

# Wasserhaushalt – die große Unbekannte

Hohe Vielfalt der Gebirgswaldstandorte erschwert flächenbezogene Aussagen

Wendelin Weis und Axel Göttlein

**Eine hohe Heterogenität hinsichtlich Relief, Exposition, Bodeneigenschaften, Baumartenzusammensetzung und Bestandsstruktur charakterisiert den Gebirgswald im bayerischen Alpenraum. Hochwasser- und Erosionsschutz, aber auch Trockenstress insbesondere auf südexponierten, flachgründigen Standorten auf Grund der Zunahme von Trockenperioden im Rahmen der globalen Klimaerwärmung fordern verbesserte Kenntnisse über den Wasserhaushalt dieses komplexen Naturraumes.**

Sehr hohe Niederschläge kennzeichnen den bayerischen Alpenraum. Die Jahresniederschläge liegen selten unterhalb von 1.000 Millimetern und können in den Hochlagen bis zu 2.500 Millimeter pro Jahr betragen. Etwa 60 Prozent des Niederschlags fallen in den Monaten Mai bis Oktober.

## Niederschlag und Hochwasser

Die hohen Niederschläge zusammen mit steilen Hängen und oft nur wenig entwickelten Böden mit hohem Skelettanteil führen daher häufig zu Abflussspitzen, die allerdings meist von kurzer Dauer sind. Niedrige Infiltrationsraten findet man vor allem auf vergrasteten Hängen. Nennenswerter Oberflächenabfluss ist in Gebirgswäldern nur nach extremen Starkniederschlägen (Ammer et al. 1995) bei oberflächlicher Bodenverdichtung oder auf Gley- bzw. Pseudogley-Böden (Löbmannsröben 2000) zu beobachten. Die Hangneigung spielt dagegen eine eher untergeordnete Rolle (Löbmannsröben 2000). Die Gebirgswälder helfen auf Grund von Interzeptionsverdunstung, Transpiration und Verbesserung der Bodeninfiltration, Oberflächenabfluss zu vermeiden und Hochwasserspitzen abzumildern. Ihr Potential darf dabei allerdings nicht überschätzt werden. Das Speichervermögen der Böden beschränkt sich auf den aktuell luftgefüllten Porenraum. Dieser hängt stark von der aktuellen Bodenaustrocknung und damit von der Transpiration der Vegetation ab. Außerhalb der Vegetationsperiode und an Standorten ohne Vegetation sinkt der Wassergehalt im Boden nur bis zur Feldkapazität (siehe Kasten). Dann steht nur noch ein geringer Teil des Porenvolumens im Boden zur Aufnahme zusätzlichen Niederschlagswassers zur Verfügung. Hinzu kommt, dass die Wasserleitfähigkeit im feuchten Boden sehr hoch ist, das Wasser also schnell abläuft. Starke Niederschlagsereignisse bzw. die Schneeschmelze können damit kaum abgepuffert werden. Während der Vegetationsperiode führt die Transpiration zur stärkeren Austrocknung des Bodens. Die Pufferwirkung steigt damit an, sofern es sich um Böden mit geringem Makroporenanteil und gleichzeitig hohem Infiltrationsvermögen handelt. Tief entwickelte, skelettarme

Lehme und Schluffe verfügen dabei über ein hohes Wasserspeichervermögen. Kaum zur Verzögerung von Hochwasserspitzen beitragen können flachgründige Böden, Böden mit sehr hohem Skelettanteil und auf Grund des dort auftretenden Oberflächenabflusses auch tonreiche Böden.

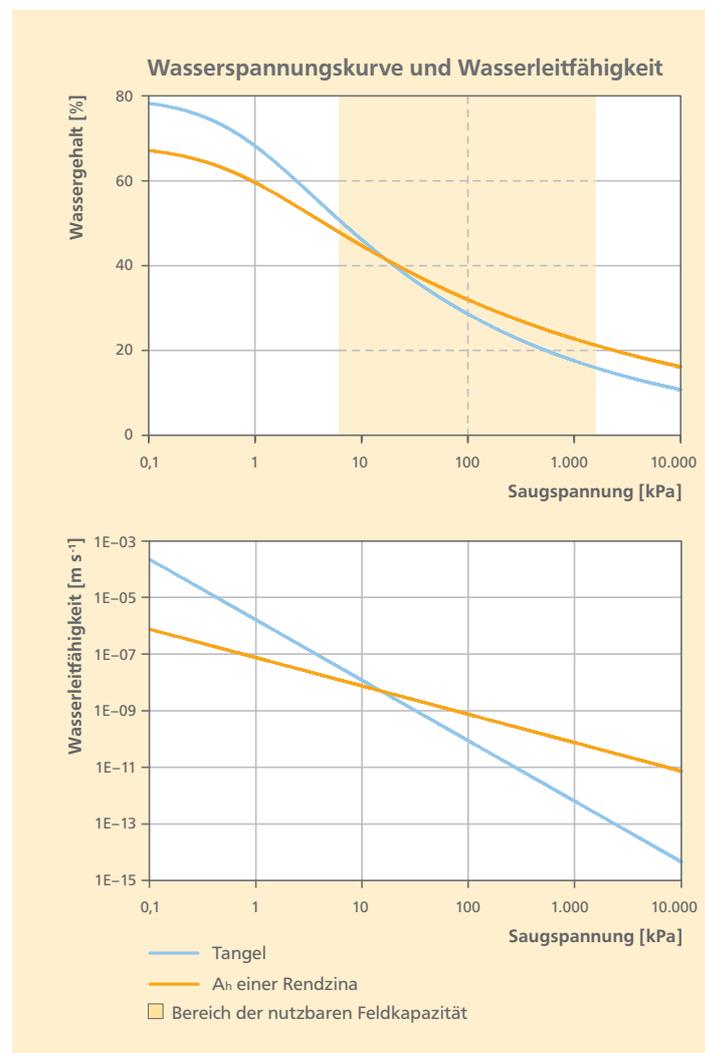


Abbildung 1: Ausgleichsfunktionen von Wasserspannungskurve und Wasserleitfähigkeit für einen Tangel (mächtige Humusaufgabe im Gebirge) und den Ah<sub>h</sub>-Horizont einer typischen Rendzina

**Feldkapazität**

Boden besteht aus Feststoffen sowie luft- und wassergefüllten Poren. Die Feldkapazität beschreibt die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter Boden gerade noch gegen die Schwerkraft halten kann. Diejenige Menge Wasser, die die Pflanzen maximal aus dem Boden aufnehmen können, wird nutzbare Feldkapazität genannt.

**Trockenphasen**

Auf Grund der hohen Niederschläge im Gebirge sind lang anhaltende Trockenphasen selten. Auswertungen der Niederschlagsdaten der Waldklimastationen Berchtesgaden (1.500 m N.N.), Kreuth (1.100 m N.N.) und Sonthofen (1.170 m N.N.) sowie nahe gelegener Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes ergaben für die Zeit seit 1936 Trockenperioden (zusammenhängende Tage ohne Niederschlag) von mehr als 20 Tagen durchschnittlich nur alle sechs bis zwölf Jahre, Trockenperioden von mehr als 30 Tagen nur alle 20 Jahre oder seltener. Im extremen Trockenjahr 2003 dauerte die längste Trockenphase in der Vegetationsperiode etwa 20 Tage.

Bei einer potentiellen täglichen Transpirationsrate von drei bis fünf Millimetern im Bergwald und maximal 20 aufeinander folgenden regenfreien Tage werden Standorte mit einer nutzbaren Feldkapazität von mehr als 100 Millimetern keinen Trockenstress zeigen, wenn der Boden zur Beginn der Trockenphase hinreichend wassergesättigt war. Unproblematisch sind damit gut entwickelte, tiefgründige Böden in Mulden- und Tallagen. Kritisch zu beurteilen sind flachgründige Standorte mit Fels-Humus-Böden und Rendzinen. Exemplarische Be-



Foto: E. Kolb

Abbildung 3: Flachgründige, skelettreiche Rendzinen sind insbesondere auf südexponierten Hängen auch im niederschlagsreichen Gebirge anfällig für Trockenheit.

stimmungen der Wasserspannungskurven (pF-Kurven) ergaben hohe nutzbare Feldkapazitäten von 33 Prozent für mächtige Humusauflagen (Tangelhumus) und 26 Prozent für das A<sub>h</sub>-Material einer typischen Rendzina (Abbildung 1). Um die nötigen 100 Millimeter nutzbaren Wasservorrat bereitzustellen, werden demnach eine mindestens 30 Zentimeter mächtige Humusauflage bzw. 40 Zentimeter eines A<sub>h</sub>-ähnlichen Mineralbodenmaterials benötigt. Der günstigere Verlauf der Wasserleitfähigkeitskurve mit geringeren Werten im feuchten Boden (langsamere Versickerung des Bodenwassers) und höheren Werten im trockenen Boden (schnellere Nachleitung von Bodenwasser zu den Wurzeln) gleicht die etwas ungünstigeren Bedingungen der Rendzina teilweise aus. Standorte mit mächtigen Tangelauflagen und/oder viel A<sub>h</sub>-Material sind dementsprechend wenig anfällig gegenüber Trockenperioden. Für degradierte Fels-Humus-Böden mit geringmächtigen organischen Auflagen und flachgründige Rendzinen kann trotz hoher mittlerer Jahresniederschläge Trockenstress nicht ausgeschlossen werden.

Eine intensive Sonneneinstrahlung, die vor allem von Hangneigung und Exposition bestimmt wird, verschärft die Trockenheitsanfälligkeit bestimmter Standorte zusätzlich. Eine exakte Berechnung der Sonneneinstrahlung beschreibt Brandtner (1975) (siehe Kasten). Für den bayerischen Alpenraum wurde die Sonneneinstrahlung beispielhaft mit den Strahlungsdaten der Waldklimastation Kreuth für das Jahr 2003 bei einer geographischen Breite von 47,5° aufsummiert über die Vegetationszeit (Mai bis Oktober) berechnet. Der maximale Strahlungseinfall mit +11 Prozent lag dabei auf einer südexponierten Fläche mit Hangneigung von 28°. Ost- bzw. westexponierte Flächen wiesen einen Strahlungseinfall von bis zu +9 Prozent auf, nordexponierte Hänge dagegen eine Reduktion um bis zu 21 Prozent. Sofern Bestandesklima und Rückkopplungseffekte der Energiebilanz (Abkühlung bei hö-

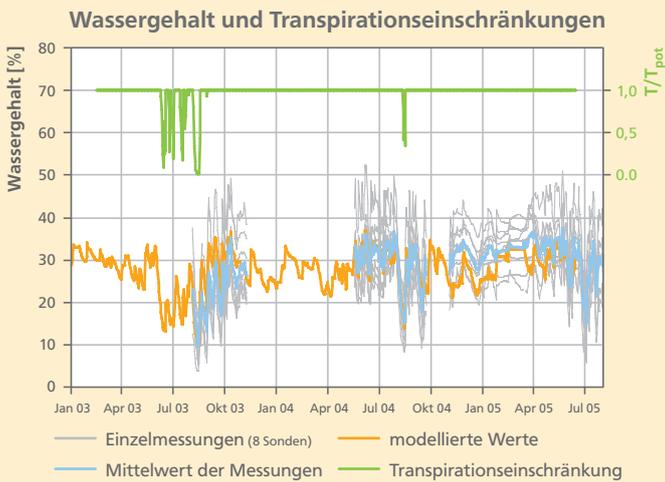


Abbildung 2: Gemessener und modellierter Wassergehalt im Wurzelbereich junger Fichten einer Schutzwaldsanierungsfläche oberhalb von Graswang bei Oberammergau (1.500 m N.N.) sowie die berechnete tägliche Transpirationseinschränkung (tatsächliche Transpiration/potentielle Transpiration) in Folge von Bodenaustrocknung

**Berechnung der Sonneneinstrahlung** (Brandtner 1975)

Geographische Breite ( $\varphi$ ), Sonnendeklination ( $\delta$ ), Stundenwinkel ( $\tau$ ), Hangazimut ( $\alpha$ , Richtung in die sich der Hang neigt), Hangneigung ( $\nu$ ) dienen zur Berechnung der relativ zur Sonneneinstrahlung einer ebenen Fläche ( $I_{90}$ ) auf einen Hang auftreffenden Sonnenstrahlung ( $I$ ):

$$I/I_{90} = (\sin \varphi \cdot \cos \nu - \cos \varphi \cdot \sin \nu \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \delta + (\cos \varphi \cdot \cos \nu + \sin \varphi \cdot \sin \nu \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \sin \nu \cdot \sin \alpha \cdot \cos \delta \cdot \sin \tau$$

herer Verdunstung) nicht ausgleichend wirken, können die Transpirationsraten auf sonnigen Südhängen damit etwa ein Drittel über denen schattiger Nordhänge liegen.

Messungen zum Bodenwasserhaushalt auf einer Schutzwaldsanierungsfläche oberhalb von Graswang (1.500 m N.N.) bestätigen die Trockenheitsanfälligkeit flachgründiger, südexponierte Hänge. Wasserhaushaltsmodellierungen ermöglichen die Bestimmung der Transpiration der jungen Fichten im Trockenjahr 2003. Sie war an 40 Tagen eingeschränkt, allein im August an zwölf aufeinander folgenden Tagen. Insgesamt erreichte die Transpiration der Bäume nur 55 Prozent der berechneten potentiellen Transpiration (Abbildung 2).

Die Folgen solcher Trockenphasen für den Bergwald sind vielfältig. Beobachtet wurden in den vergangenen heißen und teilweise trockenen Jahren ein zunehmender Borkenkäferbefall an Gebirgsfichten (Triebenbacher und Immler 2007) sowie ein verstärkter Pilzbefall (*Phytophthora*) an Buchen in aufeinander folgenden feuchten und trockenen Jahre (Jung 2004). 2003 meldete die Waldklimastation Sonthofen (1.170 m N.N.) Trockenschäden (Raspe et al. 2004), außergewöhnlich kleinwüchsige und verkümmerte Zapfen traten an der Waldklimastation Berchtesgaden (1.500 m N.N.) auf (Dietrich et al. 2004). Zu denken ist auch an ein Absterben der Feinwurzeln mit lang anhaltenden Störungen in der Wasser- und Nährelementaufnahme, die zu irreversiblen Wachstumsstörungen führen können (Morowitz 2007).

**Fazit**

Die hohe Heterogenität der Gebirgswaldstandorte in Bayern erschwert flächenbezogene Aussagen zum Wasserhaushalt. Gemessen an der Komplexität des Gebirgsraums steht bei weitem nicht genügend belastbares Datenmaterial zur Verfügung. Digitale Geländemodelle bilden Hangneigung und Exposition zwar gut ab, aber flächendeckende Informationen zu Standort (Bodenmächtigkeit, Mächtigkeit der organischen Auflage, hydraulische Bodeneigenschaften) und Bestand (Baumartenmischung, Altersstruktur, Rottenbildung) sind nicht vorhanden. Obwohl die Wälder im Gebirge zum Hochwasserschutz beitragen, ist ihr Einfluss auf flachgründigen, skelettreichen, oberflächlich verdichteten oder tonreichen Böden gering. Besonders anfällig gegenüber Trockenstress sind trotz der hohen Niederschläge südexponierte flachgründige Standorte mit geringmächtiger Humusaufgabe.

**Literatur**

im Internet unter [www.lwf.bayern.de](http://www.lwf.bayern.de)

Dr. Wendelin Weis arbeitet seit 1993 im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte zum Wasser- und Stoffhaushalt von Wäldern am Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt der TU München. [weisw@forst.tu-muenchen.de](mailto:weisw@forst.tu-muenchen.de)  
Prof. Dr. Axel Göttlein leitet das Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt.

**»Schneefix Trio« als Gleitschnee-Schutz**

Foto: K. Stahuber

Am Jägerleitengraben im Sanierungsgebiet Sonnberg bei Wildbad-Kreuth stehen seit 2006 neben Dreibeinböcken (Holz) und Snowgrippern (Aluminium) auch 1,8 Meter hohe Verbauungselemente mit dem Namen »Schneefix Trio«. Sie schützen junge Waldbäume vor dem zerstörerischen Schneegleiten. Ihr Zusammenbau geht äußerst fix, und Trio steht für die drei Rundhölzer aus Edelkastanie, die zu einem gleichseitigen Dreieck verschraubt sind. Die Konstruktion hängt mit drei Stahlseilen an einem Felsanker.

Die Idee dazu hatte Thomas Dankemeyer, ein ehemaliger Mitarbeiter der Schutzwaldsanierung. Der Schneefix Trio ist für die Forstverwaltung beim Patentamt als Gebrauchsmuster geschützt.

In einem Projekt untersucht die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft das neue Produkt auf seine Praxistauglichkeit. Auch nach dem schneereichen letzten Winter stehen die Bauwerke bombenfest. Die in den Fels gebohrten Stahllanker müssen bei extremer Schneelage bis zu drei Tonnen Zugkraft aushalten. Nach ersten Ergebnissen schneiden die Trios im Praxistest gut ab. Auch die Kosten sprechen für den Trio, mit 287 Euro pro Stück (netto) ist er ca. 30 Prozent billiger als die Vergleichsprodukte.

stahu