abb. 3).

### **3 Datenbasis und Informationsquellen**

Der Umfang generell verfügbarer und flächendeckender Eingangsdaten und Informationsquellen ist für mesoskalige Einzugsgebiete im Alpenraum begrenzt (Abb. 4). So stehen lediglich (1) ein digitales Geländehöhenmodell (DGM) im 10 m-Raster, (2) eine topographische Karte (TK50) und (3) eine geologische Karte (GK50) zur Verfügung. Für den Bereich Österreichs sind diese Geobasisdaten beim Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) zu beziehen. Dort werden auch weitere flächendeckende und digitale Geodaten zur Verfügung gestellt, deren Flächendetailliertheit jedoch für hydrologische Raumgliederungen mesoskaliger Gebiete unzureichend ist (z.B. Hydrologischer Atlas Österreich, Austrian Map 3d).

Das DGM ermöglicht die Ermittlung von morphographischen Reliefeinheiten (z.B. Scheitel- und Senkenbereichen, Hänge) und Reliefparametern (z.B. Einzugsgebiet, Neigung, Exposition). Mit einer zur Verfügung stehenden Rasterweite von  $10 \times 10 \text{ m}^2$  ist die räumliche Auflösung jedoch besser, als jene der verfügbaren topographischen und geologischen Kartenwerke. Um die Flächendetailliertheit (Geometrien, Flächenanteile) des Dateninputs zu harmonisieren, wurde dieses DGM zu einem 50 m-Raster aggregiert. Dies ist mit einem geringfügigen quantitativen und qualitativen Informationsverlust verbunden. Beispielsweise werden mikrotopographische Anomalien, wie z.B. getreppte Hangtopographie aufgrund flachgründiger Bodenrutschungen oder schmale Schuttrunsen nicht mehr oder unscharf abgebildet. Ferner wird durch die Veränderung der Rasterweite das Relief geglättet, so dass beispielsweise die Hangneigung abnimmt. Aufgrund der sehr langen Hänge erscheint der daraus resultierende Fehler jedoch vertretbar gering.



Das Gewässernetz wurde auf Basis der topographischen Karte im Maßstab 1 : 50.000 (TK50) digitalisiert, ebenso wie sämtliche Festgesteinsklippen und Felsausbisse sowie makroporige Schuttmassen (Grobblockwerk, Schuttrunsen und Blaiken). Die so erzielten Geometrien sind sicherlich aufgrund kartographischer Aspekte im Zuge der Erstellung der Topographischen Karte ungenau, jedoch ist deren Position durchaus realistisch. Dies haben Plausibilitätsprüfungen im Löhnersbach-Einzugsgebiet ergeben. Feucht- und Wasserflächen sind nach der TK50 keine vorhanden, der Flächenanteil versiegelter Bereiche (Siedlungsflächen und sonstige Bauwerke) ist im Löhnersbach-Einzugsgebiet verschwindend gering ( $< 0,1\%$ ) und wird daher vernachlässigt.

Auf Basis der zur Verfügung stehenden, bereichsweise sowohl gedeckten und als auch abgedeckten Geologischen Karte der Republik Österreich im Maßstab 1 : 50.000 (GK50) wurden die lithofaziellen Einheiten Talalluvium (z.B. Sand, Wildbachschutt; Flächenanteil: 3,2 %), Schwemmfächer und Murenkegel (0,6 %), Schuttkegel und Bergsturzblockwerk (1,7 %) sowie verschiedene Moräneneinheiten (u.a. Endmoräne, Grundmoräne, Moräne vermischt mit Hangschutt; 7,7 %) digitalisiert (Abb. 2). Bezüglich der hochwasserrelevanten Umsatzräume des quartären Hangschutts ist jedoch keine flächendeckende Ausweisung möglich. Ferner sind keine Informationen zu unterschiedlichen Litho- und Strukturvarianzen lithofazieller Einheiten enthalten. So kann auf Basis der GK50 lediglich die Einheit Hangschutt mit einem Flächenanteil von 35,5 % ausgewiesen werden. Da jedoch abgesehen von den Klippen und Festgesteinsausbissen (Flächenanteil 0,4 %) das Grundgebirge allorts von Lockergesteinen bedeckt ist, liegen demnach für einen Flächenanteil von 50,9 % keine Informationen zu den quartären Deckschichten vor.

Dieses Informationsdefizit könnte zwar im Bereich des Löhnersbach-Einzugsgebietes mit empirisch erhobenen Spezialkarten geschlossen werden, eine Übertragung auf benachbarte Gebiete wird dadurch jedoch ausgeschlossen.

Diese Spezialkarten sind auch die einzigen Informationsquellen zur Verbreitung der hochwasserrelevanten Umsatzräume „Feuchtfläche“ (Abb. 5:

Feuchtfächenkarte nach PIRKL, 1990) und „Rohhumusaufgabe unter Zwergstrauch- und Besenheide“ (Vegetationskarte nach BURGSTALLER & SCHIFFER, 1993). Um die daran gekoppelten zeitaufwendigen Kartierungen zu umgehen, sollte zukünftig angestrebt werden, diese Umsatzräume auf der Basis von flächendeckenden Fernerkundungsdaten auszuweisen (z.B. VOGT & LENCO, 1995).

Die zum Löhnersbach-Einzugsgebiet vorliegende ingenieurgeologische Karte (PIRKL, 1990) basiert auf einer Kartierung im Maßstab 1 : 10.000. Diese Kartierung wurde durchgeführt, um gebietsspezifische Indizien und Indikatoren hinsichtlich möglicher Naturgefahren (z.B. Massenverlagerungen, Hochwasser) zu erarbeiten. Im Gegensatz zur Zielsetzung der hydrologischen Raumgliederung, durch die eher Bereiche unterschiedlicher Abflussdynamik (z.B. schneller vs. verzögerter Zwischenabfluss) ausgewiesen werden, erfolgt über diese Kartengrundlage eher eine Klassifizierung in Bereiche mit ähnlicher Tiefgründigkeit des Abflusses (z.B. überwiegend Oberflächenabfluss bzw. tiefgründiger Grundwasserabfluss, Abb. 6).

Am Beispiel des Einzugsgebietes des Pegels Limbergalm kann gezeigt werden, dass die Inhalte dieser Raumgliederungskarten lokal nur bedingt zutreffend sind. Dort haben (tracer-)hydrologische Untersuchungen zu dem Ergebnis geführt (Kap. 2), dass aus hydrologischer Sicht für den dort vorhandenen makroporigen Schutthang schnelle Zwischenabflusskomponenten bedeutsam sind, während durch die ingenieurgeologische Karte tiefgründiger Grundwasserabfluss als wesentlicher Prozess ausgewiesen wird.

Es werden durch die ingenieurgeologische Karte jedoch wichtige Zusatzinformation zur Verbesserung und Komplettierung des Prozessverständnisses bereitgestellt.

## **4 Ausweisung hydrogeologischer Homogenbereiche**

### **4.1 Grundgebirge**

Der Einfluss räumlich variabler Trennfugendurchlässigkeit des Grundgebirges (z.B. tiefgründige Störungs- und Kluftzone) auf das

Abflussgeschehen kann auf Basis des bisherigen Kenntnisstandes qualitativ und quantitativ nicht abgeschätzt werden. Mittels tracerhydrologischer Untersuchungen in der hydrologischen Hangskala konnte jedoch festgestellt werden, dass Kluffgrundwässer tiefgründig aufgelockerter Felspartien, vornehmlich der steilen Bergflanken der Kare, zwar einen bedeutsamen Anteil am Grundwasserumsatz haben, jedoch ist der Anteil sehr schneller, hochwasserrelevanter Abflusskomponenten aus diesem Herkunftsraum vernachlässigbar gering. Hingegen haben sich auf Basis dieser Untersuchungen aber auch Hinweise darüber ergeben, dass die Abflusskomponenten der nachlaufenden Wellen sowohl im tieferen Hangschutt, als auch im oberflächennah aufgelockerten Grundgebirge generiert werden. Somit wird das Grundgebirge vereinfacht als hydrogeologische Einheit angesehen, aus deren oberflächennahen Bereichen mit großem Retentionsvermögen Basisabflusskomponenten generiert wird.

#### **4.2 Quartäre Deckschichten**

Für den unterirdischen Wasserumsatz im Löhnersbachgebiet sind vor allem die dem Grundgebirge auflagernden quartären Deckschichten (Moränen, Talfüllungen, Hangsedimente) bedeutsam (TILCH et al., 2003). Ausgedehnte Moränengebiete befinden sich inner- und unterhalb der Kare sowie partiell in flacheren Hangbereichen. Der nutzbare Porenraum und die hydraulische Durchlässigkeit der Moränen sind im Allgemeinen gering. Dies äußert sich in vielerorts vorhandenen Tümpeln und Staunässeböden. Schnelle Abflusskomponenten werden in diesen Bereichen vornehmlich aus auflagernden Feuchtplächen generiert (Sättigungsflächenabfluss der oberen Prozessebene „Oberflächenprozesse“).

Das Talalluvium (z.B. Sand, Wildbachschutt) und die Schwemmfächer beschränken sich im Wesentlichen auf die schmale Talsohle des Löhnersbaches (abgesehen vom mittleren Bereich des Klammgrabens im Osten) und die Mündungsbereiche der Zubringergräben (Abb. 2). Diese werden zu einer hydrogeologischen Einheit zusammengefasst, da beide lithofaziellen Einheiten aus hydrologischer Sicht sowohl vergleichbare

Gebietspositionen nahe des Löhnersbaches, als auch ähnliche Korngefüge und Porositäten, und somit auch ähnliche hydraulische Durchlässigkeiten und Infiltrationsvermögen aufweisen.

Bezüglich der quartären Hangsedimente sind die Informationen der allgemein verfügbaren, flächendeckenden Karten unzureichend. So werden zwar Moränen oder moränengeprägte Lockergesteine flächendetailliert ausgewiesen, jedoch sind nur partiell Informationen zu besonders mächtigen Hangsedimenten enthalten. Eine weitere Differenzierung in verdichtete, überkonsolidierte und locker gelagerte Hangsedimente fehlt. Der ingenieurgeologischen Karte ist jedoch zu entnehmen, dass vor allen in den Bereichen der Karböden und flacherer Hänge verdichtete Hangschuttmassen vorzufinden sind, während locker gelagerter Hangschutt vornehmlich in steileren Hangbereichen vorkommt. Beiden Hangschutt-Einheiten werden auch unterschiedliche dominante Wasserumsatzräume zugewiesen (siehe Kap. 3). So haben tracerhydrologische Untersuchungen gezeigt, dass locker und dicht gelagerter Hangschutt durch unterschiedliche dominante Abflussbildungsprozesse (während oder kurz nach dem Niederschlagsereignis generierter Zwischenabfluss; stark verzögerter, basisabflussbildender Zwischenabfluss) charakterisiert sind. Deshalb ist eine flächendeckende und –detaillierte Unterscheidung der Hangschutteinheiten (I) locker gelagert und (II) dicht gelagert im Rahmen der hydrogeologischen und hydrologischen Raumgliederung wichtig.

Ebenso fehlen flächendeckende Informationen zur Verbreitung der Schuttkegel und Bergsturzblockwerke sowie des Klippenschutts. Auch diesbezüglich haben (tracer-)hydrologische Untersuchungen gezeigt, dass diese Umsatzräume äußerst schnelle Abflusskomponenten generieren und somit bedeutsam für die Hochwasserentstehung sind.

#### 4.2.1 Regionalisierungsverfahren für Hangschutt unterschiedlicher Lagerungsdichte

Um Bereiche mit unterschiedlicher Lagerungsdichte und Porosität des Hangschutts flächendeckend und –detailliert ausweisen zu können, wurde ein einfaches Regionalisierungsverfahren entwickelt. Dieses basiert allein auf

Expertenwissen zur Landschaftsgenese und allgemein verfügbaren Geodaten.

Bezüglich der Landschaftsgenese wird angenommen, dass das Gebiet ursprünglich, abgesehen von den höchsten Erhebungen, vollständig vergletschert war. So ist davon auszugehen, dass nach Rückzug der Gletscher nahezu überall überkonsolidierte Lockergesteine vorhanden waren. Im Zuge der einhergehenden Druckentlastung wurden viele Hänge instabil. Dies äußert sich auch heute noch in rezenten Hang- und Bodenrutschungen, Bergstürzen und Muren. Weiterhin waren unter periglazialen Bedingungen Umlagerungsprozesse der fluvialen Hangabspülung (oberflächlich wie auch subterran), aber vor allem die Solifluktion die dominanten Hangformungs- und Umlagerungsprozesse. Nach BÜDEL (1977) und WEISE (1983) ist in rezenten Periglazialgebieten zu beobachten, dass die Intensitäten der Solifluktion und der fluvialen Umlagerungsprozesse vom Oberhang ausgehend mit zunehmender Hangneigung zunehmen. Ab einem substratabhängigen Grenzwinkel dominieren allerdings durch Schwerkraft bedingte beschleunigte Massenbewegungen, so dass dort keine Substratakkumulation stattfindet. Dieser substratspezifische Grenzwinkel wird maßgeblich durch den Scherwiderstand des Substrats bestimmt. Generell setzt sich dieser Scherwiderstand aus den Variablen Kohäsion und Reibungswiderstand (Scherwinkel bzw. Winkel der inneren Reibung,  $\varphi'$ ) zusammen. Da jedoch angenommen werden kann, dass der hangende Auftauhorizont des Permafrostbodens vollständig wassergesättigt war, ist die Kohäsion zu vernachlässigen. Dies würde bedeuten, dass dort, wo die Hangneigung größer als der Scherwinkel ist, fortwährend Substrat zwar zugeführt, aber auch wieder beschleunigt abgeführt wurde, d.h. keine lokale Ablagerung stattfindet. So ließe sich auch erklären, warum heute in steileren Hangbereichen kein verdichteter (überkonsolidierter) Hangschutt vorzufinden ist. Rezente, locker gelagerte Lockergesteine dieser Hangbereiche wären dann als allochthone Bildungen (fallende oder rollende Materialzufuhr) sowie als autochthone Bildungen zu verstehen.

Um Bereiche mit Hangschutt unterschiedlicher Lagerungsdichte auf der Basis allgemein verfügbarer Geodaten ausweisen zu können, wurde der

substratspezifische Scherwinkel  $\varphi'$ , der dem Hangneigungsgrenzwinkel entspricht, herangezogen. Die im Gebiet vorkommenden quartären Hangsedimente sind überwiegend durch ein matrixgestütztes Gefüge gekennzeichnet. Deshalb ist die im Allgemeinen schwach bindige, lehmig-sandige bis sandig-lehmige Matrix (Abb. 7) für den Scherwinkel maßgebend. Literaturangaben zufolge variiert der Scherwinkel  $\varphi'$  schwach bindiger Böden zwischen  $25^\circ$  und  $27,5^\circ$  (PRINZ, 1982) und für schluffige Sande zwischen  $21^\circ$  und  $33^\circ$  (REUTER et al., 1992). Aufgrund eines mittleren Ton- und Schluffgehaltes wurde für den Hangschutt des Löhnersbachgebietes ein Scherwinkel (Hangneigungswinkel) von  $27^\circ$  angesetzt.

Unter Einbeziehung des ermittelten Scherwinkels wurden entsprechend des hierarchischen Regelwerkes des Regionalisierungsverfahrens (Abb. 8) auf Basis des DGM (50 m-Raster) und der daraus generierten Hangneigungskarte all jene Bereiche ausgewiesen, die eine größere Hangneigung als  $27^\circ$  aufweisen. Dadurch wird postuliert, dass in flacheren Hangbereichen der verdichtete, glazial gebildete oder überprägte Hangschutt noch vorhanden ist.

Ferner sind Scheitelpositionen und Hangbuckel generell als potentielle Erosionslagen zu bewerten, da keine Materialzufuhr von Oben erfolgen kann. Dies erklärt, warum im Löhnersbach-Einzugsgebiet auf den Bergtops, aber auch auf Hangbuckeln locker gelagerter, skelettreicher und makroporiger Hangschutt vorzufinden sind.

Die Lokalisierung dieser Erosionslagen erfolgte, indem auf Basis des DGM (50 m-Raster) rasterbasiert die Fließrichtungen bestimmt wurden, und darauf aufbauend ein Fließakkumulationsgrid generiert wurde. So konnten all jene Zellen identifiziert werden, die kein lokales Einzugsgebiet haben (Zellenzahl der Fließakkumulation = 0).

#### 4.2.2 Regionalisierungsverfahren für Klippenschutt

Über Geländebeobachtungen konnte festgestellt werden, dass makroporiger und nahezu matrixfreier Blockschutt ausschließlich unterhalb von Klippenzonen und Felsausbissen vorzufinden ist. Je nach Hangtopographie handelt es sich dabei um ausgedehnte Blockschutfelder und Schuttrunsen. Diese erstrecken sich häufig bis in den nächsten, talwärtigen Vorfluter. Dies

erklärt auch, warum die Bäche des Löhnersbaches im Hochwasserfall bereits sehr weit oben im Gebiet durch enorme Geschiebeführungen gekennzeichnet sind.

Die flächendetaillierte Ausweisung des Klippenschutts erfolgte mit Hilfe eines GIS unter Verwendung des Fließrichtungsrasters, welches aus dem DGM generiert wurde. So konnten all jene Rasterzellen identifiziert werden, die unterhalb eines Felsausbisses bis zum Gerinnenetz positioniert sind.

#### 4.2.3 Hydrogeologische Raumgliederungskarte

Die auf Basis allgemein verfügbarer Geodaten ausgewiesenen hydrogeologischen Homogenbereiche (Talalluvium inkl. Schwemmfächer/Murenkegel, Moränen) und die mit Hilfe von Expertenwissen generierten synthetischen Karten für die Deckschichteneinheiten Klippenschutt und Hangschutt (verdichtet, locker gelagert) wurden entsprechend eines hierarchischen Entscheidungspfades mit einem GIS überlagert (Abb. 8). Das Ergebnis ist eine hydrogeologische Raumgliederungskarte, über die Bereiche mit ähnlichem Lockergesteinsgefüge und somit vergleichbarer Porosität, relativer hydraulischer Durchlässigkeit und Infiltrationskapazität ausgewiesen werden (Abb. 9).

### **5 Ausweisung von Hydrotopen**

Im Rahmen der Ausweisung von Bereichen mit den gleichen dominanten Abflussbildungsprozessen (Hydrotopen) wurden experimentelle Untersuchungen berücksichtigt (siehe oben), die in einem mikroskaligen Teileinzugsgebiet Informationen zu den hydrologischen bedeutsamen Umsatzräumen und deren dominanten Abflussbildungsprozessen lieferten. Dass die dort identifizierten Umsatzräume und Prozesse auch für das Abflussgeschehen und die Hochwasserentstehung im mesokaligen Einzugsgebiet relevant sind, wird durch skalenübergreifend synchrone Abflussreaktionen bestätigt (TILCH et al., 2005, zur Begutachtung eingereicht).

Um Hydrotope flächendetailliert auszuweisen, wurden die in Abbildung 10 dargestellten räumlichen Informationen im GIS prozessebenenspezifisch nacheinander überlagert. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 dargestellt. Zunächst wurden die Bereiche mit oberflächlichen Abflusskomponenten (obere Prozessebene mit Horton`schen Oberflächenabfluss, Sättigungsflächenabfluss und episodisch schnellen Zwischenabfluss im Rohhumus der Bereiche mit subalpiner Heidevegetation) ausgewiesen. Eine detaillierte Prozessdefinition ist bei UHLENBROOK & LEIBUNDGUT (1997) gegeben. Danach wurden die Hydrotope der mittleren und unteren Prozessebene (Deckschichten- und Grundgebirgsprozesse) entsprechend der hydrogeologischen Raumgliederung zugewiesen. Aufgrund des gleichen dominanten Abflussbildungsprozesses mehrerer hydrogeologischer Homogenbereiche wurden diese zu einem prozessebenenspezifischen Hydrotoptyp zusammengefasst.

Für jeden Standort (Rasterzelle) können aufgrund der Gliederung in Prozessebenen mehrere dominante Abflussbildungsprozesse abgeleitet werden. In Abbildung 12 ist beispielhaft ein idealisiertes Hangprofil mit typischem Deckschichtenaufbau und dominanten Abflussbildungsprozessen (als Speicherkaskade) dargestellt.

## **6 Diskussion**

Die angewendete Methodik zur Ausweisung von hydrogeologischen Homogenbereichen basiert auf für montane Gebiete allgemein verfügbaren Daten und Informationsquellen, die für mesoskalige Einzugsgebiete eine hinreichende Flächendetailliertheit aufweisen. Häufig mangelt es an derartigen Eingangsdaten zur Ausweisung von Homogenbereichen der quartären Hangsedimente, dem bedeutsamen Wasserumsatzraum im Mittel- und Hochgebirge. Deshalb wurde eine Regionalisierungsverfahren entwickelt, mit Hilfe dessen die relative laterale Litho- und Strukturvarianz innerhalb der quartären Hangsedimente qualitativ beschrieben werden kann. Dies ist grundsätzlich auf andere montane Gebiete übertragbar, sofern ein periglazialer, lagiger Deckschichtenbau vernachlässigt werden kann. So haben experimentelle Untersuchungen in anderen Einzugsgebieten ergeben, dass dann lagenspezifisch Zwischenabflusskomponenten mit



unterschiedlicher Abflussdynamik generiert werden. Es wird daher empfohlen, für derartige Einzugsgebiete ein anderes Regionalisierungsverfahren anzuwenden (TILCH et al., 2002). Bei der Anwendung des hier vorgestellten Regionalisierungsverfahrens sollte auch darauf geachtet werden, dass dieses den gebietsspezifischen Lockergesteinstypen angepasst wird, z.B. der lockergesteinsspezifische Scherwinkel zur Ableitung des Hangneigungsgrenzwinkels zur Ausweisung von Bereichen mit überkonsolidiertem und locker gelagertem Hangschutt. Im Gegensatz zu anderen Regionalisierungskonzepten sind spezielle Gebietskenntnisse nicht erforderlich. Das Ziel der mit diesem Ansatz erhaltenen Raumgliederung ist es auch, die dominanten Prozesse für mesoskalige Einzugsgebiete auszuweisen. Um in kleineren Gebieten die dominanten Abflussbildungsprozesse genauer erfassen zu können bieten sich aufwendigere Ansätze wie beispielsweise von SCHERRER & NAEF (2001) an.

Über das entwickelte Regionalisierungsverfahren werden zeitinvariante Hydrotope ausgewiesen. Um die zeitliche Variabilität des dominanten Abflussbildungsprozesses eines Standortes in Abhängigkeit vom Gebietszustand und den Ereigniseigenschaften festzustellen, ist die Einbindung von ereignisabhängigen Daten (Niederschlag, Bodenfeuchte, Grundwasserstand etc.) notwendig. Hierfür eignet sich eine Weiterentwicklung des von PESCHKE et al. (1999) entwickelten wissensbasierten Systems FLAB (Flächen gleicher Abflussbildungsprozesse) als Instrument zur rechnergestützten Bestimmung der Landschaftseinheiten mit gleicher Abflussbildung an.

Für eine Validierung der über das entwickelte Regionalisierungsverfahren erzielten Raumgliederung des Löhnersbach-Einzugsgebietes in Hydrotope fehlen unabhängige Vergleichsdaten. Für jene des Deckschichtenbaus (mittlere Prozessebene, Abb. 9) kann allerdings die Plausibilität geprüft werden, in dem die Ausstrichbereiche einzelner Einheiten der quartären Deckschichten mit jenen der ingenieurgeologischen Kartierung verglichen werden. Am Beispiel des Löhnersbachgebietes kann gezeigt werden, dass sowohl die Verbreitungsmuster einzelner Deckschichtenareale in vielen

Bereichen (Abb. 9 und 13), als auch deren Flächenanteile (Tab. 1) gut übereinstimmen. Jedoch ist festzustellen, dass partiell, überwiegend rechtsseitig des Löhnersbaches, die Flächenanteile nicht so gut übereinstimmen. Dies kann einerseits in der Zielsetzung der Kartierung begründet sein. Andererseits ist es möglich, dass im Rahmen des Regionalisierungsverfahren süd- und nordexponierte Hänge durch unterschiedliche Hanggefälle und dominante Hangentwicklungsprozesse und somit durch unterschiedliche Lockergesteinssubstrate und –Profile gekennzeichnet sind. Jedoch sind die in der Vergangenheit in unterschiedlichen Landschaftsräumen hierzu erzielten Befunde und daraus abgeleitete Erkenntnisse sehr widersprüchlich (z.B. BÜDEL, 1977). So konnten im Löhnersbach-Einzugsgebiet keine hangexpositionsabhängigen und allgemeingültigen Hanggefälle-, Substrat- und Mächtigkeitsunterschiede festgestellt werden. Die unterschiedliche Bewertung, Interpretation und Zuordnung der Deckschichten im Zuge der Datenerhebung mag in der unterschiedlichen Zielsetzung begründet sein (siehe Kap. 3).

## **7 Schlussfolgerungen**

Es wurde ein Regionalisierungswerkzeug für die Abschätzung der Beschaffenheit und Verbreitung von hydrogeologischen Homogenbereichen der quartären Deckschichten entwickelt, da dieser häufig ein hochwasserrelevanter, unterirdischer Wasserherkunftsraum und –umsatzraum in montanen Gebieten ist. Im Rahmen dieses Regionalisierungsverfahrens wird sich ausschließlich auf allgemein verfügbare Daten und auf die Hanggenese gestützt. Stellvertretend für die Hanggenese ging hierbei die hangneigungs- und hangpositionsabhängige Varianz der dominanten Hangentwicklungsprozesse und die daraus abgeleitete Verbreitung von Deckschichten unterschiedlicher Lagerungsdichte ein. Neben der Verbreitung geologisch-lithologischer Einheiten hat die Topographie und somit das zur Verfügung stehende digitale Höhenmodell die zentrale Bedeutung für das vorgestellte Regionalisierungsverfahren. Aufgrund der generellen Verfügbarkeit dieser Eingangsdaten ist das Verfahren auf andere Regionen übertragbar, wenn diese von einer vergleichbaren Hanggenese geprägt sind.

Die Ausweisung von Hydrotopen erfolgte ebenenspezifisch nach Oberflächenprozessen (obere Prozessebene), Deckschichtenprozessen (mittlere Prozessebene) und Grundgebirgsprozessen (untere Prozessebene). Für die obere Prozessebene war es im Fall des Löhnersbach-Einzugsgebietes erforderlich, empirisch erhobene Karten zur flächendetaillierten Ausweisung der Hydrotope „Feuchthfläche“ (Sättigungsflächenabfluss) und „Rohhumusaufgabe im Bereich der subalpinen Heidevegetation“ (episodisch schneller Zwischenabfluss) heranzuziehen. Diese Informationen auf der Basis von allgemein verfügbaren Fernerkundungsdaten zu erhalten, ist aktueller Forschungsgegenstand ( z.B. PIETRONIRO & PROWSE, 2002; SCHULZ et al., 2003; WOLSKI, 1998). Im Gegensatz zur oberen Prozessebene wurden für eine Zuweisung der dominanten Abflussbildungsprozesse in der mittleren und unteren Prozessebene bodenphysikalische Kennwerte (aus der Literatur oder auf Felduntersuchungen basierend) und experimentelle Ergebnisse einbezogen. Grundvoraussetzung für eine verbesserte prozessorientierte Niederschlag-Abfluss-Modellierung sowie Stoffhaushalts- und ökologische Untersuchungen ist die Kenntnis der räumlichen und zeitlichen Verteilung von verschiedenen Abflussbildungsprozessen, da diese neben der abfließenden Wassermenge auch die hydrochemische Zusammensetzung bestimmen. Dafür können für mesoskalige Gebiete entwickelte hydrologische Raumgliederungsverfahren eine gute Grundlage bieten (UHLENBROOK et al., 2003).

#### Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Verbundforschungsprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft „Bestimmung von Abflussbildungsprozessen und prozessorientierte Einzugsgebietsmodellierung (Förderungsnummer: Le 698/12-1 und ME 18844/1-3).

## Literatur

BECKER, A. (1992): Methodische Aspekte der Regionalisierung. In: DFG (1992): Regionalisierung hydrologischer Parameter, VCH-Verlag:16-33; Weinheim.

BÜDEL, J. (1977): Klima-Geomorphologie.- 304 S.; Stuttgart.

BURGSTALLER, B. & SCHIFFER, R. (1993): Kartierung der aktuellen Vegetation im Löhnersbachgraben.- Thematische Karte, ARGE Pflanzensoziologie – Ökologie, Salzburg. [unveröff.]

BUTTLE, J.M. (1994): Isotope Hydrograph Separations and rapid Delivery of Pre-event Water from Drainage Basins.- Progr. in Phys. Geogr., 18:16-41.

FLÜGEL, W.A. (1995): Delineating hydrological response units by geographical information system analyses for regional hydrological modelling using PRMS/MMS in the drainage basin of the river Bröl, Germany. In: Scale issues in hydrological modelling (Hrsg. KALMA, J.D. & SIVAPALAN, M.).- Advances in hydrological processes: 179-194; John Wiley & Sons, Chichester, England.

KIRNBAUER, R., PIRKL, H., HAAS, P. & STEIDL, R. (1996): Abflussmechanismen - Beobachtung und Modellierung. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 48, H. ½ Format:15-26.

KIRNBAUER, R., TILCH, N., MARKART, G., ZILLGENS, B., KOHLBECK, F., LEROCH, K., SEIDLER CH., HAAS, P., UHLENBROOK, S., DIDSZUN, J., LEIBUNDGUT, CH., MERZ, B., CHWATAL, W. & FÜRST, J. (2004): Hochwasserentstehung in der Nördlichen Grauwackenzone der Alpen - Feldforschungen und mathematische Modellierung.- 10. Internationales Symposium INTERPRAEVENT (Riva/Trient): The defence of populated territories from flooding, debris flows, avalanches and slope movements, Bd. 2: 45-56.

MARKART, G. & KOHL, B. (1993): Physikalische Charakteristika der Böden im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach / Saalbach. - Bericht im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft für Angewandte Pflanzensoziologie und Ökologie. [unveröff.]

MARKART, G. & KOHL, B. (1995): Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluss- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten.- Bericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien an das Bundesministerium für land- und Forstwirtschaft, 89/1995.

MEHLHORN J. (1998): Tracerhydrologische Ansätze in der Niederschlags-Abfluss-Modellierung.- Freiburger Schriften zur Hydrologie, 8: 148 S.; Freiburg.

PESCKE, G., ETZENBERG, C., MÜLLER, G., TÖPFER, J. & ZIMMERMANN, S. (1999): Das wissensbasierte System FLAB – ein Instrument zur rechnergestützten Bestimmung von Landschaftseinheiten mit gleicher Abflussbildung.- IHI-Schriften, 10:122 S.

PIETRONIRO, A. & PROWSE, T.D. (2002): Applications of remote sensing in hydrology, Hydrol. Process., 16, 1537-1541.

PIRKL, H. (1990): Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen Hanginstabilitäten und -labilitäten, Hangwasserhaushalt und Massenbewegungen in Teilen des Zentralalpenkristallins. Jahresbericht 2.Phase.-Bericht Geol. Bundesanstalt/ÖAW, Wien. [unveröff.]

PRINZ, H. (1982): Abriß der Ingenieurgeologie.- V.-Enke Verlag: 419 S., 252 Abb., 50 Tab., Stuttgart.

REUTER, F., KLENGEL, K.J. & PAŠEK, J. (1992): Ingenieurgeologie.- Deutscher V. für Grundstoffindustrie GmbH: 603 S., 353 Abb., 181 Tab., Leipzig, Stuttgart.

RICHTER, G. & SIEGEL, B. (2002): Vorbeugender Hochwasserschutz – eine Aufgabe der Raumordnung.- Wasser & Boden, 54: 47-51.

SCHERRER, S. & NAEF, F. (2001): A decision scheme to identify dominant flow processes at the plot-scale for the evaluation of contributing areas at the catchment scale.- Tagungsband des Int. Workshops 'Runoff generation and implications of river basin modelling' (Hrsg. LEIBUNDGUT CH., UHLENBROOK S., MCDONNELL J.), Freiburger Schriften zur Hydrologie, 13: 11-61.

SCHULZ, W., MERKEL, U., DEMUTH, N., BACH, H. APPEL, FL, LUDWIG, R., LÖW, A., MAUSER, W. (2003): Das Projekt InFerno. Die Integration von Fernerkundungsdaten in operationelle Wasserhaushalts- und Hochwasservorhersagemodelle. Tagungsband zum Tag der Hydrologie, 20–21 März 2003, Kleeberg (Hsrg): Klima-Wasser-Flussgebietsmanagement – Im Lichte der Flut.- Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Bd. 1: 225-233.

SKLASH, M.G. & FARVOLDEN, R.N. (1979): The role of groundwater in storm runoff.- J. Hydrol., 43:45-65.

TILCH, N., UHLENBROOK, S., DIDSZUN, J., LEIBUNDGUT, CH., ZILLGENS B., KIRNBAUER R. & MERZ B. (2003): Entschlüsselung von Abflussbildungsprozessen mit Hilfe tracerhydrologischer Ansätze in einem alpinen Einzugsgebiet.- Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. Heft 1/2, 55 Jahrgang, 9-17.

TILCH, N, UHLENBROOK, S. & LEIBUNDGUT, CH. (2002): Regionalisierungsverfahren zur Ausweisung von Hydrotopen in von periglazialem Hangschutt geprägten Gebieten.- Grundwasser, H.4/02, 206-

TILCH, N., UHLENBROOK, S., DIDSZUN, J., ZILLGENS, B., KIRNBAUER, R. & MARKART, G. (2004): Hochwasserrelevante Wasserumsatzräume und hydrologische Prozesse im Löhnersbacheinzugsgebiet (Kitzbüheler Alpen, Österreich).- Tagungsband zum Tag der Hydrologie, 22. – 23. März; Kleeberg (Hsrg.): Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten.- Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Bd. 2: 85-89.

TILCH, N., UHLENBROOK, S. & LEIBUNDGUT, CH. (2004): GIS-gestütztes Regionalisierungsverfahren zur Ausweisung dominanter Abflussbildungsprozesse in mesoskaligen Einzugsgebieten.- Tagungsband zum Tag der Hydrologie, 22. – 23. März; Kleeberg (Hsrg.): Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten.- Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Bd. 2: 79-83.

TILCH, N., UHLENBROOK, S., DIDSZUN, J., WENNINGER, J., KIRNBAUER, R., ZILLGENS, B. & LEIBUNDGUT, CH. (2005): Hydrologische Prozessforschung im Löhnersbacheinzugsgebiet (Kitzbüheler Alpen, Österreich).- Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. [zur Begutachtung eingereicht]

UHLENBROOK, S. & LEIBUNDGUT, CH. (1997): Abflussbildung bei Hochwasser in verschiedenen Raumskalen.- Wasser & Boden, 49(9):13-22; Berlin.

UHLENBROOK, S. (2003): An empirical approach for delineating spatial units with the same dominating runoff generation processes. Physics and Chemistry of the Earth, 28 (6-7): 297-303.

UHLENBROOK, S., ROSER, S., AND TILCH, N. (2003): Hydrological process representation at the meso-scale: The potential of a distributed, conceptual catchment model. J. Hydrol., 291:278-296.

VOGT, T. & LENCO, M. (1995): Wetland Mapping and monitoring on the Rhine Alluvial Plain (Alsace, France) with Landsat TM.- *Sistema Terra*, 4(3):75-78.

WALDENMEYER, G. & CASPER, M. (2001): Identification of hydrotopes in a small forested catchment (Dürreych, Black Forest, Germany).- Tagungsband des Int. Workshops 'Runoff generation and implications of river basin modelling' (Hrsg. LEIBUNDGUT CH., UHLENBROOK S., MCDONNELL J.), *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, 13:104-110; Freiburg.

WEISE, O.R. (1983): *Das Periglazial*.- 199 S., 97 Abb., 6 Tab.; Stuttgart.

WOLSKI, P. (1998): Remote Sensing, Land Use and Hydrotopes in Western Povince, Zambio. Elements of a Groundwater Study. *Phys. Chem. Earth*, 23(4):479-484.



Anschrift der VerfasserIn: Dr. Nils TILCH, Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, A-1031 Wien. E-Mail: [ntilch@geolba.ac.at](mailto:ntilch@geolba.ac.at); Dr. Stefan UHLENBROOK, und Prof. Dr. LEIBUNDGUT, Institut für Hydrologie, Universität Freiburg, Fahrenbergplatz, D-79098 Freiburg i. Br., Deutschland; Dr. Birgit ZILLGENS und Dr. Bruno MERZ, Geoforschungszentrum Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam, Deutschland; Dr. Robert KIRNBAUER, Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13/223, A-1040 Wien

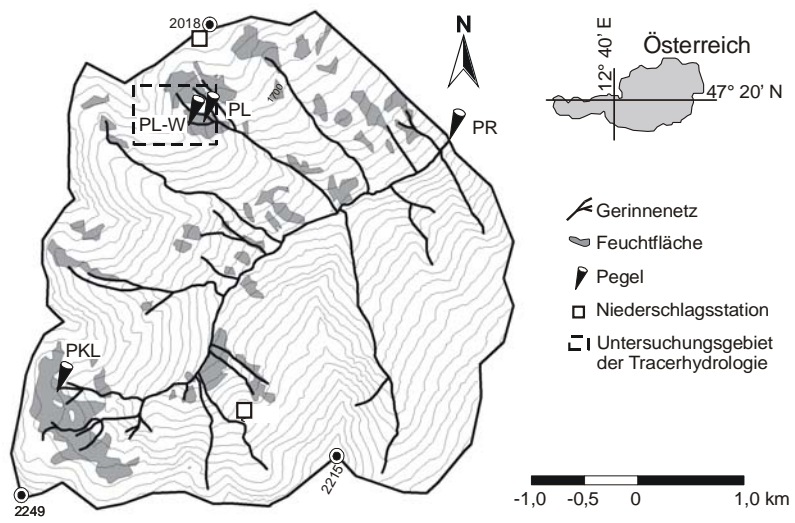


Abb. 1

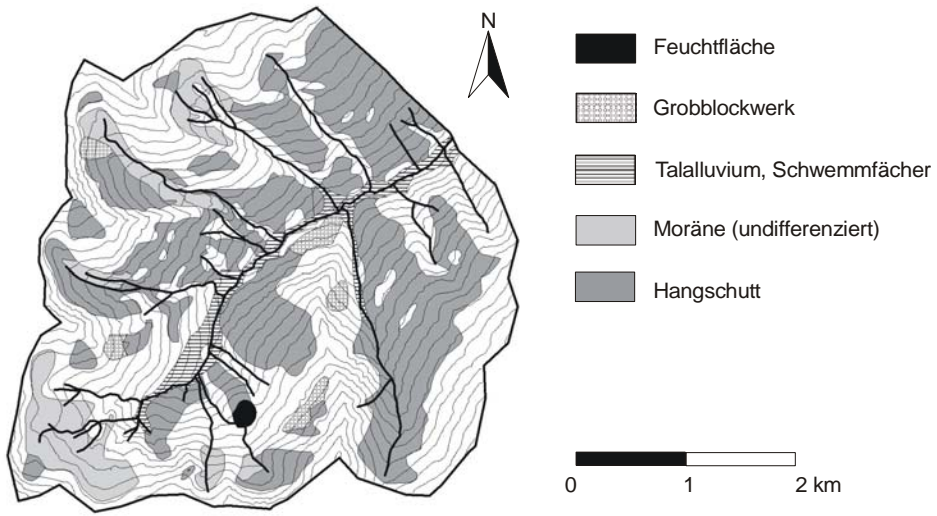


Abb. 2

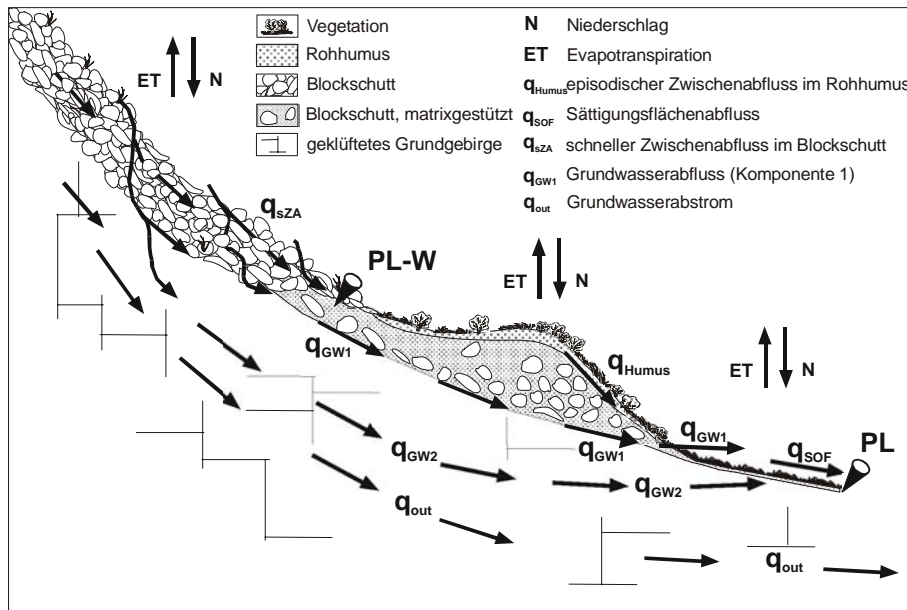


Abb. 3

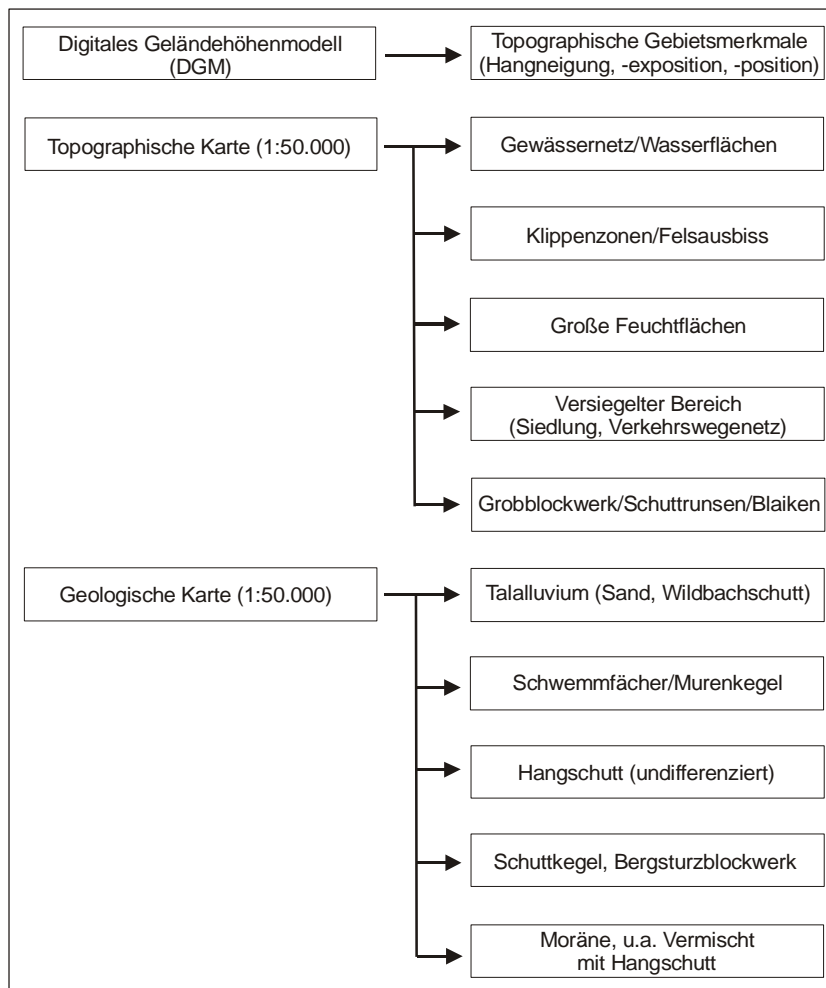


Abb. 4

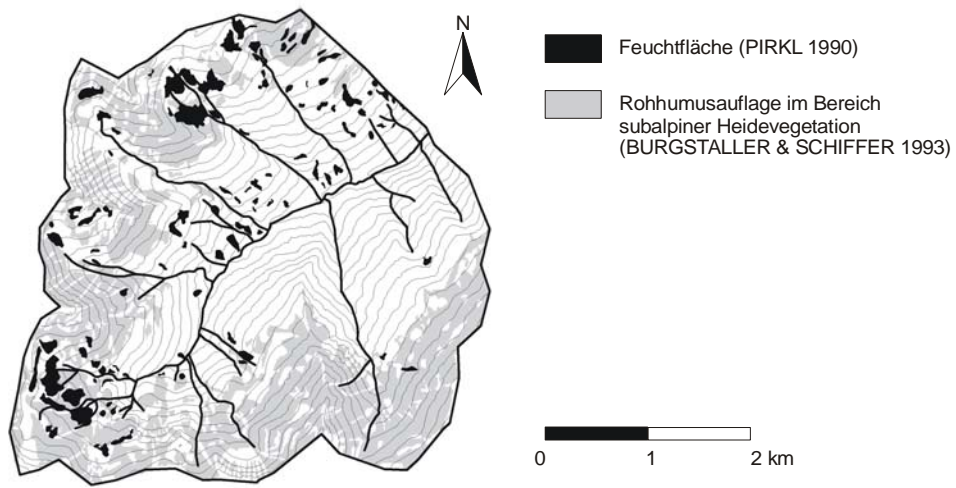


Abb. 5

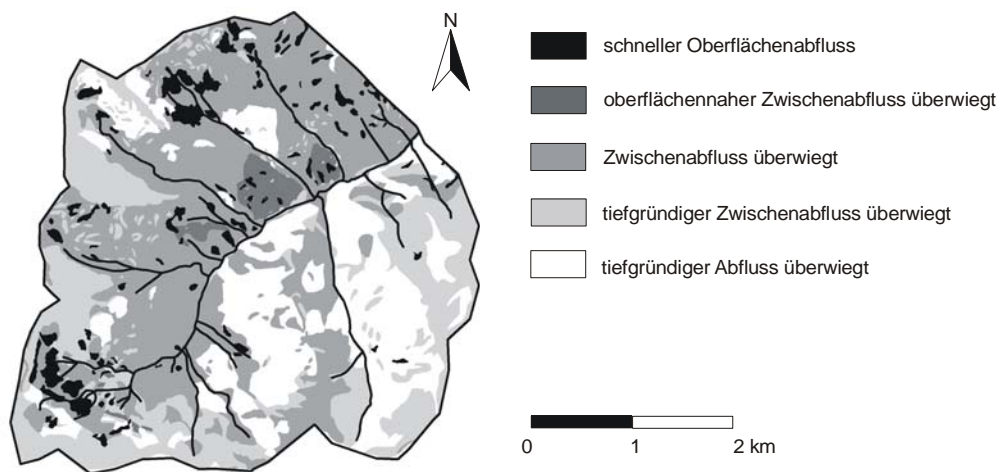


Abb. 6

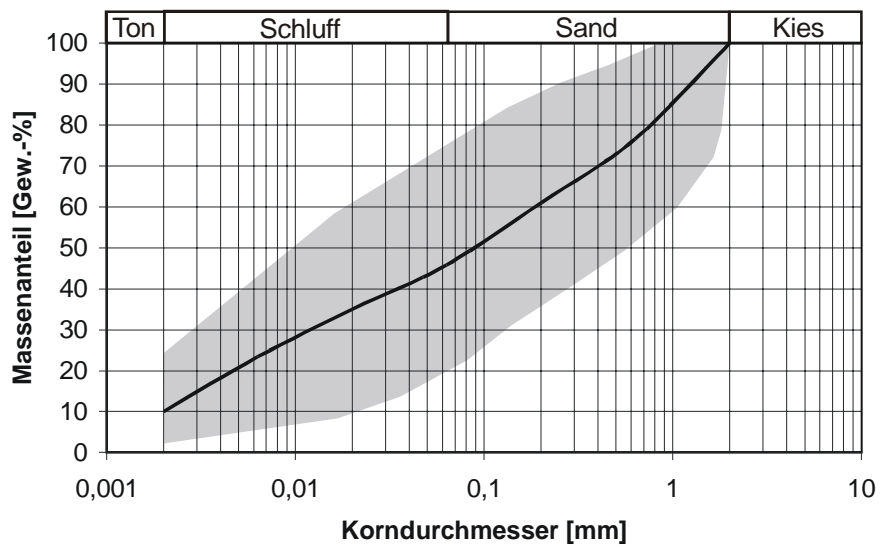


Abb. 7



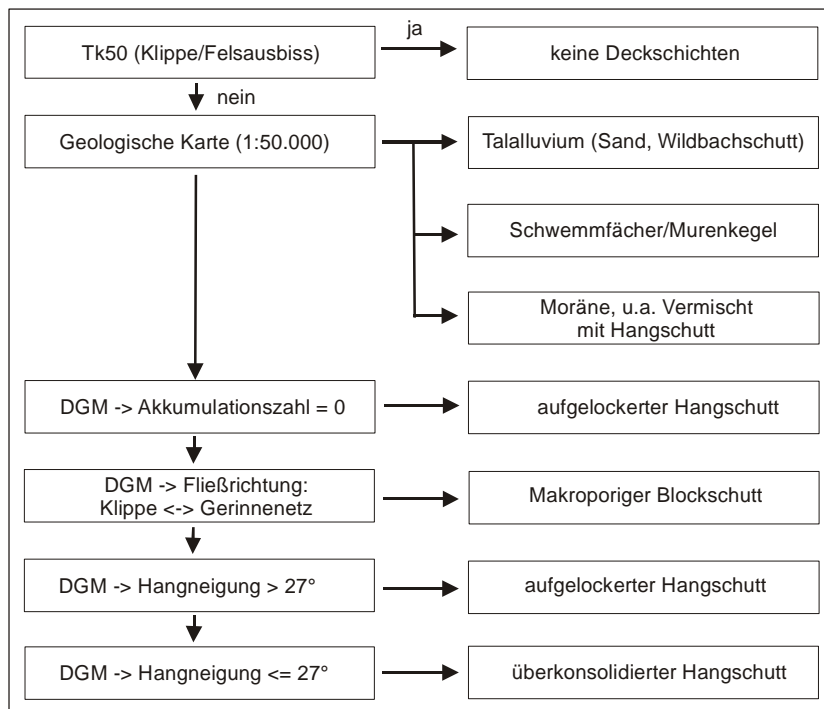


Abb. 8

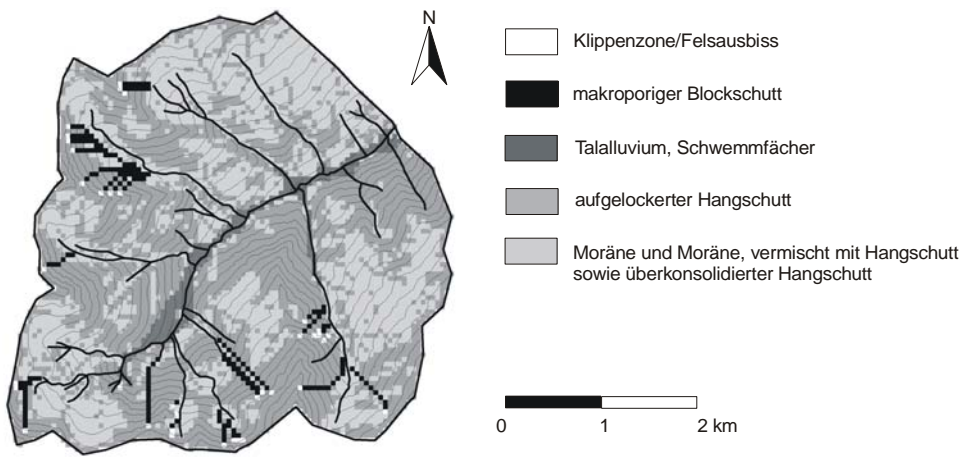


Abb. 9

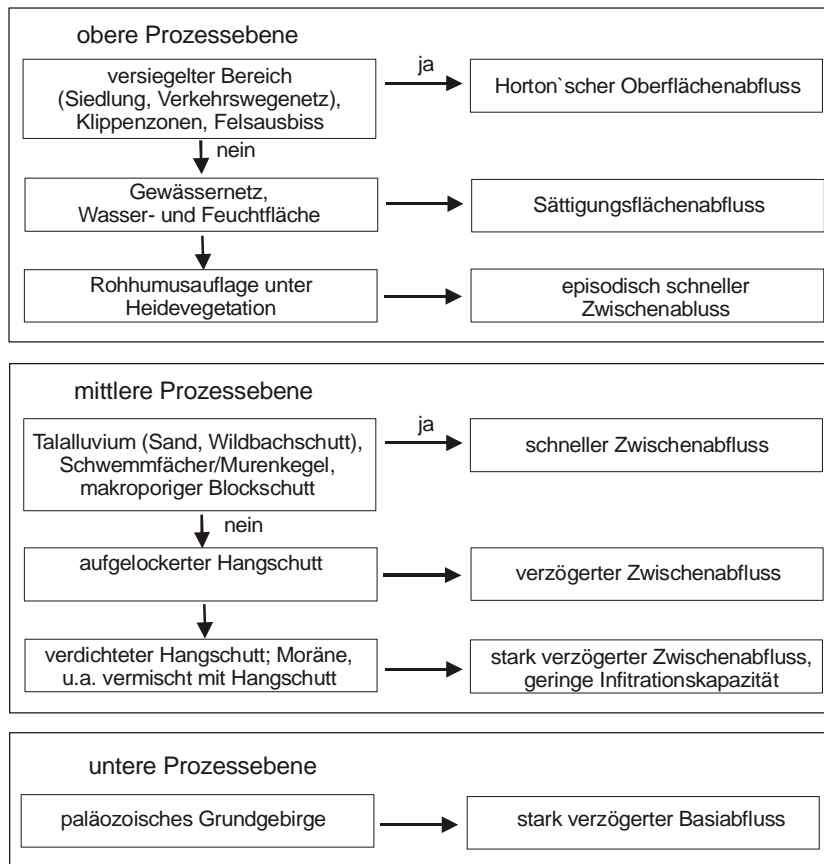


Abb. 10

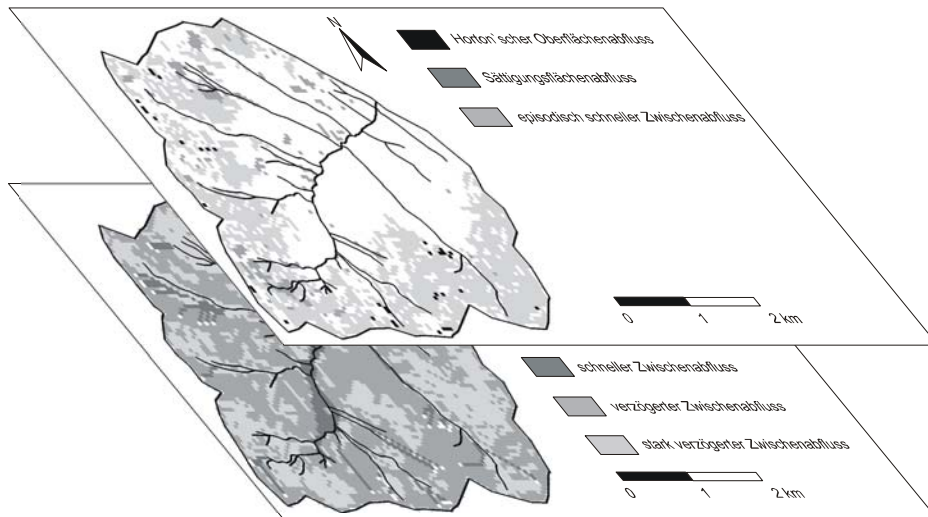


Abb. 11

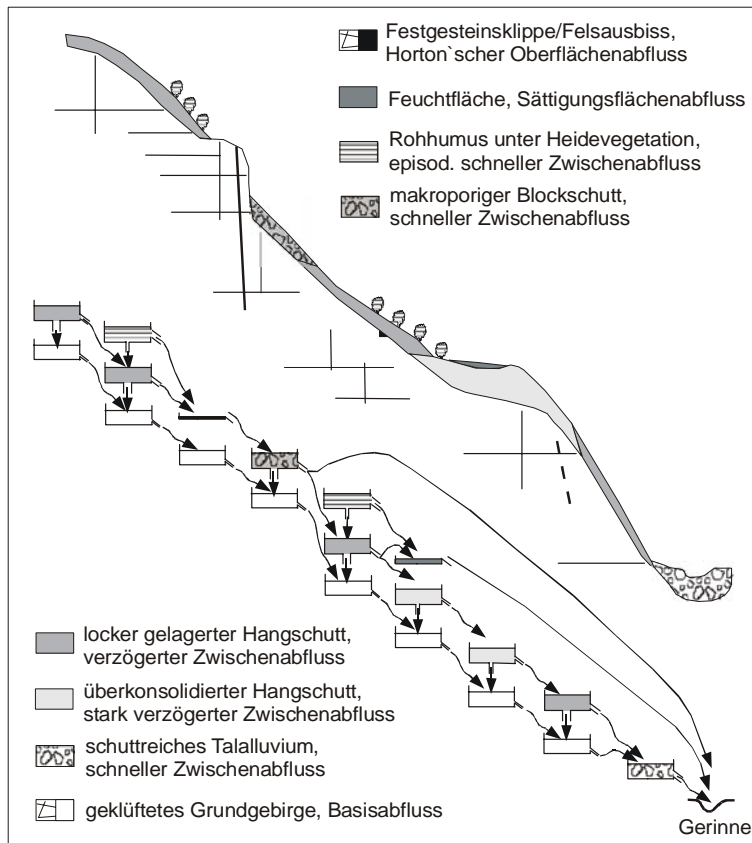


Abb. 12

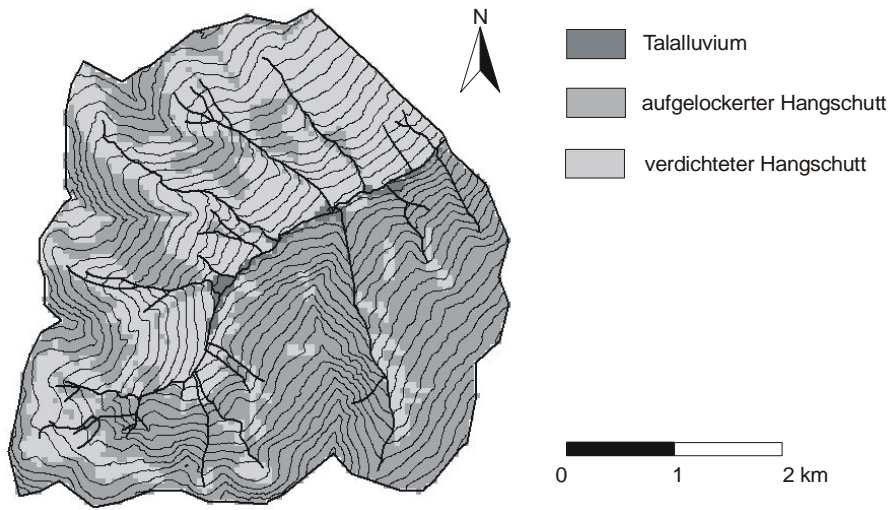


Abb. 13

	Empirischer Flächenanteil [%] (PIRKL 1990)	Objektiver Flächenanteil [%]
Talalluvium	1,5	3,9
Hangschutt, verdichtet	39,0	41,2
Hangschutt, aufgelockert	59,5	51,6
Klippenschutt	n.v. * <sup>1</sup>	2,8
Klippen	n.v. * <sup>1</sup>	0,6

\*<sup>1</sup> nicht vorhanden

Tab. 1

Abb. 1: Lage des Löhnersbach-Einzugsgebietes mit Gerinnenetz, Feuchtflächen (maximale Ausdehnung im Frühjahr) und Messstationen (TILCH et al., 2004).

Abb. 2: Geologie der Deckschichten und Feuchtflächen des Löhnersbach-Einzugsgebietes (Datengrundlage: Geologische Karte der Republik Österreich, 123 Zell am See im Maßstab 1:50000).

Abb. 3: Schematisches Hangquerprofil mit allen für die Hochwasserentstehung wichtigen Abflusskomponenten (als Pfeile dargestellt) und Umsatzräumen im mikroskaligen Einzugsgebiet des Pegels Limbergalm (TILCH et al., 2003, verändert).

Abb. 4: Für die Nördliche Grauwackenzone der Alpen generell verfügbare und flächendetaillierte Geobasisdaten des österreichischen Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen sowie ableitbare Geofaktoren zur Identifizierung und Ableitung von hydrologischen Homogenbereichen.

Abb. 5: Verbreitung der Einheiten „Rohhumusaufgabe im Bereich der Zwergstrauch- und Besenheide“ und „Feuchtflächen“ entsprechend der im Löhnersbachgebiet flächendeckend zur Verfügung stehenden Spezialkarten (Feuchtflächenkarte nach PIRKL (1990), Vegetationskarte nach BURGSTALLER & SCHIFFER (1993)).

Abb. 6: Hydrogeologische Karte (PIRKL, 1990) des Löhnersbachgebietes, die im Zuge einer ingenieurgeologischen Kartierung erstellt wurde.

Abb. 7: Mittlere Korngrößenverteilung ( $n = 250$ ) und Streubereich der Einzelwerte (grau) der Gesteinsmatrix des Hangschutts im Löhnersbach-Einzugsgebiet (Daten nach Markart & Kohl (1993)).



Abb. 8: Hierarchischer Entscheidungspfad des Regionalisierungsverfahrens zur flächendetaillierten, rasterbasierten Ausweisung quartärer Deckschichteneinheiten auf der Basis von Expertenwissen und allgemein verfügbaren Daten.

Abb. 9: Verbreitung quartärer Deckschichteneinheiten im Löhnersbach-Einzugsgebiet, auf der Basis von Expertenwissen und allgemein verfügbarer Geodaten abgeleitet.

Abb. 10: Schematisierte Darstellung der prozessebenenspezifischen Vorgehensweise bei der Ausweisung von Hydrotopen.

Abb. 11: Prozessebenenspezifische Raumgliederung aufgrund der dominanten Abflussbildungsprozesse (Hydrotope) im Löhnersbach-Einzugsgebiet. Die untere Prozessebene ist nicht abgebildet, da im gesamten Gebiet nur ein dominanter Prozess ausgewiesen wird (stark verzögerter Basisabfluss).

Abb. 12: Auf Basis des Regionalisierungsverfahren abgeleitetes, schematisiertes Hangprofil der Deckschichten (oben) und Speicherkaskade mit prozessebenenspezifischen Abflussbildungsprozessen.

Abb. 13: Empirische Karte der quartären Deckschichten im Löhnersbach-Einzugsgebiet, basierend auf einer ingenieurgeologischen Kartierung (PIRKL, 1990).

Tab. 1: Vergleich der über die Felderkundung (PIRKL, 1990) und das entwickelte Regionalisierungsverfahren abgeleiteten empirischen bzw. objektiven Flächenanteile verschiedener Lockergesteinseinheiten.