

Tagungsbeitrag zu:
 Jahrestagung der DBG
 Titel der Tagung:., Böden –
 Lebensgrundlage und Verantwortung
 Veranstalter, Termin und Ort der Tagung:
 DBG, 08.09.-12.09.2013, Rostock
 Berichte der DBG (nicht begutachtete
 online Publikation)
<http://www.dbges.de>

Anisotropie der Wasserleitfähigkeit als Auslöser für schnellen Zwischenabfluss

Ernestine Lieder¹, Helmer Schack-Kirchner¹
 & Friederike Lang¹

Schlüsselworte: Wasserleitfähigkeit,
 Anisotropie, Zwischenabfluss, Qilian Gebirge

Einleitung

In Kooperation deutscher und chinesischer Forschungseinrichtungen initiiert, befasst sich das Projekt LOWQM mit der Optimierung der Wasserspende im HeiHe-EZ (Nordwestchina, Provinz Gansu). Der HeiHe wird aus Abflüssen des Qilian Gebirges im Westen gespeist und mündet, nachdem er den Hexikorridor durchflossen hat in Seen der Wüste Gobi und versorgt ca. 4 Mio. Menschen mit Wasser. Die Flüsse des Qilian Gebirges sind die einzige Wasserressource für den HeiHe. Aufgrund der dortigen hoch variablen Niederschläge und extremen Bedingungen (Permafrostgebiete, flachgründige Böden, steile Hänge) ist der Abfluss im HeiHe hochvariabel (Yang et. al 2005), die Landwirtschaft in Mittellauf ist jedoch auf stetigen und möglichst hohen Abfluss angewiesen. Das Projektziel umfasst somit die Optimierung, d.h. Glättung als auch Erhöhung der Wasserspende des HeiHe.

Das im Qilian Gebirge gelegene Pailugou EZG soll als repräsentativ für die Eigenschaften und Merkmale des Gebirges angenommen werden. Es umfasst auf 2600-3700m ü.NN drei Vegetationszonen (Wald, Strauch- und Grasland) und kennzeichnet sich durch kalt arides Klima, steile, mit

äolischen Sedimenten bedeckte Hänge, sowie deutlicher Bodendegradation durch Überweidung. Aufgrund dieser Faktoren wird vermutet, dass hier als Abflusskomponenten neben dem Oberflächenabfluss der schnelle Zwischenabfluss die größte Bedeutung für die Ausprägung des schnellen Abflusses im HeiHe spielt. Obwohl vielfach eine Anisotropie von Leitfähigkeiten in Böden nachgewiesen wurde, fehlen Daten zu der für den Zwischenabfluss entscheidenden Wasserleitfähigkeit in Hangrichtung weitgehend. Zur Überprüfung der Hypothese wurde im Pailugou EZG die Wasserleitfähigkeit in Böden in 3 Richtungen gemessen, wobei eine erhöhte Leitfähigkeit in hangparalleler Richtung erwartet wird. Die Ergebnisse fließen in ein Modell für die Betrachtung von Zwischenabfluss ein.

Methoden

Es wurde an 18 Profilen Stechzylinderproben in 3 Richtungen entnommen: in vertikaler, hangparalleler und Höhenlinienrichtung. An diesen Proben wurde die gesättigte Wasserleitfähigkeit k_{sat} im instationären Verfahren gemessen. Aus den Messwerten der hangparallelen und vertikalen Leitfähigkeiten wurde der Anisotropiequotient $A [-]$ bestimmt: $A = \frac{k_{sat, geom, Fallinie}}{k_{sat, geom, vertikal}}$. Anisotropie bezeichnet allgemein die Richtungsabhängigkeit eines Prozesses, in diesem Fall der gesättigten Wasserleitfähigkeit.

Ergebnisse

Von den 18 Profilen konnten 13 für die Auswertung verwendet werden.

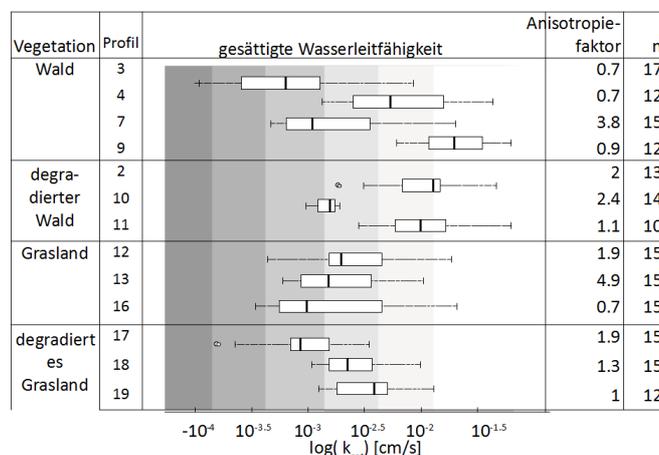


Abbildung 1: Tabelle der log₁₀ Werte der ges. Wasserleitfähigkeit [cm s⁻¹] der einzelnen Profile mit Information zu Vegetationstyp, Probenzahl n und berechnetem Anisotropiefaktor

¹Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
 Professur für Bodenökologie
ernestine.lieder@bodenkunde.uni-freiburg.de

Die gemessenen Wasserleitfähigkeiten erstrecken sich von 10^{-4} bis 10^{-1} cm s^{-1} , für die meisten Profile variiert k_{sat} um mehrere Größenordnungen. Innerhalb der Daten findet sich eine hohe Heterogenität. Insgesamt ist die Leitfähigkeit unter Wald etwas höher als unter Grasland. Der Anisotropiequotient ($k_{f_{\text{Fallinie}}}/k_{f_{\text{vertikal}}}$) lag zwischen 4,9 und 0,3. Signifikant höhere Werte in Fallinie wiesen die meisten Graslandprofile sowie die die Hälfte der Profile unter Wald auf. Eine umgekehrte Anisotropie trat bei 4 von 15 Profilen auf (siehe Abb.1). Es konnte somit nur eine Tendenz von Anisotropie von k_{sat} beobachtet werden. Die Kovarianz- und Autokorrelationsstruktur der Messwerte ist nicht bekannt.

2D-dual flow cascade model

Um nun die Bedeutung der Ergebnisse für die Ausprägung des schnellen Zwischenabflusses zu bestimmen, wurden die Ergebnisse in einem einfachen Modellhang umgesetzt.

Konzept Modellhang (siehe Abb.2):

- 2D: vertikale Richtung und die Hangrichtung. Höhenlinienrichtung wurde nicht verwendet; (Tiefe, Breite: 2m*4m)
- "Tassenkaskade": jede Tasse/Zelle kann Wasser aufnehmen und nach unten sowie zur Seite abgeben, wobei das Fließvolumen durch Leitfähigkeiten vorgegeben wird
- räumlich diskrete Elementen entsprechen den Stechzylindern, Leitfähigkeit an den Gitterpunkten entspricht k_{sat}
- $q = k_{\text{sat}} * A * \frac{\Delta H}{\Delta l} * \Delta t$
 q : Fließvolumen [$\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$], A : Fließquerschnitt [cm^2], ΔH : Höhe [cm], Δl : Fließstrecke [cm], Δt [Zeit [s]]
- Niederschlag = input
- kein Zufluss von der linken Seite in den Hang
- Quotient der Ausläufe dient als Maß für die Ausprägung von schnellem Zwischenabfluss

Szenarien:

- 1) k_{sat} für beide Fließrichtungen als homogen angenommen
- 2) k_{sat} für beide Richtungen heterogen, Verteilung von k_{sat} : $\log(10)$ normal,

$\Pi = \log_{10}(-3.5) \text{ cm s}^{-1}$, $\sigma = 0.5$, Kovarianz = 0

Beide Versionen wurden mit Anisotropiequotienten von 1 bis 3 betrachtet.

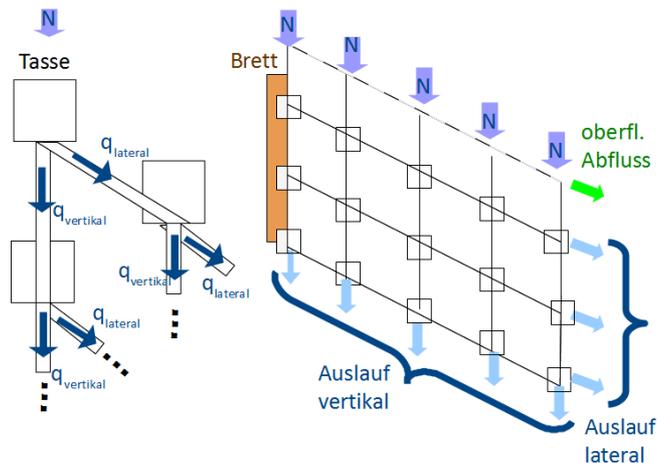


Abbildung 2: Schema Tassenkaskade und Modellhang

Modellergebnisse und Diskussion

Bei homogenen Werten der gesättigten Wasserleitfähigkeit und einem Anisotropiefaktor von 2 tritt erhöhter seitlicher Auslauf auf, der vertikale Auslauf ist reduziert. Das Fließfeld ist leicht nach links verschoben (siehe Abb.3, oben). Mit zunehmender Anisotropie nimmt der Ausflussquotient stark zu. Bei heterogener Verteilung der gesättigten Wasserleitfähigkeit und einem Anisotropiefaktor von 2 tritt ebenfalls verstärkt seitlicher Ausfluss auf,

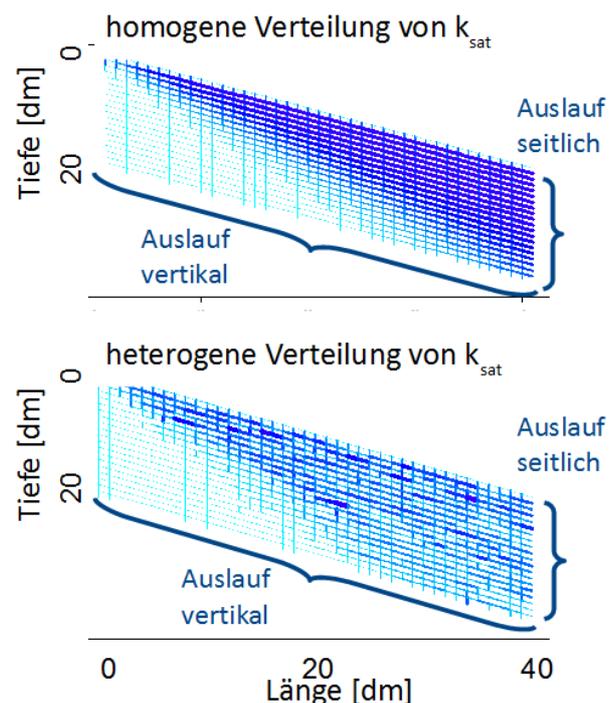


Abbildung 3: Grafische Darstellung der modellierten Flüsse; Anisotropiefaktor = 2; Farbcodierung Fließvolumen: hellblau < dunkelblau

es bilden sich vereinzelt zusammenhängende Fließbahnen aus (siehe Abb.3, unten). Der Ausflussquotient nimmt mit zunehmender Anisotropie zu, ist im Vergleich mit der homogenen Verteilung von k_{sat} jedoch reduziert (siehe Abb.4).

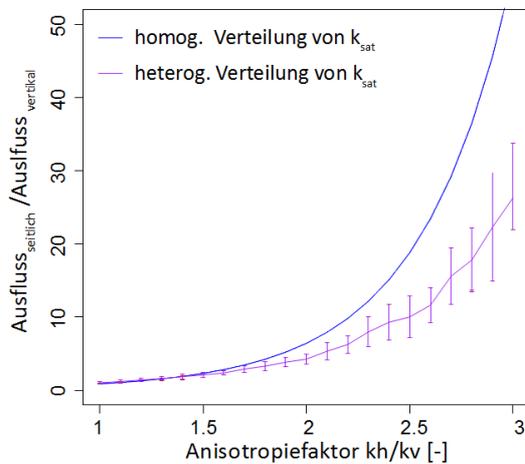


Abbildung 4: Der Quotient der Ausläufe steigt mit zunehmendem Anisotropiefaktor

Schlussfolgerungen / Ausblick

Unter der Annahme von Homogenität hat die Anisotropie der gesättigten Wasserleitfähigkeit drastische Auswirkungen auf die Ausbildung von schnellem Zwischenabfluss. Die Heterogenität der Messwerte reduziert diesen Effekt jedoch.

Es muss angemerkt werden, dass das Modell in seiner Struktur Schwächen aufweist. So erzwingt es im aktuellen Zustand den Wasserfluss zur Seite. Vermutlich würde das Modell in der korrigierten Version, bei der der seitliche Ausfluss erst ab einem bestimmten Wasserniveau in der Tasse einsetzt, deutlich weniger Ausfluss zur Seite berechnen. Weitere Ansatzpunkte für eine Optimierung des Modells wäre die Implementation von Kovarianz der vertikalen und in Hangrichtung gemessenen k_{sat} -Werte, Autokorrelation der k_{sat} -Werte und die Integration der dritten gemessenen Richtung in das Modell.

Danksagung

Dank gilt der Robert Bosch Stiftung für die Finanzierung dieser Arbeit.

Quellen

Yang, G, D, X., Zhou, L. & Tang, C.(2005): Hydrological effects of forest landscape Patterns in the Qilian Mountains. Mountain Research and Development, 25, S. 262-268