

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 113-128, 3 Abb., 3 Tab.
Halle (Saale), Mai 2011

Hochwasser und Murgänge in kleinen alpinen Einzugsgebieten – Bedingungen, Ereignisdatenzusammenhang und menschliche „Ohnmacht“

Guntmar Fleischer*

Fleischer, G. (2011): Hochwasser und Murgänge in kleinen alpinen Einzugsgebieten – Bedingungen, Ereignisdatenzusammenhang und menschliche „Ohnmacht“. [Floods and debris flows in small alpine catchments – terms, compilation of event-data and human "powerlessness".] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 113-128, Halle (Saale).

Kurzfassung: Die zugrunde liegende Untersuchung befasst sich mit Hochwassern und Muren als geomorphologische Prozesse im Hochgebirge, insbesondere was deren Auftreten und Genese in kleinen alpinen Einzugsgebieten anbelangt, im Allgemeinen sowie der Möglichkeit einer geordneten Zusammenschau von Ereignis- und Prozessdaten im Ostalpenraum ab Beginn des 20. Jahrhunderts im Besonderen. Darin eingeschlossen ist eine Betrachtung der tatsächlichen ‚Ohnmacht‘ des im Gebirge siedelnden Menschen hinsichtlich seiner eigenen negativ empfundenen Betroffenheit durch derartige Naturgewalten.

Abstract: The study deals with floods and debris flows as geomorphologic processes in high mountain ranges, especially their appearance and genesis in small alpine catchments. Included is a consideration of the possible organized synopsis of event and process data in the area of Eastern Alps since the beginning of the 20th Century. Additionally, the real ‘powerlessness’ risks of settling people in such regions concerning their negatively sensed consternation for such natural disasters, is discussed.

Schlüsselwörter: Hochwasser, Hochwasserklassifizierung, Muren, kleine Einzugsgebiete, human induzierte Gefahr, Datensammlung

Keywords: flood, flood classification, debris flows, small catchments, human induced risk, data compilation

* Anschrift des Autors:

Guntmar Fleischer (g.fleischer@hotmail.de), Schillerstraße 7, D-07987 Mohlsdorf.

1. Einleitung

„Kaum eine andere Naturgewalt vernichtet so viele volkswirtschaftliche Werte; kaum gibt es einen sprechenderen Ausdruck für das Zerstörungswerk im Gebirge als die Wildwasser“ (Denck, 1912: 34).

So war es früher – und so ist es heute. Hydrologisch bedingte Prozessabläufe nehmen seit jeher den ersten Platz bei der Gefährdung menschlichen Hab und Guts durch Naturgewalten ein (Dyck & Peschke 1995: 430, Plate et al. 1993: 10), was insbesondere auf Hochgebirge, jene mit hoher Reliefenergie und dem bekannten Potential niederschlagsfördernder Wirkung ausgestatteten Lebensräume, zutrifft. Hier offenbaren derartige Geschehnisse in der Regel eminent bemerkenswertere Magnituden und Intensitäten als im flacheren Land (Oberndorfer et al. 2007: 2, Fliri 1975: 38), zumal sich das Wasser infolge reger Verwitterungstätigkeit und damit verbundener fortlaufender Bereitstellung mobilen Feststoffmaterials in vielfältiger Weise zusätzlicher Waffen zu bedienen vermag (Matznetter 1958: 67f). Dabei ist das prinzipielle Auftreten derartiger Prozesse dort nichts Außergewöhnliches, ja sogar etwas völlig Normales im verzahnten Regelkreis der Natur (Wasserkreislauf, Gebirgsabtrag). Unter diesem Aspekt bzw. in dieser Schnittstelle sind auch Hochwasser, als eine noch genauer zu definierende Erscheinungsform des Abflusses, sowie Muren, als Übergangsform zwischen fluvialen Austrag und Massenbewegungen, zu sehen. Ihr episodisches und unberechenbares Auftreten aber verbreitet seit Menschengedenken Furcht und Schrecken vor diesen empfundenen „Exzesse[n] der Natur“ (Gutknecht 1994: 56). Ihr Übriges schaffen in heutiger Zeit die Medien, die uns immer wieder mit Schreckensmeldungen über derartige Ereignisse konfrontieren und nicht selten dabei ein Gefühl ausgelieferter Ohnmacht demgegenüber vermitteln.

2. Hochwasser

Hochwasser repräsentieren im rein quantitativen Sinne einen messbaren Wasserstandsanstieg bzw. einen zeitlich begrenzten Wasserstand, der gegenüber den vorherigen und nachfolgenden (üblichen) Werten messbar erhöht ist (z.B. in Abflussvolumen oder Abflusshöhe). Da sich die

zugrunde liegende Arbeit vornehmlich mit natürlichen, in der Hauptsache fluvial gebundenen Hochwassern meist kleinerer Einzugsgebiete im alpinen Gebirgsraum befasst, soll diese abstrakte Definition noch um eine rein hydrologisch-geomorphologische ergänzt werden: Demnach können Hochwasser als „durch die Speichereigenschaften des Einzugsgebiets transformierter Niederschlag“ (Patt 2001: 11) angesehen werden, der aufgrund seiner individuellen Erscheinungsweise eine besondere Betrachtung verdient. Dabei soll darauf hingewiesen werden, dass diese letzte begriffliche Festsetzung in ihrer Validität weitgehend auf den Fokus der als Gegenstand geäußerten Objekte bestimmter Art im Gebirge (s.o.) beschränkt ist. Für andere Ereignistypen, z.B. marine Hochwasser oder solche infolge von Vulkanausbrüchen, darauf soll hier mit Nachdruck hingewiesen sein, ist diese ‚Definition‘ nicht zutreffend!

Generell sind die betrachteten Hochwasser (in der Regel kurzzeitige) Ereignisse des hydrologischen Kreislaufs, die dominiert werden von intensivem Oberflächenabfluss (Ostrowski & Leichtfuß 1996: 24). Ihnen ist dabei eigen, dass sie, im Gegensatz zu anderen elementaren Naturereignissen (teils auch begrifflich gekoppelt als ‚Elementarereignisse‘ bezeichnet, vgl. z.B. Matznetter 1958: 67ff, Fink 1986: 24), nicht nur lokal Wirksamkeit, sondern durch den mobilen Charakter flüssigen Wassers über weite Teile der Erdoberfläche hin Auswirkungen zeigen können (Matznetter 1958: 75).

2.1 Möglichkeiten des Zustandekommens von Hochwasser

Dem Umstand Tribut zollend, dass die fachliterarische Einteilung von Hochwassern hinsichtlich ihres genetischen Zustandekommens bisweilen abenteuerlich abstrus, mitunter gar widersprüchlich ist (vgl. z.B. Patt 2001: 6, Engel 1990: 6, Ostrowski & Leichtfuß 1996: 23, Dyck & Peschke 1995: 431, Kron 2006: 124, Rudolf & Simmer 2006: 263), soll hier eine eigene Übersicht mitgeliefert werden, welchen differenzierten Möglichkeiten die betrachteten Hochwasser im alpinen Raum ihr Zustandekommen potentiell verdanken können.

Die Übersicht gliedert sich zweckmäßig in einen rein genetischen Teil und einen mit konkreten Lokalbezügen, die unabhängig voneinander zu konsultieren sind (Tab. 1).

Möglichkeiten des Zustandekommens von Hochwasser	
<i>rein genetische Betrachtung ohne Lokalbezug</i>	<i>lokal-genetische Betrachtung</i>
<ul style="list-style-type: none"> ● ereignisbezogen (Niederschlag) <ul style="list-style-type: none"> - infolge langanhaltenden Niederschlags - infolge kurzen, aber heftigen Starkniederschlags - kombiniert (auch orographischer Stau) ● ereignisbezogen (Schwall), z.B. durch <ul style="list-style-type: none"> - Stürze und Rutschungen in größere Gewässer - abrupte Damm- bzw. Ausbrüche ● infolge ablativer Prozesse (Strahlung, warmer Niederschlag) ● infolge Dämmung <ul style="list-style-type: none"> - Dämmwirkung allochthon induziert (z.B. keine Schwallwirkung induzierende Rutschung in einen Gewässerlauf) - autochthone Dämmung (z.B. Eisstau) - kombiniert (Verklauung) ● Überlaufereignisse (Becken, Seen) ● Wasserspiegelanstiege (Grundwasser / größere Gewässer) ● anthropogen <ul style="list-style-type: none"> - Bauwerks- oder Anlagenversagen (z.B. nicht ereignisbedingter Stauanlagenbruch, Leitungsversagen) - nutzungsbedingt (z.B. durch Speicherdegradation im Einzugsgebiet) ● kombinierte Ereignisse, z.B. Dammbruch infolge heftigen Niederschlags oder Verklauung an zu eng bemessenen Bauwerken; geogen induzierter Rohrbruch 	<ul style="list-style-type: none"> ● fluvial, jahreszeitlich bedingt und hydrologisch unauffällig ● fluvial, jahreszeitlich bedingt und vom langjährigen Mittel abweichend <ul style="list-style-type: none"> - unter Erwartung (Scheitel, Fülle) - über Erwartung (Scheitel, Fülle), <ul style="list-style-type: none"> ▪ infolge schneller Schmelze (Temperatur) ▪ infolge zeitlich konzentrierten Niederschlags ▪ infolge starken Niederschlags zusätzlich zur Schmelze - über Erwartung (Dauer), infolge mächtiger Schneedecke bzw. längeren Niederschlags als normal ● fluvial, singuläres Ereignis <ul style="list-style-type: none"> - niederschlagsbürtig <ul style="list-style-type: none"> ▪ infolge langanhaltenden Niederschlags (i.d.R. zyklonal) ▪ infolge kurzen, aber heftigen Starkniederschlags (i.d.R. konvektiv) - infolge ablativer Prozesse (mittelbar niederschlagsbürtig) - infolge Dämmung (bspw. durch Bergsturz, Gletschervorschub) - infolge Dammbruch - infolge Eisrückstau ● fluvial, singulär, nicht natürlich (anthropogen induziert) <ul style="list-style-type: none"> - Bauwerksversagen - nicht mittelbar, z.B. Flächenspeicherdegradation ● diffus (Unterteilung wie fluvial singulär und anthropogen) ● limnisch und singulär (Seespiegeltransgression)

Tab. 1: Möglichkeiten des Zustandekommens von Hochwassern in kleinen alpinen Einzugsgebieten (eigener Entwurf).

Besondere Dramatik entfachen Hochwasserwellen meist dann, wenn sie durch gravitative Prozesse oder Versagen von Bauwerken plötzlich und vollkommen unerwartet (noch unmittelbarer als reißen Fluten aus Niederschlag) eintreten.

2.2 Entstehung natürlicher, niederschlagsbürtiger fluvialer Hochwasser

Die Untersuchung beschäftigt sich, wie schon erwähnt, vornehmlich mit natürlichen, meist singulären, fluvialen Hochwasserereignissen im Gebirgsraum, die in der überwiegenden Zahl der Fälle infolge von Niederschlag entfesselt werden.

Entsprechend steht bei der Betrachtung der genetischen Ursachen für ein Ereignis diese Form von Hochwasser im Fokus.

Grundsätzlich sind für die Bildung eines Hochwasserabflusses bzw. für die Festlegung der Größe eines Abflussscheitels folgende Faktoren maßgebend (modifiziert und ergänzt nach Engel 1990: 7):

1. die Größenordnung (Menge, Dauer und Intensität) sowie jahreszeitliche und räumliche Verteilung von Niederschlägen,
2. die Mächtigkeit & räumliche Verteilung (inkl. Exposition) einer ggf. vorhandenen

Schneedecke sowie deren witterungs- und lageabhängige Schmelzrate,

3. die Größe und Anlage (Topographie, Gewässernetzeigenschaften) des Einzugsgebiets,

4. dessen Zustand hinsichtlich Infiltrationskapazität (u.a. abhängig von Niederschlagsvorgeschichte, Bodenart und -eigenschaften, Frost), vorhandener bzw. verfügbarer und nicht verhin- derter (z.B. etwa eingedeichte Auen) Speicher und deren aktueller Speicherkapazität,

5. der Zustand des Einzugsgebiets und des Gerinnes einschließlich seiner Vorländer und sonstiger überflutbarer Bereiche bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit / Gerinnebettgeometrie.

Zur Entstehung eines Hochwassers ist es schließlich vonnöten, dass mindestens einer der o.g. fünf Punkte sich in der Regel in Größenordnung in für ein normales Abflussgeschehen suboptimalem Zustand präsentiert. Zumeist trifft diese Prämisse auf die Punkte 1 und 2 zu. Bei suboptimalen Voraussetzungen die Punkte 3-5 betreffend (erhöhte Abflussbereitschaft), genügt jedoch nicht selten schon ein leichtes Abweichen von üblichen Abläufen die Punkte 1 und 2 anbelangend.

Dabei sind die Oberflächenrauheit (5), die Qualität der Speicher sowie das Infiltrationsvermögen (4) und in geringem Maße auch die Topographie und Gewässernetzform (3) (meist nur lokal) eines Einzugsgebiets direkt oder indirekt vom Menschen beeinflussbar.

Die lokale Höhe eines entstehenden Hochwasserscheitels wird schlussendlich durch die Abflussmenge, die Größe des möglichen Durchflussquerschnitts, die Anlage des Gewässernetzes und den Zustand des Gerinnebetts (Rauheit) bestimmt (Engel 1990: 8, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002a: 22). Erstere, die Abflussmenge, wird dabei, neben bereits genannten Faktoren wie Niederschlag (Typ, räumliche und zeitliche Verteilung), Schneedecke (Retentionswirkung, Exposition) oder Gewässernetzmorphologie (relative Lage bei Niederschlagszug, Wellenüberlagerung wegen Einzugsgebietsform, Speichervermögen bis Ausuferung) insbesondere von den Komponenten Boden & Gesteinsuntergrund (Infiltrationskapazität, Aufnahme- und Speichervermögen), Vegetation (Interzeption, Evapotranspiration, Verbesserung der Infiltration) und Gelände (Muldenrückhalt, Qualitätsfestlegung anderer Speicher sowie Abflussverzögerung infolge Rauigkeit) determiniert.

3. Muren

Wie schon Becht & Rieger (1997a: 34) zu Recht befanden, ermangelt es vor allem in internationalen Publikationen bis heute einer klaren und eindeutigen Definition des Begriffs Mure. Eine Diskussion hierüber soll hier jedoch nicht stattfinden. Die für die Alpen typischen Murgänge gibt Rickenmann (2002: 23) als „ein Gemisch aus den drei Hauptkomponenten Wasser, Feinmaterial und groben Steinen“ an. Muren können damit als „eine Mischform zwischen Hochwassern, Erdbeben und Felsstürzen“ (Rickenmann 2002: 23; vgl. auch Rickenmann 2001a: 161, ders. 2001b: 4) mit teils enormer Schleppekraft angesehen werden (vgl. Abb. 1). Alle möglichen, mehr oder minder kürzeren oder ausführlichen (z.B. korngrößenpezifizierenden, Geschwindigkeiten einschließenden, lokalitätsbezogenen) und / oder zusammenfassenden Übergangsformen sind daneben jedoch ebenso zu finden (vgl. z.B. Costa 1984: 268, Bunza 1976: 61, Näf & McArdeil 2004: 48, Rickenmann 1995: 4, ders. 2001a: 161, Haerberli et al. 1991: 77, Takahashi 1980: 136, Kerschner 1999: 78f, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002b: 75). Charakteristisch ist Muren gegenüber Hochwassern und anderen geschiebeführenden Abflussereignissen dabei, dass die Feststofffracht mehr oder weniger gleichmäßig über den Abflussquerschnitt verteilt ist (Kerschner 1999: 78, Haerberli et al. 1991: 80). Das Spektrum des Feststoffanteils variiert dabei zwischen 25 % und 86 % (Volumen) bzw. 35 % bis 90 % (Gewicht) (Costa 1984: 274), was ihre Bedeutung als Sedimenttransportmittel zwischen Gebirge und Vorflut im Kontext des globalen Kreislaufs unterstreicht (Wichmann & Becht 2004: 370, Haas et al. 2004: 37 & 42). Der Maximalabfluss „tritt in der Regel im Bereich der Murenfront auf“ (Rickenmann 2001b: 9, ders. 2002: 24) und kann nach ebd. & ebd. in den Alpen Werte zwischen 100 und 1.000 m³/s erreichen, womit er etwa 10- bis 100mal größer ausfallen kann als ein vergleichbarer Hochwasserabfluss im selben Wildbachgerinne, wobei extremste Unterschiede vor allem in kleineren Einzugsgebieten zu erwarten sind.

Die Höhe einer Murenfront wurde im alpinen Raum bisher mit bis zu 10 m angegeben (Rickenmann 2001b: 9). Eigen ist den in seinen Größenordnungen vom Dezimeterbereich bis hin zu ‚Megaereignissen‘ reichenden und potentielle Zeitdauern von Sekunden bis viele Stunden umfassenden Murgangphänomenen überdies ihr oft wellenförmiges, schubartiges Abgangsverhal-

ten (‘Murschübe’), das neben variierenden Wasseranteilen hervorgerufen werden kann durch hydrodynamische Inhomogenitäten vor allem in Gerinnen, durch laterale Materialeinträge, auch infolge von Uferunterschneidung, und eventuell dadurch ausgelösten Verkläunungen (Kerschner 1999: 77ff). Als Auslösebedingung für einen Murgang wird neben singulären Ereignissen wie Ausbruchsflutwellen aller Art oder raschen Schmelzen im Wesentlichen eine kritische Kombination von Niederschlagsintensität und -summe genannt (Rickenmann 1995: 5, Haeberli et al. 1991: 81, Becht & Rieger 1997a: 35). Zusätzlich, so versteht sich, bedingt das System gleichsam

einen hinreichenden Ladungszustand an Lockermaterial (Aulitzky 1989: 10f, Rieger & Becht 1997: 126, Rieger 1999: 41, Stiny 1910: 13). „Als wichtigste Substrateigenschaft für die Beurteilung der lokalen Bruchgefahr wird dabei die Korngrößenzusammensetzung angesehen“ (Hagg / Becht 2000: 80), die sich entscheidend auf die Scherfestigkeit und damit auf die Stabilität eines Hanges auswirkt. Insgesamt entstehen Muren am ehesten dort, „wo im Hinblick auf die Substratzusammensetzung ein Optimum zwischen Wasserleit- und -speichervermögen besteht“ (Rieger 1999: 44, vgl. Abb. 2).



Abb. 1: Materielle Stellung von Murgängen (aus Rickenmann 2001b: 4).

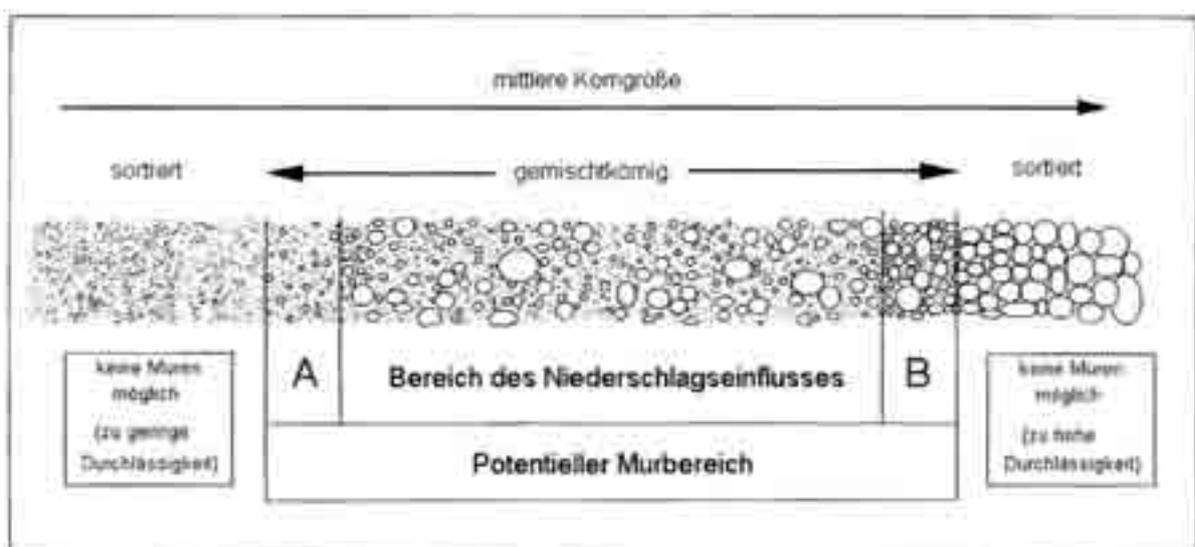


Abb. 2: Spektrum potentiellen Murmaterials nach Korngrößen und deren Verteilungsverhältnissen. Die Bereiche A und B kennzeichnen Grenzbedingungen (aus Hagg & Becht 2000: 90).

Nach Haerberli et al. (1991: 84) weisen Muren im Vergleich zu Wildbachhochwassern eine zwei- bis zehnmal größere Abflusstiefe auf. Zudem zeigen sie wesentlich höhere Viskositäten und bedingen daher erheblich steilere Gefälle für ihr Auftreten. Eine nützliche Übersicht zur Unterscheidung und gegenseitigen Abgrenzung der Prozessgeschehnisse Hochwasser und Mure liefert Costa (1984: 287ff, vgl. Tab. 2).

Eine geomorphologische Gliederung der Mure kann nach Becht / Rieger (1997b: 521) und Rieger (1999: 3) in das *hydrologische Einzugsge-*

biet, die *Initiierungszone*, in der der Murbruch stattfindet, die *Transitzone* (Transportgebiet) und das *Akkumulationsgebiet* vorgenommen werden, wobei Letzteres mit wachsendem Einzugsgebiet ebenfalls zunimmt.

Die aktuell übliche Klassifizierung verschiedener Murtypen zeigt Tab. 3. Ältere, wesentlich umfangreichere und feingliedrigere Einteilungen (z.B. Stiny 1910) konnten sich international nicht durchsetzen, obgleich noch heute vor allem im deutschsprachigen Raum immer noch nicht selten darauf zurückgegriffen wird.

	Muren	Hochwasser
Feststoffanteil	70-90 %	max. 40 %
Dichte	1,8-2,6 g/cm ³	1.01-1,3 g/cm ³
Deposition	als Ganzes, Murbrei bleibt relativ kompakt und teils unabhängig von vorheriger Bewegungsgeschwindigkeit stehen; gleichzeitig bedeutet Abnahme der Geschwindigkeit nicht automatisch Deposition	selektiv in Abhängigkeit von Korngröße und Fließgeschwindigkeit
Sortierung	schlecht	gut
Schichtung	schlecht	gut

Tab. 2: Unterscheidungskriterien zwischen Muren und Hochwassern (erweitert nach Costa 1984: 287ff).

Typ Hangmure (slope type starting zone)	Typ Talmure (valley type starting zone)
Typ 1: Die Anrisszone liegt in einem steilen, meist schwach konsolidierten, teilweise tiefgründigen Schutthang. Die Ausbildung des Anbruchs erfolgt häufig durch rückschreitende Erosion.	Typ 3: Die Anrisszone liegt in einem schuttgefüllten Felscouloir. Die Begrenzung zur Sohle wie auch zu den Seiten hin besteht aus Fels.
Typ 2: Die Anrisszone liegt im Kontaktbereich einer Felswand mit einer steilen Schutthalde. Das Wasser ist meist in der Felswand in einer Rinne konzentriert und versickert größtenteils in der Schutthalde. Der Murgang entsteht im Gerinne in kurzer Distanz vor dem Felsen.	Typ 4: Größere Zwischendeponien von Bachschutt werden plötzlich mobilisiert (theoretischer Gefälle-Grenzwert bei 27 %).

Tab. 3: Aktuelle Klassifizierung verschiedener Murtypen nach ihren Anrisszonen (nach Zimmermann 1990a: 389, Haerberli et al. 1991: 80f, Rickenmann & Zimmermann 1993: 180f).

4. Wildbäche und kleine Einzugsgebiete

Während Wildbäche durch die DIN 19663 als „oberirdische Gewässer mit zumindest streckenweise großem Gefälle, rasch und stark wechselndem Abfluss und zeitweise hoher Feststoffführung“ nomenklatorisch fixiert sind, ist dies der ihnen eigene Umstand meist kleinerer Einzugsgebiete leider wiederum nicht. Gutknecht (1994: 50)

bezieht kleine Einzugsgebiete mit weniger als 50 km², Kerschner (1995: 47) sowie Januskovecz (1989: 46) und Aulitzky (1984: 19) mit weniger als 100 km², Uhlenbrook & Steinbrich (2002: 13) mit weniger als 300 km². Becht & Rieger (1997a: 38) bezeichnen Einzugsgebiete >50 km² dagegen schon als groß; Becht (1995: 60f) hingegen betitelt bereits Gebiete >10 km² als groß und weist Wildbacheinzugsgebieten Größen in Hektardimension zu, während Üblagger (1986: 20) in Anlehnung an die Mehrzahl o.g. Autoren wieder-

um als Relation angibt, Wildbacheinzugsgebiete seien *selten größer* als 100 km². Es scheint hier also völlig unzuweckmäßig, numerische Quantitäten zu dogmatisieren. Fest steht dagegen, dass, wie die o.g. Definition nach DIN schon ausdrückt, das Abflussverhalten von Wildbächen stark variabel ist und in guter Näherung als direkte Funktion eingegebenen Niederschlags in ihr Einzugsgebiet bzw. dessen Schmelzprodukte betrachtet werden kann (vgl. auch Penck 1912: 37f; Hampel 1968: 46). Ihr großes Gefahrenpotential bzw. ihre Vulnerabilitätspotenz für anthropogenes und Naturgut resultiert dabei genau aus dieser Tatsache: Sie sind unberechenbar und die Vehemenz ihres Auftretens durch die primäre Niederschlagsbürtigkeit vom Menschen nicht kontrollierbar. Nach Kronfellner-Krauss (1982: 12) sind die Schwankungen dabei umso größer, je kleiner und steiler die Einzugsgebiete bzw. die Wildbäche selbst sind. Unterschieden werden können dabei episodische bzw. periodische (nur nach Schneeschmelze, langanhaltendem oder Starkregen wasserführend) und permanent fließende Wildbäche (kaum Trockenfallen, aber dennoch starke Variabilität; vgl. Karl & Mangelsdorf 1976: 92). Besondere Gefahr geht dabei neben dem herabstürzenden Wasser vor allem von den von ihnen unregelmäßig mitgeführten Feststoffen aus. Aber auch die beeinträchtigenden Wirkungen eines solchen Geschehens auf den Naturraum durch seine erosive Tätigkeit sind zumeist gravierend; sie reichen von geringen Veränderungen im Gerinne über Ufererosion bis hin zu damit einhergehenden Hangrutschungen durch Unterschneidung (Gutknecht 1994: 55), die allesamt wiederum frisches Material für neuerliche Zerstörungskraft und Verkläunungen liefern, die nicht selten in einer so induzierten Murgipfeln. Wildbachsysteme sind damit insgesamt durch „fluviale, hangfluviale, Hangspül-, subterran-aquale, glazigene, kryogene und gravitative Prozesse“ (Fiebinger 1999: 68) an Formbildungsprozessen in den Alpen beteiligt. Etwa 80 % der Geschiebefracht von Wildbachereignissen wird dabei im unmittelbaren Gerinnebereich (Sohle / Böschung) mobilisiert (Quelle des Materials: Eigenerosion, Rutsch- und Sturzprozesse inklusive Lawinen und Hangmuren sowie fluvialer Eintrag; vgl. Hegg et al. 2001b: 90). Die Schleppspannung ist dabei abhängig vom Gefälle (Geschwindigkeit) und der Abflusstiefe sowie von der Abflussmenge, dem Fließquerprofil und der Rauigkeit der Sohle (ebd.). Erfolgt diese Mobilisierungstätigkeit aufgrund eminent schnell ansteigender Abflüsse plötzlich flächendeckend im

Gerinne, so kommt es bei entsprechender Verfügbarkeit von Feststoffen oftmals zum Übergang der Wasserfracht in einen Murgang.

Eine latente Gefahr resultiert bei Wildbächen ohnehin bereits aus ihrer typischen Anlagecharakteristik: Kleine Einzugsgebiete sind schon allein statistisch höher gelegen, dazu mit hoher Reliefenergie ausgestattet, empfangen relativ mehr Niederschlag und ermangeln zumeist vielfältigen Retentionspotentialen (vor allem Böden und Vegetation; Januskovecz 1989: 46).

Neuere Untergliederungen der Wildbachtypen (auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll) speziell für die Ostalpen liefern Karl & Mangelsdorf (1975: 400ff & 1976: 93ff). Daneben existiert eine umfassende zweiteilige Wildbachgliederung von Aulitzky (1984: 19ff) sowie eine weitere überblicksartige Klassifikation von Aulitzky (1985: 339).

5. Ereignisdatenzusammenhang

5.1 Methoden und Problemdiskussion

In der Vergangenheit wurde der Versuch unternommen, eine möglichst umfangreiche Zusammenschau von Ereignisdaten (Hochwasser und Muren, ausgenommen der Großereignisse 1999, 2002 und 2005, für die bereits genügend Material frei im Netz verfügbar ist) für den Ostalpenraum für den Zeitraum seit Beginn des 20. Jahrhunderts zu erstellen. Zur Informationserlangung wurden dafür verschiedenste Quellen (Fachliteratur, Lokalzeitungen, amtliche Akten, Erhebungen und Statistiken, Internet etc.) analysiert. Vor allem aufgrund behördlicher bzw. institutioneller Hindernisse verschiedenster Art im Raum Österreich kann diese jedoch bis heute keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellen. Dazu gesellten sich weitere Stoppersteine genereller und quellengebundener Natur, die die Datenbeschaffung an sich bzw. die Auswertung der gegebenen Überlieferungen teils erheblich erschwerten, einschränkten, die Validität der Beschreibungen verwischen ließen oder als generelle Fakten nicht optimaler Zustände bzw. von Forschungserschwerern angeprangert werden müssen oder zumindest Erwähnung finden sollen. Dazu gehören bspw.:

- Viele Berichtstatter sind mit den lokalen Gegebenheiten der Ereignisgebiete bestens vertraut und verwenden deshalb gern Lokalbezeichnungen (z.B. Weg-, Alm-, Hütten- oder Hangnamen, die mitunter selbst die wohl leistungsfähigste Internetsuchmaschine ‚google‘ nicht kennt), ohne diese in einer kartographischen

Darstellung dem ortsunkundigen Leser in ihrer Lage und Relevanz zum Thema aufzuschlüsseln.

- Damit in Verbindung steht, dass die Berichterstattung meist auf ein sehr beschränktes Areal bzw. nur einen gewissen Interessenbereich (Gemeindegebiet o.ä.) fokussiert zu sein scheint und damit bei größeren bzw. überregionalen Ereignissen diese selten in ihrer Gänze betrachtet werden.

- Problematisch ist auch die Berichterstattung, wenn keine stichhaltigen Aufnahmen (Bilder, Messdaten o.ä.) vorliegen und die Datenaufnahme sich deshalb auf Augenzeugenberichte stützt. Verwischungen infolge mangelnder Sachkenntnis und vor allem Übertreibung sind hier Tür und Tor geöffnet. Dies gilt insbesondere für ältere Überlieferungen. Weiterhin bestehen in diesem Zusammenhang nicht selten nomenklatorische bzw. terminologische Probleme.

- Generell werden Ereignisse in kleineren Einzugsgebieten scheinbar kaum großartig beachtet (bestenfalls nüchtern amtlich aufgenommen); Berichterstattungen darüber entstehen meist eher zufällig aus dem sporadischen und unregelmäßigen Vorortsein interessierten, dann aber zumeist auch fachkundigen Personals, oder, wenn das Ereignis exorbitante Magnituden aufweist und entsprechendes Öffentlichkeits- und Forschungsinteresse generiert (beides jedoch hat erfahrungsgemäß Beschreibungen von hoher Qualität zur Folge).

- Demgegenüber steht der Fakt, dass dann oftmals viele Ereigniseigenschaften und ihre Spuren im Nachhinein in unwegsamem Gelände mühsam aufgenommen werden müssen, was nicht selten wertvolle Hinweise erosionsbedingt schon wieder schwinden lässt. Zusätzlich bergen die Differenziertheiten der oftmals komplexen (entlegenen) Lokalitäten vor allem in der gebotenen Kürze der Zeit methodische Unsicherheiten (vgl. Wetzel 1994: 161 & 2001: 361).

- Ist anthropogenes Gut in die Ereignisse involviert bzw. davon betroffen, bleiben durch die sich unverzüglich anschließenden Aufräumarbeiten kaum Zeitspannen zur Untersuchung.

- Kleine Einzugsgebiete sind noch viel zu lückenhaft und wenig systematisch mit Messinstrumenten ausgestattet. Sind (ältere) Einrichtungen vorhanden, so sind außer der Information, dass sich ein Ereignis abspielte, mitunter keine weiteren Angaben erfahrbare. Somit fehlen auch wichtige Referenzdaten bzw. für die sinnvolle Betrachtung unentbehrliche Informationen über Zustände vor dem Ereignis.

- Nicht nur deshalb beziehen sich veröffentlichte Dokumentationen über Ereignisse in der großen Mehrheit der Fälle auf größere Einzugsgebiete (wohl auch, weil dort mehr Schadenspotential vorhanden ist und somit breiteres Öffentlichkeitsinteresse besteht).

- Generell scheint ein Trend zu bestehen, nur Schadereignisse zu dokumentieren bzw. bei Berichten den Fokus des Verlusts diverser Güter in vorderster Front zu rücken. Hydrologische Fragestellungen geraten zunehmend in den Hintergrund (selbst Fachzeitschriften Hydrologischer Institutionen – bei denen mit abnehmendem Alter obendrein einen verbreitet zunehmender Hang zur schnöden Populärwissenschaftlichkeit beobachtbar ist – sind hiervon nicht auszuschließen!).

- In diesem Zusammenhang muss auch kritisch angesprochen werden, dass, wenn hydrologische Werte und Parameter schon präsentiert werden, diese erschreckend häufig als nackte Zahlen ohne jedwede Referenzwerte oder Bezüge zu Normalzuständen eingefügt sind.

- Hinzu kommt, dass in vielen Fällen gar nicht die hydrologischen Ereignisse an sich im Mittelpunkt der Veröffentlichungen und damit zugänglicher Ereignisquellen stehen. Nicht selten werden diese lediglich als Plattform genutzt über die Sinnhaftigkeit bestimmter Wegebaukonzepte zu diskutieren (z.B. Pestal 1995), neuartige Modellierungsweisen von Niederschlagskarten bzw. Mess- oder Beobachtungssysteme vorzustellen (z.B. Wiesenegger 1998) oder aber auf der Grundlage großangelegter Schadensstatistiken medienwirksam Versäumnisse bestimmter Entscheidungsinstitutionen zu kritisieren.

- Abschließend muss bemerkt werden, dass in vorhandenen printmedialen Quellen mitunter Widersprüche zwischen Textbeschreibungen und Abbildungen / Tabellen vorlagen, sodass mangels Zweitquellen keine reliablen Aussagen möglich waren. Zudem fiel auf, dass in diversen Darstellungen Flussläufe unterschiedlich benannt und sogar verschiedentlich verzeichnet sind. Selbst die offizielle Gewässerkarte des Hydrographischen Dienstes in Österreich widerspricht sich in Teilen mit den sonst so zuverlässigen Karten des ADAC.

- Schlussendlich fällt auch ins Gewicht, dass vor allem ältere Quellen durch die Irrungen und Wirrungen der beiden Weltkriege unwiderprüflich verloren gingen.

5.2 Datensätze

Für den deutschen Alpenraum liegen bezüglich wildbachbürtigen Hochwasser- und Murereignis-

sen im Bayerischen Landesamt für Umwelt umfangreiche und detaillierte (Roh-) Datensätze vor. Sie wurden in mehrjähriger Arbeit Anfang des neuen Jahrtausends von Mitarbeitern des Lehrstuhls für Physische Geographie der KU Eichstätt innerhalb des Projekts HANG (Historische Analyse von NaturGefahren) im Auftrag des damaligen Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz eruiert und weisen über 8.000 Hochwasser- und Murereignisse (davon der überwiegende Großteil im 20. Jahrhundert) auf (Becht et al. 2006). Hinzu kommen weitere Informationen vor allem neuerer Printmedien.

Für den österreichischen Alpenraum waren gebündelte Informationen ungleich schwieriger zu erlangen. Hauptgrund hierfür war (ist) der laufende Prozess der Erstellung einer ähnlichen, quasi analogen landesweiten Chronik an der Universität für Bodenkultur in Wien (Institut für Alpine Naturgefahren) im staatlichen Auftrag, weshalb Hydrographische (Landes-) Dienste, Wildbach- und Lawinenverbauungen, Ministerien, die genannte Universität an sich usw. entsprechende Informationen nur ‚ungern‘ an Dritte weitergaben (weitergeben). Hier konnten lediglich punktuelle Erfolge verzeichnet werden. Demgegenüber ist der Fundus an fachwissenschaftlichen Veröffentlichungen (oder zumindest mit selbigem Anspruch, s.o.) überaus groß. Einer Vielzahl an Artikeln über einzelne Ereignisse stehen vor allem die einmal räumlich umfassende, dafür zeitlich beschränkte (1971-1973) Schrift von Jeglitsch (1976), und zum anderen die räumlich beschränkte (Tirol, Oberpinzgau, Vorarlberg und Trentino), dafür jedoch zeitlich umfassende Chronik von Fliri (1998) gegenüber. Letztere kann für die Folgejahre durch das Internetportal des Tirolatlas ergänzt werden (<http://tirolatlas.uibk.ac.at/topics/chronicle/query.py/index>).

Für den Schweizer Ostalpenraum (Teil des Kantons Graubünden östlich der Linie Alpenrhein – Hinterrhein plus gedachte Südverlängerung bis zum Comer See) liegt u.a. eine Veröffentlichungsreihe der Abteilung Forstliche Hydrologie der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) vor, die Unwetterereignisse im schweizerischen Bundesgebiet seit 1972 als annuelle chronikartige Kompilation darstellt (Zeller 1977, Zeller & Röthlisberger 1979-1988, Röthlisberger 1989-1999, Hegg et al. 2000, 2001a, 2002 & 2003, Fraefel & Hegg 2004, Fraefel et al. 2005, Hilker et al. 2007a & b sowie 2008). Die Reihe wird ergänzt durch eine Veröffentlichung von Röthlisberger (1991b), die (schon

beginnend im 6. Jahrhundert) restliche Informationen zu den Geschehnissen vor allem vor 1972 liefert. Die Erhebungen ab diesem Datum basieren auf der kontinuierlichen Auswertung von rund 550 schweizerischen Zeitungen sowie weiteren Befragungen vor Ort und, wo möglich, auch detaillierten Untersuchungen an den Orten des Geschehens. Nachteilig ist hier jedoch häufig die Ermangelung an konkreten hydrologischen Parametern, wobei auch Erwähnung finden muss, dass im Schweizer Raum nach Auskunft diverser Stellen das behördliche Sammeln von Ereignisdaten keinerlei Priorität genießt. Neben den genannten Quellen existiert eine nicht zu verachtende Anzahl von Fachveröffentlichungen; dies jedoch in der Regel nur landesweite Großereignisse betreffend (z.B. anlässlich der verheerenden Sommerunwetter 1987).

Für den südtiroler Alpenraum wiederum liegt, ähnlich dem deutschen, eine amtliche Datenbank über registrierte Wildbachereignisse (1900 - 2007) vor, die auf Anfrage von der Abteilung 30 (Wasserschutzbauten) der Landesregierung der Autonomen Provinz Bozen wissenschaftlichen Recherchen gern zur Verfügung gestellt wird. Unter Überwindung sprachlicher Hürden sind zudem printmediale Quellen weiterführend.

Insgesamt konnten Nachweise für weit über 16.000 Ereignisse zusammengetragen werden, die in unterschiedlichster Form mit Zusatzinformationen behaftet sind.

6. Rückblick: Naturereignisse oder hausgemachte Gefahren?

Fluviale Hochwasser sind, genauso wie Murgänge, primär natürliche Ereignisse (Uhlenbrook & Leibundgut 1997: 13), welche, wie o.g., als Zusammenspiel diverser Faktoren und Umstände infolge bestimmter Niederschlagsereignisse auftreten. Es ist jedoch auch nicht von der Hand zu weisen, dass jene Naturgewalten aus der Schadensperspektive (Vernässung, Verschmutzung, Zerstörung, Erosion, Beeinflussung von Leben) gesehen, die heutzutage oftmals Hauptbeurteilungskriterium in jener Hinsicht zu sein scheint, immer auch zu einem gewissen Teil Menschenwerk sind, denn Schäden in diesem Sinne entstehen nur dort, wo entsprechend Schadenspotential vorhanden ist (Kron 2005: 126ff, Kerschner 1995: 47, Becht 1991: 50, Wichmann et al. 2002: 131, Aulitzky 1994: 109, vgl. Abb. 3) – und dies existiert (materiell) nur im Zusam-

menhang mit anthropogenen Wirtschafts- oder Siedlungsinteressen und wächst mit zunehmendem Populationsdruck, steigendem Lebensstandard und zunehmender infrastruktureller Erschließung früher bewusst gemiedener Bereiche (de Jong 1997: 1, Stiny 1910: 97f).

Der Ursprung der Gefahr für die Menschheit mitsamt ihrem Hab und Gut bzw. ihre Vulnerabilität ist dabei eine historisch begründete. Sie ist seit altersher dadurch gegeben, dass sich der Mensch im Zuge der Essentialität von Wasser für sein Leben und der oft vielversprechenden Bodengüte überhaupt in potentiellen Überflutungsbereichen, z.B. Auen bzw. Alluvialebenen, angesiedelt hat (Lambert 1988: 206; Ostrowski &

Leichtfuß 1996: 33, Fink 1986: 27), zunächst (neben dem Faktor der Bodengüte), um das lebensspendende Nass nicht über zu weite Distanzen zu den dürstenden Kehlen befördern zu müssen, später auch um seine Kraft für den Antrieb bzw. die Kühlung diverser Werkseinrichtungen zu nutzen bzw. die Flussläufe in die infrastrukturelle Nutzung einzubeziehen (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002a: 60), nicht zuletzt aber auch deshalb, weil bspw. durch wiederholte Wasserübertritte geprägte Talabschnitte schlicht und einfach leicht bebaubar und nutzbar sind (weil eben und zumeist fruchtbar) und vielen Menschen zudem als ästhetisch reizvoll erscheinen.



Abb. 3: Durch alpine Wildbachtätigkeit (Mure) zerstörte Siedlungsteile, die gefahrenignorant direkt am Unterlauf (auf dem Schwemmkegel) des Wildbachs errichtet wurden (Quelle: http://www.vol.be.ch/site/fr/m_ccfw_big-picture.htm?picurl=naturgefahren-murgaenge-murgang-brienz-glyssibach.jpg, 12.11.08).

Nach Patt (2001: 8) ist eine auf Vorhersage aufbauende, organisierte Hochwasserwarnung mit umfangreichen Schutzmaßnahmen „nur dann sinnvoll, wenn Vorwarnzeiten von >12 h erreicht werden können“. Befindet sich eine Siedlung jedoch direkt am Laufe eines Fließgewässers mit

nur wenigen Hektar (vielleicht sogar sehr steilem) Einzugsgebiet, so kann ein singuläres, diese Fläche treffendes Starkniederschlagsereignis für jene Behausungsagglomeration und ihre Bewohner eine enorme Katastrophe bedeuten, da in diesem Fall extreme Abflüsse zu erwarten sind.

Durch etwaige derart risikobehaftete Siedlung trägt der Mensch selbst Schuld an seiner direkten Hochwassergefährdung (vgl. auch Aulitzky 1984: 13, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002b: 39, Güntschl 1970: 44, Stiny 1910: 96ff). Gerade in Gebirgsräumen wählte dieser spätestens seit Beginn des 19. Jahrhunderts aber häufig bewusst Wildbachschwemmkegel und -murkegel als Siedlungsraum (Hegg et al. 2001b: 85, Haeberli et al. 1991: 87, Haeberli & Naef 1988: 332, Rickenmann 2005: 201, Kienholz 1998: 7, Stiny 1910: 101), statt (weiterhin ausschließlich) die breiten Talebenen als Bauplatz zu nutzen und begab sich damit direkt an den Unterlauf eben solcher kleinen Einzugsgebiete. Er tat dies – von der demographischen Expansion seiner Spezies abgesehen –, weil, auch verbunden mit zunehmender maßloser Abholzung von Gebirgswäldern, in den Talebenen unverbauter Flüsse immer häufiger bedrohliche Hochwasser zu bemerken waren und er deshalb verstärkt Schutz auf höheren Geländeabschnitten suchte und auch die dortigen Wiesen sich als fruchtbare, mitunter im Gegensatz zu den oft schweren Auenböden leichter bewirtschaftbare Gründe herausstellten (Lambert 1988: 207, Stiny 1910: 101), meist wohlwissend, dass auch hier entsprechende Gefahren drohen, die statistisch jedoch mit weit aus geringerer Häufigkeit auftraten und daher nicht selten verharmlosend und für beherrschbar gehalten in Kauf genommen und entsprechend unterschätzt wurden (Plate 1996: 521, Kron 2005: 127, Näf & McArdell 2004: 48, Rickenmann 2005: 201, Wichmann et al. 2002: 131, Becht & Rieger 1997b: 516, Becht 1995: 1). Diese Unterschätzung von Gefahren trifft auf Hochwasser gleichermaßen zu wie auch auf Muren. Besonders dramatisch wirkt sich dabei der Umstand aus, dass gerade bei auf große Rekurrenzintervalle folgenden Prozessen häufig die größten Materialumsätze erfolgen, die entsprechend verheerende Auswirkungen haben (Becht 1995: 1, Stiny 1910: 105).

Die Zunahme von verheerenden Hochwasser- und Wildbachschäden in den letzten Jahrzehnten ist daher fast ausschließlich auf die unbedachte Siedlungs- und Erschließungstätigkeit in den unmittelbar gefährdeten Bereichen zurückzuführen (die selbst bei Vorhandensein von wegweisenden Gefahrenzonenplänen unter Missachtung der staatlichen Regulierung erfolgte; vgl. Aulitzky 1988: 124ff). Gerade Österreich, mit einem Hochgebirgsanteil von 2/3 der Gesamtlandesfläche und über 4.000 tätigen Wildbachgebieten (Gschwendtner 1966: 76f), sieht sich dieser Frage

der fehlgeleiteten Raumordnungspolitik immer häufiger gegenübergestellt. Allein aufgrund dieser mangelhaften staatlichen Regulierung und des wohl weit verbreiteten Vertrauens auf die helfende öffentliche Hand im Schadensfall (oder auf die Beherrschbarkeit der Natur?) wurde bspw. beim August-Hochwasser in Sölden im Ötztal im Jahre 1987 eine knappe Hundertschaft an zu über zwei Dritteln zum Neubaubestand der letzten Jahre im Ort zählenden Häusern im Keller- und Erdgeschossbereich überflutet und eingeschlammt (Kerschner 1995: 50, Muhar 1988: 191, Aulitzky 1988: 124). Ähnliches berichtet bspw. auch Petraschek (1989: 6f). Das letzte große Hochwasser der Ötztaler Ache aus dem Jahr 1960 schien aus dem Bewusstsein der Menschen bereits wieder verdrängt. Dort, wo aufgrund der Gefahrenzonenpläne der Wildbach- und Lawinerverbauung Siedlungsaktivitäten an Hangbereichen oder auf Schwemm- bzw. Schuttkegeln unterbunden werden, weicht man offensichtlich der Nachfrage rücksichtslos dankend frönend auf die Talsohle aus, „für die es bei gleicher Gefährdung keine konkreten Baubeschränkungen gibt“ (Muhar 1988: 193). Auf Ähnliches wies im Übrigen bereits Stiny (1910: 98) hin, der ebenfalls mahnte, dass aufgrund „zunehmender Volksdichte“ der Erlös aus Grundstücksverkäufen die Gemeinden derart lockt, dass selbst jahrhundertlang gemiedene und aufgrund der latenten Bedrohung nicht einmal landwirtschaftlich genutzte Flächen inmitten von Wildbachausläufen leichtsinnig unter Inkaufnahme der Gefahr der Bebauung und damit der potentiellen Zerstörungsgefahr preisgegeben werden (vgl. auch Aulitzky 1994: 129). Die empfundene Zunahme der anthropogenen Betroffenheit durch hydrologische Naturkatastrophen scheint daher nicht verwunderlich.

Doch nicht nur siedlungstechnische Eingriffe der letzten Jahre in das Prozesssystem Hochgebirge, speziell Wildbacheinzugsgebiete, entfesseln (empfundene) hydrologische Katastrophen größeren Ausmaßes. Die schädlichen Grundveränderungen dieses Ausschnittes der Erdoberfläche gehen bis ins 14. und 15. Jahrhundert zurück. Nach einigen verheerenden Bränden löste in dieser Zeit das Stein- das Holzhaus ab, für deren Ziegel- und Kalkherstellung ungeheure Mengen Holz benötigt wurden. Im Laufe des Spätmittelalters verschwanden so rund ein Drittel der natürlichen Bergwaldbestände in den Alpen und die natürliche Baumgrenze sank um 200 bis 300 m (Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft 2002b: 45) – eine ungeheure Menge Wald, derer

die Wildbachsysteme bis heute im Hinblick auf Abfluss- und Hochwasserdämpfung schmerzlich ermangeln! Ein besonders bekanntes Beispiel einer rodungsbedingten Generierung von unheilbringender Wildbachtätigkeit in den Ostalpen ist dabei der Schesatobel bei Bludenz in Vorarlberg. „Vor 200 Jahren noch ein kleines Bächlein, das man leicht mit einem Schritt überqueren konnte“ (Aulitzky 1994: 109) und von dem kaum Verheerungen bekannt waren, züchtete der Mensch daraus durch Kahlschlag der Waldbestände im Einzugsgebiet im Jahre 1796 aufgrund vermögensrechtlicher Streitigkeiten zweier Gemeinden eines der berühmtesten Wildwasser Österreichs, das fortan begann immer tiefer schreitend und weiter in seine Flanken hineinschneidend sich seiner fluvioglazialen Feststoffe inklusive Bodenaufgaben im Einzugsgebiet im Zuge immer bedrohlicherer Fluten und Murgänge mit großer Regelmäßigkeit zu entledigen (seit 1802 etwa 40 Mio. m³ Austrag, vgl. ebd.: 109f). Seit Ende der Eiszeit hatte der Waldbestand dies verhindert (die Stupidität gänzlich untermauernd wurde der aktive Schwemmkegel im Laufe des 20. Jahrhunderts schließlich mit 192 Einfamilienhäusern bebaut).

Dazu kommen spätestens seit den letzten Jahrzehnten, um nur noch einen Aspekt anzuführen, verstärkte touristische Aktivitäten, von denen hier nur ein Beispiel erlaubt sei, das mitunter direkt in den Wasser- und damit Feststoffhaushalt von Wildbächen eingreift: künstliche Beschneigungsanlagen. Das notwendige Wasser dazu wird häufig direkt (permanent fließenden) Wildbächen entnommen. Der dann in dieser Jahreszeit ohnehin schon geringe Feststoffaustrag wird dadurch erheblich beeinträchtigt: Die Lockersedimente bleiben zurück. Im folgenden Sommer sind die Feststoffherde des Gerinnes damit zumeist prall gefüllt; dazu kommen die ungeheuren Mengen zusätzlichen Schmelzwassers durch die tauenden Kunstschneefelder, was in Verbindung mit (im Sommer nicht unüblichen) Starkniederschlägen zumeist in – künstlich generierten – Katastrophenereignissen mündet.

Zu all diesen vom Menschen recht gegenständig unmittelbar gestaltfähigen Problematiken wird sich in Zukunft immer mehr noch der Aspekt des Klimawandels durch den anthropogen induzierten Treibhauseffekt gesellen. Eine Zunahme winterlicher Niederschläge mit all deren potenzierenden Auswirkungen auf das Hochwasser- und auch Murgeschehen (mehr zeitlich konzentrierter Niederschlag in Gebiete mit ohnehin mangelhaften Retentionsmöglichkeiten zur

vegetativen Ruhezeit sowie frühjährliche enge Kumulation der Schmelzereignisse durch steigende Temperaturen) gilt als sicher (Beierkuhnlein & Foken 2008: 86). Dabei wird durch die global zunehmende Temperatur auch die Frostgrenze in den Alpen um einige hundert Meter ansteigen, „mit der Konsequenz, daß im Winter der Niederschlag in den tieferen Lagen nicht mehr als Schnee, sondern als Regen fallen wird“ (Seidel 1998: 211), womit eine Zunahme der Hochwassersituationen im Winter abzusehen ist. Dazu kommen wohl noch vermehrte sommerliche Starkniederschläge.

Von besonderer Bedeutung hinsichtlich des Auftretens von Murgängen wird sich in diesem Zusammenhang – neben der angenommenen Zunahme bzw. Verstärkung sommerlicher Starkniederschläge – vor allem die von der humanen Spezies beschleunigte fortschreitende Permafrost- und Gletscherdegradation in den Alpen erweisen. Die Möglichkeit einer damit verbundenen Zunahme der Murganghäufigkeit und -stärke wird spätestens seit den beginnenden 1990er Jahren diskutiert und versucht zu quantifizieren (bereits Richter 1987 bspw. erwog zuvor im Zuge der Kausalforschung bezüglich der Katastrophenereignisse des Jahres 1987 schon die Möglichkeit der Beteiligung einer Klimamodifikation an den sich empfundenermaßen immer gravierender gestaltenden Auswirkungen hydrologisch bedingter Unwetterkatastrophen). Die Bedeutung einer solchen o.g. Entwicklung für das Murauftreten ist dabei nach Zimmermann (1990b: 100f) mittels verschiedener Zusammenhänge durchaus gegeben, denn:

Permafrost bewirkt im Hang eine deutliche Stabilisierung des Kornverbandes. Ein Wegfallen dieser Stütze hätte automatisch eine erhöhte Disposition zur Murinitiation zur Folge.

Dasselbe Resultat wäre durch das Abschmelzen kleinerer Gletscher bzw. Firnflächen zu erwarten, da das unter ihnen lagernde Material wenig verfestigt und damit instabil gelagert ist.

Da der Auftauprozess von der Oberfläche her einsetzt und in die Tiefe gehend fortschreitet, kann es in der nun leicht mobilen Auftauschicht zu einem Wasserstau über dem noch gefrorenen Untergrund kommen, deren Grenzschicht zudem leicht als Gleithorizont fungieren kann.

Generell murbegünstigend wirken sich zudem, wie schon teils angeklungen, Reduzierungen der Hochgebirgsvegetation durch Holzeinschlag, Überweidung und Wildverbiss sowie Monokulturanbau aus, deren Zunahme bis heute nicht vollständig Einhalt geboten wurde (Üblogger

1986: 22). Zudem sind weite Teile des Waldbestandes Österreichs durch Luftverschmutzung beschädigt und können ihre ereignisabschwächenden Rückhaltefunktionen nur noch eingeschränkt bis gar nicht mehr umsetzen (Aulitzky 1989: 7).

Kurzum: Gegen Naturgewalten an sich vermag der Mensch nur wenig bis gar nichts zu unternehmen. Bezüglich der hier thematisierten Prozesse der Hochwasser und Murgänge trägt er infolge suboptimaler Siedlungstätigkeit und teils unangepasster sowie klimaunfreundlicher Wirtschaftsweisen zum großen Teil jedoch selbst Schuld an seiner eigenen (vermehrten) schadhafte(n) Betroffenheit. Er scheint dabei zudem vergessen zu haben, dass nicht der intermediäre Zustand der Ruhe, den er aus anthropozentrischer Sicht als ‚normal‘ zu bezeichnen beliebt, jene Normalität auch tatsächlich repräsentiert. Das ereignisfreie Intervall wird stets nur eine Zwischenzeit der Ruhe inmitten der immanenten Prozesse der das Antlitz der Erde seit jeher formenden exogenen Dynamik sein.

„Murgänge sind ja die rücksichtslosen Vollstreckungsorgane des Gesetzes, daß die stolzen Berggipfel zertrümmert und ihre Reste weit über die Ebenen hinausgetragen werden müssen. Unleugbar weit größer als auf die Murtätigkeit ist die schädliche Einwirkung menschlicher Mißwirtschaft auf die echten Hochwasserbäche.“ (Stiny 1910: 103)

7. Literatur

- Aulitzky, H. (1984): Vorläufige, zweiteilige Wildbachklassifikation. – In: Wildbach- und Lawinenverbau, 48: 7-60; Wien.
- Aulitzky, H. (1985): Die naturräumliche Verteilung der Wildbachtypen und der Erosion in Österreich. – In: Allgemeine Forstzeitung 96, S. 338-341; Wien.
- Aulitzky, H. (1988): Sommerhochwässer 1987 – In: Tirol – Naturkatastrophen oder fehlende Vorbeugung? – In: Österreichische Wasserwirtschaft, 40: 122-128.
- Aulitzky, H. (1989): The debris flows of Austria. – In: Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 40: 6-13.
- Aulitzky, H. (1994): Musterbeispiele vermeidbarer Erosions-, Hochwasser- und Lawinenschäden. – In: Österreichische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.): Veröffentlichungen der Kommission für Humanökologie, 5 (Gefährdung und Schutz der Alpen): 105-147; Wien, Graz.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2002a): Hochwasser – Naturereignis und Gefahr. Spektrum Wasser 1, 2., aktualisierte Auflage; München.
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2002b): Wildbäche – Faszination und Gefahr. – Spektrum Wasser, 3; München.
- Becht, M., Copien, C. & Frank, C. (2006): Abschlussbericht zum Projekt HANG. – online-Dokument (http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/gefahren_im_alpenraum/doc/hang_kurz.pdf)
- Becht, M. (1991): Auswirkungen und Ursachen von Katastrophenhochwassern in kleinen, alpinen Einzugsgebieten. – Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl., 89: 49-61.
- Becht, M. (1995): Untersuchungen zur aktuellen Reliefentwicklung in alpinen Einzugsgebieten. – Münchener Geographische Abhandlungen, A 47.
- Becht, M. & Rieger, D. (1997a): Debris flows on alpine slopes (eastern Alps). – In: Géomorphologie: relief, processus, environnement, 1: 33-41; Paris.
- Becht, M. & Rieger, D. (1997b): Spatial and temporal distribution of debris flow occurrence on slopes in the Eastern Alps. – In: Chen, C. (Hrsg.): Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. – Proceedings of 1. International Conference. – 516-529; New York.
- Beierkuhnlein, C. & Foken, T. (2008): Klimawandel in Bayern. – Bayreuther Forum Ökologie, 113.
- Bunza, G. (1976): Systematik und Analyse alpiner Massenbewegungen. – In: Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, 11: 1-84.
- Costa, J.E. (1984): Physical geomorphology of debris flows. – In: Costa, J. E. & Fleisher, P. J. (Hrsg.): Developments and applications of geomorphology. – 269-317; Berlin.
- De Jong, C. (1997): Water, Bedload Dynamics and Extreme Events in Alpine Catchments. – Deutsches IDNDR-Komitee für Katastrophenvorbeugung e.V. (Hrsg.): Deutsche IDNDR-Reihe, 8; Bonn.
- Dyck, S. & Peschke, G. (1995): Grundlagen der Hydrologie; Berlin.
- Engel, H. (1990): Hochwasser. Begriff, Entstehung, Hochwasser am Rhein. – In: Beiträge zur Rheinkunde, 42: 5-27.
- Fiebinger, G. (1999): Geomorphologische Prozesse in Wildbach-Einzugsgebieten im Überblick. – Relief, Boden, Paläoklima, 14: 67-75.
- Fink, M.H. (1986): Hochwässer. – In: Österreichische Raumordnungskonferenz (Hrsg.): Raumordnung und Naturgefahren, 50: 24-29 (mit Vorbetrachtung S. 15-16); Wien.
- Fliri, F. (1975): Mensch und Naturkatastrophen in den Alpen. – In: Interpraevent, 1975 (2): 37-49; Klagenfurt.
- Fliri, F. (1998): Naturchronik von Tirol; Innsbruck.
- Fraefel, M. & Hegg, C. (2004): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2003. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 96: 103-109; Baden.

- Fraefel, M., Jeisy, M. & Hegg, C. (2005): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2004. – In: Wasser, Energie, Luft – Eau, énergie, air, 97: 69-74; Baden.
- Gschwendner, A. (1966): Die Wildbachschäden im Jahre 1965. – Österreichische Wasserwirtschaft, 18: 76-80.
- Güntschl, E. (1970): Hochwasserkatastrophen in Österreich seit 1945. – In: Österreichische Gesellschaft für Raumforschung und Raumplanung, 11: Hochwasserschutz und Raumordnung: 1-68; Wien.
- Gutknecht, D. (1994): Extremhochwässer in kleinen Einzugsgebieten. – Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 46: 50-57.
- Haas, F., Heckmann, T., Wichmann, V. & Becht, M. (2004): Change of fluvial transport rates after a high magnitude debris flow event in a drainage basin in the Northern Limestone Alps, Germany. – In: IAHS Publ., 228: 37-43; Wallingford.
- Haerberli, W. & Naef, F. (1988): Murgänge im Hochgebirge. Ereignisse 1987 im Puschlav und Obergoms. – Die Alpen, 64: 331-343.
- Haerberli, W., Rickenmann, D. & Zimmermann, T. (1991): Murgänge. – In: Mitteilung des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 4 & Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, 14: S. 77-88; Bern.
- Hagg, W. & Becht, M. (2000): Einflüsse von Niederschlag und Substrat auf die Auslösung von Hangmuren in Beispielgebieten der Ostalpen. – Zeitschrift für Geomorphologie, 123: 79-92.
- Hampel, R. (1968): Niederschlag und Abfluß in Wildbächen. – Österreichische Wasserwirtschaft, 20: 46-51.
- Hegg, C., Badoux, A., Bassi, A. & Schmid, F. (2001): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2000. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 93: 117-129; Baden. – (= Hegg et al. 2001a)
- Hegg, C., Badoux, A., Frick, E. & Schmid, F. (2002): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2001. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 94: 99-105; Baden.
- Hegg, C., Badoux, A., Graf, C. & Röthlisberger, G. (2000): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1999. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 92: 59-68; Baden.
- Hegg, C., Fraefel, M., Frick, E., Schmid, F. & Badoux, A. (2003): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2002. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 95: 63-70; Baden.
- Hegg, C., Rickenmann, D. & Forster, F. (2001): Hochwasser und Feststofftransport in Wildbacheinzugsgebieten. – Bulletin Angewandte Geologie, 6: 85-97. – (= Hegg et al. 2001b)
- Hilker, N., Badoux, A. & Hegg, C. (2007): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2006. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 99: 137-145; Baden. – (= Hilker et al. 2007b)
- Hilker, N., Badoux, A. & Hegg, C. (2008): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2007. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 100: 115-123; Baden.
- Hilker, N., Jeisy, M., Badoux, A. & Hegg, C. (2007): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2005. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 99: 31-41; Baden. – (= Hilker et al. 2007a)
- Januskovecz, A. (1989): Zeitungsberichterstattung über Naturkatastrophen. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur (Institut für forstliche Betriebswirtschaft und Forstwirtschaftspolitik); Wien.
- Jegličsch, F. (1976): Hochwasser, Muren, Rutschungen und Felsstürze in Österreich 1971-73. – Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 114.
- Karl, J. & Mangelsdorf, J. (1975): Die Wildbäche der Ostalpen. – In: Interpraevent, 1975 (1): 397-406; Klagenfurt.
- Karl, J. & Mangelsdorf, J. (1976): Die Wildbachtypen der Ostalpen. – Schriftenreihe der Bayerischen Landesstelle für Gewässerkunde, 11: 87-102; München.
- Kerschner, H. (1995): Naturereignisse – Naturgefahren – Hochwasser und Wildbäche im alpinen Lebensraum. – Geographische Rundschau, 47: 46-51.
- Kerschner, H. (1999): Muren als geomorphologische Phänomene. – Relief, Boden, Paläoklima, 14: 77-95.
- Kienholz, H. (1998): Wildbäche – ausgewählte Aspekte und ein Beispiel. – In: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Informationsberichte, 2/98: Das Wildbachsystem. Prozesse – Bewertung – Maßnahmen. Fachkolloquium. – 7-25; München.
- Kron, W. (2005): Hochwasser. – In: Münchener Rückversicherungsgesellschaft (Hrsg.): Wetterkatastrophen und Klimawandel. – 122-131; München.
- Kronfellner-Krauss, G. (1982): Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen. – Österreichische Wasserwirtschaft, 34: 12-21.
- Lambert, A. (1988): Hochwasser im Alpenraum. Pulsschläge der Erosion. – Geowissenschaften, 6: 206-211.
- Matznetter, J. (1958): Das alpine Elementarereignis – Wesen und Begriff. – Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Wien, 100 (I/II): 67-76.
- Muhar, A. (1988): Hochwasser-Schäden 1987 und Siedlungsentwicklung im Tiroler Ötztal. – Österreichische Wasserwirtschaft, 40: 188-194.
- Näf, D. & McArdell, B.W. (2004): Murgänge. – Die Alpen, 11: 48-51.
- Oberndorfer, S., Fuchs, S., Rickmann, D. & Andrecs, P. (2007): Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbacheignissen in Österreich. – BFW-Bericht, 139; Wien.
- Ostrowski, M. & Leichtfuß, A. (1995): Entstehung von Hochwasser. – Darmstädter Wasserbau-Mitteilungen, 40: 23-34.
- Patt, H. (2001): Hochwasser-Handbuch; Berlin, Heidelberg.

- Penck, W. (1912): Naturgewalten im Hochgebirge; Stuttgart.
- Pestal, E. (1975): Die Kärntner Murkatastrophe und ihre Lehren für den Forstwegebau. –Holzkurier, 1975 (23): 1-4; Leopoldsdorf, Wien.
- Petraschek, A. (1989): Die Hochwasser 1868 und 1987. In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 81: 1-8; Baden.
- Plate, E., Kron, W. & Seiert, S. (1993): Beitrag der deutschen Wissenschaft zur „International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR)“ – Zusammenfassende Übersicht. – In: Plate, E., Clausen, L., Dehaar, U., Kleeberg, H.-B., Klein, G., Mattheß, G., Roth, R. & Schmincke, U. (Hrsg.): Naturkatastrophen und Katastrophenvorbeugung. – Bericht des Wissenschaftlichen Beirats der DFG für das Deutsche Komitee für die „International Decade for Natural Disaster Reduction“ (IDNDR). – 1-71; Weinheim.
- Plate, E. (1996): Handhabung des Hochwasserrisikos. – Geowissenschaften, 14: 517-522.
- Richter, M. (1987): Die Starkregen und Massenumlagerungen des Juli-Unwetters 1987 im Tessin und Veltlin. – Erdkunde, 41: 261-274.
- Rickenmann, D. (1995): Beurteilung von Murgängen. – Schweizer Ingenieur und Architekt, 48: 1104-1108.
- Rickenmann, D. (2001a): Zum Fließverhalten von Murgängen. – Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, 33: 161-169.
- Rickenmann, D. (2001b): Murgänge in den Alpen und Methoden zur Gefahrenbeurteilung. – Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 124: 51-77; Aachen.
- Rickenmann, D. (2002): Über Murgänge in den Alpen. – Wasser und Boden, 54 (4): 23-26.
- Rickenmann, D. (2005): Schlammlawinen. Die braune Flut. In: Spektrum (Hrsg.): Entfesselte Elemente – der Mensch und die Natur. – 196-201; Gütersloh, München.
- Rickenmann, D. & Zimmermann, M. (1993): The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis. – Geomorphology, 8: 175-189.
- Rieger, D. (1999): Bewertung der naturräumlichen Rahmenbedingungen für die Entstehung von Hangmuren – Möglichkeiten zur Modellierung des Murpotentials. – Münchener Geographische Abhandlungen, A 51.
- Rieger, D. & Becht, M. (1997): Untersuchungen zur räumlichen Verteilung von Muren an alpinen Hängen mit Hilfe eines GIS in Testgebieten der Ostalpen. – In: Blümel, W. D. (Hrsg.): Beiträge zur Geomorphologie. – Stuttgarter Geographische Studien, 126: 121-137.
- Röthlisberger, G. (1989): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1988. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 81: 17-24; Baden.
- Röthlisberger, G. (1990): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1989. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 82: 52-55; Baden.
- Röthlisberger, G. (1991a) Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1990. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 83: 65-70; Baden.
- Röthlisberger, G. (1991b): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. – Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 330; Birmensdorf.
- Röthlisberger, G. (1992): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1991. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 84: 37-41; Baden.
- Röthlisberger, G. (1993): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1992. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 85: 59-65; Baden.
- Röthlisberger, G. (1994): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1993. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 86: 1-8; Baden.
- Röthlisberger, G. (1995): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1994. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 87: 1-9; Baden.
- Röthlisberger, G. (1996): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1995. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 88: 13-22; Baden.
- Röthlisberger, G. (1997): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1996. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 89: 1-7; Baden.
- Röthlisberger, G. (1998): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1997. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 90: 17-24; Baden.
- Röthlisberger, G. (1999): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1998. – In: Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air, 91: 17-23; Baden.
- Rudolf, B. & Simmer, C. (2006): Niederschlag, Starkregen und Hochwasser. – In: WERFER, G. (Hrsg.): Expedition Erde. – 256-265; Bremen.
- Seidel, W. (1998): Klimaänderungen: Ursache und Auswirkungen. – In: Bayerischer Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Informationsberichte, 2/1998: Das Wildbachsystem. Prozesse – Bewertung – Maßnahmen. Fachkolloquium. – 205-212; München.
- Stiný, J. (1910): Die Muren. Versuch einer Monographie mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Tiroler Alpen; Innsbruck.
- Takahashi, T. (1980): Evaluation of the factors relevant to the indication of debris flow. In: Proceedings of the International Symposium on Landslides, 3: 136-140; New Delhi.
- Üblogger, G. (1986): Wildbäche und Muren. – In: Raumordnung und Naturgefahren. – ÖROK Schriftenreihe, 50: 19-24; Wien.
- Uhlenbrook, S. & Leibundgut, C. (1997): Abflussbildung bei Hochwasser. – Wasser und Boden, 49 (9): 13-22.
- Uhlenbrook, S. & Steinbrich, A. (2002): Einflussgrößen auf die Hochwasserbildung im regionalen Maßstab. – Wasser und Boden, 54 (109): 8-15.

- Wetzel, K.-F. (1994): Abflussbildung während sommerlicher Niederschläge in einem kleinen Einzugsgebiet der nördlichen Kalkalpen. – *Erdkunde*, 48: 161-173.
- Wetzel, K.-F. (2001): Die Prozesse der Abflussbildung in kleinen Hangeinzugsgebieten der Nördlichen Kalkalpen bei unterschiedlichen Niederschlägen. – *Die Erde*, 132: 361-379.
- Wichmann, V. & Becht, M. (2004): Spatial modelling of debris flows in an alpine drainage basin. – In: *IAHS Publ.*, 288: 370-376; Wallingford.
- Wichmann, V., Mittelsten-Scheid, T. & Becht, M. (2002): Gefahrenpotential durch Muren: Möglichkeiten und Grenzen einer Quantifizierung. – In: Baumhauer, R. & Schütt, B. (Hrsg.): *AK Geomorphologie 2000 in Trier*, Beiträge der 26. Jahrestagung. – *Trierer Geographische Studien*, 25: 131-142.
- Wiesenegger, H. (1998): Hochwasserereignisse im Juli 1997 im Land Salzburg und Erfahrungen mit dem Hydrologischen Informationssystem zur Hochwasservorhersage HYDRIS. – *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, 76: 10-22.
- Zeller, J. (1977): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1977. – Separatdruck aus: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 128 (12): 931-937.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1979): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1978. – Separatdruck aus: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 71: 103-108; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1980): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1979. In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air* 72, S. 127-134; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1981): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1980. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 73: 87-91; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1982): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1981. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 74: 123-127; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1983a): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1982. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 75: 115-120; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1983b): Unwetterschäden in der Schweiz von 1972 bis 1981. – In: *Wasser, Energie – Luft – eau, énergie, air*, 75: 149-160; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1984): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1983. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 76: 191-197; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1985): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1984. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 77: 65-70; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1986): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1985. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 78: 91-96; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1987): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1986. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 79: 265-270; Baden.
- Zeller, J. & Röthlisberger, G. (1988): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 1987. – In: *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, 80: 29-42; Baden.
- Zimmermann, M. (1990a): Debris flow 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects. – *IAHS Publ.*, 194: 387-393; Wallingford.
- Zimmermann, M. (1990b): Periglaziale Murgänge. – *Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) Zürich*, 108: 89-107.

Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33, S. 129-141, 9 Abb.
Halle (Saale), Mai 2011

Auswertung von Grundwasserstandsdaten auf dem Weinberg Campus der Martin-Luther-Universität Halle in Heide-Süd

Wolfgang Gossel, Ronny Lähne, Julia Rienäcker, Gunnar Krauss & Peter Wycisk*

Gossel, W., Lähne, R., Rienäcker, J., Krauss, G. & Wycisk, P. (2011): Auswertung von Grundwasserstandsdaten auf dem Weinberg Campus der Martin-Luther-Universität Halle in Heide-Süd. [Analysis of groundwater level measurements at the Weinberg Campus, Martin Luther University Halle in Heide-Süd.] – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, 32/33: 129-141, Halle (Saale).

Kurzfassung: Die hydrodynamische Situation in der Stadt Halle ist wegen der Heterogenität der Aquiferstrukturen in Locker- und Festgesteinsgebieten sehr komplex. Im Nordwesten der Stadt wurde ein dichtes Netz von Beobachtungsmessstellen eingerichtet, das im Rahmen der vorliegenden Arbeit für die Abgrenzung von Einzugsgebieten, zur Zeitreihenanalyse und für Kreuzkorrelationen zwischen Grundwasserstands- und Klimadaten genutzt wurde. Die Ergebnisse zeigen ein differenziertes Strömungsbild mit einem Abfluss zur Saale und indirektem unterirdischem Abfluss. Die Zeitreihenanalyse wurde anhand der stündlich gemessenen Grundwasserstände einer Messstelle durchgeführt und zeigt sowohl die Jahresperiode als auch kurzfristigere Perioden von 9 und 11 Tagen. Der Vergleich zwischen Grundwasserständen und der kumulierten Klimatischen Wasserbilanz zeigt eine signifikante Zeitverzögerung von 9 Tagen und 60 Tagen zwischen beiden Ganmlinien, die als lokale Reaktionszeit und Reaktionszeit des Einzugsgebiets gedeutet werden können.

Abstract: The hydrodynamical situation of the town of Halle is very complex due to different aquifers both in hard rocks and unconsolidated rocks. To the northwest of the city a dense net of observation wells was established used in an investigation of groundwater levels for the outline of catchment areas, time series analysis and cross correlations between groundwater levels and climatic data to clarify their dependencies. The results show a differentiation in the catchment with a direct flow to the river Saale and an indirect subsurface discharge. The time series analysis of one well that was observed hourly shows annual periodicity as well as some subordinate short periods of 9 and 11 days. The comparison of groundwater levels and at cumulated climatic water balance outlines a time shift of 9 days and 60 days between both “hydrographs”, interpreted as the reaction of the local conditions and of the catchment.

Schlüsselwörter: Zeitreihenanalyse, Rotliegend-Grundwasserleiter, Kreuzkorrelation, Grundwasserströmungsverhältnisse

Keywords: Time series analysis, Rotliegend aquifer, cross-correlation, groundwater flow patterns

* Anschriften der Autoren:

PD Dr. Wolfgang Gossel (wolfgang.gossel@geo.uni-halle.de), FG Hydro- und Umweltgeologie, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, D-06120 Halle (Saale);

Dipl.-Geol. Ronny Lähne (ronny.laehne@geo.uni-halle.de), FG Hydro- und Umweltgeologie, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, D-06120 Halle (Saale);

BSc Julia Rienäcker (julia.rienaecker@student.uni-halle.de), FG Hydro- und Umweltgeologie, Institut für Geowissenschaften und Geographie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, D-06120 Halle (Saale);

Dr. Gunnar Krauss (gunnar.krauss@halle.de), Umweltamt der Stadt Halle (Saale), Untere Bodenschutzbehörde, Hansering 15, D-06108 Halle (Saale);

Prof. Dr. Peter Wycisk (peter.wycisk@geo.uni-halle.de), Institut für Geowissenschaften und Geographie, FG Hydro- und Umweltgeologie, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Von-Seckendorff-Platz 3, D-06120 Halle (Saale).