



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

EINE EINFACHE GELÄNDEANLEITUNG ZUR ABSCHÄTZUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSBEIWERTES BEI STARKREGEN

A SIMPLE CODE OF PRACTICE FOR ASSESSMENT OF SURFACE RUNOFF COEFFICIENTS IN TORRENTIAL RAIN

Gerhard Markart¹, Bernhard Kohl¹, Thomas Schauer², Bernadette Sotier³, Günther Bunza⁴
und Roland Stern

ZUSAMMENFASSUNG

In vielen Formeln und Berechnungsansätzen zur Ermittlung des Gebietsabflusses in Wildbacheinzugsgebieten stellen Abflussbeiwerte eine zentrale Eingangsgröße dar.

Um in Hinkunft dem Praktiker die Abschätzung des Beitrages unterschiedlicher Vegetationsformen zum Gebietsabfluss zu erleichtern wurde am Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW) gemeinsam mit dem bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) eine einfach handhabbare Anleitung zur nachvollziehbaren Abschätzung des Oberflächenabflusses und der Oberflächenrauigkeit in alpinen Einzugsgebieten bei konvektiven Starkregen entwickelt.

Grundzüge dieser Anleitung werden vorgestellt und anhand von Beispielen kurz diskutiert.

Key words: Oberflächenabfluss, beitragende Flächen, Abflussverzögerung, Rauigkeit, Vegetation

ABSTRACT

Many runoff formulas and models for runoff calculation in alpine catchments need runoff coefficients as basic input parameters. For easier assessment of contribution of different vegetation units to catchment runoff during heavy rain a code of practice was developed at the Federal Office and Research Centre for Forests (BFW) in cooperation with the Bavarian State Office for Water Management (LfW). Main features of this manual are presented and shortly discussed on the basis of typical examples.

Key words: surface runoff, runoff contributing areas, runoff delay, roughness, vegetation

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Sowohl die Berechnung von Bemessungsregen und Konzentrationszeiten als auch die Erstellung von Gefahrenkarten und Gefahrenzonenplänen in Wildbacheinzugsgebieten setzen die Kenntnis des Abflusses aus den beitragenden Flächen voraus. Für diese Abschätzung des

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

² Ziegelei, D-82538 Geltling (email: Thomas.Schauer@gmx.de)

³ Ecking, D-83083 Riedering (email: Bernadette.Sotier@t-online.de)

⁴ Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Lazarettstraße 67, D-80636 München (Tel.: +49-89-9214-1027; +49-89-9214-1041; email: Guenther.Bunza@lfw.bayern.de)

Oberflächenabflusses bei Starkregen in Wildbacheinzugsgebieten bieten sich zwei Konzepte an:

Einerseits kann man lokalen Bodentypen in Abhängigkeit vom Substrat ein bestimmtes Aufnahmevermögen (eine best. Retention) unterstellen. Diese Vorgangsweise wird vielfach in der Schweiz – z.B. Laufzeitverfahren nach Kölla (1986), bzw. modifiziertes Laufzeitverfahren nach Barben et al. (2002), modifiziertes CLARK-Verfahren (Vogt und Forster 1999, Vogt 2001) - oder beim Verfahren des US-Soil-Conservation-Service (SCS-1985) angewandt. Zur Anwendung dieser Vorgangsweise fehlt es in Österreich jedoch an systematisch erhobenen bodenphysikalischen Kennwerten. Zudem weisen systematische Untersuchungen zur Charakterisierung der bodenphysikalischen Kennwerte in Wildbacheinzugsgebieten darauf hin, dass die physikalischen Eigenschaften alpiner Böden mitunter auf kleinstem Raum in extremem Maße variieren (Markart und Kohl 1993, 1995, Zanetti 1996). Weiters werden die Infiltrationseigenschaften des Bodens durch Art und Intensität der Bewirtschaftung bzw. die Vegetationsbedeckung überlagert (Bunza und Schauer 1989, Markart und Kohl 2003, Schauer 1992).

Eine andere Möglichkeit besteht darin, auf gebietsrepräsentativen Standorten punktuelle Abflussbeiwerte z.B. über Starkregensimulationen zu ermitteln, und diese anhand von Flächendaten (Vegetation, Bodeneigenschaften, hydrogeologische Verhältnisse) auf größere Bereiche von Einzugsgebieten zu extrapolieren und so eine räumliche Verteilung von Flächen mit unterschiedlichen Abflussbeiwerten zu erhalten (Pirkl et al. 2000). Erste Anleitungen für diese Vorgangsweise finden sich z.B. bei Bunza (1992), Rickli und Forster (1997) und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (2000).

Um den Informationsstand über die Abflussbildung auf alpinen Vegetations-/Bodeneinheiten zu verbessern, werden durch das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) und das Institut für Lawinen- und Wildbachforschung des Bundesamtes und Forschungszentrums für Wald (BFW) seit über zwei Jahrzehnten Starkregensimulationen mit Großregenanlagen auf verschiedenen alpinen Boden-/Vegetationseinheiten durchgeführt. Die über diesen Zeitraum in annähernd 700 Einzelexperimenten erhobenen abflussrelevanten Kennwerte und begleitend ermittelten Informationen (bodenphysikalische, boden- und vegetationskundliche Kennwerte, Kartengrundlagen...) wurden abgeglichen, in einer Datenbank zusammengeführt und ausgewertet.

Die Daten wurden einerseits statistischen Analysen zur Ableitung generell gültiger Zusammenhänge, z.B. abflussfördernder Randbedingungen, wie hohe Vorbefeuchtung bei bindigen Böden, hoher Anteil an Feuchtezeigern in der Krautvegetation, unterzogen (erste Ergebnisse in Markart und Kohl 2003). Parallel dazu erfolgte auch eine empirische Auswertung, mit dem Ziel, die heterogenen Ergebnisse der Starkregensimulationen in einer für die Praxis nachvollziehbaren Anleitung zur Abschätzung des Abflussverhaltens wichtiger Vegetationskomplexe des Ostalpenraumes bei Starkregen zusammenzuführen.

Beispiele für die Anwendung von Abflussbeiwerten zur Abschätzung des Gebietsabflusses bei Starkregen geben Stepanek et al. (2001). Für eine objektive Charakterisierung des Gebietsabflusses sollen neben dem Bemessungsregen, den einschlägigen topographischen Grundlagen, den Standortsfaktoren, sowie den Fließgeschwindigkeiten an der Oberfläche und im Gerinne vor allem folgende Größen bekannt sein:

1. ψ_{const} : Eine Begründung, warum an Stelle des Gesamtabflusskoeffizienten der Abflussbeiwert bei Abflusskonstanz verwendet werden sollte, findet sich bei Stepanek et al. (2004 – dieser Tagungsband).
2. Die Oberflächenrauigkeit (zur Abschätzung der Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche)
3. Die Initialabstraktion (Abflussverzögerung nach Beginn des Niederschlagsereignisses - Berechnung bei Stepanek et al 2004 – dieser Tagungsband - beschrieben)

1. GELÄNDEANLEITUNG ZUR ABSCHÄTZUNG DES OBERFLÄCHEN-ABFLUSSBEIWERTES BEI ABFLUSSKONSTANZ

Der gemeinsam am BFW und LfW entworfenen Anleitung (Markart et al. 2003) liegen Starkregensimulationen mit Großregenanlagen - Versuchsflächengrößen zwischen 50 und 100 m² - und Intensitäten zwischen 75 und 100 mm/h zugrunde. Berechnungen von KOHL und Markart (2002) aus Starkregenexperimenten auf 26 Standorten bei unterschiedlichen Intensitäten (27 mm/h bis 120 mm/h) auf dem selben Standort zeigen, dass bei einer Zunahme der Intensität von 30 auf 100 mm/h nur mit einem Anstieg des Abflussbeiwertes (bei Abflusskonstanz) von 6% (bei ± 9% Standardabweichung) zu rechnen ist. Aufgrund der geringen Zunahme von ψ_{const} mit steigender Intensität erscheint nach intensiver Diskussion in Fachkreisen (BMLFUW 2004) die Annahme zulässig, dass die Anleitung für Niederschlagsereignisse von 30 bis 120 mm/h ohne Zu- oder Abschläge in der jeweiligen Abflussbeiwertklasse angewendet werden kann.

Die Anleitung ist primär für die Abschätzung des potentiellen Oberflächenabflusses typischer alpiner Vegetations-/Bodeneinheiten bei Starkregen vorgesehen und auf das **realistische Worst-Case-Ereignis** für das jeweils zu beurteilende Einzugsgebiet ausgerichtet. D.h., der Anwender muss vor der Abschätzung der Abflussbeiwerte abklären, unter welchen Randbedingungen das Niederschlagsereignis, welches das realistische Worst-Case-Ereignis auslöst, ablaufen kann (z.B. Starkregen im Hochsommer bei intensiver Vorbefeuchtung der Böden, reduziertem Deckungsgrad der Vegetation auf Weiderasen, jahreszyklisch bedingt höherem Anteil an benetzungshemmender organischer Substanz bzw. Streu... – Markart und Kohl 1995, Markart et al. 1997, Markart et al. 2000, Zanetti 1996).

Abflussbeiwertklassen (AKI)

Die Abflussbereitschaft der meisten alpinen Standorte unterliegt in Abhängigkeit von unterschiedlichen Randbedingungen, wie saisonalen Unterschieden in der Bodenfeuchte, der Bioturbation im Oberboden, der Vegetationsentwicklung, der Art und der Intensität der Bewirtschaftung etc., starken Schwankungen. Daher ist die Zuordnung von Abflussbeiwerten nur im Rahmen einer bestimmten Bandbreite möglich. Es werden 7 Abflussbeiwertklassen ausgewiesen (vgl. Tab.1).

Tab.1: Einteilung des Oberflächenabflusses bei Starkregen in Klassen = Abflussbeiwertklassen

Tab.1: Attribution of surface runoff to different runoff coefficient classes.

| Abflussbeiwertklasse (AKI) | Oberflächenabfluss in % des aufgebrauchten Niederschlages |
|----------------------------|---|
| 0 | 0 |
| 1 | > 0 - 10 |
| 2 | 11 - 30 |
| 3 | 31 - 50 |
| 4 | 51 - 75 |
| 5 | > 75 |
| 6 | 100 (vernässte, versiegelte Flächen) |

Der Abflussbeiwertklasse 0 sind jene Flächen zuzuordnen, die keinesfalls Oberflächenabfluss liefern können, also z.B. (grob)blockige Schutthalden größerer Ausdehnung. Vollständiger Abfluss des Niederschlages an der Oberfläche ist auf stehenden Gewässern, vorverfüllten

Flächen (z.B. Niedermoore, Quellenmoore) und versiegelten, dichten Standorten zu erwarten (AKI 6).

Erläuterung der Anwendung anhand eines Beispiels

Im Folgenden wird die Zuordnung eines Abflussbeiwertes am Beispiel eines *Fi-Reinbestandes* (Abb.1) ohne Unterwuchs (*Piceetum nudum*) mit den Standortcharakteristika:

- mäßig frisch
- geringer Weidegang
- die Infiltrationseigenschaften des Bodens werden durch den Feinanteil (Korngrößen < 2 mm Durchmesser) bestimmt, der Boden ist bindig, aber nicht dicht

erläutert.

Auswahl der entsprechenden hydrologischen Vegetationsform in der Anleitung

Die Vegetationsformen sind nach typischen, im Ostalpenraum vorkommenden Vegetationseinheiten untergliedert, wobei die Anzahl der Einheiten wegen des zwar umfangreichen aber räumlich eingeschränkten Datenpools (Bayern, Mittel-Westösterreich, Südtirol) zwangsläufig limitiert ist:

Pionierv egetation - Rohböden

Rasenvegetation

- Rasen (nicht Bürstling)
- Bürstling-Rasen (Borstgras-Rasen)
- Mähwiesen
- Feuchtwiesen und Niedermoore

Zwergstrauchheiden

- Alpenrosen- und Heidelbeerheide
- Besenheide/Erika

Buschgesellschaften:

- Grünerlen und Weidengebüsch
- Grauerlen- und Weidengebüsch
- Latschenkrummholz

Hochstaudenfluren

Wälder

- Nadelwälder
 - Fichtenwald mit mehr als 50% Fichte (keine bzw. wenig Bodenvegetation – *Piceetum nudum*)
 - Fichtenwald mit mehr als 50% Fichte (mit Krautschicht)
 - Lärchenwiesen (Überschirmung < 0,3)
 - Lärchenreiche Wälder (>50% Lärche)
 - Zirbenreiche Wälder
 - Kiefernwald
- Laubwälder und Laub-/Nadelmischwälder

Planien (durch technische Eingriffe veränderte Flächen, wie Wegböschungen, Schipisten...).

Der Anwender wählt jene Vegetationseinheit, welche der von ihm im Gelände identifizierten am nächsten kommt, aus. Im vorliegenden Beispiel sind das für unser Testbeispiel die Wälder. Über die Unterteilung Nadelwälder kommt man zu einem Schlüssel für Fichtenwald, > 50% Fi (keine bzw. wenig Bodenvegetation - nudum), (vgl. Tab.2)

Über die folgenden, vor Ort zu erhebenden Merkmale erfolgt die Einordnung des Standortes bzw. der beitragenden Fläche in eine Abflussbeiwertklasse.

Bodenverhältnisse

Bodenaufschlüsse stehen in alpinen Einzugsgebieten vielfach nicht zur Verfügung. Für das Sammeln von bodenkundlichen Informationen (über Bohrstockproben, Anlage von Profilgruben, etc.) fehlt in der Regel die Zeit, daher wird auf detaillierte Angaben zum Bodentyp verzichtet. In die Beurteilung fließen nur minimale Bodeninformationen, wie sie an in der Natur vorhandenen Aufschlüssen (Wegböschungen, Erosionsstellen...) nach geringfügiger Vorbereitung (z.B. Reinigung des Aufschlusses, anfeuchten) einfach beurteilt werden beurteilt werden können, ein. Der Anwender unterscheidet zwischen:

| | |
|--|---|
| Grob-Böden locker | <u>Skelettreiche, grobkörnige</u> Böden mit hohem Grobanteil (Kies, Sand) <u>Wasserdurchlässigkeit sehr hoch.</u> |
| Grob-Böden mit Feinanteil locker | <u>Skelettreiche, grobkörnige bis gemischtkörnige</u> Böden mit hohem Grobanteil (Kies, Sand), wobei maximal bis zu 20% Ton- und Feinschluff enthalten sein können. <u>Wasserdurchlässigkeit hoch-mittel</u> |
| Fein-Böden, locker | <u>Gemischt- bis feinkörnige</u> Böden mit Schluff- und Tonanteilen bis 40%. <u>Wasserdurchlässigkeit hoch- mittel</u> |
| Fein-Böden bindig | Höhere Schluff- und Tonanteile (> 40%), verhalten sich <u>bindig</u> (plastisch). Der Grobanteil wird nur in Trockenphasen (Schwundrisse) hydrologisch wirksam. Die <u>Wasserdurchlässigkeit ist mittel-gering</u> , Wasserbindevermögen deutlich bis hoch. |
| Fein-Böden verdichtet, dicht | Das <u>Infiltrationsverhalten</u> der Fein-Böden (Pos. 3 und 4) ist durch mechanische Belastung (Befahren, Planie, Weide...) <u>weiter reduziert</u> . Hier sind z.B. ehemals lockere, aber durch Planie verdichtete Feinböden einzuordnen |

Die angeführte Einteilung wurde abgeleitet aus American Society for Testing Materials (1966), DIN 18196 (1988), Prinz (1991) und Schriftleitner und Smolczyk (1990).

Nutzung/Besonderheiten

Art und Intensität der Bewirtschaftung bzw. Nutzung (Weide, Schipiste, sonstige Bodenverwundungen...) schwächen die Infiltrationsverhältnisse besonders auf Rasenstandorten, auf Planien und offenen Flächen, aber auch auf Waldstandorten. Unser Teststandort weist einen mäßigen Weideeinfluss auf – d.h. die Wahl wird eingeschränkt auf die Zeile drei in Tab.2.

Zeigerwerte/Feuchte

Pflanzen sind wichtige Indikatoren für die Feuchte- und damit die Abflussverhältnisse an einem Standort. Die exakten Einteilungen der pflanzlichen Zeigerwerte z.B. nach Ellenberg et

al. (1991) oder Landolt (1977) sind für die unmittelbare Anwendung im Gelände zu detailliert. Auswertungen der Starkregenexperimente des LfW von Schauer (2002) ließen keine signifikanten Unterschiede für die Feuchtestufen **tr** (trocken) bis **mf** (mäßig frisch) erkennen, daher werden diese Feuchtestufen in einer Stufe **mf** zusammengefasst. Die Berechnungsflächen wurden daher nach den ökologischen Zeigerwerten der dominanten Arten und eventuell vorhandener Feuchtezeiger einer von 4 Feuchtestufen zugeordnet (**mf** = trocken - mäßig frisch, **f** = frisch, **ff** = mäßig feucht – feucht, **n** = sehr feucht – nass. In unserem Beispiel (*Piceetum nudum*, *mäßige Beweidung*, *mäßig frisch*) wird die dritte Zeile bestätigt (siehe Tab.2). Unser Testbestand ist daher in die Abflussbeiwertklasse 3 einzuordnen. Bei einem Starkregenereignis sind auf diesem Standort ca. 31 bis max. 50% des Niederschlages als Oberflächenabfluss zu erwarten.

Tab.2: Oberflächenabflussbeiwertklasse - Zuordnungsschema für die hydrologische Einheit *Piceetum nudum* - *Fichte ohne Unterwuchs, beweidet*.

Tab.2: Example of a scheme for attribution of a definite runoff coefficient class to a Nordic spruce stand (*Piceetum nudum* – without ground cover, grazed).

| Vegetations- einheit | Boden | Nutzung Besonderheiten | Zeigerwerte Feuchte | Abfluss- beiwertklasse |
|--|---|---|------------------------|---------------------------|
| Fichtenwald, > 50% FI (keine bzw. wenig Bodenvegetation = nudum) | Grob-Boden, auch mit Feinanteil, locker | | mf-f | 1 |
| | Grob-Boden mit Feinanteil, Fein-Boden | Trockene Moderauflage | | 2 |
| | | mäßige Beweidung, trockene Moderauflage | | 3 |
| | Fein-Boden, dicht | Hangwasserzug, intensive Beweidung | mf-ff | 4 |
| | Fein-Boden, bindig, dicht | Vernässung, Häufung von Tiefenlinien | ff-n | 5 |

Abb.1 beschreibt einerseits die Vegetationsform *Piceetum nudum* ohne Weideeinfluss (wie vorhergehend bereits diskutiert). Bei zusätzlichem mäßigem Weidegang (z.B. wiederholtes lineares Queren oder kurzzeitiger Einstand für 1 bis zwei Wochen im Spätsommer) erhöht sich das Abflusspotential und die Fläche ist in die Abflussbeiwertklasse 3 einzuordnen. Besonders kritisch in Bezug auf ihr Abflussverhalten sind *Büerstlingrasen* (*Nardus stricta*) einzuordnen (Abb.2). Der Büerstling wird vom Weidevieh, besonders wenn die Pflanzen bereits älter sind, nur ungerne angenommen. Er akkumuliert tote Biomasse (Blattscheiden, Streu) und bildet einen dichten Wurzelfilz aus. Der auftretende Niederschlag wird auf dieser Auflage wie auf einem Strohdach abgeleitet.

Eine Liste von Abbildungen mit typischen alpinen Zeigerpflanzen (hydrologische Zeiger) beschließt den Anhang in der Anleitung von Markart et al. (2003).



Abb.1: Beispiel f. Einordnung in eine Abflussbeiwertklasse, *Piceetum nudum* (Fi-Bestand ohne Unterwuchs).
Die Beschreibung der Anschätzung der Rauhgigkeitsklasse erfolgt in Kapitel 2.

| Gesellsch. | Standort/Boden | Nutzung | Hydrologische Zeiger | Eigenschaften, | Rauhgigkeits- klasse | Abfluss- beiwertklasse |
|--|---|------------------------|---|----------------|-------------------------|---------------------------|
| Piceetum nudum (Fi-Bestand ohne bodendeckende Vegetation) | Silikatische Braunerde, skelettreich, locker, Moderhumus | keine | mf, Benetzungswiderstände nach Austrocknung | | 1 | 2 |
| | Wie Oberboden jedoch durch mechanische Belastung (z.B. Viehtritt) dichter | oben, mäßige Beweidung | mf, Benetzungswiderstände nach Austrocknung, Infiltration durch Viehtritt gehemmt, Infiltration primär über skelettbedingte Grobporen oder Wurzelröhren | | 1 | 3 |

Fig.1: An example for attribution of surface runoff values and surface roughness values in convective torrential rain at a *Nordic Spruce stand, without ground cover*. Assessment of roughness coefficient is explained in chapter 2

| Vegetation formation | Site / Soil | cultivation | Hydrological indicators | behaviour, | Roughness- class | Runoff- coefficient- class |
|---|---|-------------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|
| Piceetum nudum (Spruce stand-without ground cover) | Cambisol, rich in skeleton, loose, humus = moor | none | Moistening decelerated after dry periods | | 1 | 2 |
| | As above, upper soil due to mechanical impact (e.g. grazing) more compact | Grazing (low intensity) | Moistening decelerated after dry periods, infiltration limited due to compaction and dominantly takes place along gaps between skeleton or in pipes (e.g. dead large roots...) | (grazing) | 1 | 3 |



Abb.2: Beispiel f. Einordnung in eine Abflussbeiwertklasse, *Bürstlingrasen*. Die *Anschätzung der Rauhgigkeitsklasse ist in Kapitel 2 beschrieben.*

| Gesellsch. | Standort/Boden | Nutzung | Hydrologische Zeiger | Eigenschaften, | Rauhigkeits- klasse | Abfluss- beiwertklasse |
|-----------------------------|-------------------|---------------|----------------------|---|------------------------|---------------------------|
| Bürstling- rasen | Fein-Boden | keine / Weide | mf-ff, | aufgrund des Strohdacheffektes und Wurzelfilzes des Bürstlings trotz vielfach guter Bodeneigenschaften hoher Oberflächenabfluss. | 1 | 4-5 |

Fig.1: An example for attribution of surface runoff values in case of heavy rain for stand covered with *matgrass*.

Assessment of roughness coefficient is explained in chapter 2

| Vegetation formation | Site / Soil | Cultivation | Hydrological indicators | behaviour, | Roughness- class | Runoff- coefficient- class |
|---------------------------|------------------|------------------|--|------------|---------------------|----------------------------------|
| Matgrass heath | fine Soil | none / grazed | mf-ff, due to „thatched roof effect“ and tomentum of roots high surface runoff, independent of soil physical characteristics.. | | 1 | 4-5 |

2. ANSCHÄTZEN DER OBERFLÄCHENRAUHIGKEIT

Für den gerinnelosen Abfluss findet Petraschek (1973) anhand von Berechnungsversuchen k-Werte mit $4 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{sek}^{-1}$. Der STRICKLER-Beiwert k eignet sich auf Grund seiner Skalierung also nur bedingt für die Anwendung auf den Oberflächenabfluss. Für den zumeist im englischsprachigen Raum angewandten MANNING-Koeffizienten n findet man häufig auch tabellarische Auflistungen, die sich auch auf den Oberflächenabfluss des „sheet flow“ beziehen (u.a. Engman 1986, Thomsen und Hjalmarsen 1991, Weltz et al. 1992). Solche Tabellenwerke geben jedoch meist nur einen sehr groben Überblick über mögliche Rauhgigkeiten und sind daher nur bedingt auf den alpenländischen Bereich anwendbar.

Über Salz- und Farbracerexperimente wurden von Kohl und Markart (2003) bei Starkregensimulationen die Fließgeschwindigkeiten an der Bodenoberfläche gemessen. Diese Geschwindigkeiten wurden unter Verwendung der Fließlänge und der Anlaufzeit t_{OB} der

Abflusskurve aus dem Beregnungsexperiment nachgerechnet und zeigten eine sehr gute Übereinstimmung. Nachdem diese aus Regensimulationen abgeleitete Anlaufzeit t_{OB} mit der Fließlänge plausible Fließgeschwindigkeiten ergibt, war es möglich für die bereits angeführten 128 Standorte die Fließgeschwindigkeiten bei Starkregen nachzurechnen und dadurch in einschlägigen Fließformeln, wie z.B. jener nach IZZARD (1), die Angaben für den Wasserabflusskoeffizienten c zu optimieren.

$$v = \frac{L_{OB}}{t_{OB}} = \frac{L_{OB}^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{3}} \cdot (C \cdot i_T)^{\frac{2}{3}}}{527 \cdot c} \quad (1)$$

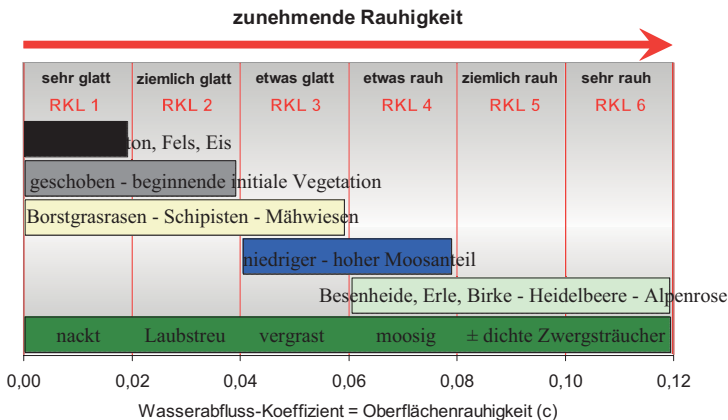


Abb.3: Klassifizierung der Rauigkeit nach unterschiedlichen Vegetationstypen, RKL = Rauigkeitsklasse; Rohböden, Fels etc. - dunkelgrau; Planen - hellgrau; Rasenstandorte - gelb; Feuchtstandorte - blau; Zwergstrauchheiden - hellgrün

Fig.3: Classification of surface roughness in dependence of different vegetation types. RKL = surface roughness class. Sealed areas and bare mineral soil - dark grey; graded soils - bright grey; grassy stands - yellow; wet stands - blue; dwarf shrub stands - bright green; forest stands - dark green.

Daraus resultiert die in Abb.3 vorgestellte Einteilung für die Anschätzung der Oberflächenrauigkeit im Gelände, die ebenfalls in der Geländeanleitung von Markart et al. (2003) enthalten ist. Auch bei der Rauigkeitsklassifizierung wird von einer sehr groben Einteilung nach dem Vegetationstyp und der Art und Qualität des Bewuchses, sowie der Geländemorphologie ausgegangen. Der Wasserabfluss-Koeffizient, also die Rauigkeit, wird vereinfachend für die Dauer eines Niederschlagsereignisses als konstant angesehen. Im Sinne eines realistischen Worst-Case-Szenarios sind auch bei der Rauigkeitseinstufung mögliche saisonale Veränderungen zu berücksichtigen und nach Abb.3 ein realistisch (schlechter) Zustand der Rauigkeit zu unterstellen.

Asphalt, Beton, Fels, Eis: Von diesen extrem glatten Oberflächen liegt am BFW bisher nur ein Berechnungsergebnis vor. Zeller (1981) gibt für glatten Asphaltbelag auf Strasse einen c -Wert von 0,007 an. Das Mittel der Rauigkeitsklasse 1 (0,01) sollte jedoch nicht

unterschritten werden, da ansonsten rechnerisch unrealistisch hohe Geschwindigkeiten auftreten können.

Rohböden, offene Brachflächen: Die berechneten Rohböden umfassen hinsichtlich ihrer Rauheit und damit Abflussgeschwindigkeit die Klassen sehr und ziemlich glatt. Ein gutes Zuordnungsmerkmal stellt der Sukzessionsgrad, d.h. der Deckungsgrad der sich ansiedelnden Pflanzen dar. Als grobe Annahme gilt, dass Standorte mit einem Deckungsgrad über 10 Prozent der Rauheitsklasse 2 zuzuordnen sind.

Rasenstandorte: Diese decken ein weites Spektrum der Rauigkeit ab. Entgegen gebräuchlichen Tabellenangaben zeigen die Ergebnisse der am BFW durchgeführten Beregnungsexperimente etliche sehr glatte Rasenflächen. Speziell auf Borstgrasrasen (*Nardus stricta*, Bsp. siehe Abb.2.), die rein optisch eine eher raue Struktur vermitteln, führen Starkregen zu hohen aber auch sehr schnellen Abflüssen. Dafür dürften die benutzungshemmende Wirkung der toten Blattscheiden und deren Anordnung (Strohdacheffekt) verantwortlich sein. Beweidung wirkt sich durchwegs beschleunigend auf den Abfluss aus. So können Schipisten je nach Weideintensität, Borstgrasanteil oder Verdichtung in der Rauheitsklasse 1 bzw. bei Einsaat, Düngung und höherem Moosanteil in der Klasse 3 liegen. Mähwiesen, deren Rauigkeit ebenfalls vom Pflegegrad abhängt, sind zumeist der etwas glatten Klasse 3 zuzuordnen.

Feuchtplächen: Auch Feuchtplächen stellen mit wenigen Ausnahmen Rasenstandorte dar. Sie werden jedoch separat betrachtet, da sie trotz hohen Oberflächenabflusses eine höhere Rauigkeit aufweisen. Feuchtplächen mit hohem Moosanteil sind bereits als etwas rau mit reduzierter Fließgeschwindigkeit gegenüber den Rasenstandorten einzustufen.

Zwergstrauchheiden: Die häufig mit Borstgras vergesellschaftete Besenheide ist noch zu den nur „etwas glatten“ Standorten zu zählen. Erlen- oder Birkenstandorte fallen je nach Unterwuchs in die Rauheitsklassen 3/4. Als „ziemlich rau“ (RKL 5) sind Vaccinien (Heidelbeere, Preiselbeere und Rauschbeere) einzustufen. Flächige Alpenrosenbestände gehören zu jenen Einheiten, die dem fließenden Wasser den größten Widerstand entgegensetzen (RKL 6). Bei der Beurteilung der Rauigkeit ist jedoch auch die Verteilung der Zwergsträucher zu berücksichtigen. Im beweideten Alpenrosengürtel ist häufig eine mosaikartige Auflösung der Alpenrose zu beobachten. Entlang der häufig mit Borstgras bewachsenen „Viehganlg“ beschleunigt das abfließende Wasser, der bremsende Effekt der Alpenrose kommt nur stark eingeschränkt zur Wirkung.

Der Waldvegetation, wie auch verschiedenen Zwergstrauchdecken, kommt eine nicht zu vernachlässigende Wirkung im Bezug auf das Brechen der kinetischen Energie des Niederschlages bei Starkregen zu. Sobald der Niederschlag das Kronendach durchschlägt hat, wird für den Oberflächenabfluss jedoch nur mehr die Rauigkeit der Oberflächen (Bodenvegetation, Humusaufgabe Formenretention) als Bremse wirksam. Dementsprechend reicht je nach Unterwuchs die Rauigkeit von Waldstandorten von sehr glatt (z.B. *Piceetum nudum*) bis sehr rau, und ist nach der vorhandenen Bodenvegetation und dem Mikrorelief (glatte Oberfläche – Abflussfördernd, viele kleine Mulden – Abflussverzögernd) analog den vorhergehend beschriebenen Bewuchsformen zu beurteilen.

AUSWIRKUNGEN FÜR DIE PRAXIS

Die vorgestellte Anleitung gibt dem Praktiker die Möglichkeit Abflussbeiwerte, Rauigkeitswerte und Größen der Initialabstraktion einfach und nachvollziehbar zu erheben bzw. zu berechnen. Gegenüber vielen bisher für die Abflussberechnung verwendeten

Parametergrundlagen ergibt sich eine deutliche Genauigkeitssteigerung. Die angeführten Kenngrößen können direkt in Berechnungen mit herkömmlichen Abflussformeln, Laufzeitansätzen (z.B. Zeller 1981) oder verschiedenen hydrologischen Modellen einfließen.

REFERENCES

- American Society for Testing Materials (1966): Classification for engineering purposes. ASTM – Destination 2487 – 66 T.
- Barben, M., Forster, F., Hegg, C. und Weingartner, R. (2002): Länderbericht Schweiz. In: Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen – Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes (KHR), Bericht Nr. 19. 11-73
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2000): Geländeanleitung zur Abschätzung des Abfluss- und Abtragsgeschehens in Wildbacheinzugsgebieten. Materialien Nr. 87.
- BMLFUW (2004): Gesamtbericht Projekt ETALP (Gesamtheitliche Erfassung und Bewertung von Erosions- und Transportvorgängen in Wildbacheinzugsgebieten), Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Abt. IV/5, in Druck
- Bunza, G. (1992): Instabile Hangflanken und ihre Bedeutung für die Wildbachkunde. Forschungsber. D. Deutschen Alpenvereins, Bd. 5, München.
- Bunza, G. und Schauer, T. (1989): Der Einfluss von Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluss bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der Bayerischen Alpen. Informationsber. 2/89 d. Bayer. Landesamtes f. Wasserwirtschaft, München.
- DIN 18196 (1988): Erd- und Grundbau. Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.
- Ellenberg H., Weber, E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. und Paulissen, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen.
- Engman, E. T. (1986): Roughness coefficients for Routing Surface Runoff. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE 112 (1), 39-53.
- Koella, E. (1986): Zur Abschätzung von Hochwässern in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessungen. Eine Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Gebietsparametern und Spitzenabflüssen kleiner Einzugsgebiete. Mitt. VAW-ETH Zürich, Nr.87.
- Kohl, B. and Markart, G. (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.
- Kohl, B. and Markart, G. (2003): Surface roughness and its influence on overland flow. Proceedings: International Workshop on Mountain Hydrology, April 2-4, 2003, Einsiedeln, Switzerland, S. 13.
- Landolt, E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich.
- Markart, G. und Kohl, B. (1993): Physikalische Charakteristika der Böden im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach; unveröffentlichter Projektbericht an das Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 91 p.
- Markart, G. und Kohl, B. (1995): Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluss- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. FBVA-Bericht Nr. 89, 38 p.
- Markart, G., Kohl, B., und Zanetti, P. (1996): Einfluss von Bewirtschaftung, Vegetation und Boden auf das Abflussverhalten von Wildbacheinzugsgebieten - Ergebnisse von Abflussmessungen in ausgewählten

- Teileinzugsgebieten des Finsingtales (Zillertal/Tirol). Symposium INTERPRAEVENT, Garmisch-Partenkirchen, Juni 1996, Tagungsband 1, 135-144.
- Markart, G., Kohl, B., und Zanetti, P. (1997): Oberflächenabfluss bei Starkregen - Abflussbildung auf Wald-, Weide- und Feuchthflächen, (am Beispiel des oberen Einzugsgebietes der Schesa - Bürserberg, Vorarlberg), Cblt. ges. Forstwesen, 114. Jg., Heft 2/3, 123 - 144.
- Markart, G. und Kohl, B. (2003): Abflussverhalten in Wildbacheinzugsgebieten bei unterschiedlicher Landnutzung. Wildbach- und Lawinenverbau, in Druck.
- Markart G., Kohl., B., Schauer, T., Sotier, B., Bunza, G. und Stern, R. (2003): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). BFW-Dokumentation, in Druck.
- Petrascsek , A. (1973): Über die Wirkung systematischer Entwässerungen in Hanglagen. Diss. ETH Zürich, Nr. 5079.
- Prinz, H. (1991): Abriss der Ingenieurgeologie. 2. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Rickli, C. und Forster, F. (1997): Einfluss verschiedener Standortseigenschaften auf die Schätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen.
- Schauer, Th. (1992): Der Beitrag der Vegetationskartierung für die Abschätzung und Prognose des Abflusses, des Abtrags und der Belastung bei spezifischen Nutzungen in alpinen Wildbacheinzugsgebieten. Internationales Symposium INTERPRAEVENT, Bern.
- Schauer, T. (2002 – schriftliche Mitteilung): Pflanzen als Abflusszeiger – Auswertungen von Beregnungsversuchen. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft München.
- Schriftleitner, U. und Smolczyk, U. (1990 – Hsg.): Grundbau-Taschenbuch. 4. Auflage, Teil 1, Verlag Ernst Sohn, Berlin.
- SCS (1985): National Engineering Handbook. Section 4: Hydrology. Soil Conservation Service. USDA. Washington D.C.
- Stepanek L., Kohl, B. und Markart, G. (2001): Erfahrungen in der praktischen Anwendung der Laufzeitmethode nach ZELLER. Wildbach- und Lawinenverbau, 65 (146), 121-135.
- Stepanek, L., Kohl, B. und Markart, G. (2004): Von der Starkregensimulation zum Spitzenabfluss. INTERPRAEVENT 2004, Tagungspublikation.
- Thomsen, B. W. und Hjalmarson, H. W. (1991): Estimated Manning's roughness coefficients for stream channels and flood plains in Maricopa County, Arizona: Phoenix, Arizona: Flood Control District of Maricopa County.
- Vogt, S. (2001): Zur Abschätzung von Hochwasser in kleinen Einzugsgebieten. Diplomarbeit - Departement Erdwissenschaften, ETH-Zürich.
- Vogt, S. und Forster, F. (1999): Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten – Ein Abschätzverfahren nach Clark zur Bestimmung einer Hochwasserganglinie. Interner Hydrologie-Bericht B360, Abteilung Wasser, Erd- und Felsbewegungen, Eidgen. Forschungsanstalt f. Wald, Schnee und Landschaft (WSL).
- Weltz, M. A., Awadis, A. B. and Lane, L.J. (1992): Hydraulic roughness coefficients for native rangelands. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE 118 (5), 776-790.
- 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.
- Zeller, J. (1974, 1981): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse. Eidgen. Anst. Forstl. Versuchsw., Bericht Nr. 126., 1. und 2. Auflage.