

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG, Kommission VI

**Titel der Tagung:**

Böden – eine endliche Ressource

**Veranstalter:** DBG, September 2009, Bonn

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation) <http://www.dbges.de>

## **Flächenhaftes Prognosemodell für Stauwasserböden unter Wald aus Bodenparametern, DGM, Klima und Vegetation**

Elke Dietz<sup>1</sup>, Wolfgang Falk, Josefine Beck, Tim Häring, Sebastian Osenstetter, Christian Kölling

### **Zusammenfassung**

Stauässe stellt einen bedeutenden Standortfaktor zur Wahl der Baumarteneignung unter rezenten und veränderten Klimabedingungen dar. Vorliegende analoge Standortkartierungen haben den Nachteil, dass sie keine Prognosen über zukünftige Bedingungen zulassen. Zudem mangelt es ihnen an räumlicher und zeitlicher Homogenität. Weiterhin ist die Ansprache der Stauässe im Gelände teilweise schwierig. Daher soll ein objektives rechengestütztes Verfahren getestet werden. Zur flächenhaften Modellierung dieses Parameters mit Hilfe von Boden-, Klima- und Reliefparametern wurden unterschiedliche Verfahren (empirisches Modell, Regression, boosted regression trees) an zwei Waldstandorten in Bayern angewandt und anhand bestehender Kartierungen und Geländeerhebungen validiert. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend und zeigen eine in weiten Bereichen gültige Abhängigkeit der Stauässe von den gewählten Boden- und Geländegrößen.

**Schlüsselwörter:** Modellierung, Stauwasser, Waldböden

### **Einleitung**

Bedingt durch den Klimawandel ist es notwendig, die Baumartenwahl an die sich ändernden Standortbedingungen anzupassen. Die bisher hierfür genutzten Standortskarten liegen analog vor oder sind nicht ausreichend mit „harten Daten“ hinterlegt, um damit über Modelle auf zukünftige Verhältnisse schließen zu können. Daher ist die Entwicklung eines bayernweiten digitalen Standortinformationssystems geplant, das es ermöglichen soll, zu verschiedenen Fragestellungen Antworten für die forstliche Beratung zu geben (BECK ET AL. 2009). Einer der wichtigsten Standortfaktoren für die Bestimmung der Baumarteneignung ist der Wasserhaushalt.

Stauässe Böden beeinträchtigen die Wurzelentwicklung der Bäume und erhöhen ihre Anfälligkeit gegenüber Windwurf. Standortangepasste Baumarten könnten dagegen das Ausfallrisiko minimieren. Das Problem besteht darin, die tatsächlich stauassen Bereiche zu erkennen. Eine boden- oder standortkundliche Kartierung ist eine zeit- und kostenintensive Möglichkeit mit dem Nachteil, dass es sich um eine Momentaufnahme handelt. Zudem wird die Einstufung der Stauässe im Gelände gemäß KA5 (AD-HOC AG BODEN 2005) visuell an Hydromorphiemerkmalen (z.B. Bleichflecken, Konkretionen) vorgenommen. Gerade bei den Konkretionen handelt es sich jedoch häufig um geogene Relikte, die bezüglich der rezenten, tatsächlich vorliegenden Stauässe zu Fehlinterpretationen führen können. Eine richtige Interpretation setzt u.a. ein hohes Maß an Regionalkennntnis oder mehrere Geländebegänge zu verschiedenen Jahreszeiten voraus. Häufig liegen alte Kartierungen vor oder solche, deren Erstellung sich über mehrere Jahrzehnte erstreckte, so dass die Daten teilweise auf unterschiedlichen Kartieranleitungen und damit Bodenansprachen und Profilbeschreibungen beruhen. Eine einheitliche Auswertung setzt dementsprechend einen zeitlich sehr hohen Homogenisierungsaufwand

<sup>1</sup> Elke Dietz, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Sachgebiet Standort und Bodenschutz, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, elke.dietz@lwf.bayern.de

voraus. Das Ziel, eine flächige Aussage für die gesamte Waldfläche Bayerns und eine Prognose des Wasserhaushalts der Zukunft kann nur durch eine Koppelung von Punktmodellansätzen und der Anwendung von GIS-Funktionalitäten erreicht werden. Ein hoch auflösendes DGM (10 x 10 m) ist die Voraussetzung für eine genaue flächige Abgrenzung und Erfassung der Reliefeigenschaften in einem für die Staunässeprognose notwendigen Maßstab. Der Verwendung physikalisch basierter Wasserhaushaltsmodelle zu dieser Prognose von Stauwasserböden stehen der hohe Zeitaufwand und die umfangreichen Anforderungen an die flächenhaften Eingangsdaten entgegen, weshalb andere Ansätze den Vorzug erhielten.

### Material und Methoden

Im Rahmen eines Pilotprojektes wurde eine deterministische Staunässeprognose auf die Fläche umgesetzt, die alle Parameter eines einfachen Wasserhaushaltsmodells einbezieht. Drei Ansätze sind dabei zu unterscheiden: (a) Deterministisches Modell, (b) Regressionsmodell und (c) boosted regression trees.

In die Vorüberlegungen für das Modell (a) wurden verschiedene Parameter und ihre Wirkung auf die Staunässeintensität berücksichtigt. Einflussgrößen sind Klima, Bodeneigenschaften, Relief und Vegetation. An klimatischen Parametern wurde das Wasserregime während der Vegetationsperiode, das Restwasser des Winterniederschlags sowie die Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden einbezogen. Staunässe im Boden setzt weiterhin das Vorhandensein einer Stauschicht voraus. Diese ist gemäß standortkundlicher Kartieranleitung durch einen Sd- bzw. Sd-Übergangshorizont mit kf-Werten < 10 cm/d definiert. Sind die Böden dicht gelagert, betrifft dies gemäß KA5 schwach sandige Lehme (Ls2), sowie Böden mit der Hauptbodenart Schluff oder Ton. Sind die Böden mittel dicht gelagert, wirken nur noch die Tone und die toni-

gen Lehme wasserstauend. Geländebeobachtungen legen allerdings nahe, dass es nicht nur auf den absoluten kf-Wert, sondern auch auf die Versickerungsverzögerung ankommt, die ein Horizont dem versickernden Wasser entgegengesetzt. Dies kann durch einen Dichte- oder Bodenartenunterschied bedingt sein. Als Maß hierfür wurde ein Quotient aus dem kf-Wert des oberen und des unteren Horizontes gebildet, falls der kf-Wert beider Schichten im mittleren kf-Bereich liegt ( $k_f > 20$  und  $< 50$  cm/d). Ist dieser Quotient  $> 2,5$  handelt es sich um eine Schicht, die zu einer Abflussverzögerung führt. Weitere relevante Bodeneigenschaften sind die nFK als Maß für die Wasserspeicherung sowie der Skelett- und der Tongehalt. Hinzu kommen Reliefparameter wie Hangneigung (je steiler, desto weniger Staunässe), Wölbung (Wasserakkumulation in Muldenbereichen) und Höhe über Tiefenlinie (Wasserakkumulation in Tiefenbereichen). Die Flächengröße flacher Kuppen wurde begrenzt, da es sich gezeigt hat, dass Kuppen erst ab einer gewissen Flächengröße Staupotential aufweisen. Sind sie zu klein, fließt das Wasser seitlich ab (SCHALLER 2009 unveröff.). Die Transpirationsdifferenz (Tdiff) (FALK ET AL. 2008) wird ebenfalls als erklärende Variable verwendet. Sie ist ein Maß für die Transpiration und das Wasserregime während der Vegetationsperiode. Aus den oben genannten Parametern entstand Gleichung 1.

### Gleichung 1

$$\text{Stauindex} = ((\text{TS} + \text{Tdiff} + \text{slope}) - (1.5/\text{prw} * 30)) * \text{curv} * \text{slope} * \text{ton} * \text{skelett} * (\text{hoetief} + 1)$$

TS = Tiefenlage Stauschicht, slope = Hangneigung, Tdiff = Transpirationsdifferenz, curv = Wölbung, ton = Tongehalt, skelett = Skelettgehalt, hoetief = Höhe über Tiefenlinie, prw = anteiliger Winterniederschlag (Niederschlag März)

Dieses Modell (a) wurde im Projektgebiet in der Umgebung von Waldsassen an Bodenparametern, Kartierungen und Geländebegängen erstellt. Eine visuelle Plausibilisierung erfolgte anhand der Reliefposition der Staunässeflächen im DGM sowie durch den Abgleich mit der

Standortskarte 1:10.000 und der Übersichtsbodenkarte (ÜBK25). Eine Validierung erfolgte durch punktuelle bodenkundliche Geländeaufnahmen und dem Vergleich mit 30 Bodenprofilen, die nicht in die Berechnung eingingen.

Aus diesem geprüften Modell wurde eine Regressionsgleichung (Modell (b)) mit dem Zielparameter „Stau­näs­se­in­dex“ aus Gleichung 1 abgeleitet. Hierzu wurden die Rasterdaten aller Parameter aus dem GIS exportiert (1,2 Mio Datenpunkte), mit STATISTICA auf Normalverteilung überprüft und eine multiple Regression durchgeführt. Die verwendeten Prädiktoren sind: nFk, kf, slope, curv, Pveg, Tveg, Prw, skelett, ton, hoetief und TS.

Als dritter Modellansatz wurden boosted regression trees (BRT, HASTIE ET AL. 2009), eine Methode aus dem Bereich des maschinellen Lernens, verwendet. Zusätzlich zu den in Modell (b) verwendeten Prädiktoren werden noch die Häufigkeit und Dauer von Trockenperioden sowie Tdiff verwendet. Als Trainings- und Testdatensatz wurden 30.000 bzw. 20.000 zufällig verteilte Datenpunkte verwendet.

Das Regressionsmodell und BRT wurden zur Validierung auf ein Gebiet bei Erlangen angewandt und mit einer bodenkundlichen Kartierung im Maßstab 1:10 000 verglichen (ROSSNER 1990). Zudem ist dieser Raum aus mehrjährigen bodenkundlichen Übungskartierungen sowie durch die Erstellung der ÜBK25 bekannt.

### Ergebnisse und Diskussion

Auch wenn die Geländebeobachtungen nahelegen, dass das Stau­kri­te­ri­um kf-Wert <10 auf kf-Wert <20 ausgedehnt werden sollte, liegen nach Validierung von Gleichung 1 60 % der Bodenprofile genau in der Bodenvarietät der modellierten Stau­näs­se­stufe (AK STANDORTSKARTIERUNG 2003). 87 % Übereinstimmung zeigt sich, wenn man die Bodenvarietäten zum Übergang der nächsten Stau­näs­se­stufe zulässt. Aus dieser guten Näherung konnten für Modell (b) die

Faktoren gemäß Gleichung 2 abgeleitet werden.

### Gleichung 2

$$\ln(\text{Stauindex}) = -33,939 + 0,0281 \text{ kf} + 0,0016 \text{ nfk} + 0,261 \text{ slope} + 4,541 (\ln(\text{pveg})) + 0,090 \text{ tveg} - 0,008 (\text{prw}) + 1,347 (\ln(\text{TS})) + 0,052 \text{ skelett} + 0,756 (\ln(\text{ton})) + 0,0012(\text{curv})^2 \cdot 10000 + 2,4612 (\text{hoetief})$$

Die Regressionsanalyse ergibt für dieses Modell (b) ein  $R = 0,87$  und ein  $R^2 = 0,76$  bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,001$ .

Modell (c) lieferte bei der Validierung am unabhängigen Testdatensatz ein  $R^2 = 0,98$ . Ein Vergleich der Einflussstärke der Prädiktoren auf das Ergebnis in diesem Modell zeigt, dass Hang­nei­gung, Wölbung, nFk und Tiefenlage der Stauschicht den größten Einfluss haben. Aussagekraft haben ebenfalls Ton- und Skelettgehalt sowie Tdiff (siehe Abb. 1).

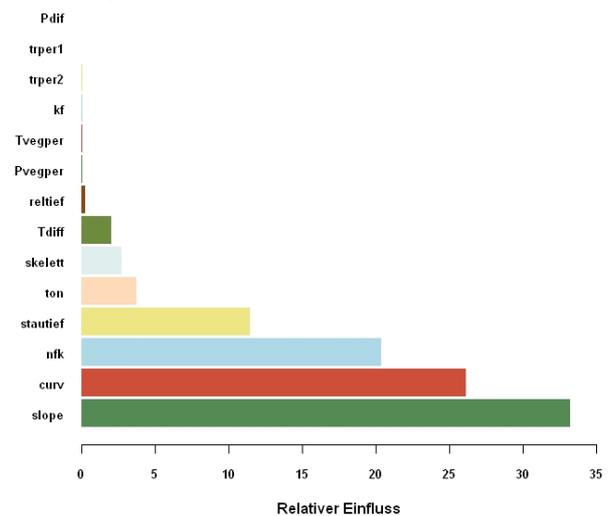


Abb. 1: Relativer Einfluss der Prädiktoren auf den Stau­näs­se­index in BRT

Die Modelle (b) und (c) zeigen eine deutlich größere Differenzierung als die Standortkartierung, was auf die Einbeziehung der Reliefparameter aus dem DGM 10 zurückzuführen ist. Das Regressionsmodell ist in den „praktisch nie staunassen“ Bereichen geringfügig zu trocken. Ursache hierfür ist, dass im trockenen Bereich die Daten eine starke Streuung aufweisen. Hier ist eine Modellverbesserung vorzunehmen. BRT bildet die „nicht staunassen Bereiche“ etwas zu staunass und die staunassen Bereiche etwas zu trocken ab (Abb. 2).

Grund dafür könnten die unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten im Trainings- und Prognosegebiet sein, was aufgrund mangelnder Fähigkeit des Modells zur Generalisierung zu Fehlern führen kann (overfitting).

### Ausblick

Die Regressionsgleichung sowie BRT werden weiterverfolgt. Zudem wird noch

ein weiterer Ansatz unter Einbeziehung des Wasserhaushaltsmodells BROOK90 konzipiert (OSENSTETTER 2009). Die zukünftigen Klimaszenarien können in die Modelle über die geänderten Niederschlags- und Temperaturwerte einbezogen werden. Auf diese Weise kann die Staunässe 2100 für dieses Szenario modelhaft vorhergesagt werden.

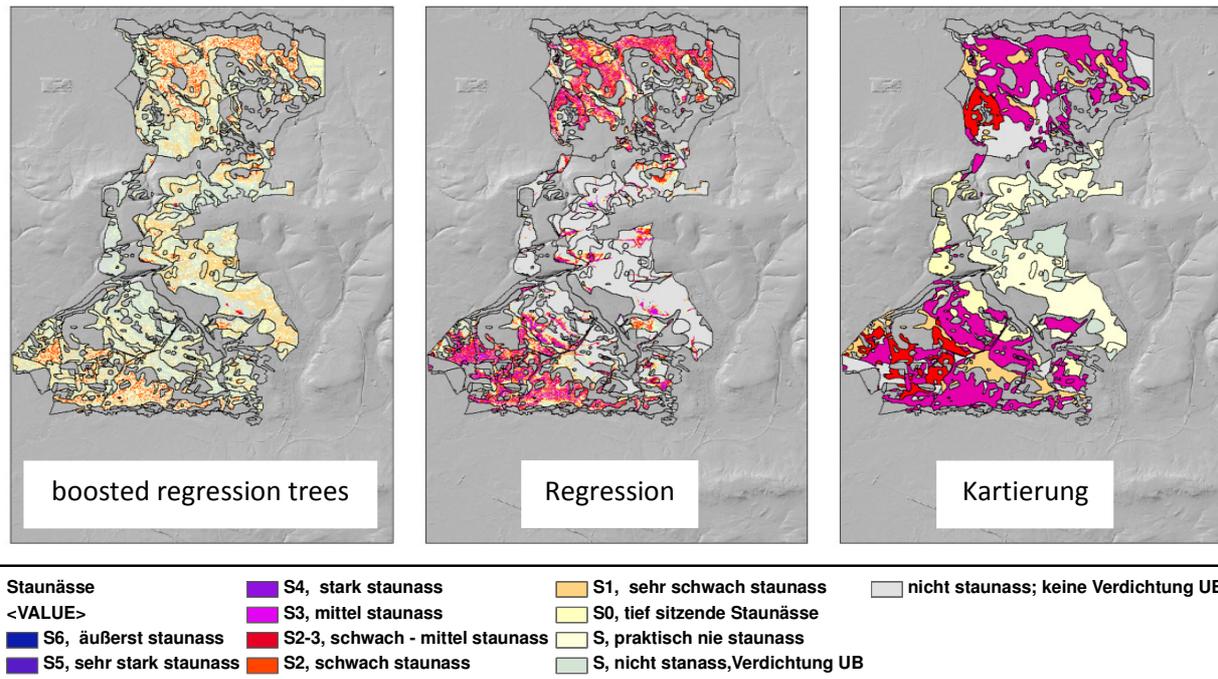


Abb. 2.: Staunässe nach boosted regression trees (Modell), Regression (Modell) und bodenkundlicher Kartierung

### Literatur:

AD-HOC-AG BODEN (BGR (HRSG.)) (2005): „Bodenkundliche Kartieranleitung“, 5. Auflage, Schweizerbart, Stuttgart

ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (2003): „Forstliche Standortsaufnahme“, 6. Auflage, IHW-Verlag, Eching bei München

BAYERISCHER KLIMAFORSCHUNGSVERBUND, BAYFORKLIM (HRSG.) (1996): „Klimaatlas von Bayern“, Hanns Lindner Verlag, München

BECK, J., DIETZ, E., FLAK, W. UND KÖLLING, C. (2009): „Ein neuartiges, forstliches, digitales Standortinformationssystem – anpassungsfähig an Ansprüche des Nutzers und geänderte Umweltbedingungen“, Berichte der DBG zur Jahrestagung der DBG 05.-13.09.2009 in Bonn.

FALK, W.; DIETZ, E.; GRÜNERT, S.; SCHULTZE, B. UND KÖLLING, C. (2008): „Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregional gültige Karte des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung“. LWF aktuell, 66, S.21-25.

HASTIE, T., TIBSHIRANI, R. UND FRIEDMAN, J. (2009): „The elements of statistical learning“, 2. Aufl. Springer.

OSENSTETTER, S.; FALK, W.; DIETZ, E. KÖLLING, C. UND ZIMMERMANN, L. (2009): „Einflüsse der

Pedotransferfunktionen auf die Ergebnisse bodenhydrologischer Modellierungen an Waldstandorten“, Berichte der DBG zur Jahrestagung der DBG 05.-13.09.2009 in Bonn.

ROSSNER, R. (1990): „Variationsbreite und ökologischer Zustand der Böden im nordwestlichen Seblader Reicheswald, aufgezeigt an Hand eines Querschnittes zwischen Gründlach und Schwabachtal“; Erlanger geografische Arbeiten 50, 174S., Palm & Enke, Erlangen

SCHALLER, R. (2009) [UNVERÖFF.]: „Dokumentation zur Berechnung der Mindestgröße von Staunässeflächen im GIS.“

### Danksagung

Herzlichen Dank an Stefan Blum und Dan Morowitz für die Datenaufbereitung und den Bayerischen Staatsforsten für die zur Verfügung gestellten Standortdaten und Ihre Unterstützung beim Pilotprojekt Waldsassen. Dem LVG für die Bereitstellung des DGM 5 (Bayerische Vermessungsverwaltung [www.geodaten.bayern.de](http://www.geodaten.bayern.de)) und dem LFU für die Bereitstellung der Daten der ÜBK 25 (Bayerisches Landesamt für Umwelt [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)).