

# Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unterschätzte Größe?

GERHARD MARKART, BERNHARD KOHL UND FRANK PERZL

## Schlüsselwörter

*Abfluss, Bewirtschaftung, Massenbewegung, Wasserhaushalt, Wildholz*

## Zusammenfassung

*In Zeiten einer Häufung von Schadereignissen durch Hochwasser, Muren und Rutschungen wird zwangsläufig die Frage nach der Effizienz der bisherigen technischen Maßnahmen, flächenwirtschaftlicher Eingriffe und der Bewirtschaftung der Oberfläche von solchen Ereignissen betroffener Gebiete gestellt. Eine gute Waldausstattung in alpinen Einzugsgebieten wurde früher als Versicherung gegen Naturgefahren angesehen. In den letzten Jahren wird jedoch die Wirkung der Waldvegetation als Schutz vor Naturgefahren immer stärker hinterfragt.*

*Im Folgenden wird die hydrologische Wirkung der Waldvegetation in alpinen Einzugsgebieten kurz diskutiert. Die Autoren zeichnen ein überwiegend positives Bild der Waldwirkung. Es beruht auf den Ergebnissen von hydrologischen Untersuchungen und Analysen von Schadereignissen in einer Vielzahl von Wildbacheinzugsgebieten des Ostalpenraumes.*

*In einer Reihe in den letzten Jahren erschienener Arbeiten wird die hydrologische Wirkung der Waldvegetation insbesondere bei Niederschlägen langer Dauer kritisch hinterfragt. „Bei gleichen Niederschlagverhältnissen kann somit der Wald, je nach Bodenbedingungen, eine Schutzwirkung haben oder nicht“ formulieren HEGG et al. (2004). BURCH et al. (1996) stellten im Zuge ihrer Analysen von drei Einzugsgebieten keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Bewaldungsgrad und Hochwasserabflussspitzen fest. COSANDEY et al. (2005) erhielten bei der Auswertung mehrerer forsthydrologischer Studien in Südfrankreich deutlich divergierende Ergebnisse, von hoher Waldwirkung bis zu keinem Unterschied zwischen Wald und Grasland in der Abflussbildung.*

*Im Folgenden zeichnen die Autoren dennoch ein überwiegend positives Bild der Waldwirkung. Es beruht auf den Ergebnissen von Untersuchungen und Analysen von Schadereignissen in einer Vielzahl von Wildbacheinzugsgebieten des Ostalpenraumes.*

## Einfluss der Waldvegetation auf den Wasserhaushalt

Alpine Wälder können bei einem einzelnen Niederschlagsereignis je nach Baumart und Dichte des Kronendaches ca. 4 bis 6 mm Wasser im Kronenraum zurückhalten (AULITZKY und THURNER 1982; BREITSAMETER 1996; MARKART 2000; WEISKOPF 2002).

Mit abnehmendem Überschirmungsgrad sinkt die Interzeptionsleistung sowohl bei Einzelereignissen als auch im Jahresschnitt. Beispielsweise reduziert die Entnahme von 55 Prozent der Holzmasse in einem Fichten/Tannen/Buchenbestand der Tegernseer Berge in Bayern die Interzeption von 25 Prozent des Jahresniederschlags auf deutlich unter 20 Prozent (BREITSAMETER 1996).

Die Interzeptionsleistung hängt auch von der zeitlichen und mengenmäßigen Verteilung der Niederschläge ab. Bei Häufung von Ereignissen hoher Intensität ist der Kronenrückhalt geringer als z. B. bei Niederschlägen geringer Intensität mit wiederholten Unterbrechungen und Abtrocknungsphasen.

Man kann davon ausgehen, dass auf Grund der Interzeptionswirkung von Waldbeständen in den Ostalpen ca. ein Fünftel bis ein Drittel des Jahresniederschlags nie auf den Boden gelangt.

Auch die Verdunstungsleistung der Vegetationsdecke hängt maßgeblich von der Niederschlagsverteilung ab. Ordnet man die Gesamt-Verdunstungsleistung einer Reihe mit Fichte bewaldeter Einzugsgebiete aus der Arbeit von MENDEL (2000) nach Klassen der jährlichen Niederschlagssummen, dann ergibt sich das in Abbildung 1 dargestellte Bild.

Bei jährlichen Niederschlägen um 750 mm gehen fast 90 Prozent in die Verdunstung, bei 1.200 mm knapp über 40 Prozent, bei Niederschlagsmengen über 2.000 mm/a ca. 20 Prozent. Absolut gesehen heißt dies, dass ein Fichtenbestand in Deutschland pro Jahr zwischen ca. 500 und 650 mm Wasser über aktive Verdunstung an die Atmosphäre zurückgibt.

Berechnungen des Wasserumsatzes einer dicht bestockten 25-jährigen Zirben-Aufforstung in

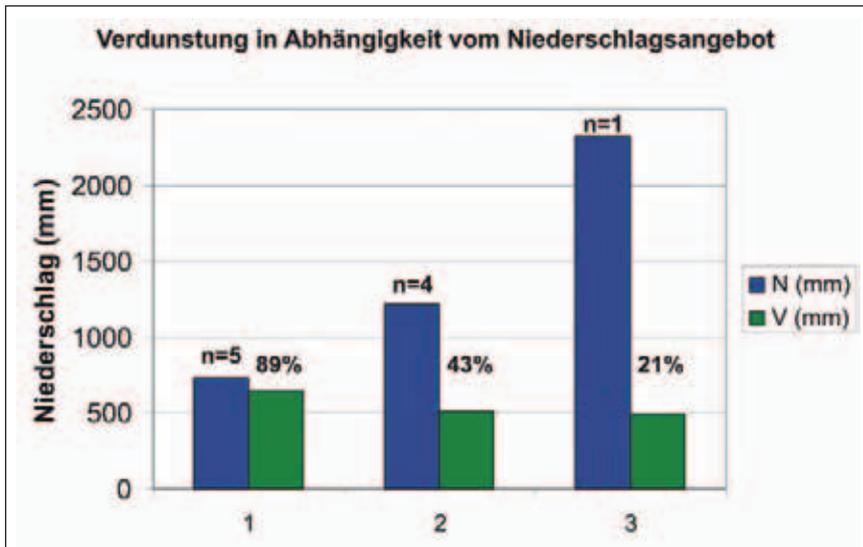


Abb. 1: Jahres-Gesamtverdunstung von bewaldeten Einzugsgebieten in Deutschland - Angaben für Fichte; Auswertungen tabellarischer Angaben in MENDEL (2000); N = Jahresniederschlag, V = Verdunstung, n = Anzahl der Einzugsgebiete je Klasse: Klasse 1: 703 mm < N < 803 mm, Klasse 2: 1.066 mm < N < 1.299 mm, Klasse 3: N = 2.320 mm

Haggen im Tiroler Sellraintal von MARKART (2000) ergaben Transpirationswerte zwischen 26 und 55 Prozent des Niederschlages von ca. 400 mm in den Sommermonaten Juli bis September. Bei günstiger Niederschlagsverteilung fand in der Aufforstung in den Sommermonaten nahezu keine Tiefensickerung statt. Die Zirbenaufforstung zeigte ein deutlich rascher abnehmendes Wasserangebot im Boden als eine benachbarte mit Gräsern und Besenheide bewachsene Freifläche.

Dabei ist der Anteil des von der Baumvegetation über die Wurzeln aufgenommenen und über die Nadeln oder Blätter an die Luft abgegebenen Wassers (aktive Verdunstung/Transpiration) deutlich größer - doppelt bis viermal so hoch - wie z. B. von kurzwüchsigen alpinen Rasen (Abb. 2). Bei gleichem Niederschlagsangebot sind Böden unter Wald oder unter alpinen Zwergsträuchern auf Grund der hohen Interzeptions- und Transpirationsleistung daher in der Regel deutlich aufnahmefähiger als Böden unter kurzwüchsigen Vegetations-

formen, z. B. alpinen Rasen.

BREITSAMETER (1996) registrierte in aufgelichteten Fichten-Tannen-Buchen-Beständen im Flysch und im Kalkalpin der Tegernseer Berge infolge geringerer Interzeption und niedrigerer Verdunstung höhere Bodenfeuchte als in dichten, nicht durchforsteten Beständen. Je älter die Bäume sind und je dichter sie stehen, umso rascher steigen die Wasserspannungen in der intensiv durchwurzelten Zone. Auch HAGER (1988) beobachtete in Abhängigkeit vom Durchforstungsgrad seiner Fichten-Versuchsflächen am Jauerling in Niederösterreich ein typisches Aufsättigungsmuster. Je lockerer

der Bestand, umso langsamer und weniger tiefgreifend wird das Wasser dem Boden entzogen.

### Einfluss der Waldvegetation auf die Abflussbildung bei Starkregen

Nach COSANDEY et al. (2005) sollte die Diskussion der hydrologischen Wirkung von Wäldern (am Beispiel Südfrankreich) auf die Frage vegetations-

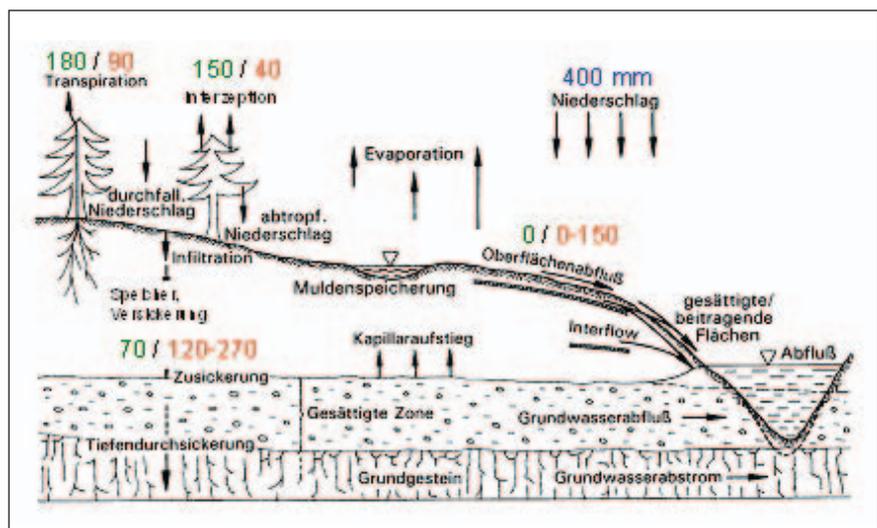


Abb. 2: Niederschlagsumsatz in den Sommermonaten Juli-September am Beispiel eines Hangsegmentes für die Tiroler Inneralpen; Angaben in mm; Quellen: BRONSTERT (1994); LYR et al. (1992); MARKART (2000); MENDEL (2002); Grün = Wald, rot = Rasen, alpines Grasland

loser Boden versus vegetationsbedeckter Boden reduziert werden. Die Frage der Wirkung der Waldvegetation im Vergleich zu anderen Vegetationsformen sei von untergeordneter Bedeutung. Dieser Meinung muss nach aktuellem Kenntnisstand für den Ostalpenraum massiv widersprochen werden. In einer Reihe von Felduntersuchungen ist mittlerweile belegt, dass im Alpenraum großräumig vorkommende gehölzfreie Vegetationseinheiten wie z. B. Bürstling-Rasen oder auch einzelne Formen von Schwingel-Rasen auf Grund des hohen Anteiles an toter organischer Substanz die Aufnahmefähigkeit des Mineralbodens stark herabsetzen (Strohdacheffekt) und aus diesen Einheiten durchwegs hohe Oberflächenabflussspenden zu erwarten sind (MARKART et al. 1996, 2000). Zusätzliche abflussfördernde anthropogene Eingriffe (Planien, Weide etc.) sind dabei noch gar nicht berücksichtigt.

Die positiven hydrologischen Wirkungen der Waldvegetation bzw. einer dichten Zwergstrauchdecke bei Starkregen liegen nicht primär in der Interzeptionsleistung zum Zeitpunkt des Starkregenereignisses, sondern in der Brechung der kinetischen Energie des Niederschlages und dessen dosierter Ableitung über die Bodenvegetation und die Humusaufgabe, die den Aufprall der Tropfen weiter abpuffern, in den Mineralboden und den geologischen Untergrund leiten kann.

Dabei wirken abgestorbene Baumwurzeln noch oft über Jahre und Jahrzehnte nach ihrem Absterben als Hohlräume (AIGNER 1991) und ermöglichen damit eine rasche Wasserableitung. Dies erhöht den Abfluss im Boden, er kann erheblich sein, aber er ist nach WOHLRAB et al. (1996) mindestens zwanzigmal langsamer als der Oberflächenabfluss.

Seit Ende des 19. Jahrhunderts hatten zahlreiche Studien zum Ziel, die unterschiedlichen Abfluss- und Infiltrationseigenschaften von Wald- und Nichtwaldstandorten (Freiland) quantitativ zu belegen. Schon die Arbeiten von ENGLER (1919) zeigen im Prinzip eindrucksvoll, dass „bei Gewitterregen der Abflussfaktor für Wald immer bedeutend kleiner als für das Freiland ist“. Die Untersuchungen von SCHWARZ (1986) im Rahmen des landschaftsökologischen Forschungsprojektes Schönbuch (bei Tübingen) zeigen unter anderem, „...dass reiner Oberflächenabfluss unter Wald nur in Ausnahmefällen möglich ist“. Nach den Anfangsverlusten durch Interzeption im Kronendach und

in der Streudecke (zusammen zwischen 5 und maximal 10 mm) werden nach SCHWARZ ca. 10 bis 30 mm Niederschlag benötigt, um eine Teilsättigung der obersten grobporenen Bodenschicht (A-Horizont) zu erreichen und hier oberflächennahen Abfluss auszulösen (EINSELE et al. 1986).

Die Arbeiten von BREITSAMETER (1996) im Flysch und in den Kalkalpen der Tegernseer Berge zeigen, dass geschlossener Bergwald einen nahezu vollständigen Schutz der Böden im Gebirge gegen flächenhaften Bodenabtrag darstellt. Der messbare Abtrag aus vollständig bewaldeten Gebieten entsteht primär in den Rinnen und Gräben sowie den unmittelbar angrenzenden steilen Uferabhängen. Selbst bei starker Auflichtung auf die Hälfte ergab sich kein Oberflächenabfluss bzw. Bodenabtrag, ein Effekt, der auf die günstige Bodenstruktur (hohes Porenvolumen, Grobporenanteil, hohe Aggregatstabilität) und die intensive Durchwurzelung zurückzuführen war. Diese Waldwirkungen wurden auch in einer Reihe anderer Arbeiten beschrieben (BUNZA et al. 1996; KOHL et al. 1997; KOHL et al. 2002; MARKART et al. 2002; MARKART und KOHL 2004; MARKART et al. 2004).

Bei der Bildung von Oberflächenabfluss wird oft nur auf den Abflussbeiwert, also das Verhältnis von Oberflächenabfluss zur Niederschlagsmenge, Bezug genommen. Von besonderer Bedeutung bei der Hochwasserentstehung ist jedoch auch die zeitliche Verzögerung der Abflussbildung.

Am Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen (INW) wurden die Resultate von über 230 Starkregensimulationen (Berechnungsversuche mit Großregenanlagen auf Flächen von 50 bis 100 m<sup>2</sup>) auf verschiedensten Vegetationsformen verrechnet und daraus die in Tabelle 1 angeführten Werte der Konzentrationszeit für Standorte mit unterschiedlicher Abflussbereitschaft abgeleitet. Als Konzentrationszeit wird die Zeitspanne vom Regenanfang bis zu dem Augenblick, an dem ein Gleichgewichtszustand zwischen Zufluss und Abfluss erreicht wird, d. h. in dem der Abfluss ein Maximum erreicht,

Initialabstraktion (in min)	Abflussbeiwertklasse (AKI)	Oberflächenabfluss in % des Niederschlages
∞	0	0
28	1	1-10
20	2	11-30
15	3	31-50
11	4	51-75
7	5	75-99
5	6	100

Tab. 1: Abnahme der Initialabstraktion mit zunehmender Abflussbereitschaft

bezeichnet (SIFALDA 1996).

Waldvegetation und alpine Zwergsträucher sind nach den vorliegenden Resultaten der Berechnungen primär den Klassen mit geringer Abflussbereitschaft zuzuordnen, wie die Auswertungen der Starkregensimulationen des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft und des INW zeigen (BUNZA et al. 1996; LÖHMANN-RÖBEN et al. 2000; MARKART et al. 2004). Diese beiden Vegetationsformen weisen in der Regel eine sehr raue Oberfläche auf, über die große Oberfläche und den stockwerkartigen Aufbau (Baumschicht, Kraut-/Zwergstrauchschicht, Moosschicht, Humusaufgabe, Mineralboden) wird die Abflussbildung gebremst. Daher erfährt die Hochwasserspitze in bewaldeten Einzugsgebieten eine deutliche Verzögerung und ist deutlich niedriger (COSANDEY 2005).

Starkniederschläge können daher in gepflegten und gut strukturierten Wäldern weniger Schaden anrichten, der Fließweg des Niederschlages an der Bodenoberfläche bis zur Einsickerung in den Boden ist z. B. gegenüber alpinen Rasenflächen oder Intensivnutzungsflächen deutlich geringer.

### Waldvegetation - Abflussverhalten in Abhängigkeit von der Vorbefeuchtung

Untersuchungen von MARKART und KOHL (2004) zum Zusammenhang zwischen Vorbefeuchtung und Abflussbildung belegen den in der Literatur schon vielfach diskutierten Einfluss der Vorbefeuchtung auf den Oberflächenabfluss bei Starkregen (Abb. 3).

Der Abflussbeiwert variiert zwischen 0,15 (bei geringer Vorbefeuchtung) und 0,55 (bei hohem Wasseranteil). Extrem empfindlich auf hohe Ausgangsfeuchte reagieren Rasenstandorte (0,31 bzw. 0,55) und begrünte/planierte Flächen (0,16 bzw. 0,40). Bei Waldstandorten wirkt sich eine hohe Vorbefeuchtung in deutlich geringerem Ausmaß auf das Abflussgeschehen aus.

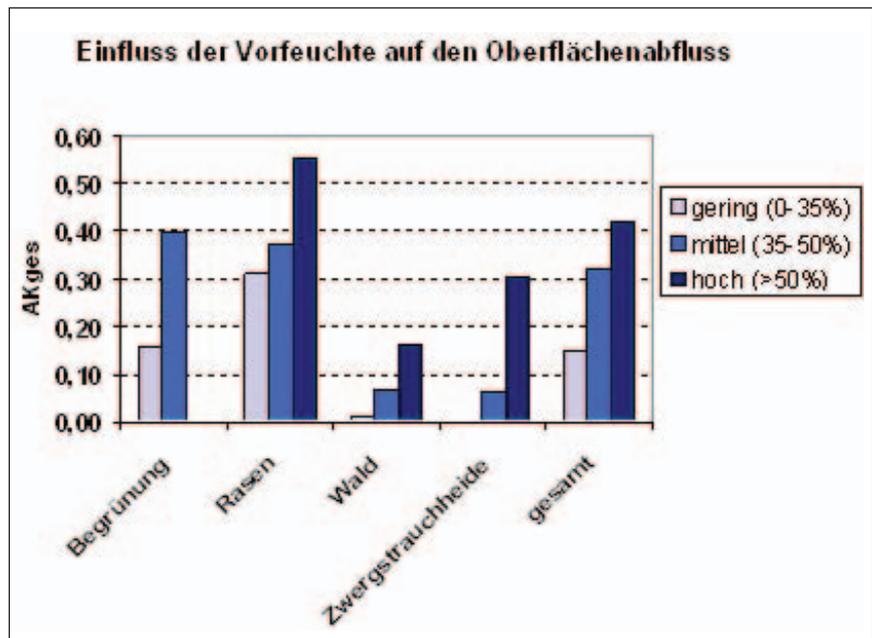


Abb.3: Einfluss der Vorbefeuchtung des Bodens auf den Oberflächenabfluss verschiedener Vegetationseinheiten (n = 78 Versuche, < 35 Prozent des Gesamtporenvolumens (PV) = gering, 35-50 Prozent des PV = mittel, > 50 Prozent des PV = hoch; AKges = Gesamtabflusskoeffizient = Gesamtabfluss/gesamte Niederschlagsmenge); nach MARKART und KOHL (2004), verändert

### Einfluss auf die Abflussbildung bei Dauerregen

Bei einem vom Lebensministerium beauftragten Forschungsprojekt zur Analyse der Abflusstenstehung bei Dauerregen konnten Mitarbeiter des Institutes für Naturgefahren und Waldgrenzregionen (INW) am BFW über Simulationen von Dauerregen auf 400 m<sup>2</sup> großen Testflächen zeigen, dass auf Standorten mit hoher Abflussbereitschaft bei Starkregen (Niederschlagsintensität  $i_N = 30$  bis > 100 mm/h) auch bei Dauerregen ( $i_N = 10$  mm/h) ein hoher Anteil des Niederschlages als Oberflächenabfluss wirksam wird (NACHTNEBEL et al. 2005). Der Abflussbeiwert bei Starkregen ist bei 30 mm <  $i_N$  < 100 mm annähernd konstant (Abb. 4). Die Ergebnisse der ersten Dauerregensimulationen lassen für Dauerregen um  $i_N = 10$  mm/h folgende grobe Rückschlüsse zu:

- ♦ Flächen, die bei Starkregen viel Oberflächenabfluss bringen, liefern auch bei Dauerregen in hohem Maße Abfluss - ein bis maximal zwei Abflussbeiwertklassen nach MARKART et al. (2004) tiefer als bei Starkregen;
- ♦ auf Flächen mit geringer bis mittlerer Bereitschaft zur Bildung von Oberflächenabfluss bei Starkregen entsteht bei Dauerregen kein bis geringer Oberflächenabfluss (Abflussbeiwertklassen 0 bis 2 nach MARKART et al. 2004, siehe auch Tabelle 1).

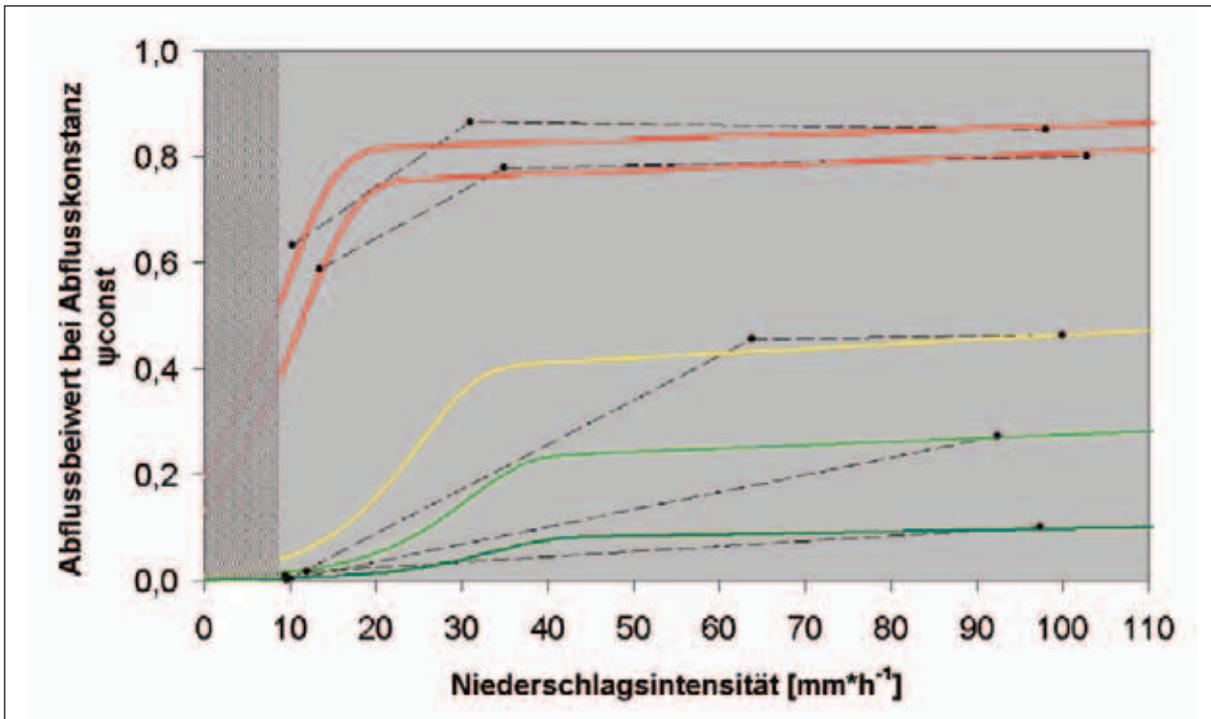


Abb. 4: Änderung der Abflussbeiwerte ( $\psi_{const}$ ) von Dauer- zu Starkregen (nach MARKART et al. 2006)

Die in den Feldversuchen gefundenen Hinweise wurden im Zuge der Schadensaufnahmen nach den Ereignissen vom 22./33. August 2005 in Vorarlberg bestätigt. Auf vielen Nichtwald-Standorten wurden Hinweise auf Oberflächenabfluss als Folge limitierter Infiltrationskapazität, z. B. auf den überwiegend bindigen Almböden, gefunden (MARKART et al. 2006).

Je rauer die Oberfläche eines Standortes und je geringer die Verdichtung des Oberbodens, umso geringer ist der Anteil des an der Oberfläche abfließenden Wassers. Bei den hohen Niederschlagsmengen am 22.8.2005 - in fünf Stunden fielen ca. 90 mm Niederschlag - entspricht dies einer Intensität von 18 mm/h. Die Abflussbeiträge aus dem langsameren oberflächennahen und dem tiefgründigen Abfluss (Abflussprofiltypen 2 und 3 nach PIRKL et al. 2000) wurden auf den alpinen Rasenstandorten mit beträchtlichen Spenden an Oberflächenwasser überlagert. In den umgebenden Waldbeständen wurden kaum Hinweise auf flächigen Oberflächenabfluss gefunden. Daher ist eine raue Landoberfläche, wie z. B. von Waldökosystemen oder alpinen Zwergstrauchheiden, ein wichtiges Element in der Verzögerung der Abflussspitze und für die dosierte Versickerung des sonst an der Oberfläche abfließenden Wassers - auch bei Dauerregen.

Die Resultate der Starkregen- und der Dauerregensimulationen des INW geben deutlich zu erkennen, dass Böden unter Wald auch bei hohen

Niederschlagsmengen und -intensitäten kaum an die Grenze ihrer Aufnahmekapazität gelangen. Beispielsweise wurde eine bewaldeten Testfläche (Fichten-Baumholz bis -Altholz) am Ziepelbach bei Westendorf (Tirol) innerhalb von 46 Stunden mit insgesamt 170 mm Niederschlag in Form eines Dauerregens ( $i_N$  E 10 mm/h) und mit einem weiteren Starkregen von 97,4 mm in 90 mm beaufschlagt (Abb. 5). Im Boden, einer lehmig-sandigen pseudovergleyten Moderbraunerde, wurden vom Gesamtporenvolumen von ca. 70 Volumen-Prozent nur ca. 44 Volumen-Prozent ausgeschöpft, das restliche Wasser wurde dosiert in größere Tiefen abgeleitet.

Auf Standorten mit hohem natürlichem Hangwasserangebot, beispielsweise auf hydromorphen Böden, Feuchtplächen oder/und sehr bindigen (lehmigen/tonreichen) Einheiten hängt die Waldwirkung von der Infiltrationskapazität der Böden ab und ist in der Regel geringer.

## Wald und Massenbewegungen

Bei hohem Niederschlagsangebot, insbesondere bei Dauerregen, entstehen „Hangwasser-säulen“, die über Hunderte Höhenmeter einen immensen Porendruck ausüben.

Bäume fixieren mit ihrem Wurzelgeflecht mit einer Armierung bzw. einfachen temporären techni-



Abb. 5: Fichten-Bestand am Ziepelbach bei Westendorf, Tirol; die Fläche lieferte bei Dauerregen keinen Oberflächenabfluss. Bei Starkregen mit 97,5 mm Niederschlag in 1,5 Stunden entstand auf dieser Fläche nur geringer Abfluss (8 Prozent der Auftragsmenge). (Foto: G. Markart)



Abb. 6: Gleich einem elastischen Geflecht halten die Wurzeln des Fichtenbestandes den Oberboden zusammen. Bei anderen alpinen Baumarten bzw. Mischbeständen ist diese stabilisierende Wirkung noch viel effektiver, da die Wurzeln viel weiter in die Tiefe reichen. (Foto: R. Reiter, BFW)

schen Verbauungsmaßnahmen zu vergleichen, den Oberboden und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Stabilisierung von Hängen (Abb. 6).

Waldbestände sind jedoch nur begrenzt in der Lage, Erhöhungen des Hangwasserspiegels durch

Oberflächen- und Hangwasser aus höher liegenden waldfreien Bereichen zu kompensieren. So war bei vielen Ereignissen mit „mangelnder hangstabilisierender Wirkung des Waldes“, wie z. B. auch bei den in der Literatur vielfach diskutierten Waldabbrüchen bei Prosegg in Osttirol im Jahr 1966, „Fremdwasser“ aus höher gelegenen Bereichen der wahrscheinliche Auslöser (STAHR 1991).

Als Folge der intensiven Durchwurzelung ist im Wald auf jeden Fall mit einem höheren Anteil an Sekundärporen im Vergleich zu umgebenden Nichtwaldflächen zu rechnen (WHIPKEY 1962). Untersuchungen des Abflussverhaltens in Böden eines Koniferenbestandes in Caspar Creek (Kalifornien, USA) von KEPPELER und BROWN (1998) ergaben deutlich höheren und rascheren Zwischenabfluss nach der Schlägerung. Auf Grund des nach der Bestandesnutzung deutlich ansteigenden Sickerwasserangebotes agieren die Sekundärporen (Wurzelröhren, Tierröhren etc.) als eine Art Überdruckventil, über die das Hangwasser rasch dem Vorfluter zugeführt wird. Ist das „Ventil“ Sekundärporen nicht in ausreichendem Umfang vorhanden, steigt der Porenwasserdruck deutlich an, die Rutschungsbereitschaft ist höher. Über die Makroporen bzw. den Abfluss wird dann das Wasser natürlich rascher dem Vorfluter zugeführt als auf Standorten mit geringerer

Makroporenausstattung. Die Quadratur des Kreises - Fixieren des Hanges und des Wassers im Bodenkörper - ist auch für Waldbestände nur begrenzt möglich.

Bei Abbrüchen im Wald besteht ein enger Zu-

sammenhang zwischen Waldzustand und Rutschungsaktivität (KEPPELER und BROWN 1998; RICKLI 2001). MARKART et al. (2006) analysierten im Rahmen der Dokumentation der Schadereignisse vom 22. und 23. August 2005 in den Gemeinden Au und Schnepfau (Bregenzerwald, Vorarlberg) die Rutschungsdisposition in Abhängigkeit von Vegetationsbedeckung und Bewirtschaftung. Aus Abbildung 7 wird ersichtlich, wie stark Waldvegetation flachgründige Rutschungen beeinflussen kann und in welchem Maß der Waldzustand bzw. Zusatznutzungen das Auftreten flachgründiger Rutschungen beeinflussen. Anbrüche im Wald wurden beispielsweise bevorzugt in Blößen, unterhalb von Blößen, auf und unterhalb von Rasenflächen, früher landwirtschaftlich genutzten und jetzt in nicht betreuter Sukzession befindlichen Einheiten sowie in stark aufgelockerten Beständen beobachtet. Häufig waren auch flachgründige Anbrüche unterhalb von Waldflächen direkt am Waldrand, wie auch schon von ANDRECS et al. (2002) bei den Ereignissen 1999 in Laterns beschrieben, zu sehen. In diesen Einheiten ist das Wurzelwerk der Bäume jeweils weniger dicht und stark ausgeprägt, damit ist die Armierung des Bodens deutlich schwächer als in optimal bestockten Beständen (ungleichaltrige Mischbestände aus standortsangepassten Baumarten).

## Wildholz

In den unmittelbaren Bacheinhängen ist eine differenzierte und intensive Waldbewirtschaftung notwendig. Beispielsweise bieten Jungholz-Dauerge-

sellschaften eine Möglichkeit, einerseits eine hohe Pumpwirkung zu erzielen und der Erosion vorzubeugen, aber andererseits das Risiko der Wildholzproblematik und das Verkläunungspotential gering zu halten. Die Bewirtschaftung von Grabeneinhängen muss aber gezielt und standortgerecht erfolgen, Schlägerungen ganzer Grabeneinhänge vom Schwemmkegelhals bis zur Waldgrenze unter dem Titel „Hangentlastung“ bzw. „Reduzierung des Wildholzpotentials“ sollten der Vergangenheit angehören.

Besonders das Instrument der „Hangentlastungen“ sollte dosiert verwendet werden und setzt die profunde Kenntnis der Standortverhältnisse voraus. Nach BEINSTEINER (1981) ist bei einem tiefgründigen Boden von einem Meter Mächtigkeit die Bodenmasse mit 85 Prozent, der Anteil des Wassers (bei Feldkapazität) mit 13 Prozent und die Masse des Bestandes mit lediglich zwei Prozent anzusetzen. Eventuellen Sicherheitsgewinnen auf Grund der Entnahme der Baummasse (= Reduktion der dynamischen Beanspruchung des Standortes, Reduktion der Masse am Standort) stehen kontraproduktive Effekte wie die reduzierte Transpirationsleistung, ein künftig höheres Angebot an Sicker- bzw. Hangwasser und die daraus resultierende Massenerhöhung in Kombination mit der Gefahr der Instabilisierung gegebenenfalls vorhandener labiler Schichten gegenüber. Das Bestandesgewicht kann die Stabilität erhöhen, wenn der Böschungswinkel einen Grenzwert nicht überschreitet (WEINMEISTER 1997). Besonders der Böschungsfuß sollte daher nicht „schlagartig“ entlastet werden.



Abb. 7: Rutschungen im Wald entstehen häufig im Bereich von Blößen oder Freiflächen bzw. darunter, auf im Zuwachsen begriffenen Weideflächen bzw. nur locker bestockten Bestandesteilen, an Stellen mit häufig hohem Hangwasserangebot oder an Waldrändern im Übergangsbereich zum Freiland; Bild aus MARKART et al. (2006), verändert.

## Schlussbemerkungen

Zur Zeit wird in Mitteleuropa eine intensive Diskussion über die Wiederbereitstellung bzw. Schaffung von Überflutungsräumen in den intensiv besiedelten Flussgebieten geführt. Dieser Meinungsbildungsprozess und damit die Chance eines Umdenkens über die künftige Nutzung und Bewirtschaftung dieser Bereiche sind zu begrüßen. Dennoch darf man dabei nicht übersehen, dass Hochwässer ihre „Wurzeln“ vielfach in den hintersten und hoch gelegenen Einzugsgebieten haben. Die Abflussbildung in Wildbacheinzugsgebieten ist eng an den Faktorenkomplex Substrat (geologische Grundlagen, Böden), Nutzung und den Anteil stark retendierender Vegetationsformen (Waldvegetation, Zwergsträucher) sowie deren räumlicher Verteilung im Gebiet gebunden. Die Schaffung von Überflutungsräumen in den Tiefen ist ein wichtiger Ansatz der Schutzwasserwirtschaft zur Steuerung der Hochwasserfracht. Eine entsprechende Bewirtschaftung und Betreuung der Wildbacheinzugsgebiete zur Hochwasserprävention ist jedoch der unerlässliche erste Schritt. Optimal strukturierte Waldbestände können dabei einen elementaren Beitrag zum Schutz vor Naturgefahren leisten.

## Literatur

- AIGNER, J. (1991): Wurzelraum eines sekundären Fichtenbestandes im tertiären Hügelland Oberösterreichs. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien
- ANDRECS, P.; MARKART, G.; LANG, E.; HAGEN, K.; KOHL, B.; BAUER, W. (2002): Untersuchung der Rutschprozesse vom Mai 1999 im Laternser Tal (Vorarlberg). Beiträge zur Wildbachforschung, BFW-Bericht 127, S.55-87
- AULITZKY, H.; TURNER, H. (1982): Bioklimatische Grundlagen einer standortgemäßen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes. Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das Forstliche Versuchswesen, Bd.58, S.325-580
- BEINSTEINER, H. (1981): Waldbauliche Beurteilung der Waldabbrüche im Osttiroler Katastrophengebiet. Dissertation Universität für Bodenkultur, Wien
- BREITSAMETER, J. (1996): Untersuchungen zum Feststoffaustrag aus unterschiedlich dicht bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flysch und in den Kalkalpen der Tegernseer Berge. Forstliche Forschungsberichte München, Bd. 154
- BRONSTERT, A. (1994): Modellierung der Abflussbildung und der Bodenwasserdynamik von Hängen. Mitteilung 46, IHW Universität Karlsruhe
- BUNZA, G.; JÜRGING, P.; LÖHMANNSRÖBEN, R.; SCHAUER, T.; ZIEGLER, R. (1996): Abfluss- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen Wildbachschutz. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 27, S.25-36
- BURCH, H.; FORSTER, F.; SCHLEPPI, P. (1996): Zum Einfluss des Waldes auf die Hydrologie der Flysch-Einzugsgebiete des Alptals. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 147, S.925-937
- COSANDEY, C.; ANDRÉASSIAN, V.; MARTIN, C.; DIDON-LESCOT, J.F.; LAVABRE, J.; FOLTON, N.; MATHYS, N.; RICHARD, D. (2005): The hydrological impact of the mediterranean forest: a review of French research. Journal of Hydrology 301, S.235-249
- EINSELE, G.; AGSTER, G.; ELGNER, M. (1986): Niederschlag-Bodenwasser-Abflussbeziehungen bei Hochwasserereignissen im Keuper-Lias-Bergland des Schönbuchs. In: EINSELE, G. (Hrsg): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Forschungsbericht, VCH, S.209-234
- ENGLER, A. (1919): Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer. Mitteilungen der schweizerischen Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen Bd. 12
- HAGER, H. (1988): Stammzahlreduktion - Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien
- HEGG, C.; BADOUX, A.; LÜSCHER, P.; WITZIG, J. (2004): Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser. Forum für Wissen, S. 15-20
- KEPPELER E.; BROWN, D. (1998): Subsurface Drainage Processes and Management Impacts. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, General Technical Report PSW-GTR-168-Web
- KOHL, B.; MARKART, G.; STARY, U.; PROSKE, H.; TRINKAUS, P. (1997): Abfluss- und Infiltrationsverhalten von Böden unter Fichten-Altbeständen in der Gleinalm (Steiermark) - Vergleich zweier Großregenanlagen. Beiträge zur Wildbachforschung, FBVA-Bericht Nr. 96, S.27-32
- KOHL, B.; MARKART, G.; BAUER, W. (2002): Abflussmenge und Sedimentfracht auf unterschiedlich genutzten Boden-/Vegetationskomplexen bei Starkregen im Sölkta/Steiermark. BFW-Bericht Nr. 127, S.5-30

- LYR, H.; FIEDLER, H.J.; TRANQUILLINI, W. (1992) (Hrsg.): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart
- MARKART, G. (2000): Zum Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. Bericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr. 117
- MARKART, G.; SAUERMOSE, S.; KOHL, B.; STERN, R. (2002): Land use changes and the effect of mountain forests in alpine catchments. Proceedings of the Symposium „Ecological and economic benefits of mountain forests“ vom 18.9.2002, Austrian Journal of Forest Research, 119. Jg., Heft 3/4, S. 335-344
- MARKART, G.; KOHL, B. (2004): Abflussverhalten in Wildbacheinzugsgebieten bei unterschiedlicher Landnutzung. Wildbach- und Lawinenverbau, Heft 149, S. 9-20
- MARKART, G.; KOHL, B.; SOTIER, B.; SCHAUER, T.; BUNZA, G.; STERN, R. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). BFW Dokumentation Nr. 3
- MARKART, G.; PERZL, F.; KOHL, B.; LUZIAN, R.; KLEEMAYR, K.; ESS, B.; MAYERL, J. (2006): Schadereignisse 22./23. August 2005 - Ereignisdokumentation und -analyse in ausgewählten Gemeinden Vorarlbergs. BFW-Bericht, in Vorbereitung
- MAYER, H.; BEINSTEINER, H. (1972): Die Waldabbrüche im Osttiroler Katastrophengebiet. Mitteilungen zu Interpraevent 1971 in Villach. Allgemeine Forstzeitung, Fachzeitschrift für das gesamte Forstwesen, 83. Jahrgang, Folge 3, S. 50-53
- MENDEL, H.G. (2000): Elemente des Wasserkreislaufs: Eine kommentierte Bibliographie zur Abflussbildung. Hrsg.: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Analytica, 1. Auflage, Berlin
- NACHTNEBEL, H. P.; LEROCH, K.; FÜRST, J.; HOLZMANN, H.; MARKART, G.; KOHL, B.; BAUER, W.; PIRKL, H.; KIRNBAUER, R.; RAMSPACHER, P. (2005): Endbericht zum Projekt „Abflussverhalten von Einzugsgebieten verschiedener Größe bei Dauerregen“, GZ 58110-VC7/2000 an das BMLFUW, Abteilung IV/4
- RICKLI, C. (Red.) (2001): Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL
- SCHWARZ, O. (1986): Zum Abflussverhalten von Waldböden bei künstlicher Beregnung. In: EINSELE, G. (Hrsg): Das landschaftsökologische Forschungsprojekt Naturpark Schönbuch. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Forschungsbericht VCH, S. 61-179
- SIFALDA, V. (1996): Approximation der Konzentrationszeit der Abflüsse von kleinen natürlichen Einzugsgebieten. Wasserwirtschaft 86, 2
- STAHR, A. (1991): Bodenphysikalische Ursachen von Waldabbrüchen im Zentralalpinen Raum. Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung, 162. Jg., S. 150-154
- WEINMEISTER, H. W. (1997): Der Einfluss der Vegetation auf geomorphologische Prozesse. In: Tagungsband zum Symposium „Risikobewertung und Naturraumprävention von Wildbächen und Laweneinzugsgebieten“, 24. und 25. September 1997, S. 139-150
- WEISKOPF, K. (2002): Analyse zur räumlichen Variabilität der Interzeption von Fichten und Zirben im Bergwaldbereich - Auswertung der Interzeptionsmessungen von S. STAUDER im Zillertal/Tirol. Diplomarbeit Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
- WHIPKEY, R.Z. (1962): Subsurface Stormflow from Forested Slopes. ASAE - Drainage Research Committee, Measuring Saturated Hydraulic Conductivity of Soils. Spec. pub., Sp-Sw-0262, S. 74-87
- WOHLRAB B.; ENSTBERGER, H.; SOKOLLEK, V. (1992): Landschaftswasserhaushalt; Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum - Veränderungen durch Bodennutzung, Wasserbau und Kulturtechnik. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin

## **Key words**

*Land-slide, management, runoff, water budget, woody debris*

## **Summary**

*In the last years an increase of disastrous events due to flooding, mud flows and land-slides is reported. Consequently after such events efficiency and quality of technical constructions, watershed management and cultivation in the concerned areas are questioned. In former times a high percentage of*

*forest cover in alpine catchments was a synonym for good protection against natural dangers. But in the last years protective effect of forest cover against natural dangers is questioned in an increasing manner.*

*In this article hydrological functions of forest cover in alpine catchments are briefly discussed. The authors draw a predominantly positive picture about the protective function of forests. The analysis is mainly based on results of hydrological investigations and analysis of disasters in numerous catchments of the Eastern Alps.*