

Veränderung der Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV)

Text: Jonas Hinze, Ulrich Kohnle, Hans-Gerhard Michiels, Axel Albrecht

07. August 2024

Die Potenzielle Natürliche Vegetation (PNV) beschreibt die Vegetation, die ohne historische menschliche Intervention heute eine Fläche einnehmen würde. Sie ist eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der Naturnähe von Wäldern. Die PNV ist ein ausschließlich statisches Konzept: die aktuellen Standortbedingungen bestimmen die Einordnung. Da sich die Standorte jedoch im Zuge eines gerichteten Klimawandels erheblich verändern, wurde ein klimadynamisches Modell zur Einschätzung der PNV entwickelt und anschließend auf zukünftige Klimaszenarien angewandt. Diese Simulationen zeigen zu erwartende drastische Verschiebungen der Potenziellen Natürlichen Vegetation in den nächsten Jahrzehnten [1].



Abb. 1: Dürreschäden an Buchen deren klimatische Standortseignung sich durch den Klimawandel stark reduziert hat

© A. Albrecht

Schneller Überblick

- **Vor dem Hintergrund**, dass auch naturnahe Wälder in den letzten Jahren Waldschäden in nennenswertem Umfang zeigten, wurde ein klimadynamisches Modell einer Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV) erstellt
- **Großflächige Änderungen** der klimatischen Bedingungen verschieben die Potenziale für eine natürliche Vegetation deutlich
- Heute von Buche dominierte Vegetationsklassen der PNV könnten ihre Flächenschwerpunkt | 1 verlagern

iger Waldnaturschutzmaßnahmen Bezugs-
systeme natürliche Waldgesellschaften
und Naturnähe zur Berücksichtigung des
Klimawandels einer Dynamisierung oder
Revision bedürfen

Das Konzept der Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV) wurde 1956 von Reinhold Tüxen definiert. Es ist heute eine wichtige Grundlage forstlicher Planungen und Hilfsmittel zur Beurteilung von Naturnähe. Die PNV beschreibt die Vegetation, die sich unter den heutigen standörtlichen Bedingungen ohne menschliche Intervention einfinden könnte. Einer der Kritikpunkte bei vielen Anwendungen des PNV-Konzepts ist dessen statischer Ansatz. In der Definition der PNV werden zwangsläufige Anpassungen der Vegetation an klimatische Änderungen nicht berücksichtigt.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist, dass die vorliegenden PNV-Karten nicht systematisch reproduzierbar modelliert sind, sondern auf einer Synopse von Expertenwissen aus Standortkunde, Bodenkunde, Vegetationskunde und Klimatologie beruhen. Zur Bestimmung der vorherrschenden Vegetationsklassen wurden vorhandene Standortdaten ausgewertet und mit Vegetationsdaten überlagert [2]. Daraus entstanden erste PNV-Entwurfskarten, die dann im Anschluss mit Expertenwissen abgeglichen und stichprobenhaft im Gelände überprüft wurden. Bei diesem V



Umgekehrt bedeutet das auch, dass keine Formeln/Algorithmen vorliegen, die quantitativ definieren, bei welcher Kombination aus Standorts- und Klimafaktoren welche PNV-Klasse vorliegt. Um Aussagen darüber treffen zu können, welchen Einfluss Klimaveränderungen auf die PNV haben, müssen daher in einem ersten Schritt zuerst noch Modelle gebildet werden, die diese in den vorliegenden PNV-Karten, in Abhängigkeit von den heutigen Standortfaktoren, vorgenommenen Zuordnungen zu den PNV-Klassen systematisch modellieren. In einem zweiten Schritt können dann diese Modelle genutzt werden, um Einschätzungen der PNV unter sich verändernden Umweltbedingungen vorzunehmen.

Datengrundlage und Modellbildung

Im Fokus der vorliegenden Untersuchung lagen die Veränderungen der Vegetationspotenziale in Deutschland als Bezugsraum. Um ein PNV-Modell zu entwickeln, bei dem sich im Klimawandel auch bisher im Bezugsraum noch nicht vorhandene Vegetationsklassen ausbreiten können, wurden für die Modellbildung Daten aus ganz Europa verwendet. Bereits seit über zwanzig Jahren gibt es eine Karte der natürlichen Vegetation Europas [3]. Diese Karte ist die Grundlage für die aktuelle Verbreitung der PNV-Klassen. Als Standortparameter wurden bioklimatische Variablen aus dem frei verfügbaren

ebenso herabzuleitbaren Daten von OpenLandmap.org [10] verwendet (Tab. 1).

Veränderung der Vegetationspotenziale in Deutschland

Tab. 1: Überblick über die verwendeten Standortparameter und Vergleich der Mittelwerte für 2000 und die angewandten Zukunftsszenarien; Wertebereiche für Deutschland (SD: Standardabweichung; VarK: Variationskoeffizient)

Variable	Einheit	Min 2000	Max 2000	Mittelwert 2000	Mittelwert 2070 RCP4.5	Mittelwert 2070 RCP8.5
Nutzbare Feldkapazität von 0–100 cm	mm	0	326	148,5	148,5	148,5
pH-Wert (KCl) in 60 cm	pH	4,4	8,5	6,1	6,1	6,1
Jahresmitteltemperatur	°C	-2,9	11,8	8,9	10,8	12,5
Saisonalität Temperatur (SD Monatsmittel)	°C	5,1	7,1	6,3	6,2	6,3
Max. Temperatur des wärmsten Monats	°C	10,9	25,3	22,3	24,6	26,7
Min. Temperatur des kältesten Monats	°C	-15,5	1,3	-2,3	0,1	2,2
Jährliche Temperaturspanne	°C	17,9	28,4	24,6	24,5	24,5
Mitteltemperatur des wärmsten Quartals	°C	5,9	20,2	17,8	19,9	21,7
Mitteltemperatur des kältesten Quartals	°C	-11,3	4,1	0,6	2,8	4,7
Jahresniederschlag	mm	412	2491	770	789	754
Saisonalität Niederschlag (VarK)	mm	7	53	17,74	21,8	21,4
Niederschlag des wärmsten Quartals	mm	135	864	233	214	190

[veraenderung-der-vegetationspotenziale-in-deutschland-48196109.pdf \(Grafik als PDF öffnen\)](#)

Für die vorliegende Modellierung wurde nur zonal geprägte Vegetation berücksichtigt, da sie überwiegend durch klimatische Standortfaktoren geprägt ist. Als azonal wird hingegen Vegetation bezeichnet, die sich durch besondere standörtliche Eigenheiten vom sonstigen Pflanzenbestand der Klimazone unterscheidet (z. B. Moore, Auen) und damit nur in geringerem Maße durch die im Fokus unserer Untersuchung stehenden klimatischen Faktoren bestimmt wird. Über die gesamte Fläche Europas wurde ein gleichmäßiges Punktraster mit 4-km-Abständen gelegt. An jedem dieser Punkte wurden dann die Werte der Klima-, der Bodenkarten und die PNV-Klasse bestimmt. Somit wurde für jede der untersuchten 38 zonalen PNV-Klassen ein Wertebereich von einem



gen Standardisierungen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in dieser Arbeit lediglich die sechs für Deutschland flächenbezogen wichtigsten PNV-Klassen dargestellt.

Mit diesem Datensatz aus über 500.000 Datenpunkten wurde mit dem Machine-Learning-Algorithmus Random Forests [7] ein Klassifizierungsmodell berechnet. Dieser Modell-Algorithmus bietet die Möglichkeit, den Effekt jedes Parameters auf jede Klasse anzuzeigen. Somit konnte das Modell sehr gut analysiert und plausibilisiert werden. Das so überprüfte Modell wurde anschließend auf Datensätze mit Klimaprojektionen für den Zeitraum 2061 bis 2080 (2070) aus dem CHELSA Datensatz angewandt.

Für diese Klimaprojektionen wurden zwei verschiedene „Repräsentative Konzentrationspfade“ (Representative Concentration Pathways – RCPs) als Klimaszenarien zugrunde gelegt. Das Szenario RCP 4.5 steht für eine sehr optimistische Entwicklung, bei der der Ausstoß von anthropogenen CO₂-Äquivalenten ab 2040 im Sinne der internationalen Klimaschutzbemühungen stark abnimmt, sodass bis zum Ende des 21. Jahrhunderts lediglich eine globale Erwärmung von ~2,6 °C gegenüber dem vorindustriellen Wert angenommen wird. Das zweite verwendete Klima-Szenario (RCP 8.5) gilt in der öffentlichen Kommunikation als drastischeres Szenario, bei dem ein weiter ungebremster Anstieg der CO₂-Emissionen zu einer globalen Erwärmung von ~3,7 °C führen würde [8].

Zusammenfassend


Bei einer Anwendung auf einen Testdatensatz konnte das entwickelte klimadynamische Modell zur Klassifikation der PNV die in den bestehenden PNV-Karten tatsächlich ausgewiesenen PNV-Klassen auf über 80 % der geprüften Fläche korrekt bestimmen (Cohens Kappa 0,81; Accuracy 0,82), was eine sehr hohe Modellgüte darstellt. Zur Vorhersagegüte der für Deutschland relevanten Vegetationsklassen siehe Tab. 2.

Vorhersagegüte relevanter Vegetationsklassen für Deutschland

Tab. 2: Modellgüte, dargestellt als Anteil der für den Bereich Deutschland korrekt klassifizierten PNV-Vegetationsklassen (berechnet als „balanced accuracy“; 1,00: 100 % korrekt klassifiziert; 0,00: keine korrekte Klassifizierung)

PNV-Klasse	Häufigkeit im Datensatz	balanced accuracy
Tannen-Fichten-Wälder	4.562	0,78
Artenarme Eichenmischwälder	24.934	0,87
Eichen-Hainbuchen-Mischwälder	31.583	0,88
Buchen- und Buchenmischwälder	52.389	0,94
Flaumeichenmischwälder	12.046	0,85
Mediterrane Hartlaubwälder	23.382	0,94

[vorhersageguete-relevanter-vegetationsklassen-fuer-deutschland-48196150.pdf \(Grafik als PDF öffnen\)](#)

Die Modell-Simulationen mit dem Klimaszenario RCP 4.5 ergaben eine Änderung der potenziellen Vegetationsklassen auf 69 % der Landfläche Europas bis 2070. Simulationen mit RCP 8.5 für den gleichen Zeitraum zeigen sogar eine noch drastischere Änderung der Vegetationspotenziale auf 73 % d(). 2).

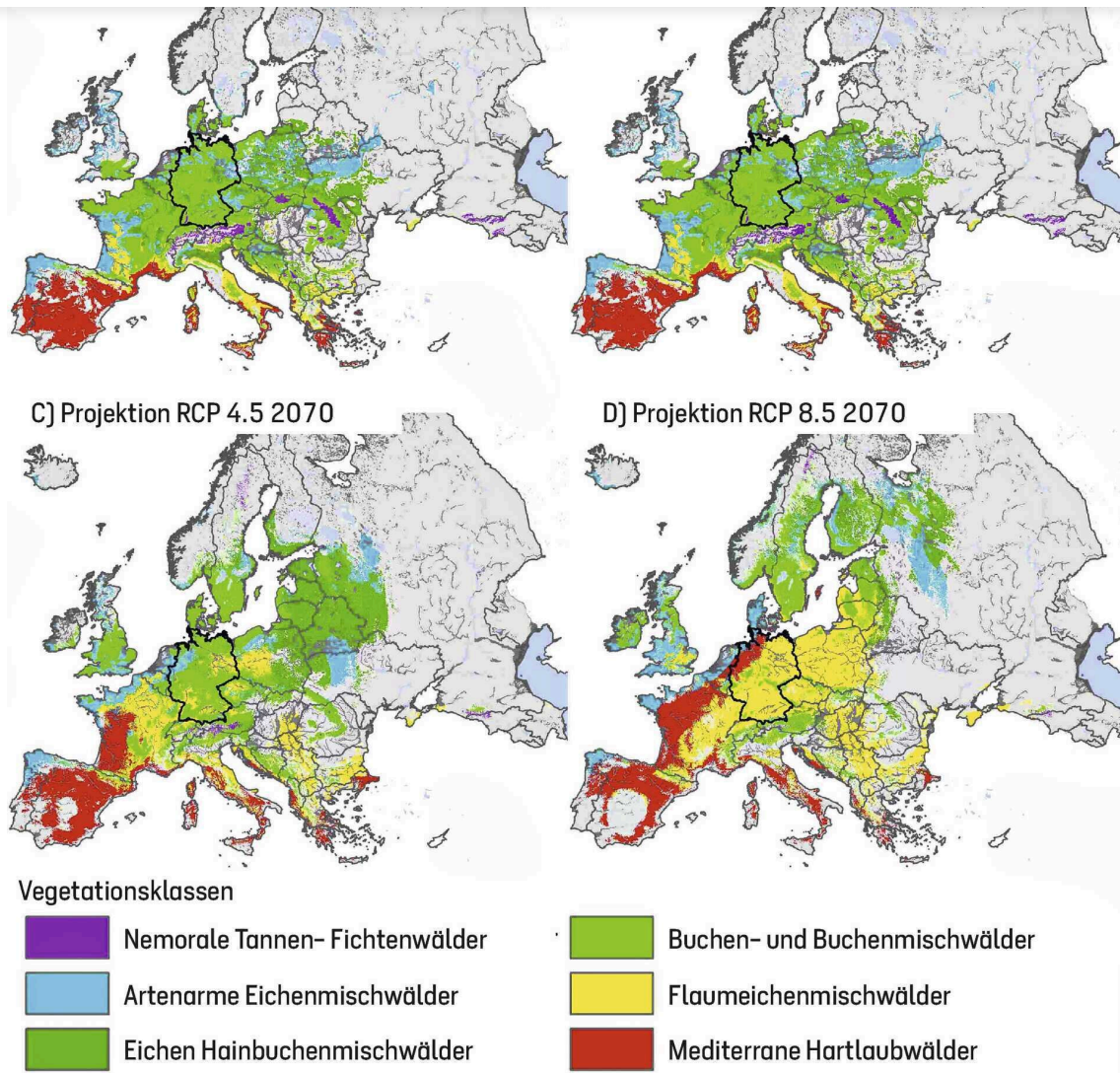


Abb. 2: Europakarte der in Deutschland relevanten Klassen Potenzieller Natürlicher Vegetation (PNV) mit den Ausgangsdaten (A), der modellierten Abbildung der Ausgangsdaten (B) und den Zukunftsprojektionen (Zeitraum 2061 bis 2080, Bezugsjahr 2070) für die Klimaszenarien RCP 4.5 (C) und RCP 8.5 (D). Graue Bereiche kennzeichnen azonale Vegetation oder Vegetationsklassen, die für Deutschland keine Relevanz haben und daher zur Übersichtlichkeit ausgegraut wurden.

© J. Hinze

Montane Nadel- und Laub-Nadel-Wälder die größten Verluste an Flächenpotenzial. Bei der Simulation mit RCP 8.5 sind aber auch sommergrüne Laubwälder wie die Buchen- und Buchenmischwälder deutliche Verlierer.

Flaumeichenwälder und Hainbuchen-Eichenmischwälder in Mitteleuropa sowie Steppen und Wüsten in Süd- und Südosteuropa würden nach unserer Modellierung die größten potenziellen Flächenzuwächse verbuchen [1].

Tatsächlich wurden schon in einer anderen Studie mit Europabezug, bei allerdings etwas geringerem Detaillierungsgrad der Vegetationsklassen, ähnlich massive zu erwartende Veränderungen gefunden [9].

Auch in Deutschland dürften daher im Klimawandel drastische Auswirkungen auf die Potenziale der vorherrschenden Vegetationsklassen erwartet werden. So nimmt das Potenzial des in Deutschland dominierenden Waldtyps der Buchen- und Buchenmischwälder bei zunehmender Erwärmung und Sommertrockenheit immer weiter ab. Unter dem RCP-8.5-Szenario könnte das Potenzial der Buchenwälder dabei von aktuell 74 % der Fläche Deutschlands bis 2070 auf 8 % schrumpfen (Tab. 3). Ähnlich steht es um das erwartete Potenzial für artenarme Eichenmischwälder und Eichen-Hainbuchen-Mischwälder. Auch diese Vegetationsklassen würden un-

Flächenveränderungen durch den Klimawandel

Tab.3: Flächenveränderungen der Vegetationspotenziale für Deutschland durch den Klimawandel

PNV-Klasse	Heute	RCP 4.5 2070	RCP 8.5 2070
Tannen-Fichten-Wälder	0,7%	0,1%	0%
Artenarme Eichenmischwälder	12%	8%	2%
Eichen-Hainbuchen-Mischwälder	12%	5%	0,5%
Buchen- und Buchenmischwälder	74%	69%	8%
Flaumeichenmischwälder	0%	16%	75%
Mediterrane Hartlaubwälder	0%	0%	12%

[flaechenveraenderungen-durch-den-klimawan-del-48196108.pdf \(Grafik als PDF öffnen\)](#)

Dagegen wird aufgrund von Temperaturanstieg und verminderten Sommerniederschlägen erwartet, dass deutschlandweit mediterrane Flaumeichenwälder das größte Potenzial erlangen und bis 2070 auf bis zu 75 % der Fläche den Vegetationstyp mit der besten Klimaanpassung darstellen könnten.

Nach unseren Simulationen mit RCP 8.5 würde das zukünftige Klima im Nordwesten Deutschlands großflächig mediterrane Hartlaubwälder begünstigen. Tatsächlich ist dieser Vegetationstyp aktuell die dominierende natürliche Vegetation Zentralspaniens! Und von Nadelbäumen geprägte Vegetationsklassen verlieren bereits unter dem moderaten Klimawandel-Szenario RCP 4.5 fast vollständig ihr Potenzial in Deutschland. Wenn man die gesamte Fläche Deutschlands betrachtet, finden sich vor allem bei einem weit



...potenziell (drastisch) verändert.

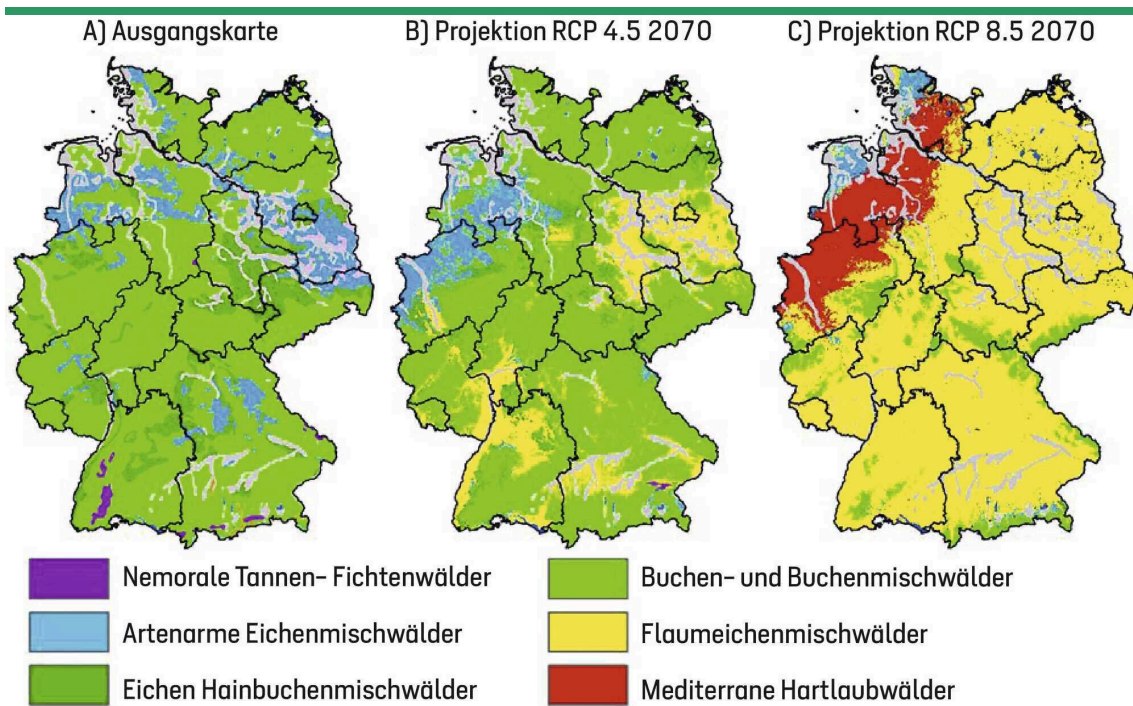


Abb.3: Deutschlandkarte der Potenziellen Natürlichen Vegetation mit den Ausgangsdaten als PNV-Karte (A) und den Zukunftsprojektionen (Zeitraum 2061 bis 2080, Bezugsjahr 2070) für die Klimaszenarien RCP 4.5 (B) und RCP 8.5 (C). Graue Bereiche kennzeichnen azonale Vegetationsklassen.

© J. Hinze

Konsequenzen für die Waldbewirtschaftung

Unsere Simulationen zeigen, dass bereits innerhalb der nächsten 50 Jahre europaweit markante Verschiebungen in den standörtlichen Voraussetzungen für die heute verbreiteten Vegetationsklassen erwartet werden müssen; besonders ausgeprägt gilt dies für den Bereich Deutschlands. Allerdi



kzessionsanalysen,



andere im Wege eigenständiger Entwicklungen nicht selten über Jahrhunderte hinziehen [10].

In jüngster Vergangenheit lassen sich vielerorts bei den vorherrschenden Waldtypen Waldschäden in nennenswertem Umfang feststellen. Eine Folgerung aus diesen anhaltend virulenten Schäden könnte sein, dass der Klimawandel die gegenwärtigen Wälder über ihre Resilienz belasten könnte, bevor sich erst in fernerer Zukunft dann eine besser klimaangepasste Artenzusammensetzung durch natürliche Sukzession einfindet. Um großflächige Störungen abzufedern, die die nachhaltige Erbringung der Ökosystemleistungen des Waldes massiv gefährden, erscheint eine laufende, aktive Weiterentwicklung der Baumartenzusammensetzung hin zu besser klimaangepassten Waldtypen unumgänglich.

Dies schließt explizit auch die Einführung heute noch nicht heimischer, aber stärker trockenheits- und hitzeresistenter Arten aus europäischen Nachbarregionen und/oder zukunftsanalogen Klimaräumen, um eine zwischenzeitliche Entmischung oder Entwaldung von Waldorten zu verhindern, nicht aus. Im Interesse einer naturnah orientierten Weiterentwicklung bietet sich die Anreicherung der Wälder mit Baumarten an, die in den bei den vorliegenden Modellierungen als zukunftsfähig eingestuften Vegetationsklassen vorkommen.

Aufgrund der allfälligen Unsicherheiten erscheint aber ein flächendeckender tuellen Baumarten



fordern noch stärker. Der Schwerpunkt sollte viel mehr auf einer standortsspezifischen Ergänzung des Baumartenspektrums in angemessenem Umfang liegen, um so der Walddynamik zusätzliche Ansatzpunkte für stabilisierende Anpassungsprozesse zu bieten. Zweifels- ohne würden die Umbaubemühungen gemäß unseren Ergebnissen deutschlandweit in substanziellem Umfang erfolgen, ohne dass jedoch konkrete Prozentwerte oder Flächensummen für erforderliche Pflanzungen abgelei- tet werden können.

Konsequenzen für den Naturschutz

Die Erkenntnisse unserer Simulationen machen deut- lich, dass sich die heutige PNV im Klimawandel nicht mehr als Leitbild für naturnahe Wälder eignet. Die kli- mabedingten Verschiebungen der Potenziale der Vegeta- tionsklassen sind so drastisch, dass sich die aktuelle PNV überwiegend nicht mit den in Zukunft zu erwartenden Potenzialen deckt. Aus naturschutzfachlicher Sicht ergeben sich hieraus große Herausforderungen. Bei- spielsweise leben viele geschützte Arten im Bereich nacheiszeitlicher Reliktstandorte. Prägend sind hier ver- gleichsweise kühle Klimabedingungen, wie sie derzeit z. B. (noch) in Hochlagen vorherrschen. Die anhaltende Erwärmung verringert jedoch das Areal solcher Kalt- standorte zusehends oder bringt sie vollständig zum Verschwinden [11]. In den vorliegenden Modellierungen wird dies dadurch erkennbar, dass sich die Vegetations- potenziale mit zunehmendem Klimawandel in höhere

...um faktisch wirksam sein zu können, die klimabedingte Verschiebung rechtlich geschützter Lebensräume in heute noch nicht gelöster Form in die langfristigen Schutzkonzepte einbringen muss [12].

”

„Deutschlandweit müssen wir mit markanten Verschiebungen der standörtlichen Voraussetzungen und somit der Potenziale für die heute verbreiteten Vegetationsklassen der PNV rechnen.“

JONAS HINZE

Die derzeit flächenbezogen größte Herausforderung dürfte dabei der Umgang mit dem Schutzgebietssystem Natura2000 in den Lebensraumtypen der FFH-Gebiete bieten. In Mitteleuropa spielen hierbei die nach heutiger Ausgangslage naturnahen Buchenwaldökosysteme der Klassen 9110, 9130 und 9150 die größte Rolle. Spätestens in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts dürften die in diesen Bereichen im durchaus realistischen Szenario RCP8.5 zu erwartenden Klimabedingungen dazu führen, dass Buchenwälder hier nicht mehr als standortsangepasst respektive „naturnah“ beurteilt werden können.

entweder die Flächenzuschüsse der Wald-Lebensstadiumstypen dynamisch anzupassen oder die Zusammensetzung der in Deutschland als erhaltenswert zu entwickelnden Waldgesellschaften neu zu definieren. Beides wäre zwar mit weitreichendem Änderungsbedarf in den Managementplänen verbunden, lässt sich aber bei anhaltendem Klimawandel wohl faktisch nicht mehr grundsätzlich vermeiden.

Literaturverzeichnis:

- [1] Hinze, J.; Albrecht, A.; Michiels, H. G.** (2023): *Climate-Adapted Potential Vegetation – A European Multiclass Model Estimating the Future Potential of Natural Vegetation. Forests, 14(2), 239.*
- [2] Reidl, K. et al.** (2013): *Potentielle Natürliche Vegetation von Baden-Württemberg. Verlag Regionalkultur.*
- [3] Bohn, U. et al.** (2000): *Karte der natürlichen Vegetation Europas, Maßstab 1: 2 500 000.* [Map of the Natural vegetation of Europe. Scale 1: 2 500 000]. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- [4] Booth, T.H., et al.** (2014). *BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. Diversity and Distributions. 20(1): p. 1-9.*
- [5] Karger, D.N., et al.** (2017). *Climatologies at high res(earth's land*

[6] **Hengl, T.** (2016). Soil bulk density (unc earth) 10 x kg / m-cubic at 6 standard depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m resolution (Version v02) [Data set]. [Zenodo. 10.5281/zenodo.1475970](#) [7] **Breiman, L.** (2001). Random forests. *Machine learning*, 45, 5-32. [8] **Taylor, K.; Ronald, S.; Meehl, G.** (2012): An overview of CMIP5 and the experiment design, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 485-498. [9] **Hickler, T. et al.** (2012): Projecting the future distribution of European potential natural vegetation zones with a generalized, tree species-based dynamic vegetation model. *Global Ecology and Biogeography*, 21(1), 50-63. [10] **Prach, K. et al.** (2016): Does succession run towards potential natural vegetation? An analysis across seres. *Journal of Vegetation Science*, 27(3), 515-523. [11] **Braunisch, V. et al.** (2014): Temperate mountain forest biodiversity under climate change: compensating negative effects by increasing structural complexity. *PloS one*, 9(5), e97718. [12] **Milad, M.; Schaich, H.; Bürgi, M.; Konold, W.** (2011): Climate change and nature conservation in Central European forests: A review of consequences, concepts and challenges. *Forest ecology and management*, 261(4), 829-843.



jonas.hinze@forst.bwl.de

ist Wissenschaftler für die Klimafolgenforschung in der Abteilung Waldwachstum in der FVA Baden-Württemberg.

Prof. Dr. Ulrich Kohnle ist Abteilungsleiter für die Abteilung Waldwachstum. **Hans-Gerhard Michiels** ist Fachbereichsleitung im Bereich Waldpflanzenökologie und forstliche Standortkunde. **Dr. Axel Albrecht** ist stellvert. Abteilungsleiter und Koordinator für den Bereich Klimafolgenforschung.





Merken

[← Zurück](#) [Weiter →](#)

[Impressum](#) [Datenschutz](#) [AGB](#)

