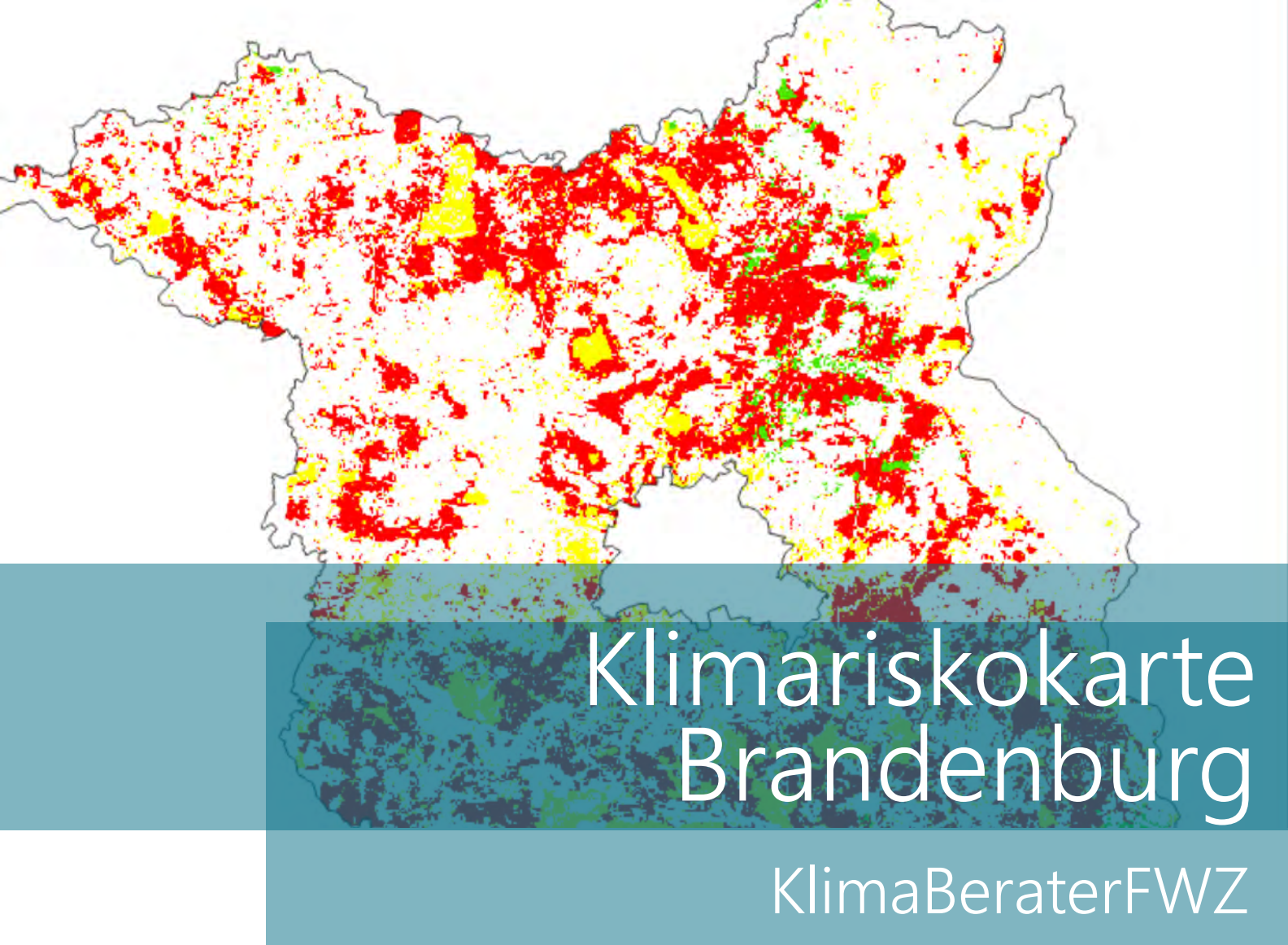




Klimariskokarte für die Klimaberatung für
Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse in Brandenburg

Bearbeitung:

Jonas Werle (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Matthias Dees (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)

Thomas Meyer (Forstwirtschaftliche Vereinigung Prignitz)

Eva Kehayova (UNIQUE forestry and land use)

Matthias Wenzel (UNIQUE forestry and land use)

Version:

1.0

Veröffentlichungsdatum:

25.06.2021



Dieses Dokument entstand im Rahmen des Projektes „Neue Beratungsleistungen für Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse - Klimaangepasste Bewirtschaftung im kleineren und mittleren Privatwald (KlimaBeraterFWZ)“. Das Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen des Waldklimafonds über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) gefördert. Fördernummer: 22WC507801.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Projektleitung:

Prof. Dr. Matthias Dees, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

Kontakt: matthias.dees@felis.uni-freiburg.de

Projektbeteiligte:

Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme

Institut für Forstwissenschaften

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Tennenbacher Straße 4,

D-79106 Freiburg.

www.felis.uni-freiburg.de

Forstwirtschaftliche Vereinigung Prignitz w.V.

Meyenburger Tor 75

16928 Pritzwalk

www.fv-prignitz.de

Forstwirtschaftliche Vereinigung Schwarzwald eG

Hauptstraße 38

77796 Mühlenbach

www.fvs-eg.de

Waldbesitzervereinigung Westallgäu e.V.

Austraße 29

88161 Lindenberg im Allgäu

www.wbv-westallgaeu.de

UNIQUE forestry and land use GmbH

Schnewlinstraße 10

79098 Freiburg

www.unique-landuse.de

Empfohlene Zitierung:

Werle, J. Kehayova, E., Wenzel, M., Meyer, T., Dees, M. (2021): Klimarisikokarte für die Klimabewertung für forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse in Brandenburg. Projektbericht. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen des Waldklimafonds über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR). Fördernummer: 22WC507801. 22 S.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Status quo – Klimarisikokarten in Deutschland	6
1.2	Zielsetzung	10
2	Material und Methoden	12
2.1	Datensätze	12
2.1.1	EU-Forest	12
2.1.2	WorldClim	13
2.1.3	Klimaänderungssignale	13
2.2	Klimaszenarien	14
2.3	Software	15
2.4	Modell	15
2.4.1	Datenaufbereitung	15
2.4.2	Das auf einem Generalisierten Additiven Model (GAM) basierende Referenzmodell	15
2.4.3	Vorhersage	16
3	Ergebnisse	17
3.1	Vorkommenswahrscheinlichkeit	17
3.1.1	Vorkommenswahrscheinlichkeit Buche	17
3.1.2	Vorkommenswahrscheinlichkeit Kiefer	18
3.1.3	Vorkommenswahrscheinlichkeit Traubeneiche	19
3.2	Abbildung Kategorisierung in Risikoklassen	20
3.2.1	Zwischenrisikoklasse basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit	20
3.3	End-Risikoklasse basierend auf der Stammnährkraftstufe	21
3.3.1	Anbaurisiko Buche	23
3.3.2	Anbaurisiko Kiefer	24
3.3.3	Anbaurisiko Traubeneiche	25
4	Fazit	26
5	Literaturverzeichnis	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene Klimarisikokarten innerhalb der Bundesländer ..	8
Tabelle 2: Übersicht der für die Modellierung verwendeten Datensätze.....	12
Tabelle 3: Zwischen-Risikoklassen basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit, beispielhaft für Buche dargestellt.	20
Tabelle 4: End-Risikoklassen basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit und Stamm-Nährkraftstufe des Standorts	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorhersage für Buche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	17
Abbildung 2: Vorhersage für Buche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	18
Abbildung 4: Vorhersage für Kiefer im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	19
Abbildung 5: Vorhersage für Traubeneiche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031- 2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	19
Abbildung 6: Vorhersage für Traubeneiche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031- 2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	20
Abbildung 7: Anbaurisiko Buche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).....	23
Abbildung 8: Anbaurisiko Buche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).....	23
Abbildung 9: Anbaurisiko Kiefer im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).....	24
Abbildung 10: Anbaurisiko Buche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	24
Abbildung 11: Anbaurisiko Traubeneiche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031- 2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	25
Abbildung 12: Anbaurisiko Traubeneiche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031- 2060 (links) und 2071-2099 (rechts).	25

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BHD	Brusthöhendurchmesser
RCP 4.5	Representative Concentration Pathways (Strahlungsantrieb 4.5 Wm ⁻² im Vergleich zum vorindustriellen Niveau)
RCP 8.5	Representative Concentration Pathways (Strahlungsantrieb 8.5 Wm ⁻² im Vergleich zum vorindustriellen Niveau)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
SRES	Second Report on Emission Scenarios
ReKliEs-De	Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland
DWD	Deutscher Wetterdienst
GAM	Generalisiertes Additives Modell
KlimaBera- terFWZ	Neue Beratungsleistungen für Forstwirtschaftliche Zusammen- schlüsse – Klimaangepasste Bewirtschaftung im kleineren und mittlere- ren Privatwald

1 EINLEITUNG

1.1 Status quo – Klimarisikokarten in Deutschland

Der Klimawandel stellt Waldbesitzende vor zunehmend große Herausforderungen bezüglich Kalamitäten, Dürre und Sturmereignisse. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach den „Baumarten der Zukunft“, die am besten an ein sich veränderndes Klima angepasst sind. In einigen Bundesländern existieren bereits Baumartenrisiko/-anbaueignungskarten als Datensätze oder Kartenmaterial, die eine Entscheidungshilfe für Förster und Waldbesitzende darstellen, auf deren Grundlage ein klimagerechter Waldumbau gestaltet werden kann. Diese variieren stark in Bezug auf die verwendeten Klimaszenarien sowie die Baumarten, die sie betrachten. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die vorhandenen Datensätze der einzelnen Bundesländer.

In zwei von drei Bundesländern der kooperierenden Forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse des Projekts KlimaberaterFWZ, Bayern und Baden-Württemberg, sind solche Entscheidungshilfen bereits vorhanden.

In Baden-Württemberg existieren bereits zwei Generationen von Anbaueignungskarten. Version 1.0 stellte die Anbaueignung für die vier Hauptbaumarten Fichte, Weißtanne, Buche und Traubeneiche basierend auf dem Klimaszenario B2 für das Jahr 2010, als Referenz für das Klima der Gegenwart und das Klima für 2050 als Prognose für die Zukunft dar (Hanewinkel et al., 2010, Albrecht 2016). Die neueste Generation der Karten, Version 2.0, basiert auf den neusten RCP-Klimaszenarien (4.5 und 8.5) und prognostiziert die Anbaueignung der zuvor erwähnten Hauptbaumarten für die nahe Zukunft (2021-2050) sowie die ferne Zukunft (2071-2100) (Albrecht et al., 2019, Cullman 2019).

In Bayern gibt es Klimarisikokarten für 21 verschiedene Baumarten, die auf dem IPCC Szenario B1 beruhen. Diese sind für die Zeitschnitte 1971-2000 (Klima der Gegenwart) und 2071-2100 (Klima der Zukunft) verfügbar.

In Brandenburg, dem dritten Bundesland im Bunde der Forstwirtschaftlichen Zusammenschlüsse im Projekt KlimaberaterFWZ, existieren zum jetzigen Zeitpunkt keine Klima- „Risikokarten“, vergleichbar mit den beiden zuvor beschriebenen Datensätzen.

Zeitgleich mit dem hier entwickelten Ansatz wurde von Riek et al. (2020) ebenfalls ein Verfahren entwickelt, das nicht mit einer Karte, dafür aber mit Empfehlungen für forstliche Standorte arbeitet. Für 19 Baumarten stehen Karten mit Empfehlungswahrscheinlichkeiten für die Perioden 2051-2060 und 2091-2100 zur Verfügung. Grundlage dieser Wahrscheinlichkeitseinschätzung sind empirische Kenntnisse über die aktuelle Beziehung zwischen Bestandeszieltypen und Standortseigenschaften, wie Wasserverfügbarkeit, Wärmehaushalt und Nährstoffversorgung. Die Projektion der Empfehlungswahrscheinlichkeiten in die Zukunft erfolgte mit Hilfe des IPCC Klimaszenarios SRES A1B.

Die im Zuge des Projekts KlimaberaterFWZ entwickelte Baumartenrisikokarte für das Bundesland Brandenburg unterscheidet sich von dem von Riek et al. (2020) entwickelten Ansatz in einigen Punkten. Zum einen wurden in unserer Modellierung die modernsten RCP-Klimaszenarien berücksichtigt, während Riek et al. (2020) das etwas ältere SRES A1B Szenario verwenden, das als moderates Szenario gilt. Die Verwendung der aktuellen Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5 war uns bei der Erstellung der Klimarisikokarte sehr wichtig, um ein möglichst realistisches Bild durch die Modellierung als Entscheidungshilfe zu produzieren.

Des Weiteren berücksichtigt die im Rahmen von KlimaberaterFWZ entwickelte Klimarisikokarte die standörtlichen Eigenschaften Nährstoffausstattung und die Wasserversorgung in einem einfachen Ansatz. Riek et al. (2020) hingegen berücksichtigen in ihrer Arbeit diese Aspekte differenzierter. Auch die Wasserverfügbarkeit und der Wärmehaushalt werden berücksichtigt.

Trotz unterschiedlicher Herangehensweisen sind beide Ansätze nicht redundant, sondern können komplementär zueinander betrachtet werden. Während der Ansatz von Riek et al. (2020) Empfehlungswahrscheinlichkeiten präsentiert, weist unser Ansatz einer Baumart ein konkretes Klimarisiko zu. Dieser Ansatz war ein besonderes Anliegen, um Vergleichbarkeit mit den bereits vorhandenen Produkten der anderen Bundesländer im Projekt zu schaffen. Unterschiedlich wird auch die empirische Verbreitung der Baumarten in Europa berücksichtigt: dies fließt in dem hier präsentierten Verfahren stärker ein.

Auch für andere Bundesländer gibt es bereits vielfältige Entscheidungshilfen. Für Schleswig-Holstein, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen und Hessen stehen Klimarisikokarten für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche und Traubeneiche für das IPCC Szenario RCP 8.5 zur Verfügung (Bialozyt et al., 2018).

Ebenfalls auf den neuesten RCP-Szenarien (4.5 und 8.5) beruhen die forstlichen Standortkarten in Nordrhein-Westfalen, die für 16 Baumarten für die Zeitperiode 2017-2100 verfügbar sind (Geologischer Dienst NRW, 2020).

Während für einige Bundesländer schon Klimakarten basierend auf den aktuellen Szenarien zur Verfügung stehen, beruhen die Entscheidungshilfen für die Bundesländer Rheinland-Pfalz, Sachsen und Thüringen auf älteren, mittlerweile überholten Szenarien.

Für Rheinland-Pfalz sind Klimateignungskarten für die Baumarten Traubeneiche, Buche, Fichte, Douglasie und Kiefer vorhanden. Diese basieren auf dem A1B Szenario und sind für die Gegenwart (1972-2000), für ein normales A1B Szenario (2021-2050) und für ein trockenes A1B Szenario (2071-2100) verfügbar (Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten, 2019).

Für Sachsen liegen Forstliche Klimastufen auf Basis des B1 Szenarios für 1971-2000 (Basislima) und für 2091-2100 (Prognoselima) für verschiedene waldbaulich relevante Baumarten vor (Gamballa et al., 2007).

Tabelle 1: Übersicht über verschiedene Klimarisikokarten innerhalb der Bundesländer

Bundesland	Art des Datensatzes	Baumarten	Klimaszenarien	Zeitraum	Verfügbarkeit
Bayern	Anbauriskokarten	21 Baumarten	IPCC Szenario B1	1971-2000; 2071-2100	Vektordatensatz (https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a94_b%C3%A4ume_f%C3%BCr_die_zukunft-baumarten-wahl_auf_wissenschaftlicher_grundlage_bf_gesch.pdf)
Baden-Württemberg	Klimarisikokarten	Buche, Traubeneiche, Weißtanne, Fichte	IPCC Szenarien RCP4,5 und RCP8,5	2021-2050; 2071-2100	Rasterdatensatz (https://www.fva-bw.de/daten-und-tools/geodaten/klimakarten/klimakarten-10?tx_gdvascripts_scriptwrap-per%5Bscript_file%5D=klimakarten.html&cHash=c28b485774e1d22b2069fcd2fa099106)
Berlin	/	/	/	/	
Brandenburg	Karten mit Anbauempfehlungswahrscheinlichkeiten	16 Baumarten	IPCC Szenario 1AB	2091-2100	Rasterkarten (https://www.researchgate.net/profile/Winfried_Riek/publication/347742112_Zur_Abschätzung_des_standortlichen_Anbauriskos_von_Baumarten_im_Klimawandel_im_nordostdeutschen_Tiefeland/links/5fe37680299bf140883a3390/Zur-Abschätzung-des-standortlichen-Anbauriskos-von-Baumarten-im-Klimawandel-im-nordostdeutschen-Tiefeland.pdf)
Bremen	/	/	/	/	
Hamburg	/	/	/	/	
Hessen	Klimarisikokarten	Buche, Traubeneiche, Douglasie, Fichte, Kiefer	IPCC Szenario RCP8,5	1981-2010; 2041-2070	Vektorkarten (https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2018/Bialozyt_Spellmann_2018_Klimaschutzplan_Hessen_hessenforst-imdialog.pdf)
Mecklenburg-Vorpommern	/	/	/	/	
Niedersachsen	Klimarisikokarten	Buche, Traubeneiche, Douglasie, Fichte, Kiefer	IPCC Szenario RCP 8,5	1981-2010; 2041-2070	Vektorkarten (https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2018/Bialozyt_Spellmann_2018_Klimaschutzplan_Hessen_hessenforst-imdialog.pdf)

Nordrhein-Westfalen	Forstliche Standortkarte	19 Baumarten (u.a. Kiefer, Traubeneiche, Buche)	IPCC Szenarien RCP4,5 und RCP8,5	2017-2100	Rasterkarten (https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/geologie/boden/BK/ISFSK50RCP45/ISFSK50RCP45_EPSG25832_Geodatabase.zip (RCP4.5) http://www.gis-rest.nrw.de/atomFeed/rest/atom/b634b3bb-3ab3-4b27-9d2d-c6d1e41988fe/2b1455f2-44a3-4282-ac5d-ad2362b2aa69.html (RCP8.5))
Rheinland-Pfalz	Klimaeignungskarten	Traubeneiche, Buche, Fichte, Douglasie, Kiefer	IPCC Szenarien A1B-normal; A1B-trocken	1971-2000; 2021-2050; 2071-2100	Rasterkarten (http://www.kwis-rlp.de/fileadmin/website/klimakompetenzzentrum/Klimawandelinformationssystem/Handlungsfelder/Wald/Klimaeignungskarten_HBA.pdf)
Saarland	/	/	/	/	
Sachsen	Forstliche Klimastufen	Nicht spezifiziert	IPCC Szenario B1	1971-2000; 2091-2100	Rasterkarten (http://www.waldundklima.de/klima/klima_docs/gemballa_etal_afz_2007_klimagliederung.pdf)
Sachsen-Anhalt	Klimarisikokarten	Buche, Traubeneiche, Douglasie, Fichte, Kiefer	IPCC Szenario RCP8,5	1981-2010; 2041-2070	Vektorkarten (https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2018/Bialozyt_Spellmann_2018_Klimaschutzplan_Hessen_hessenforst-imdialog.pdf)
Schleswig-Holstein	Klimarisikokarten	Buche, Traubeneiche, Douglasie, Fichte, Kiefer	IPCC Szenario RCP8,5	1981-2010; 2041-2070	Vektorkarten (https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2018/Bialozyt_Spellmann_2018_Klimaschutzplan_Hessen_hessenforst-imdialog.pdf)
Thüringen	Klimarisiko Diagramme	13 Baumarten	IPCC Szenario B2	1971-2000; 2021-2050	Diagramme (https://www.researchgate.net/profile/Ingolf_Profft/publication/242530917_Waldbauliche_Konsequenzen_fur_Thuringen/links/0c960529dba9b2dcd0000000/Waldbauliche-Konsequenzen-fuer-Thuringen.pdf?_sg%5B0%5D=580YU3bjVs5jlac-xMshCyob-HOH0JtWsS-MeQ3Q4X8lCrzYxiN8ihr3amy2RFGNIOW6HEY0xUo3QxyVXRNb5qg.zQRZ-rfgKRepHEG6cEYfvleq-ZPB8lEsbzakFayo9HV3FiiTC9Qn-ujbhYh-zrxcAR-hsrMq-J7XWcgluGu2Rw3Q&_sg%5B1%5D=YTFccQwo6vsWGkLYYj-WhuHd7VeBfPOpV9_Rxi80up-liCDrM4aVHlaX5BI0VcKIQdMWnI4AyJP4BjqESha1i9nJzRYGgDBYL69-)

1.2 Zielsetzung

Die Identifikation klimakritischer Waldbestände ist wesentlicher Bestandteil des Projektes „KlimaBeraterFWZ“

Im Rahmen des Projekts „KlimaBeraterFWZ“ steht die Identifikation und Beschreibung klimakritischer Bestände mit anschließender Maßnahmenplanung im Fokus. Die Identifikation des Bestandes-Risikos stützt sich vor allem auf den Abgleich der ausgewiesenen Bestände mit Klimarisiko-/Baumarteneignungskarten. Für Baden-Württemberg und Bayern existieren solche Karten bereits. Für Brandenburg gibt es solche Karten zum jetzigen Zeitpunkt allerdings noch nicht, was die Erkennung klimakritischer Bestände erschwert. Ziel war es, im Rahmen des Projekts „KlimaBeraterFWZ“ eine vereinfachte Klimarisikokarte für Brandenburg zu erstellen.

Brandenburg und Klimawandel

In Brandenburg wird derzeit ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,3 °C seit 1881 mit gleichzeitig mehr Sommertagen und weniger Frosttagen beobachtet. Kurzfristig (2021 – 2050) rechnet man mit einer landesweiten Erwärmung (im Mittel) zwischen 1,1 und 1,5 °C (DWD, 2019).

Arbeitsschritte bei der Erstellung der Klimarisikokarte für Brandenburg

Die Erstellung der Klimarisikokarte ist ein zweistufiger Prozess:

In einem ersten Schritt wird pro Baumart ein Artverbreitungsmodell erstellt. Im Fokus der Modellierung stehen dabei die Baumarten Kiefer, Buche und Traubeneiche.

Das Modell berücksichtigt die aktuelle Baumartenverbreitung innerhalb Europas und versucht, diese anhand von verschiedenen Variablen des rezenten Klimas in einem mathematischen Schätzmodell zu beschreiben. Grundlage bildet der Datensatz von Mauri et al. (2017), der auf europäischen Nationalinventurdaten beruht. Für die Modellierung der Baumarteneignung der Zukunft unter veränderten Klimabedingungen ist es wichtig zu wissen, wo kommt die jeweilige Baumart unter dem Klima des 20. Jahrhunderts in Europa vorkommt und „gedeiht“. Wird nun ein bestimmtes Klima für Standorte in Brandenburg vorhergesagt, kann dann aus den Orten in Europa, an denen dieses Klima im 20. Jahrhundert anzutreffen war, und aus dem Baumartenvorkommen an diesen Orten in Europa darauf geschlossen werden, ob und wie sehr an diesen Standorten in Brandenburg eine Baumart überlebensfähig ist.

Dieses Referenzmodell bildet die Grundlage für die Modellierung der zukünftigen Baumarteneignung unter veränderten klimatischen Bedingungen. Diese Vorhersage wird dann in einem 2. Schritt nach örtlichen bodenkundlichen Standortseigenschaften (der Stammnährkraftstufe und der Stammfeuchtestufe des nordostdeutschen forstlichen Standortskundeverfahrens) angepasst.

Anschließend wird mit Hilfe des Referenzmodells die zukünftige Baumartenverbreitung für Brandenburg unter einem veränderten Klima vorhergesagt. Das veränderte Klima wird durch eine Änderung innerhalb der Klimavariablen in Bezug auf das heutige Klima beschrieben. Diese Änderung variiert je nach Szenario. Berücksichtigt werden die Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5.

Für jede der Baumarten soll deren Eignung für die mittlere Zukunft (2031-2060), sowie die ferne Zukunft (2071-2099) modelliert werden.

Am Ende des Artverbreitungs-Modells steht eine Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1. Die Wahrscheinlichkeit steht dabei synonym für die Eignung einer Baumart an einem bestimmten Standort. Je kleiner der Wert ist und je mehr sich der Wert der Null nähert, umso unwahrscheinlicher ist das Auftreten, je größer der Wert ist und je mehr sich der Wert der 1 nähert, umso wahrscheinlicher ist nach dem Modell das Vorkommen der Baumart an einem bestimmten Ort. Basierend auf dieser Wahrscheinlichkeit findet eine vorläufige Kategorisierung der Anbaueignung statt.

Einbindung der Standortkartierung für genauere Ergebnisse

Um neben dem Klima auch pedologische Eigenschaften zur Beurteilung der Anbaueignung zu berücksichtigen, wird die forstliche Standortkartierung in Brandenburg herangezogen.

Die vorläufige Anbaueignung, ausschließlich basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit wird dadurch weiter verfeinert und ergibt die dem dargestellten Ansatz entsprechende, „endgültige“ Anbaueignung einer Baumart.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Datensätze

Für die Erstellung des Klimarisiko-Modells wurden verschiedene Datensätze berücksichtigt. Diese werden in den folgenden Absätzen kurz vorgestellt. Tabelle 2 gibt ergänzend eine Kurzübersicht.

Tabelle 2: Übersicht der für die Modellierung verwendeten Datensätze

Datensatz	Inhalte	Quelle
EU-Forest	Baumartenvorkommen für Europa, basierend auf europäischen NFI-Daten	Mauri et al. (2017) https://www.nature.com/articles/sdata2016123
BioClim Variablen (WorldClim – Global Climate Data, Version 2.0)	Variablen: BIO1 Jahresdurchschnittstemperatur BIO10 Durchschnittstemperatur des wärmsten Quartals BIO18 Niederschlag des wärmsten Quartals	https://www.worldclim.org/bioclim
Klimaänderungssignale für RCP Szenarien 4.5 und 8.5	Klimaänderungssignale in Bezug auf die Referenzperiode 1971-2000 (in °C für Temperatur und in Prozent für Niederschlag) für folgende Variablen: Jahres-Durchschnittstemperatur Durchschnittstemperatur des wärmsten Quartals Niederschlag des wärmsten Quartals und für folgende Szenarien: RCP Szenarien: 4,5 und 8,5 und folgende Zeitscheiben: 2031-2060; 2071-2099	Deutscher Wetterdienst

2.1.1 EU-Forest

EU-Forest ist ein Datensatz, der die Verteilung europäischer Baumarten beschreibt (Mauri et al., 2017). Diese Daten wurden auf Basis von Inventurpunktdaten von nationalen Waldinventuren in europäischen Ländern in einem 1 x 1 km Gitter zusammengestellt und stehen frei zum Download verfügbar. Von Relevanz für die Erstellung der Baumartenrisikokarte Brandenburg sind die Baumarten Kiefer, Buche und Traubeneiche. Für die Nutzung des Datensatzes für die Ableitung der Baumarteneignung ist folgender Aspekt wichtig. Das Vorkommen einer Baumart an einem bestimmten Standort spiegelt die Le-

bensfähigkeit der Baumart an diesem Standort wider, gleichwohl kann daraus nicht zwingend geschlossen werden, dass eine andere Baumart an dem Standort nicht ebenfalls geeignet ist. Über die Vielzahl der Orte wird dieser Umstand, dass das Vorkommen einer Baumart den gleichzeitigen „Test“ einer anderen Baumart im Labor „Natur“ zulässt abgemildert. Die aktuelle Verbreitung der Baumarten ist natürlich auch Folge der aktiven Forstwirtschaft, so dass der Datensatz ein unvollkommenes Abbild der Lebensfähigkeit einzelner Baumarten am Standort darstellt. Die natürliche Verbreitung allein aus der Konkurrenzfähigkeit der einzelnen Art wird also verzerrt durch die menschlich gesteuerte Verbreitung, die das Vorkommen der Baumarten in den Wäldern Europas geprägt hat. Die errechnete Vorkommenswahrscheinlichkeit ist also ein Analogieschluss aus dem EU-Forst-Datensatz, der anthropogene Verzerrungen beinhaltet. Die Forstwirtschaft hat dadurch das „Reallabor“- „Testspektrum“, das Kombinationsspektrum von Baumarten-vorkommen und Faktoren, die in das Modell einfließen können sowohl verändert wie auch erweitert, dies sowohl durch Anbau wie auch durch und Förderung bestimmter Baumarten. Durch gleichzeitig und in räumlicher Nachbarschaft vorkommende natur-nahe und stärker forstlich geprägte Wälder fließen in das Modell somit sowohl natürlich vorkommende Baumarten mit den jeweiligen Charakteristika des Klimas ein wie auch erfolgreich angebaute oder geförderte Baumarten.

2.1.2 WorldClim

WorldClim ist ein globaler Datensatz mit Klima-Layern, der frei verfügbar ist (www.worldclim.org/bioclimate). Version 2.0 enthält durchschnittliche monatliche Daten für die Periode 1970-2000. Für die Modellierung wurden Daten mit einer räumlichen Auflösung von 1x1 km verwendet. Neben den Haupt-Klima-Variablen (z.B. Jahresdurchschnittstemperatur) enthält der Datensatz auch 19 daraus berechnete bioklimatische Variablen (z.B. Durchschnittstemperatur des wärmsten Quartals, Niederschlag des wärmsten Quartals etc.), die biologisch bedeutsamer sind. Diese werden oft für ökologische Modellierungen, wie zum Beispiel Artverbreitungsmodelle verwendet. Für die Erstellung der Klimarisikokarte Brandenburg wurden folgende Variablen berücksichtigt:

- BIO1 Jahresdurchschnittstemperatur,
- BIO10 Mitteltemperatur des wärmsten Quartals,
- BIO18 Niederschlag des wärmsten Quartals.

2.1.3 Klimaänderungssignale

Für eine räumlich höher aufgelöste, regionale Betrachtung wurden und werden regionale Klimaprojektionen auf Grundlage der Ergebnisse von globalen Klimaprojektionen berechnet. Für Deutschland geschah dies im Rahmen des ReKliEs-De-Projekts (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland). Jedes RCP-Szenario liegt ein Referenz-Ensemble von Klimaprojektionen zugrunde. Ausgehend von den Referenz-Ensembles steht für Deutschland ein Kern-Ensemble mit einer vordefinierten Anzahl von Klimaprojektionen zur Verfügung. Dabei ist beabsichtigt bzgl. der Lufttemperatur mindestens 90%

und bzgl. der restlichen Parameter mindestens 80% der Bandbreite des Klimasignals im Referenzensemble zu erhalten.

Die Klimaprojektionen für die unterschiedlichen Szenarien liegen in Form von daraus abgeleiteten Klimaänderungssignalen in einer räumlichen Auflösung von 5x5 km vor, die die Änderung im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000 beschreiben. Um die Bandbreite des so entstandenen Klimaprojektions-Ensembles abzuschätzen, werden Perzentile verwendet.

Die Klimaänderungssignale werden zwischen dem 15. und 85. Perzentil des Klimaprojektions-Ensembles beschrieben. Damit wird eine „hohe Übereinstimmung“ der genutzten Modellläufe angegeben. Unter und über diesem Perzentil spricht man nur noch von einer „geringen Übereinstimmung“ der Modellläufe.

Zur Erstellung des Artverbreitungsmodells wurden Änderungssignale für die Variablen Jahresdurchschnittstemperatur, Mitteltemperatur des wärmsten Quartals und Niederschlag des wärmsten Quartals und für die beiden Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 verwendet. Außerdem wurde das 85. Perzentil ausgewählt.

2.2 Klimaszenarien

Bei den neuen IPCC-Szenarien, den sogenannten RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) werden primär Annahmen über die Strahlungsantriebe gemacht. Rückwärtsgerichtet kann daraus auf die Emissionen geschlossen werden. Der Strahlungsantrieb ist definiert als die Bilanz aus solarer Einstrahlung und terrestrischer Ausstrahlung. Der anthropogene Treibhauseffekt bewirkt einen positiven Strahlungsantrieb. In den Modellrechnungen kommen noch Rückkopplungseffekte hinzu. Sie verstärken oder schwächen den Strahlungsantrieb. Im Fall der RCP-Szenarien wird nun vorgegeben, welcher Strahlungsantrieb in Watt pro Quadratmeter (Wm^{-2}) im Jahr 2100 gegenüber dem vorindustriellen Niveau (ca. 1750) erreicht wird. Bei RCP4.5 sind das beispielsweise $4,5 \text{ Wm}^{-2}$, bei RCP8.5 dagegen $8,5 \text{ Wm}^{-2}$. Ausgehend von den vordefinierten Strahlungsantrieben wurden mögliche Bandbreiten und zeitliche Verläufe der Strahlungsantriebe sowie die dazugehörigen Entwicklungen von Treibhausgasemissionen und chemischen Konzentrationen in der Atmosphäre entwickelt. Diese repräsentieren wiederum jeweils unterschiedliche Szenarien sozioökonomischer Entwicklungen, Landnutzungsänderungen usw. Mit Hilfe der Klimamodelle werden je nach RCP-Vorgabe die Temperatureffekte errechnet. Für die nachfolgend beschriebene Modellierung der Baumartenverbreitung werden die Szenarien RCP4.5 und RCP8.5 sowie die Zeitperioden 2031-2060 und 2071-2099 berücksichtigt. Die Zeiträume sind durch die Daten des Deutschen Wetterdienstes vorgegeben. Das Szenario RCP8.5 entspricht einer Welt, in der keinerlei Maßnahmen zum Klimaschutz unternommen werden und das Wirtschaftswachstum wie bisher auf der Verbrennung fossiler Energieträger beruht. Der Anstieg der globalen mittleren Oberflächentemperatur bei diesem Szenario reicht von $2,6 \text{ °C}$ bis $4,8 \text{ °C}$ im Jahr 2100.

Das Szenario RCP4.5 geht von moderaten Entwicklungen aus, ist ressourcenschonender orientiert und weist Erfolge in der Klimapolitik auf. Die Erwärmung liegt hier im Bereich zwischen 1,1 - 2,6 °C.

2.3 Software

Zur Erstellung des Modells wurde die Software R (Version 3.6.3) verwendet. Die anschließende Verarbeitung des Modell-Outputs, sowie die Verschneidung mit der Standortkarte erfolgte mit Hilfe der Software ArcMap (Version 10.5.1).

2.4 Modell

2.4.1 Datenaufbereitung

Zur Erstellung des Referenzmodells und im Anschluss zur Vorhersage unter zukünftigen klimatischen Bedingungen wurden zunächst die gewünschten Baumarten aus dem EU-Forest Datensatz für ganz Europa selektiert.

Anschließend wurden aus dem WorldClim Datensatz - welcher das Klima der Referenzperiode 1970-2000 beschreibt – die für das Artverbreitungsmodell relevanten Klimavariablen selektiert. Dabei handelt es sich um folgende Variablen:

- BIO1 Jahresdurchschnittstemperatur,
- BIO10 Mitteltemperatur des wärmsten Quartals,
- BIO18 Niederschlag des wärmsten Quartals.

Für die Vorhersage der zukünftigen Baumartenverbreitung wurden die Klimaänderungssignale des DWD auf eine räumliche Auflösung von 1x1 km interpoliert, um eine räumlich konsistente Verarbeitung mit den Daten des Baumartenvorkommens zu garantieren.

Anschließend wurden die Klimaänderungssignale auf die korrespondierende BioClim Variable addiert. Dieser Schritt wurde für die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 sowie für die Zeitschritte 2031-2060 und 2071-2099 durchgeführt.

2.4.2 Das auf einem Generalisierten Additiven Model (GAM) basierende Referenzmodell

Das Referenz-GAM bildet die Grundlage für die spätere Modellierung der Baumartenverbreitung unter zukünftigen, veränderten Klimabedingungen der unterschiedlichen Klimaszenarien. Dieses beruht auf dem Modell, welches in Falk et al. (2013) beschrieben ist. Als Input des Modells fließt zum einen die aktuelle Baumartenverbreitung der gewünschten Baumarten innerhalb Europas ein, sowie die BioClim-Variablen des rezenten Klimas (s. oben, 2.4.1), identisch zu den Variablen aus dem WorldClim Datensatz.

Durch Kombination dieser Variablen versucht das Modell das Vorkommen einer Baumart an einem bestimmten Ort zu erklären.

2.4.3 Vorhersage

Die Vorhersage der zukünftigen Baumartenverteilung beruht auf dem zuvor erstellten Referenz-GAM. Für die Vorhersage werden die Änderungssignale der Klimavariablen unter den RCP-Szenarien auf die BioClim Variablen addiert, um so die veränderten Klimabedingungen zu berücksichtigen. Anschließend wurde die Baumartenverbreitung erneut mit den neuen Variablen vorhergesagt.

Dieser Schritt wurde für alle 3 Baumarten sowie die RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 und die Zeitschritte 2031-2060 und 2071-2099 durchgeführt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Vorkommenswahrscheinlichkeit

Output der Vorhersage ist ein Raster, das für jede Rasterzelle die Wahrscheinlichkeit angibt, dass eine Baumart dort vorkommt. Die Wahrscheinlichkeit wird in Werten zwischen 0 und 1 angegeben. Werte um 0 indizieren eine geringe Wahrscheinlichkeit, wohingegen Werte um 1 eine hohe Wahrscheinlichkeit suggerieren. Die Werte stehen hierbei synonym für eine geringe (niedrige Werte) bzw. eine hohe (hohe Werte) Anbaueignung einer Baumart.

3.1.1 Vorkommenswahrscheinlichkeit Buche

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

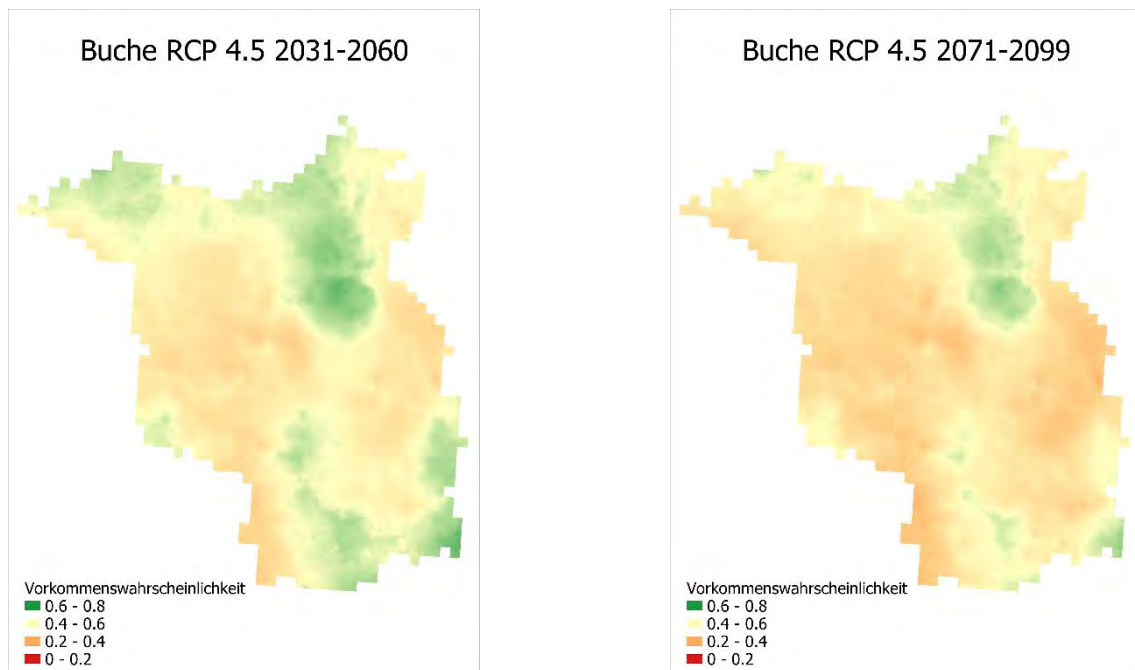


Abbildung 1: Vorhersage für Buche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

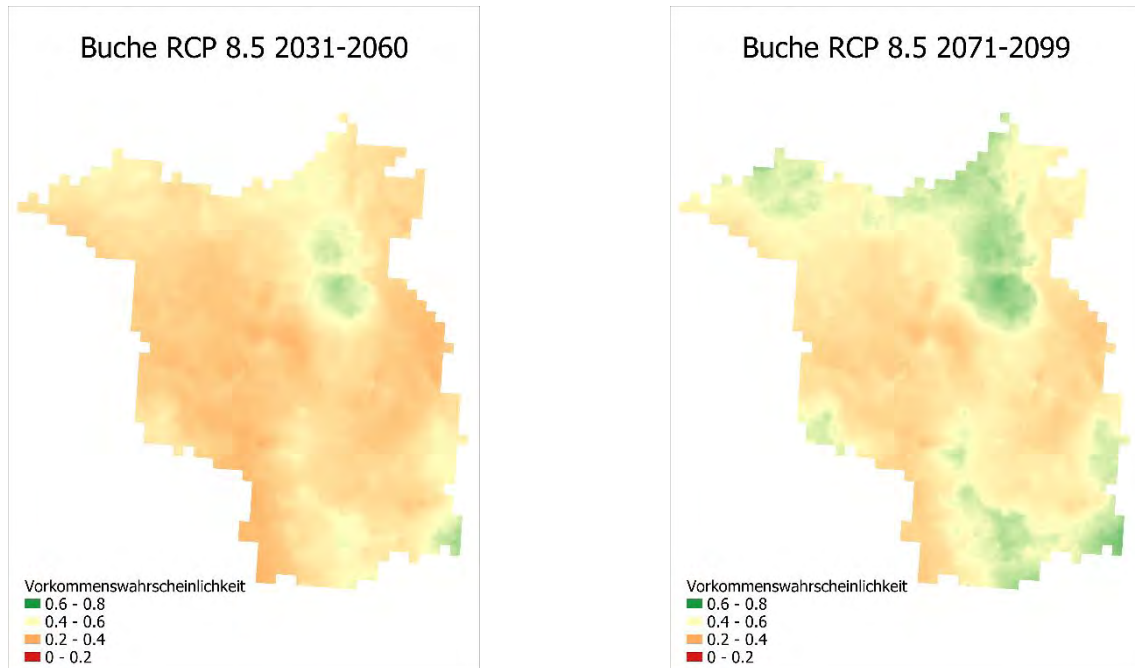


Abbildung 2: Vorhersage für Buche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

3.1.2 Vorkommenswahrscheinlichkeit Kiefer

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

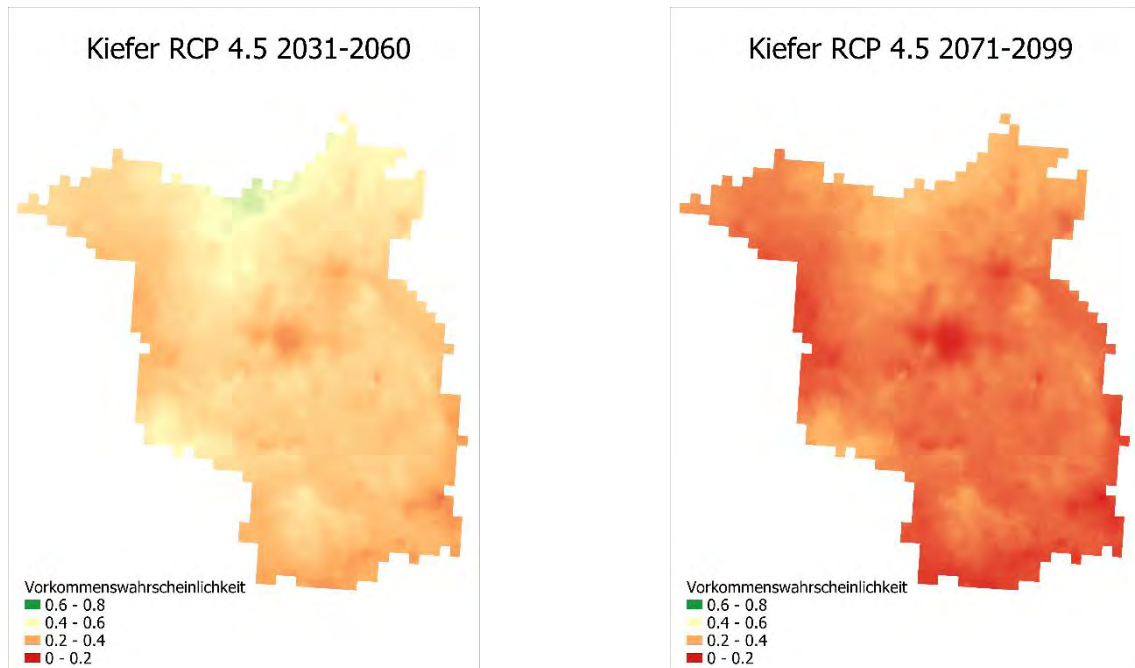


Abbildung 3: Vorhersage für Kiefer im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

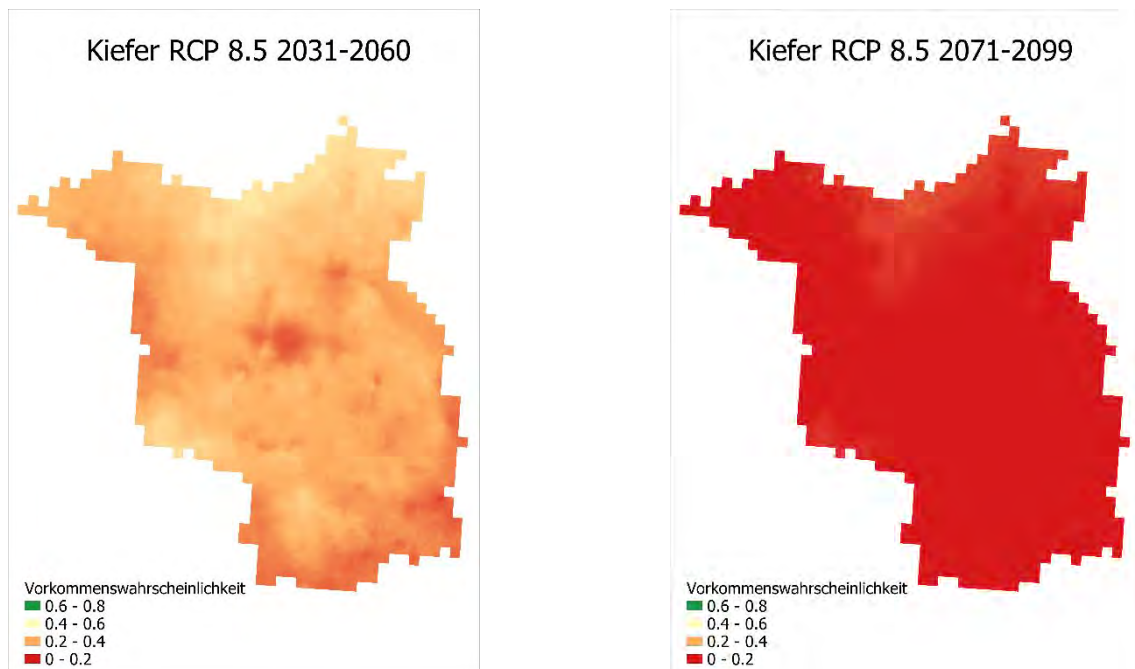


Abbildung 3: Vorhersage für Kiefer im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

3.1.3 Vorkommenswahrscheinlichkeit Traubeneiche

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

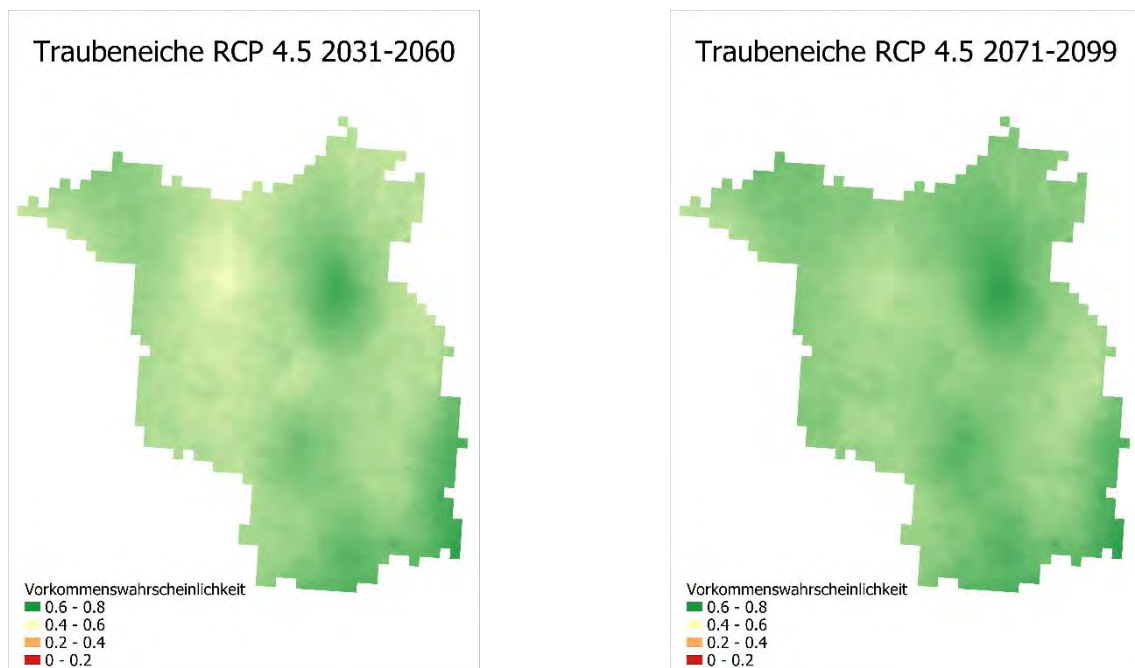


Abbildung 4: Vorhersage für TraubenTraubeneiche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

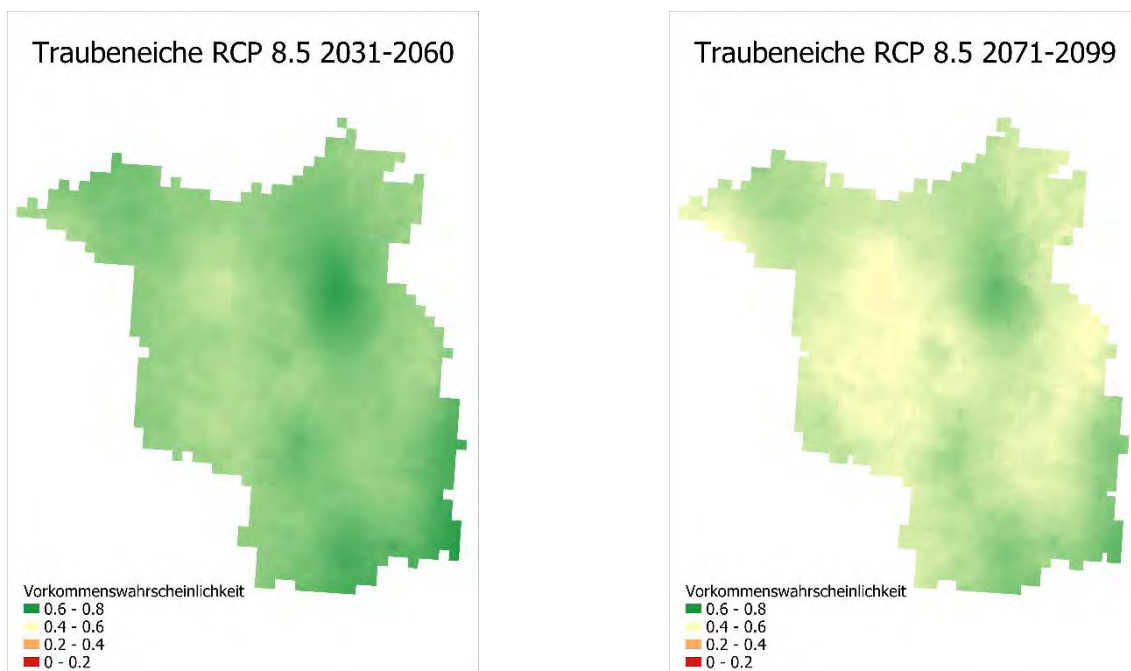


Abbildung 5: Vorhersage für Traubeneiche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

3.2 Kategorisierung in Risikoklassen

3.2.1 Zwischenrisikoklasse basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit

Basierend auf der vorhergesagten Vorkommenswahrscheinlichkeit des Modells wird der Output der Vorhersage zunächst in eine vorläufige relative Zwischen-Risikoklasse eingeteilt (Tabelle 3).

Tabelle 3: Zwischen-Risikoklassen basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit, beispielhaft für Buche dargestellt.

Baumart	Wert der Eignung	Zwischen-Risikoklasse
z.B. Buche	0 – 0,35	Hohes Risiko
	0,36 – 0,65	Mittleres Risiko
	0,66 -1,0	Kein bis geringes Risiko

3.3 End-Risikoklasse basierend auf einer Anpassung an die Stammnährkraftstufe und der Stammfeuchtestufe

Um neben dem Klima auch pedologische Eigenschaften zur Beurteilung der Anbaueignung einer Baumart zu berücksichtigen, wird die Forstliche Standortkartierung in Brandenburg herangezogen. Diese klassifiziert die Standorte unter anderem nach zwei Kriterien, der Stammnährkraftstufe und der Stammfeuchtestufe. Diese sind im Nord-Ostdeutschen Verfahren der Standortkartierung folgendermaßen charakterisiert:

Stammnährkraftstufe¹

- R - REICH
- K - KRÄFTIG
- M - MITTEL
- Z - ZIEMLICH ARM
- A – ARM

Stammfeuchte Stufe²

(T)	terrestrische Standorte (Böden nicht von Grund- oder Stauwasser beeinflusst)
(W)	wechselfeuchte Standorte (Merkmalsspektrum der Pseudogleye)
(N)	mineralische Grundwasserstandorte (Merkmalsspektrum der Gleye)
(O)	Moorstandorte / organische Standorte
(A)	Auenstandorte (mineral. / organ. Überflutungsstandorte; zeitweilig unter Wasser)
(H)	Hangstandorte mit kleinräumigen Unterschieden im Wasserhaushalt

T	3	trocken	grobsandreiches Substrat <i>oder</i> Kuppen- und Oberhanglagen bei starker Hangneigung
	2	mittelfrisch	durchschnittliche Wasserversorgung grundwasserferner Standorte ohne ausgeprägte Exposition; Grundwasserflurabstand > 2.0 m
	1	frisch	Grundwasser in 1.0 bis 2.0 m Tiefe <i>oder</i> besondere Mulden- / Tallage (reliefbedingt frisch)
W	2	wechselfrisch	Obergrenze des Wasserkörpers < 0.6 m; ca. 8 Monate Bodenaustrocknung; Vorkommen z.B. auf Geschiebelehm in <i>flachen</i> Mulden
	1	wechselfeucht	Obergrenze des Wasserkörpers < 0.6 m; ca. 6 Monate Bodenaustrocknung; Vorkommen z.B. auf Geschiebelehm in <i>ausgeprägter</i> Muldenlage
N	2	grundfeucht	mittl. Grundwasserhöchststand im Frühjahr 0.5 bis 1.0 m unter Flur
	1	grundnass	mittl. Grundwasserhöchststand im Frühjahr 0.2 bis 0.5 m unter Flur
O	4	Trockenbruch	durch Absenkung Grundwasser in 0.5 bis 1.0 m Tiefe, einsetzende Vererdung des organischen Materials
	3	Bruch	sehr flach anstehendes Wasser, das aber höchstens kurzfristig über Flur tritt; Frühjahrswasserstand 0.2 bis 0.5 m unter Flur
	2	Sumpf	lange Zeit bis an die Oberfläche stehendes Grundwasser (0 - 0.2 m)
	1	Offensumpf	Grundwasser ganzjährig über Flur

¹ Quelle: http://forstliches-umweltmonitoring.de/Riek/sites/default/files/files/Standortskunde_Fowi.pdf

² Quelle: http://forstliches-umweltmonitoring.de/Riek/sites/default/files/files/Standortskunde_Fowi.pdf

Basierend auf der Stammnährkraftstufe und der Stammfeuchtestufe wird die bereits vorläufig festgelegte Risikostufe in eine endgültige Risikoklasse überführt (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: End-Risikoklassen basierend auf der Vorkommenswahrscheinlichkeit, der Stamm-Nährkraftstufe und der Stammfeuchtestufe des Standorts

Baumart	Wert der Eignung [0-1, 0 = gar nicht geeignet; 1 = sehr geeignet]	Risikoklasse 1	Stamm-Nährkraftstufe	Risikoklasse 2	Anpassung an Stammfeuchtestufe
Waldkiefer	0,66 – 0,9	kein bis geringes Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	kein bis geringes Risiko	
			Z, A	kein bis geringes Risiko	
	0,36 - 0,65	mittleres Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T1: Risikoklasse höher Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	mittleres Risiko	
			Z, A	mittleres Risiko	
	0,1 - 0,35	hohes Risiko	K, R	mittleres Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	hohes Risiko	
			Z, A	hohes Risiko	
Buche	0,66 – 0,9	kein bis geringes Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	kein bis geringes Risiko	
			Z, A	mittleres Risiko	
	0,36 - 0,65	mittleres Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T1: Risikoklasse höher Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	mittleres Risiko	
			Z, A	hohes Risiko	
	0,1 - 0,35	hohes Risiko	K, R	mittleres Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	hohes Risiko	
			Z, A	hohes Risiko	
Traubeneiche	0,66 – 0,9	kein bis geringes Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	kein bis geringes Risiko	
			Z, A	kein bis geringes Risiko	
	0,36 - 0,65	mittleres Risiko	K, R	kein bis geringes Risiko	Stufe T1: Risikoklasse höher Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	mittleres Risiko	
			Z, A	mittleres Risiko	
	0,1 - 0,35	hohes Risiko	K, R	mittleres Risiko	Stufe T3: Risikoklasse tiefer
			M	hohes Risiko	
			Z, A	hohes Risiko	

3.3.1 Anbaurisiko Buche

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

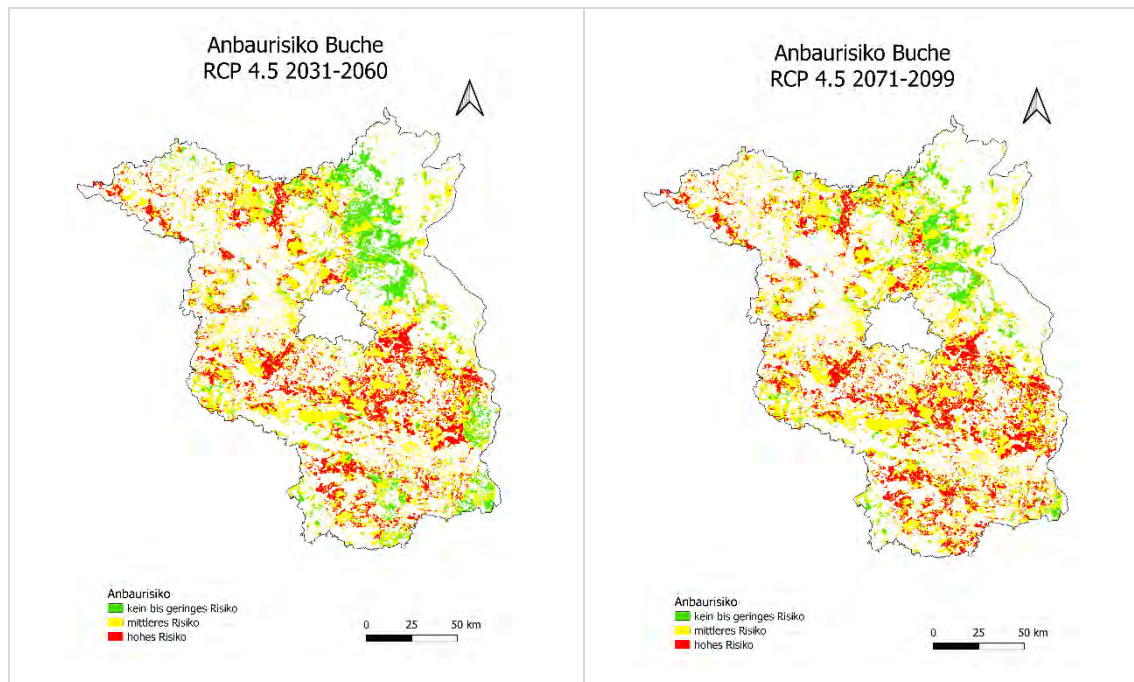


Abbildung 6: Anbaurisiko Buche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

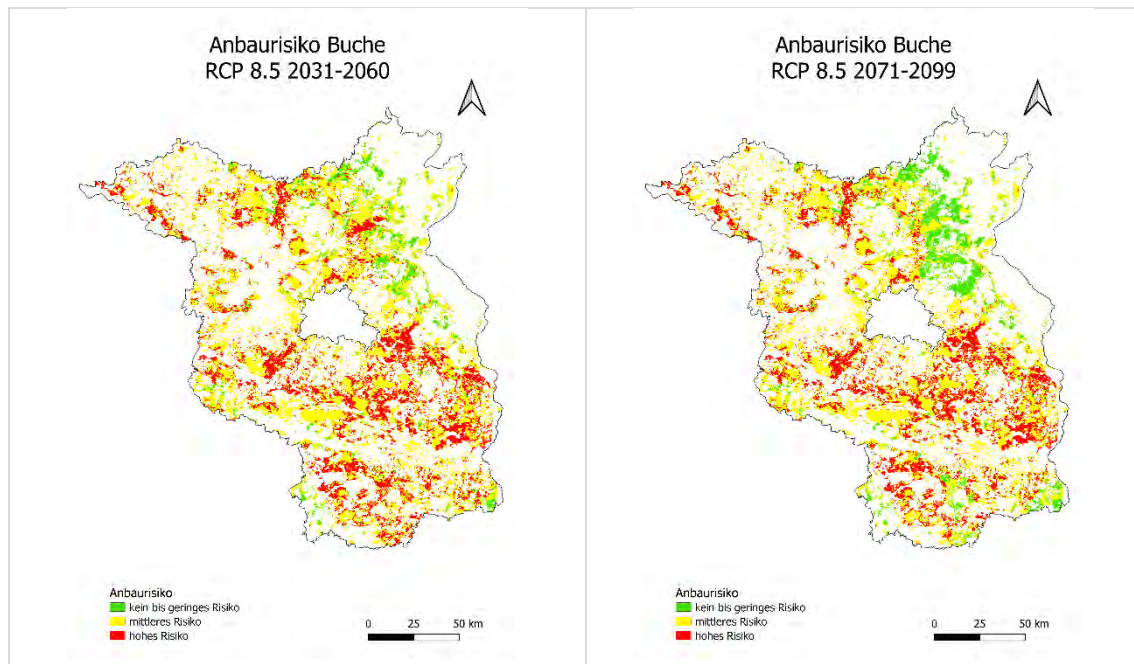


Abbildung 7: Anbaurisiko Buche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

3.3.2 Anbaurisiko Kiefer

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

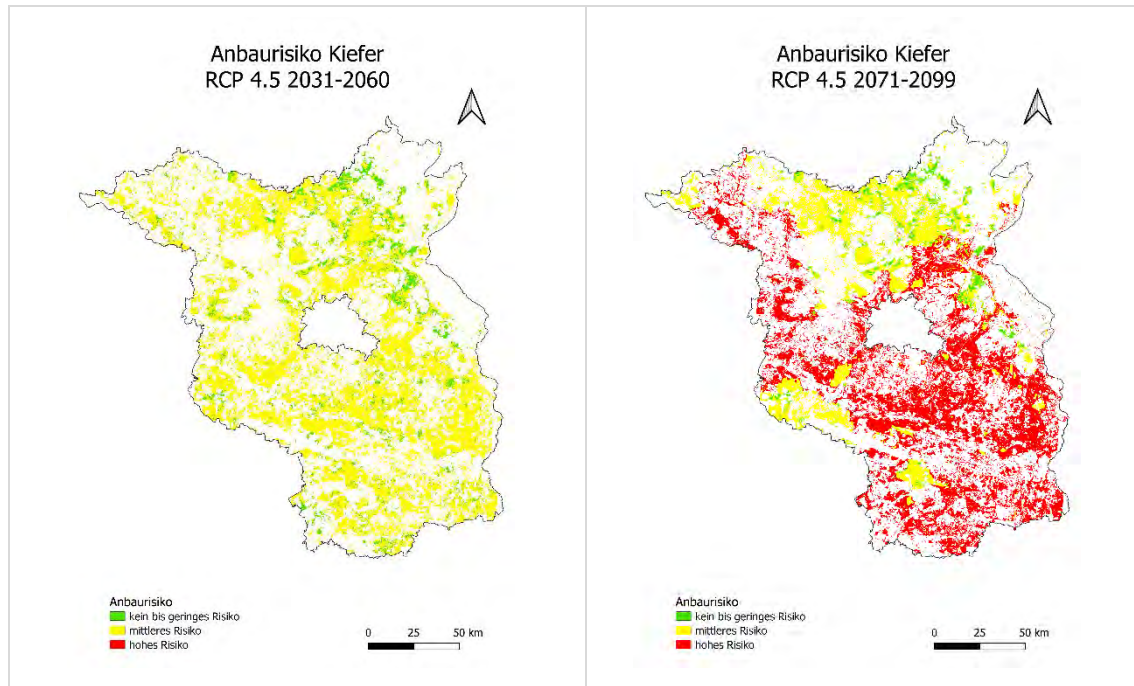


Abbildung 8: Anbaurisiko Kiefer im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

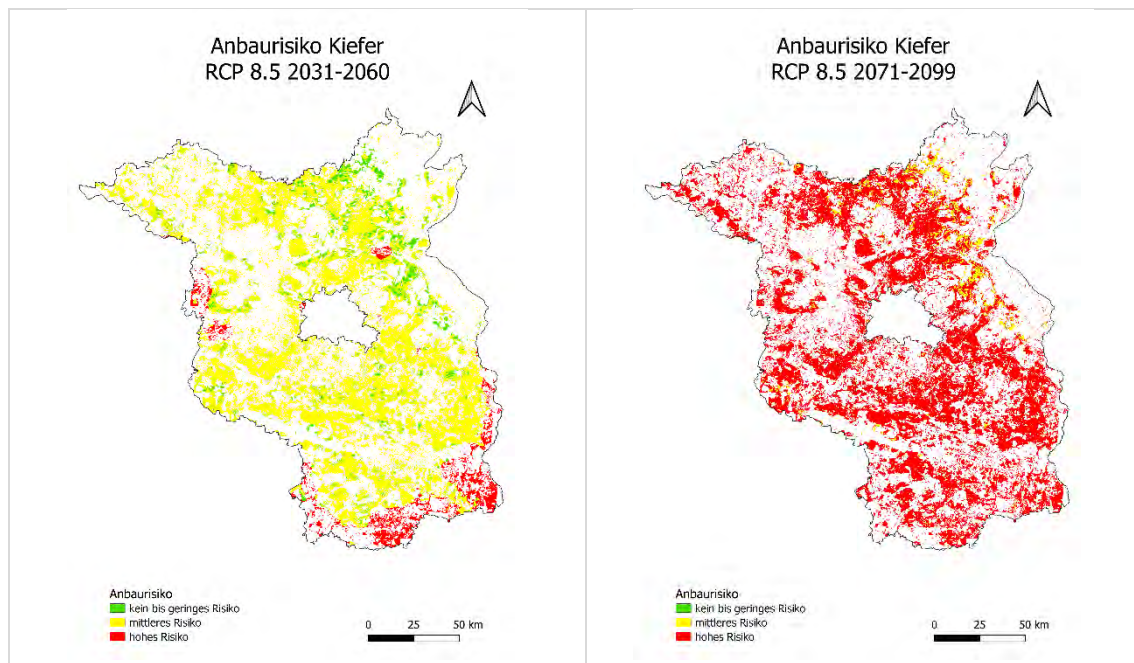


Abbildung 9: Anbaurisiko Kiefer im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

3.3.3 Anbaurisiko Traubeneiche

RCP4.5 2031-2060 und 2071-2099

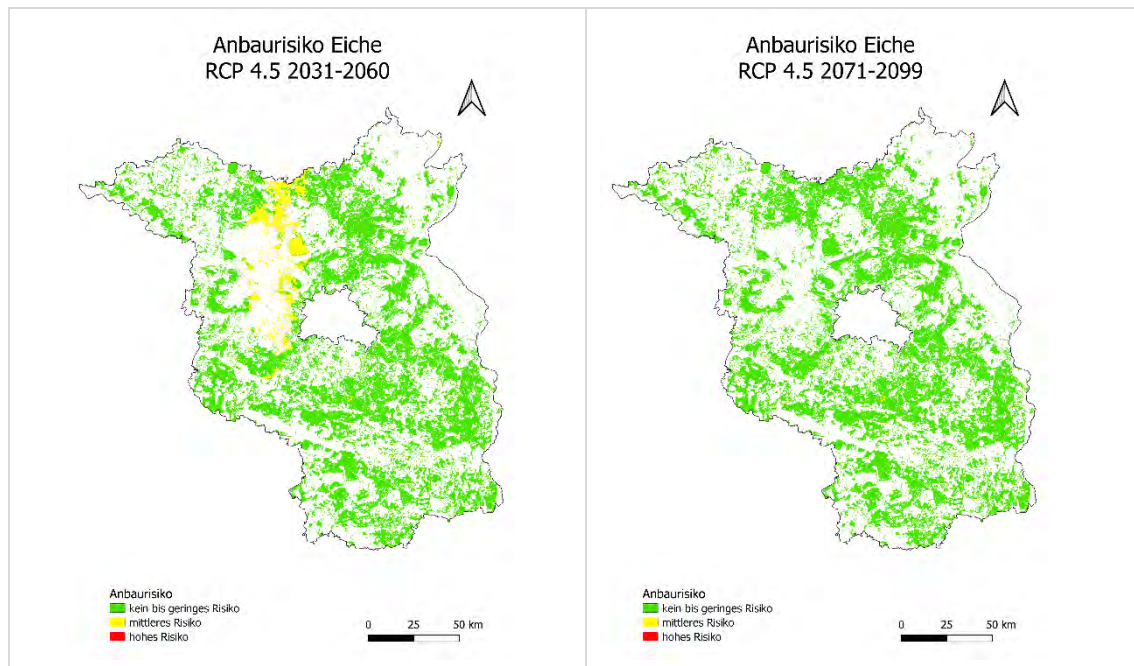


Abbildung 10: Anbaurisiko Traubeneiche im Szenario RCP4.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

RCP8.5 2031-2060 und 2071-2099

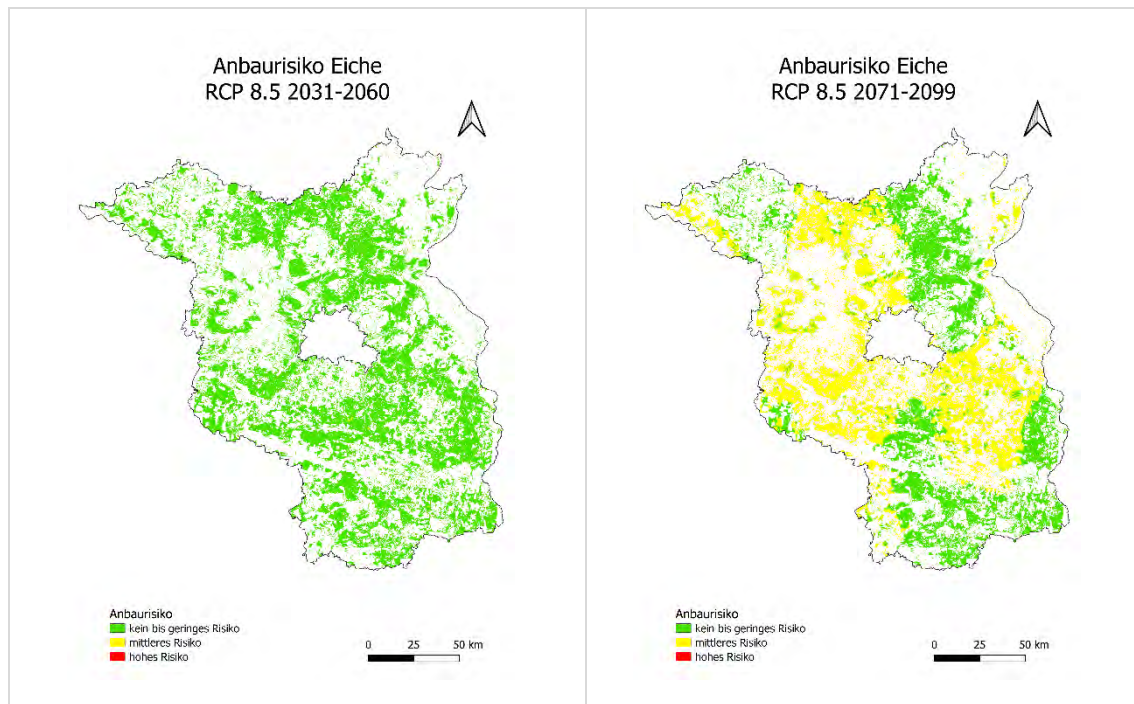


Abbildung 11: Anbaurisiko Traubeneiche im Szenario RCP8.5 für den Zeitraum 2031-2060 (links) und 2071-2099 (rechts).

4 FAZIT

Ziel der Erstellung der Baumarten-Klimarisikokarten für das Bundesland Brandenburg war es eine vereinfachte Entscheidungsgrundlage für Waldbesitzende zu erstellen, die als Anhaltspunkt für einen klimagerechten Waldumbau dienen soll.

Die Baumarten-Klimarisikokarten wurden für die Hauptbaumarten Kiefer, Buche und Traubeneiche erstellt, da diesen Baumarten für den Waldumbau in Brandenburg die größte Bedeutung zukommt.

Grundlage der Klimarisikokarte ist ein Artverbreitungsmodell, das die klimatischen Variablen Jahresdurchschnittstemperatur, Mitteltemperatur des wärmsten Quartals und Niederschlag des wärmsten Quartals berücksichtigt. Diese Methodik wurde in Anlehnung an Falk et al., 2013 entwickelt, da diese Variablen für das Vorkommen einer Baumart besonders wichtig sind.

Grundlage für die Modellerstellung war der Datensatz der europäischen Baumartenverbreitung von Mauri et al. (2017). Dieser hat folgende Eigenschaften im Hinblick auf die Qualität der Modellvorhersage: Durch die Berücksichtigung der gesamten europäischen Verbreitung einer Baumart werden Klimate mit einbezogen, an denen die Baumart im 20. Jahrhundert sich gut entwickeln konnte. Diese Verbreitung war ein Ergebnis der natürlichen Konkurrenz unter den Baumarten und den aktiven Anpflanzungen im Rahmen der forstlichen Bewirtschaftung.

Für die Projektion der Baumarteneignung in der Zukunft wurde mit den modernsten Klimaszenarien des Weltklimarates gearbeitet, den Szenarien RCP4.5 und RCP8.5.

Die Baumarteneignung wurde jeweils für die nahe Zukunft (2031-2060) und die ferne Zukunft (2071-2099) modelliert, um unterschiedliche Planungshorizonte zu ermöglichen.

Um neben rein klimatischen Variablen auch kleinräumlichere standörtliche Parameter zu berücksichtigen, wurde die Stammnährkraftstufe aus der forstlichen Standortskartierung Brandenburgs ebenfalls mit einbezogen. Diese beschreibt die Ausstattung eines Standorts mit Nährstoffen und berücksichtigt z.B. die Körnigkeit und damit die Bodenarten. Ferner wurde die Feuchtestufe berücksichtigt, die ebenfalls eine wichtige Rolle für die standörtliche Eignung spielt.

Das Ergebnis der Modellierung ist eine Klimarisikokarte, die das Anbaurisiko in Form von drei relativen Stufen – hohes Risiko, mittleres Risiko, kein bis geringes Risiko – darstellt. Diese Art der Darstellung wurde in Anlehnung an die Karten, die in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg verwendet wurden, gewählt, um ein einheitliches Verfahren der Nutzung der Karten zu ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich für die Baumart Kiefer eine Tendenz erkennen, dass das Anbaurisiko von der nahen Zukunft (2031-2060) hin zur fernen Zukunft (2071-2099), sowohl unter dem Szenario RCP 4.5 als auch unter dem Szenario 8.5 zunimmt (Abbildung 8,9). Im Vergleich der beiden Szenarien, zeigt sich unter Szenario 8.5 eine negativere Entwicklung.

Ein ähnliches Bild zeigt sich für die Baumart Buche. Unter dem Szenario RCP 4.5 steigt das Anbaurisiko von der nahen Zukunft hin zur fernen Zukunft an (Abbildung 6). Ein Unterschied zeigt sich allerdings unter dem Szenario RCP 8.5. Hier scheint das Anbaurisiko von der nahen zur fernen Zukunft in einzelnen Regionen leicht zu sinken (Abbildung 7). Für die Baumart Traubeneiche zeigt sich ein anderes Bild als für die zuvor beschriebenen Baumarten. Während unter dem Szenario RCP4.5 das Anbaurisiko von der nahen Zukunft hin zur fernen Zukunft abnimmt (Abbildung 10), steigt es für den gleichen Zeitraum unter dem Szenario RCP8.5 an (Abbildung 11).

Grundsätzlich lässt sich für alle Baumarten ein räumliches Muster erkennen. Während der Nordosten Brandenburgs (alle Baumarten), sowie der Südosten Brandenburgs (besonders Buche und Traubeneiche), relativ gesehen ein geringeres Anbaurisiko aufweisen, sind der zentrale sowie der westliche bis nordwestliche Teil Brandenburgs durch ein höheres Anbaurisiko gekennzeichnet. Dieses Muster spiegelt größtenteils die Nährstoffausstattung wider.

Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen diese auch immer in Relation zu der gesamt-europäischen Verbreitung einer Baumart gesehen und bewertet werden. Am Beispiel der Kiefer lässt sich das gut verdeutlichen. Ein Großteil der Datenpunkte der Kiefer stammen aus dem skandinavischen Raum, wo Niederschlag zum jetzigen Zeitpunkt noch keinen limitierenden Faktor darstellt. Daher weist die Kiefer bereits in der nahen Zukunft in Brandenburg ein mittleres Anbaurisiko auf (hauptsächlich wegen der Temperatur), auch wenn sie dort aktuell im großen Maßstab angebaut wird (was nur mit wenigen Datenpunkten ins Modell eingeht). Dieses Risiko nimmt unter Annahme eines drastischeren Szenarios und von der nahen zur fernen Zukunft jeweils zu.

Die Buche verhält sich unter dem milderen Szenario RCP4.5 ähnlich. Das Anbaurisiko nimmt von der nahen zur fernen Zukunft ab, einhergehend mit der Abnahme des Niederschlags. Unter Annahme eines drastischeren Klimaszenarios verhält sie sich allerdings anders. Für die nahe Zukunft ist das Anbaurisiko zwar höher, verglichen mit dem gleichen Zeitraum unter Szenario RCP4.5, allerdings nimmt das Anbaurisiko in der fernen Zukunft leicht ab. Mögliche Erklärungen dafür könnten sein, dass die Buche auf besser nährstoffversorgten Standorten von einer stärkeren Erwärmung profitiert.

Bei der Traubeneiche ist es umgekehrt. Sie kommt derzeit vermehrt im warmen und trockenen Klima Südeuropas vor und profitiert daher zunächst von einer Klimaerwärmung in Brandenburg in der nahen Zukunft und auch unter einem milderen Szenario in der fernen Zukunft. Unter einem drastischeren Szenario, mit einer stärkeren Abnahme des Niederschlags kommt allerdings auch sie an ihre Grenzen - ob dies so voll zutrifft, ist gleichwohl fraglich, da für sehr hohe Temperaturen nur wenige Ortspunkte im 20. Jahrhundert-Klima-Datensatz zur Verfügung stehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mit der im Rahmen des Projekts KlimaberaterFWZ erstellten Klimarisikokarten und mit den Empfehlungen von Riek et al. (2020) zwei Risikomodelle mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen zur Verfügung stehen, die

beide jeweils einzeln oder kombiniert für die Praxis der waldbaulichen Klimaberatung im Privatwald verwendet werden können. Insbesondere für die Eignung bislang wenig verbreiteter Baumarten / Gastbaumarten ist aufgrund der Datenlage eine Aussage schwer möglich. Die kritische Reflexion der Modelle zeigt auf, dass für die Zukunft ein Weiterentwicklungsbedarf besteht.

5 LITERATURVERZEICHNIS

- Albrecht, A., Almehasneh, A. (2019): Klimasensitive Artverbreitungsmodelle. FVA-einblick 2/2019. P. 37- 41.
- Albrecht, A. 2016. Baumarteneignung und Vulnerabilität unter Klimawandel – neue Ansätze in Baden-Württemberg, DVFFA – Sektion Ertragskunde, Beiträge zur Jahrestagung. Available at: http://sektionertragskunde.fvabw.de/2016/01_Albrecht.pdf
- Bialozyt, R., Spellmann, H., 2018. Projekt „Klimarisikokarten Forst“ im „Integrierten Klimaschutzplan Hessen“ gestartet. ImDialog 02/2018. Available at: https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/2018/Bialozyt_Spellmann_2018_Klimaschutzplan_Hessen_hessenforst-imdialog.pdf
- Cullmann, D. (2019): Verfahren Multikriterieller Bewertungen - Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitäten. FVA-einblick 2/2019. P. 15- 19.
- DWD (2019): Klimareport Brandenburg. 1. Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 44 Seiten.
- Falk, W., Mellert, K., Bachmann-Gigl, U., Kölling, C., 2013. Bäume für die Zukunft: Baumartenwahl auf wissenschaftlicher Grundlage, 2013. LWF aktuell 94/2013. Available at: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/a94_b%C3%A4ume_f%C3%BCr_die_zukunft-baumartenwahl_auf_wissenschaftlicher_grundlage_bf_gesch.pdf
- Gemballa, R., Schlutow, A., 2007. Überarbeitung der Forstlichen Klimagliederung Sachsens. AFZ 15/2007. Available at: http://www.waldundklima.de/klima/klima_docs/gemballa_et_al_afz_2007_klimagliederung.pdf
- Geologischer Dienst NRW, 2020
- Hanewinkel, M., Cullmann, D., Michiels, H.-G., 2010. Künftige Baumarteneignung für Fichte und Buche in Südwestdeutschland. 65. 30-33. Available at: https://www.researchgate.net/publication/288881201_Kunftige_Baumarteneignung_fur_Fichte_und_Buche_in_Sudwestdeutschland/citation/download
- Mauri, A., Strona, G. & San-Miguel-Ayanz, J. EU-Forest, a high-resolution tree occurrence dataset for Europe. *Sci Data* 4, 160123 (2017). <https://doi.org/10.1038/sdat a.2016.123>
- Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz (2019).

- Riek, W., Russ, A., Gröll, M., 2020. Zur Abschätzung des standörtlichen Anbaurisikos von Baumarten im Klimawandel im nordostdeutschen Tiefland. Available at: https://www.researchgate.net/publication/347742112_Zur_Abschätzung_des_standörtlichen_Anbaurisikos_von_Baumarten_im_Klimawandel_im_nordostdeutschen_Tiefland/citation/download
- Seiler, M., & Arenhövel, W., & Profft, I., 2007. Waldbauliche Konsequenzen für Thüringen. Available at: https://www.researchgate.net/publication/242530917_Waldbauliche_Konsequenzen_fur_Thuringen/citation/download

KlimaBeraterFWZ