

# Provisorische Klima-Risikokarten als Planungshilfen für den klimagerechten Waldumbau in Bayern

Christian Kölling, Elke Dietz, Wolfgang Falk und Karl-Heinz Mellert

**Schlüsselwörter:** Klimawandel, Waldumbau, Fichte, Buche, Klimarisikokarten

**Zusammenfassung:** Für den klimagerechten Waldumbau in Bayern werden vorläufige Planungskarten vorgestellt, die zunächst für die Baumarten Fichte und Buche das klimatische Anbaurisiko in der Gegenwart und in einer von einer Erwärmung um etwa 2°C gekennzeichneten Zukunft angeben. Eingangsgrößen für die Modellbetrachtungen sind hochaufgelöste Klimakarten, das digitale Geländemodell, ein regionales Klimamodell und die vorhandenen forstlichen Standortskarten. Die resultierenden Klima-Risikokarten ergänzen die Standortskarten und sind mit diesen zusammen zu verwenden. Als Provisorien werden sie bald von erweiterten und detaillierteren Planungsgrundlagen abgelöst werden, in die auch besser abgesicherte Schwellenwerte der Baumreaktionen gegenüber Hitze und Trockenheit eingehen sollen.

## Ausgangssituation

Als besonders umweltgebundener und von den klimatischen Verhältnissen abhängiger Wirtschaftszweig ist die Forstwirtschaft stark vom Klimawandel betroffen (Kölling 2008). In Bayern hat sich die Staatsregierung angesichts bereits eingetretener Schäden und in Kenntnis der sich künftig weiter verändernden Klimabedingungen zum klimagerechten Waldumbau entschlossen (StMUGV 2007). Er besteht im Wesentlichen daraus, anfällige Baumarten mit weniger anfälligen und an die künftigen Bedingungen besser angepassten Spezies zu ersetzen (Kölling 2008; Kölling et al. 2008). Im Jahr 2008 hat man damit begonnen, die dafür notwendigen Pla-

nungsgrundlagen in groß angelegten Projekten systematisch zu erarbeiten. Da diese Arbeiten erst im Jahr 2011 abgeschlossen sein werden, wurde eine provisorische Lösung notwendig, um schon jetzt die Umbauschwerpunkte identifizieren und die gegenwärtig anstehenden Umbauvorhaben auf sicherer Planungsbasis beginnen zu können.

## Datengrundlagen

Bisher stützte man sich bei der Baumartenwahl auf die Angaben der forstlichen Standortserkundung (Standortskarten, Standortoperale und Baumarteneignungstabellen). Diese Grundlagen liegen jedoch noch nicht für die gesamte Waldfläche und nicht vollständig in digitaler Form vor. Die vorhandenen Standortskarten erlauben darüber hinaus kaum eine dynamische Anpassung an geänderte Klimabedingungen, weil in ihnen das Klima nicht als eigener Standortfaktor verschlüsselt ist.

Daher verwenden wir für unsere provisorischen Klima-Risikokarten landesweit digital vorliegende Datenquellen, die in Tabelle 1 aufgeführt sind. Die in den vorhandenen Standortskarten enthaltenen Informationen zur Bodenqualität können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht digital eingearbeitet werden. Es ist deshalb notwendig, sowohl die neuen Risikokarten als auch die herkömmlichen Standortskarten einander ergänzend zu verwenden.

Tabelle 1: Datenquellen

Datenquelle	Auflösung	Inhalt	Referenz
Klimakarten 1971–2000	50 × 50 m	Temperatur, Niederschlag	ZIMMERMANN ET AL. 2007
Digitales Geländemodell DGM	50 × 50 m	Neigung, Exposition	BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG
Regionales Klimamodell WETTREG, Szenario B1	14 × 14 km	Temperaturänderung, Niederschlagsänderung	SPEKAT ET AL. 2007
Forstliche Standortskarte (analog)	ca. 50 × 50 m	Bodenart	

## Dosis-Wirkungsbeziehungen

Das Problem der Einwirkung des Klimawandels auf unsere Waldbaumarten und die aus ihnen aufgebauten Wälder kann wie ein herkömmliches Dosis-Wirkungs-Problem behandelt werden, wie es zum Beispiel aus der Pharmakologie bekannt ist. Auf Grund des Klimawandels verändern sich verschiedene auf die Wälder wirkende Umweltgrößen und es ist von besonderem Interesse, welche Wirkungen damit verbunden sind. Nach allen Szenarien werden die Temperaturen zunehmen und die Niederschläge tendenziell gleich bleiben, aber vom Sommer auf den Winter umverteilt werden. Mit dem Klimawandel nimmt die Dosis an Wärme zu, während die Dosis des Niederschlags, zumindest in der Vegetationsperiode, eher abnimmt. Zu einer Ressource wird das Niederschlagswasser für die Bäume jedoch erst dank der Vermittlung des Bodens. Der Wasserhaushalt der Waldbäume ist ein komplexes Wechselspiel zwischen der Anlieferung, d. h. dem Niederschlag, dem Transpirationsverbrauch der Bäume und der Zwischenspeicherung im Boden. Dieses Gefüge lässt sich mit der Wasserhaushaltsgröße Transpirationsdifferenz ( $T_{diff}$ ) beschreiben (Schultze et al. 2005, Falk et al. 2008). Sie gibt den Grad des Wassermangels als Differenz zwischen der bei uneingeschränkter Wasserverfügbarkeit möglichen und der auf Grund von Trockenheit wirklichen Transpiration der Bäume an. Im Wesentlichen bestimmen die in der Vegetationsperiode fallenden Niederschläge, die die Verdunstung bestimmenden Größen Vegetationszeittemperatur und Strahlung sowie die Wasserspeicherkapazität und -durchlässigkeit der Böden, daneben aber auch die genetisch fixierte Durchwurzelungstiefe der einzelnen Baumarten die Transpirationsdifferenz.

Die Verteilung der Wasserhaushaltsgröße Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$  in Bayern ist in Abbildung 1 oben dargestellt. Ihr steht die Wirkungsgröße des in den einzelnen Regionen Bayerns verwirklichten Fichtenanteils gegenüber. Schon bei einem visuellen Vergleich der oberen mit der unteren Karte wird die Verknüpfung der Wirkungsgröße „Fichtenanteil“ mit der Ursachengröße „ $T_{diff}$ “ deutlich. Dabei offenbart sich der Zusammenhang zwischen dem kühl-feuchten Gebirgsklima und der Häufigkeit der Baumart Fichte. Schon Plinius d. Ä. wies 77 v. Chr. in seiner Naturgeschichte auf diesen Zusammenhang hin: „*Picea montes amat atque frigora*“ („Die Fichte liebt die Berge und die Kälte“). Die größere Häufigkeit der Fichte in den kühl-feuchten Klimaten beruht nicht nur auf den dieser Baumart eigenen Vorlieben, sondern auch auf den Anbauentscheidungen mehrerer

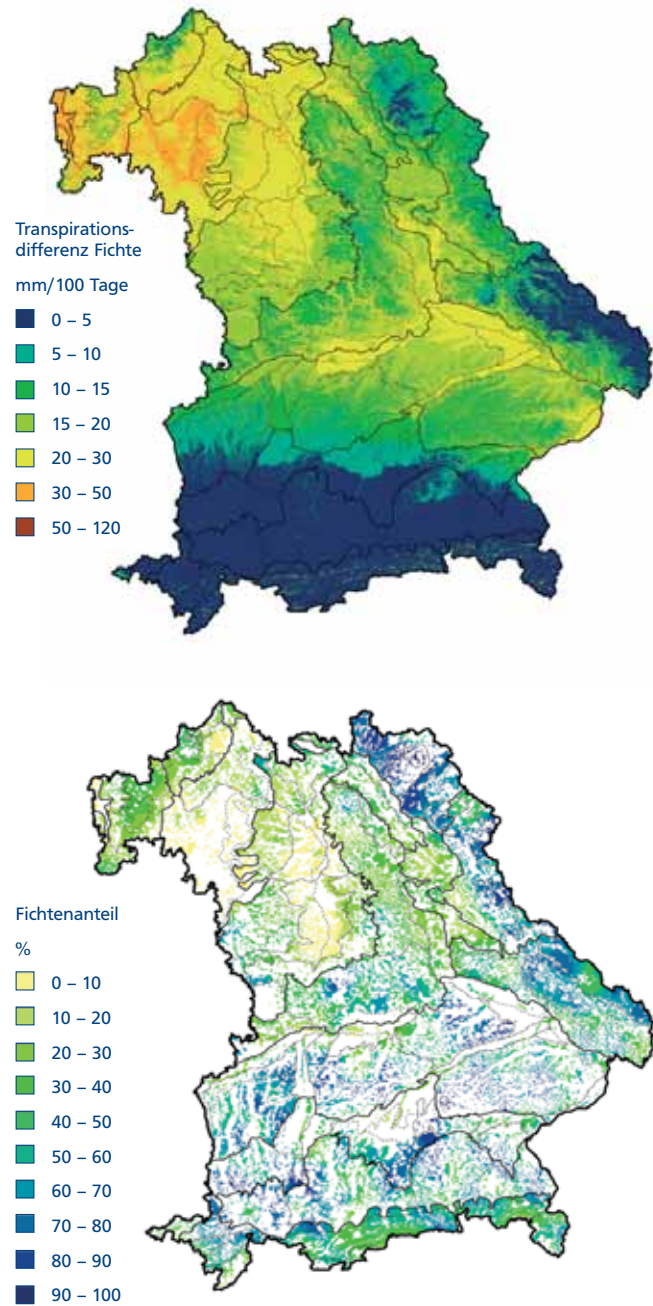


Abbildung 1: Verteilung der Wasserhaushaltsgröße  $T_{diff}$  unter Annahme eines bayernweit einheitlichen Bodens (Mittlere Wasserspeicherkapazität, Periode 1971-2000, Falk et al. 2008) und Verteilung der Fichtenvorkommen (Anteile aus der Winkelzählprobe 1/2 der Bundeswaldinventur BWI<sup>2</sup>) in Bayern

Generationen von Waldbesitzern und Forstleuten, die diesen Zusammenhang bei ihrer Anbauentscheidung bewusst oder intuitiv berücksichtigt hatten. Sie haben dabei stets auch aus den Erfahrungen des sich einstellenden oder ausbleibenden Anbauerfolgs gelernt.

Die eigentliche wissenschaftliche Herausforderung besteht nun darin, Ursache und Wirkung mit Hilfe einer Modellbeziehung zu beschreiben, die über verbale Lehrsätze oder persönliche Erfahrung hinausgeht. Nur wenn die Ursachen der klimatischen Umwelt und deren Wirkungen auf die Bäume modellhaft als Dosis-Wirkungsbeziehung beschrieben werden, ist es möglich, die Auswirkungen der vom Klimawandel verursachten Änderungen der Dosisgrößen abzuschätzen. In Abbildung 2 wird der Schritt der Modellbildung in einer einfachen Form vollzogen. Die beobachtete Häufigkeit der Fichte wird den Wertklassen der Transpirationssdifferenz gegenüber gestellt. Dabei wird der bereits aus der Betrachtung der beiden Karten in Abbildung 1 erfasste Zusammenhang formalisiert und damit nachvollziehbar dargestellt. Die orange Linie stellt eine erste Verallgemeinerung (Generalisierung) der in den Boxplots enthaltenen Informationen dar. Für die provisorische Planungshilfe haben wir die Generalisierungen nach Expertenurteil durchgeführt. In dem schon begonnenen, aber erst Ende 2011 abgeschlossenen Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ wird die Modellbeziehung mit einem stochastischen Modell gefasst. Zudem wird ein größeres Datenkollektiv verwendet und weitere Dosis- und Wirkungsgrößen werden einbezogen. Wir erwarten, dass wir die ursächlich begründeten Zusammenhänge mit diesen Modellen mathematisch vollständiger und zutreffender fassen können als dies bei der provisorischen Lösung der Fall ist.

In Abbildung 3 ist aus dem Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ eine erste Auswertung der Beziehung zwischen der Transpirationssdifferenz  $T_{diff}$  und dem Fichten-vorkommen mit Hilfe eines Generalisierten Additiven Modells dargestellt. Auf der Wirkungssachse sind in diesem Fall die prognostizierten Fichtenanteile aufgetragen. Über einem Wert von 50 Millimetern pro 100 Tage Wasserdefizit, also bei sehr trockenen Bedingungen, sinkt der Fichtenanteil auf unter zehn Prozent. Die sehr trockenen Verhältnisse traten bisher kaum auf, nach den Klimaszenarien sind sie in Zukunft aber häufig zu erwarten. Abbildung 3 verdeutlicht einerseits die problematische Lage der Fichte in der Zukunft, aber auch unsere Erkenntnislücken. Bisher konnten Fichten in Bayern nur selten unter den trockenen Bedingungen, wie sie in der Zukunft zu erwarten sind, beobachtet

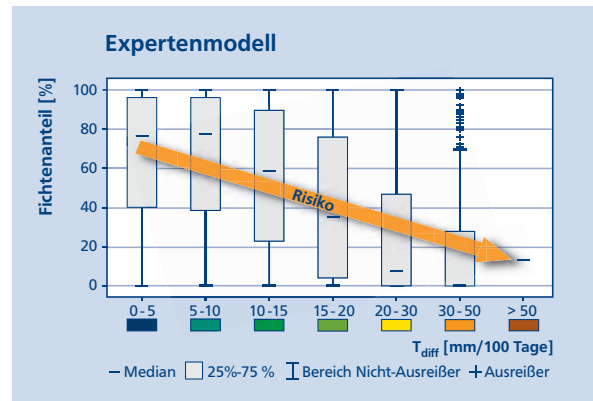


Abbildung 2: Fichtenanteile nach der Winkelzählprobe 4 der Bundeswaldinventur BWI<sup>2</sup> in Klassen der Transpirationssdifferenz  $T_{diff}$  und gutachtlich eingefügte Modellbeziehung für das mit der Transpirationssdifferenz ansteigende Anbau-risiko (Pfeil)

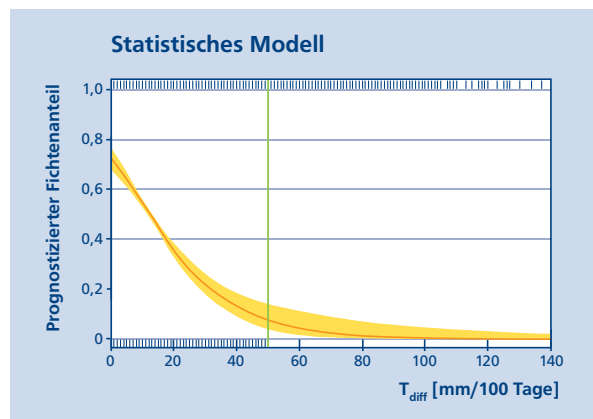
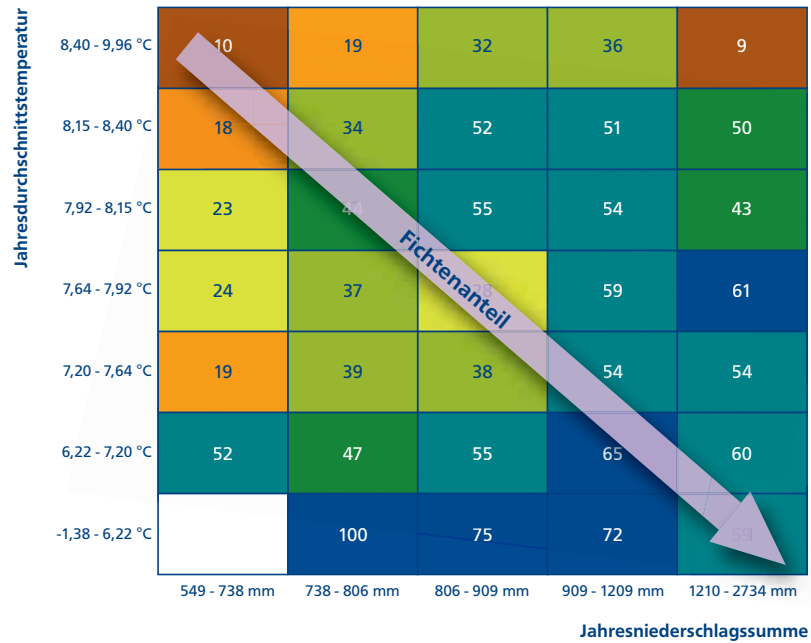


Abbildung 3: Einfluss der Transpirationssdifferenz auf den Fichtenanteil an Inventurpunkten der BWI heute (Bereich links von der grünen Linie) und in der Zukunft (Bereich rechts von der grünen Linie) auf der Basis eines generalisierten additiven Modells (GAM); die Häufigkeit der heute in Bayern vorkommenden Werte der Transpirationssdifferenz ist als Randplot auf der X-Achse unten, die für die Zukunft prognostizierten Transpirationssdifferenzen sind oben dargestellt. Der gelbe Bereich gibt das 95%-Konfidenzintervall und damit die Unsicherheit der Prognose auf der Basis der vorhandenen Daten wieder (aus: Brockhaus et al. 2009).

werden, weil weite Teile Bayerns ein eher kühles und feuchtes Klima aufweisen. Um zuverlässigere Prognosen zu erhalten, werden daher im Projekt „Bäume für die Zukunft“ Datensätze aus wärmeren Regionen Deutschlands in die Modellentwicklung mit einbezogen.

Neben dem Wasserhaushalt haben wir nach weiteren als Dosisgrößen in Frage kommenden Klimaparametern gesucht. Analog zu den in den Klimahüllen (Kölling und Zimmermann 2007) verwendeten Achsen Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme konstruierten wir aus sieben Jahrestemperaturklas-

Abbildung 4: Fichtenanteil aus der Winkelzählprobe 4 (Mittelwerte) der Bundeswaldinventur in einer 7\*5-Matrix aus Jahresdurchschnittstemperatur und Jahresniederschlagssumme (1971–2000)



**Bewertungsskala: Klimarisiko für die Baumart (mit Empfehlung)**

- (1) sehr geringes Risiko (als führende Baumart möglich)
- (2) geringes Risiko (als führende Baumart mit ausreichender Beimischung anderer Baumarten möglich)
- (3) erkennbares Risiko (als Mischbaumart in hohen Anteilen möglich)
- (4) mittelhohes Risiko (als Mischbaumart in mittleren Anteilen möglich)
- (5) deutlich erhöhtes Risiko (als Mischbaumart in mäßigen Anteilen möglich)
- (6) hohes Risiko (als Mischbaumart in geringen Anteilen möglich)
- (7) sehr hohes Risiko (als Mischbaumart in sehr geringen Anteilen möglich)

sen und fünf Jahresniederschlagssummenklassen mit jeweils gleicher Waldfläche (1/7 bzw. 1/5 der Waldfläche Bayerns) eine Matrix (Abbildungen 4 und 5). Die auf Abbildung 4 in diese Matrix eingetragenen Mittelwerte der Fichtenanteile aus der Bundeswaldinventur illustrieren den Zusammenhang zwischen Klima und Fichtenvorkommen. In den kühlen und feuchten Zellen der Matrix (unten rechts) sind die Fichtenanteile tendenziell höher als in den warmen und trockenen. Auch die Matrix zeigt: Die Fichte liebt die Berge und die Kälte.

Bei der Modellbildung wird dieser Zusammenhang generalisiert. In Abbildung 5 wurde eine einfache Beziehung, die lineare Abnahme der Fichtenhäufigkeit bei erhöhter Temperatur und verringertem Niederschlag angenommen, die den Zusammenhang in einer ersten Näherung am besten beschreibt. Die Diskrepanzen zwischen den in Abbildung 4 dargestellten Vorkommen der Fichte und dem linearen Modell (Abbildung 5) werden im Zuge dieser Generalisierung ausgeblendet. Der Einfluss störender, zufallsbedingter Ergebnisse entfällt damit. Bei diesem Vorgehen bleiben allerdings auch ursächlich begründete Abweichungen unberücksichtigt, die mit Hilfe weiterer Dosisvariablen, z. B. des lokalen Bodenwasserhaushaltes, erklärt werden könnten. Daher wurden bereits für die provisorischen Klimarisikokarten Informationen zum Bodenwasserhaushalt hinzugenommen, die es erlauben, besser auf die Bedingungen vor Ort einzugehen.

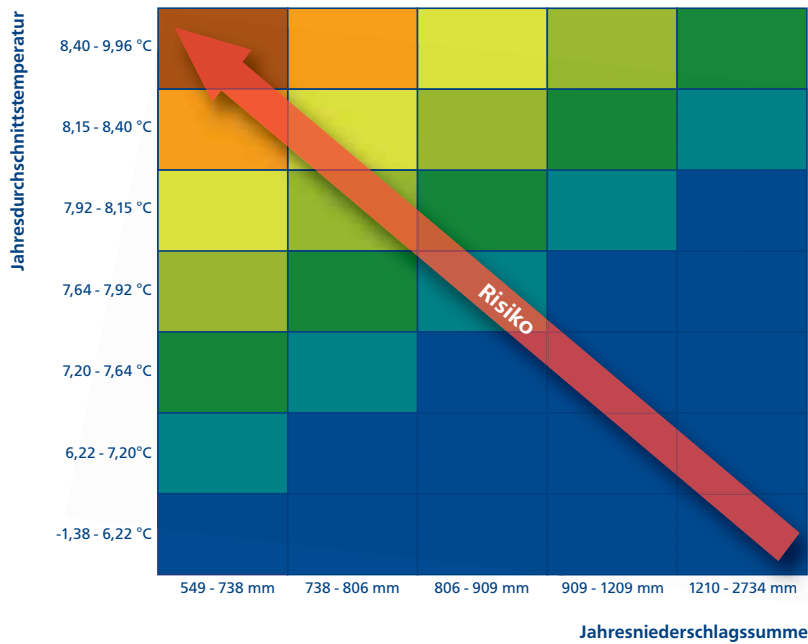


Abbildung 5: Einfache Generalisierung der Zusammenhänge aus Abbildung 4

### Schwellenwerte für das Anbaurisiko

Die unterschiedlichen Fichtenanteile bei unterschiedlichen klimatischen Dosen an Transpirationsdifferenz bzw. an Temperatur und Niederschlag wurden für die provisorischen Klimarisikokarten als relative Reihung des Anbaurisos für die Fichte innerhalb klimatischer Gradienten interpretiert. Je geringer der Wassermangel, je kühler und feuchter die Klimabedingungen, desto mehr Fichten sind am Waldaufbau beteiligt und desto geringer ist das Anbaurisiko (oranger Pfeil in Abbildung 5). Unter Anbaurisiko verstehen wir das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Schäden und der Schadenshöhe. In der jüngeren Vergangenheit wurden so viele schwere Schadensverläufe in Fichtenbeständen warm-trockener Klimaregionen beobachtet (Kölling et al. 2009, Kölling et al. 2009b), dass eine derartige Parallelisierung gerechtfertigt scheint. Wir drücken daher die Wirkungsgröße Fichtenanteil als Anbaurisiko aus und verwenden dabei die siebenteilige Skala in der Legende zu Abbildung 4.

Mit Hilfe dieser Risikoklassen, der in den Abbildungen 3 und 5 dargestellten Modellbeziehungen und Karten der Wirkungsgrößen wie in Abbildung 1 (oben) kann nun das Anbaurisiko für die gegenwärtigen klimatischen Verhältnisse (Periode 1971–2000) als Karte dargestellt werden. Dabei wurden die Risikobewertungen nach dem Wasserhaushalt (einheitlich mittlere Bodenverhältnisse) sowie nach Temperatur und Niederschlag arithmetisch gemittelt und in einer einzigen Risikokarte

zusammengefasst (Abbildung 6). Bei dieser Mittelung erzeugen wir eine gewisse Redundanz, weil in beiden Modellverfahren Temperatur und Niederschlag eingehen. Die Mittelung sichert aber die Ergebnisse besser ab.

Das derart erstellte Kartenergebnis sollte nun in einer sehr generalisierten Form dem gegenwärtigen klimatisch bedingten Anbaurisiko der Fichte entsprechen. Rückmeldungen verschiedener Nutzer der Karte ergaben weitgehende Übereinstimmungen mit den vorhandenen Einschätzungen. Die Karte in Abbildung 6 ist daher wohl generell richtig und realistisch, weist aber Mängel an Präzision auf, weil weitere lokal wirksame Einflussfaktoren ausgeblendet sind. Nach Levins (1962) können von den drei Grundanforderungen an biologische Modelle (Generalität, Realität und Präzision) ohnehin überhaupt nur zwei gleichzeitig erfüllt werden. Die relative Reihung des Risikos erfüllt den angestrebten Zweck einer provisorischen Risikokarte demnach zufriedenstellend.

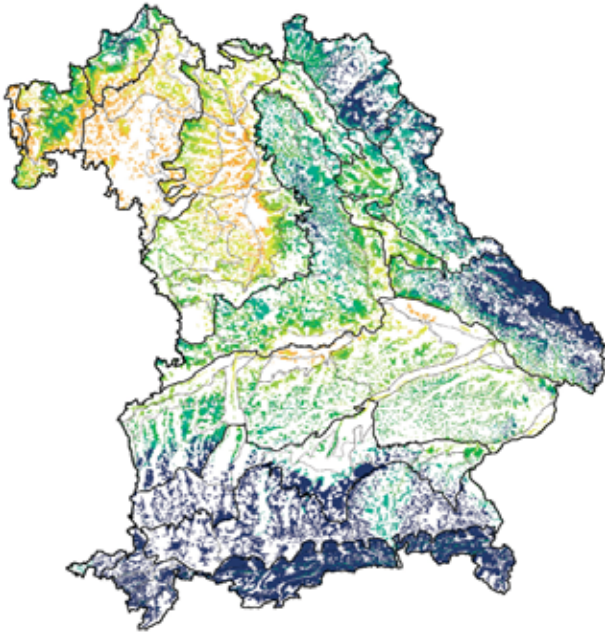


Abbildung 6: Risikokarte für den Fichtenanbau; gegenwärtige (1971–2000) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

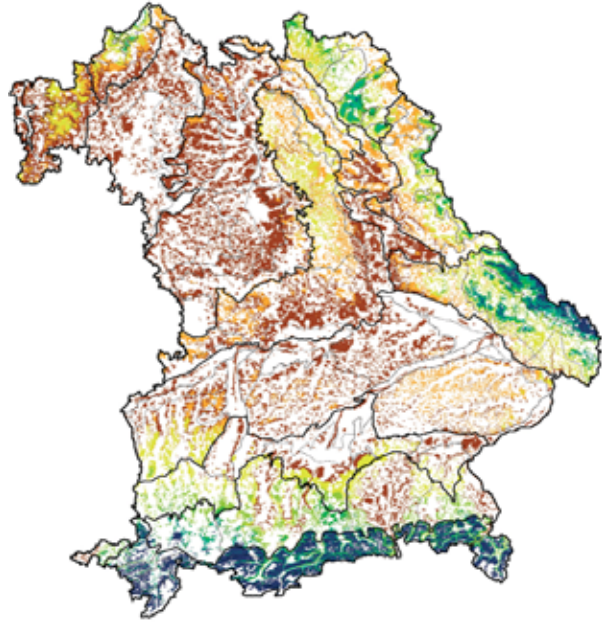


Abbildung 7: Risikokarte für den Fichtenanbau; zukünftige (2071–2100, WETTREG-Regionalisierung, Szenario B1) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse



Abbildung 8: Risikokarte für den Buchenanbau; gegenwärtige (1971–2000) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

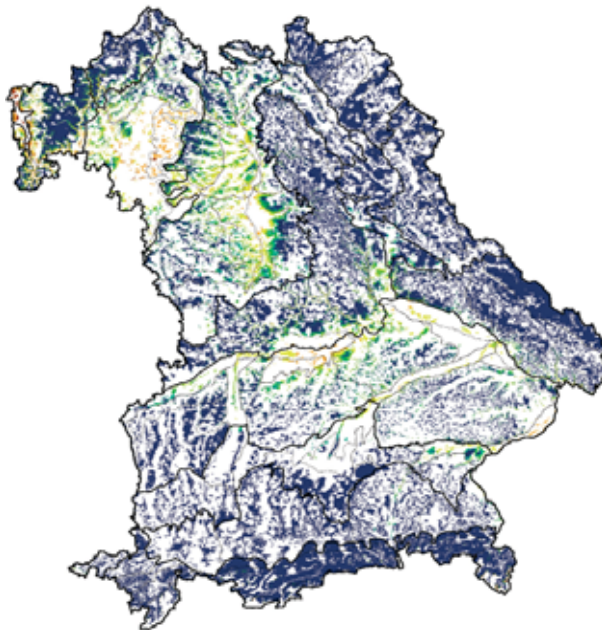


Abbildung 9: Risikokarte für den Buchenanbau; zukünftige (2071–2100, WETTREG-Regionalisierung, Szenario B1) Klimabedingungen, mittlere Bodenverhältnisse

- (1) sehr geringes Risiko
- (2) geringes Risiko
- (3) erkennbares Risiko
- (4) mittelhohes Risiko
- (5) deutlich erhöhtes Risiko
- (6) hohes Risiko
- (7) sehr hohes Risiko

Bodenart der Standortkarte	Wasserhaltevermögen im Vergleich zu den Beispielkarten	Klima-Risikokarte
Sand	„Gering“, bei Grundwasseranschluss näher an „Mittel“ (Kapillarer Aufstieg)	G
Lehmiger Sand	Zwischen „Gering“ und „Mittel“, näher an „Gering“	G
Sandiger Lehm	Zwischen „Gering“ und „Mittel“, näher an „Mittel“	M
Lehm	Etwas höher als „Mittel“	M
Feinlehm, Schlufflehm, Schluff	„Hoch“	H
Milder Ton	Durchwurzelbarkeit gegeben „Mittel“	M
Strenger Ton	Durchwurzelbarkeit eingeschränkt (Quellung/Schrumpfung) „Gering“	G
Decksand und -lehm	Decksand und -lehm je nach Sandanteil in der Überdeckung und Tonanteil und -art im Unterboden zwischen „Gering“ und „Mittel“	G/M
Schichtsand	Etwas höher als reiner Sand „Gering“ bis „Mittel“	G/M
Schichtlehm	„Mittel“ (milder Ton, Tonlehm) oder etwas niedriger (strenger Ton)	M

Tabelle 2: Zuordnungstabelle der Klima-Risikokarten G, M und H zu den Legendeneinheiten der Standortkarte

## Blick in die Zukunft

Ein Vorteil numerischer Modelle ist die Möglichkeit, diese auf veränderte Eingangsgrößen anzuwenden. Die Karte in Abbildung 7 ist nach den gleichen Regeln wie die Karte in Abbildung 6 erstellt worden, nur wurden in diesem Fall die Klimawerte der Periode 2071-2100 nach der WETTREG-Regionalisierung (Szenario B1, Spekat et al. 2007) verwendet. Selbst bei dem vergleichsweise „milden“ Szenario B1, das für unsere Region mit einer mittleren Temperaturerhöhung von „nur“ 1,8°C verbunden ist, erhalten beachtliche Teile der Waldfläche (über 25 %) ein neues, bis heute in Bayern nicht beobachtetes Klima. Die Modelle müssten also jenseits ihres Gültigkeitsbereichs extrapoliert werden. Wir lösten dieses Problem, indem wir alle diese Flächen der gegenwärtig höchsten Risikostufe zuordneten. Das Risiko wird demnach nicht extrapoliert und steigt nicht über das derzeitige höchste beobachtete Niveau an. Im Vergleich der Karte für die Periode 2071–2100 (Abbildung 7) mit der Karte für die Periode 1971–2000 (Abbildung 6) wird der landesweite Anstieg des Anbaurisikos deutlich. Mit einem sehr geringen Risiko und damit guten Anbaubedingungen wird man künftig nur in den höchsten Lagen der Mittelgebirge und der Alpen rechnen können.

## Kombination mit der Standortkarte

Die eine Hälfte der Information der Risikokarten stammt aus der Karte der Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$ . Diese Größe hängt deutlich von der Wasserspeicherkapazität und -durchlässigkeit des Bodens ab. Wir entwickelten die Karten daher für drei Standardböden mit jeweils sehr geringer, mittlerer und hoher Wasserspeicherkapazität

(nutzbare Feldkapazität 41 mm, 133 mm und 227 mm, vgl. Falk et al. 2008). Auch die resultierende kombinierte Klimarisikokarte, wie sie in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt ist, erstellten wir in diesen drei Varianten: G 2000, M 2000, H 2000 sowie G 2100, M 2100, H 2100. G steht für geringe, M für mittlere und H für hohe Wasserspeicherkapazität. Für die Zuordnung im Einzelfall müssen unbedingt die herkömmlichen Standortkarten verwendet werden. Aus den dort enthaltenen Angaben über die vorherrschende Bodenart kann nach Tabelle 2 bestimmt werden, welche der drei Risikokarten am ehesten auf den in Frage stehenden Standort anzuwenden ist. Zusätzlich ist der Skelettgehalt zu berücksichtigen, der sich linear erniedrigend auf die Feldkapazität auswirkt. Bei der Anwendung führt der Anwender demnach die beiden Informationsquellen Standortkarte und Klimarisikokarte manuell zusammen.

## Ausblick

Es ist vorgesehen, innerhalb kurzer Zeit weitere Karten für die Baumarten Buche, Kiefer, Eiche, Bergahorn, Tanne, Europäische Lärche und Douglasie zu erstellen. Die Arbeiten für die Buchen-Risikokarte sind bereits abgeschlossen (Abbildungen 8 und 9). Nachdem jede Baumart ihre spezifischen Klimarisiken aufweist, werden die Dosis-Wirkungs-Modelle für jede Baumart verschieden sein. Die Achillesferse der Buche ist nach den Ergebnissen vieler Arbeiten (z. B. Bolte et al. 2007; Manthey et al. 2007) der Wasserhaushalt. Wir verwendeten daher bei der Erstellung der Risikokarten vorwiegend die Transpirationsdifferenz  $T_{diff}$  und nur an der Kältgrenze der Buche die Jahresdurchschnittstemperatur (Abbildungen 8 und 9).



Abbildung 10: Klima-Risikokarte Fichte M 2000 für das Testgebiet Waldsassen; unterstellt werden mittlere Bodenverhältnisse.

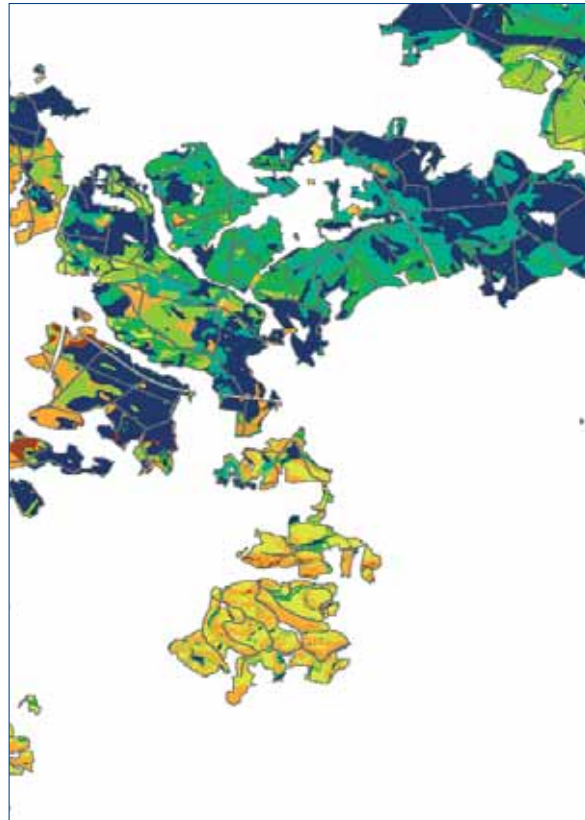


Abbildung 11: Klima-Risikokarte Fichte M 2000 für das Testgebiet Waldsassen; unterstellt werden die tatsächlichen Bodenverhältnisse.

## Anwendung in der Praxis

Für die Anwendung in der Praxis werden neun Karten für jede Baumart (G 2000, G 2050, G 2100, M 2000, M 2050, M 2100, H 2000, H 2050, H 2100) in einem Layer-System in einer pdf-Datei zusammengefasst. Damit ist es möglich, ohne größere Software-Kenntnisse mit dem Acrobat-Reader durch Baumarten, Perioden und Böden zu navigieren. Die Werte für die Jahrhundertmitte (2050) sind einfache Interpolationen zwischen den Anfangs- und Endrisiken des betrachteten Zeitraums. Wir weisen stets darauf hin, dass es sich bei den Risikokarten um Provisorien handelt, die verbessert und ersetzt werden müssen. Zum einen erwarten wir uns im Vorhaben „Bäume für die Zukunft“ eine deutlich verbesserte Ableitung der Dosis-Wirkungsbeziehungen. Zum anderen erweitern wir im Projekt „Karten für die Zukunft“ die Regionalisierungsgrundlagen, z. B. mit Hilfe des Einarbeitens der lokal vorliegenden Bodeninformationen aus den vorhandenen Standortskarten. Künftig wird es unnötig sein, mit Standardböden und der alten Standortskarte zu arbeiten, vielmehr ist die Bodeninformation bereits in die Risikokarte eingearbeitet (Abbil-

dungen 10 und 11). Im Vergleich der beiden Abbildungen wird der Einfluss unterschiedlicher Böden auf den Wasserhaushalt deutlich. Nur im zentralen Bereich des Beispielsgebiets liegen die unterstellten mittleren Bodenverhältnisse vor, für die anderen Flächen hätte man die entsprechenden Karten für sehr geringe oder hohe Wasserspeicherung heranziehen müssen.

Je besser die Planungsgrundlagen sind, umso erfolgreicher können die Wälder im klimagerechten Waldumbau auf die mit Sicherheit wärmeren Verhältnisse am Ende des Jahrhunderts vorbereitet werden. „*Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorauszusagen, sondern darauf, auf die Zukunft vorbereitet zu sein.*“ (Perikles). In diesem Sinn haben auch unvollkommene Provisorien wie die Klimarisikokarten ihre Berechtigung als Grundlage für vorausschauendes Handeln angesichts des Klimawandels.



## Literatur

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV) (2007): *Bavarian Climate Programme 2020*. [http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/klimaschutz/klimaprogramm/doc/klimaprogramm2020\\_en.pdf](http://www.stmugv.bayern.de/umwelt/klimaschutz/klimaprogramm/doc/klimaprogramm2020_en.pdf)
- Bolte, A.; Czajkowski, T.; Kompa, T. (2007): *The north-eastern distribution range of European beech – a review*. *Forestry* 80, S. 413–429
- Brockhaus, C.; Fensterer, V.; Neider, J. (2009): *Zustand des Waldes unter veränderten Klimabedingungen – Nischenmodellierung mit GAM und CART*. Unveröffentlichter Praktikumsbericht, Institut für Statistik, LMU München, 60 S.
- Falk, W.; Dietz, E.; Grünert, S.; Schultze, B.; Kölling, C. (2008): *Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung*. *LWF aktuell* 66, S. 21–25
- Kölling, C.; Zimmermann, L. (2007): *Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber Klimawandel*. *Gefahrstoffe-Reinhal tung der Luft* 67, S. 259–268
- Kölling, C. (2008) *Wälder im Klimawandel: Die Forstwirtschaft muss sich anpassen*. In: Lozán, J. L.; Graßl, H.; Jendritzky, G.; Karbe, L.; Reise, K. (Hrsg.) *unter Mitwirkung von Maier, W.A. (2008): WARNSIGNAL KLIMA: Gesundheitsrisiken – Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen*. GEO/Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, S. 357–361
- Kölling, C.; Konnert, M.; Schmidt, O. (2008): *Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel*. Antworten auf 20 häufig gestellte Fragen. *AFZ/Der Wald* 63, S. 804–807
- Kölling, C.; Zimmermann, L.; Borchert, H. (2009a): *Von der »Kleinen Eiszeit« zur »Großen Heißzeit«*. Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Fichtenanbaus in Deutschland. *LWF aktuell* 69, S. 58–61
- Kölling, C.; Knoke, T.; Schall, P.; Ammer, C. (2009b): *Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels*. *Forstarchiv* 80, S. 42–54
- Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S.; Wilhelm, G. (2009c): *Soforthilfe Baumarteneignung-Anbaurisiko-Klimawandel*. Technischer Report (unveröffentlicht). *LWF Freising*, 80 S.
- Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S.; Schaller, R.; Tretter, S.; Wilhelm, G. (2009d): *Klima-Risikokarten für heute und morgen*. *Der Klimagerechte Waldumbau bekommt vorläufige Planungsunterlagen*. *AFZ/Der Wald* 64, S. 806–810.
- Levins, R. (1966): *The strategy of model building in population biology*. *Am. Sci.* 54, 421–431
- Manthey, M.; Leuschner, C.; Härdtle, W. (2007): *Buchenwälder und Klimawandel*. *Natur und Landschaft* 82, S. 441–445
- Plinius Secundus, Gaius (77 v. Chr.): *Naturalis Historia, Liber XVI, XVIII*, 40
- 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
- Spekat, A.; Enke, W.; Kreienkamp, F. (2007): *Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarien mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG 2005 auf der Basis von globalen Klimasimulationen*. Projektbericht im Rahmen des F+E-Vorhabens 204 41 138 „Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase I: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland“, Mitteilungen des Umweltbundesamtes, 149 S.
- 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*. In: 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

**Key words:** Climate change, conversion of stands, Norway Spruce, European Beech, climate-risk maps

**Summary:** A general aim in adapting Bavarian forests to climate change is the conversion of vulnerable stands to less vulnerable ones. For this conversion planning maps are urgently needed. We developed provisional maps based on a new regionalized climate map, a digital terrain model, a regional climate model, and the existent forest site map. The resulting maps contain the risk for cultivating tree species (i.e. Norway Spruce and European Beech) under present and future climate conditions (warming of about 2 degree centigrade). The climate-risk maps are an addition to the available site maps and should be applied together with them. Since being preliminary, our development aims at more detailed and extended maps and better formulated thresholds for tree reactions against heat and drought.