



POTSDAM-INSTITUT FÜR
KLIMAFOLGENFORSCHUNG

Expertise 4 "Klimawandel und Waldentwicklung der Region Havelland-Fläming"

Bericht zum

Modellvorhaben der Raumordnung

**Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel für die Region Ha-
velland-Fläming**



Auftraggeber:

Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming
Herr Harald Knauer
Oderstraße 65
14513 Teltow

Autoren: P. Lasch, F. Suckow, M. Gutsch, A. Murawski, J. Petraschek
Forschungsbereich „Klimawirkung und Vulnerabilität“

Inhaltsverzeichnis

4. Forstwirtschaft	119
4.1. Aufgabe	119
4.2. Methodik.....	120
4.2.1. Anwendung eines Impaktmodells für die Berechnung verschiedener Indikatoren.....	120
4.2.2. Anwendung des prozess-basierten Waldwachstums- modells 4C zur Abschätzung der Produktivität.....	122
4.2.2.1. Waldproduktivität: Simulation der ÖWK- Bestände.....	122
4.2.2.2. Waldumbaueignung von Baumarten	123
4.2.2.3. Produktivität landwirtschaftlicher Flächen mit Aspen-KUP.....	124
4.3. Daten.....	124
4.3.1 Zeiträume und Szenarien	124
4.3.2 Klimastationen	125
4.3.3 Standorte, Bestände	125
4.4. Analysen mit dem Impaktmodell	125
4.4.1. Dürre-Index	125
4.4.2. Klimatisches Waldbrandrisiko (WBI)	132
4.4.3. Erosionsrisiko	137
4.5. 4C-Analysen für die ÖWK-Bestände	142
4.5.1. Auswertung für alle ÖWK-Kiefernbestände.....	142
4.5.1.1 Simulation mit realen ÖWK-Beständen	142
4.5.1.2 Simulation mit hypothetischen Beständen (Kiefer, Buche, Eiche) unter Bewirtschaftung	148
4.5.2. Waldumbauindikator	163
4.6. Holzertrag von Aspen-KUP auf Ackerflächen	167
4.7. Zusammenfassung.....	169
4.8. Literatur	170

Abbildungsverzeichnis

Abb. 4.1: Ableitung des Waldumbauindikators	124
Abb. 4.2: Dürre-Index, gemittelt für 1961-1990 (oben), 1977-2006 (unten).....	127
Abb. 4.3: Dürre-Index für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)	129
Abb. 4.4: Dürre-Index für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)	130
Abb. 4.5: Dürre-Index für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)	131
Abb. 4.6: Klimatischer Waldbrandindex, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977- 2006 (unten)	133
Abb. 4.7: Klimatischer Waldbrandindex für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	134
Abb. 4.8: Klimatischer Waldbrandindex für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	135
Abb. 4.9: Klimatischer Waldbrandindex für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	136
Abb. 4.10: Mittlere Erosionsrisikoklasse für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten).....	138
Abb. 4.11: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	139
Abb. 4.12: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	140
Abb. 4.13: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	141
Abb. 4.14: Mittelwert (gestrichelt), Median, 5. und 95. Perzentil (Punkte), sowie 10. und 90. Perzentil und Standardabweichung (Box) der NPP [$t\ C\ ha^{-1}a^{-1}$] für 117 Kiefernrein- und Mischbestände, dargestellt über alle drei Landkreise (PM, HVL, TF), den Basiszeitraum 1961-1990 und die beiden Szenarienzeiträume	142
Abb. 4.15: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)	144
Abb. 4.16: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	145
Abb. 4.17: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	146
Abb. 4.18: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	147
Tab. 4.7: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Kiefern- bestände, aufgeteilt nach Landkreisen	148
Abb. 4.19: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)	149
Abb. 4.20: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	150
Abb. 4.21: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	151
Abb. 4.22: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	152

Abb. 4.23:NPP 35-jähriger Eichenbestände gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten).....	154
Abb. 4.24:NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	155
Abb. 4.25:NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	156
Abb. 4.26:NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	157
Abb. 4.27:NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten).....	159
Abb. 4.28:NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	160
Abb. 4.29:NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	161
Abb. 4.30:NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	162
Abb. 4.31:Waldumbaueignung, aufgeschlüsselt nach den Anteilen der ÖWK-Flächen, für Periode P1 (2011-2040) und Periode P2 (2031-2060).....	163
Abb. 4.32:Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 0K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	164
Abb. 4.33:Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 2K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	165
Abb. 4.34:Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 3K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten).....	166

Tabellenübersicht

Tab. 4.1: Thematische Leistungsbeschreibung der Expertise 4, betrachtete Zeiträume und vorgesehene Art der Ergebnisdarstellung	119
Tab. 4.2: Klassifizierung der Erosionsgefährdung	122
Tab. 4.3: Landkreis- und Periodenmittelwerte des Dürrindizes für die 0K-, 2K- und 3K-Szenarien	126
Tab. 4.4: Landkreis- und Periodenmittelwerte des klimatischen Waldbrandindex für die 0K-, 2K- und 3K-Szenarien	132
Tab. 4.5: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über alle 112 Kiefern-Flächen, aufgeteilt nach Landkreisen	143
Tab. 4.6: Relative Änderung [%] der jährlichen NPP über alle 112 Kiefern-Flächen in Relation zur NPP für 1977-2006	143
Tab. 4.7: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Kiefernbestände, aufgeteilt nach Landkreisen	148
Tab. 4.8: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Eichenbestände, aufgeteilt nach Landkreisen	153
Tab. 4.9: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Buchenbestände, aufgeteilt nach Landkreisen	158
Tab. 4.10: Jährliche Erträge der Aspen-KUP (Mitt - Mittelwert, Min - minimaler Wert, Max - maximaler Wert, Sdev - Standardabweichung)	168

Kernaussagen für die Region Havelland-Fläming:

- Unter den angenommenen Klimaprojektionen steigt die Dürregefährdung für die Vegetation.
- Ein Anstieg der klimatisch bedingten Waldbrandgefahr ist zu erwarten.
- Die durch Niederschlag bedingte Erosionsgefährdung geht leicht zurück. Die Auswirkungen von Extremniederschlägen wurden nicht berücksichtigt.
- Steigende Temperaturen führen zu längeren Vegetationsperioden und damit zu höherer Produktivität der Kiefern- und Eichenbestände, der Produktivitätsgewinn geht aber mit dem 3K-Szenario und zur Mitte des Jahrhunderts wieder etwas zurück.
- Die Buche erzielt geringere Produktivitätssteigerungen als die Kiefer und die Eiche und man muss unter dem 3K-Szenario im Zeitraum 2031-2060 in den Kreisen Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming mit einem Rückgang der Produktivität im Vergleich zum Zeitraum 1977-2006 rechnen.
- Für einen großen Teil der heutigen, untersuchten Kiefernflächen ist langfristig der Waldumbau mit Buche aufgrund der zunehmenden Trockenheit mit einem starken Risiko verbunden. Für ungefähr die Hälfte der betrachteten Flächen wird die Eiche empfohlen.
- Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen auf schlechteren landwirtschaftlichen Flächen mit trockenheitstoleranten Baumarten (z.B. Zitterpappel) ist eine Alternative für die Landwirtschaft.

4. Forstwirtschaft

4.1. Aufgabe

Mit dem prozess-basierten Waldwachstumsmodell 4C wird für die Kiefer und eine weitere Hauptbaumart (Eiche) in sinnvollen Teilräumen die Abschätzung des Biomassewachstums unter Klimawandel vorgenommen. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen und Karten dargestellt und interpretiert. Untersucht werden die forstwirtschaftlichen Nutzungsbedingungen unter den drei Klimaszenarien (0, 2 und 3 Kelvin) und die Änderungen in den Vergleichszeiträumen (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Thematische Leistungsbeschreibung der Expertise 4, betrachtete Zeiträume und vorgesehene Art der Ergebnisdarstellung

Nr.	Beschreibung	Zeiträume	Art der Darstellung
1	klimatechische Waldbrandgefahr für Vergangenheit und drei Klimaszenarien, Ausweisung besonders betroffener Regionen	1961-1990; 1977-2006; 2011-2040; 2031-2060	Karten, Tabellen
2	Waldvegetationsrelevanter Trockenstressindikator für Vergangenheit und drei Klimaszenarien	1961-1990; 1977-2006; 2011-2040; 2031-2060	Karten, Tabellen
3	Produktivität der Kiefernbestände unter Klimawandel für Vergangenheit und drei Klimaszenarien	1961-1990; 1977-2006; 2011-2040; 2031-2060	Karten, Tabellen
4	Waldumbaupotentiale unter Klimawandel; (drei Klimaszenarien)	2011-2040; 2031-2060	Karten, Tabellen
5	Biomassepotential auf landwirtschaftlichen Flächen mit Aspen-KUP	1987-2006; 2041-2060	Tabellen
6	Bodenerosionsgefahr unter Klimawandel (drei Klimaszenarien)	1961-1990; 1977-2006; 2011-2040; 2031-2060	Karten

4.2. Methodik

Die Waldentwicklung in der Region Havelland-Fläming unter Klimawandel wird mithilfe von Modellen abgeschätzt. Dazu werden zwei am PIK entwickelte Modelle eingesetzt, ein Impaktmodell und das Waldwachstumsmodell 4C. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Modelle beschrieben.

4.2.1. Anwendung eines Impaktmodells für die Berechnung verschiedener Indikatoren

Zur Berechnung von einfachen Impaktfunktionen wird ein Impaktmodell genutzt, das auf Grundlage der täglichen meteorologischen Größen der PIK-Datenbank bzw. der STAR-Szenarien die im Folgenden beschriebenen Indikatoren berechnet.

a) Trockenstressindikator (Dürre-Index)

Der Trockenstressindikator ist die durchschnittliche Anzahl aufeinanderfolgender Tage im Jahr ohne Niederschlag zwischen den Monaten April bis Oktober in einem betrachteten Zeitraum. Eine Zunahme dieses Indikators bedeutet demzufolge eine Zunahme der Länge von Trockenperioden in den Monaten April bis Oktober. Die Berechnung wird folgendermaßen vorgenommen:

$$D = \frac{\sum_{j=1}^p m_j}{p} \quad \text{wobei} \quad m_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}}{n_j}$$

mit

D - mittlerer Trockenstressindikator im betrachteten Zeitraum

m_j - mittlere Anzahl aufeinanderfolgender Tage ohne Niederschlag im Jahr j

p - Anzahl der Jahre im betrachteten Zeitraum

x_{ij} - Anzahl aufeinanderfolgender Tage ohne Niederschlag in Trockenperiode i des Jahres j

n_j - Anzahl der Trockenperioden im Jahr j

b) Klimatisches Waldbrandrisiko (WBI)

Zur Abschätzung der witterungsbedingten Waldbrandgefahr wird mithilfe der täglichen meteorologischen Daten ein Waldbrandindex berechnet. Der hier verwendete Waldbrandindex wurde nach dem M68-Index von Käse (Käse 1969) implementiert, der in der DDR genutzt wurde und in die operationellen Verfahren des Deutschen Wetterdienstes integriert worden ist. Auf der Basis von Lufttemperatur und Sättigungsdefizit der Luft wird täglich eine Kennziffer berechnet, die durch Korrekturfaktoren in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Phänologie (Aus-

triebsdaten von Birke und Robinie) modifiziert werden (Flemming 1994). Diese Kennziffer wird nochmals durch bestimmte Regen- oder Schneemengen korrigiert und ab Mitte Februar bzw. ab Abtauen der Schneedecke aufsummiert. Den Kennziffern werden anschließend die Waldbrandwarnstufen 1 bis 5 zugeordnet. Das arithmetische Mittel der täglichen Waldbrandwarnstufen wird als Jahresindex der Waldbrandgefährdung dargestellt.

c) Bodenerosionsrisikoklasse

Erosion durch fließendes Wasser findet fast ausschließlich auf unbewachsenen Standorten statt. In der heutigen Kulturlandschaft finden sich solche Bedingungen hauptsächlich auf landwirtschaftlichen Flächen, auf denen zwischen den Fruchtfolgen gepflügt wird und damit der Boden für einen Zeitraum unbedeckt bleibt. Mit der allgemeinen Bodenabtragsgleichung lässt sich der erwartete mittlere jährliche Bodenabtrag kalkulieren:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

A - langjähriger mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha

R - Regen- und Oberflächenabflussfaktor

K - Bodenerodierbarkeitsfaktor

L - Hanglängenfaktor

S - Hangneigungsfaktor

C - Bedeckungs- u. Bearbeitungsfaktor

P - Erosionsschutzfaktor

Die Faktoren, die nicht bestimmt werden können, werden auf 1 gesetzt. Dies wurde bei dem Erosionsschutzfaktor P angewendet, da die benötigten Informationen für das betrachtete Gebiet nicht zur Verfügung standen. Der P-Faktor beschreibt das Verhältnis des Bodenabtrages mit Kontourpflügen (quer zum Hang) und/oder Streifenanbau (Abfolge schmaler bebauter und unbebauter Feldstreifen) zum Bodenabtrag beim Pflügen in Hangrichtung. Ebenso wurde der Hanglängenfaktor L auf 1 gesetzt, da Zweifel bestehen über die Güte einer Hanglängenkarte, die mittels eines geografischen Informationssystem aus einem digitalen Höhenmodell abgeleitet wird. Der Bedeckungs- u. Bearbeitungsfaktor C wurde ebenfalls fest auf 1 gesetzt, da die Flächennutzung nicht berücksichtigt wurde und die Karten für theoretisch unbedeckte Böden erstellt werden.

Die verbleibenden Faktoren bestimmen sich wie folgt:

$$R = 0.141 * N - 1.48$$

(Schwertmann et al. 1990): abgeleitet aus Untersuchungen in Bayern, gültig für Mitteleuropa,

N - Sommerniederschlag [1.Mai – 31.Okt.]

$$S = 10.8 * \sin(\lambda) + 0.03 \text{ bei Hangneigung } < 9 \% (\lambda < 15.8384^\circ)$$

$$S = 16.8 * \sin(\lambda) - 0,5 \quad \text{bei Hangneigung } \geq 9 \%$$

(Renard et al. 1997),

λ - Hangneigungswinkel in [°]

K - abgeschätzt aus der Bodenart (über BUEK 1000 (BGR 1998) zugewiesen) mittels (AG_Boden 2005)

Nach Ermittlung des Bodenabtrags wird dieser in sieben Stufen klassifiziert – von 0 „kein Bodenabtrag“ bis 6 „sehr hoch“ – und als potenzielle Erosionsgefahr ausgegeben (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Klassifizierung der Erosionsgefährdung

Erosionsrisikoklasse	Bodenabtrag	Potenzielle Erosionsgefährdung
0	$A < 1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	keine
1	$1 \leq A < 2 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	sehr gering
2	$2 \leq A < 5 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	gering
3	$5 \leq A < 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	mäßig
4	$10 \leq A < 25 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	mittel
5	$25 \leq A < 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	hoch
6	$A > 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$	sehr hoch

Zu beachten bleibt die große Wirkung der hier außer Acht gelassenen Faktoren Bedeckung, Bearbeitung und Erosionsschutz, die lokal sehr stark variieren und daher die Erosionsneigung sehr stark beeinflussen. Da das Modell für landwirtschaftliche Flächen erstellt und validiert wurde, empfiehlt sich die Betrachtung des Risikos auch nur auf diesen Flächen.

4.2.2. Anwendung des prozess-basierten Waldwachstumsmodells 4C zur Abschätzung der Produktivität

Zur Abschätzung der Produktivität von Waldbeständen wird das am PIK entwickelte prozess-basierte Waldwachstumsmodell 4C (Bugmann et al. 1997; Schaber et al. 1999; Lasch et al. 2005) eingesetzt. Das Modell erlaubt eine Simulation der Produktivität und des Wachstums von Wäldern unter Berücksichtigung von Standortfaktoren wie Bodeneigenschaften und den klimatischen Bedingungen. Eine genauere Beschreibung ist dem Anhang zu entnehmen.

4.2.2.1. Waldproduktivität: Simulation der ÖWK-Bestände

Im Rahmen von Projekten, die am PIK bearbeitet wurden (Deutsche Waldstudie, ForestFocus-Projekt (Meiwes et al. 2007)), standen Daten zu den ÖWK-Beständen (Bestände der Ökologischen Waldzustandskontrolle) in Brandenburg zur Verfügung (Wolff 2002), siehe Kapitel 4.3.3. An den Standorten dieser Be-

stände wurden Simulationen für die festgelegten Zeiträume mit den ausgewählten Klimaszenarien durchgeführt. Die Wirkung steigender atmosphärischer CO₂-Konzentration auf das Wachstum wurde nicht berücksichtigt. Für die Analysen in Kapitel 4.4 wurden Mittelwerte der jährlichen Nettoprimärproduktion (NPP) in t C ha⁻¹ a⁻¹ ausgewertet. Die NPP ist ein Indikator für die Produktivität eines Waldbestandes, sie wird durch Allokation auf den Stamm, die Blattmasse und die Wurzeln der Bäume verteilt. Eine Änderung der NPP zeigt eine gleichgerichtete Änderung des Stammzuwachses an. Aufgrund verschiedener Holzdichten der Baumarten führen ähnliche NPP-Werte für die Baumarten zu deutlich unterschiedlichen Stammholzzuwächsen.

4.2.2.2. Waldumbaueignung von Baumarten

Zur Abschätzung der Umbaueignung von Kiefernforsten mit Buche oder Eiche wurde ein Indikator entwickelt, der, basierend auf Simulationsergebnissen des Modells 4C, in mehreren Stufen hergeleitet wird. Dazu wird auf einen Fuzzy-Ansatz zurückgegriffen, der auf der Basis der unscharfen Mengen arbeitet und mit dem die Informationen durch verschiedene Regeln miteinander verknüpft werden (Rommelfanger 2007).

Aus den Werten der NPP, die für die Baumarten Kiefer, Buche und Eiche aus den Simulationsläufen mit den drei Klimaszenarien gewonnen wurden (siehe Kapitel 4.3.3), wird die prozentuale Änderung im Verhältnis zur NPP unter dem Basiszenario bestimmt. Diese Werte werden kategorisiert (acht Kategorien), wobei durch die Einteilung in Fuzzy-Intervalle abrupte Sprünge zwischen den Klassen durch weiche Übergänge ersetzt werden. Im nächsten Schritt wird die Produktivität von Buche und Eiche gegenüber der Kiefer abgeschätzt und in vier Kategorien eingeteilt.

Im Ergebnis erhält man eine Übersicht darüber, ob Buche und Eiche unter Klimawandel eine höhere Produktivitätssteigerung als die Kiefer erzielen können. Dieses Resultat ist standortabhängig, da bereits in die Simulation standortrelevante Daten wie Klima und Informationen über den Boden eingeflossen sind. Da aber die Nährstoffverfügbarkeit, die sich auch im C/N-Verhältnis der Humusaufgabe widerspiegelt, eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung der Anbauwürdigkeit spielt, wird die Information über das C/N-Verhältnis der Auflage (die wiederum nach obigem Muster kategorisiert wurde) mit dem ersten Indikator der Umbaueignung über ein Regelsystem verknüpft (Abb. 4.1).

Letztendlich erhält man einen Indikator, der die Eignung von Buche oder Eiche für einen Umbau von Kiefernbeständen beschreibt und sowohl die simulierte Produktivität der Baumarten als auch die Standortbedingungen berücksichtigt (s. Kapitel 4.5.2).

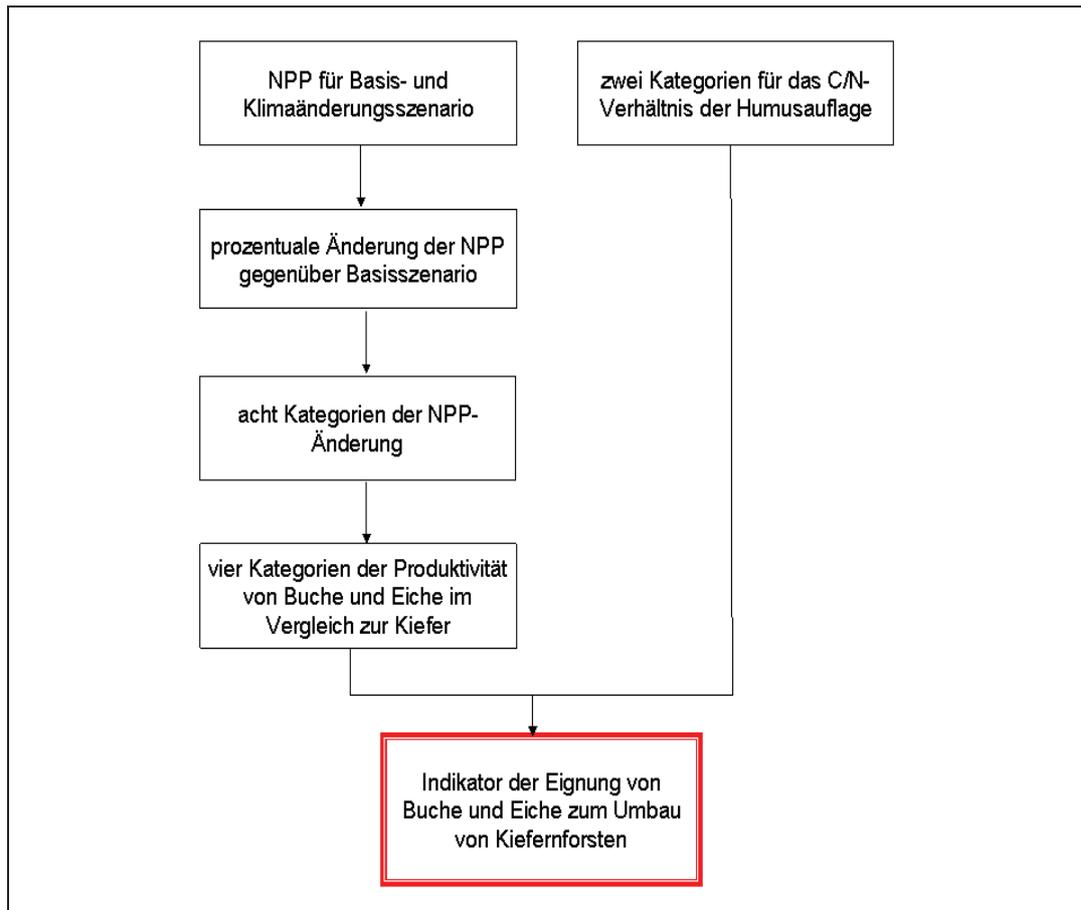


Abb. 4.1: Ableitung des Waldumbauindikators

4.2.2.3. Produktivität landwirtschaftlicher Flächen mit Aspen-KUP

Zur Analyse der Produktivität landwirtschaftlicher Flächen, die für Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Aspen (Zitterpappel) genutzt werden, wurde ebenfalls das Waldwachstumsmodell 4C eingesetzt, das die Anpflanzung, die Ernte und den Neuaustrieb der Aspen simuliert. Diese Fragestellung wurde bereits für Deutschland untersucht (Kollas et al. 2009). Basierend auf diesen Ergebnissen wurden für die hier vorliegende Studie die betreffenden Landkreise separat ausgewertet.

4.3. Daten

4.3.1 Zeiträume und Szenarien

Untersucht wurden für die Vergangenheit die Zeiträume 1961-1990 und 1977-2006 und für die Klimaszenarien die Zeiträume 2011-2040 und 2031-2060.

Wie auch in den anderen Expertisen wurden die STAR-Klimaszenarien mit dem Trend 0K, 2K, 3K, in jeweils einer Realisierung (sogenannte mittlere Realisierung (Nr. 509)) verwendet. Eine genauere Beschreibung befindet sich in der Expertise 1 "Meteorologische Interpretation des STAR-Klimamodells für die Region Havelland-Fläming".

4.3.2 Klimastationen

Die landkreisbezogenen Indikatoren wurden auf der Basis von 14 Klimastationen in den Landkreisen Havelland, Potsdam-Mittelmark, Teltow-Fläming sowie für Potsdam und Brandenburg (siehe Kapitel Klima) bestimmt.

4.3.3 Standorte, Bestände

Das Modell 4C wurde an 122 ausgewählten Standorten der Ökologischen Waldzustandskontrolle (ÖWK), die in den MORO-Landkreisen liegen, angewendet. Diese Flächen wurden in den achtziger Jahren aufgenommen und sind repräsentativ für die Waldbestände im Alter über 40 in Brandenburg. Jedem Standort wurde eine nahegelegene Klimastation sowie mithilfe der BÜK 1000 ein entsprechendes Bodenprofil zugeordnet. Die Initialisierung der Bestände erfolgte auf der Grundlage des Datenspeicher Waldfonds (DSW). Die 122 ÖWK-Bestände bestehen aus

112 Flächen Kiefernreinbestand

5 Kiefern-Mischbeständen

2 Buchenbeständen

2 Eichen-Mischbeständen

1 Eichenbestand

Die Entwicklung dieser Bestände wurde über 30 Jahre ohne Bewirtschaftung simuliert.

Darüber hinaus wurden zur weiteren Abschätzung der Produktivität von Standorten in dem betrachteten Gebiet an allen 122 ÖWK-Standorten Simulationen mit hypothetischen Beständen durchgeführt. Dazu wurden 35-jährige Buchen-, Eichen- und Kiefernbestände an diese Standorte gesetzt und deren Entwicklung über 30 Jahre mit einer vorgegebenen Durchforstung (Durchforstungsintervall 5 Jahre, Entnahme von 15% der Stammzahl) simuliert.

4.4. Analysen mit dem Impaktmodell

Die Berechnung der Indikatoren mit dem Impaktmodell (siehe Kapitel 4.2.1) erfolgte an den Klimastationen, die in den betrachteten Kreisen bzw. in den Städten Potsdam und Brandenburg liegen. Die Werte der Klimastationen, die in einen Landkreis fallen, wurden gemittelt und in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Außerdem wurden die Indikatoren auch an allen Klimastationen Brandenburgs berechnet. Die Ergebnisse wurden nach der Methode der inversen Distanz interpoliert und als Karten dargestellt.

4.4.1. Dürre-Index

Der Kreis Potsdam-Mittelmark hat sowohl im Basisszenario als auch in den Klimaszenarien den höchsten Dürre-Index, gefolgt vom Kreis Havelland. Mit Ausnahme vom Kreis Teltow-Fläming nimmt der Dürre-Index in der zweiten Periode

des Basisszenarios leicht ab. Unter den Klimaszenarien nimmt der Index überwiegend zu und erreicht in der zweiten Periode des 3K-Szenarios die höchsten Werte (Tab. 4.3).

Tab. 4.3: Landkreis- und Periodenmittelwerte des Dürrindizes für die 0K-, 2K- und 3K-Szenarien

Dürre-Index	Basis		0K	2K	3K	0K	2K	3K
	1961-1990	1977-2006	2011-2040			2031-2040		
Potsdam	3.46	3.43	3.53	3.52	3.94	3.69	3.75	4.24
Brandenb.	3.38	3.22	3.32	3.29	3.57	3.42	3.57	4.00
HVL	3.65	3.45	3.62	3.61	3.87	3.76	3.87	4.29
PM	3.72	3.65	3.67	3.80	4.24	3.92	4.11	4.84
TF	3.45	3.60	3.67	3.79	3.98	3.78	3.98	4.52

Die räumliche Verteilung zeigt ebenfalls die leichte Abnahme des Dürre-Index in der zweiten Periode des Basisszenarios für weite Gebiete Brandenburgs (Abb. 4.2). Die untersuchten Kreise und Städte im Osten Brandenburgs liegen dabei größtenteils am unteren Ende der Skala.

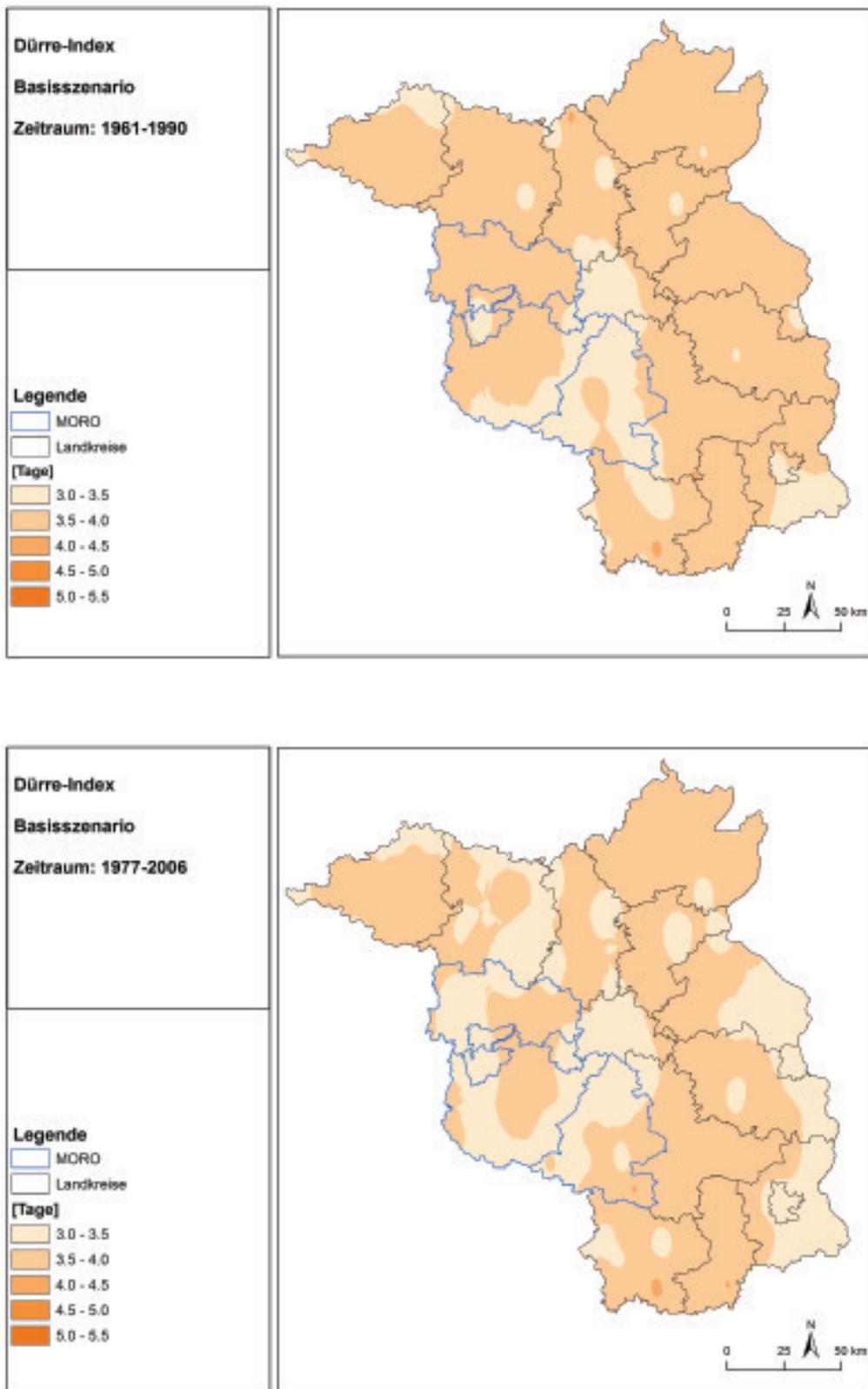


Abb. 4.2: Dürre-Index, gemittelt für 1961-1990 (oben), 1977-2006 (unten)

Unter den Klimaszenarien kommt es mit steigender Temperatur in ganz Brandenburg zu einer Erhöhung des Dürre-Index, was auch schon für die zweite Periode des 0K-Szenarios zutrifft. Der Dürre-Index steigt im 3K-Szenario für die Pe-

riode 2031-2060 gegenüber 1961-1990 um etwa einen halben bis ganzen Tag, dies entspricht einer Steigerung von 17 - 31 %, je nach Landkreis (Abb. 4.3 bis Abb. 4.5). Der höchste Anstieg im Dürre-Index und damit in der mittleren Länge der Trockenperioden wird für den Landkreis Teltow-Fläming berechnet.

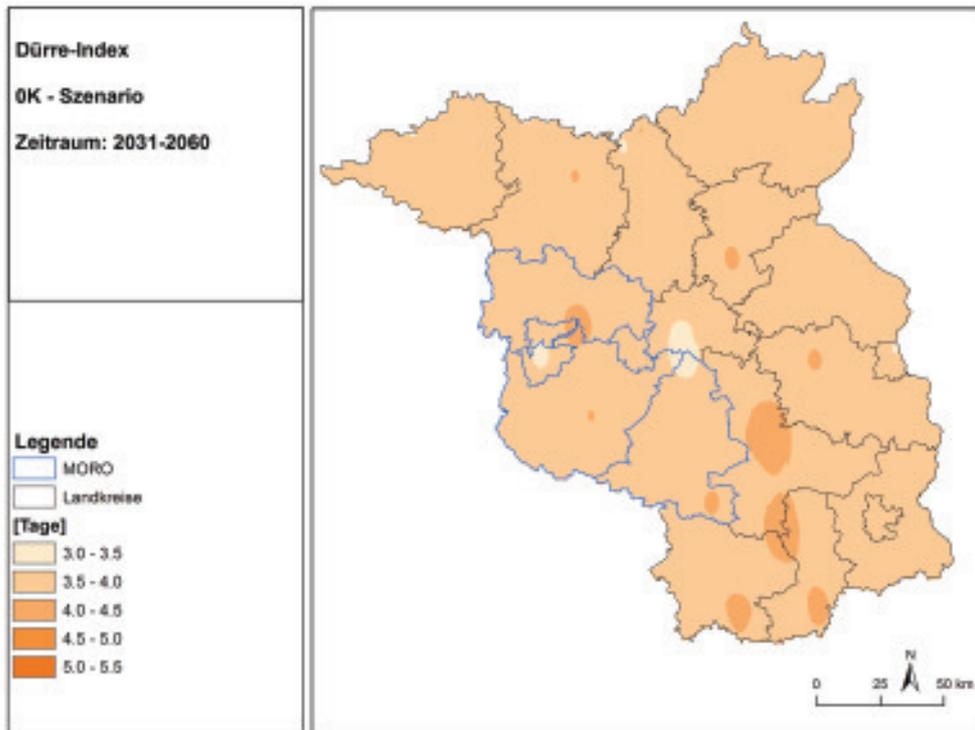
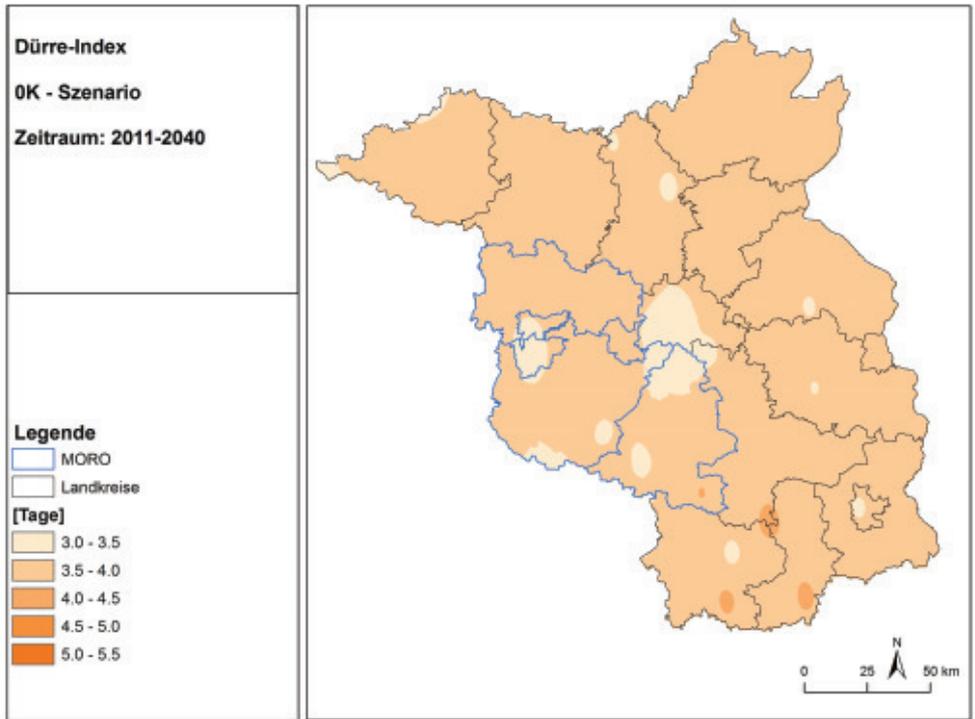


Abb. 4.3: Dürre-Index für OK, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

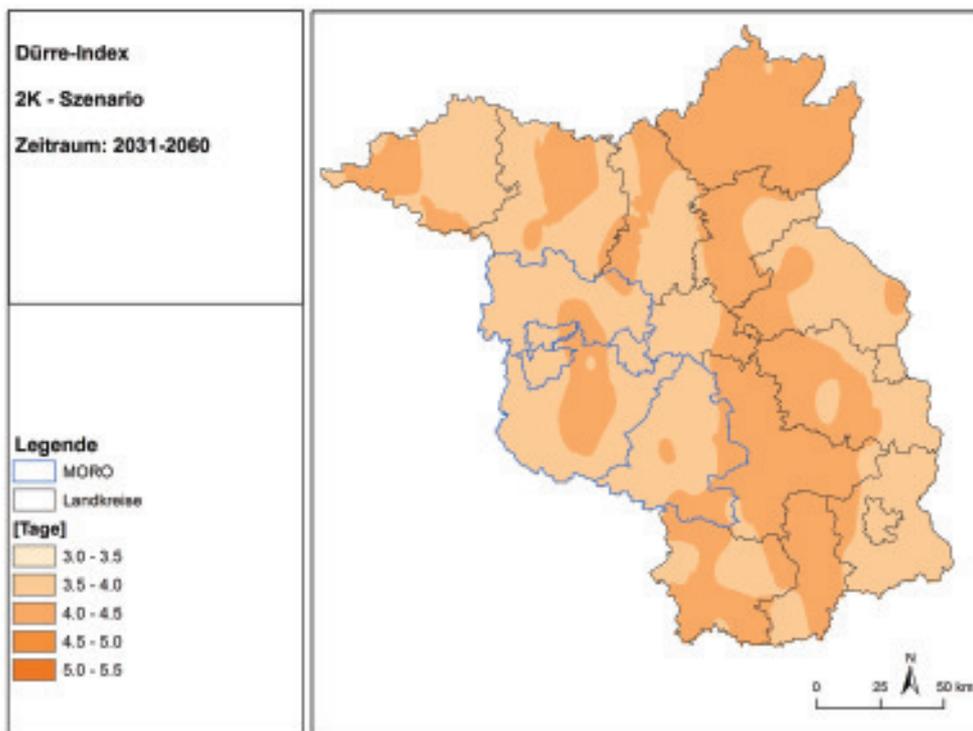
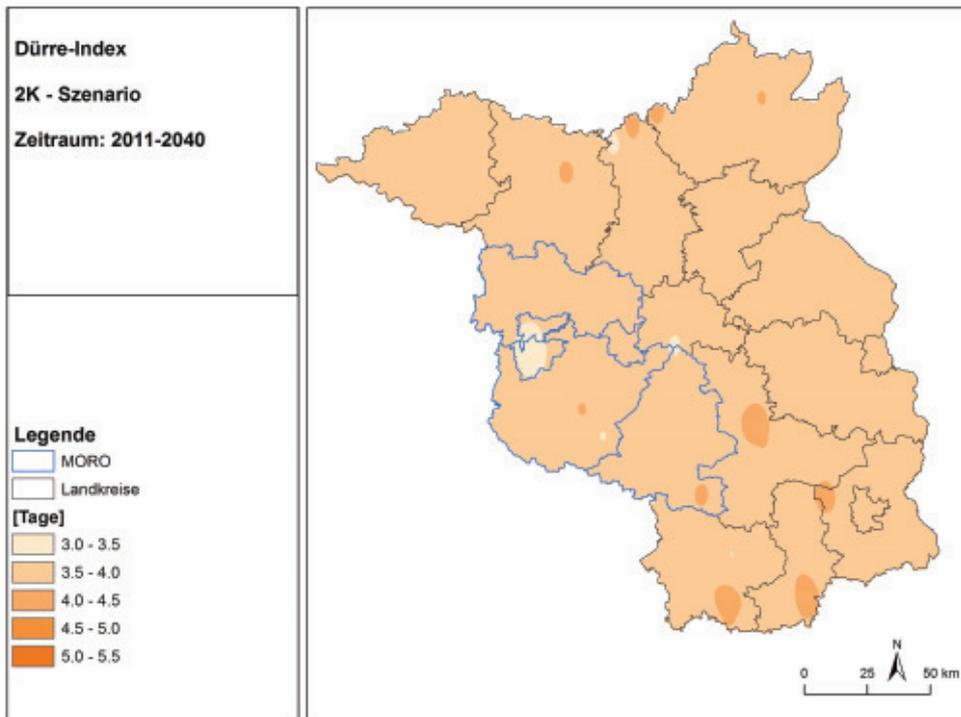


Abb. 4.4: Dürre-Index für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

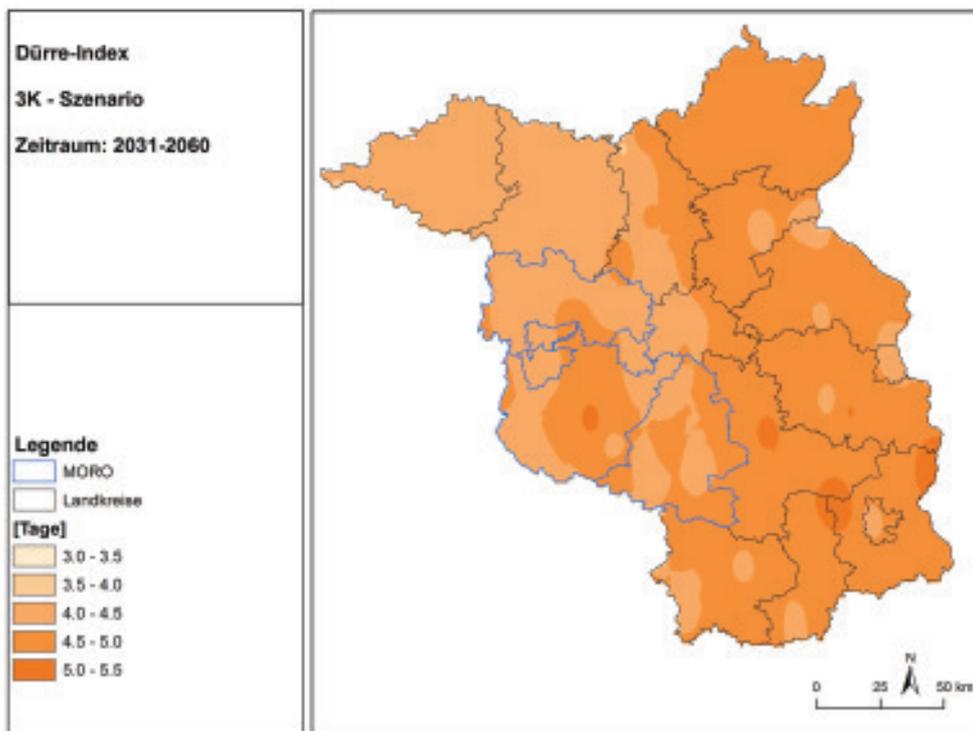
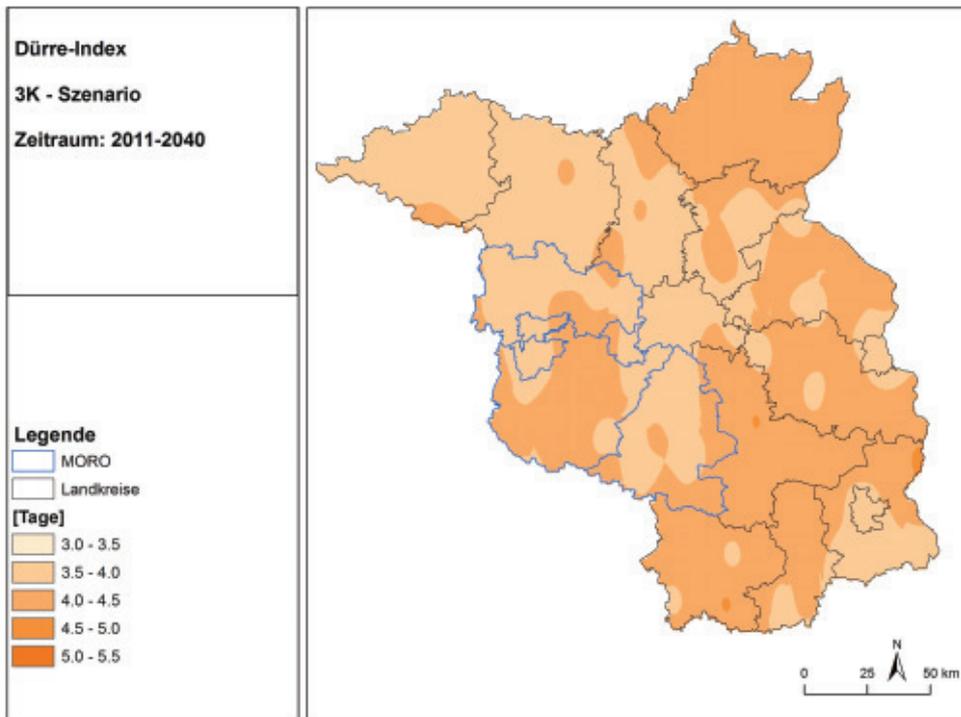


Abb. 4.5: Dürre-Index für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

4.4.2. Klimatisches Waldbrandrisiko (WBI)

Die klimatische Waldbrandgefahr steigt mit zunehmender Temperatur. Bereits in der zweiten Periode des Basisszenarios ist ein leichter Anstieg des Waldbrandrisikos zu verzeichnen (Tab. 4.4). Die Stadt Brandenburg und der Kreis Potsdam-Mittelmark haben überwiegend die höchste klimatische Waldbrandgefahr. Insgesamt sind die Unterschiede zwischen den Kreisen und Städten gering.

Tab. 4.4: Landkreis- und Periodenmittelwerte des klimatischen Waldbrandindex für die 0K-, 2K- und 3K-Szenarien

WBI			0K	2K	3K	0K	2K	3K
	1961-1990	1977-2006	2011-2040			2031-2060		
Potsdam	2.12	2.16	2.15	2.27	2.43	2.28	2.50	2.67
Brandenb.	2.26	2.28	2.30	2.39	2.53	2.37	2.56	2.80
HVL	2.20	2.24	2.28	2.36	2.49	2.35	2.54	2.73
PM	2.22	2.28	2.29	2.38	2.55	2.40	2.61	2.79
TF	2.19	2.27	2.27	2.52	2.53	2.36	2.57	2.74

Die Karten für Brandenburg (Abb. 4.6 bis Abb. 4.9) zeigen, dass die Waldbrandgefahr in Teilen des Untersuchungsgebiets schneller steigt als in anderen Regionen Brandenburgs. Die generelle Zunahme der Waldbrandgefährdung insbesondere in der zweiten Periode des 2K- und 3K-Szenarios wird dabei deutlich.

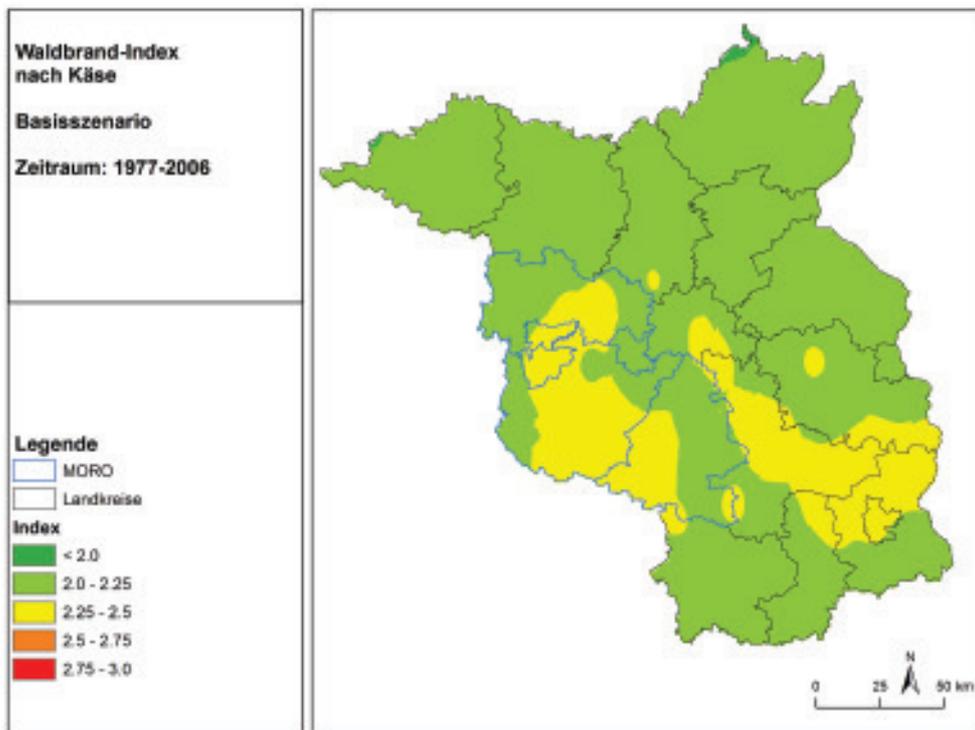
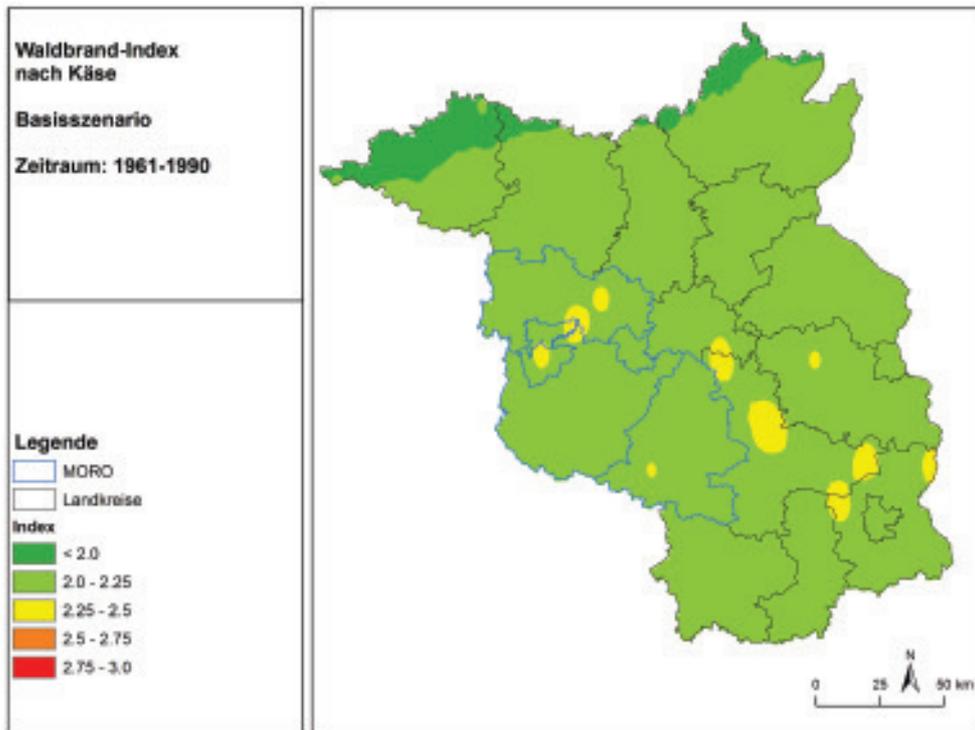


Abb. 4.6: Klimatischer Waldbrandindex, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

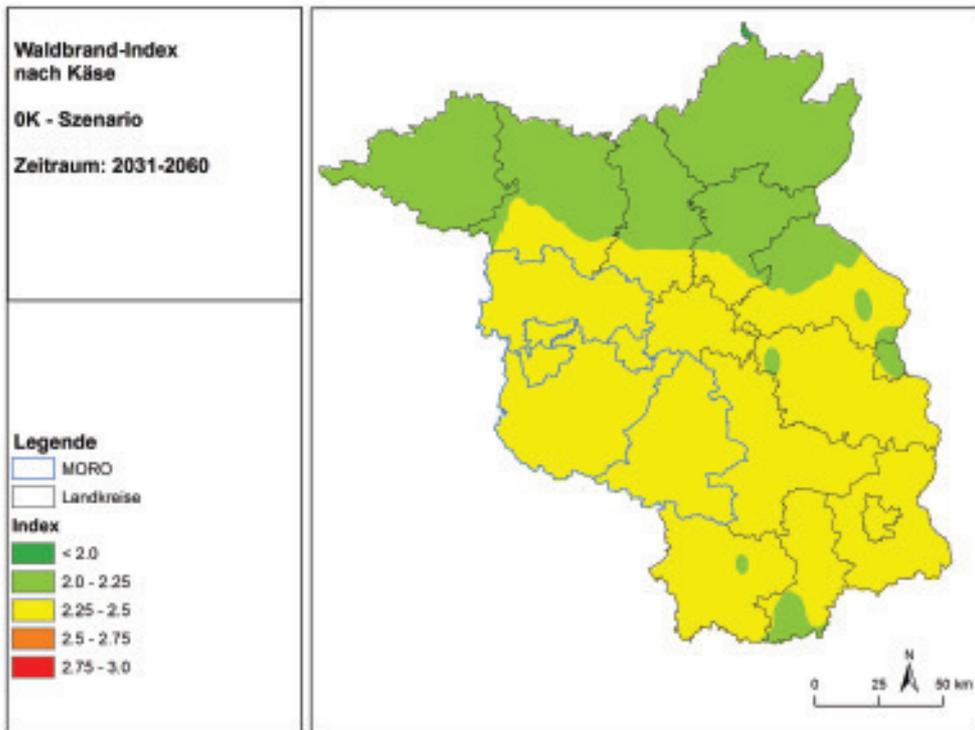
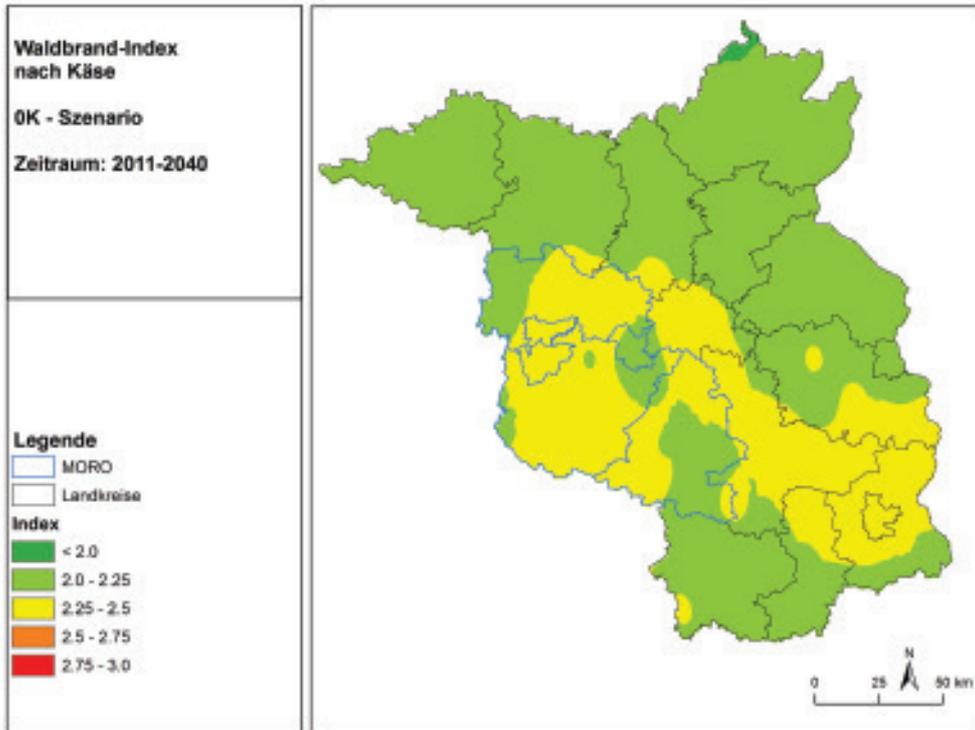


Abb. 4.7: Klimatischer Waldbrandindex für OK, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

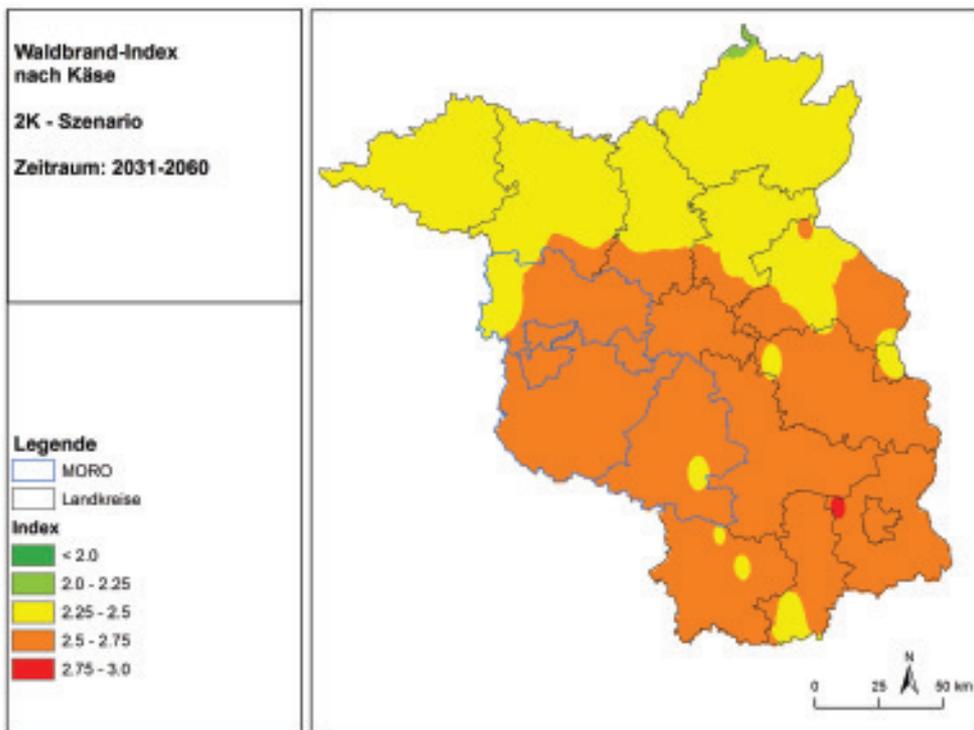
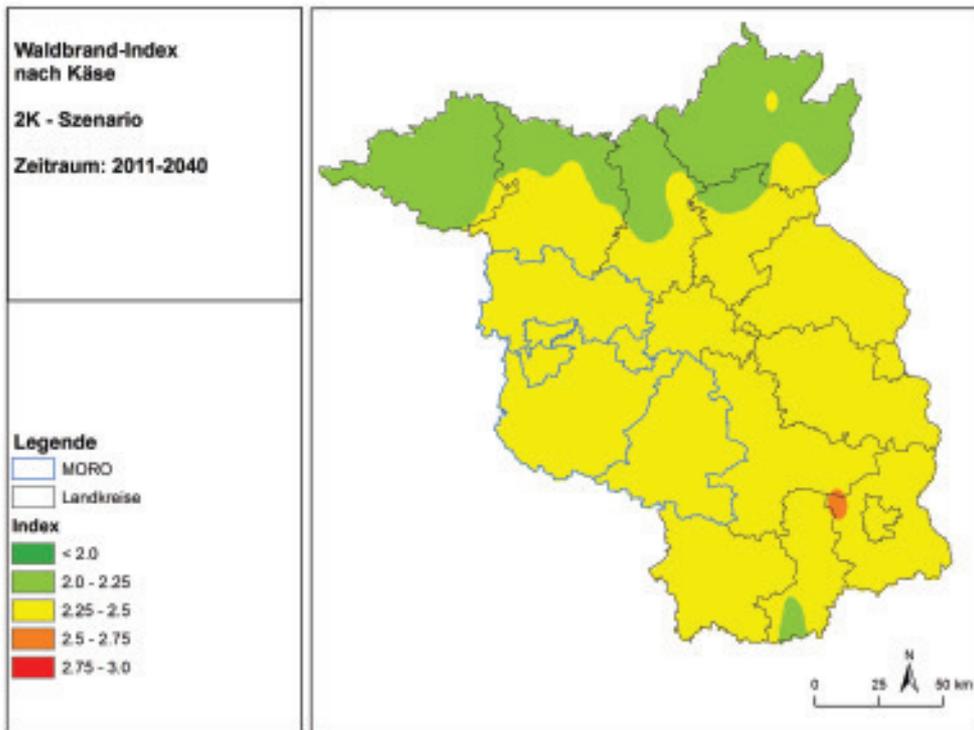


Abb. 4.8: Klimatischer Waldbrandindex für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

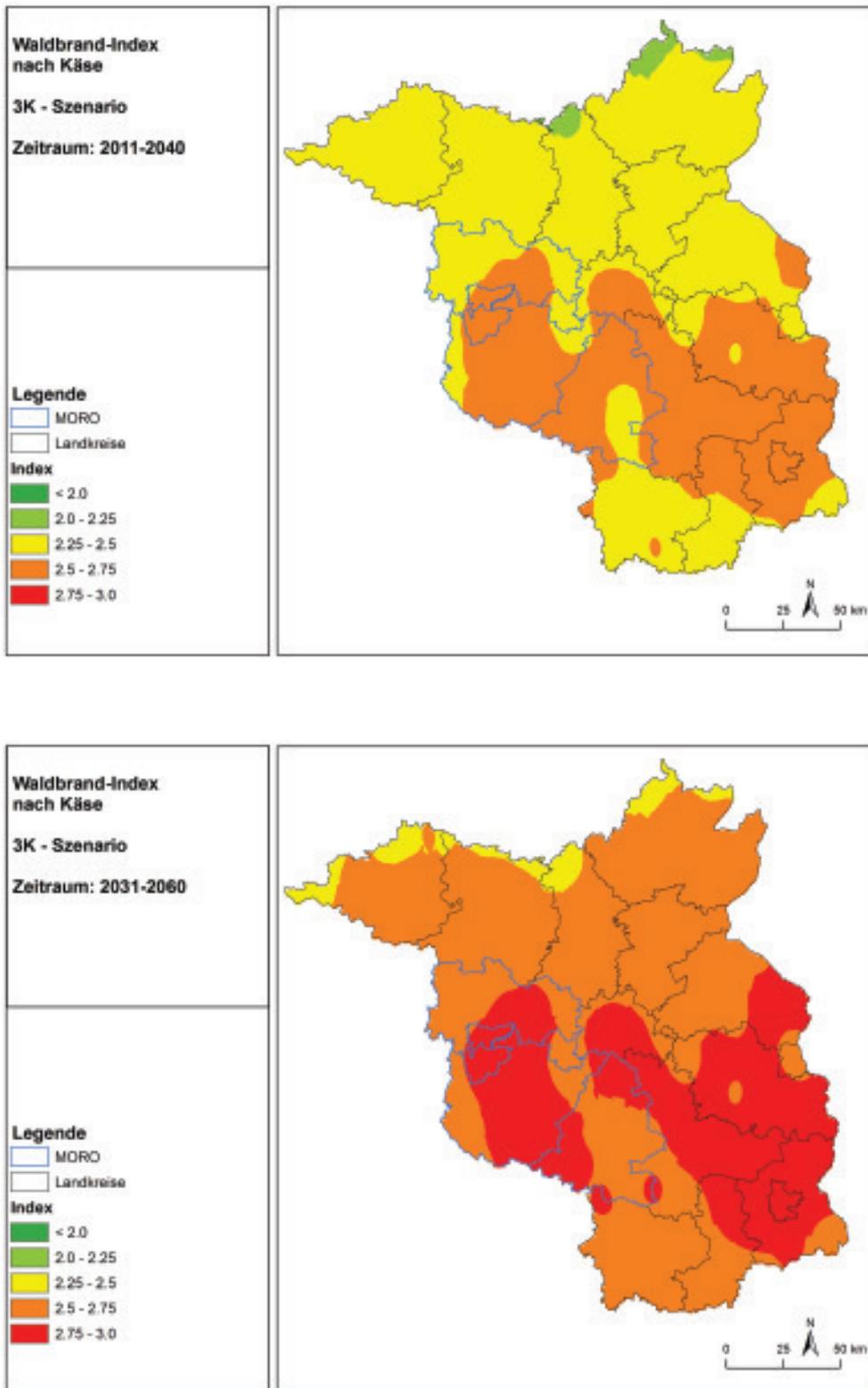


Abb. 4.9: Klimatischer Waldbrandindex für OK, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

Der Waldbrandindex zeigt nur eine potenzielle, klimatisch bedingte Gefährdung an, die durch ausreichende Vorsorgemaßnahmen und Waldumbau gemindert werden kann.

4.4.3. Erosionsrisiko

Die Erosionsrisikoklassen weisen zwischen beiden Basiszeiträumen eine sehr große Übereinstimmung auf (Abb. 4.10). Aufgrund der vorherrschenden geringen Hangneigungen im MORO-Gebiet ist die Gefahr der Erosion, bedingt durch Wasser, größtenteils gering. Bis auf wenige kleinflächige Ausnahmen befinden sich die Flächen in den Erosionsrisikoklassen 0-3. Klimabedingte zukünftige Änderungen ergeben sich durch Änderungen im Sommerniederschlag. Dieser ist in den Klimaszenarien tendenziell rückläufig und zieht demzufolge eine Verringerung der Erosionsgefährdung nach sich (Abb. 4.11, Abb. 4.12). Das führt zum Beispiel im 3K-Szenario zur Abstufung der Erosionsrisikoklasse auf einem hohen Anteil der Fläche im MORO-Gebiet (Abb. 4.13 unten). Zu berücksichtigen ist aber, dass eine Zu- oder Abnahme von Extremereignissen wie Starkregen in den Klimaszenarien nicht abgebildet wird. Damit ist auch die Wirkung von Extremniederschlägen nach langen Trockenphasen auf die Erosionsgefährdung nicht abgebildet.

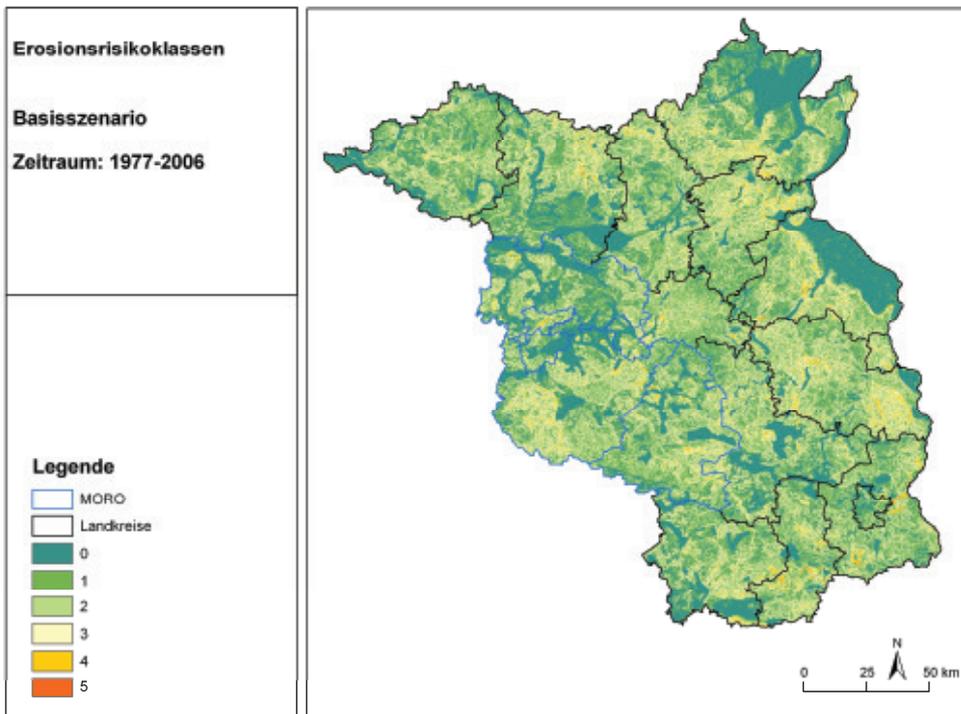
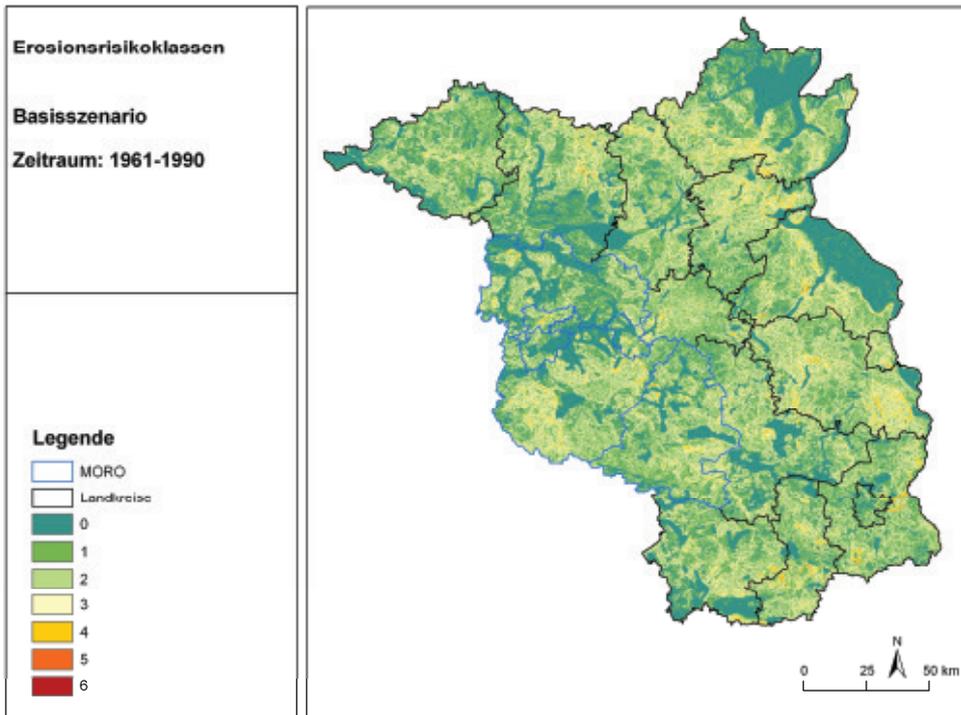


Abb. 4.10: Mittlere Erosionsrisikoklasse für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

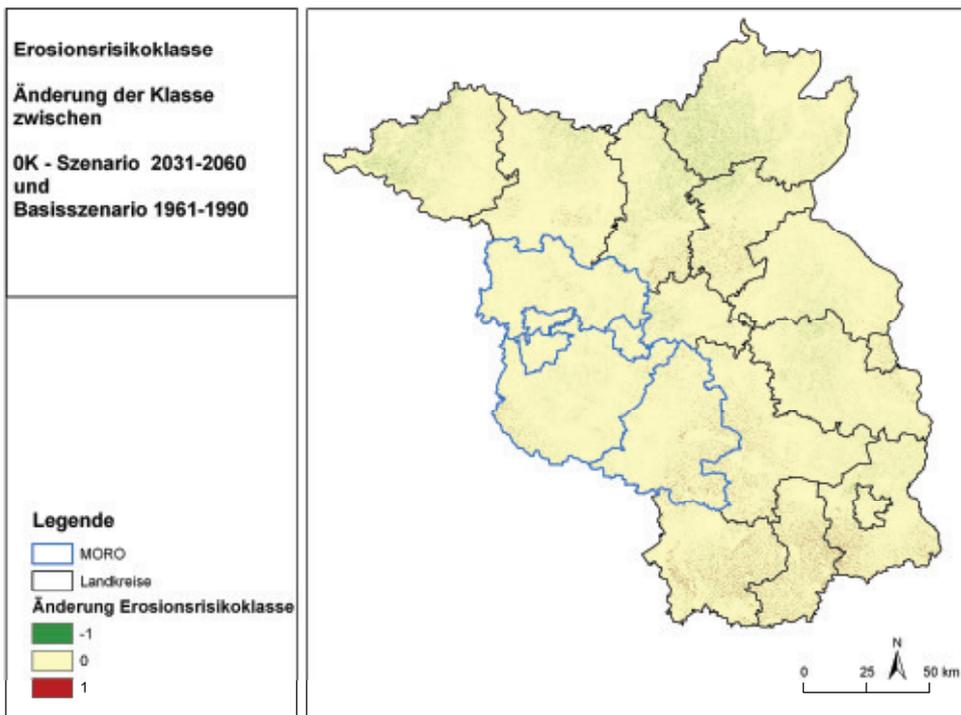
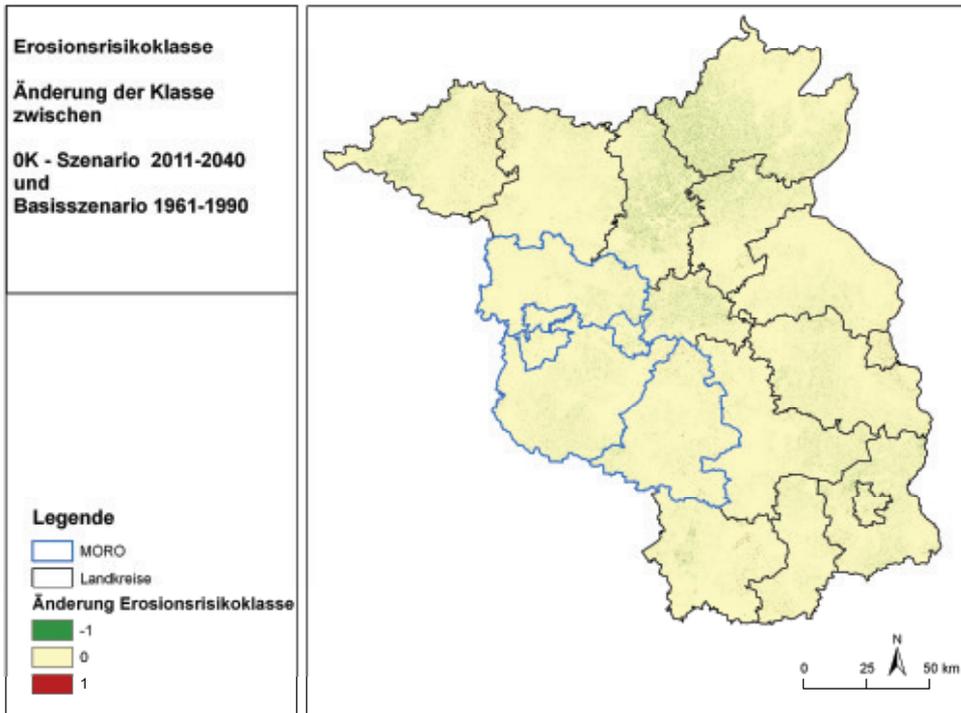


Abb. 4.11: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für OK, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

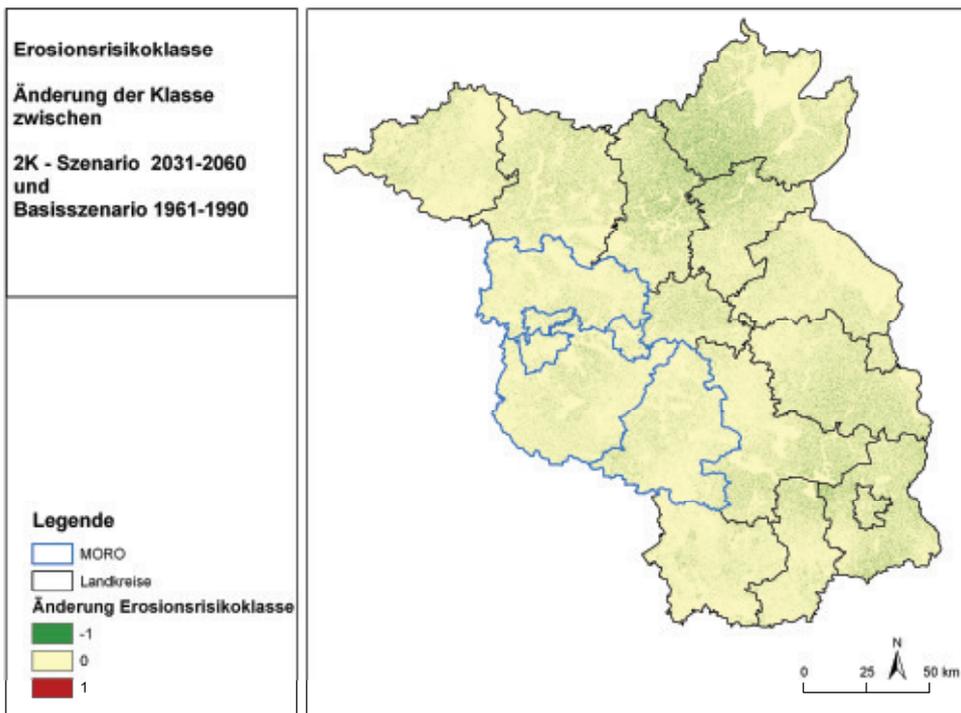
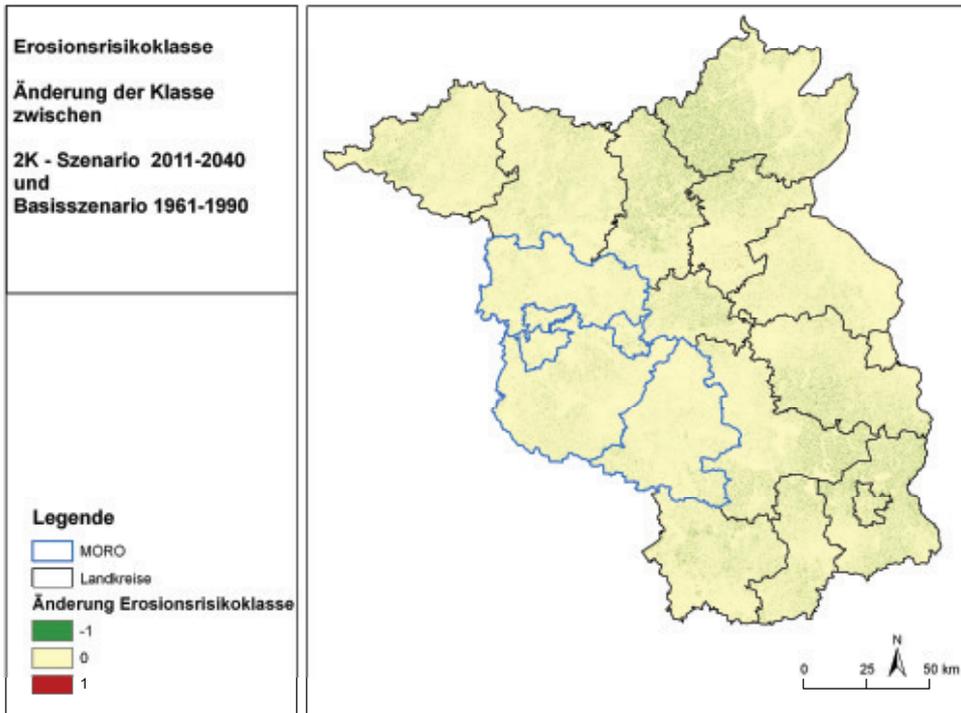


Abb. 4.12: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

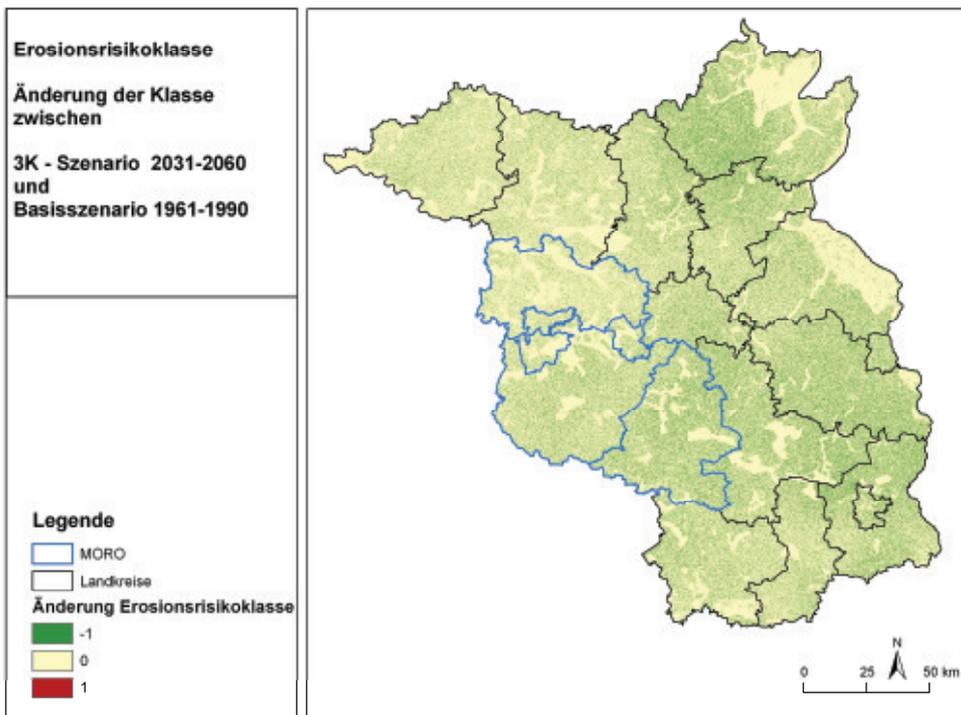
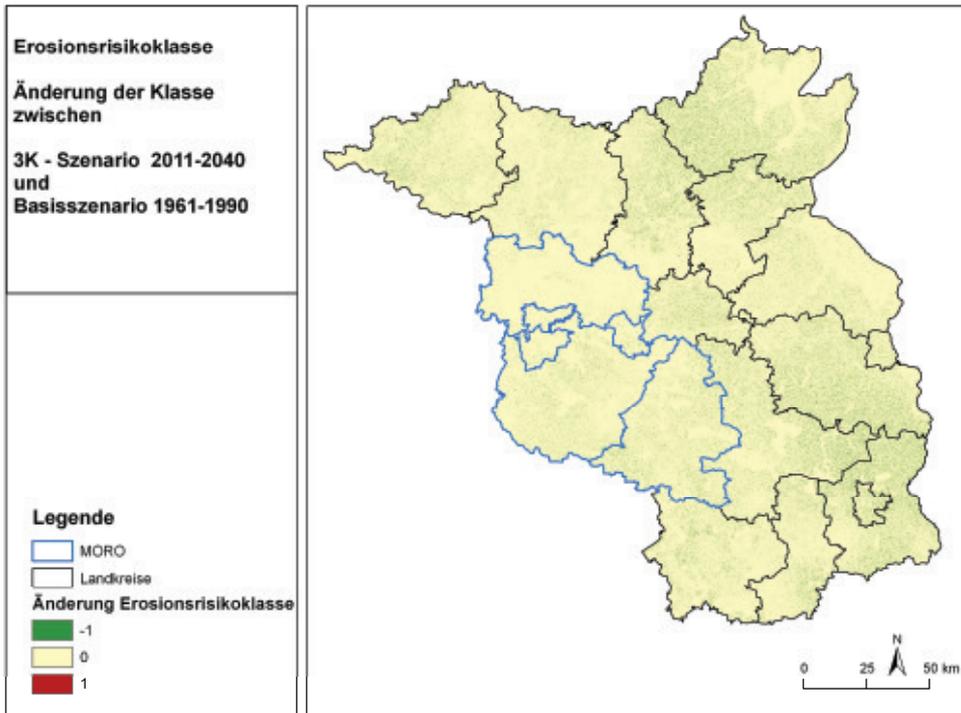


Abb. 4.13: Änderung der Erosionsrisikoklasse im Vergleich zu 1961-1990 für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

4.5. 4C-Analysen für die ÖWK-Bestände

Im Folgenden werden die mit dem Modell 4C erzeugten Simulationsergebnisse für die jährliche Nettoprimärproduktion (NPP) [$\text{t C ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] ausgewertet. Die Ergebnisse wurden jeweils für den Simulationszeitraum gemittelt. Anschließend wurden die Ergebnisse aller ÖWK-Bestände eines forstlichen Wuchsbezirks gemittelt und in Karten dargestellt. In den Tabellen wurden Werte aller ÖWK-Flächen eines Landkreises gemittelt und zusammengefasst.

4.5.1. Auswertung für alle ÖWK-Kiefernbestände

Für die 112 Kiefernreinbestände der ÖWK-Bestände erfolgte eine Mittelung über alle drei Landkreise.

Im Mittel über alle Kiefernreinbestände der ÖWK-Bestände zeigt sich, dass die Kiefer für alle Szenarien in beiden Szenarienperioden eine höhere Produktivität als im Basiszeitraum hat, in der zweiten Periode ist jedoch die Produktivität unter dem 3K-Szenario geringer als unter dem 2K-Szenario (Abb. 4.14).

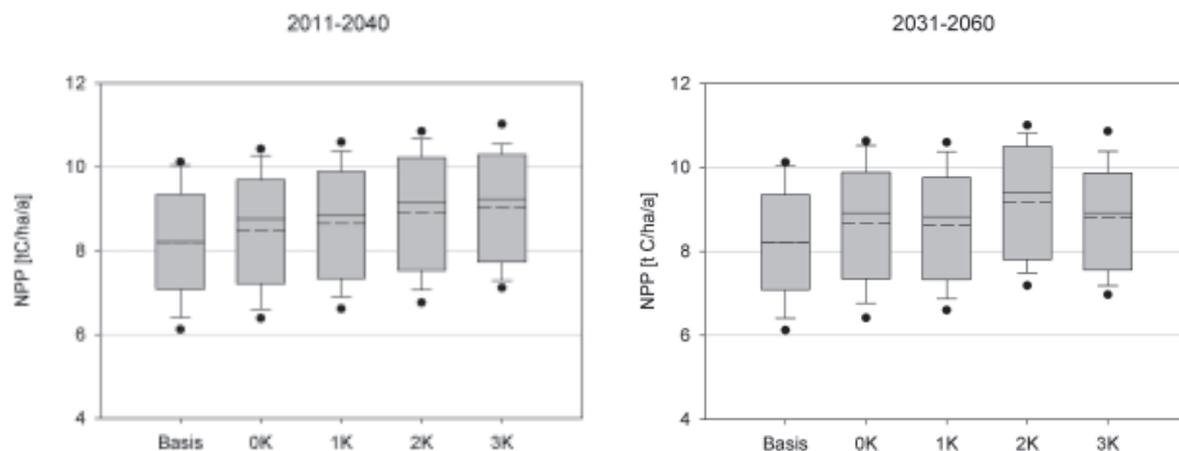


Abb. 4.14: Mittelwert (gestrichelt), Median, 5. und 95. Perzentil (Punkte), sowie 10. und 90. Perzentil und Standardabweichung (Box) der NPP [$\text{t C ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] für 117 Kiefernrein- und Mischbestände, dargestellt über alle drei Landkreise (PM, HVL, TF), den Basiszeitraum 1961-1990 und die beiden Szenarienzeiträume

4.5.1.1 Simulation mit realen ÖWK-Beständen

Die Ergebnisse der Simulationen über 30 Jahre ohne Bewirtschaftung der Bestände für die 112 Kiefernflächen der ÖWK-Standorte werden sowohl tabellarisch für die Landkreise als auch in Kartenform dargestellt.

In den drei Landkreisen steigt unter allen Klimaszenarien und in allen Klimaszenarienperioden die NPP gegenüber den Basiszeiträumen an (Tab. 4.5, Abb. 4.15 bis Abb. 4.18). Dieser temperaturbedingte Effekt prägt sich unter dem 3K-Szenario in der zweiten Klimaszenarienperiode nicht mehr so stark aus, das

heißt, die relativen Änderungen der NPP gegenüber 1961-1990 (Tab. 4.6, grau unterlegt) sind in diesem Fall geringer als unter dem 2K-Szenario.

Tab. 4.5: Jährliche NPP [t C ha⁻¹ a⁻¹] als dreißigjähriges Mittel über alle 112 Kiefern-Flächen, aufgeteilt nach Landkreisen

	Basis		OK	2K	3K	OK	2K	3K
	1961-1990	1977-2006	2011-2040			2031-2060		
HVL	7.84	7.98	8.21	8.71	8.98	8.41	9.07	8.90
PM	8.11	8.25	8.42	8.78	8.92	8.55	8.99	8.59
TF	8.20	8.36	8.46	8.90	8.97	8.65	9.18	8.79

Tab. 4.6: Relative Änderung [%] der jährlichen NPP über alle 112 Kiefern-Flächen in Relation zur NPP für 1977-2006

	OK	2K	3K	OK	2K	3K
	2011-2040			2031-2060		
HVL	4.8	9.2	12.6	5.5	13.7	11.5
PM	3.8	6.5	8.2	3.7	9.0	4.2
TF	3.2	6.4	7.3	3.5	9.8	5.1

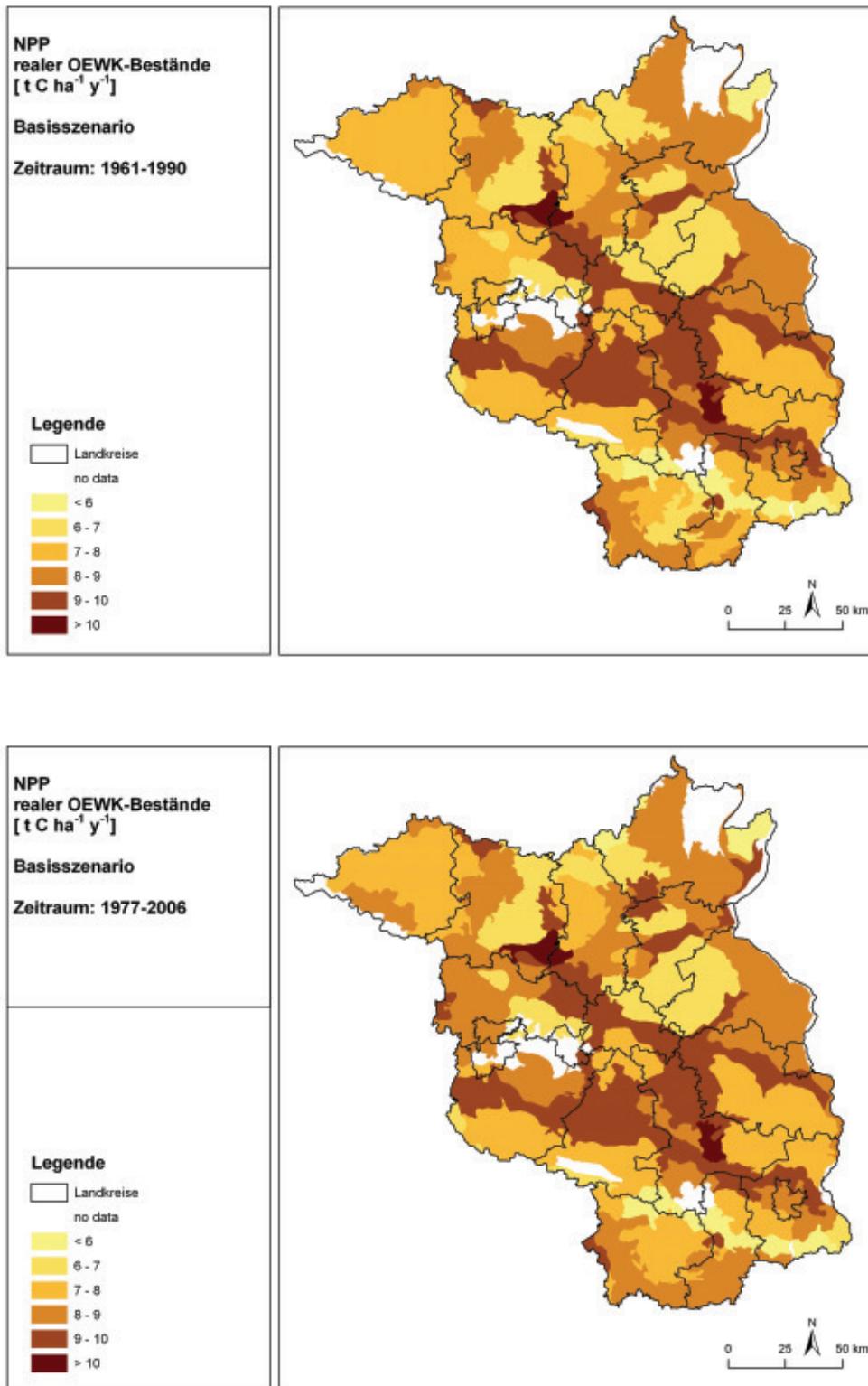


Abb. 4.15: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

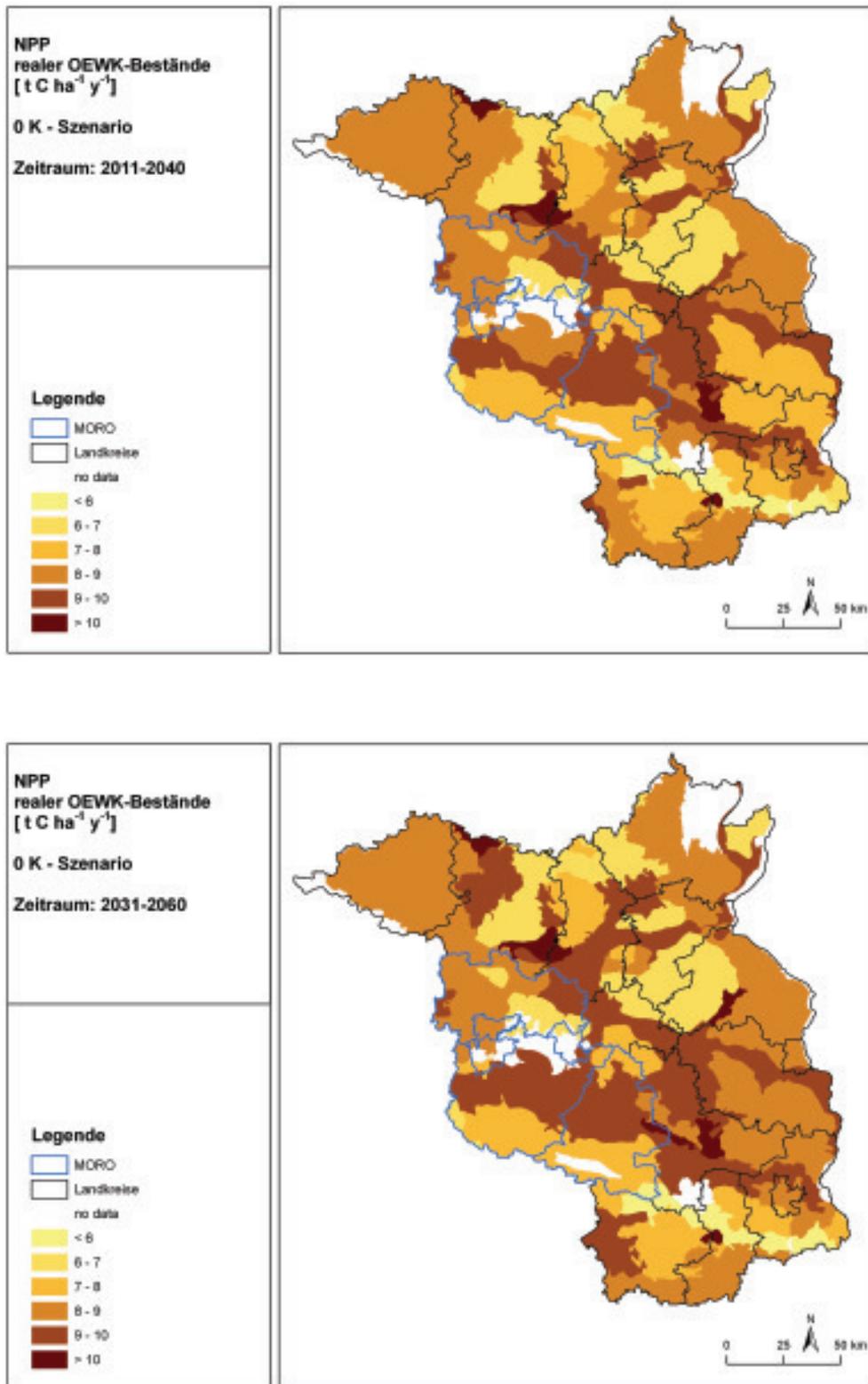


Abb. 4.16: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

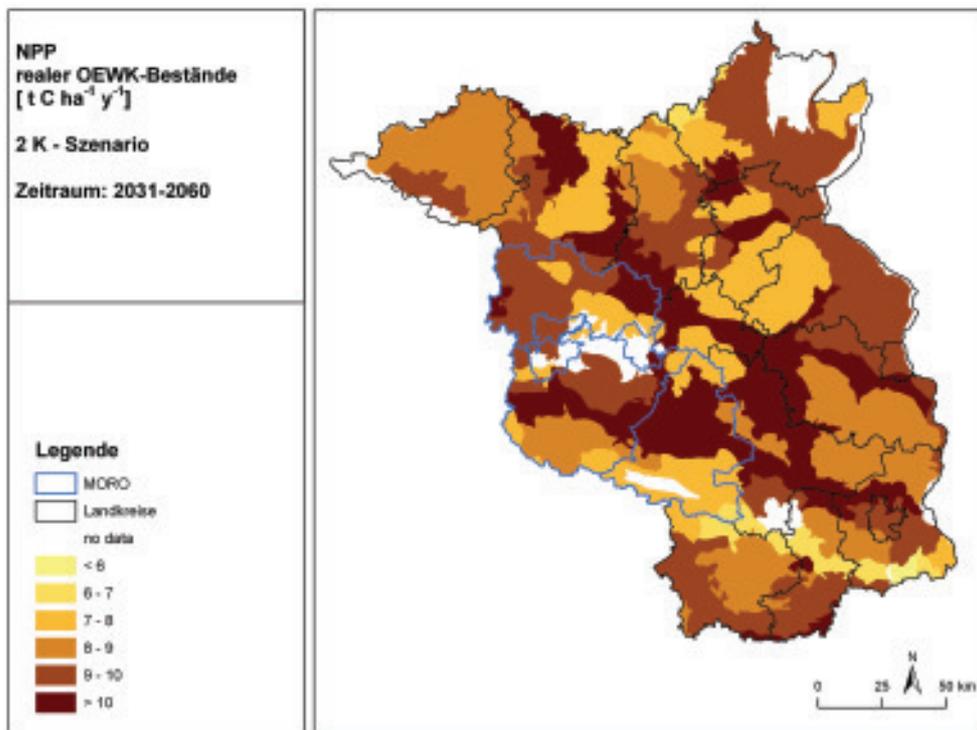
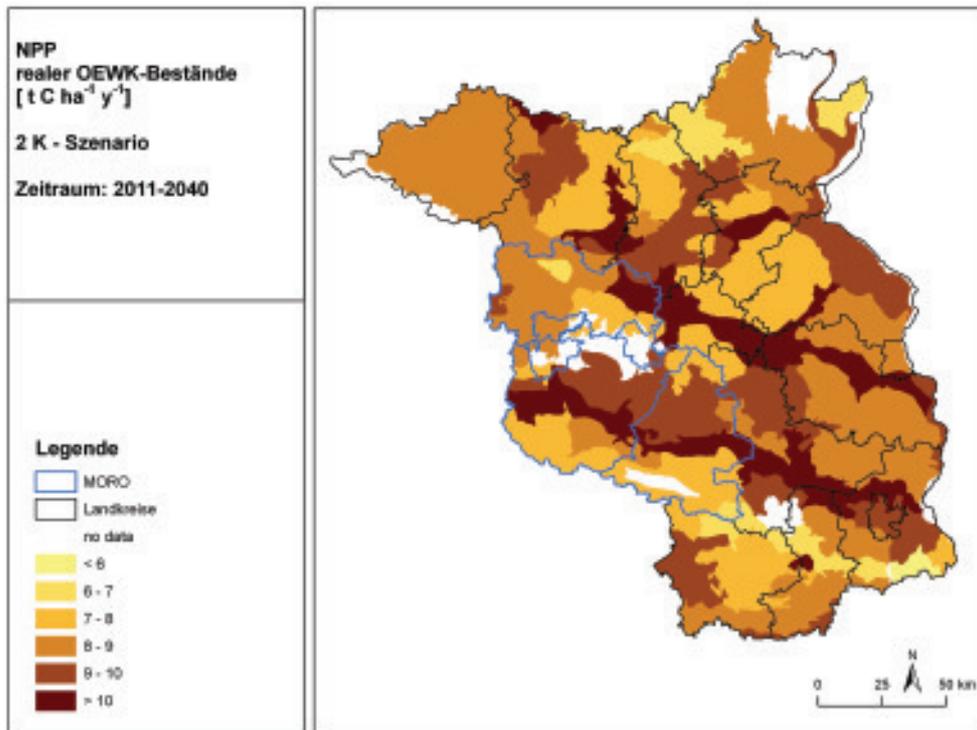


Abb. 4.17: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

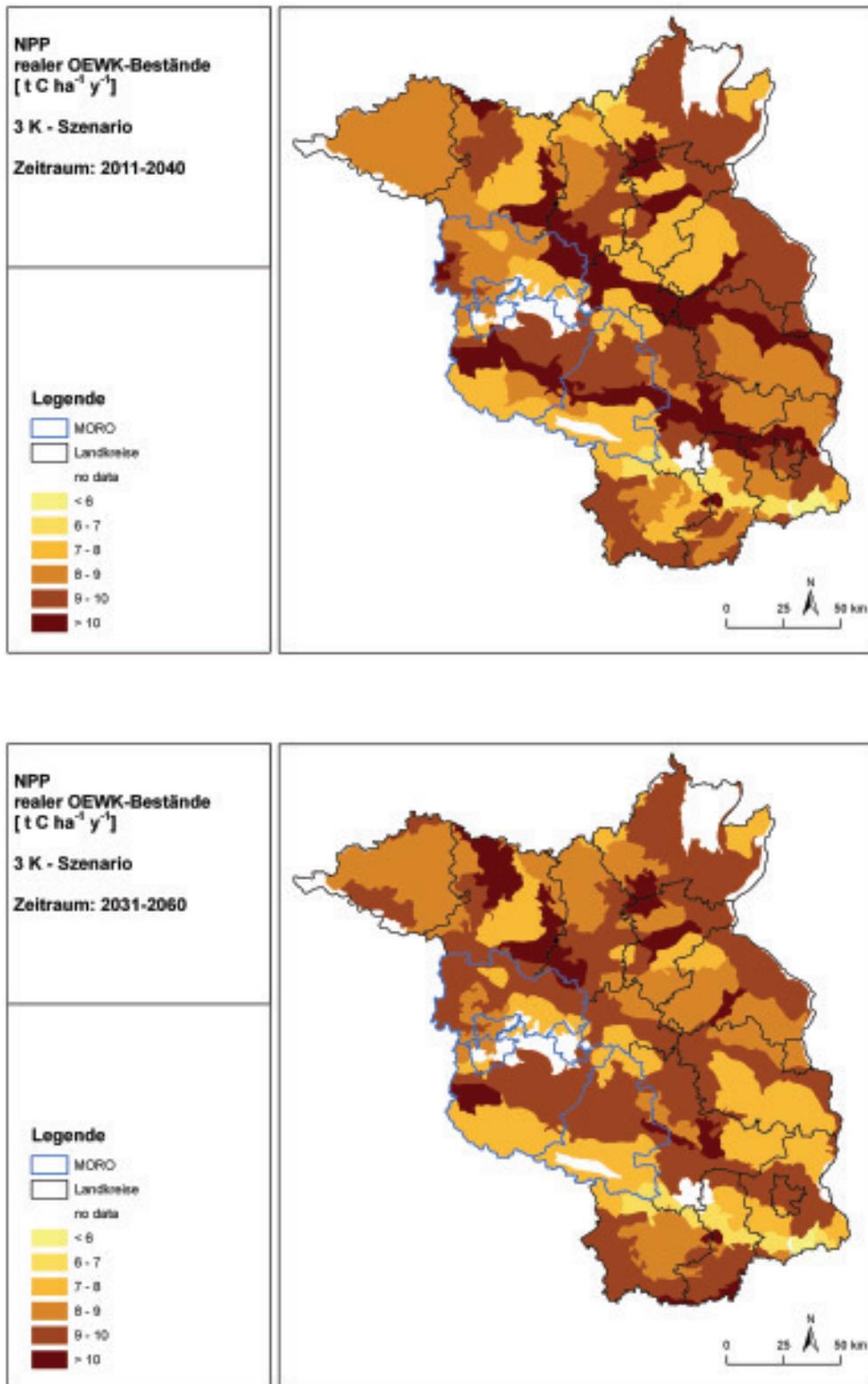


Abb. 4.18: Simulierte und für forstliche Wuchsbezirke gemittelte NPP, berechnet an den ÖWK-Flächen, für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

Die deutlichen Unterschiede in den Karten (Abb. 4.15 bis Abb. 4.18) für die NPP der verschiedenen Wuchsbezirke in den drei Landkreisen sind vor allem auf die standörtlichen Bedingungen der ÖWK-Standorte zurückzuführen. Die Aussagen

zu den Änderungen unter den Szenarien sind analog zu denen über die in den Tabellen sichtbaren Produktivitätsänderungen.

4.5.1.2 Simulation mit hypothetischen Beständen (Kiefer, Buche, Eiche) unter Bewirtschaftung

Die hypothetischen 35-jährigen Kiefernbestände zeigen in der Simulation eine ähnliche Entwicklung der Produktivität wie die realen Kiefernbestände der ÖWK-Bestände. Die NPP ist in der zweiten Klimaszenarioperiode für das 2K-Szenario am höchsten und nimmt dann im Gegensatz zur ersten Periode für das 3K-Szenario wieder ab (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Jährliche NPP [$\text{t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Kiefernbestände, aufgeteilt nach Landkreisen

	Basis		0K	2K	3K	0K	2K	3K
	1961-1990	1977-2006	2011-2040			2031-2060		
HVL	8.06	8.32	8.46	8.95	9.23	8.68	9.32	9.31
PM	7.82	8.01	8.14	8.50	8.73	8.28	8.80	8.71
TF	8.02	8.23	8.31	8.72	8.85	8.49	9.07	8.96

Die räumlichen Darstellungen (Abb. 4.19 bis Abb. 4.22) zeigen ähnliche Muster wie die Abbildungen für die realen Kiefernbestände der ÖWK-Flächen.

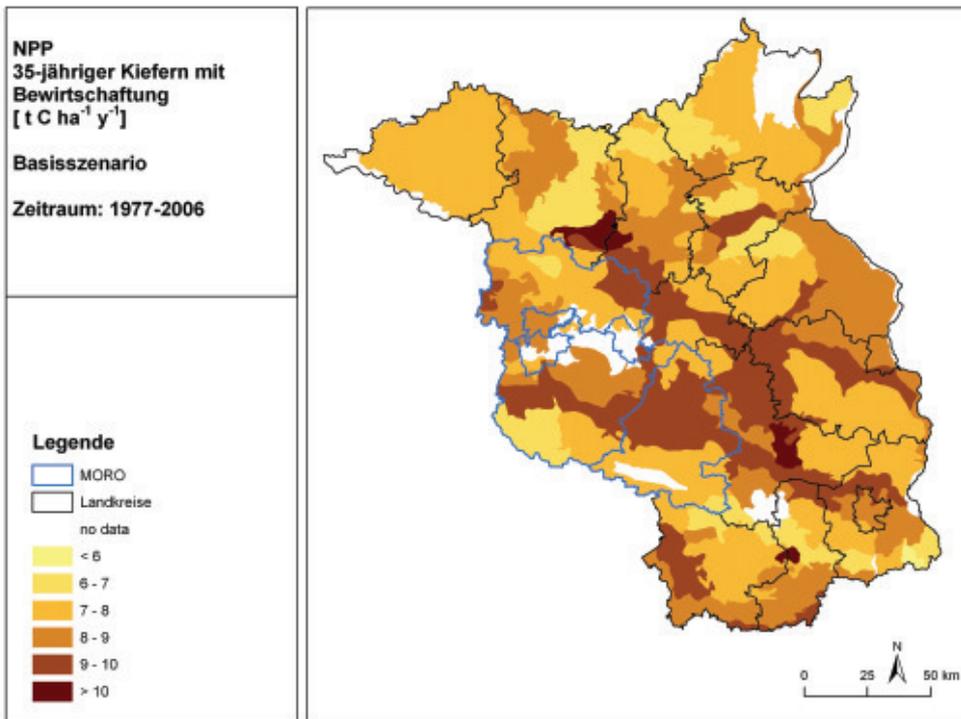
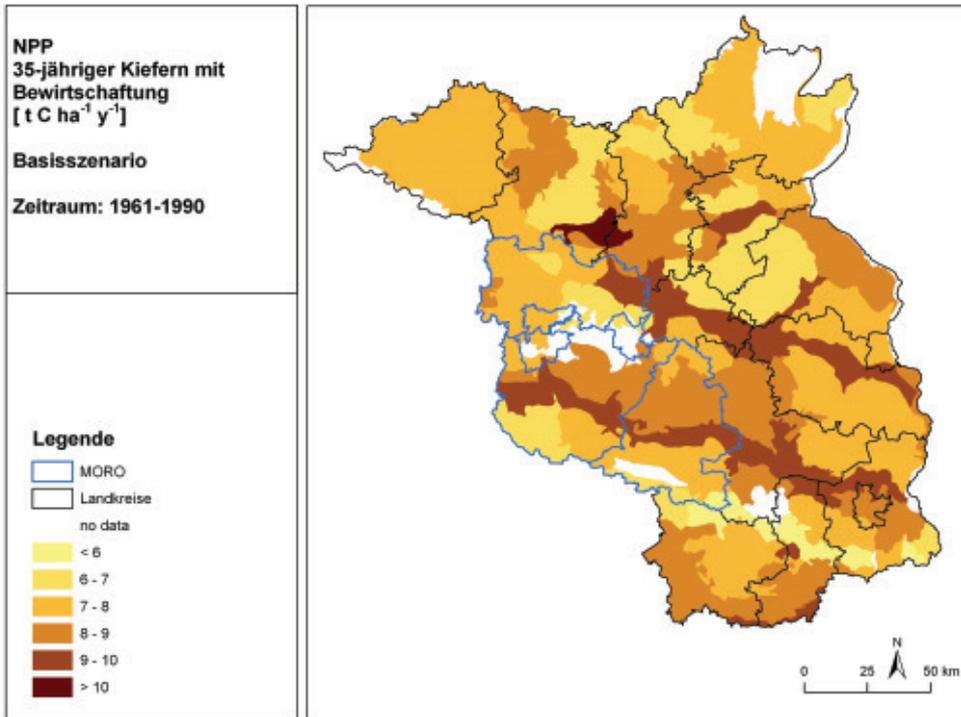


Abb. 4.19: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

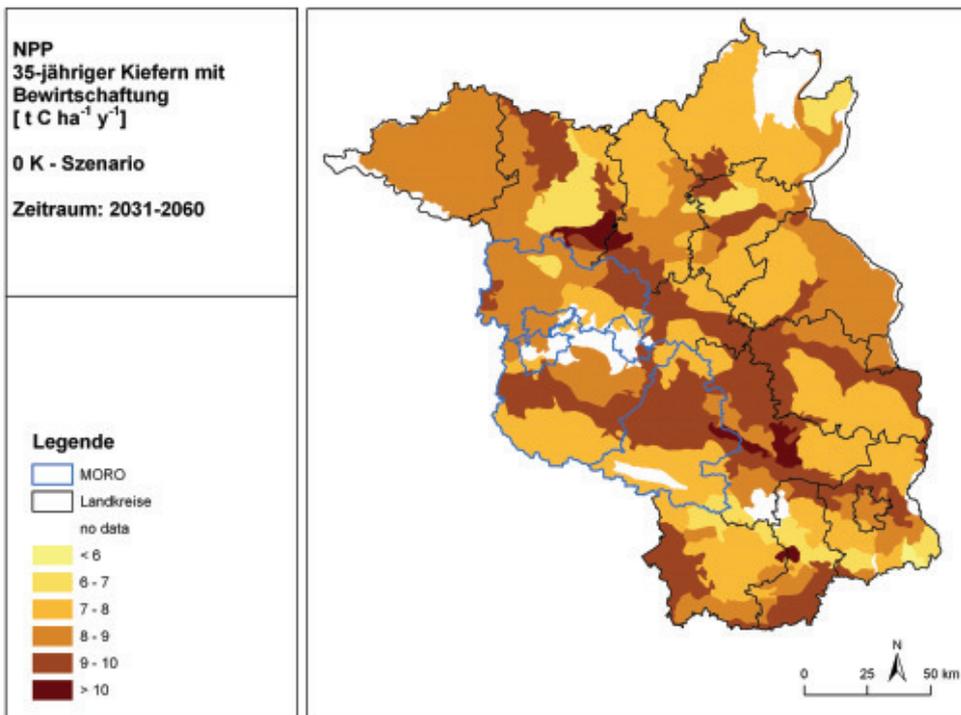
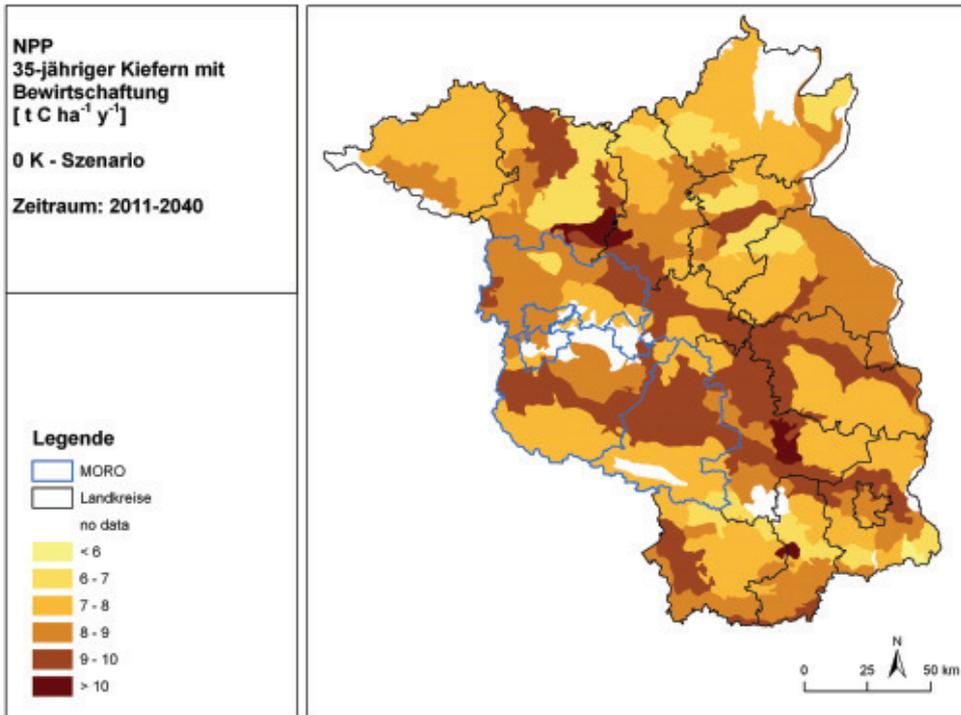


Abb. 4.20: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

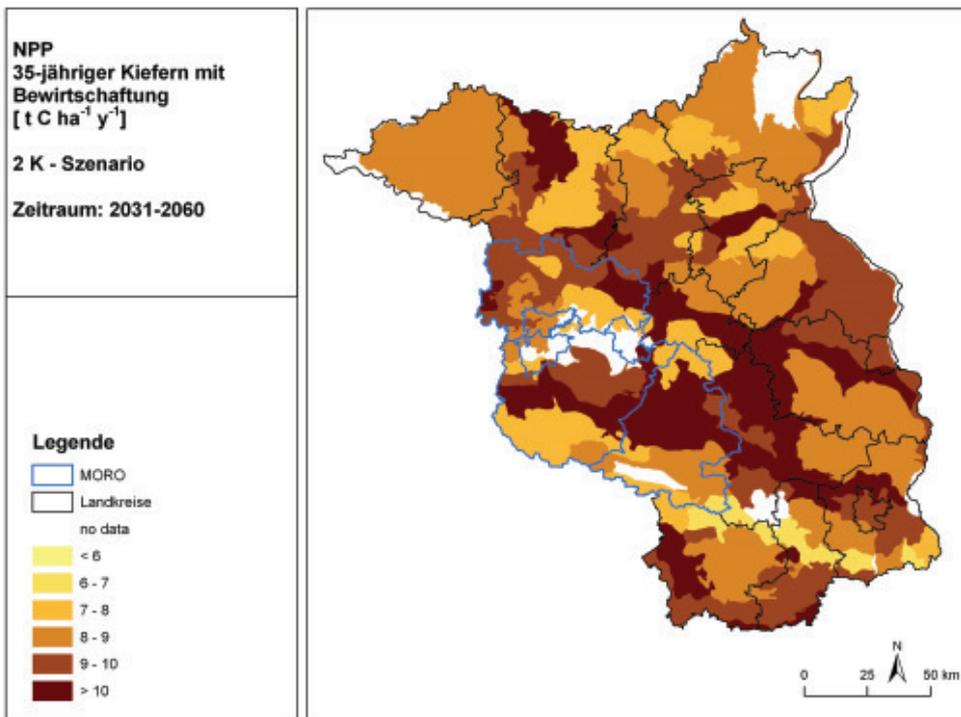
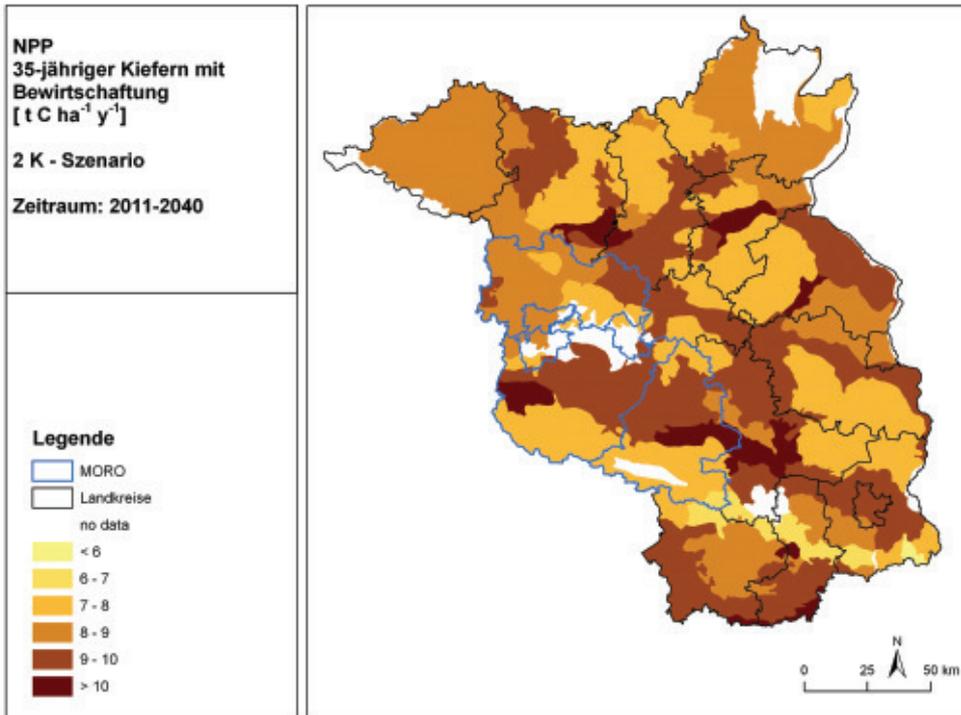


Abb. 4.21: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

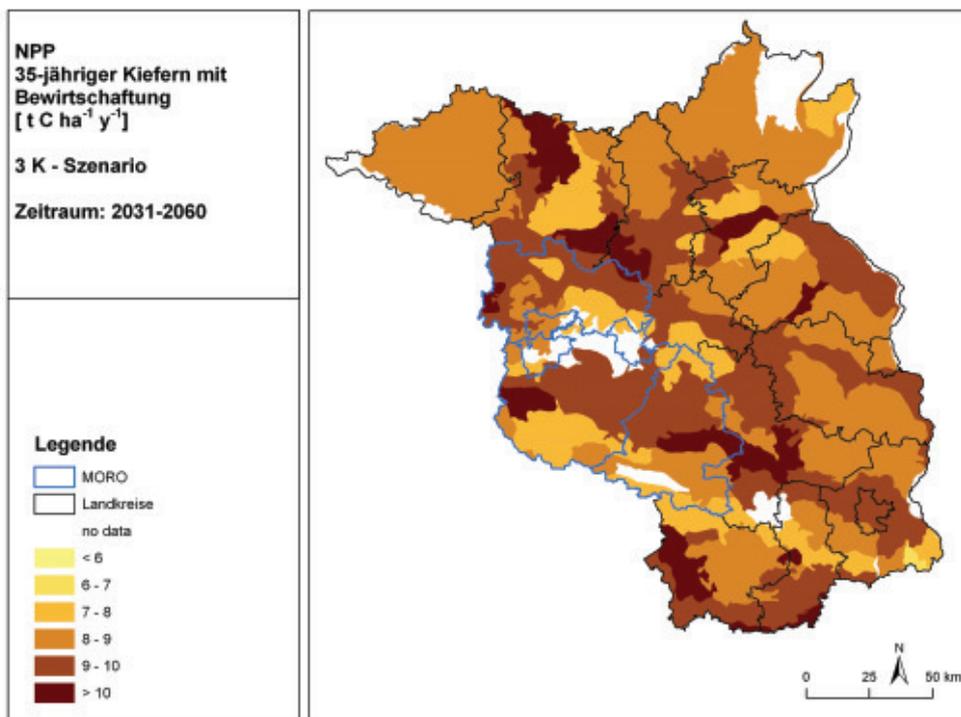
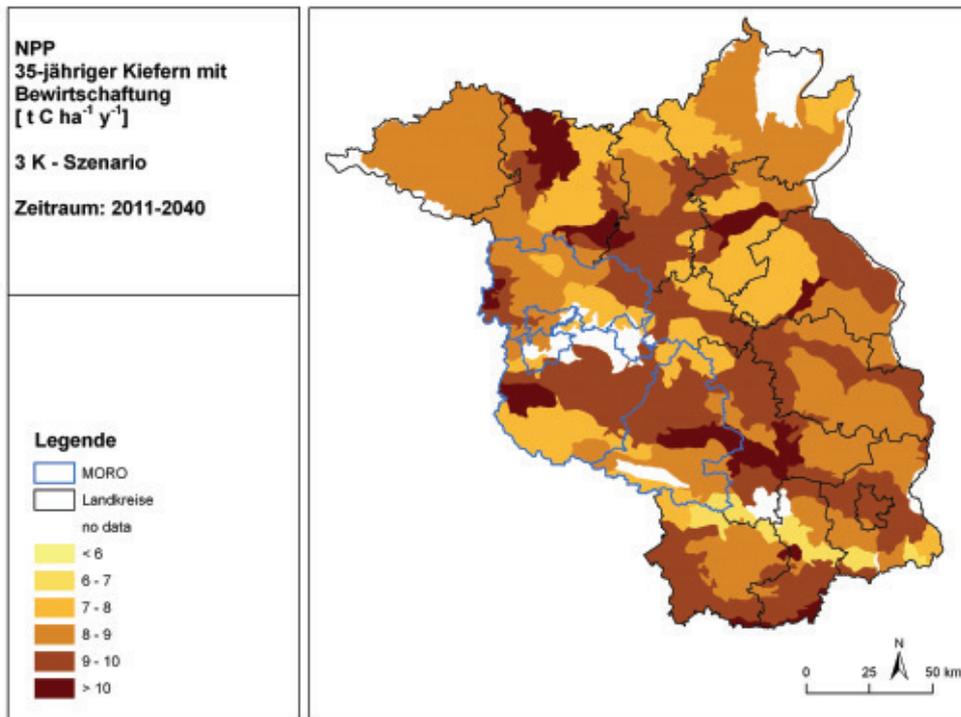


Abb. 4.22: NPP 35-jähriger Kiefernbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

Die Produktivität der Eichenbestände ist unter den drei Szenarien und für beide Perioden höher als für beide Basiszeiträume, d.h. auch die Eiche profitiert in diesen Landkreisen von dem projizierten Temperaturanstieg (Tab. 4.8, bis Abb.

4.26). Der relative Zuwachs ist allerdings im zweiten Szenariozeitraum unter dem 3K-Szenario geringer als unter dem 2K-Szenario. Das bedeutet, dass in diesem Fall die Trockenheit limitierend auf die Produktivität wirkt.

Tab. 4.8: Jährliche NPP [$t\ C\ ha^{-1}\ a^{-1}$] als dreißigjähriges Mittel über 122 Eichenbestände, aufgeteilt nach Landkreisen

	Basis		0K	2K	3K	0K	2K	3K
	1961-1990	1977-2006	2011-2040			2031-2060		
HVL	7.40	7.80	7.98	8.46	8.86	8.21	8.83	8.85
PM	7.46	7.78	7.99	8.22	8.64	8.06	8.53	8.37
TF	7.66	7.96	8.15	8.43	8.62	8.24	8.69	8.47

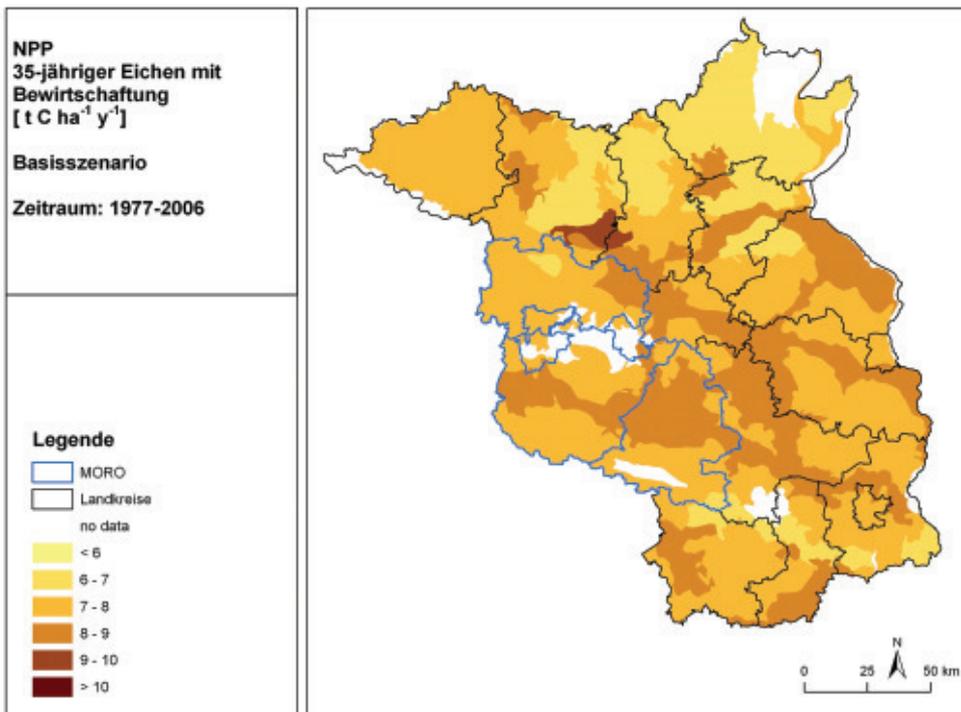
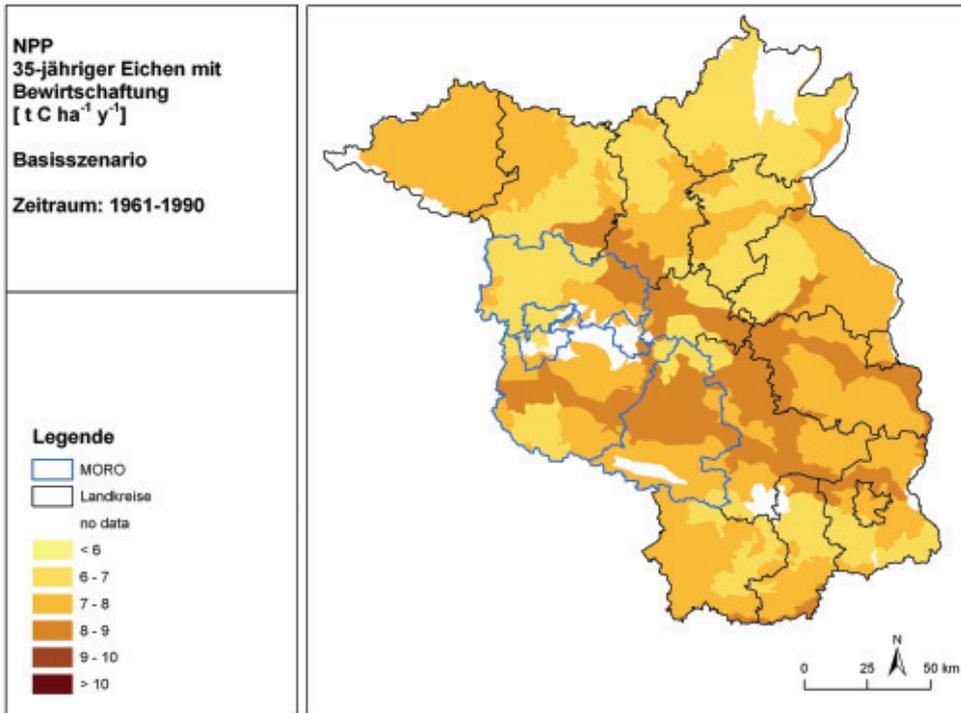


Abb. 4.23: NPP 35-jähriger Eichenbestände gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

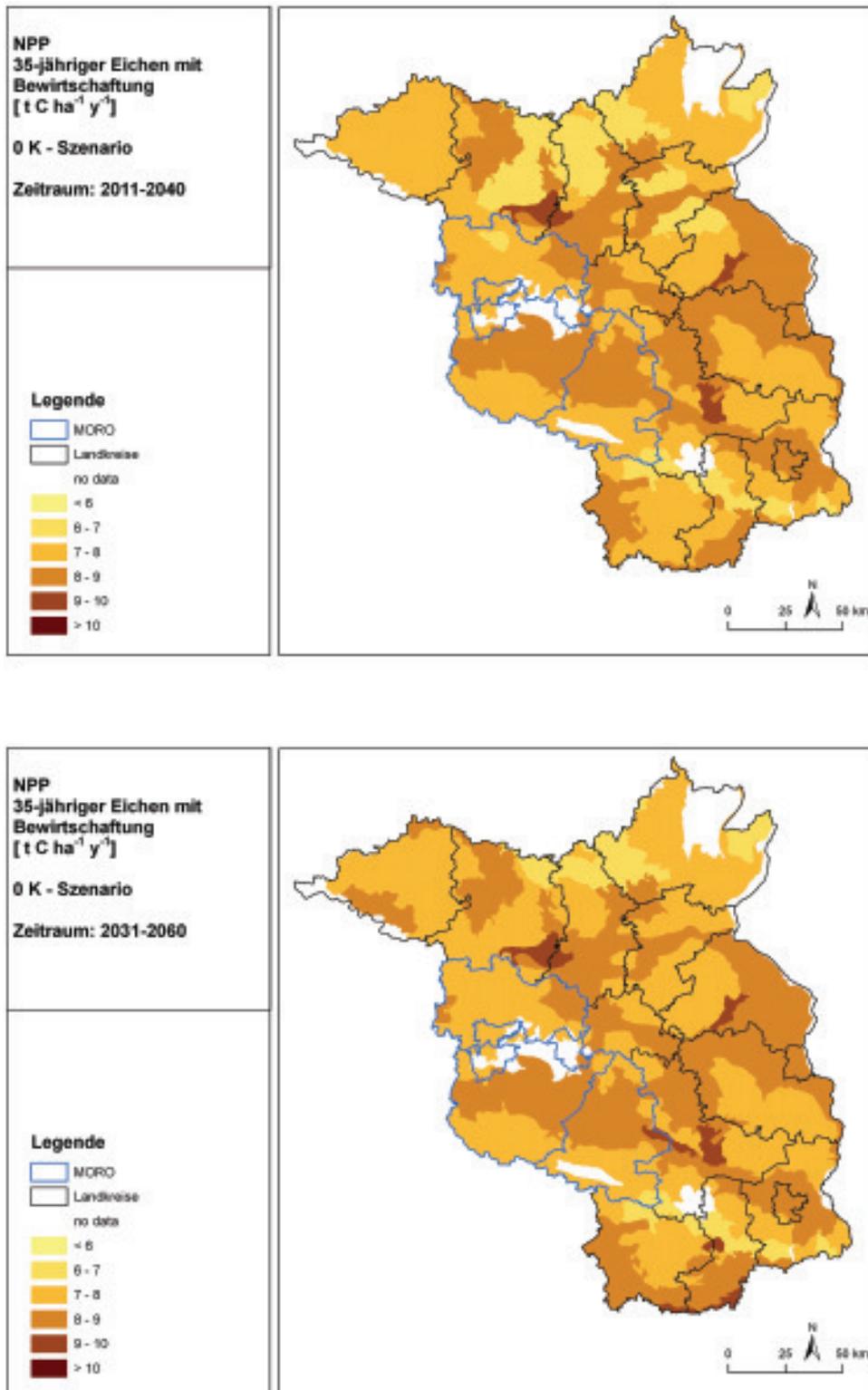


Abb. 4.24: NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

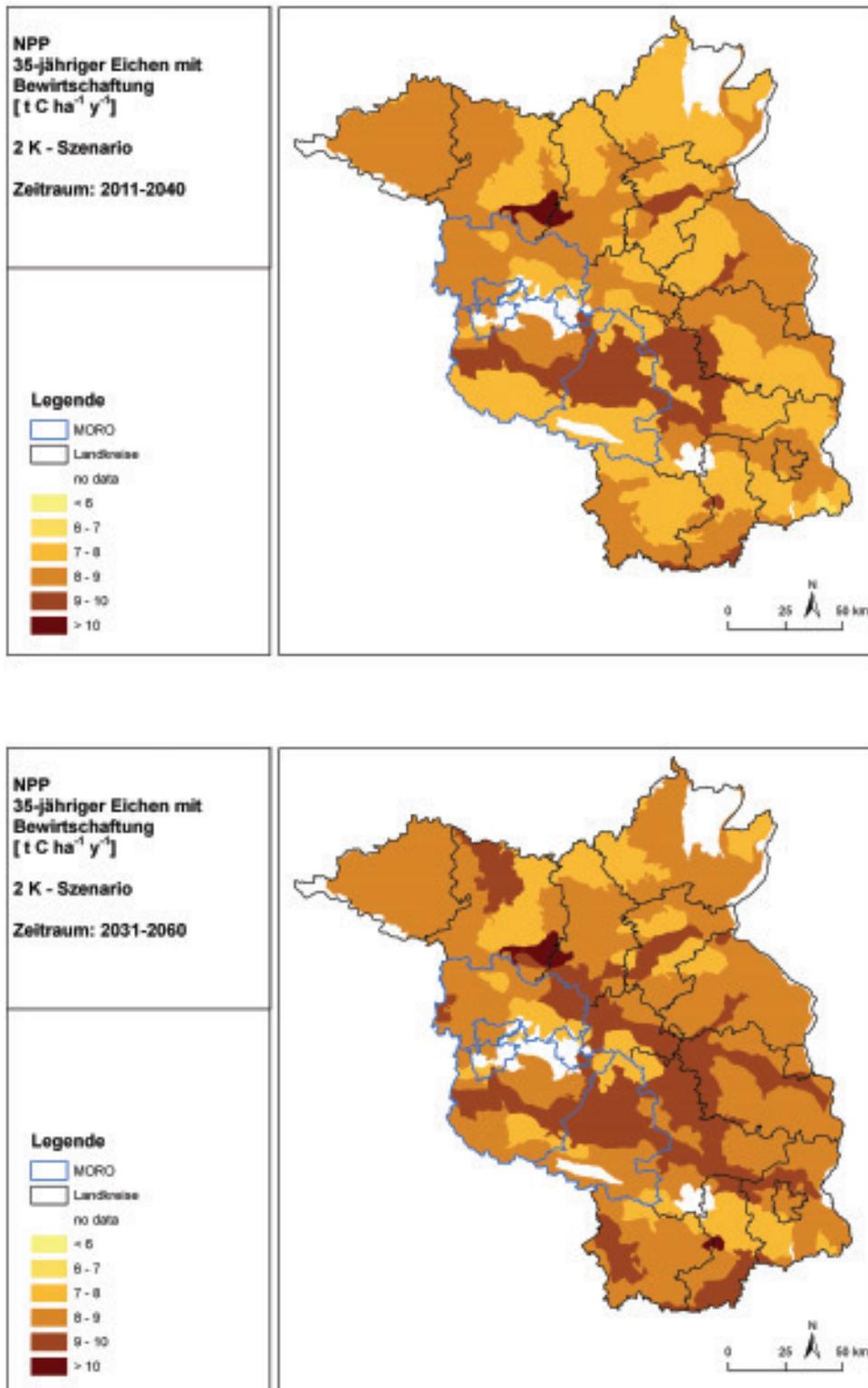


Abb. 4.25: NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

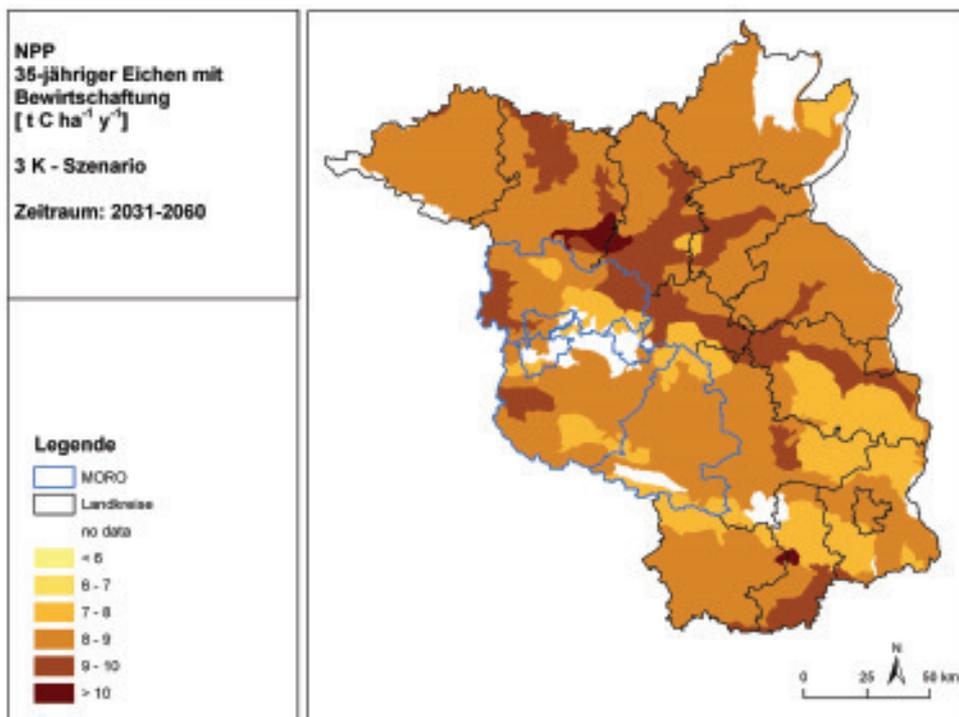
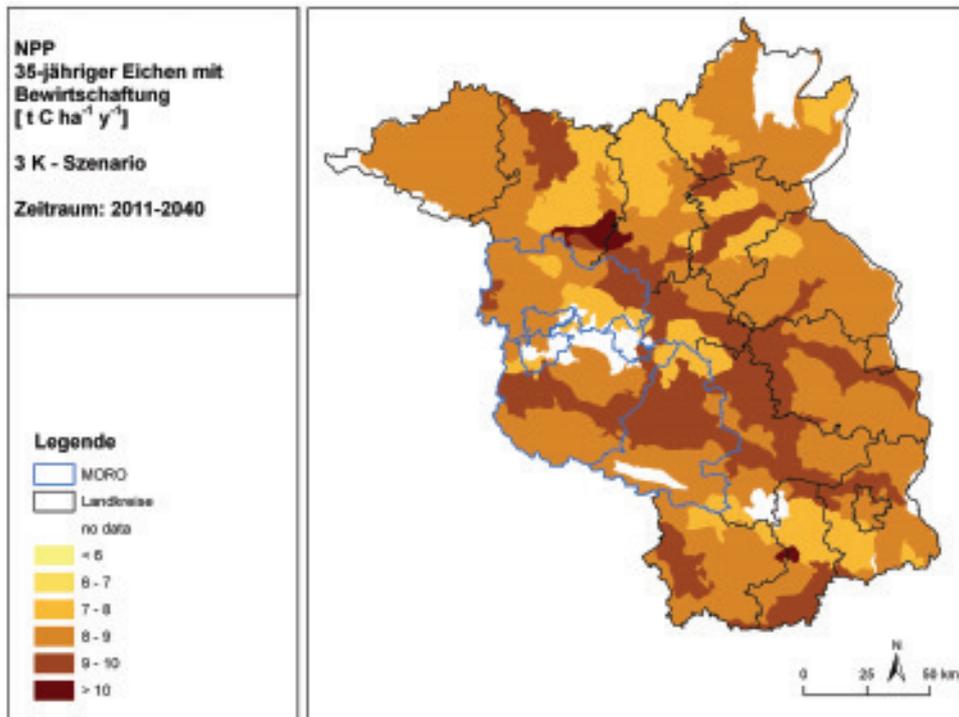


Abb. 4.26: NPP 35-jähriger Eichenbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

Die Buchenbestände zeigen unter allen Szenarien und für beide Perioden die geringsten Zuwächse der NPP im Vergleich mit Kiefer und Eiche. Insbesondere für die zweite Periode und das 3K-Szenario ist die Produktivität geringer als für den Basiszeitraum 1977-2006 (Tab. 4.9).

Tab. 4.9: Jährliche NPP [t C ha⁻¹ a⁻¹] als dreißigjähriges Mittel über 122 Buchenbestände, aufgeteilt nach Landkreisen

	Basis		0K	2K	3K	0K	2K	3K
	1961-1990	1977-2006						
HVL	7.91	8.17	8.31	8.59	8.89	8.48	8.74	8.48
PM	8.00	8.16	8.34	8.41	8.64	8.33	8.47	8.15
TF	8.24	8.35	8.50	8.62	8.57	8.57	8.66	8.26

Die höchste Produktivität unter heutigen klimatischen Verhältnissen zeigen simulierte Buchenbestände im nördlichen Teil der beiden Landkreise Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming. Ihre Produktivität nimmt unter dem 0K- und 2K-Szenario zu, aber unter dem 3K-Szenario verschlechtern sich die klimatischen Bedingungen, so dass es auch in diesen Regionen zu einem Rückgang der Produktivität kommt (Abb. 4.27 bis Abb. 4.30).

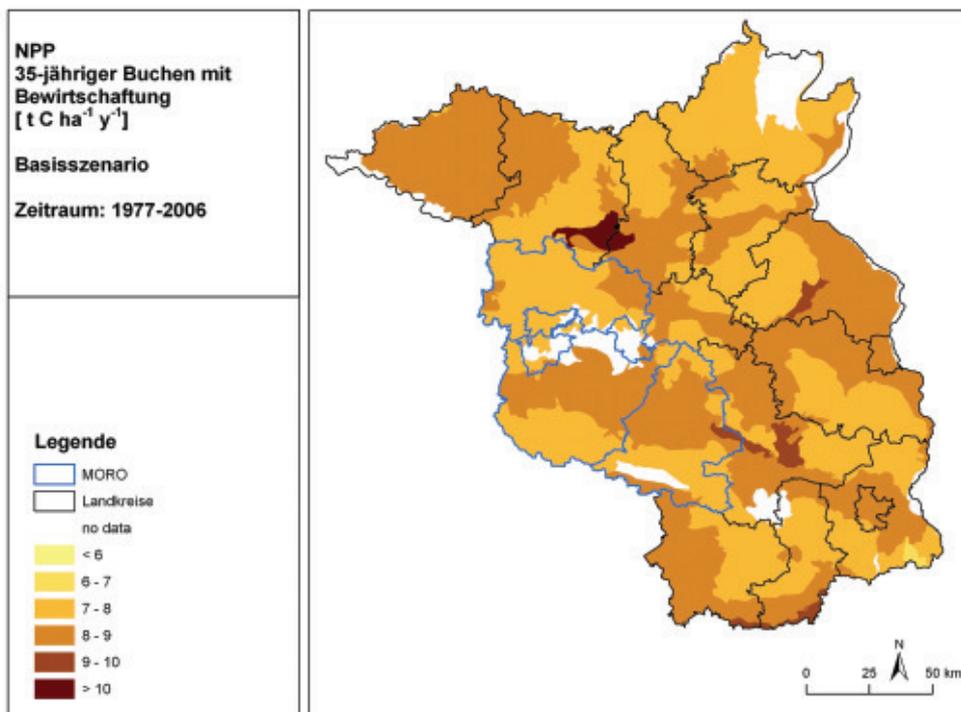
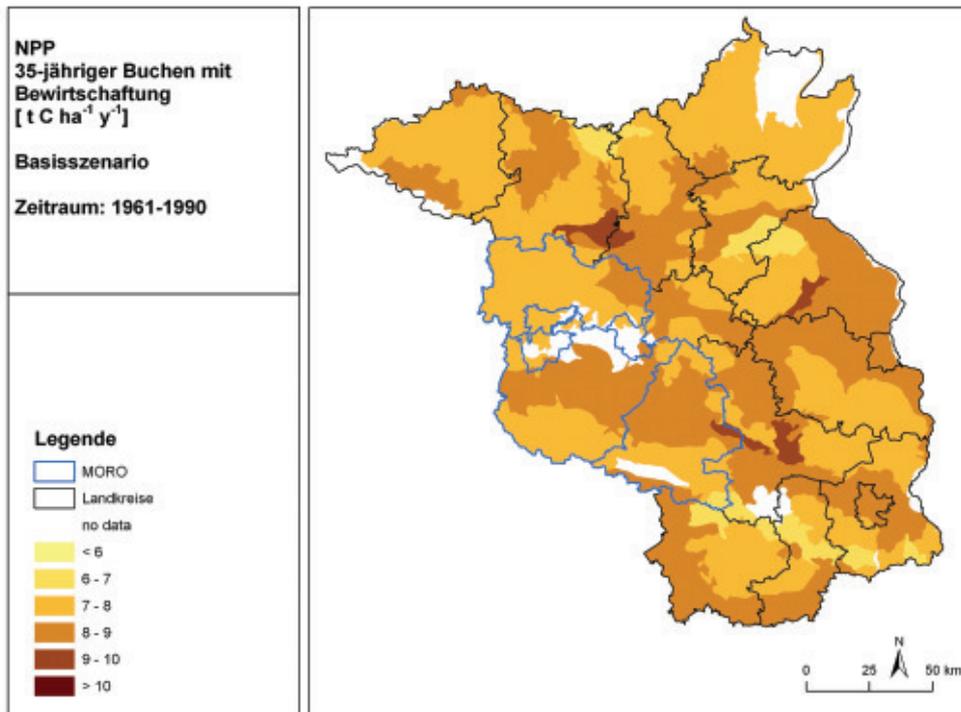


Abb. 4.27: NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 1961-1990 (oben) und 1977-2006 (unten)

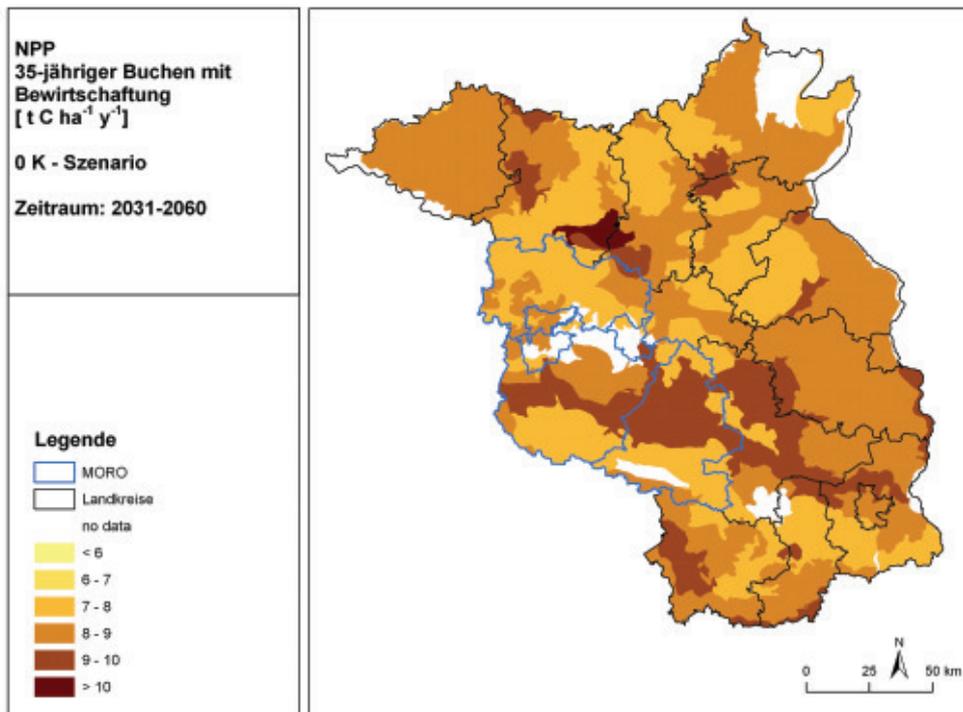
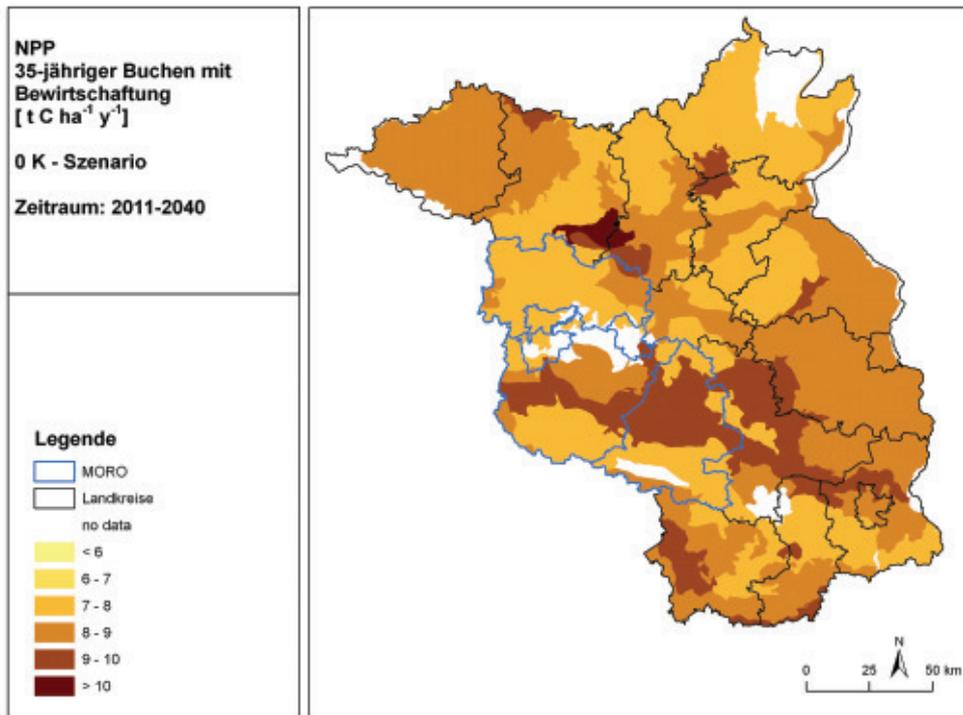


Abb. 4.28: NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 0K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

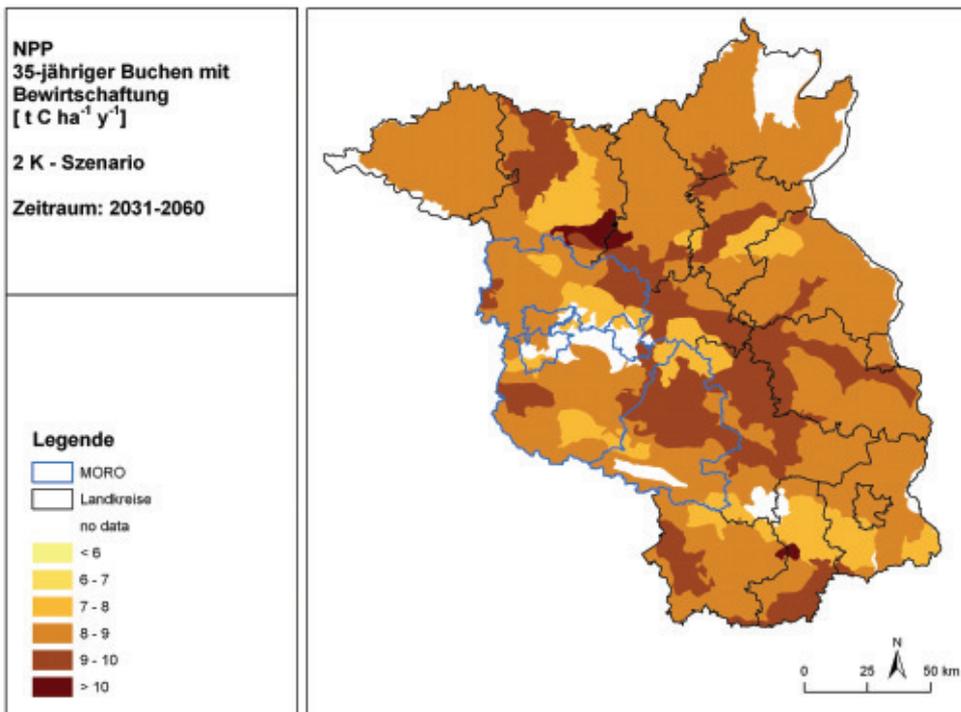
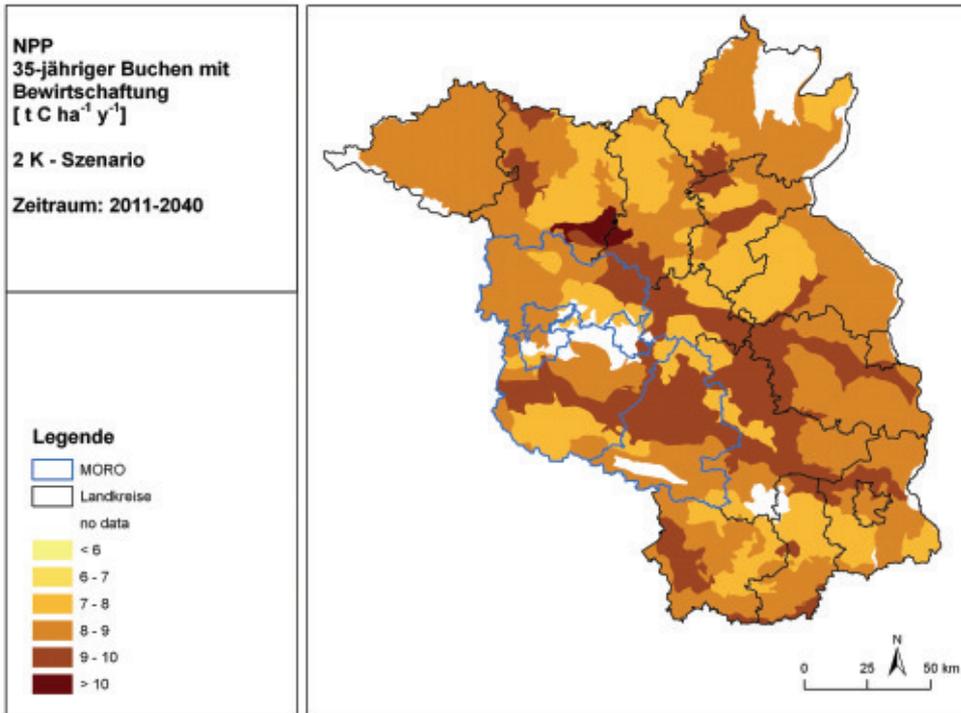


Abb. 4.29: NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 2K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

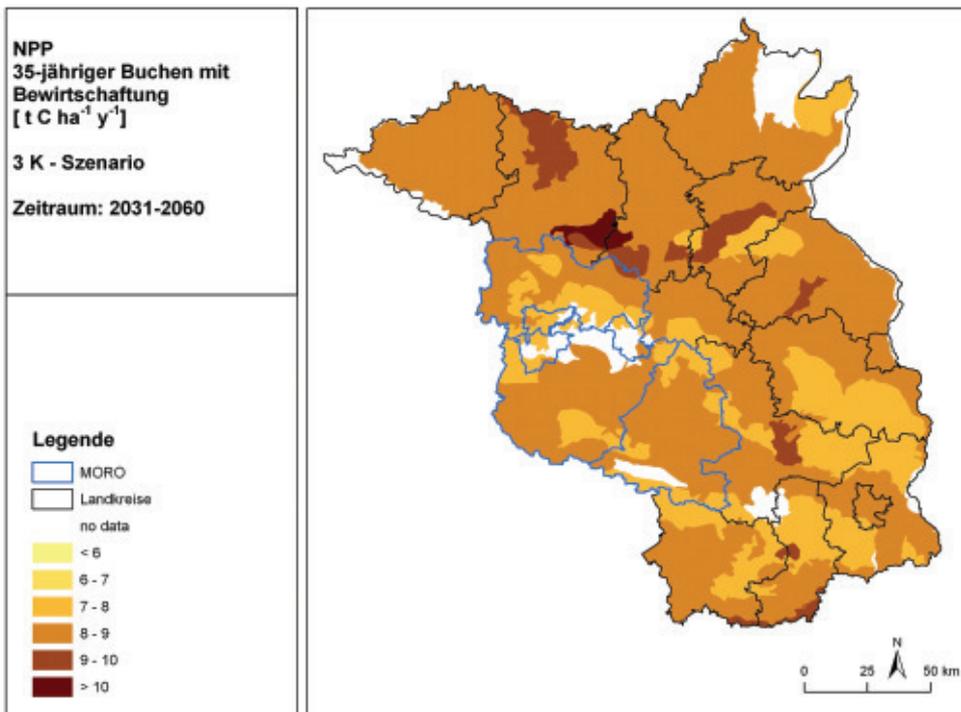
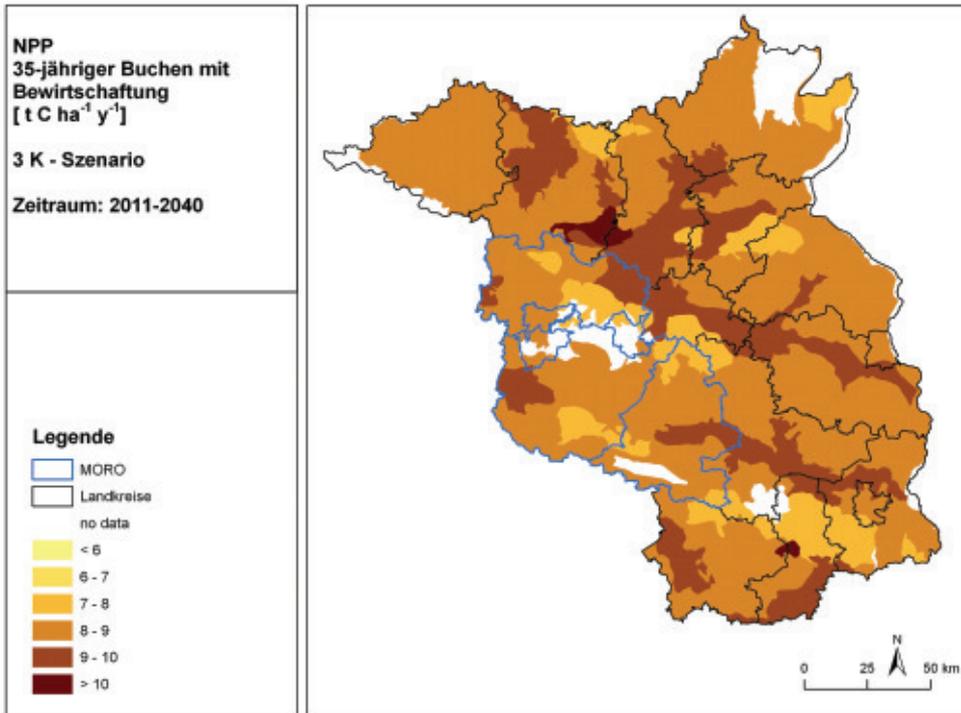


Abb. 4.30: NPP 35-jähriger Buchenbestände, gemittelt für 3K, 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

4.5.2. Waldumbauindikator

Die Auswertung des in Kapitel 4.2.2.2 beschriebenen Waldumbauindikators zeigt, dass ein Viertel bis die Hälfte der ÖWK-Flächen für einen Waldumbau mit Buche oder Eiche nicht geeignet ist (Abb. 4.31). Mit zunehmender Erwärmung steigt der Anteil der Flächen, für die ein Umbau nicht empfohlen werden kann. Auch der Teil der Flächen, die für einen Umbau mit Buche geeignet sind, nimmt mit zunehmender Erwärmung ab. Dagegen gibt es für alle Szenarien und die beiden betrachteten Perioden einen beträchtlichen Flächenanteil, auf dem die Eiche für einen Umbau geeignet ist. In der letzten Periode des stärksten Erwärmungsszenarios ist die Hälfte der Flächen nicht für einen Waldumbau geeignet, während auf der anderen Hälfte ein Umbau mit Eiche möglich ist.

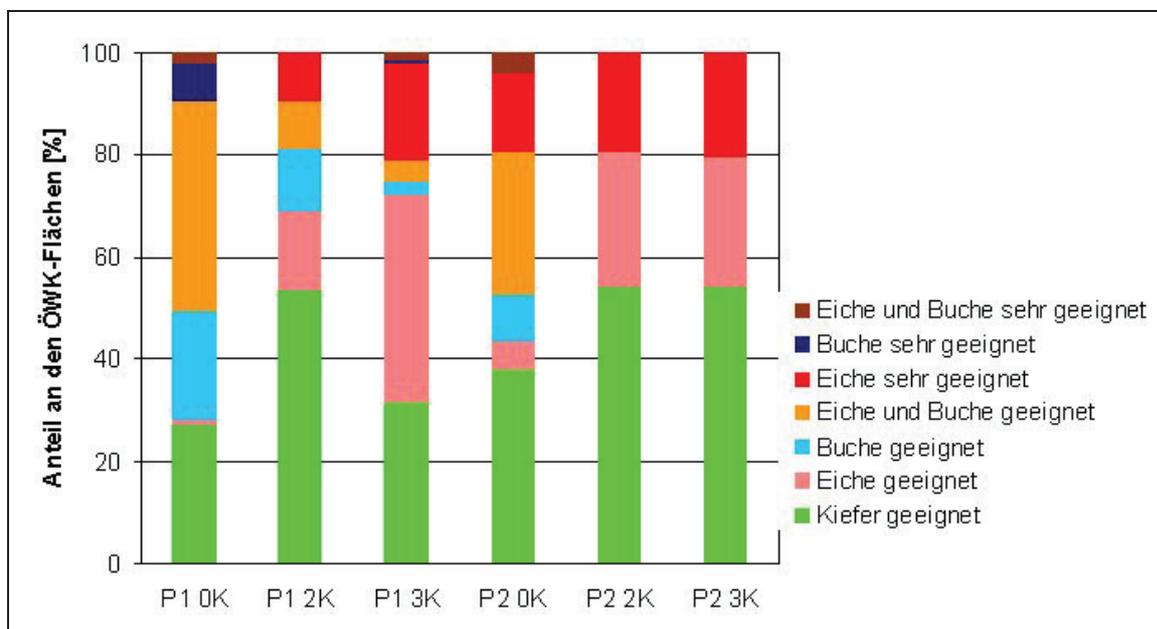


Abb. 4.31: Waldumbaueignung, aufgeschlüsselt nach den Anteilen der ÖWK-Flächen, für Periode P1 (2011-2040) und Periode P2 (2031-2060)

In den Karten (Abb. 4.32 bis Abb. 4.34) ist ebenfalls zu erkennen, wie die Anzahl der Flächen, die für einen Waldumbau, insbesondere mit Buche, geeignet sind, abnehmen.

Langfristig gesehen empfiehlt sich ein Umbau der Kiefernbestände hin zu reinen Buchenbeständen aufgrund der schlechteren Produktivität der Buche nicht. In einem Bericht des LFE zum Waldumbaupotenzial (LFE 2007) wird vor allem im Fläming ein Umbau zu Buchen-Nadelwäldern angestrebt. Während es unter dem 0K-Szenario in den nächsten dreißig Jahren (1. Periode) noch viele Standorte gibt, an denen die Buche gute Bedingungen hat, ist in der 2. Periode (2031-2060) an mehreren Standorten die Eiche geeigneter (Abb. 4.32 bis Abb. 4.34). Unter fortschreitender Erwärmung ist der Anbau reiner Buchenbestände mit einem steigenden Risiko verbunden. Aus diesem Grund sollten die Ziele des Waldumbaus, wie sie in der zitierten Studie formuliert werden, unter Einbeziehung der möglichen Klimaänderungen noch einmal überarbeitet werden.

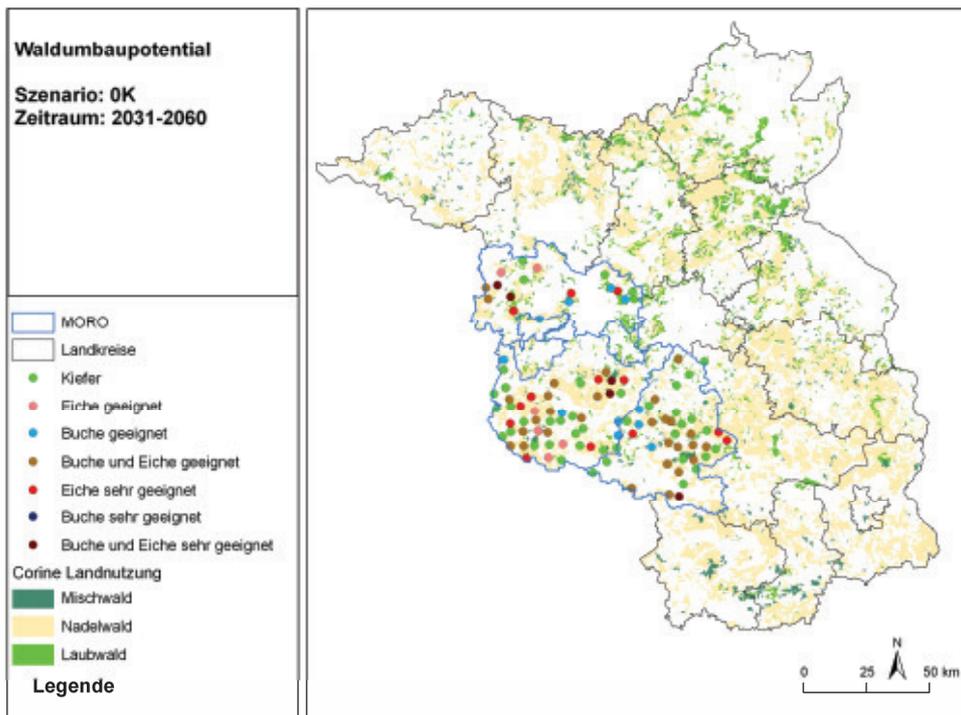
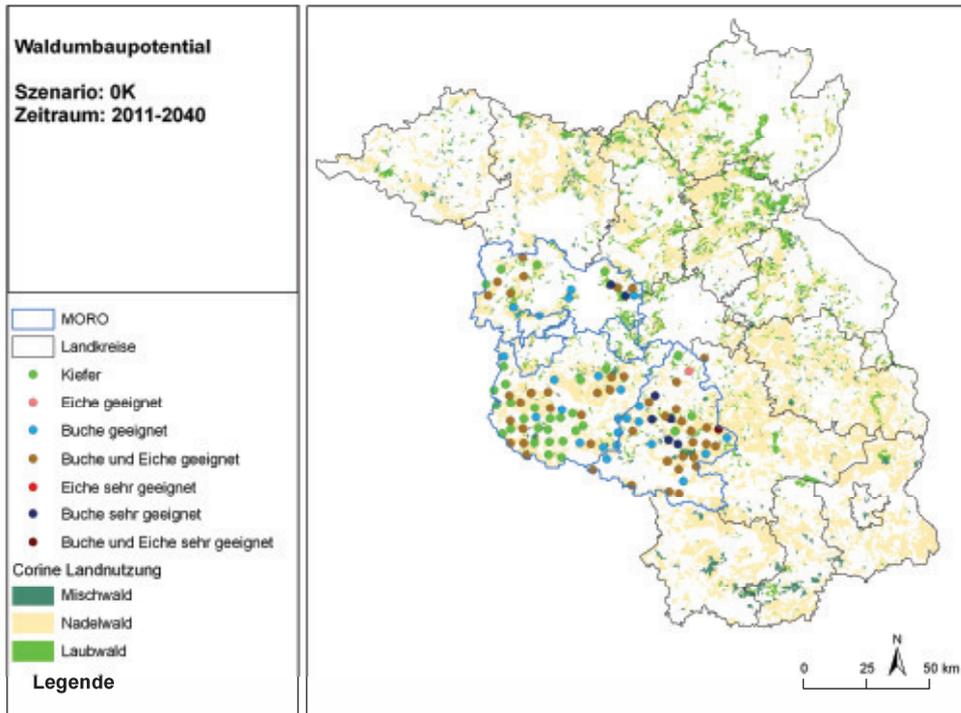


Abb. 4.32: Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 0K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

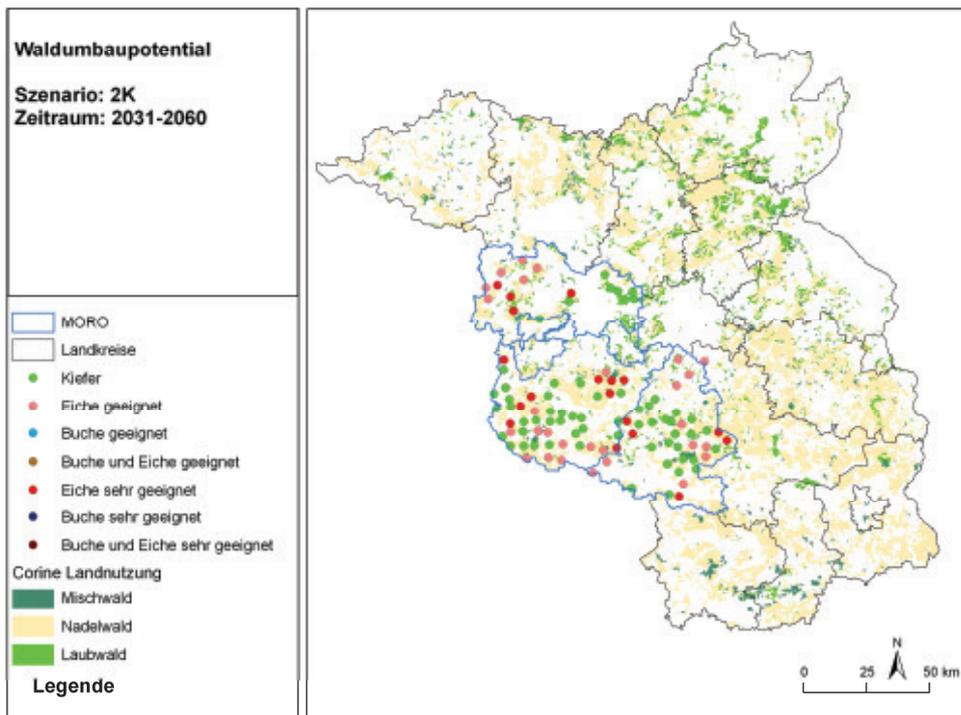
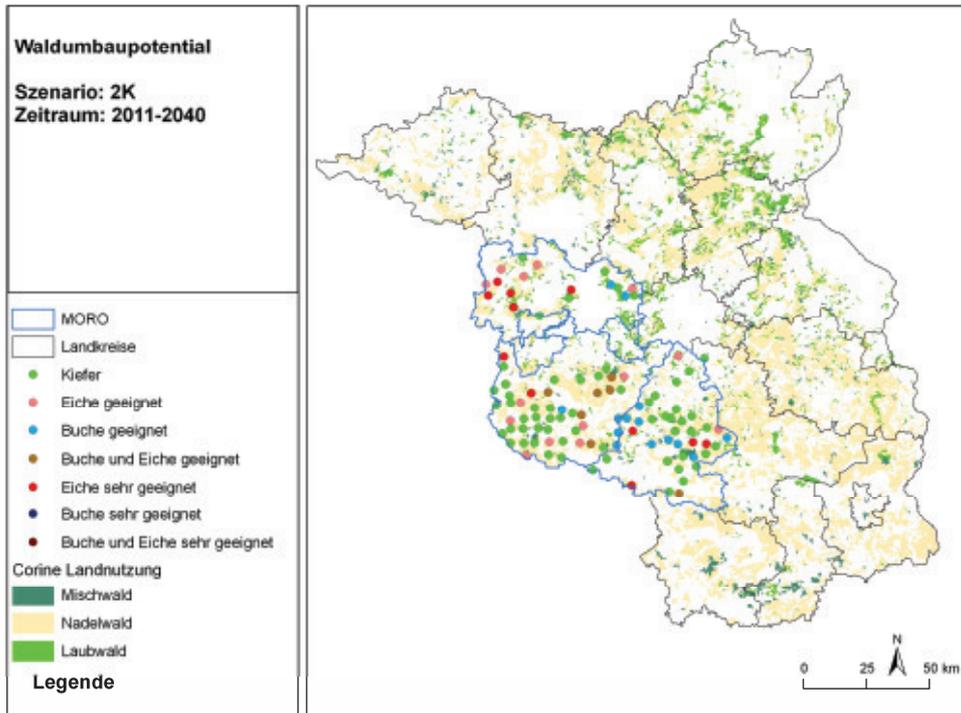


Abb. 4.33: Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 2K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

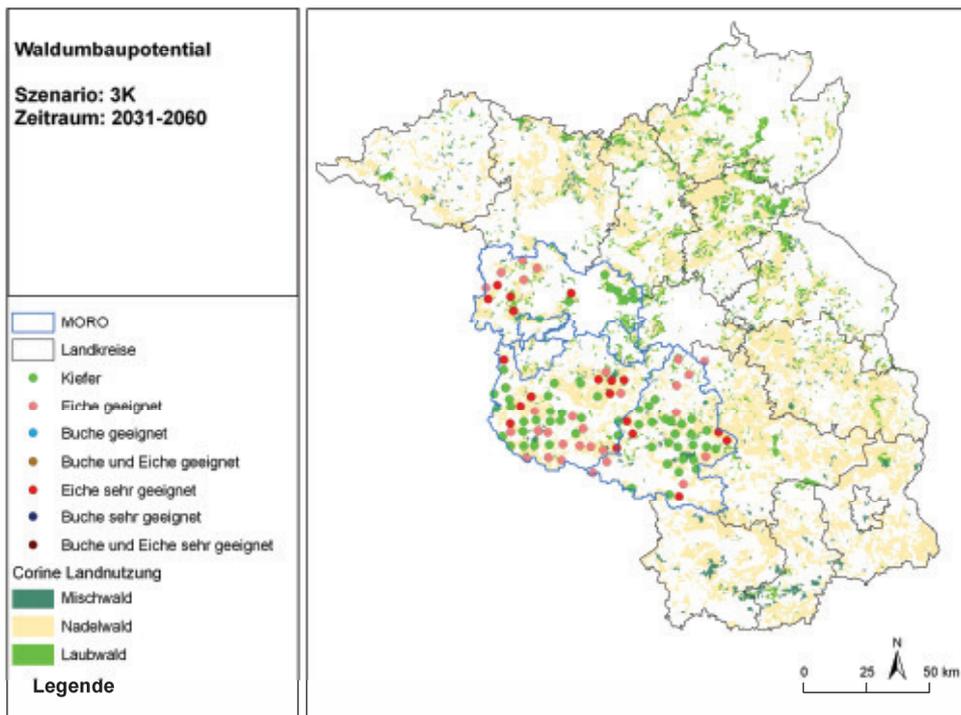
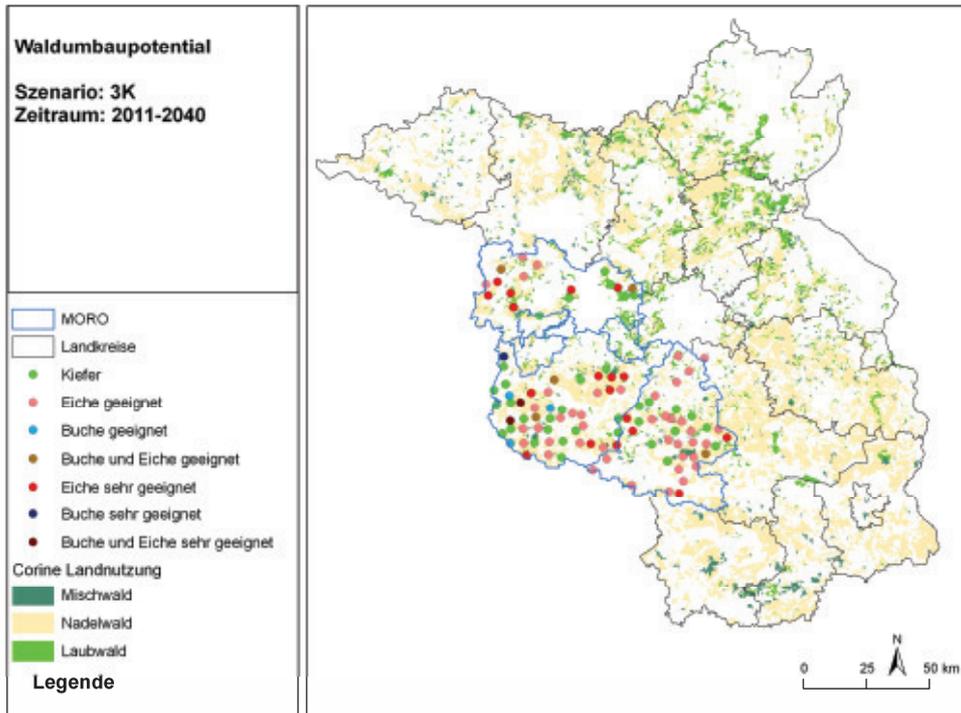


Abb. 4.34: Waldumbaueignung der ÖWK-Flächen in den untersuchten Landkreisen unter dem 3K-Szenario für 2011-2040 (oben) und 2031-2060 (unten)

4.6. Holzertrag von Aspen-KUP auf Ackerflächen

In der Regel werden Kurzumtriebsplantagen (KUP) für 20 Jahre angelegt (vier Wachstumsperioden und vier Ernten). Aus diesem Grund wurde die Simulation mit 4C nur für 20 Jahre durchgeführt und ausgewertet. Als Baumart im Kurzumtrieb wurde die Aspe (*Populus tremula*) gewählt. Ergebnisse liegen für die Zeiträume 1987-2006 und 2041-2060 vor (Kollas et al. 2009).

Die Simulationen wurden wiederum mit den drei Klimaszenarien ausgeführt und die Ergebnisse für die angegebenen Zeiträume gemittelt. Die Auswertung wurde für alle Landwirtschaftsflächen, die in den Landkreisen verfügbar sind, vorgenommen. Daher sind die Mittelwerte pro Landkreis nur Orientierungswerte, da davon auszugehen ist, dass nur Flächen mit schlechterer Ackerzahl für Kurzumtriebsplantagen in Frage kommen (siehe Tab. 4.10). Unter dem 2K-Szenario liegen die Erträge im Mittel höher als für den Basiszeitraum 1977-2006, unter dem 3K-Szenario sind die Erträge im Mittel geringer als für den Basiszeitraum. Unabhängig von den Szenarien sind auf den Böden des Landkreises Havelland die höchsten Erträge möglich. Die KUP sind eine langfristige Alternative zur konventionellen Landwirtschaft, insbesondere auf leichteren Böden. Die preisliche Entwicklung von Hackschnitzel, einem Produkt aus der KUP, zeigt eine deutlich steigende Tendenz. Eine detailliertere Betrachtung, die auch das Untersuchungsgebiet einschließt, erfolgte im Rahmen einer Studie am PIK (Wechsung et al. 2009).

Tab. 4.10: Jährliche Erträge der Aspen-KUP (Mitt - Mittelwert, Min - minimaler Wert, Max - maximaler Wert, Sdev - Standardabweichung)

t DW ha ⁻¹ Jahr ⁻¹	Basis (1987-2006)				0K (2041-2060)				2K (2041-2060)				3K (2041-2060)			
	Mitt	Min	Max	Sdev	Mitt	Min	Max	Sdev	Mitt	Min	Max	Sdev	Mitt	Min	Max	Sdev
Potsdam	5.23	4.34	6.01	0.53	5.03	3.96	6.06	0.62	5.52	3.99	7.08	0.88	5.30	3.91	6.83	0.86
Brandenburg	5.87	3.96	7.00	0.82	5.42	3.71	6.39	0.80	6.01	3.74	7.24	1.03	5.41	3.40	6.50	0.88
HVL	6.05	4.42	8.02	0.88	5.84	4.25	8.01	0.86	6.43	4.42	9.00	1.05	5.91	4.06	8.16	0.97
PM	5.55	3.62	7.83	0.90	5.17	3.38	7.62	0.84	5.66	3.31	8.69	1.06	5.24	3.05	8.41	0.98
TF	5.77	3.85	7.83	0.75	5.44	3.64	7.62	0.69	5.96	3.67	8.69	0.85	5.59	3.42	8.41	0.84

DW - Trockenmasse

4.7. Zusammenfassung

Aus der Analyse der Wirkungen der Klimaprojektionen für die betrachteten Szenarien und Zeiträume mit dem Waldwachstumsmodell 4C und mehreren Indikatoren ergeben sich folgende Kernaussagen:

- Unter den angenommenen Klimaprojektionen steigt die Dürregefährdung für die Vegetation, d.h. die Länge der Perioden ohne Niederschlag nimmt zu.
- Ein Anstieg der klimatisch bedingten Waldbrandgefahr ist zu erwarten.
- Die durch Niederschlag bedingte Erosionsgefährdung geht leicht zurück. Dabei wurde die Auswirkung von Extremniederschlägen nicht berücksichtigt.
- Steigende Temperaturen führen zu längeren Vegetationsperioden und damit zu höherer Produktivität der Kiefern- und Eichenbestände, der Produktivitätsgewinn geht aber mit dem 3K-Szenario und zur Mitte des Jahrhunderts wieder etwas zurück.
- Die Buche erzielt geringere Produktivitätssteigerungen als die Kiefer und die Eiche und man muss unter dem 3K-Szenario im Zeitraum 2031-2060 in den Kreisen Potsdam-Mittelmark und Teltow-Fläming mit einem Rückgang der Produktivität im Vergleich zum Zeitraum 1977-2006 rechnen.
- Für einen großen Teil der heutigen, untersuchten Kiefernflächen ist langfristig der Waldumbau mit Buche aufgrund der zunehmenden Trockenheit mit einem starken Risiko verbunden. Für ungefähr die Hälfte der betrachteten Flächen wird die Eiche empfohlen.
- Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen auf schlechteren landwirtschaftlichen Flächen mit trockenheitstoleranten Baumarten (z.B. Zitterpappel) ist eine Alternative für die Landwirtschaft.

4.8. Literatur

- AG_Boden (2005) Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.
- BGR (1998) Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:100.000.000 (BÜK 1000). Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Bugmann, H., R. Grote, P. Lasch, M. Lindner und F. Suckow (1997) A new forest gap model to study the effects of environmental change on forest structure and functioning. Impacts of Global Change of Tree Physiology and Forest Ecosystem. Proceedings of the International Conference on Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems, held 26-29 November 1996, Wageningen. G. M. J. Mohren, K. Kramer and S. Sabate. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, pp 255-261.
- Flemming, G. (1994) Wald Wasser Klima - Einführung in die Forstmeteorologie. Berlin, Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- Käse, H. (1969) Ein Vorschlag für eine Methode zur Bestimmung und Vorhersage der Waldbrandgefährdung mit Hilfe komplexer Kennziffern Akademie Verlag. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Akademie Verlag, Berlin.
- Kollas, C., P. Lasch, J. Rock und F. Suckow (2009) Bioenergy potential in Germany - assessing spatial patterns of biomass production with aspen short-rotation coppice. *Int. Agrophys.* 23(4): 343-352.
- Lasch, P., F. W. Badeck, F. Suckow, M. Lindner und P. Mohr (2005) Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *For. Ecol. Manage.* 207(1-2): 59-74.
- LFE (2007) Waldumbaupotenzial im Land Brandenburg LFE Fachbereich Planung und Betriebswirtschaft. LFE. LFE Fachbereich Planung und Betriebswirtschaft.
- Meiwes, K.-J., F. W. Badeck, F. Beese, D. Berthold, P. Einert, H. Jochheim, R. Kallweit, A. Konopatzky, P. Lasch, H. Meesenburg, M. Puhmann, S. Raspe, H. Schulte-Bisping, C. Schulz und F. Suckow (2007) Kohlenstoffumsatz in Waldökosystemen und deren Böden. Parametrisierung, Kalibrierung und Validierung von Modellen. *AFZ / Der Wald*(20/2007): 1076-1078.
- Renard, K. G., G. R. Foster und G. A. Weesies (1997) Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), US Department of Agriculture.
- Rommelfanger, E. F. (2007) Darstellung ökologischer Indikatoren in fuzzy-gestützten Modellen - Qualitative und quantitative Prognose der Gefäßpflanzenarten auf Grünlandstandorten. Fachbereich 09, Agrarwissenschaft-

ten, Ökotrophie und Umweltmanagement. Gießen, Justus-Liebig Universität.

- Schaber, J., F.-W. Badeck und P. Lasch (1999) Ein Modell der Sukzessionsdynamik europäischer Wälder - Forest Ecosystems in a changing Environment (4C). Deutscher Verband forstlicher Versuchsanstalten - Sektion forstliche Biometrie und Informatik. 11. Jahrestagung und Internationale biometrische Gesellschaft. Deutsche Region. Arbeitsgruppe Ökologie, Herbstkolloquium. D. R. Pelz, O. Rau and J. Saborowski. Freiburg, pp 212-217.
- Schwertmann, U., W. Vogl und M. Kainz (1990) Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Stuttgart, Ulmer.
- Wechsung, F., F. W. Gerstengarbe, P. Lasch und A. Lüttger, Eds. (2009) Die Ertragsfähigkeit ostdeutscher Ackerflächen unter Klimawandel. PIK-Report 112. Potsdam, PIK.
- Wolff, B. (2002) Processing forest inventory data to establish a nationwide database for the estimation of the impacts of climate change on German forest and forestry. Forstwiss. Centralblatt 121, Supplement 1: 18-27.

Anhang Modellsteckbrief 4C

4C

FORESEE - FORESt Ecosystems in a Changing Environment



Modellbeschreibung:

Das Modell 4C (FORESt Ecosystems in a changing Environment) ist ein physiologisch basiertes Waldwachstumsmodell, das die Etablierung, das Wachstum und die Mortalität von Baumkohorten beschreibt. Produktion und Wachstum werden für Gruppen von Bäumen gleicher Art, gleicher Dimension und gleichen Alters berechnet. Deren Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe beeinflusst ihr Wachstum, ihre Mortalität und die Verjüngung im Bestand. Der Wasser-, Stickstoff- und Kohlenstoffhaushalt wird in Abhängigkeit von Boden, Bestand und Wetter täglich bilanziert, wobei durch die Aufnahme von Wasser und Stickstoff aus dem Boden einerseits und die jährliche Zufuhr der Streu zum Bodenkompartment andererseits die Kopplung zwischen Pflanze und Boden hergestellt wird. Auf Bestandesebene können Verjüngungs- und Bewirtschaftungsmaßnahmen simuliert werden. Das Modell ist für die fünf wichtigsten europäischen Baumarten parametrisiert (Buche (*Fagus sylvatica* L.), Fichte (*Picea abies* L. Karst.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Eiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* Liebl.), Birke (*Betula pendula* Roth)), sowie für Aspen (*Populus tremula* (L.), *P. tremuloides* (Michx.)), Aleppo-Kiefer (*Pinus halepensis* Mill.), Gelbkiefer (*Pinus ponderosa* Dougl.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*).

Inputdaten:

Tägliche meteorologische Parameter, Bodenbeschreibung (physikalische und chemische Parameter), Bestandesbeschreibung

Ergebnisse:

Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik (Pools and Flüsse) eines Waldbestandes einschließlich des Bodens, Wachstumsverhalten eines Waldbestandes (z. B. Zuwachs, Durchmesser, Höhe, Volumen)

Auflösung:

- zeitlicher Simulationsschritt: 1 Tag – 1 Jahr
- Simulationszeitraum: 1 – 200 Jahre
- räumlich: Waldbestand

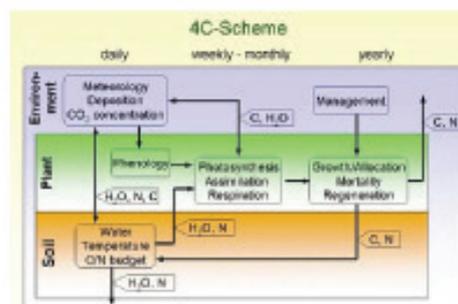
Operating system:

Linux, Unix, Windows

Modelllaufzeit:

Abhängig von der Anzahl der Standorte, Realisierungen und Szenarienzeitraum

Modellschema:



Entwickler:

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
Telegrafenberg
D-14472 Potsdam,

Kontakt:

Petra Lasch
lasch@pik-potsdam.de
Dr. Felicitas Suckow
suckow@pik-potsdam.de

Referenz:

Lasch, P., F. W. Badeck, F. Suckow, M. Lindner und P. Mohr (2005) Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *For. Ecol. Manage.* 207(1-2): 59-74.

Website:

<http://www.pik-potsdam.de/~lasch/4c.htm>

4C

Zielgruppen:

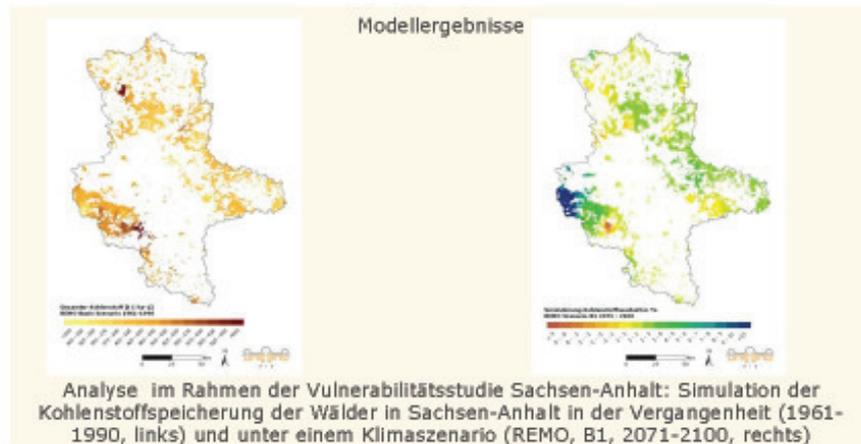
- Forschungs-
institute
- Universitäten
- Beratung
Forstwirtschaft

Rolle des Modells:

Zeitlich und räumlich hochaufgelöste Modellierung des Kohlenstoffs und Stickstoffs im Boden und im Bestand sowie des Waldwachstums unter globalem Wandel (Klima- und Landnutzungsänderungen)

Modellinterface: STAR, WETTREG, REMO

Zeiträume: Validierung: 1951 – 2008
Projektionen: 2008-2100

**Potenzielle Nutzer und Anwender**

a) Forstverantwortliche: Beratung und Unterstützung bei der Entwicklung von Anpassungsoptionen

b) Forschung und Universitäten: Untersuchung von Prozessen und Rückkopplungen in Waldökosystemen einschließlich Klimaänderungen und Landnutzungsänderungen

Verfügbarkeit:

Für den Programmcode und die Dokumentation:

lasch@pik-potsdam.de, suckow@pik-potsdam.de

Ressourcen zur Nutzung des Modells an bestimmten Standorten:

In Abhängigkeit von der Erfahrung des Nutzers und der Komplexität der Modellanwendung 2-3 Monate.