

# Die zukünftige pnV Bayerns

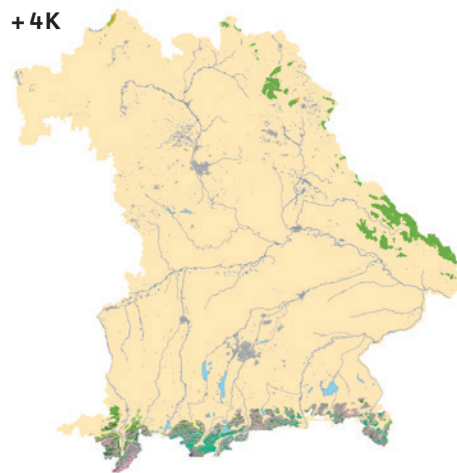
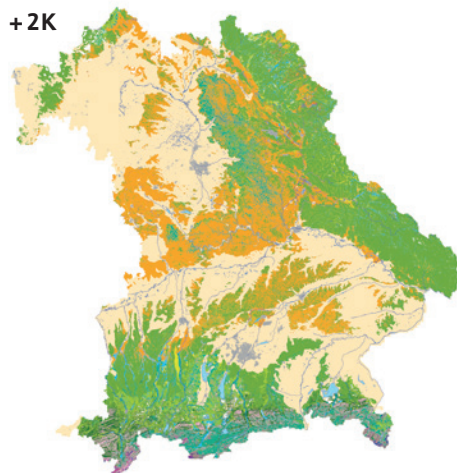
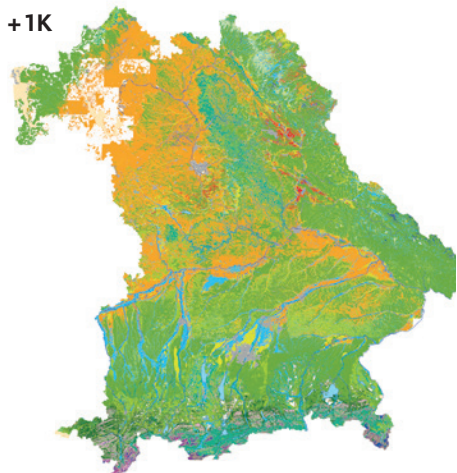
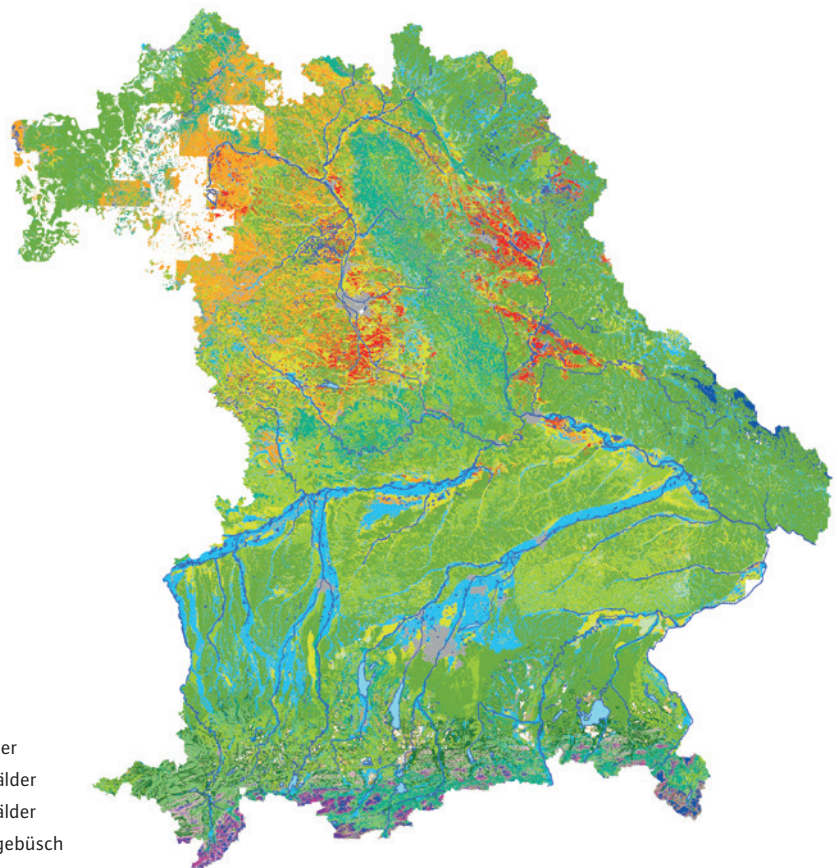
Wie man sich Vorstellungen über die Standortsituation der Zukunft erarbeiten kann

Hagen S. Fischer, Barbara Michler und Anton Fischer

Jeder Förster weiß: keine tragfähige Forstplanung ohne genaue Standort-Kennntnis. Genau diese Basis gerät aber ins Wanken, seit klar ist, dass das Klima keine Konstante ist, sondern – ganz im Gegenteil – sich stark und rasch ändert. Denn damit ändern sich alle Standorte – überall. Mit dem Konzept der zukünftigen potenziellen natürlichen Vegetation jedoch lassen sich Standortbedingungen auch für die Zukunft vergleichsweise gut abschätzen. Die Datengrundlage für Bayern besteht aus 28 Millionen Rasterpunkten und 24 Standortvariablen.

1 Die große Karte zeigt die heutige potenzielle natürliche Vegetation von Bayern. Für die weißen Pixel im Nordwesten Bayerns liegen die benötigten Standortdaten aktuell (noch) nicht vor. Die kleinen Karten zeigen die zukünftige pnV für die Szenarien +1K, +2K und +4K; unübersehbar ist die Zunahme der vanillegelben Bereiche, die anzeigen, welche Bereiche außerhalb der heutigen Standortfaktorenkonstellationen in Bayern liegen.

Die Vegetationskunde hat schon vor rund 70 Jahren ein Instrumentarium entwickelt, pflanzenwachstumsrelevante Umweltbedingungen komprimiert darzustellen: das Konzept der *potenziellen natürlichen Vegetation (pnV)*. Untersetzt man dieses Konzept mit klaren Algorithmen, so lassen sich einzelne Parameter virtuell ändern, zum Beispiel Temperatur- und Niederschlagsregime. Ausgerüstet mit einem solchen Instrumentarium lässt sich abschätzen, wie sich die heutigen Standortsituationen bei geänderten Umweltbedingungen verändern werden: quantitativ und räumlich. Dann sprechen wir von der *zukünftigen potenziellen natürlichen Vegetation (z-pnV)*.







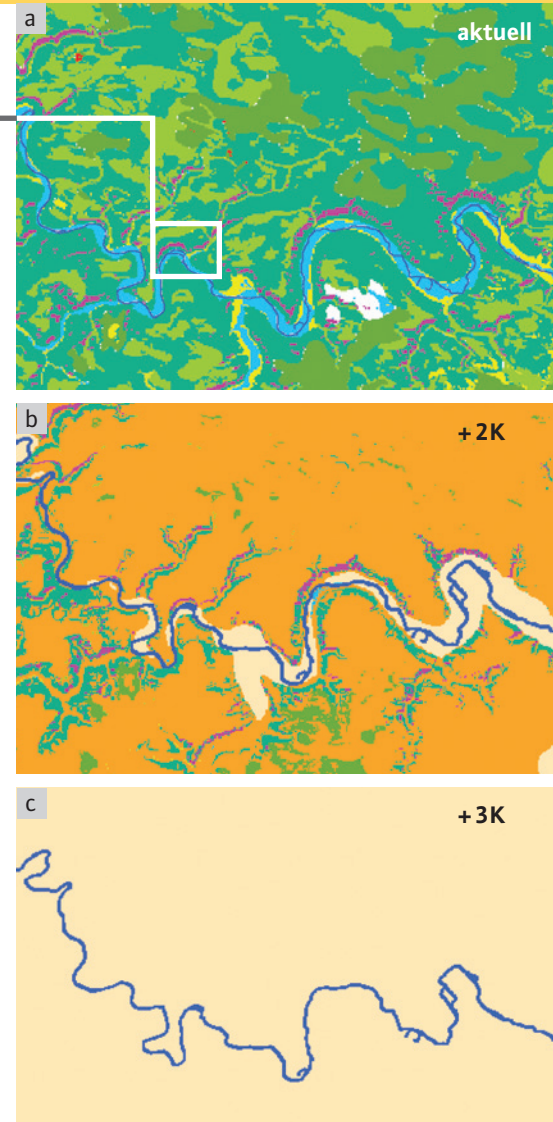
2 Die »neue« pnV-Karte liefert Ergebnisse bis hinein für eine 50 x 50 m großen Fläche. Sie kann deshalb problemlos auch die pnV sehr kleinräumig strukturierter Landschaftsteile (s. Foto) wiedergeben, und das für verschiedene Klimaszenarien, wie das Beispiel aus dem Altmühltal bei Eichstätt zeigt. Gegenüber der aktuellen pnV mit Buchen- und Buchenmischwäldern (a) herrschen im Szenario +2K Eichen- und Eichenmischwälder (b), im Szenario +3K Standortfaktorenkonstellationen, die es aktuell in Bayern nicht gibt (vanillefarben) (c). Foto: H.S. Fischer, Legende siehe Abbildung 2

### pnV – Was ist das?

Unter pnV versteht man die Standortbedingungen, die einer natürlichen Pflanzen- resp. Waldgesellschaft entsprechen (Fischer 2003). Die pnV ist also ein Maß für das Leistungspotenzial der Natur unter diesen Bedingungen, ausgedrückt in pflanzensoziologischen Termini. Im Gegensatz zu Zeigerarten und Zeigerartengruppen (z. B. »Säurezeiger«), die jeweils nur eine Standortvariable anzeigen, steht die pnV für den gesamten Standortkomplex, der der jeweiligen Waldgesellschaft entspricht. In der Karte der pnV zeigt sich also gleichzeitig Klima und Boden. Tatsächlich gibt es bereits zahlreiche pnV-Karten für alle möglichen Regionen Europas und in allen möglichen Maßstäben; die pnV-Karte Bayerns wurde erst vor wenigen Jahren publiziert (Suck & Buschart 2012). Allerdings handelt es sich bei diesen Karten ausschließlich um »statische Karten«, und sie basieren auf Expertenwissen; darauf kann man aber keine neuen Klimasituationen aufsetzen. Dazu muss man die Beziehungen zwischen Standort und Vegetation auf der Basis einer repräsentativen Stichprobe statistisch analysieren. Mithilfe dieses Wissens kann die pnV dann in einem Computerprogramm modelliert werden.

### Die heutige pnV

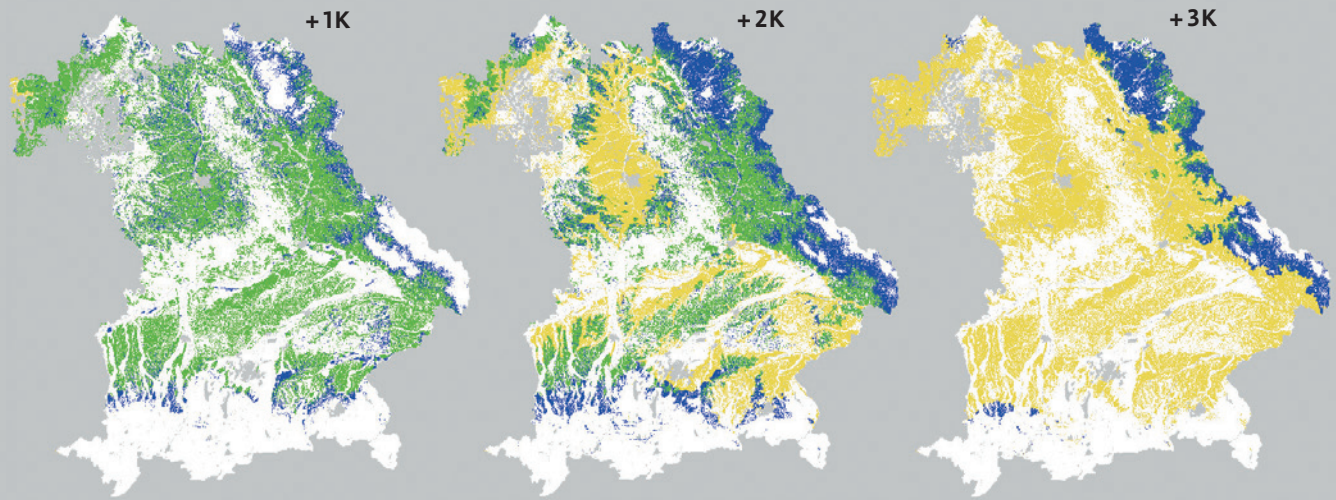
Um dies für Bayern zu erreichen, haben wir zunächst sämtliche flächig verfügbaren Datensätze zur Geologie, Geomorphologie, zum Boden (pH, KAK, Konzentrationen von Nährionen, Feldkapazität, Bodentiefe...) und zum Klima (Niederschlag, Temperatur mit monatlicher Auflösung, Länge der Vegetationsperiode, potenzielle Evapotranspiration ...) herangezogen, insgesamt etwa 160 Standortvariablen, auf einer Pixelgröße von 50 x 50 m, resultierend in über 28 Millionen Rasterpunkten für Bayern. Durch eine Prüfung, welche Faktoren einen unabhängigen signifikanten Einfluss auf die Vegetation haben, und durch den Ausschluss von Korrelationen zwischen den Variablen konnte die Zahl der Variablen auf 24 reduziert werden. Als statistisch repräsentative Stichprobe stehen die rund 7.500 Rasterpunkte der BWI II zur Verfügung, an denen auch die Vegetationstypen anhand der »Natürlichen Waldgesellschaften Bayerns« (Walentowski et al. 2013) erhoben worden waren. Für jeden Rasterpunkt wurde die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines jeden Vegetationstyps bezüglich aller Standortgradienten ermittelt. Der wahrscheinlichste Vegetationstyp ist die pnV Bayerns für die »heutige« Standort- (und damit auch Kli-



ma-) Situation (Abbildung 1). Die Übersichtskarte lässt die standörtliche Grobgliederung Bayerns sehr gut erkennen. Durch »Hineinzoomen« bis zur Pixelgröße 50 x 50 m werden auch die lokalen Standortdifferenzierungen kleinräumig sichtbar (Abbildung 2). Damit liegt erstmals für ein ganzes Bundesland Deutschlands eine auf feststehenden Algorithmen basierende, bearbeiterunabhängige (solange die eingehenden Grunddaten stimmen), alle verfügbaren relevanten Standortdaten einbeziehende pnV-Karte vor mit einer sehr großen Auflösung, die je Pixel stets die dort wahrscheinlichste Standortfaktorenkonstellation angibt, ausgedrückt durch den Namen der Gesellschaft, die unter diesen Bedingungen auftritt.



**Hainsimsen-Buchenwald, kolline Stufe**



- Waldgesellschaft kommt an diesen Orten weder in der heutigen noch in der zukünftigen pnV vor
- kommt in der heutigen pnV vor und ebenso im Szenario
- Flächenverlust im Vergleich zur heutigen pnV
- Flächenzugewinn
- Standortbedingungen liegen außerhalb der aktuellen Standortbedingungen Bayerns

**3** Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*): Mit jedem Grad Zunahme der Lufttemperatur verändert und verringert sich die Fläche dieser Waldgesellschaft.

**Die zukünftige pnV am Beispiel des Hainsimsen-Buchenwalds**

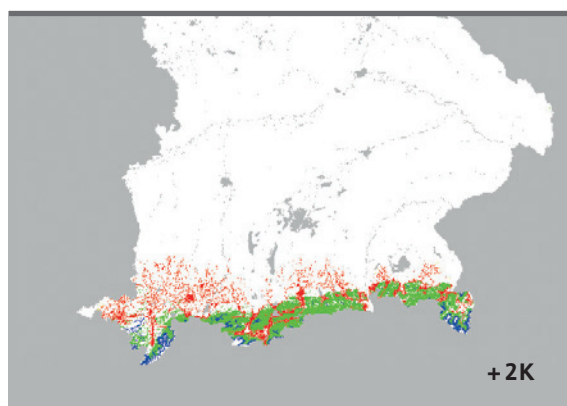
Hier kommt nun die »Zukunft« ins Spiel. Natürlich wissen wir nicht, wie sich das Klima in Zukunft ändern wird; aber wir können nun sehen, was eine Standort(Klima)änderung für zum Beispiel +1, +2, +3 ... K bei gleichbleibenden Niederschlägen (oder auch bei z. B. 10% Zu- oder Abnahme) bedeuten würde. Die Karten in Abbildung 3 zeigen am Beispiel des heute in Bayern am weitesten verbreitetsten pnV-Typs (kollines *Luzulo-Fagetum*, Abbildung 4) dessen Vordringen bei 1, 2 bzw. 3 K Temperaturanstieg (einheitlicher Temperaturanstieg überall in Bayern, keine Änderung der Niederschläge) ins Gebirge und seinen »Rückzug« aus tiefer gelegenen, wärmeren Gebieten.

**Beispiel Bergmischwald**

Abbildung 5 zeigt den Rückzug des »Bergmischwalds der nördlichen Kalkalpen« (*Lonicero alpigenae-Fagetum*) in die höheren Gebirgslagen der Alpen und seinen Rückzug vom Fuß der Alpen bei +2K (ohne Niederschlagsänderung).



**4** Der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) ist die verbreitetste Waldgesellschaft Bayerns. Foto: H. S. Fischer, TUM



**5** Bergmischwald (*Lonicero alpigenae-Fagetum*), Szenario +2K. Bei einer Temperaturzunahme um 2 K werden viele Bergmischwaldflächen aus dem Alpenvorland verschwinden, dafür aber wird der Bergmischwald höhere Gebirgslagen der Alpen neu erschließen. Legende wie Abbildung 3.

## Jedes Grad mehr bringt mehr Veränderung

Mit der Würm-Kaltzeit ging im Alpenraum vor gut 10.000 Jahren die Eiszeit zu Ende. Die Jahresmitteltemperaturen während der Würm-Kaltzeit lagen unter  $-3^{\circ}\text{C}$ . Im Zeitraum von 1971–2000 betrug die Jahresmitteltemperatur in Bayern  $7,8^{\circ}\text{C}$ . In Bayern werden bereits seit 1881 präzise Temperaturbeobachtungen erhoben. Deren Auswertung macht deutlich, dass im Zeitraum von 1881 bis 2014 der Temperaturanstieg  $1,4^{\circ}\text{C}$  betrug: augenscheinlich ein Anstieg von  $1^{\circ}\text{C}$  in 100 Jahren (StMUV 2015). Das Klimaszenario +1K haben wir somit aktuell schon hinter uns gelassen. Im Rahmen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen haben am 12. Dezember 2015 195 Staaten beschlossen, Maßnahmen zu ergreifen, um den Temperaturanstieg möglichst auf +2K zu begrenzen. Aber selbst wenn das gelänge, würde das eine völlig neue Standortsituation in Bayern bedeuten (Abbildung 1).

Im +1K-Bayern verschieben sich die pnV-Einheiten regional und mengenmäßig im Vergleich zur heutigen pnV (Abbildung 1); aber quasi alle dann eintretenden Standortfaktorenkonstellationen sind auch heute in Bayern vertreten. Aber schon im +2K-Bayern herrschen auf fast der Hälfte der Fläche Bayerns Standortbedingungen vor, die aktuell nirgendwo in Bayern realisiert sind; bei +4K gilt das für fast ganz Bayern. Dann würden die Lebensbedingungen vollständig andere sein als heute – nicht nur für die Bäume (Abbildung 1).

### Literatur

StMUV - Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2015): Klima-Report Bayern 2015

Fischer, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde. Eine Einführung in die Geobotanik. Ulmer Verlag, Stuttgart

Fischer, H.S.; Michler, B.; Schwall, M.; Kudernatsch, T.; Walentowski, H.; Ewald, J. (2014): Was wächst denn da? Weihenstephaner Vegetationsdatenbank stärkt künftig die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Freilandökologie. LWF aktuell 103: S. 34–37

Suck, R.; Bushart, M. (2012): Potentielle Natürliche Vegetation Bayerns – Erläuterungen zur Übersichtskarte 1:500.000. Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.), Augsburg

Walentowski, H.; Ewald, J.; Fischer, A.; Kölling, C.; Türk, W. (2013): Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns. Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz. 3. überarb. Auflage: 441 S.; Geobotanica-Verlag, Freising

### Ausblick

Unsere Modellierung basiert bisher auf Standortfaktorenkonstellationen (also pnV-Einheiten), die es aktuell in Bayern (wenigstens kleinflächig) gibt. Mit zunehmender Temperatur wird es aber bald auch Standortfaktorenkonstellationen geben, die heute in Bayern nicht vertreten sind. Bisher ist die pnV-Karte dann einfach vanillegelb eingefärbt mit der Botschaft: »wissen wir nicht«. Aber natürlich breitet sich dann in Bayern keine »Wüste« aus. Vielmehr werden sich bei steigenden Temperaturen und ggf. abnehmenden oder zunehmenden Niederschlägen Standortfaktorenkonstellationen ergeben, die heute zum Beispiel im südlichen Schweizer Jura, im Burund oder gar in der Provence vorkommen (z. B. Flaumeichenwälder). Ansätze von »Wärme-Wäldern« gibt es ja auch heute in Bayern (punktuell z. B. an den Abhängen des Donaudurchbruchs in der Weltenburger Enge) oder in Baden-Württemberg (Flaumeichenwald am Büchsenberg im Kaiserstuhl). Derartige Bestände sind aber bisher mit Raster-Datensammlungen zu selten erfasst; diese Typen sind also bisher noch nicht modellierbar. Hier muss das Modell noch erweitert werden

durch die Integration der Daten zum Beispiel aus der französischen Forstinventur und durch die Digitalisierung weiterer geografisch lokalisierbarer Vegetationsaufnahmen, wie das für die Region Steigerwald schon geschehen ist (Fischer et al. 2014).

Die Karte der pnV (und der z-pnV) ist jederzeit verbesserbar. Je detaillierter die eingehenden Grunddaten sind, desto genauer werden die abgeleiteten pnV-Karten. Und man könnte auch andere Standortfaktoren (z. B. Stickstoff-Verfügbarkeit) integrieren. Auch in dieser Hinsicht ist die Karte der pnV also höchst dynamisch: optimierbar, ergänzbar, erweiterbar.

Gerade für den Forstpraktiker/die Forstpraktikerin stellt die z-pnV ein wesentliches Handwerkszeug dar. Er oder sie muss wissen, mit welchen Optionen an einer zu behandelnden Stelle in der erwarteten Lebensspanne der jungen Bäume zu rechnen ist. Mit diesem Handwerkszeug kann man sich plausible Szenarien visualisieren, und das sowohl im bayernweiten Überblick als auch auf einer sehr feinen, planungsrelevanten Flächenskala.

### Zusammenfassung

Das Klima ändert sich, überall auf der Erde. Deshalb werden Instrumentarien benötigt, mit denen man sich die Konsequenzen von möglicherweise eintretenden Klimaszenarien veranschaulichen kann. Das ist gerade dann wichtig, wenn man sich in der Landnutzung mit langlebigen Systemen – wie Bäumen und Wäldern – beschäftigt. Das Konzept der potenziellen natürlichen Vegetation (pnV) ermöglicht es, die für das Pflanzenwachstum relevanten Standortbedingungen zusammenzufassen, ausgedrückt in dem Namen derjenigen Waldgesellschaft, die unter diesen Bedingungen wachsen könnte. Wir haben die pnV unter heutigen Umweltbedingungen modelliert mit einer Auflösung (Pixelgröße) von  $50 \times 50 \text{ m}$  (etwa 28 Millionen Pixel in Bayern). In diesem Modell kann man dann Standortfaktoren ändern. Wir haben in 15 Szenarien die Temperatur bayernweit um 1, 2, 3, 4 bzw. 6K erhöht und dabei die Niederschläge entweder wie heute belassen oder alternativ um 10 % gesenkt oder erhöht. Bei »nur« 1K Temperaturerhöhung gibt es eine weitgehende räumliche Umschichtung des Verteilungsmusters der pnV – also Standort-einheiten. Bei +2K liegen bereits auf gut 1/3 der Fläche Bayerns Standortfaktorenkonstellationen vor, die es aktuell in Bayern nicht gibt; bei +3K gilt das schon auf mehr als 2/3 der Fläche Bayerns. Das erschreckende Ergebnis ist also: Schon bei relativ »moderatem« Temperaturanstieg verlieren wir die Fähigkeit, forstlich relevante Standortsituationen aus eigener bayerischer Kenntnis zu bewerten und entsprechend forstliche Schlussfolgerungen daraus zu ziehen.

### Autoren

Dr. Barbara Michler ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Geobotanik der TUM, Dr. Hagen S. Fischer war wissenschaftlicher Mitarbeiter in diesem Fachgebiet. Prof. Dr. Anton Fischer leitet das Fachgebiet Geobotanik.  
Kontakt: HFischer@wzw.tum.de, BMichler@wzw.tum.de, A.Fischer@wzw.tum.de.

### Projekt

Das Kuratoriumsprojekt F51 »Modellierung der zukünftigen potentiellen natürlichen Vegetation (z-pnV) in Bayern« wurde vom Kuratorium für Forstliche Forschung und dem Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert. Es umfasste 24 Projektmonate und wurde am Fachgebiet Geobotanik der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan durchgeführt und im Juli 2017 abgeschlossen.