



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

STEUERUNG DES ABFLUSSES IN WILDBACHEINZUGSGEBIETEN ÜBER FLÄCHENWIRTSCHAFTLICHE MAßNAHMEN

DISCHARGE CONTROL IN TORRENT WATERSHEDS BY THE MEANS OF INTEGRATED AMELIORATIVE MEASURES

Bernhard Kohl¹, Siegfried Sauermoser², Dieter Frey², Leopold Stepanek³
und Gerhard Markart¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die Steuerung des Gebietsabflusses über flächenwirtschaftliche Maßnahmen gewinnt im Alpenraum immer mehr an Bedeutung. Die Wirksamkeit solcher vorbeugender und langfristiger Eingriffe wird an zwei Teileinzugsgebieten des Vorderen Zillertales im Finsingtal dargestellt und diskutiert. Der GIS-basierte Vergleich der Abflussbereitschaft zwischen 1953 und 2003 zeigt in den von der Integralmelioration (Weidefreistellung, Aufforstung, Optimierung der restlichen Weideflächen und des Wegenetzes, etc.) betroffenen Bereichen eine deutliche Zunahme von hydrologisch hochwertigen Flächen. Vergleichende Abflussberechnungen unter Verwendung eines Niederschlags-Abflussmodells (ZEMOKOST) bestätigen die Richtigkeit der vom Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung in den letzten 50 Jahren gesetzten Maßnahmen. Zudem wird demonstriert, dass gebräuchliche empirische „Faustformeln“ für den Nachweis der Effizienz flächenwirtschaftlicher Maßnahmen nicht geeignet sind.

Key words: Integralmelioration, flächenwirtschaftliche Maßnahmen, Spitzenabfluss, Niederschlags-Abflussmodell

ABSTRACT

Runoff prevention in alpine torrent catchment areas by watershed management gets more and more important. Effects of such long-term and preventive programs are discussed by use of results from investigations in two sub-catchments of the Finsing River (Ziller Valley, Tyrol). GIS-based calculation of runoff behaviour before integrated ameliorative measures (partially abandonment of grazing, afforestations, optimization of remaining grazed areas... - begun 1953) and after these measures became effective (2003) show a significant increase of areas

¹ Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Rennweg 1 – Hofburg, A-6020 Innsbruck, Österreich (Tel.: +43-512-573933-5132 bzw. 5130, Fax.: +43-512-573933-5250 bzw. 5135, email: Bernhard.Koh@uibk.ac.at, Gerhard.Markart@uibk.ac.at)

² Leiter und stellvertretender Leiter der Gebietsbauleitung Westliches Unterinntal des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung, Swarovskistr. 22a, A-6130 Schwaz, Österreich (Tel.: +43-5242-66202-11, Fax: +43-5242-66202-20, email: Siegfried.Sauermoser@wlv.bmlfuw.gv.at, Dieter.Frey@wlv.bmlfuw.gv.at)

³ Gebietsbauleitung Oberes Inntal des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung, Langgasse 88, A-6460 Imst, Österreich (Tel.: +43-5412-66459, Fax: +43-5412-66459-23, email: Leopold.Stepanek@wlv.bmlfuw.gv.at)

with good runoff behaviour in the meliorated parts. Comparative calculations of runoff under use of the optimized travel time method ZEMOKOST confirm efficiency of measures set by the local Service for Avalanche and Torrent Control in the sub-catchments. In addition it is shown that empiric formulas are not suitable for examination of efficiency of watershed management measures.

Key words: melioration, runoff prevention, high water discharge, rainfall runoff model

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Die Steuerung des Gebietsabflusses bei Starkregen über flächenwirtschaftliche Maßnahmen in Wildbacheinzugsgebieten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Das Paradebeispiel eines gelungenen Projektes zur Reduktion des Gebietsabflusses bei Starkregen durch eine selektive Kombination flächenwirtschaftlicher, infrastruktureller und technischer Maßnahmen stellt die Integralmelioration (IM) im Vorderen und Mittleren Zillertal (Tirol) dar.

Hier wurden beginnend in den 50er Jahren des 20 Jhdts. vom forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung umfassende begleitende Maßnahmen in der Fläche (Bewirtschaftungsänderung - Weidefreistellung, Aufforstung, Entwässerung, etc.) zur Verlangsamung des Hochwasserabflusses und Minimierung der Abflussspitze gesetzt, da der Schutz vor Hochwasser und Muren allein durch technische Maßnahmen schon aus Kostengründen nicht möglich war (Stauder 1963).

Der FTD f. WLV beauftragte 1994 eine interdisziplinär besetzte Arbeitsgruppe mit Untersuchungen über die Wirkungen der im Zuge der Integralmelioration Vorderes Zillertal gesetzten Maßnahmen auf die Hochwasservorbeugung. Diese Erhebungen ergaben eine deutliche Zunahme des Flächenanteiles hydrologisch positiver Einheiten seit Beginn der Maßnahmen der Integralmelioration 1953. Erste Resultate aus diesen Untersuchungen wurden von Markart et al. (1996b) bei Interpraevent 1996 in Garmisch-Partenkirchen vorgestellt.

Eine Standardfrage bei der Präsentation der Resultate auf einschlägigen Veranstaltungen blieb aber immer wieder: In welcher Größenordnung ist der Abfluss zurückgegangen? Im Folgenden wird der Versuch eines Vergleiches des Abflussverhaltens zweier Teileinzugsgebiete im Vorderen Zillertal vor der Integralmelioration (1953) und nach Wirksamwerden der flächenwirtschaftlichen Maßnahmen (2003) vorgestellt.

ANGABEN ZUM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Testgebiete liegen am linken Einhang des Finsingbaches, dem nördlichsten, orographisch links gelegenen Seitental des Zillertales, am Nordrand der Tiroler Zentralalpen (Abb.1).

Auf der Geolsalm dominieren Grauwackenschiefer mit lokaler Auflagerung von Schwazer Dolomit. Sonst herrschen Quarzphyllite, die vor allem in der hinteren Finsing von Chloritschiefern durchsetzt sind, vor. Weitere Angaben zu den Testgebieten finden sich bei Markart et al. (1996b), Markart et al. (2002)

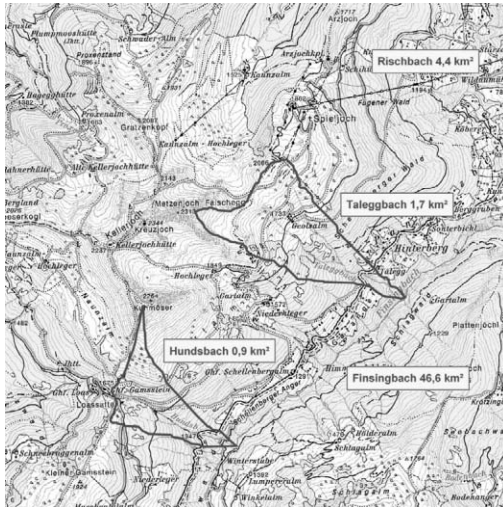


Abb1: Lage der Testgebiete im Finsingtal (Zillertal, Tirol).
Fig1: Situation of research sites in the Finsing-Valley (Ziller-Valley, Tyrol).

DATENGRUNDLAGEN, METHODIK, VORGANGSWEISE

Datengrundlagen 1953

Vorhandene Datengrundlagen älteren Datums sind extrem eingeschränkt. Für den Bereich Vorderes und Mittleres Zillertal erstellte Schiechtl eine Vegetationskarte im Maßstab 1:2500 (durchgeführt 1953, in einer Publikation 1965 wurde teilweise Bezug darauf genommen), diese Karte wurde später auf 1:7500 verkleinert. Die Originalkarte ist in Verstoß geraten, sodass heute nur mehr die Karte im größeren Maßstab zur Verfügung steht. Neben Luftbildern (Flug aus dem Jahr 1953 und den „Franzosenluftbildern“, geflogen 1947), sowie grobmaßstäblichen geologischen Karten stehen aus dieser Periode keine weiteren räumlichen Informationen zur Verfügung.

Datengrundlagen 2003

Erste Überprüfungen der Wirkungen der Integralmelioration im Vorderen Finsingtal erfolgten durch Seymann (1988). Ab 1994 begannen insbesondere in den Testgebieten Maschentalm, Hundsbach und Geolsalm umfassende Kontrolluntersuchungen, u.a. vegetationskundliche Erhebungen und Kartierungen (Schiffer und Burgstaller 1996), Frequenzanalysen der Vegetation auf diesen Testflächen, Kartierung der Böden, sowie Starkregensimulationen zur Quantifizierung des Oberflächenabflusses auf gebietsrepräsentativen Standorten (Markart et al. 1996 a, b). Die Abklärung der bodenphysikalischen Eigenschaften der Böden erfolgte durch Zanetti (1996). Schiessling (1998) überprüfte die Wirkung der Meliorationsmaßnahmen im mittleren Finsingtal (Schattseite). Lechner (1998) führte eine GIS-basierte Analyse des Kulturlandschaftswandels nach der Integralmelioration durch. Im Zuge dieser beiden letztgenannten Arbeiten wurden alle vorhandenen Kartengrundlagen, auch die Karte von Schiechtl aus 1953, digitalisiert.

Basierend auf diesen Grundlagen und einem Pool an Vergleichsdaten aus ca. 700 Berechnungen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (LFW) und des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (BFW) konnten für die Testgebiete Hundsbach und Taleggbach/Geolsalm Abflussbeiwertkarten erstellt werden, entsprechend der z.B. auch von Scherrer (1997) angewandten Methode zur Ausscheidung von Flächen, die in unterschiedlichem Maße zum Oberflächenabfluss beitragen.

AUSWEISUNG ZUM GEBIETSABFLUSS BEITRAGENDER FLÄCHEN

Einschränkende Randbedingungen

Abflussbeiwerte differieren saisonal in beträchtlichem Maße (Kohl und Markart 2002, Lang 1995). Da für den Praktiker in der Regel das Bemessungsereignis von Interesse ist, werden den beitragenden Flächen der Testgebiete Abflussbeiwerte im Hinblick auf ein *realistisches Worst-Case-Ereignis* unterstellt. D.h., es werden realistisch schlechte Bedingungen für ein Abflussereignis im Einzugsgebiet angenommen, z.B. ein Starkregen im Hochsommer bei intensiver Vorbefeuchtung der Böden, bei reduziertem Deckungsgrad der Weiderasen durch Weidegang, etc.

Mit Ausnahme der zuvor angeführten Datengrundlagen sind keine zahlenmäßig fassbaren Informationen über den hydrologischen Zustand der verschiedenen Boden-Vegetationskomplexe im Finsingtal um 1950 (vor der Integralmelioration) bekannt. Die Zuordnung von Abflussbeiwerten muss also primär auf Grundlage der Schiechtl'schen Vegetationskarte erfolgen.

Voraussetzung hierfür ist folgende Annahme:

Die gleichen Vegetationseinheiten (z.B. Nardeten, Rhododendreten, etc.) tragen 1953 und 2003 unter gleichen Randbedingungen - bei Unterstellen des realistischen Worst-Case-Szenarios - in vergleichbarem Ausmaß zur Abflussbildung bei. Tatsächlich muss dies nicht stimmen, da z.B. auf der Geolsalm die Weidefläche heute nur mehr ca. 25% der ursprünglichen Fläche von 1953 beträgt, aber nach einer vorübergehenden Verminderung sogar mehr Kühe gehalten werden als früher (Seymann 1988), was zu einer stärkeren Verdichtung führt. Die verbliebene Weidefläche unterliegt andererseits heute aber einer intensiveren Pflege (Ausbringung von Mineraldüngern in den ersten Jahren der Integralmelioration, regelmäßige Ausbringung von Stalldünger - Gülle, Mist), was wiederum der Verdichtung entgegen wirkt.

Beitragende Flächen 1953

Für die Berechnung des Abflusspotentiales 1953 wird also die Vegetationskarte Schiechtl aus 1953 herangezogen. Dazu musste den verschiedenen Vegetationseinheiten ein Abflussbeiwert (Ψ_{const}) und ein Rauigkeitswert zugeordnet werden.

Tab.1 gibt am Beispiel Taleggbach eine Übersicht über die Zuordnung von Abflussbeiwertklassen und den jeweiligen Rauigkeitskoeffizienten c nach Rauigkeitsstufen sowie die relativen Flächenanteile der einzelnen Vegetations-/Nutzungseinheiten. Die Einteilung der Abflussbeiwertklassen und der Rauigkeitskoeffizienten c sind bei Markart et al. (2004 hoc loco) und Stepanek et al. (2004 hoc loco) beschrieben.

Tab. 1: Taleggbach im Finsingtal (Zillertal, Tirol); Vegetationseinheiten nach Schiechtl (1953); Einteilung in Abflussbeiwertklassen (AKI) und Rauigkeitsstufen (RSTc).

Tab. 1: Talegg brook in the Finsing-Valley (Ziller-Valley, Tyrol); Vegetation units after Schiechtl (1953); attribution of surface runoff classes (AKI) and roughness coefficient classes (RSTc).

Vegetation (dominant) / Nutzung	Arten beigemischt	AKI	RSTc	Fläche [ha]
Alpenroseheide		1	6	20,00
Fichtenwald		1	5	19,18
Fichtenwald	Besenheide	2	5	1,69
Heidelbeerheide		1	5	4,59
Latschen-Gebüsch		1	5	9,87
Zirbenwald		1	5	0,02
Besenheide-Gesträuch		3	4	27,29
Flechte		3	2	0,88
Grünerlen-Gebüsch	Fichte	3	5	2,74
Grünerlen-Gebüsch		4	5	5,77
Mähwiese		3	3	5,74
Weiderasen	Alpenrose	3	4	23,63
Weiderasen	Fichte, Heidelbeere, Besenheide	4	3	7,93
Weiderasen	Borstgras	5	2	36,19
Vegetationslose Fläche		5	1	1,95
Vernässung		5	3	0,39
Weg		5	1	0,35
			Fläche gesamt	168,2

Der Großteil des Einzugsgebietes des Taleggbaches (168 ha) war um 1950 bestoßen. 36 ha Reinweide trugen nach heutigen Kriterien neben 2,7 ha an vegetationslosen, vernässen oder als Wegen genutzten Flächen am stärksten zur Abflussbildung bei (AKI 5). Ca. 8 ha waren von Fichte, Heidelbeere oder Besenheide unterwandert, aber intensiv beweidet. Nach Bemerkungen von Schiechtl (1998) lag auf diesen Standorten der Anteil an Baum- und Strauchvegetation unter 25%, war auf diesen Flächen also nur eine eher geringe Abflussmindernde Wirkung zu erwarten (AKI 4). Fast 24 ha Weiderasen war intensiv mit der Infiltrationsfördernden Alpenrose vergesellschaftet, diese Flächen fallen nach Ergebnissen rezenter Untersuchungen in die AKI 3 (Bunza et al. 1996, Markart et al. 2003). Geringere Abflussdisposition werden den ca. 19 ha Fi-Bestand unterstellt. Die Bestände unterhalb der Geolsalm wiesen bereits Anfang der 90er Jahre des 20. Jhdts. Vielfach dichtesten Zwergstrauchunterwuchs (Vaccinien, Alpenrose) auf. Zudem war aufgrund der Steilheit flächendeckende Beweidung dieser Bestände nicht möglich, sie stocken auf sehr skelettreichen lockeren Böden, daher ist anzunehmen, dass diese Standorte auch um 1950 höchstens in unmittelbarer Grabennähe zum Oberflächenabfluss bei Starkregen beigetragen haben (AKL 1).

Beitragende Flächen 2003

Für den Ist-Zustand 2003 wurde aufbauend auf die Kartierung Schiffer und Burgstaller (1996), den Untersuchungen von Markart et al. (1996 a, b), und Feldbegehungen nach der Geländeanleitung von MARKART et al. (2003; 2004 hoc loco) jeder der vorhandenen Vegetations-/Bewirtschaftungseinheiten eine von 7 Abflussbeiwertklassen und Rauigkeitsstufen zugeordnet. Die Ergebnisse wurden in Abflussbeiwertkarten zusammengefasst (Abb.2).

ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

Der GIS - basierte Vergleich der Abflussbereitschaft zwischen 1953 und 2000 zeigt im Einzugsgebiet des Taleggbaches eine deutliche Zunahme der hydrologisch hochwertigen Flächen (Abb.2). Die Weideflächen (hohe Abflussbeiwerte) sind um die Almgebäude konzentriert. Gegenüber 1953 sind aus den weidefrei gestellten Bereichen (Aufforstungsflächen und von Zwergsträuchern wiederbesiedelte Standorte) oberhalb der Almflächen deutlich geringere Abflussspenden zu erwarten, die Abflussspitze wurde von errechneten max. 31 m³/sec auf 14 m³/sec gekappt, dieser deutlich reduzierte Spitzenwert erreicht den Vorfluter (Finsingbach) zudem mit über 10-minütiger Verzögerung (Abb.3).

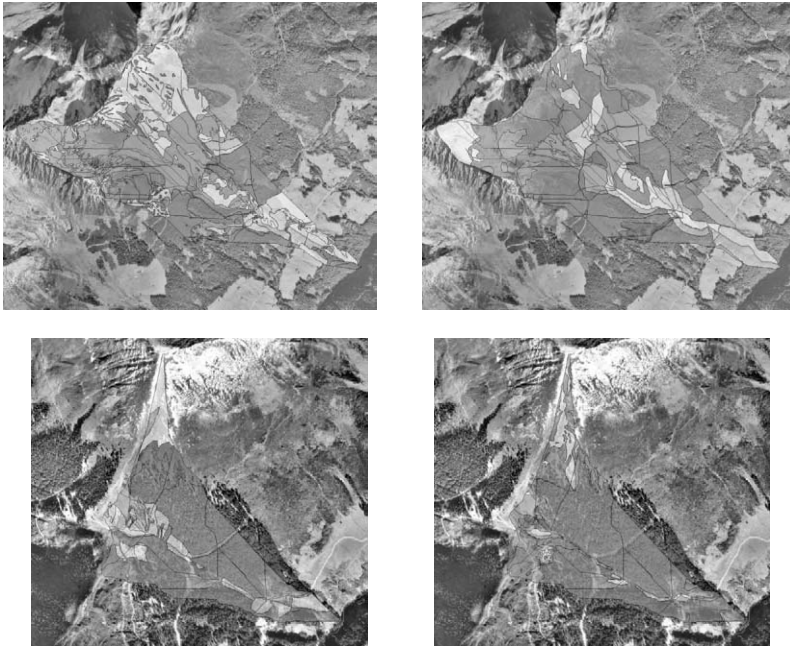


Abb.2: Änderung der zum Gebietsabfluss bei Starkregen beitragenden Flächen in den Einzugsgebieten Taleggbaches und Hundsbach. Oben: Linkes Bild: Taleggbach 1953 vor der Integralmelioration (IM), oben rechtes Bild: 2003 nach Wirksamwerden der flächenwirtschaftlichen Maßnahmen. Unten: Das von der IM nur kleinflächig betroffene Einzugsgebiet des Hundsbaches, links die Abflussverhältnisse 1953, rechts 2003. Dunkelgrün = 0-10% Abfluss, hellgrün = 10-30%, gelb = 30-50%, orange = 50-75%, rot = > 75%, blau = ~100%.

Fig.2: Changes of runoff contributing areas in the catchments Taleggbach and Hundsbach. At the top: Left image: Talegg brook 1953 before the integrated melioration started; right image: 2003 after the measures set in the whole area became effective. Below: Hundsbach catchment where only on a small part afforestations have been made during the integrated melioration. Left side: Runoff behaviour 1953, right side 2003. Dark green = 0-10% surface runoff, bright green = 10-30%, yellow = 30-50%, orange = 50-75%, red = > 75%, blue = ~100%.

Die im geographischen Informationssystem aufbereiteten Daten, Abflussbeiwert und Oberflächenrauigkeit, wurden zur Berechnung von Hochwasserspitzen gemeinsam mit topographischen Daten in ein Niederschlags/Abflussmodell eingegeben. Das modifizierte Laufzeitverfahren nach Zeller (ZEMOKOST, Stepanek et al. hoc loco) verwendet diese

Parameter zur Berechnung der Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche und im Gerinne bei definierten Starkregenereignissen. Aus der Summe der Ganglinien der Teileinzugsgebiete mit ihren verschiedenen Laufzeiten und ihrer jeweiligen Abflussspitze resultiert der Hydrograph des Gesamteinzugsgebietes. In Abb. 3 sind die Berechnungsergebnisse für die Einzugsgebiete Taleggbach und Hundsbach dargestellt, jeweils vor der Integralmelioration und zum heutigen Zeitpunkt. In ZEMOKOST werden Ereignisse steigender Dauerstufe nachgerechnet und die Abflussspitze der jeweiligen Niederschlagsdauer zurückgegeben. Als Niederschlagsinput wurden Modelldaten des HZB der Jährlichkeit 100 verwendet, inadäquate Daten nach Lorenz und Skoda (Lorenz 2000). Für den Hundsbach, der bereits vor der Integralmelioration größtenteils bewaldet war, zeigen die Simulationsläufe keine Änderung in der zu erwartenden Abflussreaktion. Die Berechnungen des Taleggbachs zeigen jedoch eine deutliche Reduktion der Abflussspitze um mehr als 50 Prozent. Von sehr großer Bedeutung ist dabei die Tatsache, dass sich das Bemessungsereignis verlagert. Hätte vor der Integralmelioration noch ein halbstündiges Ereignis zum höchsten Abfluss geführt, kann heute davon ausgegangen werden, dass die wesentlich niedrigere Abflussspitze erst im Bereich 40 bis 50 Minuten Regendauer auftritt. Diese Verschiebung hat ihre Ursache in der deutlichen Zunahme der Oberflächenrauhigkeit im Einzugsgebiet, wodurch die Fließgeschwindigkeiten und damit die Anlaufzeiten deutlich herabgesetzt werden. So stieg der mittlere c-Wert des gesamten Einzugsgebietes von 0,06 auf 0,08 was einem Klassensprung der Rauhmigkeit entspricht.

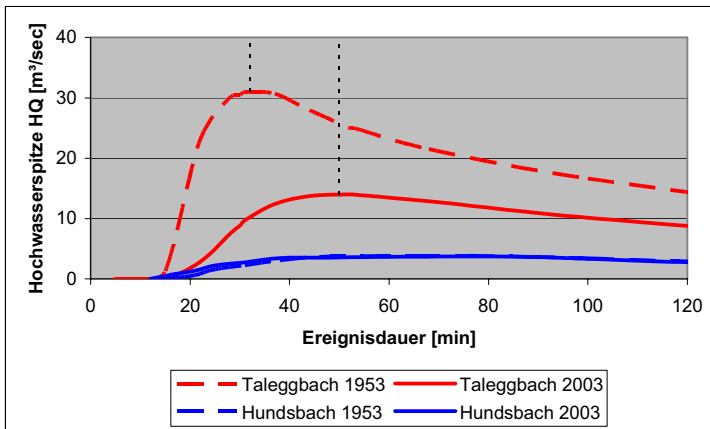


Abb.3: Hochwasserspitzen für Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Dauer in den Einzugsgebieten Taleggbaches und Hundsbach vor der Integralmelioration (1953) und bei Überprüfung der hydrologischen Wirkung der gesetzten Maßnahmen (2003).

Fig.3: Peak runoff during heavy rains of different duration in the catchments Taleggbach and Hundsbach. Dashed lines shows the situation in 1953 before integrated melioration started, solid lines show the runoff behaviour in 2003.

Die hydrologischen Wirkungen der im Rahmen der Integralmelioration Vorderes Zillertal gesetzten Maßnahmen wurden erstmals durch Seymann (1988) überprüft. Unter Verwendung von Faustformeln, die eine Änderung des Bewaldungsprozentes berücksichtigen (Hofmann, Hofbauer/Hampel, Takeda) ergaben diese Überprüfungen für das östlich an den Taleggbach anschließende Einzugsgebiet des Rischbaches bei Annahme eines Aufforstungserfolges von 10% eine äußerst geringe Reduktion des Abflusses (HQ). Nach Hofmann von 7,83 auf lediglich 7,79 m³/sec bzw. nach Hofbauer/Hampel von 61,87 auf 60,32 m³/sec. Ein voller

Aufforstungserfolg hätte demnach nach Hofmann nur eine Reduktion auf 7,43 m³/sec (5%), nach Hofbauer/Hampel eine Reduktion der Abflussspitze um 29 Prozent bewirkt. Der Vergleich der Berechnungsergebnissen jener Faustformeln mit denen eines modifizierten Laufzeitverfahrens nach Zeller (ZEMOKOST; siehe Stepanek et al. 2004 hoc loco) zeigt ein deutlich anderes Bild (Abb.4): Der Waldanteil im Einzugsgebiet Taleggbach ist von 23% (Schiechtl 1953) auf ca. 32% (nach der vegetationskundlichen Ausscheidung nach Schiffer und Burgstaller 1996) gestiegen. Diese Zunahme hätte bei einem Stundenniederschlag von 118 mm nach Hofbauer/Hampel nur eine geringfügige Reduktion des Gebietsabflusses ergeben. Bei Anwendung der Ansätze von Hofmann und Takeda zeigt das gestiegene Bewaldungsprozent nahezu überhaupt keine Auswirkungen auf die Abflussspitze. Nach dem N/A-Modell ZEMOKOST ist die Abflussreduktion dagegen beträchtlich: Von ca. 32 m³/sec auf 14 m³/sec.

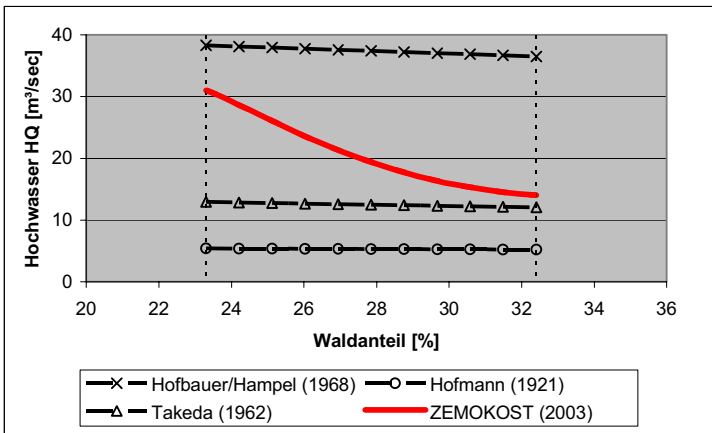


Abb.4: Rechnerische Verminderung des Gebietsabflusses bei einem extremen Starkregen (118 mm/h) im Einzugsgebiet Taleggbach bei gestiegenem Waldanteil nach verschiedenen Formelansätzen und bei Verwendung des N/A-Modells ZEMOKOST.

Fig.4: Calculative reduction of runoff in the Talegg catchment area in dependence of area covered by forest during a heavy rain event of 118 mm/h by use of different runoff formulas and the precipitation/runoff model ZEMOKOST.

DISKUSSION

Der Versuch die hydrologische Wirksamkeit der, in der Vorbeugung Vorderes Zillertal gesetzten flächenwirtschaftlichen Maßnahmen quantitativ nachzuweisen ist natürlich mit einiger Unsicherheit behaftet, insbesondere, da die Verhältnisse vor den Maßnahmen zwar in schriftlichen Berichten (z.B. Schiechtl 1954, Stern 1968) als sehr schlecht dargestellt werden, aber für einzelne Einzugsgebiete in der Finsing nur mangelnde Daten für eine Rekonstruktion der Abflussverhältnisse vor 1953 zur Verfügung stehen. Dennoch zeigt sich deutlich, dass durch die flächenwirtschaftlichen Maßnahmen in einem Einzugsgebiet wie jenem des Taleggbaches eine deutliche Abflussreduktion erreicht werden konnte. Dies obwohl stellenweise hohe Ausfälle in den Aufforstungsflächen zu verzeichnen waren z.B. auch auf der Geolsalm (im oberen Einzugsgebiet des Taleggbaches). Der Aufforstungserfolg lag mancherorts bei lediglich 10 Prozent. Durch die aufwendigen Pflanzmaßnahmen

(Lochpflanzung in Bermen) wurde jedoch einerseits die Sukzession von Zwergsträuchern erheblich gefördert, und andererseits das Aufkommen von Naturverjüngung im Bereich unmittelbar an der Waldgrenze deutlich erleichtert.

Wie in den Arbeiten von Markart et al. (2004 hoc loco) und Stepanek et al. (2004 hoc loco) detailliert beschrieben, sind neben dem Abflussbeiwert bei Abflusskonstanz (ψ_{const}) auch die Rauigkeit der Oberfläche (c) und die Initialabstraktion (Verzögerung des Abflusses nach Beregnungsbeginn) dafür maßgeblich ausschlaggebend wie hoch die Abflussspitze ausfällt und wann diese erreicht wird. Daraus wird ersichtlich, dass für die Überprüfung der hydrologischen Wirksamkeit von flächenwirtschaftlichen Maßnahmen flächendifferenzierte Berechnungsansätze zu verwenden sind. Abgesehen davon, dass mit verschiedenen empirischen Faustformeln erzielte Resultate um mehrere hundert Prozent divergieren, liegt ihr Nachteil darin, dass sie keine bzw. eine nur ungenügende Differenzierung zwischen unterschiedlich zum Gebietsabfluss beitragenden Flächen in alpinen Einzugsgebieten zulassen. Vielfach wird nur zwischen Wald und Nichtwald unterschieden. Dabei wird allen Nichtwaldflächen eine hohe Abflussbereitschaft unterstellt. Dies im Verkennen der Tatsache, dass

- in einem Einzugsgebiet in der Regel eine Vielzahl von Einheiten in unterschiedlichem Maß zum Abflussgeschehen beitragen und z.B. auch andere Einheiten wie diverse (Zwerg)Sträucher (Latsche, Alpenrose, Vaccinien etc.) ein sehr hohes Retentionsvermögen aufweisen können (Bunza und Schauer 1989, Czell 1972, Markart und Kohl 2003).
- und dass auch die Vegetationsform Wald große Bandbreiten von Abflussbeiwerten aufweisen kann (Bunza et al. 1989, 1996), jeweils in Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen, Substrat (geologischer Untergrund, Boden) und Art bzw. Intensität von Zusatznutzungen (z.B. Weide).

In diesem Zusammenhang sei auch auf die Arbeit von Buerger (1915) verwiesen. Dieser stellte bereits damals nüchtern fest: „Die Formel-Methoden ... werden allgemein verwendet, trotz allgemeinen Wissens um die Tatsache, dass die mit ihnen erzielten Resultate die Konsistenz vermissen lassen, stark schwanken und unzuverlässig sind.“

D.h. einigermaßen seriöse Vergleichsergebnisse wird man nur bekommen, wenn man wie im vorliegenden Beispiel die wichtigsten Vegetations- und Nutzungseinheiten im Testgebiet hinsichtlich ihrer Wirkung auf Versickerung und Verlängerung der Laufzeit, z.B. durch Abflussbeiwerte und Rauigkeitswerte, beurteilt, die räumliche Anordnung der unterschiedlich Abfluss liefernden Flächen im Einzugsgebiet berücksichtigt und mit einem Ansatz, der diese Differenzierungen zulässt, die Berechnungen durchführt.

LITERATUR

- Buerger, C. (1915): „A method of determining storm-water runoff.“ Transactions of the American Society of Civil Engineers, 78, 1139-1205.
- Bunza, G. und Schauer, Th. (1989): „Der Einfluss von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluss bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der Bayerischen Alpen.“ Informationsbericht 2/89 Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München.
- Bunza, G., P. Jürging, R. Löhmannsröben, T. Schauer und R. Ziegler (1996): „Abfluss- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen

- Wildbachschutz.“, Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 27, 25- 36.
- Kohl, B. and G. Markart (2002): „Dependence of surface runoff on rain intensity – Results of rain simulation experiments.“ In: International Commission for the Hydrology of the Rhine basin: Proceedings of the International Conference on Flood Estimation, March 6-8, Berne, Switzerland, 139-146.
- Lang, E. (1995): „Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen.“ Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 90.
- Lechner, I. E. (1998): „Der Kulturlandschaftswandel im Finsingtal (Zillertal) nach der Integralmelioration - Eine Regionalanalyse mit einem geografischen Informationssystem.“ Diplomarbeit Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 113 Seiten.
- Lorenz, P. und G. Skoda (2000): „Bemessungsniederschläge kurzer Dauerstufen ($D \leq 12$ Stunden) mit inadäquaten Daten.“ Mitt. Hydr. Dienst in Österr. 80.
- Markart G., B. Kohl, B. Sotier, T. Schauer und G. Bunza (2003): „Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflusses auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei Starkregen (Version 1.0).“ BFW-Berichte, in Vorbereitung.
- Markart G., B. Kohl, B. Sotier, T. Schauer und G. Bunza (2004): „Eine einfache Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflusses bei Starkregen. INTERPRAEVENT 2004, Riva, eingereicht.
- Markart, G. und B. Kohl (2003): „Abflussverhalten in Wildbacheinzugsgebieten bei unterschiedlicher Landnutzung.“ Wildbach- und Lawinverbau, in Druck.
- Markart, G., B. Kohl und P. Zanetti (1996b): „Einfluss von Bewirtschaftung, Vegetation und Boden auf das Abflussverhalten von Wildbacheinzugsgebieten - Ergebnisse von Abflussmessungen in ausgewählten Teileinzugsgebieten des Finsingtales (Zillertal/Tirol).“ Beitrag Symposium INTERPRAEVENT, Garmisch-Partenkirchen, Juni 1996, Tagungsband 1, 135-144.
- Markart, G., B. Kohl, K. Kohl und P. Zanetti (1996a): „Integralmelioration Vorderes Zillertal - Einfluss von Boden, Vegetation und rezenter Bewirtschaftung auf den Abfluss bei Starkregen.“ Unveröffentlichter Bericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 131 Seiten.
- Markart, G., S. Sauermoser, B. Kohl and R. Stern (2002): „Land use changes and the effect of mountain forests in alpine catchments.“ Proceedings of the Symposium “Ecological and economic benefits of mountain forests” 15.–18.9.2002, Austrian J. Forest Research, 119. Jg., Heft 3/4, 335-344.
- Patzelt, G. (1997): „Altersangaben zu den Niedermoorkomplexen am Loassattel, Finsingtal (Tirol).“ Mündliche Mitteilung; Inst. f. Hochgebirgsforschung, Universität Innsbruck.
- Scherrer, S. (1997): „Abflussbildung bei Starkniederschlägen - Identifikation von Abflussprozessen mittels künstlicher Niederschläge.“ VAW-Zürich, Mitt. 147.
- Schiechtl, H. M. (1953): „Vegetationskarte Vorbeugung Vorderes Zillertal 1:7500.“, Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, Innsbruck.
- Schiechtl, H. M. (1954): „Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol.“ Zentralblatt für das ges. Forstwesen, Wien, Heft 1/2: 13-28.
- Schiechtl, H. M. (1965): „Die Vegetationskartierung des Finsingtales (Nordtirol) als Grundlage für Abflussuntersuchungen und Hochlagenaufforstung.“ Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien, 66, 53-69.
- Schiechtl, H. M. (1998): „Anmerkungen zur Vegetationskarte Vorbeugung Vorderes Zillertal.“ Mündliche Mitteilung.

- Schiessling, P. (1998): „Integralmelioration Vorderes Zillertal: Dokumentation und Überprüfung der Meliorationsmaßnahmen im Bereich des mittleren Finsingtales.“ Diplomarbeit Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 102 Seiten.
- Schiffer R. und B. Burgstaller (1996): „Die aktuelle Vegetation der Bereiche Geolsalm, Maschental - Alm und Hundsbach (Finsingtal - Zillertal, Tirol).“ Unveröffentlichter Bericht an das BMLFUW, Wien 1996.
- Seymann, C. (1988): „Wildbachökologische und ökonomische Auswirkungen des Integralmeliorationsprojektes Vorderes Zillertal unter spezieller Berücksichtigung der Geolsalm und des Wildauwaldes.“ Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, 304 Seiten.
- Stauder, S. (1963a): „Das Projekt Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal und seine wirtschaftliche Bedeutung.“ Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, 60. Heft, 721-741.
- Stauder, S. (1963b): „Praktische Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung im vorderen Zillertal.“ Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, 60. Heft, 743-762.
- Stern, R. (1968): „Der Waldrückgang im Zillertal.“ Cblt. ges. Forstw., 85. Jg., Heft 1, 32-42.
- Zanetti, P. (1996): „Einfluss physikalischer Bodencharakteristika, der Bestandesphytomasse und der Nutzungsart auf die Infiltrationseigenschaften verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten des Finsingtales (Zillertal/Tirol).“ Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.