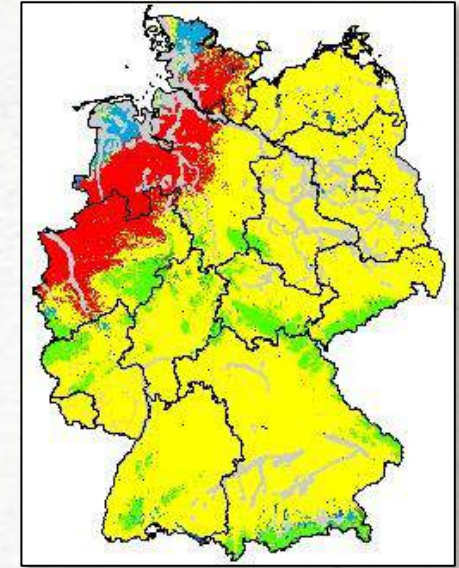
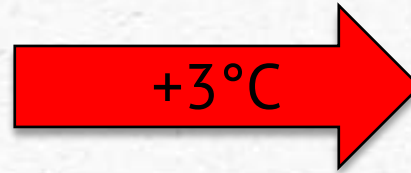
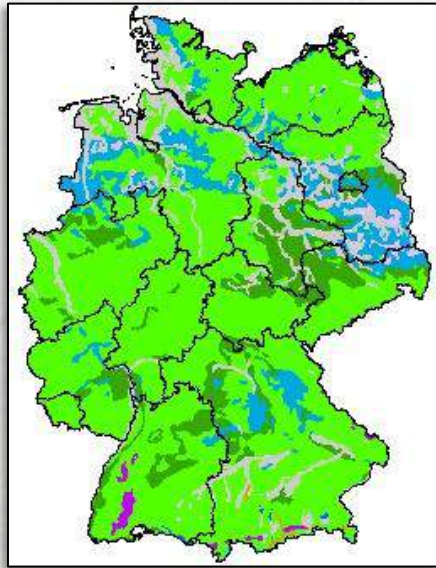


Projektion der potenziellen natürlichen Vegetation mitteleuropäischer Wälder im Klimawandel



AGDW Waldsymposium

25.06.2026

Axel Albrecht, Jonas Hinze, Hans-Gerd Michiels



Naturnähe von Wäldern ist (auch) über die PNV definiert

Ein wichtiges Bewertungselement: Nähe der Baumartenzusammensetzung zur PNV

PNV:

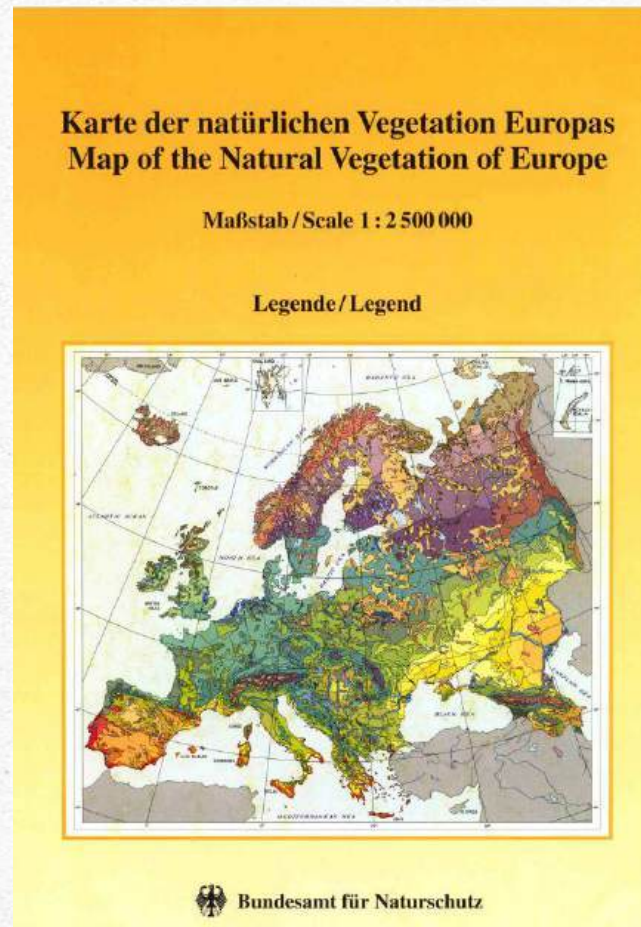
- Potenzielle Natürliche Vegetation
- Ersatz für fehlende Urwälder, also Referenz für naturnahe Wälder
- Endzustand der Vegetation, die sich ohne menschliche Intervention im jeweiligen Gebiet befände
(Reinhold Tüxen 1956)
- PNV-Klassen wurden multidisziplinär, gutachterlich anhand der **Standortsbedingungen** kartiert

Problem: Durch den Klimawandel **ändern sich Standortsbedingungen**

→ Forschungsfragen:

- Wie verändern sich die natürlichen Potenziale?
- Welche PNV-Klassen haben wo Zukunft?

pnV-Karte für Modellfit



Bohn et al. (2000)

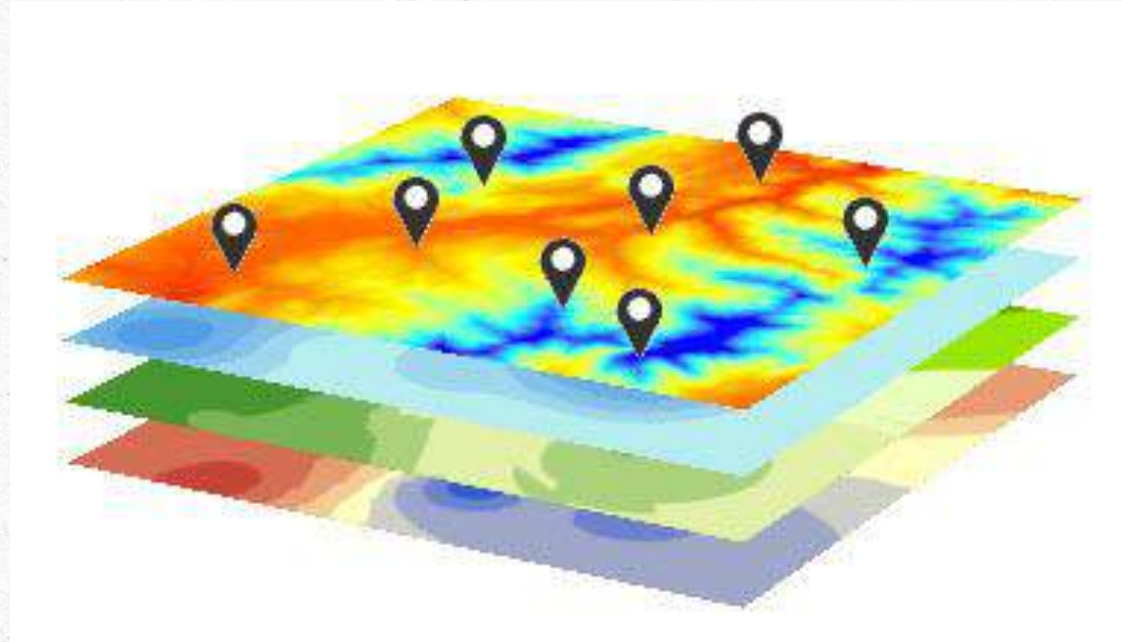
- Modellfit auf Europaebene für möglichst großes Klimaspektrum
- Zweite Hierarchieebene (*definiert durch dominierende Arten*) mit 38 zonalen PNV-Klassen. Z.B. D4 Montane Tannen- und Fichtenwälder oder F5 Buchen- und Buchenmischwälder
- Azonale Standorte und kleinräumige Standortvariationen wurden vernachlässigt
- Modell repräsentiert nur die PNV-Klassen, nicht einzelne Arten

Parametrisierung der 38 zonalen PNV-Klassen

- Punkt-Layer mit 4000m Rasterung für Europa

Parameter:

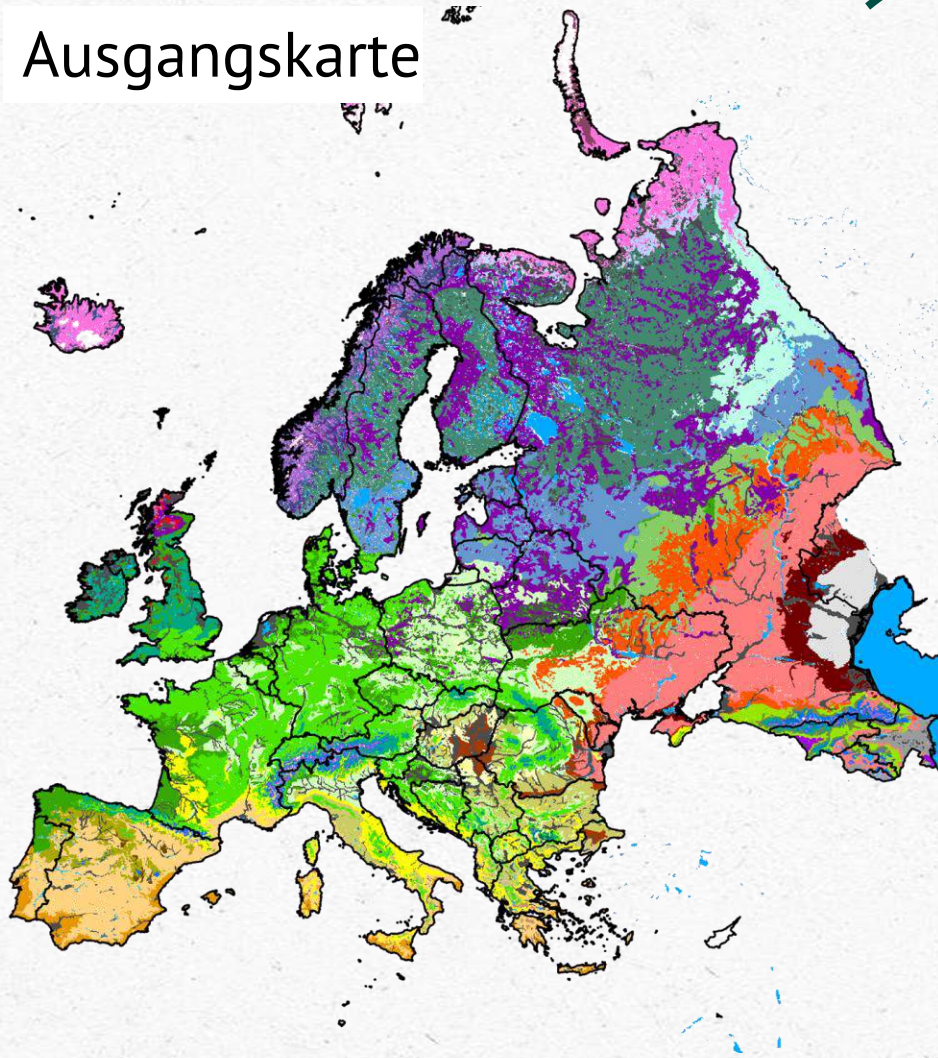
- 10 Bioklimatische Variable
<https://chelsa-climate.org/>
 - 2 Edaphische Variable
<https://openlandmap.org/>
 - ~ 550.000 Punkte mit PNV-Klasse und Parameterwerten
- Random Forest Modell



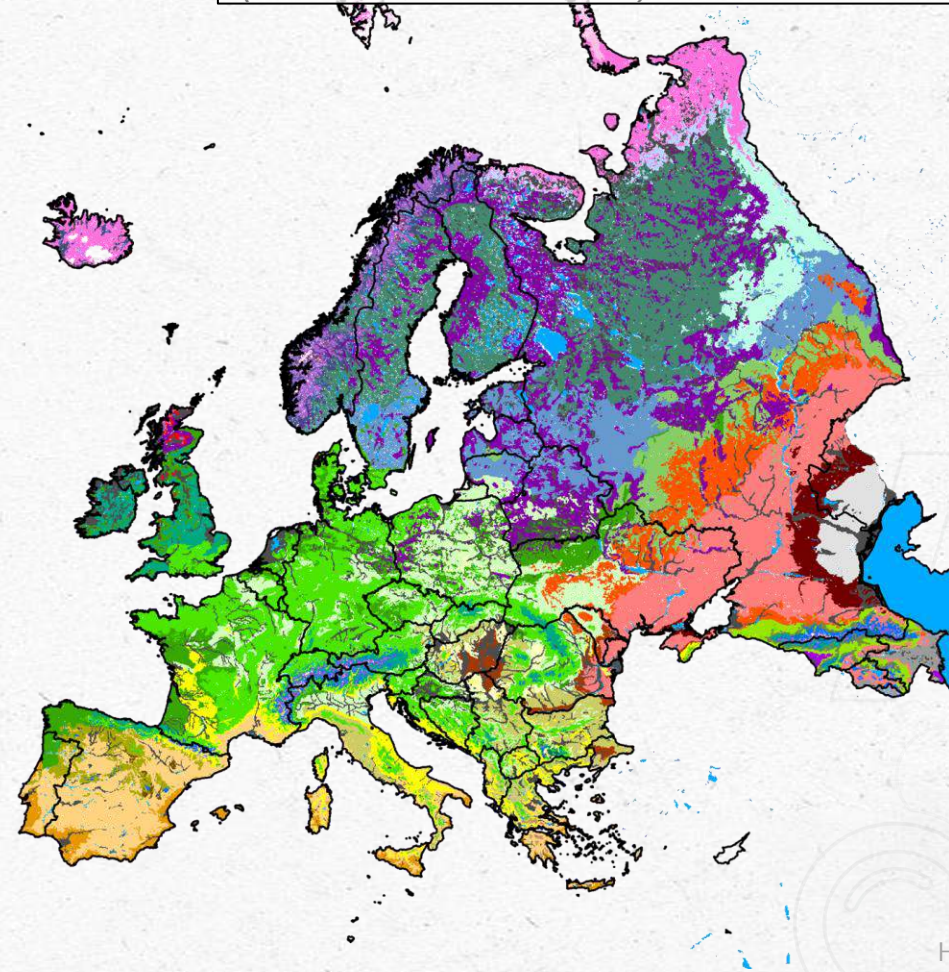
esri.com 2024 *extract raster values at point locations*

Modellanpassung

Ausgangskarte



Modell der Ausgangskarte
(Random Forest Modell)



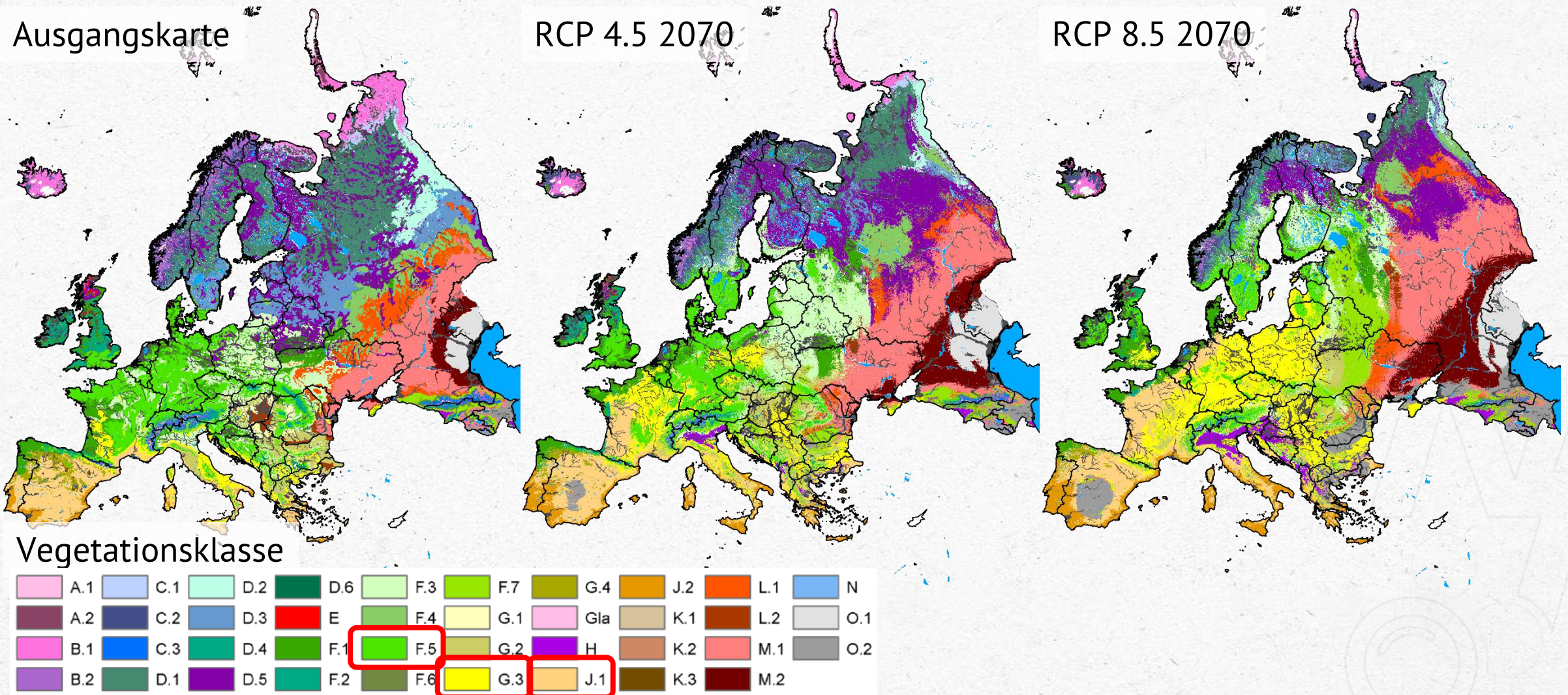
Modellanpassung

Ausgangskarte

Modell der Ausgangskarte
(Random Forest Modell)

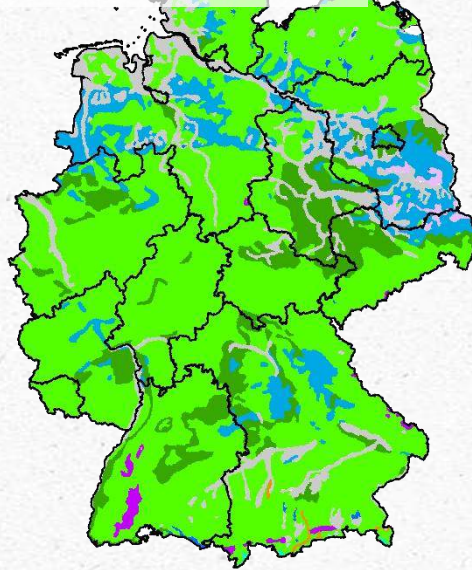
insgesamt recht hohe Entsprechung

Modellprojektion Europa

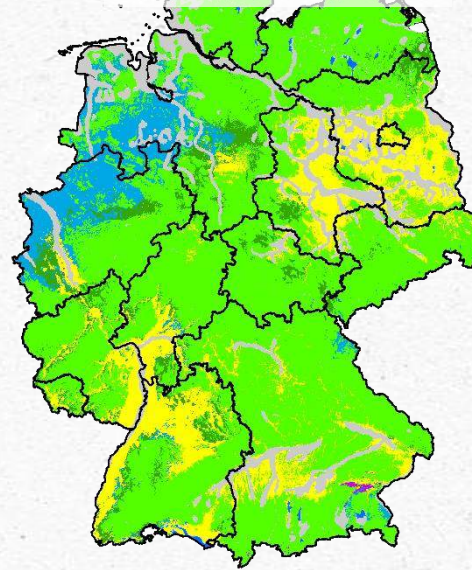


Modellprojektion Deutschland

Ausgangskarte

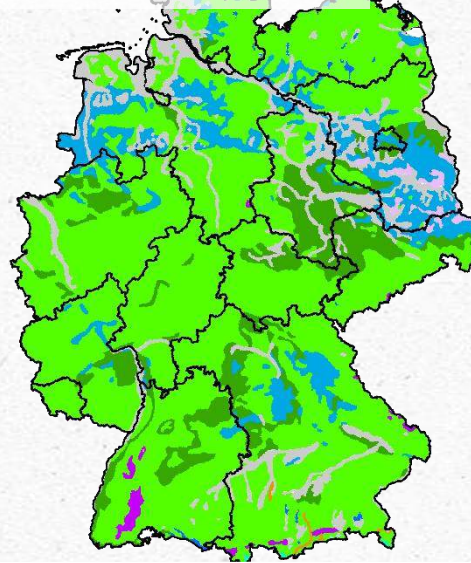


RCP 4.5 2070

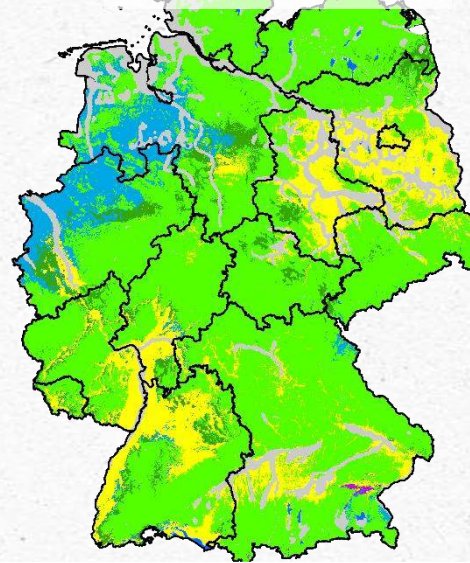


Modellprojektion Deutschland

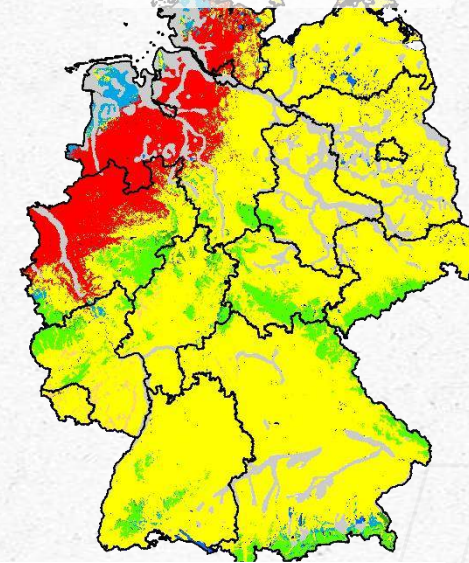
Ausgangskarte



RCP 4.5 2070



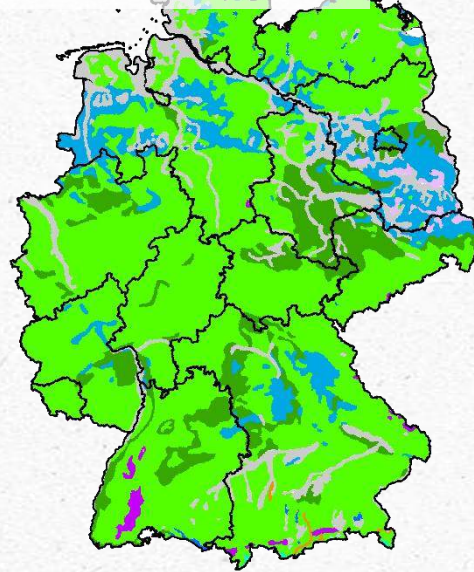
RCP 8.5 2070



PNV-Klasse	Heute	RCP 4.5 2070	RCP 8.5 2070
Tannen- Fichtenwälder	0,7%	0,1%	0%
Artenarme Eichenmischwälder	12%	8%	2%
Eichen-Hainbuchenmischwälder	12%	5%	0,5%
Buchen- und Buchenmischwälder	74%	70%	8%
Zerr- und Balkaneichenwälder	0%	0%	0,2%
Flaumeichenmischwälder	0%	16%	75%
Mediterrane Hartlaubwälder	0%	0%	12%

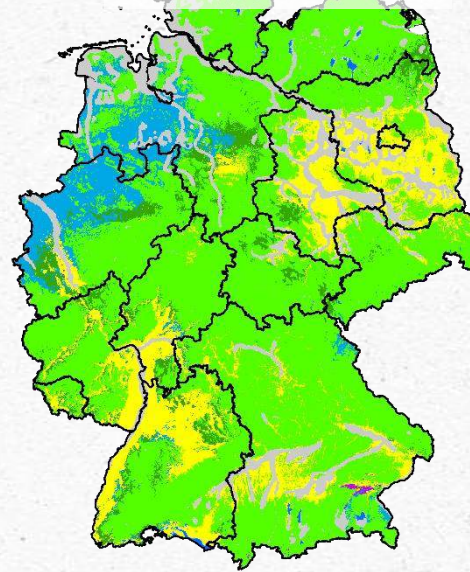
Modellprojektion Deutschland

Ausgangskarte



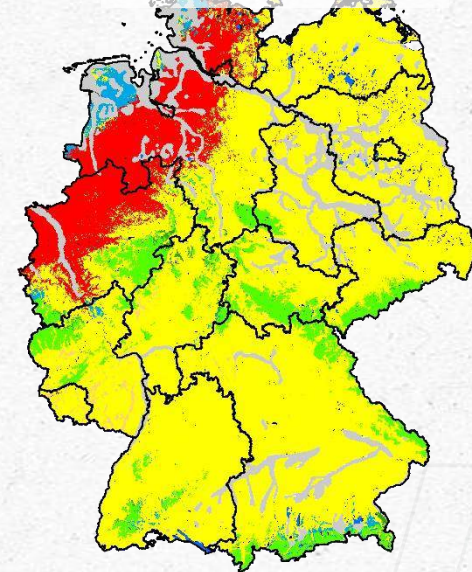
9°C

RCP 4.5 2070



11°C

RCP 8.5 2070



12,7°C

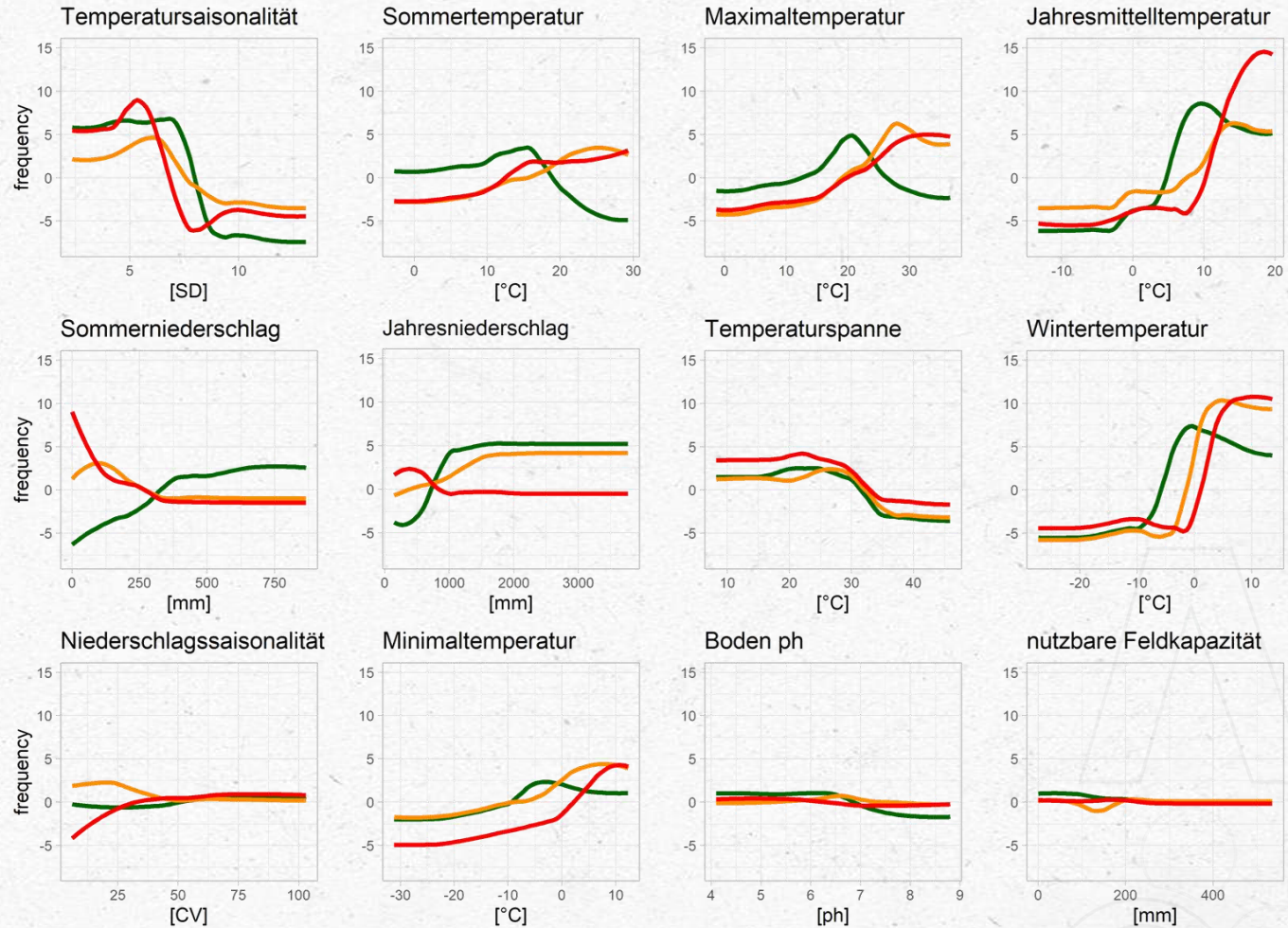
gemessene
Jahresmitteltemperaturen:
2018: 10,45°C
2019: 10,3°C
2020: 10,4°C
2021: 9,2°C
2022: 10,5°C
2023: 10,63°C

RCP4.5 könnte bald überholt sein
RCP8.5 wird zunehmend realistisch

Modellkennwerte und klimatische Effekte

Modellkennwerte

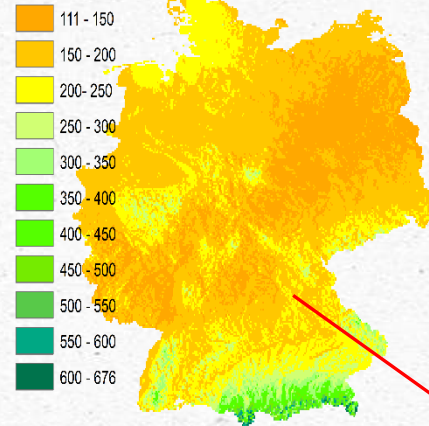
- Accuracy: 0,82
- Balanced Accuracy: 0,59–0,99 (0,84)



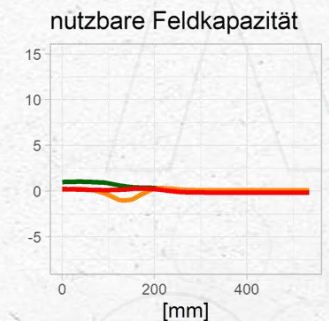
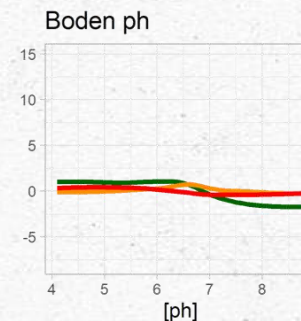
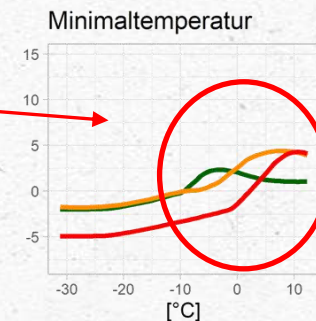
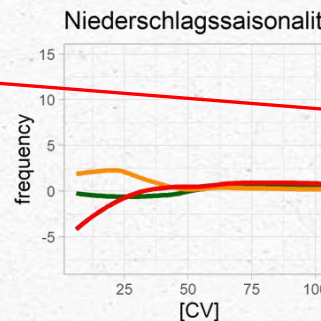
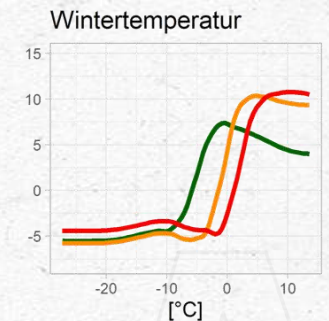
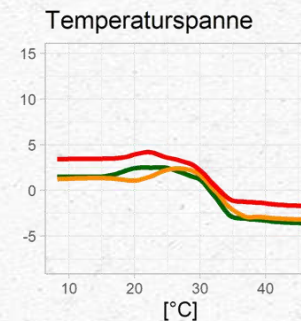
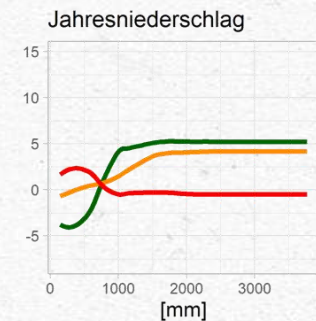
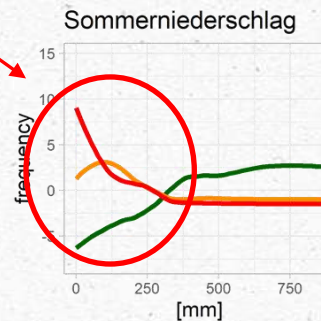
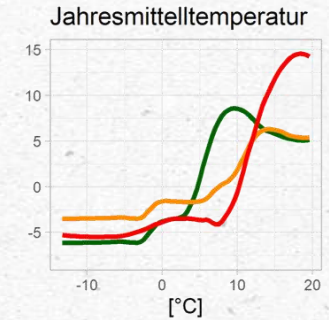
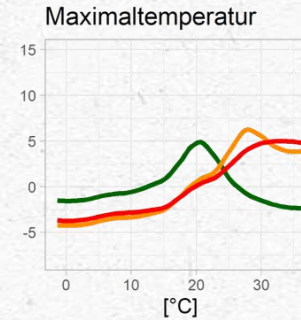
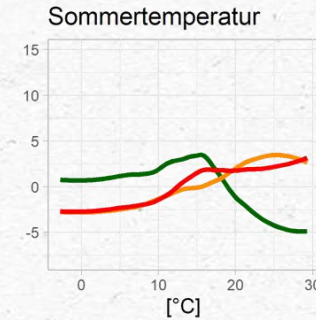
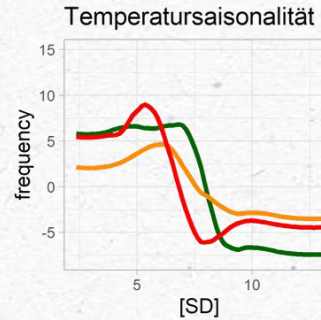
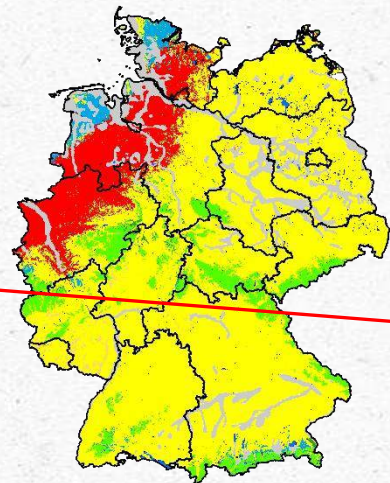
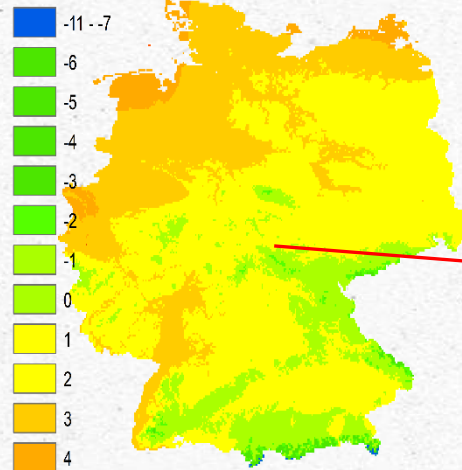
Buchenwälder (grün); Flaumeichenwälder (gelb); Mediterrane Hartlaubwälder (rot)

Modellkennwerte und klimatische Effekte

Sommerniederschlag RCP 8.5



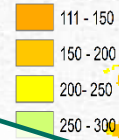
Minimaltemperatur RCP 8.5



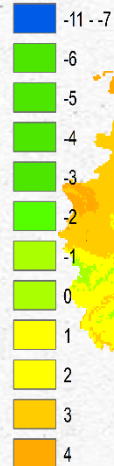
Buchenwälder (grün); Flaumeichenwälder (gelb); Mediterrane Hartlaubwälder (rot)

Modellkennwerte und klimatische Effekte

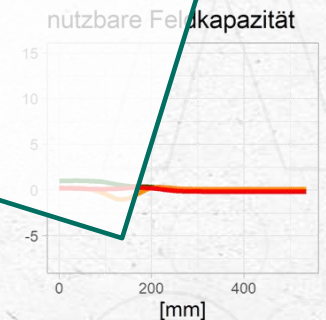
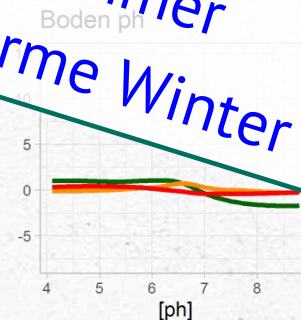
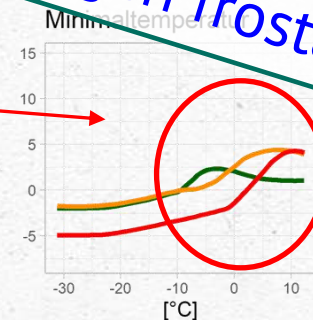
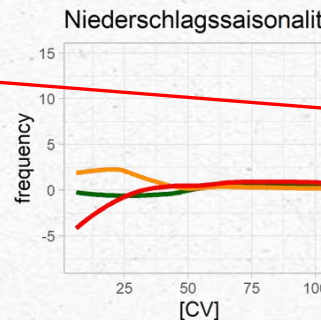
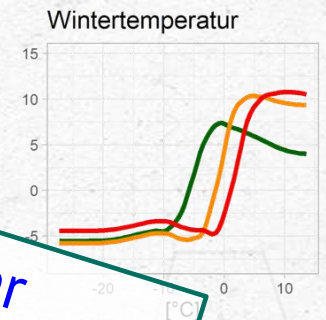
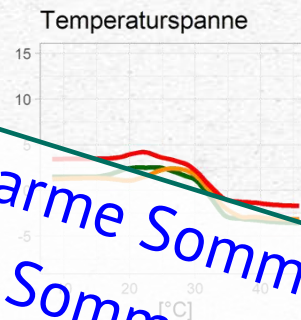
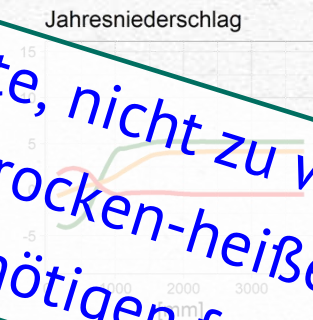
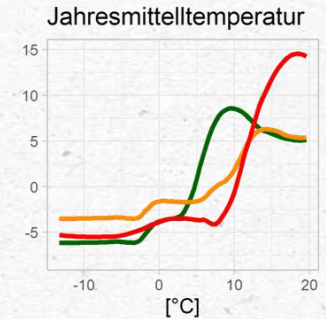
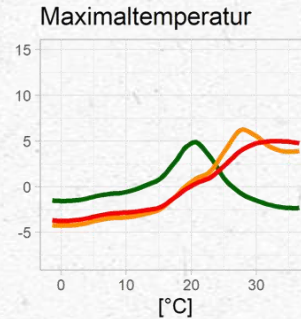
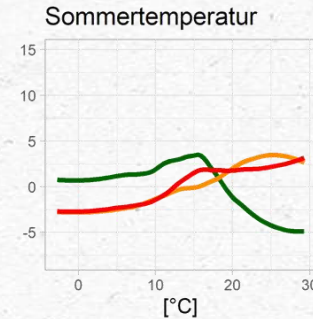
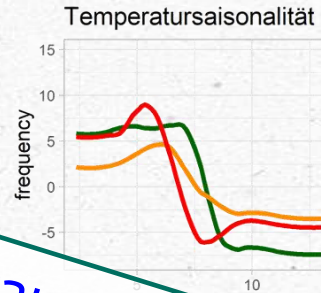
Sommerniederschlag RCP 8.5



Minimaltemperatur RCP 8.5



- Buchenwälder brauchen feuchte, nicht zu warme Sommer
- Flaumeichenwälder tolerieren trocken-heiße Sommer
- Hartlaub-/Steineichenwälder benötigen frostarme Winter



Buchenwälder (grün); Flaumeichenwälder (gelb); Mediterrane Hartlaubwälder (rot)

Flaumeiche (*Quercus pubescens*)

- Wuchshöhe von 15 bis 20 m
- breitkronig mit sparrig abstehenden Ästen
- häufig krummwüchsige Stämme
- Nutzung: Niederwald/Brennholz

www.burgenlandflora.at

PNV-Klasse „Flaumeichenmischwälder“:

Flaumeiche (*Quercus pubescens*)

Traubeneiche (*Quercus petraea*)

Mazedonische Eiche (*Quercus trojana*)

Hainbuche (*Carpinus betulus*)

Orientalische Hainbuche (*Carpinus orientalis*)

Elsbeere (*Sorbus torminalis*)

Mehlbeere (*Sorbus aria*)

Französische Ahorn (*Acer monspessulanum*)

Schneeball-Ahorn (*Acer opalus*)

Edelkastanie (*Castanea sativa*)

Manna-Esche (*Fraxinus ornus*)

Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*)

Stechpalme (*Ilex aquifolium*)

Mediterrane Hartlaubwälder

Steineiche (*Quercus ilex*)

- Immergrün
- Wuchshöhe von 5 bis 20 m
- lichte Wälder
- häufig krummwüchsige Stämme
- Nutzung: Niederwald /Brennholz

www.burgenlandflora.at
www.pt.wikipedia.org

PNV-Klasse „mediterrane Hartlaubwälder“:

Steineiche (*Quercus ilex*)

Korkeiche (*Quercus suber*)

Stech-Eiche (*Quercus coccifera*)

Flaumeiche (*Quercus pubescens*)

Manna-Esche (*Fraxinus ornus*)

Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*)

Aleppo-Kiefer (*Pinus halepensis*)

Kalabrische Kiefer (*Pinus brutia*)

Breitblättrige Steinlinde (*Phillyrea latifolia*)

Iberische Birne (*Pyrus bourgaeana*)

Spanischer Wacholder (*Juniperus thurifera*)

Stech-Wacholder (*Juniperus oxycedrus*)

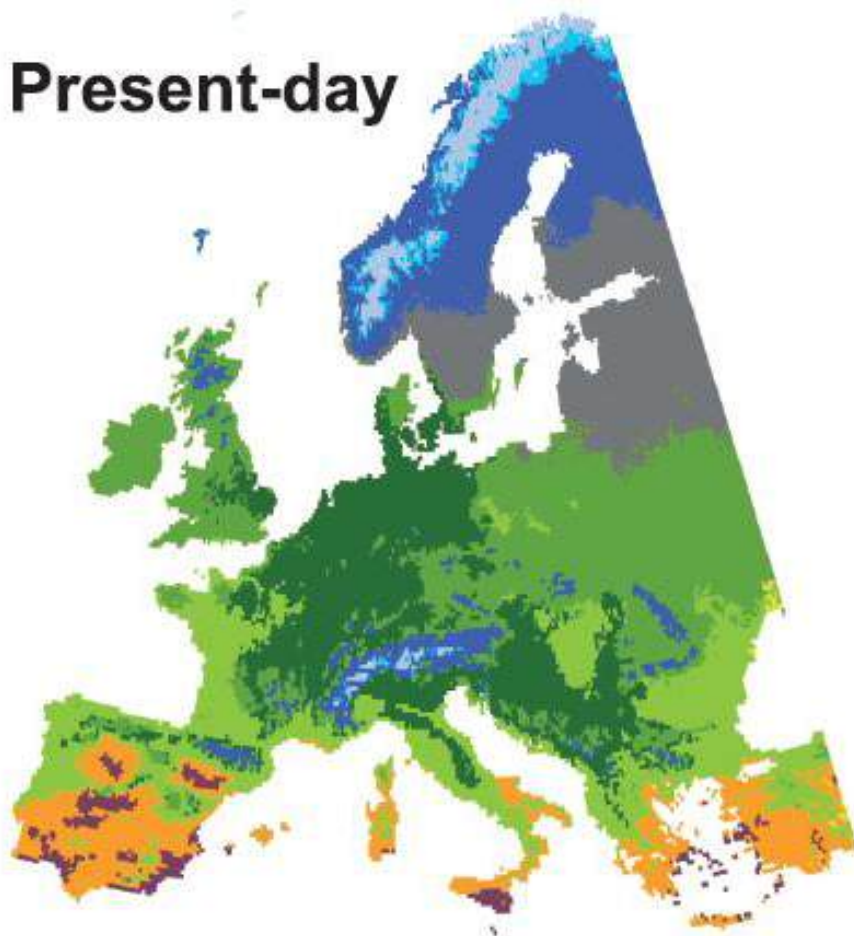
Lorbeer (*Laurus nobilis*)

**Is ja schön und gut
Aber was sagen denn andere dazu?**

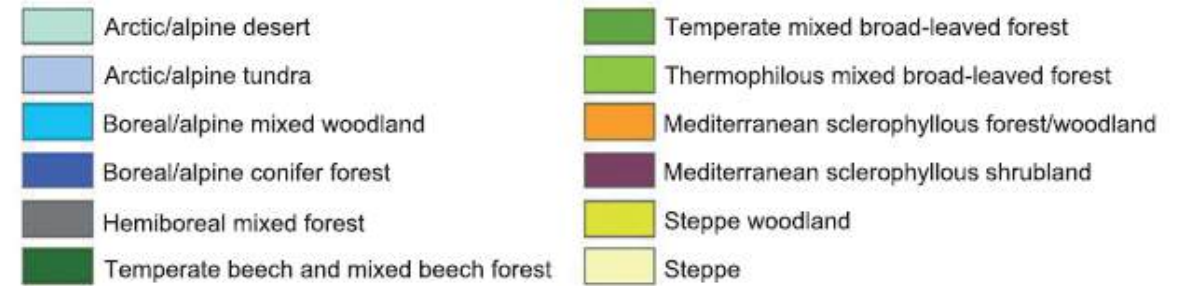
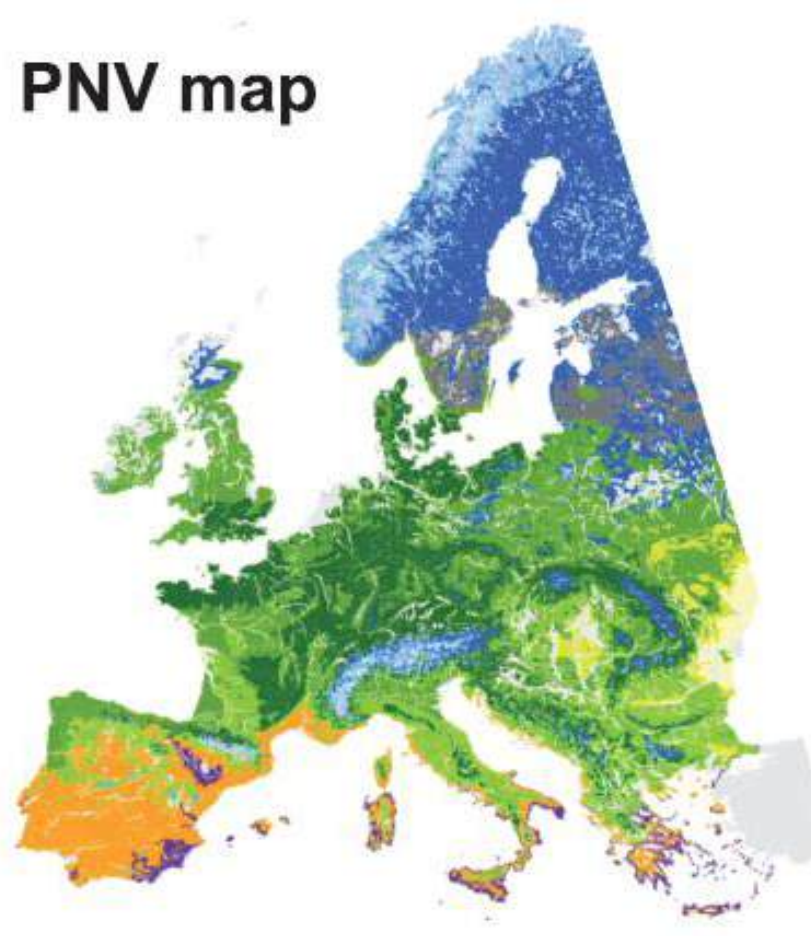


- dynamisches Vegetationsmodell (LPJ-Guess)
- Projektion und Veränderung der PNV bis 2085
- eine analytisch-hierarchische Ebene gröber als Hinze et al.: „Vegetationstyp“

Present-day

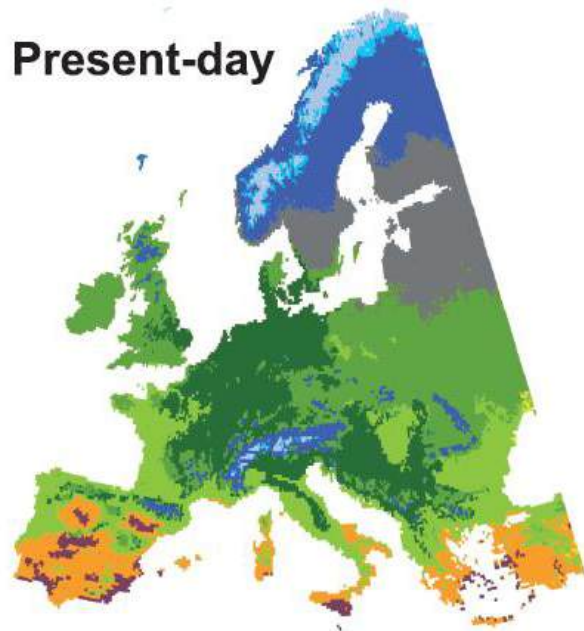


PNV map

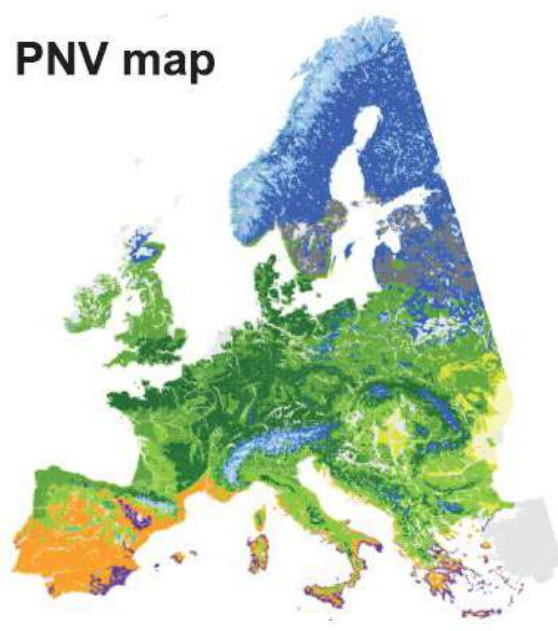


Hickler et al. (2012)

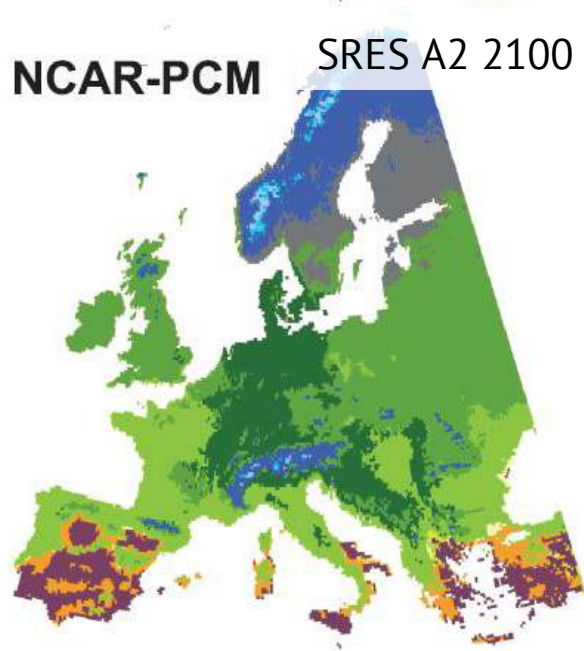
Present-day



PNV map

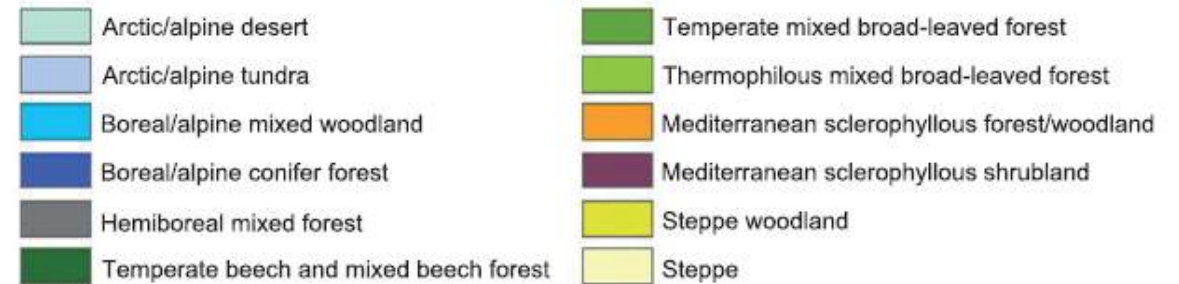
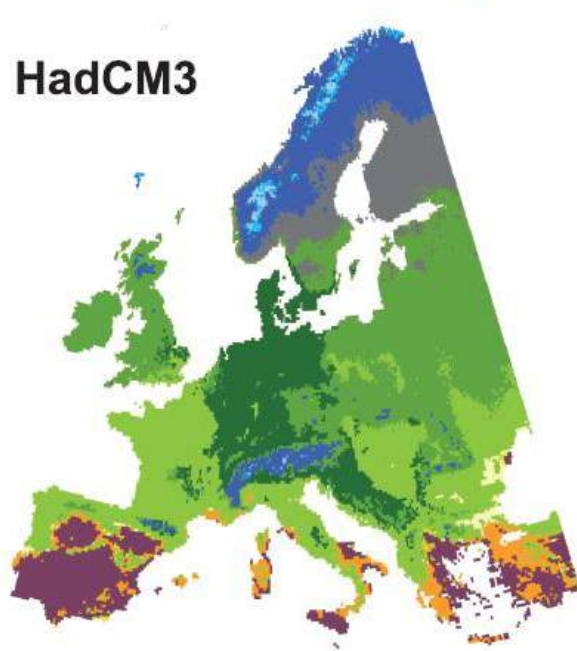


NCAR-PCM



SRES A2 2100

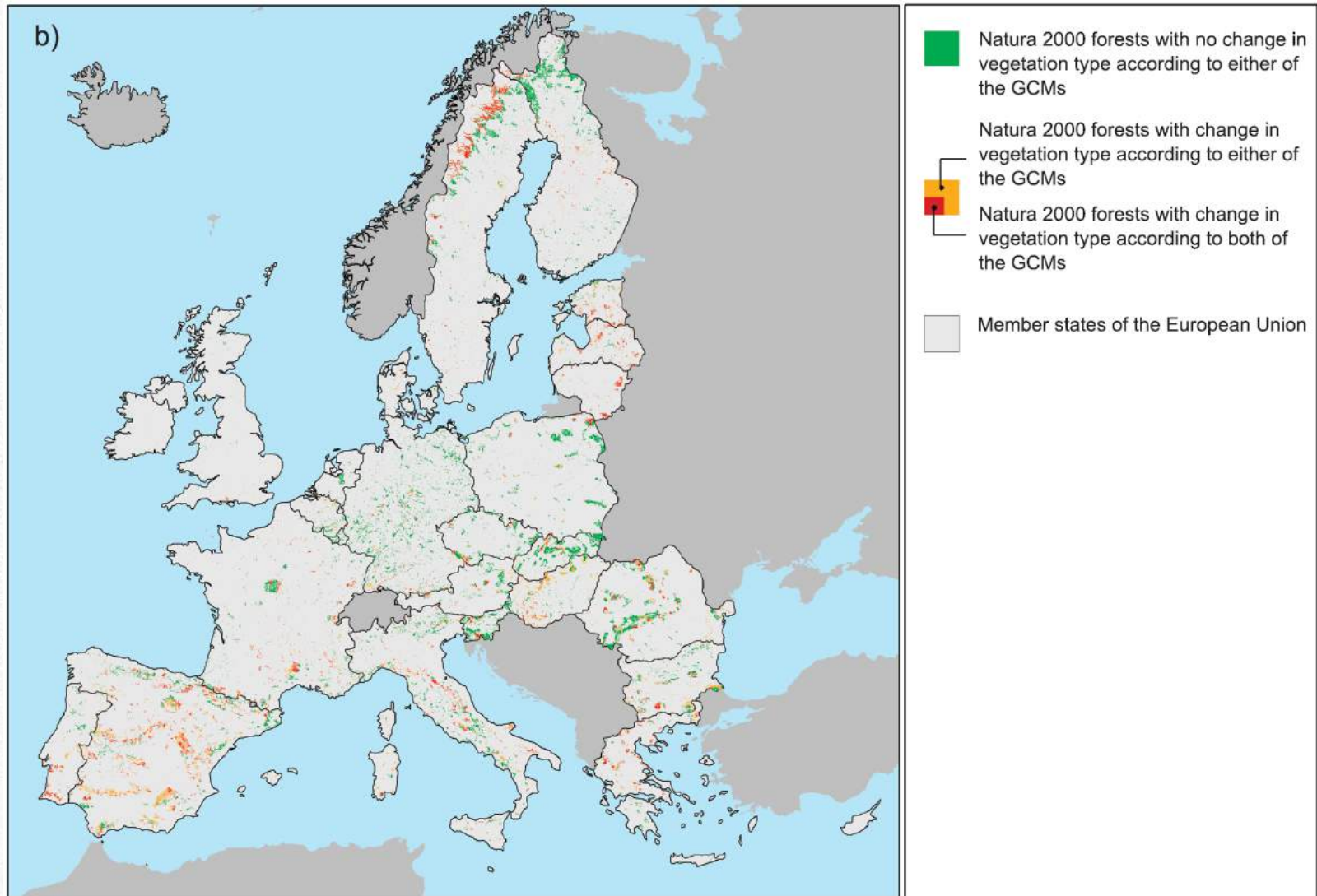
HadCM3



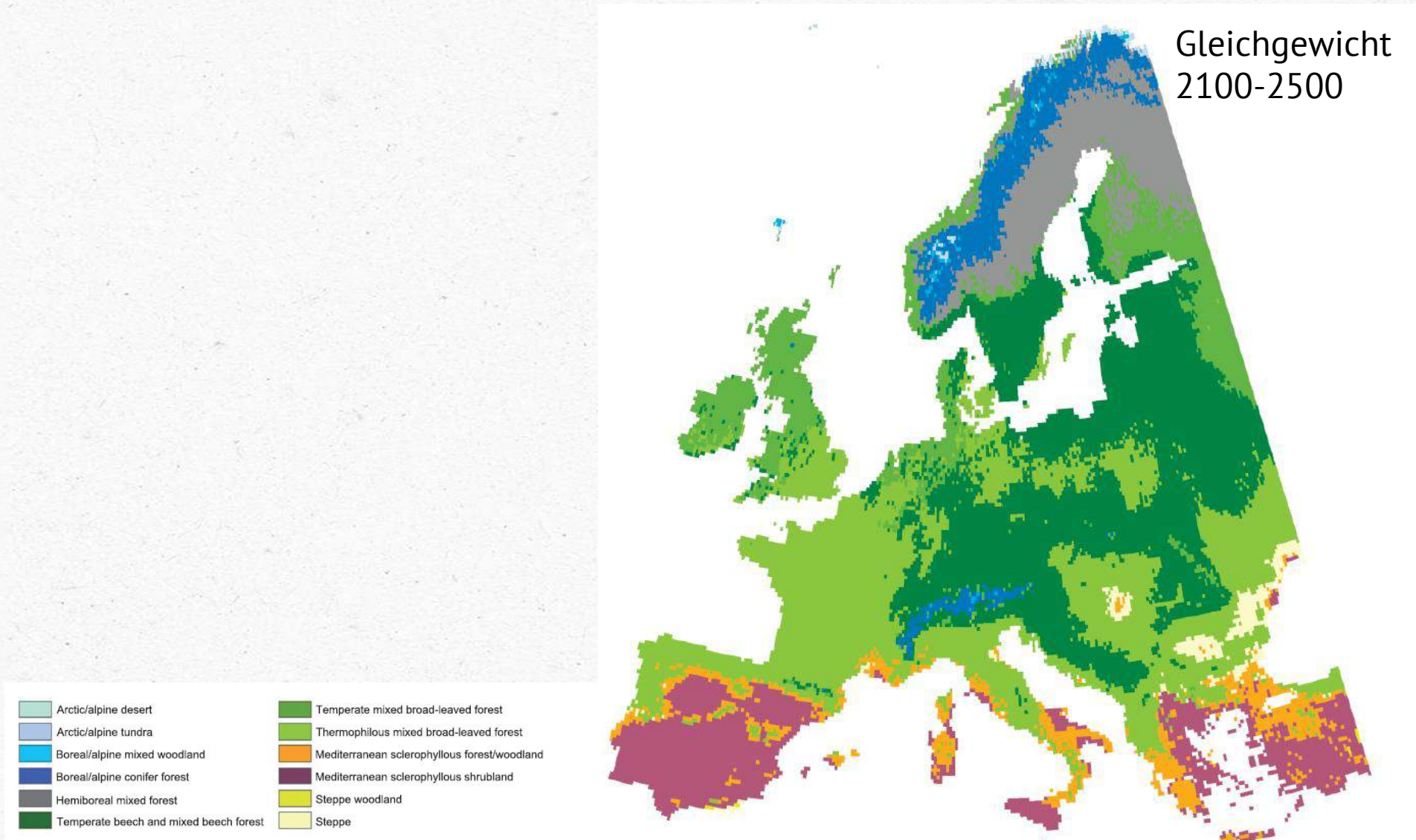
auf 31-42 % der europäischen Landfläche würde sich bis 2100 ein anderer Vegetationstyp ergeben
Schwerpunkte Nord- und Südeuropa

www.burgenlandflora.at
www.pt.wikipedia.org

Auswirkungen auf Natura 2000 Wald-Lebensraumtypen

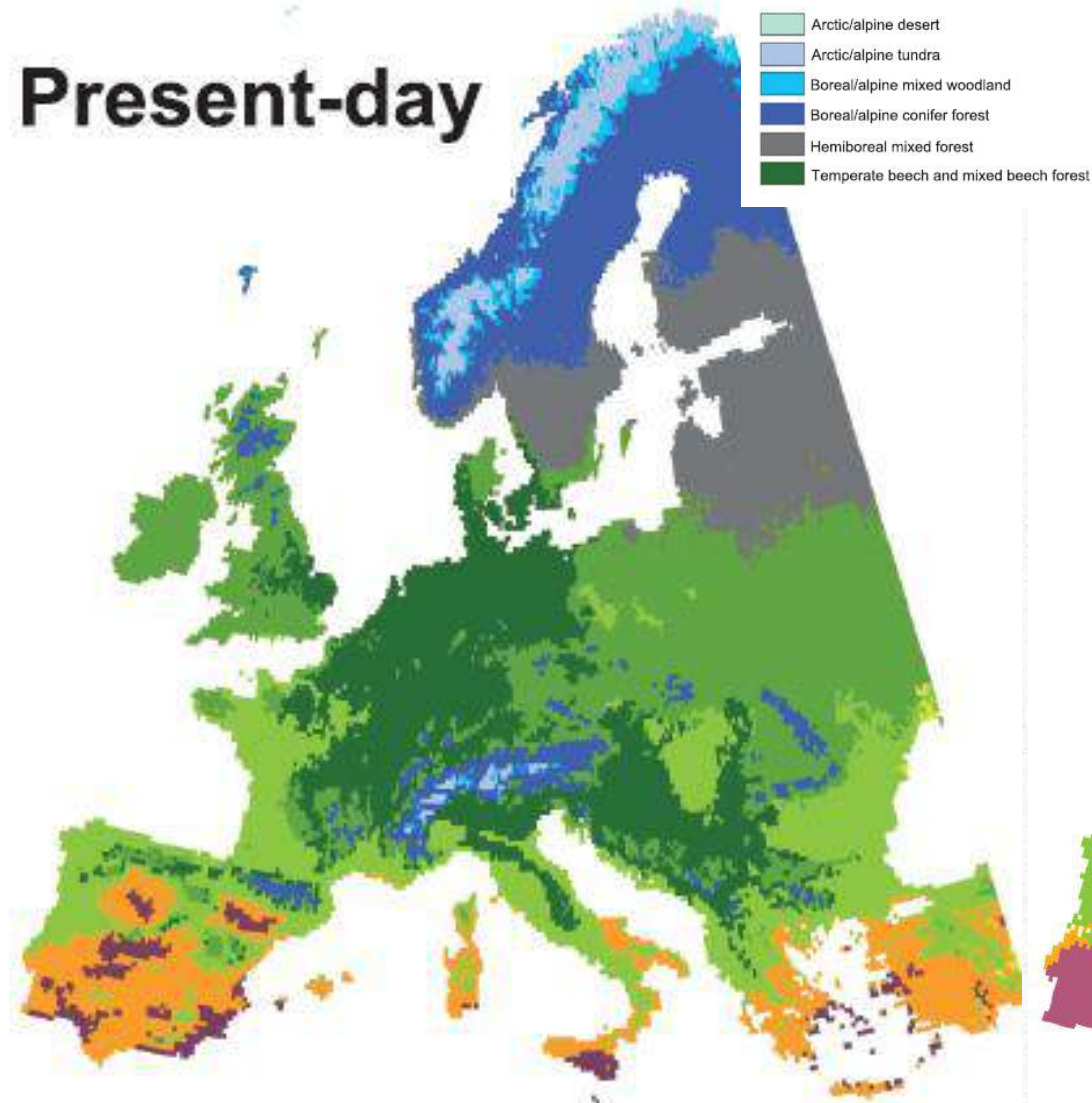


Langzeitsimulation

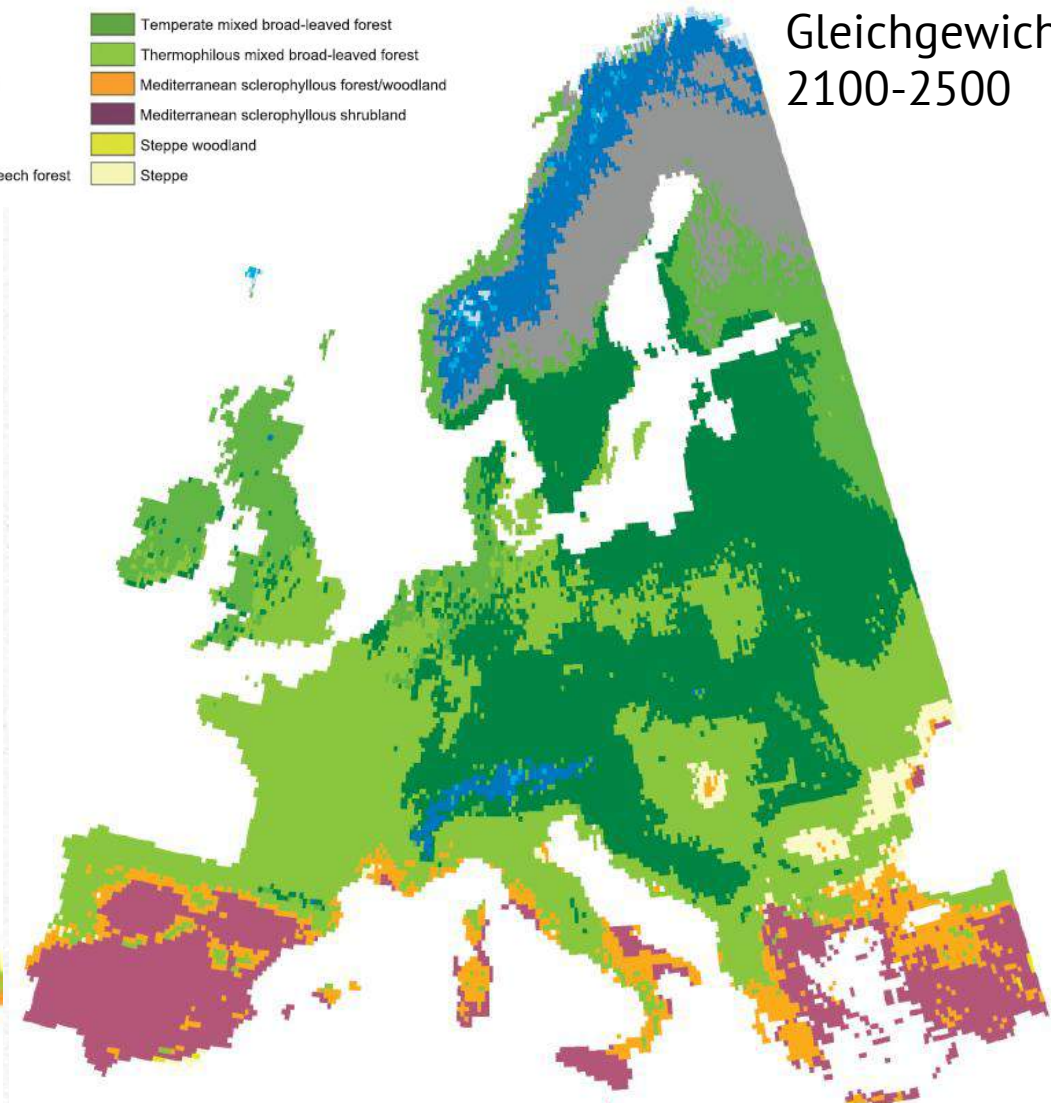


Langzeitsimulation

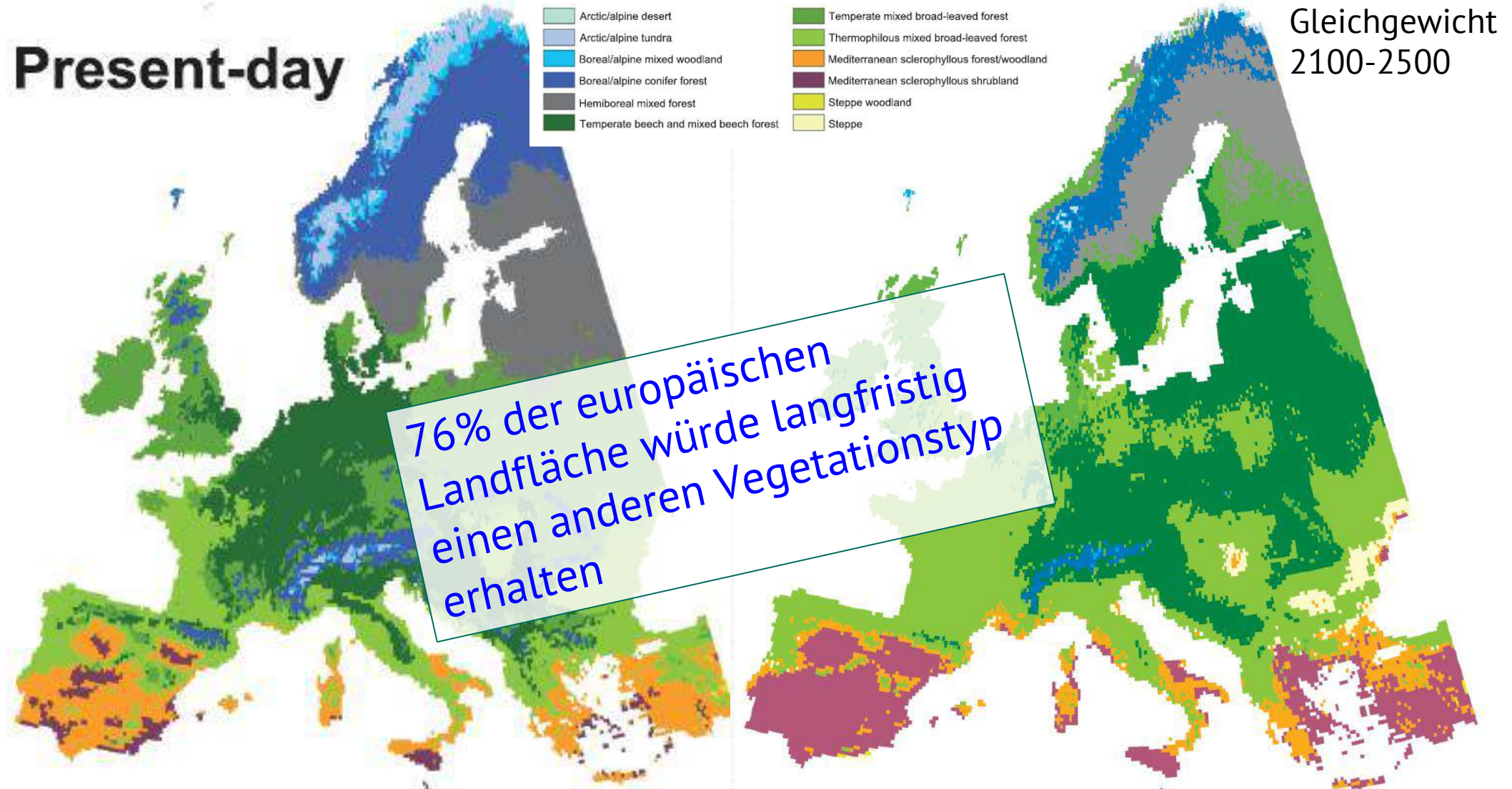
Present-day



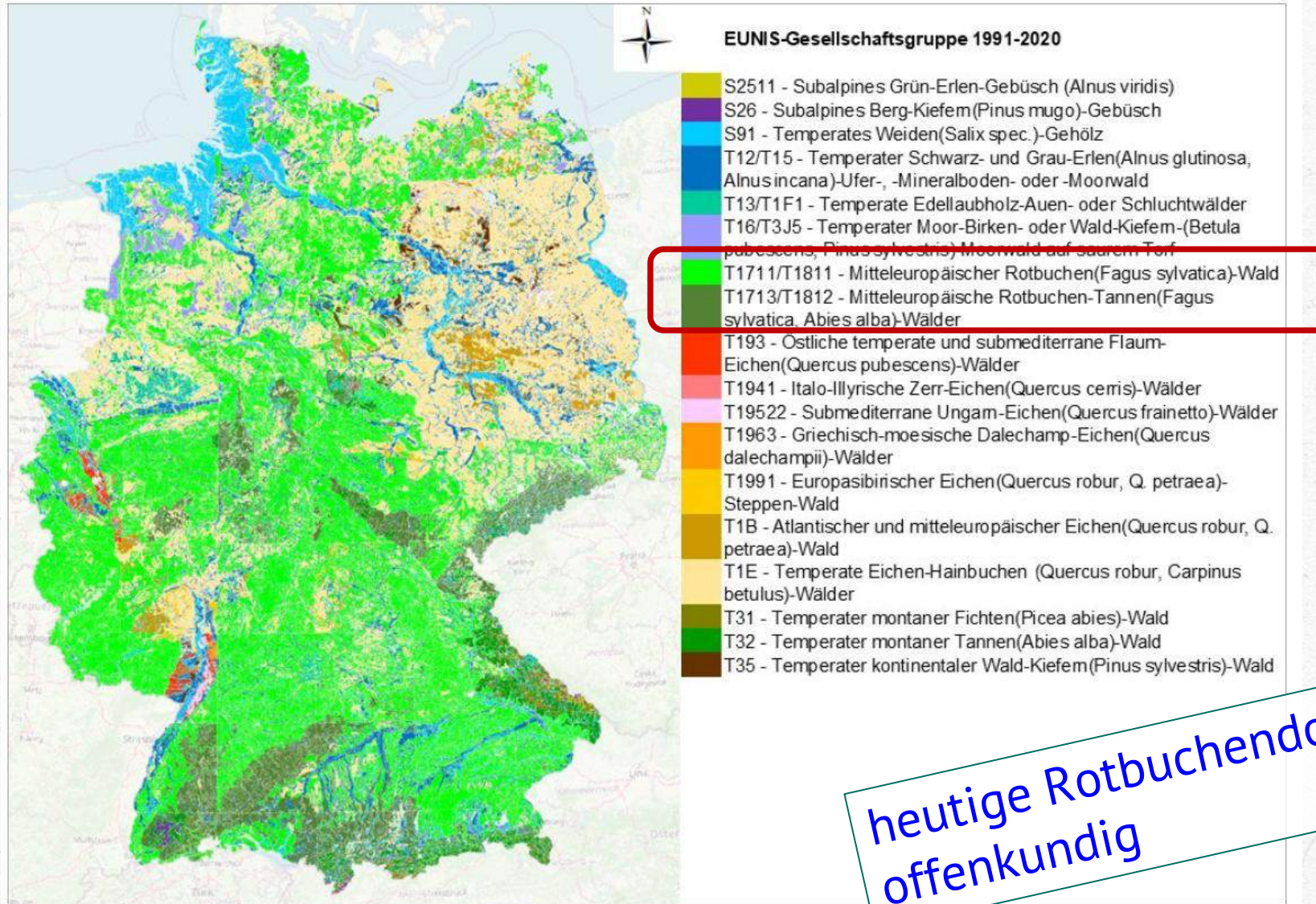
Gleichgewicht
2100-2500



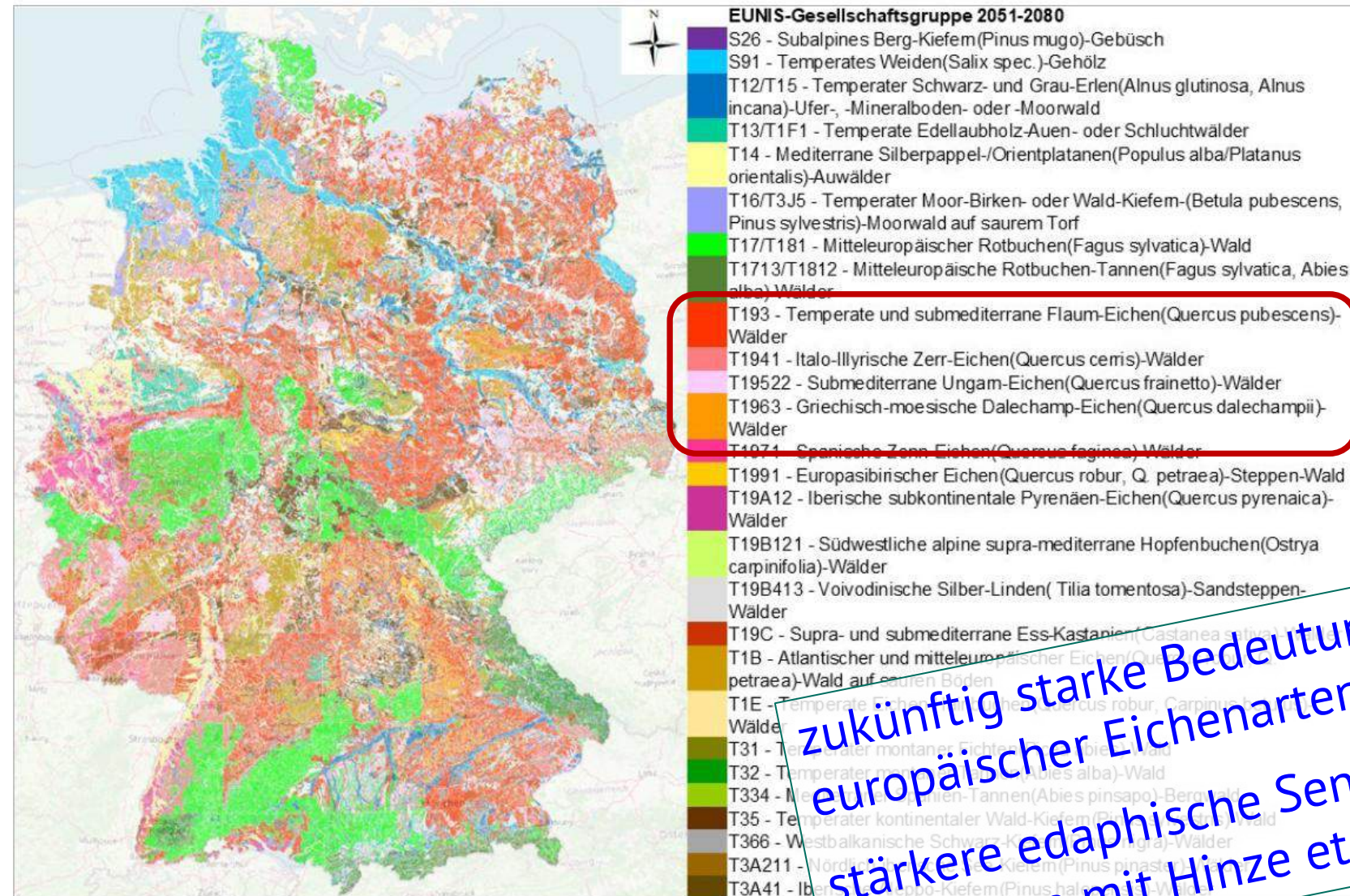
Langzeitsimulation:



„Leitwaldgesellschaften“ heute



„Leitwaldgesellschaften“ 2051-80 (RCP 8.5)



zukünftig starke Bedeutung süd(ost)-europäischer Eichenarten
stärkere edaphische Sensitivität
verglichen mit Hinze et al.

Auch Offenland-LRT unterliegen Änderungen

habitorientiert

Comparing modelling approaches at two levels of biological organisation

T. Bittner et al.

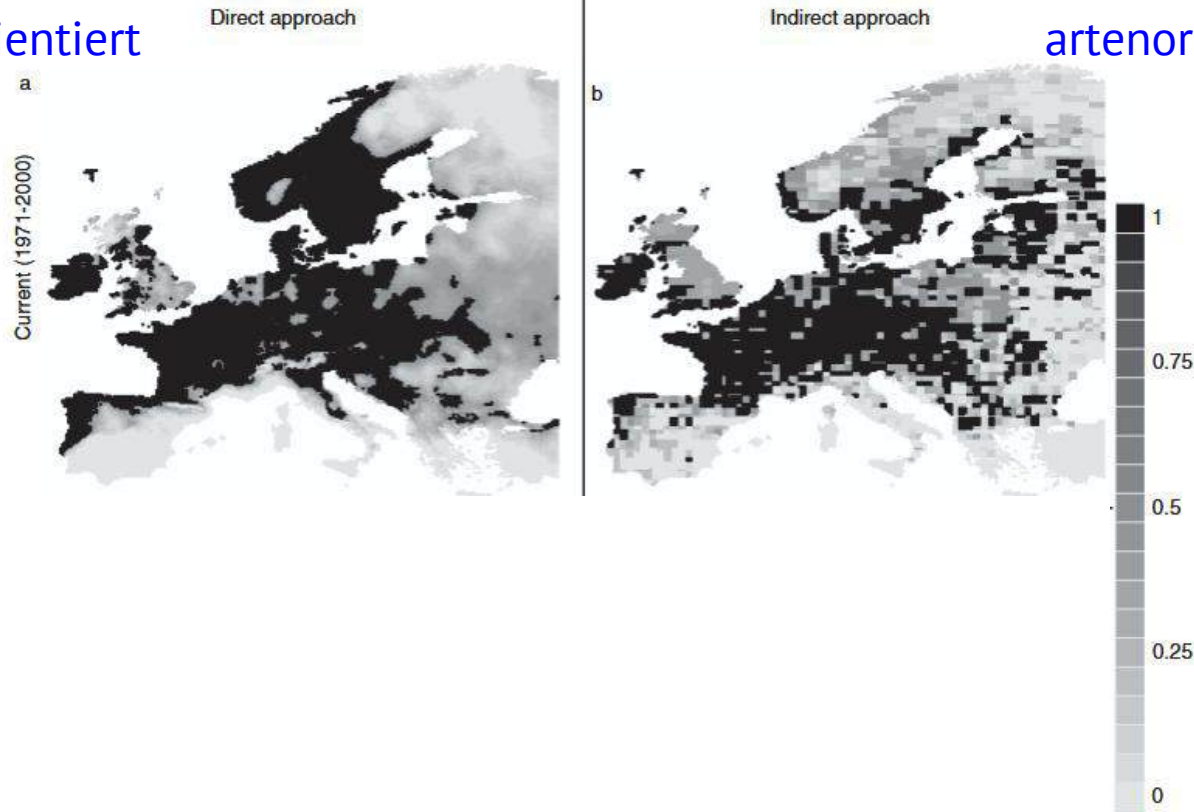


Fig. 3. Modelled occurrence probabilities of *Molina* meadows on chalk and clay (6410), based on GLM. The coarse-grained pattern in (b) results from the 50 km × 50 km resolution of species distributions in the Atlas Florae Europaeae. The future climate scenario is A2 based on the HadCM3 climate model. Future scenario maps show no dispersal ability. Black dots indicate the modelled occurrence, with thresholds: (a) 0.49, (b) 0.49, (c) 0.46 and (d) 0.42.

Bittner (2011) Comparing modelling approaches, JVS
Team Carl Beierkuhnlein, Biogeografie Uni Bayreuth

Auch Offenland-LRT unterliegen Änderungen

habitorientiert

Comparing modelling approaches at two levels of biological organisation

T. Bittner et al.

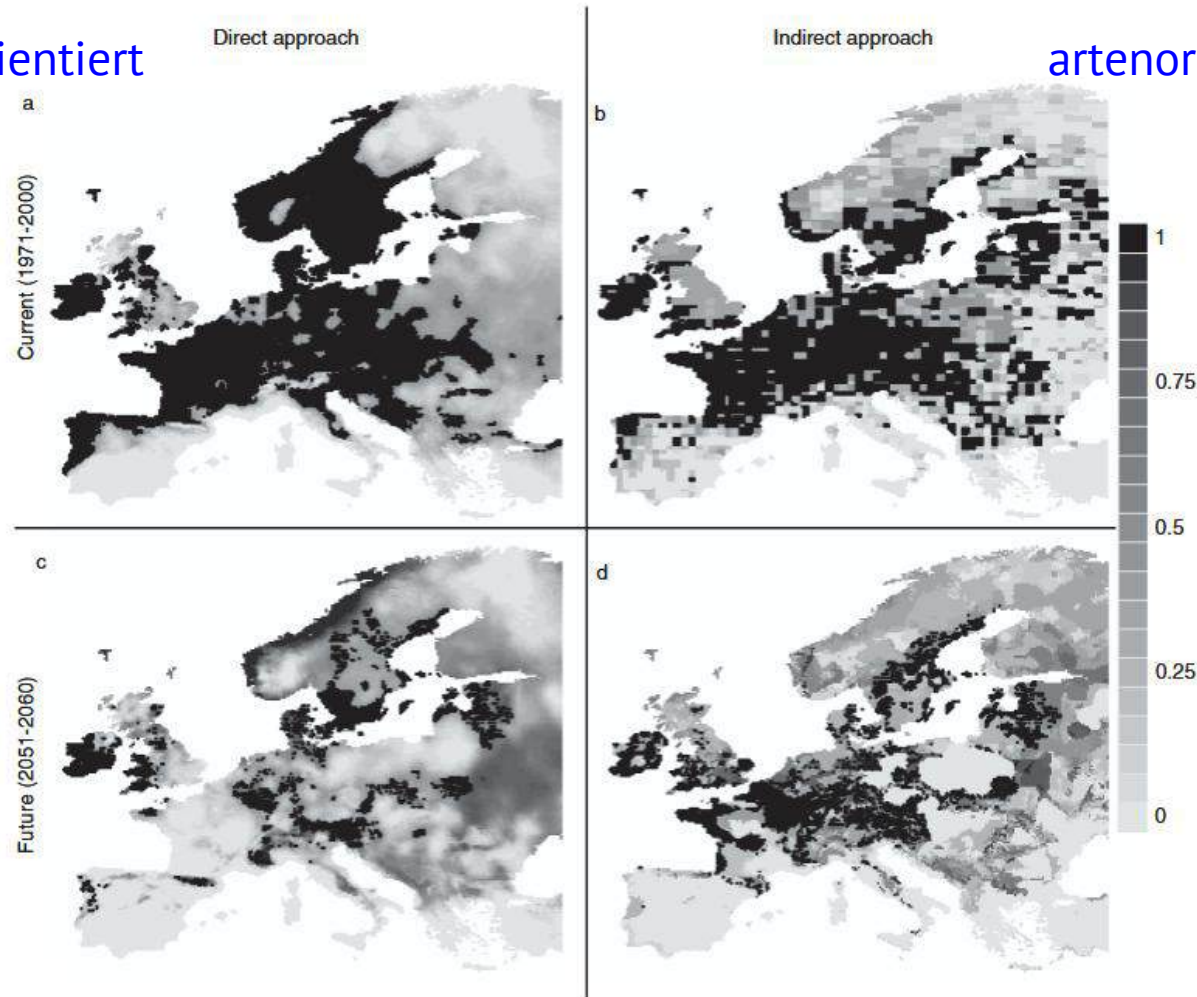


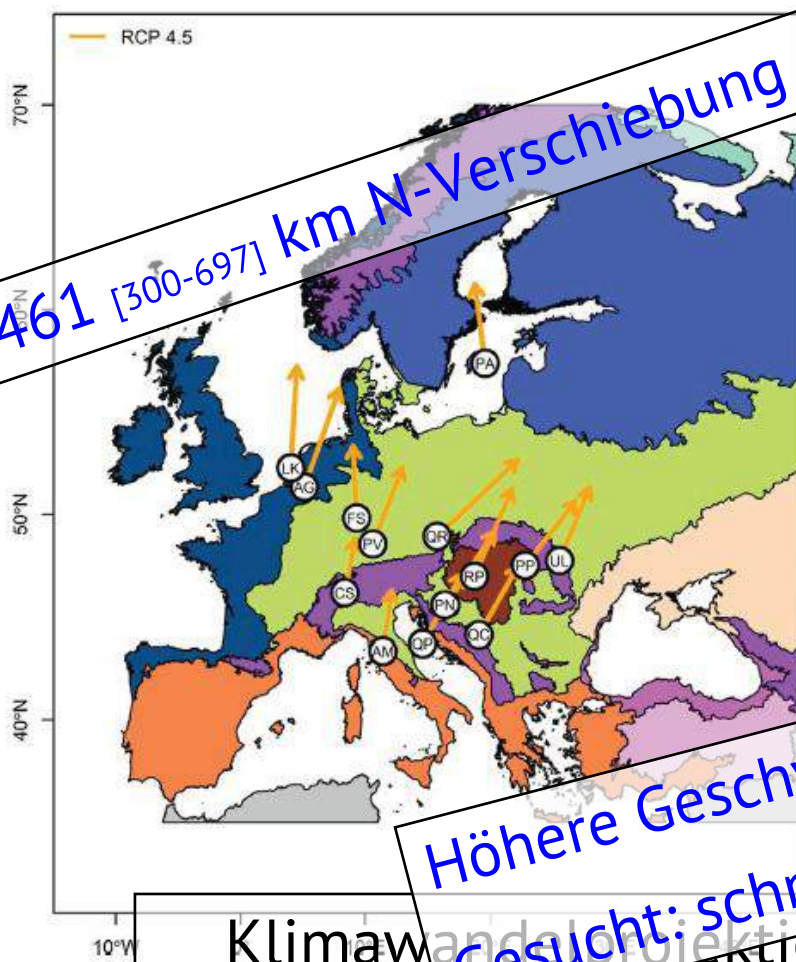
Fig. 3. Modelled occurrence probabilities of *Molina* meadows on chalk and clay (6410), based on GLM. The coarse-grained pattern in (b) results from the 50 km x 50 km resolution of species distributions in the Atlas Florae Europaeae. The future climate scenario is A2 based on the HadCM3 climate model. Future scenario maps show no dispersal ability. Black dots indicate the modelled occurrence, with thresholds: (a) 0.49, (b) 0.49, (c) 0.46 and (d) 0.42.

je nach methodischem
Ansatz: substantieller
Flächenverlust oder
Flächenverlagerung

Bittner (2011) Comparing modelling approaches, JVS
Team Carl Beierkuhnlein, Biogeografie Uni Bayreuth

Arealverschiebungen und postglaziale Migration

a) Shift of distribution area centroid



present day

330-700 km N-Verschiebung

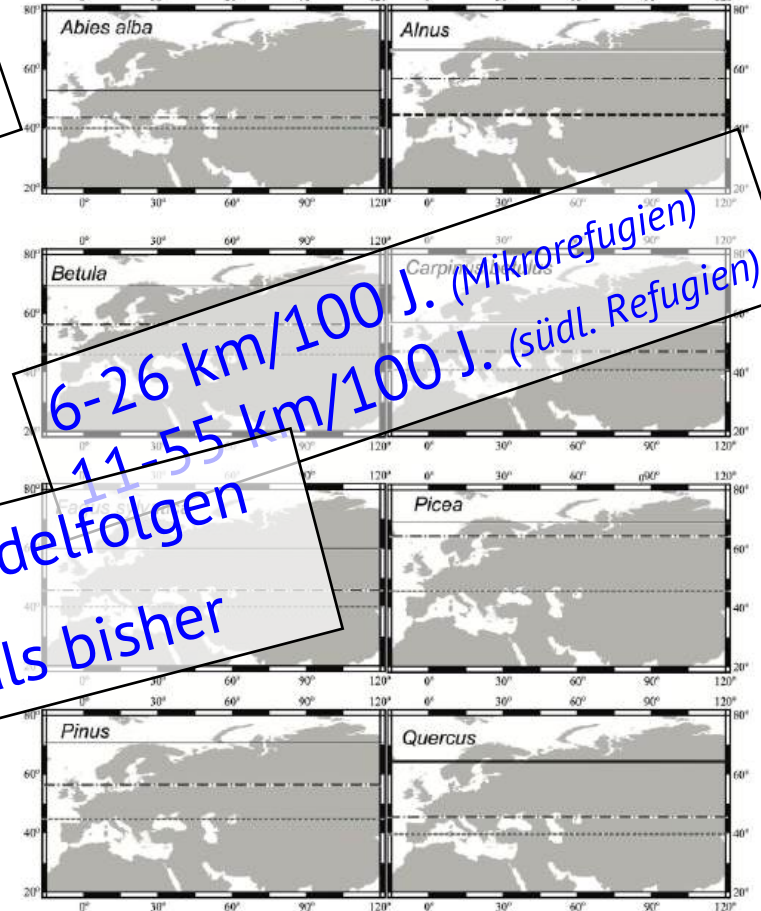
SRES B2

SRES A2

CE richness

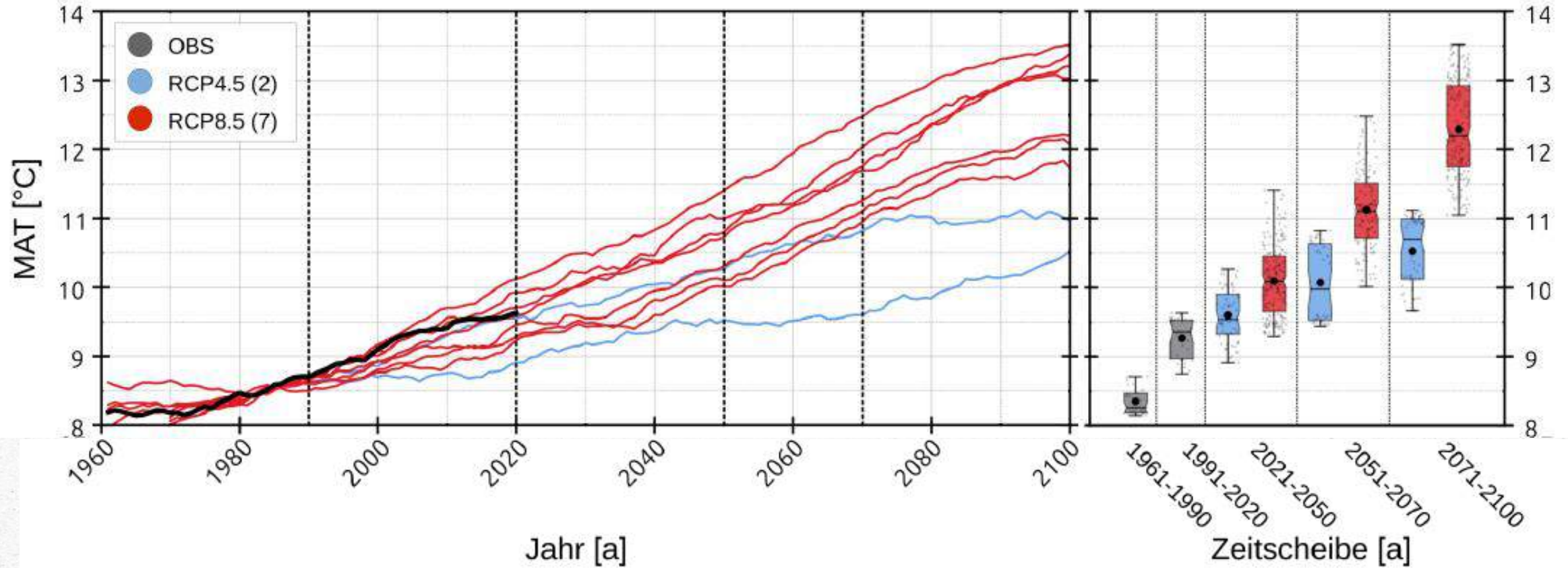


Höhere Geschwindigkeit der heutigen Klimawandelfolgen
Gesucht: schnellere Anpassungsmechanismen als bisher



Postglaziale Migration

Jahrestemperatur Deutschland *(bundesweites Projekt MultiRiskSuit)*



basierend auf Daten aus: Traiser, C., et al. (2026) Daily climate data from 1961 to 2100, Pangaea

globale CO₂-Emissionen: warten wir's ab



globale CO₂-Emissionen: warten wir's ab



Natürliche Vegetation im Klimawandel: Fazit

- Wälder haben sich schon immer den Umweltbedingungen angepasst, das werden sie auch weiter tun
- Europaweit ändern sich zukünftig die natürlichen Vegetations-Potenziale auf über 70% der Fläche
- In Deutschland könnte das natürliche Potenzial von buchendominierten Wäldern durch die Klimaerwärmung von 74 % auf 8% zurückgehen *(Hinze et al. 2023)*
 - Naturschutzkonzepte, Schutzgüter und Schutzgebiete dynamisieren
 - in N2000-Gebieten die Lebensraumtypen dynamisieren
- Die PNV-Klassen „wandern“ räumlich über mehrere hundert Kilometer in 50 Jahren
- Auf natürlichem Weg migrierten Baumarten bisher postglazial 6 - 50 km in 100 Jahren *(z.B. Feurdean 2013)*
 - das sind zwei sehr unterschiedliche Geschwindigkeiten für ausschließlich passive Anpassung
- Anpassungsmaßnahmen auf no-regret-Tauglichkeit prüfen
- Keine Baumart wird verschwinden oder ersetzt – es ändern sich „nur“ die Anteile *(langsam, europaheimische Baumarten, keine Invasiven)*
- Es gibt (erste) wissenschaftliche Ansätze, um Schutzgüter im Wald klimadynamisch abzubilden!!!

Literatur



Bittner, T., et al. (2011). "Comparing modelling approaches at two levels of biological organisation – Climate change impacts on selected Natura 2000 habitats." Journal of Vegetation science 22(4): 699–710.

Bohn, U., G. Gollub, C. Hettwer, Z. Neuhäuslová, T. Raus, H. Schlüter, H. Weber and S. Hennekens (2000). "Map of the natural vegetation of Europe." Scale 1(2): 500.

ESRI 2024: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/analytics/analytics/how-to-extract-raster-values-at-point-locations/>

Feurdean, A., et al. (2013). "Tree Migration-Rates: Narrowing the Gap between Inferred Post-Glacial Rates and Projected Rates." PLoS ONE.

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.

Hinze, J., et al. (2023). "Climate-Adapted Potential Vegetation - A European Multiclass Model Estimating the Future Potential of Natural Vegetation." Forests 14(2): 239.

Hinze, J., et al. (2024). "Veränderung der Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV)." AFZ - Der Wald 2024/15: 21-25.

McKenney, D. W., et al. (2007). "Potential Impacts of Climate Change on the Distribution of North American Trees." BioScience 57(11): 939–948.

Schlutow, A. and R. Gemballa (2025). "Leitwaldgesellschaften für den ökologischen Waldumbau in Deutschland unter den Bedingungen des Klimawandels (2 Teile)." Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz(23): 19–74.

Thurm, E. A., et al. (2018). "Alternative tree species under climate warming in managed European forests." Forest Ecology and Management 430: 485–497.

Traiser, C., et al. (2026). Daily climate data from 1961 to 2100 at potential sample grid points (approximately 4 x 4 km) of the German National Forest Inventory (NFI), PANGAEA.

Tüxen, R. Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. Angewandte Pflanzensoziologie 1956, 13, 4–42.

Dank Ihnen fürs Zuhören
...und den Autoren Jonas Hinze, Hans-Gerhard Michiels



Forstliche Versuchs-
und Forschungsanstalt
Baden-Württemberg



Landes
Forst
Verwaltung
BW

Kontakt: axel.albrecht@forst.bwl.de