

Wo hat die Fichte genügend Wasser?

Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung

Wolfgang Falk, Elke Dietz, Sven Grünert, Bernd Schultze und Christian Kölling

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft entwickelte ein Verfahren, das erstmals eine überregional gültige Ansprache des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen ermöglicht und das als objektives Kriterium für die Anbauentscheidung einer Baumart verwendet werden kann. Dabei werden Niederschlag, Verdunstung und Wasserspeicherung zueinander in Beziehung gesetzt, um die durchschnittliche Wasserversorgung der Bäume auf Karten darzustellen. Die Karten ergeben auf der ganzen Waldfläche Bayerns vergleichbare Aussagen. Das Verfahren ist offen, auch die vom Klimawandel verursachten Veränderungen des Wasserhaushalts der Waldstandorte zu beschreiben.

Bisher wurden zur Beschreibung des Wasserhaushalts von Waldböden Standortskarten verwendet, die mit einem kombinierten Schätz- und Rechenverfahren die wichtigsten Komponenten des Wasserhaushalts (Niederschlag, Verdunstung, Bodenspeicher) zueinander in Beziehung setzen. In den Karten wird die ökologische Feuchtestufe (z. B. frisch oder trocken) als integrale Beschreibung der Wasserversorgung der Waldbäume angegeben. Standortskarten sind so zum unentbehrlichen Hilfsmittel für die forstliche Praxis geworden. Die darin enthaltenen Schätzungen hängen aber sehr stark vom Regionalbearbeiter ab (subjektive Komponente). Sie lassen sich nur bedingt vergleichen und nachvollziehen, da die Beurteilungskriterien teilweise nicht offengelegt und dokumentiert sind. Wegen der Klassenbildung in Form von Wasserhaushaltsstufen sind Informationen verloren gegangen und eine Anpassung an geänderte Klimabedingungen ist kaum möglich. Außerdem sind die Angaben nur regional, auf Wuchsgebietsebene, vergleichbar. Um diesen Mangel auszugleichen, entwickelten Schultze et al. (2005) ein Konzept für ein neues quantitatives Verfahren, das den Wasserhaushalt von Waldböden besser und realistischer beschreiben kann als die bisher verwendeten Verfahren.

Die Methode: Verknüpfung von Niederschlag, Verdunstung und Wasserspeicherung

Mit Hilfe eines deterministischen Wasserhaushaltsmodells wurde basierend auf der Arbeit von Schultze et al. (2005) der Wasserhaushalt von Fichtenbeständen in über 3.880 Simulationsläufen neu für das Klima der Periode 1971-2000 berechnet. Dabei wurden in jedem Wuchsgebiet typische Klima-, Relief- und Bodendaten kombiniert und der daraus resultierende Wasserhaushalt berechnet. Mit den circa 3.880 Kombinationen wurde die Vielfalt der bayerischen Waldstandorte abgebildet. Die Durchwurzelungstiefe der Böden wurde konstant auf 100 Zentimeter gesetzt.

Die Berechnungen liefern als Ergebnis eine Maßzahl für den Wassermangel bei den jeweiligen Kombinationen. Diese als Transpirationsdifferenz (T_{diff}) bezeichnete Zahl ist die Dif-

Transpirationsdifferenz T_{diff}

Die Transpirationsdifferenz T_{diff} ist die Differenz von potentiell möglicher und aktuell realisierter Transpiration der Bäume, also ein Maß für den Unterschied zwischen der bestmöglichen und der wirklichen Wasserversorgung. Je geringer die Differenz, desto besser für den Baum. Da T_{diff} stark von klimatischen Größen abhängt, gibt es meist einen typischen Verlauf über die Vegetationszeit: Kein Wassermangel zu Beginn der Vegetationszeit, steigender Mangel mit zunehmenden Temperaturen und Trockenheit im Sommer und erneutes Sinken mit Einsetzen eines kühl-feuchten Herbstes. T_{diff} wird über die Vegetationszeit gemittelt, die Information also auf eine Maßzahl verdichtet, um eine Vergleichbarkeit von Standorten zu ermöglichen.

Zwei Beispiele für T_{diff}

Standort 1: Braunerde, nutzbare Feldkapazität (nFK) 112 mm/m, sehr geringe gesättigte Leitfähigkeit durch verdichteten Unterboden, Klima des Oberpfälzer Beckens, 20 Grad geneigter Südhang;

Mittlere aktuelle Transpiration in der VZ: 379 mm

Mittlere potentielle Transpiration in der VZ: 488 mm

Transpirationsdifferenz: 109 mm, bezogen auf eine Vegetationszeit (VZ) von circa 220 Tagen ergibt sich:

$T_{diff} = 50 \text{ mm}/100 \text{ Tage}$ (trocken)

Standort 2: Braunerde, nFK 153 mm/m, ebenfalls sehr geringe gesättigte Leitfähigkeit durch verdichteten Unterboden, Klima im Übergangsbereich nördliche Schotterebene zu Tertiärhügelland, ebene Lage;

Mittlere aktuelle Transpiration in der VZ: 431 mm

Mittlere potentielle Transpiration in der VZ: 442 mm

Transpirationsdifferenz: 11 mm oder bei einer Vegetationszeit (VZ) von circa 222 Tagen: $T_{diff} = 5 \text{ mm}/100 \text{ Tage}$ (sehr frisch)

ferenz zwischen der bei optimaler Wasserversorgung maximal möglichen und der tatsächlich verwirklichten Transpiration. T_{diff} wird über die Vegetationszeit gemittelt und in mm/100 Tage angegeben (siehe Kasten). Die Wertespanne in Bayern reicht von 0 (sehr frisch) bis ca. 140 mm/100 Tage (extrem tro-

cken) und kann mit den Wasserhaushaltsstufen der Standortskarten in Beziehung gesetzt werden. Für jede T_{diff} -Klasse gibt es eine Empfehlung für den Fichtenanbau, die aus der mit angespanntem Wasserhaushalt abnehmenden Wuchsleistung und dem gegenläufig zunehmenden Anbaurisiko resultiert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Klassen, Wasserhaushaltsstufen und Empfehlung für den Fichtenanbau für den Fichtenanteil

T_{diff} -Klasse [(mm/100 Tage)]	Wasserhaushalt / Ökologische Feuchtestufe	Empfehlung für den Fichtenanbau
0 bis < 5	Sehr frisch (4 a)	Ohne Einschränkung als führende Baumart geeignet
5 bis < 10	Frisch (4 b)	Geeignet als führende Baumart mit ausreichender Beimischung anderer Baumarten
10 bis < 15	Ziemlich frisch (3)	Als Mischbaumart in hohen Anteilen geeignet
15 bis < 20	Mäßig frisch (2)	Als Mischbaumart in mittleren Anteilen geeignet
20 bis < 30	Mäßig trocken (1)	Als Mischbaumart in mäßigen Anteilen geeignet
30 bis < 40	Ziemlich trocken (0 a)	Als Zeitmischung in geringen Anteilen geeignet
40 bis < 50	Trocken (0 b)	
50 bis < 70	Sehr trocken (0 c)	Nicht geeignet, allenfalls als Zeitmischung in sehr geringen Anteilen
70 und größer	Äußerst trocken (0 d)	

Aus den 3.880 Werten von T_{diff} wurde eine Regressionsgleichung abgeleitet, mit der T_{diff} an jedem Standort berechnet werden kann, für den die in Tabelle 2 aufgeführten Daten vorliegen. Das Ergebnis ist der über 30 Jahre gemittelte Wassermangel am Standort.

Vier der sechs Eingangsgrößen liegen bayernweit hochaufgelöst in Kartenform digital vor (Auflösung 50 x 50 m). Die

Tabelle 2: Bestimmungsgrößen für die Schätzung von T_{diff}

Bestimmungsgröße	Einheit	Bemerkung
Temperatur der Vegetationsperiode	°C	
Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode	mm	
Exposition	0–180 Grad	West = Ost
Neigung	Grad	
Nutzbare Feldkapazität bis 1 m Bodentiefe	mm	Summe über einen Meter Profiltiefe
Durchlässigkeitsbeiwert bis 1 m Bodentiefe	cm/Tag	Sickergeschwindigkeit bei Sättigung

meteorologischen Eingangsgrößen *Temperatur und Niederschlag* stammen aus den jüngst fertiggestellten neuen Klimakarten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Zimmermann et al. 2007). Die Geländeparameter *Exposition und Neigung* liefert das digitale Geländemodell DGM 25 der Bayerischen Landesvermessung. Da die Bodenparameter *Feldkapazität und Durchlässigkeitsbeiwert* noch nicht für die Waldfläche Bayerns aus den Standortskarten hergeleitet sind, wurden sie im Anhalt an Schulz und Asche (2008) für die gesamte Landesfläche auf drei charakteristischen Stufen konstant gehalten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Konstant gehaltene Bodenkennwerte

Wasserhaltevermögen	Nutzbare Feldkapazität	Durchlässigkeitsbeiwert	Typische Bodenart
groß	227	36	Schluff
mittel	133	38	Sandiger Lehm
gering	41	141	Sand

Ergebnisse: Regionale und lokale Karten der Anbaueignung

Als Ergebnis werden drei Karten für ganz Bayern (Maßstab 1 : 2.000.000, Abbildungen 1 a, b, c) und drei Karten eines Beispielgebietes aus dem Bereich des Wuchsgebietes »Fränkischer Keuper« bei Markt Erlbach (Amt für Landwirtschaft und Forsten Uffenheim) (Maßstab 1 : 50.000, Abbildungen 2 a, b, c) präsentiert. Innerhalb der einzelnen Karten wird der dominierende Einfluss des Regionalklimas auf den Wasserhaushalt deutlich. Bei konstanten Bodenverhältnissen unterscheiden sich die warm-trockenen Regionen mit hoher Verdunstung deutlich von den kühl-feuchten Regionen mit niedriger Verdunstung und hohen Niederschlägen. Die Exposition tritt als modifizierende Größe hinzu. Besonders in den Alpen heben sich die steilen Südhänge deutlich vom übrigen Gelände ab.

Der Vergleich zwischen den Karten verdeutlicht den Einfluss des Bodens. Dieser modifiziert den Einfluss des Regionalklimas besonders auffällig in den Gebieten mit durchschnittlichen Niederschlägen, Temperaturen und Expositionen: Böden mit hohem Wasserhaltevermögen (= hohe nutzbare Feldkapazität, geringe Durchlässigkeit) können geringe Sommerniederschläge teilweise ausgleichen, so dass in Abbildung 1c kaum trockene Bereiche zu finden sind. Umgekehrt führen Böden mit geringer Speicherkapazität und hoher Durchlässigkeit (Abbildung 1a) zu der Einstufung »trocken« auf der gesamte Landesfläche mit Ausnahme der kühl-feuchten Hochlagen und des Alpenvorlandes.

Auch auf der lokalen Ebene (Abbildungen 2 a, b, c) zeigen sich plausible Ergebnisse. Besonders wird hier der Einfluss des Geländes deutlich. Auf den beispielhaft dargestellten einzelnen Kartenausschnitten bewegt sich der Wasserhaushalt abhängig von Exposition und Neigung innerhalb von drei Stufen.

Anbauentscheidungen können objektiv und überregional gültig getroffen werden

Das vorgestellte Verfahren bildet das Vorgehen der Wasserhaushaltsansprache bei der herkömmlichen Standortserkundung nach. Die Einflussgrößen Niederschlag, Verdunstung und Wasserspeicherung werden zur Wasserversorgung der Bäume in Beziehung gesetzt. Die Regeln, nach denen dies geschieht, ergeben sich bei diesem Verfahren nachvollziehbar aus der Struktur des Wasserhaushaltsmodells. Sie gelten auf der gesamten Landesfläche gleichermaßen und besitzen daher ein viel größeres Maß an Intersubjektivität als die Schätzungen der herkömmlichen Standortskarten. Dies gilt ganz besonders dann, wenn das früher in Bayern übliche zweistufige Verfahren angewandt wurde, bei dem der in ökologischen Feuchtestufen ausgedrückte Wasserhaushalt nur innerhalb, jedoch nicht zwischen den Wuchsregionen verglichen werden konnte.

Mit den drei lokalen Karten (Abbildungen 2 a, b, c) ist erstmals eine überregional gültige Ansprache des Wasserhaushalts als objektives Kriterium für die lokale Anbauentscheidung vorhanden. Ausgehend von mittleren Bodenverhältnissen kann der Nutzer bei Kenntnis der Größenordnung der Wasserspeicherleistung der vorhandenen Böden das Wasserangebot seiner Standorte einwerten. Er muss entscheiden, ob bei seinen Böden eine der drei Karten in Frage kommt oder ob er zwischen zwei Karten mitteln muss. Hinweise zur Bodenart kann er der alten Standortskarte entnehmen und dazu die Hilfstabelle (Tabelle 4) verwenden. Alle Schätzungen gelten für steinfreie Böden. Kommt Bodenskelett vor, so müssen die Werte für die Feldkapazität erniedrigt werden. Sobald zu einem späteren Zeitpunkt die Bodenkennwerte Feldkapazität und Durchlässigkeitsbeiwert aus den digitalen Standortskarten ab-

geleitet sind, kann man diese ebenfalls als Variablen in die Berechnung einbeziehen. Damit reduziert sich die Zahl der benötigten Karten von drei auf eine.

Die Empfehlungen zum Fichtenanbau sind vorläufige, auf den bisherigen regionalen Anbauerfahrungen aufbauende Einschätzungen. Je nach individueller Risikobereitschaft kann man davon abweichen, vor allem wenn man sich auf Zeitbeimischungen beschränkt und damit ein mögliches vorzeitiges Ausscheiden der Fichten in Kauf nimmt.

Weitere den Fichtenanbau einschränkende Standortseigenschaften wie der bei Staunässe und Wechselfeuchte auftretende Luftmangel werden mit dem geschilderten Ansatz nicht beschrieben. Hinzu kommen auch noch reine Temperatureffekte, die über das Kräftespiel zwischen den Schadorganismen und den Waldbäumen unabhängig von der Wasserversorgung den Anbauerfolg erheblich beeinflussen.

Was bekommt man in die Hand?

Die neuen Karten der Transpirationsdifferenz können auf zweierlei Weise genutzt werden: In der Form der Übersicht über Bayern (Abbildungen 1 a, b, c) erlauben sie einen objektiven Vergleich der Anbaumöglichkeiten der Fichte zwischen den einzelnen Regionen. In der Form lokaler Karten (Abbildungen 2 a, b, c) erleichtern sie zusammen mit der herkömmlichen Standortskarte eine vorläufige, provisorische Ansprache der Anbaueignung der Fichte. Je nach Substrat, das die Standortskarte anzeigt, ist eine der drei lokalen Karten auszuwählen oder die Werte sind von zwei Karten zu interpolieren.

Ausblick: Regionale Klimamodelle erlauben den Blick in die Zukunft

Sobald für Bayern die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle für die Größen Temperatur und Niederschlag in der Vegetationsperiode in die Klimakarten eingearbeitet sind, kann das Regressionsmodell mit den je nach Emissionsszenario und Modell abweichenden Klimawerten der Periode 2071–2100 beschickt werden. Damit ließe sich bei der Anbauentscheidung auch der künftig zu erwartende Wasserhaushalt berücksichtigen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass unsere Modellläufe an gegenwärtigen Klimabedingungen kalibriert wurden. Dort, wo in Folge des Klimawandels in Bayern ganz neue, »nicht analoge« Klimatypen auftreten, wird der Gültigkeitsbereich der Modelle verlassen, die Ergebnisse werden unsicher. Für eine verbesserte Anbauentscheidung reichen jedoch schon die vorgestellten, auf gegenwärtigen Klimadaten basierenden Karten aus, wenn bei allen Planungen ein ausreichender »Klimawandel-Zuschlag« berücksichtigt wird.

Die Kartenaussage wird sich weiter verbessern, wenn anhand der Bundeswaldinventur Fichtenwachstum und -vorkommen mit den jeweiligen Werten der Transpirationsdifferenz in Beziehung gesetzt werden. Aus dieser Beziehung lassen sich dann nach Art der Klimahüllen (Kölling und Zimmermann 2007)

Tabelle 4: Hilfstabelle für die Wahl der richtigen T_{diff} -Karte

Bodenart der Standortskarte	Schätzung der Feldkapazität
Sand	»Gering«
Lehmiger Sand	Zwischen »Gering« und »Mittel«, näher an »Gering«
Sandiger Lehm	Zwischen »Gering« und »Mittel«, näher an »Mittel«
Lehm	Etwas höher als »Mittel«
Feinlehm, Schlufflehm, Schluff	»Hoch«
Milder Ton	Zwischen »Mittel« und »Hoch«, näher an »Mittel«
Strenger Ton	Zwischen »Gering« und »Mittel«, näher an »Mittel«
Decksand und -lehm	Zwischen »Gering« und »Mittel«, je nach Sandanteil
Schichtsand	»Gering« bis »Mittel«, jedoch höher als reiner Sand
Schichtlehm	»Mittel«, Abweichungen in beide Richtungen (milder oder strenger Ton)

Schwellenwerte und Optimalbereiche der Transpirationdifferenz in Bezug auf Wachstum und Vorkommen der Waldbaumarten ableiten. In dem soeben an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft begonnenen Forschungsvorhaben »Bäume für die Zukunft« werden wir diesen Schritt unternehmen.

Literatur

Kölling, C.; Zimmermann, L. (2007): *Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel*. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 67, S. 259–268

Schultze, B.; Kölling, C.; Dittmar, C.; Rötzer, T.; Elling, W. (2005): *Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung*. Forstarchiv 76, S. 155–163

Schulz, R.; Asche, N. (2008): *Klima, Standort, Wald. Regionales Wasserhaushaltsmodell auf Bundesebene übertragbar?* AFZ/Der Wald 63, S. 20–24

Zimmermann, L.; Rötzer, T.; Hera, U.; Maier, H.; Schulz, C.; Kölling, C. (2007): *Konzept für die Erstellung neuer hochaufgelöster Klimakarten für die Wälder Bayerns als Bestandteil eines forstlichen Standortinformationssystems*. Andreas Matzarakis und Helmut Mayer (Hrsg.) Proceedings zur 6. Fachtagung BIOMET des Fachausschusses Biometeorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft e.V. Berichte des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg 16, S. 152–159

Wolfgang Falk, Dr. Elke Dietz und Sven Grünert sind Mitarbeiter im Sachgebiet »Standort und Bodenschutz« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Dr. Christian Kölling leitet dieses Sachgebiet. koe@lwf.uni-muenchen.de
Dr. Bernd Schultze arbeitet bei der Firma UDATA in Neustadt a. d. Weinstraße. info@udata.de

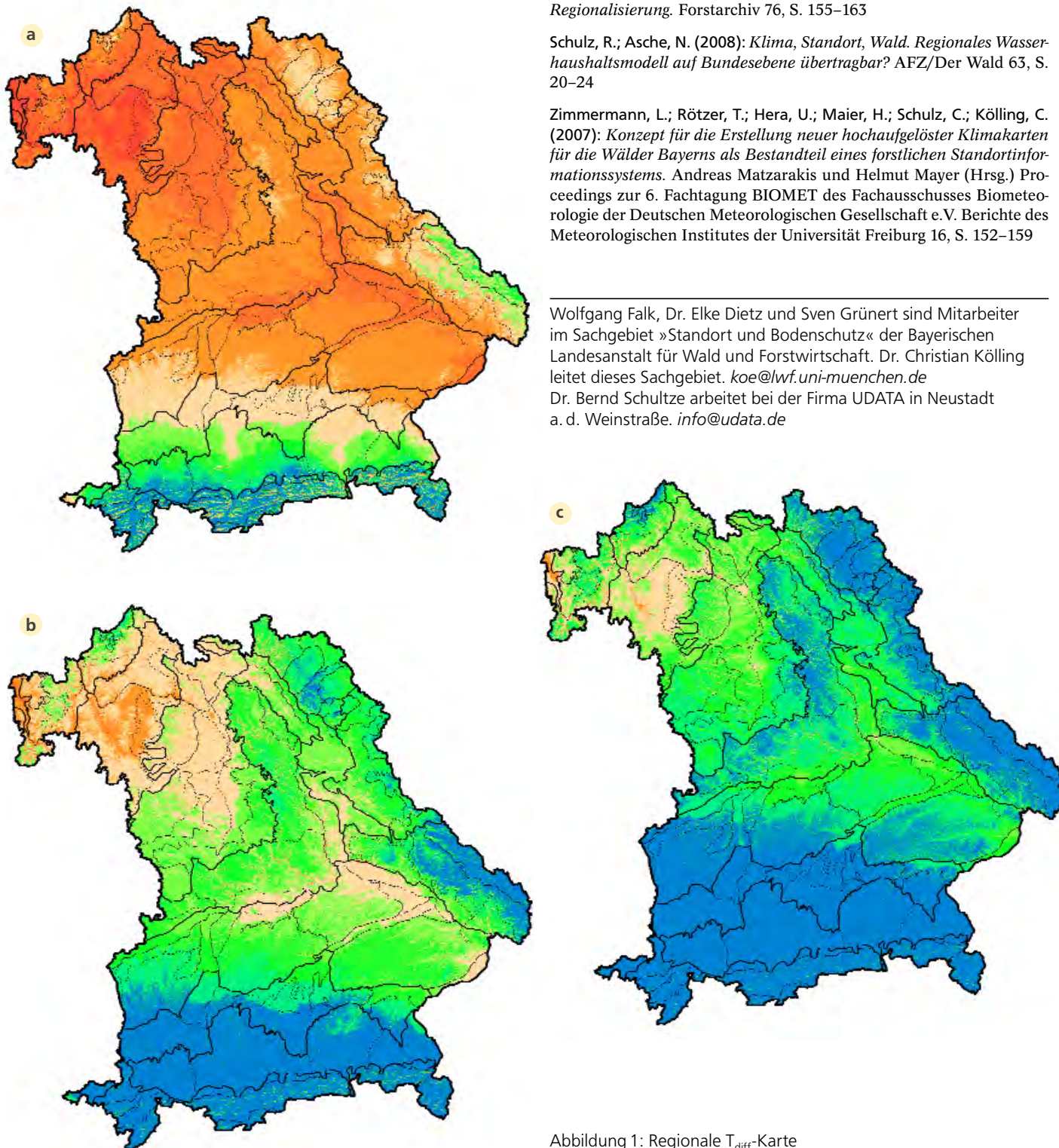


Abbildung 1: Regionale T_{diff} -Karte (M 1 : 2.000.000), a) geringe, b) mittlere, c) hohe Feldkapazität

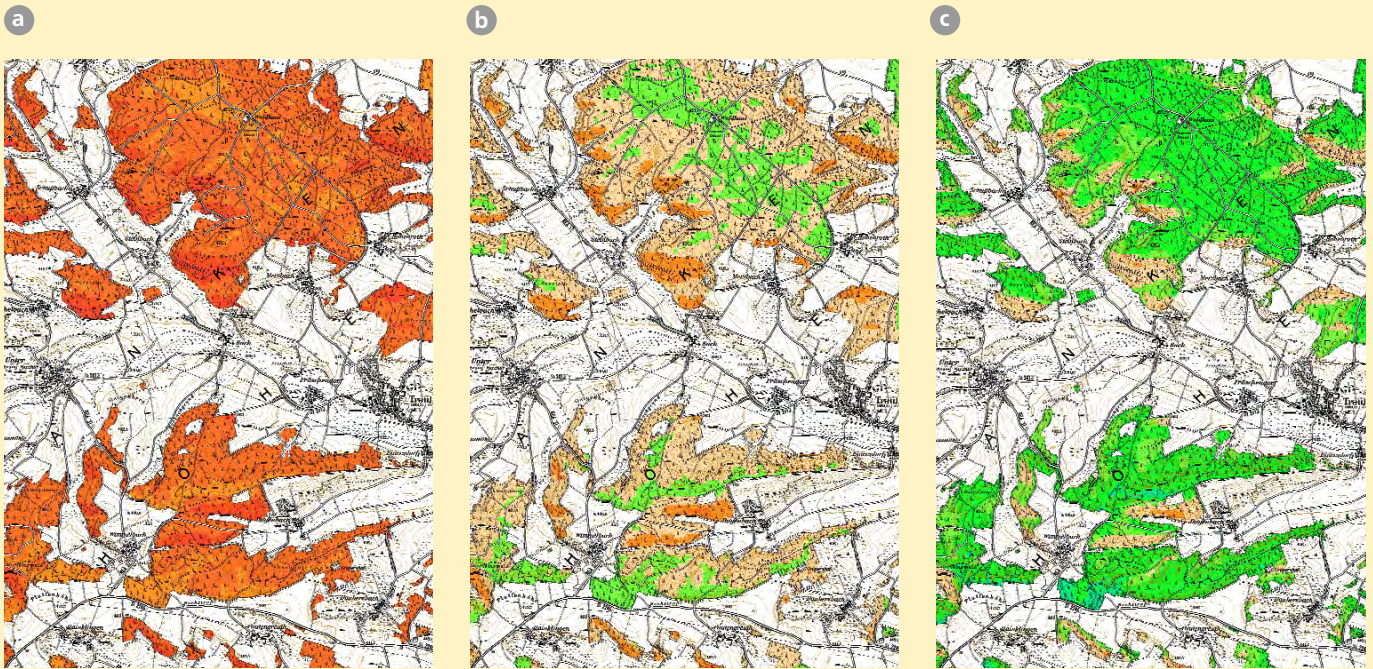


Abbildung 2: Lokale T_{diff} -Karte
(M 1 : 50.000, Bereich Markt Erlbach),
a) geringe, b) mittlere,
c) hohe Feldkapazität

Transpirationsdifferenz

- 0 bis < 5
- 5 bis < 10
- 10 bis < 15
- 15 bis < 20
- 20 bis < 30
- 30 bis < 40
- 40 bis < 50
- 50 bis < 70
- 70 bis 140

Wasserhaushaltsstufe

- Sehr frisch (4a)
- Frisch (4b)
- Ziemlich frisch (3)
- Mäßig frisch (2)
- Mäßig trocken (1)
- Ziemlich trocken (0a)
- Trocken (0b)
- Sehr trocken (0c)
- Äußerst trocken (0d)

Fichteneignung

- Ohne Einschränkung als führende Baumart geeignet
- Geeignet als führende Baumart mit ausreichender Beimischung anderer Baumarten
- Als Mischbaumart in hohen Anteilen geeignet
- Als Mischbaumart in mittleren Anteilen geeignet
- Als Mischbaumart in mäßigen Anteilen geeignet
- Als Zeitmischung in geringen Anteilen geeignet
- Als Zeitmischung in geringen Anteilen geeignet
- Nicht geeignet, allenfalls als Zeitmischung in sehr geringen Anteilen
- Nicht geeignet, allenfalls als Zeitmischung in sehr geringen Anteilen