



Horst Gömann
Johanna Fick *Hrsg.*

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

OPEN ACCESS



Springer Spektrum

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

Horst Gömann · Johanna Fick
(Hrsg.)

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

 Springer Spektrum

Hrsg.
Horst Gömann
Thünen-Institut für Ländliche Räume
Braunschweig, Deutschland

Johanna Fick
Thünen-Institut für Ländliche Räume
Braunschweig, Deutschland



ISBN 978-3-658-18670-8 ISBN 978-3-658-18671-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-18671-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2021 Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

umsetzbaren Stickstoffabgabe. Die Kombination dieser ausgewählten Maßnahmen führt zur höchsten Flächen- und Kosteneffizienz der untersuchten Strategien, und ist somit durch einen effizienten Klimaschutz gekennzeichnet. In der Strategie „Bioenergie“ wird die Produktion von Biomasse zur Energiegewinnung gefördert. Die Vermeidungswirkung wird vornehmlich durch die Substitution fossiler Energieträger erzielt. Bei mittlerer Flächeneffizienz ist diese Strategie vorzüglich für die Erhaltung des landwirtschaftlichen Einkommens, hat allerdings durch den intensiven Pflanzenbau negative Auswirkungen auf die Umwelt. Durch den hohen Förderbedarf der Biomasseproduktion ist die Strategie durch mittlere Vermeidungskosten gekennzeichnet. Die Strategie „Natur- und Umweltschutz“ erreicht die Vermeidung durch eine verpflichtende Flächenstilllegung und durch Förderung von Moorbewirtschaftung. Beide Maßnahmen haben positive Auswirkungen auf die Umwelt, allerdings wirken sich die produktionsmindernden Effekte stark negativ auf das landwirtschaftliche Einkommen aus. Die Strategie mit dem größten Flächenanspruch erreicht die geringste Flächeneffizienz und die geringste Kosteneffizienz.

Neben der Sektoranalyse sollte zur vollständigen Bewertung der einzelnen Maßnahmen und Strategien eine regionale Wirkungsanalyse vertieft werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Präferenz von Maßnahmen und Strategien stark von den jeweils betroffenen Interessensgruppen abhängt. Die Natur- und Umweltschutzstrategie repräsentiert deutlich Ziele des Umweltschutzes und führt zu geringeren landwirtschaftlichen Einkommen. Die Strategie „Bioenergie“ begünstigt die Einkommenserhaltung der Landwirte, aber behindert den Umweltschutz. Als Strategie, welche die Produzenten wenig benachteiligt und den Umweltschutz wenig begünstigt, kann die Klimaschutzstrategie bewertet werden, welche gleichzeitig auch die flächen- und kosteneffizienteste Strategie darstellt.

4.6 Analyse der forstlichen Landnutzung

Nils Ermisch, Hermann Englert, Margret Köthke und Peter Elsasser

Zusammenfassung

In Abschn. 4.6 werden Datenbasis, zusätzliche Annahmen und Simulationsergebnisse der forstlichen Referenzprojektion auf Basis des Modells FoBeSiMo für den Modellierungszeitraum 2015–2055 beschrieben und erläutert, und anschließend vier alternative Bewirtschaftungsstrategien („Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Umwelt- und Naturschutz“ sowie „Klimaanpassung“) gegenübergestellt. In zwei Exkursen wird zusätzlich auf die Auswirkungen von Aufforstungen sowie von Nutzungsverzichten eingegangen. Holzeinschläge, Deckungsbeiträge sowie Struktur und Höhe der Kohlenstoffsequestrierung verändern sich im Zeitverlauf und unterscheiden sich teilweise deutlich zwischen den vier Strategien.

4.6.1 Forstliche Referenzprojektion

Hauptziel der forstbetrieblichen Untersuchung ist es, die Rohholzproduktion und darauf aufbauend finanzielle Erträge sowie Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz für jede Landnutzungsstrategie zu berechnen und zu bewerten. Die Referenzprojektion bildet hierbei den Zustand und die Entwicklung des Waldes unter der aktuellen Waldbewirtschaftung ab und schreibt diese unter gleichbleibenden Verhältnissen fort. Dabei geben die jeweiligen Waldbaulichen Richtlinien (WBRL) in den Bundesländern die Rahmenbedingungen der Waldbewirtschaftung für den Staatsforst vor. Für kommunale und private Waldbesitzer sind die WBRL nicht verbindlich; gleichwohl bieten sie Orientierungshilfen auch für diese Waldbesitzer. Für die forstbetrieblichen Simulationen wurden die in Tab. 4.20 beschriebenen ökonomischen Rahmenbedingungen unterstellt.

Ausgangspunkt der Analysen ist die in Abschn. 4.4.1 ermittelte Waldfläche von rund 11 Mio. ha in der Referenzprojektion. Für jeden Modellbetrieb (d. h. jedes der 13 Flächenbundesländer) liegt eine eigene, auf den in Abschn. 3.3 erläuterten Bewirtschaftungsmaßnahmen basierende Bewirtschaftung in der Referenzprojektion vor. Im Folgenden werden jeweils die auf das gesamte Bundesgebiet aggregierten Ergebnisse dargestellt. Zur Einordnung der nachfolgend beschriebenen Ergebnisse wird vorab auf einige modellimmanente Besonderheiten hingewiesen:

1. Der Modellierungshorizont von (nur) 40 Jahren¹³ hat Auswirkungen auf die ökonomische Bewertung und damit auf die Interpretation der forstlichen Ergebnisse. Insbesondere die Auswirkungen langfristiger Investitionen (z. B. Baumartenwechsel) fallen dadurch nur z. T. in den Betrachtungszeitraum. Beispielsweise werden zwar die anfänglichen Begründungskosten, nicht jedoch die späteren Enderträge solcher Investitionen vollumfänglich erfasst.
2. Das Zusammenspiel des Waldwachstums- mit dem Betriebssimulator erforderte eine pragmatische Herangehensweise bezüglich der jeweiligen Eingangsannahmen. Es wird in den Modellierungen des Waldwachstums davon ausgegangen, dass die Landnutzungsstrategien bereits zu Beginn der Modellierung umgesetzt sind. Daraus folgend wurde für jede Hauptbaumart (Startalter 30 Jahre) auf jedem Standort in jedem Klimaszenario eine Wachstumskurve berechnet (vgl. Abschn. 4.2.2.4). Dadurch liegt der Fokus auf den Auswirkungen der Strategien. Die Endnutzung – als primäre wirtschaftliche Entscheidung – wird vom Betriebssimulator über die Zielstärke gesteuert. Da die flächenmäßige Altersklassenausstattung im Startjahr 2015 der BWI entspricht, startet die Modellierung mit Beständen, deren Bäume teilweise die in den Strategien

¹³Dies geht auf den allgemeinen Betrachtungshorizont des vorliegenden Projektes zurück, welcher mit 40 Jahren für forstliche Verhältnisse relativ kurz ist. Eine längere Simulationszeit wäre zwar modelltechnisch möglich gewesen, wäre aber nicht mit dem genannten Betrachtungshorizont kompatibel und hätte den verfügbaren Zeitrahmen gesprengt.

Tab. 4.20 Ökonomische Annahmen der forstbetrieblichen Berechnungen. (Quelle: N. Ermisch)

	Eiche	Buche	Fichte (Douglasie)	Kiefer
Holzerntekostenfreier Erlös [€/Fm]	57,1	27,8	41,7	29,5
Anteil nvD-Holz [%]	7,6	7,6	3,6	3,6
Kulturkosten bei Baumartenerhalt [€/ha]	3800	1460	620	2850
Kulturkosten bei Baumartenwechsel [€/ha]	7600	7300	3100	5700
Läuterungskosten [€/ha]	500	500	500	500
Umrechnung Volumen- in Erntefestmeter	0,82	0,74	0,80	0,75

Fm = Festmeter, nvD-Holz = nicht verwertbares Derbhholz

vorgegebenen Zielstärken überschreiten. Dadurch ergeben sich in diesen Strategien hohe Anfangseinschläge in der ersten Periode und entsprechend hohe Umbau- und Wiederbegründungskosten in der darauffolgenden Periode. Je niedriger dabei die Zielstärken der jeweiligen Bewirtschaftungsstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion sind, desto höher sind die in der ersten Periode eingeschlagenen Holzmengen sowie die Wiederbegründungskosten. Dies ist durchaus realistisch, da beim Wechsel von einer Bewirtschaftungsstrategie zu einer anderen (beispielsweise zu einer Strategie mit geringeren Umtriebszeiten/Zielstärken) tatsächlich entsprechende Überhänge anfallen würden.

3. In der Referenzprojektion wurde als Durchforstungskonzept die Z-Baumdurchforstung gewählt, da diese von Forstbetrieben überwiegend durchgeführt wird. In den vier Bewirtschaftungsstrategien wurde hingegen die systematische Hochdurchforstung angewandt. Das Problem der hohen Anfangseinschläge in der ersten 5-Jahres-Periode konnte durch dieses Vorgehen abgeschwächt werden. Der Vergleich der Referenzprojektion mit den vier Landnutzungsstrategien wird dadurch jedoch erschwert, Vergleiche zwischen den Strategien sind hiervon nicht betroffen.

Die Ergebnisse für die Referenzprojektion zeigen (Abb. 4.38, 4.39 und 4.40), dass die Naturalproduktion und infolgedessen auch die Holzeinschläge, die finanziellen Erträge und die Kohlenstoffvorräte in Wald und Holz unter Klimaerwärmung (Szenario „RCP 8.5“) geringer ausfallen als bei gleichbleibendem Klimatrend ohne Temperaturerhöhung (Szenario OK). Für den Betrachtungszeitraum bedeutet dies, dass unter jetziger Baumartenverteilung wie auch unter einer der alternativ untersuchten Baumartenverteilungen eine Klimaerwärmung um konstante 2 °C zu einem reduzierten Gesamtbaumwachstum führt.

Nach den Modellergebnissen werden in der Referenzprojektion zwischen etwa 65 und 80 Mio. m³ Holz pro Jahr eingeschlagen und damit etwa so viel wie in den letzten Jahren (BMEL 2014). Der erhöhte Holzeinschlag in der ersten Einschlagsperiode (vgl. Abb. 4.38) beruht darauf, dass Bäume im aktuellen Bestand laut BWI 2002 bereits

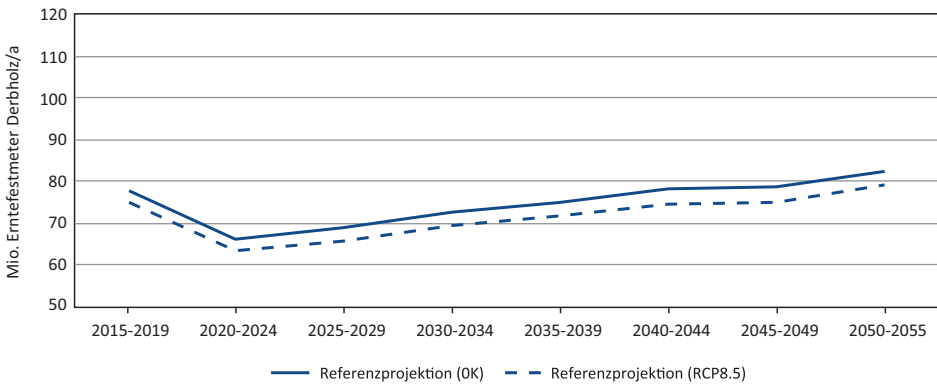


Abb. 4.38 Entwicklung des Rohholzeinschlages in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien 0K und RCP 8.5)

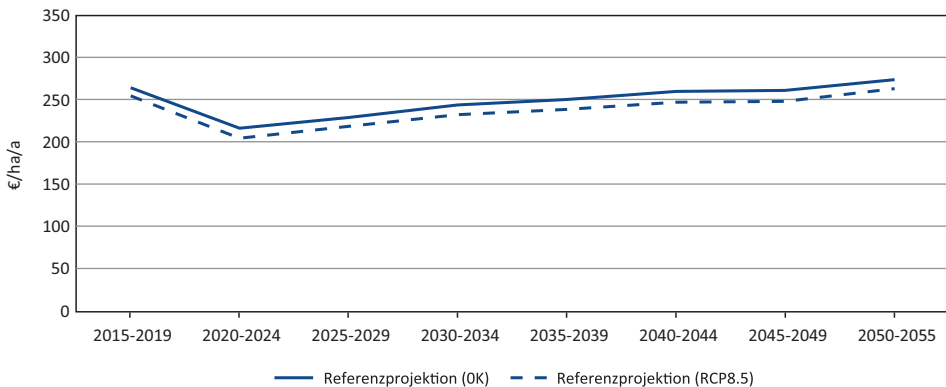


Abb. 4.39 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien 0K und RCP 8.5)

die in den Waldbaurichtlinien der Bundesländer angestrebten Zieldurchmesser überschritten haben. Die Ursachen dafür liegen u. a. in Naturschutzrestriktionen, Einzelbaum-Schutzmaßnahmen und Einschränkungen der Befahrbarkeit von Beständen. Diese Spezialbedingungen konnten in den Modellanalysen nur bedingt berücksichtigt werden. Der Anstieg des Einschlages im Betrachtungszeitraum ergibt sich z. T. aus der aktuellen Altersklassenverteilung. In der Nachkriegszeit wurden Aufforstungen überwiegend mit Nadelholz durchgeführt. Dies bedingt, dass in Deutschland in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten ein weiterer (zeitlich begrenzter) Vorratsaufbau im Wald zu erwarten ist, sofern die bisherigen Bewirtschaftungsgrundsätze weitergeführt werden.

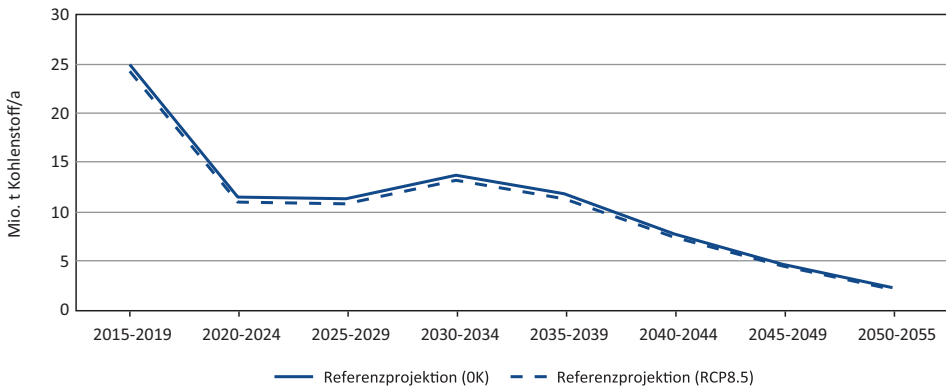


Abb. 4.40 Entwicklung der forstlichen Senkenleistung (lebende Baumbiomasse, Totholz- und Holzproduktespeicher) ohne Substitution in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien „OK“ und „RCP 8.5“)

Die finanziellen Erträge der Modellbetriebe (vgl. Abb. 4.39) weisen im Betrachtungszeitraum einen ähnlichen Verlauf wie der Holzeinschlag auf. Durch die erhöhten Holzeinschläge realisieren die Modellbetriebe in der ersten 5-Jahres-Periode (2015–2019) höhere Erlöse und dadurch auch höhere Deckungsbeiträge. Dagegen werden in der zweiten 5-Jahres-Periode (2020–2025) die niedrigsten Deckungsbeiträge pro Hektar generiert, was auf die Wiederbegründungskosten¹⁴ der zuvor endgenutzten Bäume zurückzuführen ist. Die Deckungsbeiträge (DB I) der Modellbetriebe liegen zwischen 200 bis 250 €/ha*a⁻¹ und erreichen das Niveau der im Testbetriebsnetzes Forst des BMEL ausgewiesenen Ergebnisse (Ermisch et al. 2014). Wie schon beim Holzeinschlag, zeigt sich beim Deckungsbeitrag I im Vergleich des OK-Szenarios und des RCP 8.5-Szenarios, dass die Deckungsbeiträge unter Klimaerwärmung geringer ausfallen.

Die Kohlenstoffsenkenleistung in der lebenden Baumbiomasse, im Totholz- und im Holzproduktespeicher nimmt bedingt durch die Altersstruktur der Wälder über den gesamten Betrachtungszeitraum ab (vgl. Abb. 4.40) und geht gegen Ende des Betrachtungszeitraumes gegen null. Für die spätere Zukunft ist sogar eine negative Senkenleistung zu erwarten, d. h., der Wald wird dann per Saldo Kohlenstoff-Emissionen verursachen (vgl. Abschn. 2.3.2.2). Bei einer Klimaerwärmung, wie im Szenario „RCP 8.5“ wäre dieser Speicheraufbau durchgehend geringfügig schwächer ausgeprägt.

Bei der Interpretation der Entwicklung der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz sei darauf hingewiesen, dass die in lebender Baumbiomasse, Holzproduktespeicher und Totholz akkumulierten Kohlenstoffmengen der Vorperioden nicht berücksichtigt wurden. Dies ermöglicht einen besseren Überblick über die verschiedenen Entwicklungen der

¹⁴Hier sind ausschließlich Wiederbegründungskosten mit der identischen Baumart berücksichtigt; Waldumbau findet in der Referenzprojektion nicht statt.

Senkenleistung in den Strategien im Betrachtungszeitraum. Jedoch besteht auch die Problematik, dass den in der ersten Periode anfallenden Totholz- und Holzproduktemengen nicht der Abbau der Totholz- und Holzproduktespeicher der Vorperioden entgegengerechnet wird; das führt in den ersten Jahren zu einem (erhöhten) Aufbau dieser beiden Speicher. Im Laufe des Betrachtungszeitraums nivelliert sich dies, da sowohl Totholz wie auch Holzprodukte – aufgrund verwendeter Abbauraten – diese Speicherkompartimente auch wieder verlassen. Dies kann ein Grund sein, warum im Vergleich zu früheren Projektionen der zukünftigen Senkenleistung (z. B. Dieter et al. 2005) das Niveau in dieser Modellierung insgesamt höher ist und bis 2055 noch nicht unter null absinkt. Beides kann auch darauf zurückzuführen sein, dass die hier berechnete Senkenleistung auch den Speicheraufbau in Holzprodukten und Totholz berücksichtigt, wogegen frühere Berechnungen häufig allein auf die Entwicklung der Baumbiomassespeicher beschränkt waren.

4.6.2 Strategien im Bereich „Forstwirtschaft“

Aufgrund der langen Produktionszyklen in der Forstwirtschaft und langfristigen Waldumbauprozesse im Zeitverlauf beeinflussen sich die einzelnen in Abschn. 3.3 erläuterten waldbaulichen Maßnahmen gegenseitig. Wirkungsanalysen isolierter Einzelmaßnahmen sind daher – abgesehen von einigen Ausnahmen wie dem Nutzungsverzicht (Stilllegung) oder Erstaufforstungen (Neubegründungen) – wenig sinnvoll und wurden für die Forstwirtschaft nicht durchgeführt. Ferner dürften isolierte waldbauliche Maßnahmen nur geringe und in der Regel für die waldbauliche Praxis nicht zu interpretierende Effekte bewirken. Vor diesem Hintergrund wurden die untersuchten forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen jeweils zu in sich konsistenten Maßnahmenbündeln zusammengefasst, die die nachfolgend erläuterten Strategien repräsentieren.

4.6.2.1 Ausgestaltung der Strategien

In Rahmen der Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Natur- und Umweltschutz“ sowie „Klimaanpassung“ werden unterschiedliche Ziele der Waldnutzung untersucht. Um diese Ziele zu erreichen, wurden die in Abschn. 3.3 beschriebenen waldbaulichen Maßnahmen jeweils unterschiedlich ausgestaltet und aufeinander abgestimmt. Einen Überblick über die resultierenden waldbaulichen Bewirtschaftungsregime in den betrachteten Strategien vermittelt Tab. 4.21. Diese Bewirtschaftungsregime stellen bundesweit einheitliche Änderungen der Waldbewirtschaftung gegenüber der Referenzprojektion dar. Die Waldbewirtschaftung erfolgt in der Referenzprojektion betriebsspezifisch und regional unterschiedlich. Während für die Nutzung des Privatwaldes betriebsspezifische Prioritäten im Vordergrund stehen, gelten für die Bewirtschaftung des Staatswaldes in den Bundesländern jeweils Richtlinien (WBRL), die in WEHAM berücksichtigt sind.

Tab. 4.21 Zuordnung der untersuchten forstlichen Einzelmaßnahmen zu Strategien. (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	Referenzprojektion	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
Baumartenwahl	Status quo	Dgl (bis 15 %) für Ei und Bu	Dgl (bis 30 %) für Ei und Ki	Bu (bis 50 %) für Fi und Ki	Bu (bis 25 %) für Fi und Ei
Durchforstungshäufigkeit	WBRL/WEHAM	10 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	5 Jahre
Durchforstungsstärke	Grundfl.-leitkurve (mäßig)	+2,5 %	-10 %	+5 %	-7,5 %
Zielstärke	WBRL/WEHAM	±0 cm	-10 cm	+5 cm	-10 cm
Endnutzungsmenge	WBRL/WEHAM	-2,5 %	+10 %	-5 %	+7,5 %
Endnutzungszeitraum	WBRL/WEHAM	+5 Jahre	-20 Jahre	+10 Jahre	-15 Jahre
Holzbereitstellung	Status quo	Bauholz (mittlere ZS)	Energieholz (niedrige ZS)	Starkholz (hohe ZS)	Bauholz (mittlere ZS)
Nutzungsverzicht*	Status quo	Status quo	Status quo	10 % der Waldfläche*	Status quo*
Erstaufforstung*	Status quo	10 % mehr Wald*	Status quo	Status quo	Status quo
Ziel der Strategie		Niedriger Va Hoher Vv Hohe Uz	Sehr hoher Va Sehr niedriger Vv Sehr niedrige Uz	Sehr niedriger Va Sehr hoher Vv Sehr hohe Uz	Hoher Va Niedriger Vv Niedrige Uz

*Die beiden Maßnahmen Erstaufforstung und Nutzungsverzicht wurden jeweils als abtrennbare Module der Klimaschutz- bzw. Natur- und Umweltschutzstrategie berechnet und sind in Abschn. 4.6.2.3 dargestellt

Die Referenzprojektion bezieht sich hier auf die Baumarten und Waldflächenverteilung der BWI 2002

Dgl = Douglasie, Ei = Eiche, Bu = Buche, Fi = Fichte, Ki = Kiefer, WBRL = Waldbaurichtlinie, WEHAM = Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung, sZS = Zielstärke, Va = Vorrat ausscheidend, Vv = Vorrat verbleibend, Uz = Umtriebszeit

In der **Klimaschutzstrategie** besteht das Ziel, den Holzvorrat im Wald zu erhöhen. Dazu wird die Endnutzungsmenge gegenüber der Bewirtschaftung in der Referenzprojektion um 2,5 % verringert und der Endnutzungszeitraum um fünf Jahre verlängert. Eichen und Buchen werden bei einer vergleichsweise geringen Durchforstungshäufig-

keit von zehn Jahren zu 15 % durch Douglasien ersetzt. Zusätzlich wurde in der Klimaschutzstrategie untersucht, wie die Maßnahme „Erstaufforstung“ wirkt. Konkret wurde eine Ausdehnung der Waldfläche um 10 % unterstellt (vgl. Tab. 4.21), auf deren Auswirkungen in Abschn. 4.6.2.2 eingegangen wird. Entsprechend der Maßnahmenvorgaben der Klimaschutzstrategie wurde diese Aufforstung zu 100 % mit Douglasie durchgeführt.

Bei der **Bioenergiestrategie** hat eine hohe Biomasseproduktion Priorität, um möglichst viel Energieholz bereitzustellen. Das soll durch eine hohe Endnutzungsmenge, stark verkürzte Endnutzungszeiträume und niedrige Umtriebszeiten bei reduzierter Zielstärke erreicht werden. Es wird auf zuwachsstarke Baumarten wie die Douglasie gesetzt, die geerntete Eichen und Kiefern zu 30 % ersetzen soll.

Das leitende Prinzip der **Natur- und Umweltschutzstrategie** ist der Aufbau hoher Vorräte im Bestand. Dazu werden hohe Umtriebszeiten bzw. Zielstärken avisiert, was mit einer vergleichsweise niedrigen Holznutzung einhergeht. Die Baumartenwahl orientiert sich an der in Deutschland aktuellen potenziellen natürlichen Vegetation und an hohen Laubholzanteilen, insbesondere der Buche. Zusätzlich wurde eine Flächenstilllegung von 10 % der heutigen Waldfläche unterstellt.

In der **Klimaanpassungsstrategie** gilt es, klimabedingte Risiken zu vermeiden. Die Bestände sollen durch erhöhte Buchenanteile stabilisiert werden, die als Laubbäume weniger anfällig bei Herbststürmen sind und sich aufgrund geringerer Transpiration im Winterhalbjahr positiv auf die Grundwasserneubildung auswirken. Da mit zunehmendem Alter und Größe das klimabedingte Kalamitätsrisiko steigt, liegt der Fokus der Waldbewirtschaftung in der Klimaanpassungsstrategie auf kürzeren Nutzungszeiträumen, d. h. einer geringeren Zielstärke, höheren Endnutzungsmenge und verkürzten Endnutzungszeiträumen.

4.6.2.2 Ergebnisse der forstbetrieblichen Modellierung für die Strategien

Die Bewirtschaftungsmaßnahmen ergaben deutlich unterschiedliche Baumartenanteile in den Strategien (vgl. Tab. 4.22). Während die Baumartenanteile in der Klimaschutzstrategie im Vergleich zu 2015 nur geringfügige Unterschiede aufweisen, führten die Bewirtschaftungsmaßnahmen in den drei anderen Strategien teilweise zu erheblichen

Tab. 4.22 Verteilung der Holzartengruppen in % im Ausgangsjahr 2015 sowie in den untersuchten Strategien 2055. (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	2015	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umwelt	Klimaanpassung
Eiche	10	9	6	10	6
Buche	31	29	31	46	52
Fichte	30	30	29	21	13
<i>Douglasie</i>	2	5	21	2	2
Kiefer	27	27	13	21	27
Gesamt	100	100	100	100	100

Tab. 4.23 Durchschnittlicher jährlicher Holzeinschlag, Deckungsbeitrag I und Kohlenstoffsequestrierung durch die ober- und unterirdische lebende Baumbiomasse in den Strategien (ohne Totholz- und Holzproduktespeicher und ohne Substitution; Zeitraum 2015–2055; jeweils für Klimaszenario 0K und RCP 8.5). (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	Klima schutz ^a	Bioenergie	Natur- und Umwelt ^b	Klima anpassung
0K				
Einschlag [EfmD/ha/a]	8,51	8,34	7,95	8,34
DB I [€/ha/a]	289,33	271,96	252,33	236,58
C-Sequestrierung [tC/ha/a]	0,374	0,290	0,552	0,183
RCP 8.5				
Einschlag [EfmD/ha/a]	8,10	8,11	7,51	8,03
DB I [€/ha/a]	274,51	263,80	236,28	226,70
C-Sequestrierung [tC/ha/a]	0,363	0,289	0,534	0,179

EfmD = Erntefestmeter Derbholz, DB I = Deckungsbeitrag I, C = Kohlenstoff

^aOhne Modul „Erstaufforstung“

^bOhne Modul „Nutzungsverzicht“

Verschiebungen einzelner Baumartenanteile. Bei einer Umsetzung der Bioenergiestrategie wäre im Jahr 2055 mehr als jeder fünfte Baum eine Douglasie, die vor allem Kiefern, aber auch Eichen substituiert. In der Natur- und Umweltschutzstrategie und auch der Klimaanpassungsstrategie stellt sich der beabsichtigt hohe Laubbaumanteil ein. Dieser ist bei der Klimaanpassungsstrategie aufgrund der kürzeren Umtriebszeit, die einen früheren Baumartenwechsel ermöglicht, am höchsten.

Die Auswirkungen der untersuchten Strategien auf den Holzeinschlag, die finanziellen Konsequenzen für Forstbetriebe sowie die Kohlenstoffsequestrierung sind in Tab. 4.23 dargestellt. Die Auswirkungen weisen bei den Bewirtschaftungsregimen im zeitlichen Verlauf unterschiedliche Dynamiken auf. Um eine Vergleichbarkeit der Strategien herzustellen, werden die über den gesamten Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2055 gemittelten durchschnittlich zu erwartenden jährlichen Effekte, jeweils für die beiden unterstellten Klimaszenarien, dargestellt. Trotz der Durchschnittsbildung über 40 Jahre wirken sich manche Effekte, auf die in den nachfolgenden Erläuterungen der Ergebnisse eingegangen wird, auch über den Betrachtungszeitraum hinaus aus.

Die mittleren jährlichen Holzeinschläge weisen in den vier Strategien ein ähnliches Niveau auf. Die Klimaschutzstrategie erzielt im Szenario „0K“ mit jährlich 8,5 Efm/ha den höchsten durchschnittlichen Einschlag, gefolgt von der Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie, in denen etwas geringere Holzeinschläge realisiert werden. Die maßnahmebedingt

niedrigsten Holzeinschläge in Höhe von 8 Efm/ha und Jahr sind in der Natur- und Umweltschutzstrategie zu verzeichnen. Somit zeigen die Bewirtschaftungsstrategien in Bezug auf den Holzeinschlag Unterschiede von bis zu 10 %. In allen Strategien führt eine Temperaturerhöhung wie im Szenario „RCP 8.5“ zu einem verringerten Holzeinschlag. Dieser Rückgang beträgt je nach Strategie 3 bis 5 %.

Betrachtet man die Entwicklung der Holzeinschläge über den Betrachtungszeitraum, so zeigen sich weitere Unterschiede zwischen den Strategien. In Abb. 4.41 lassen sich zum einen die unterschiedlichen Endnutzungsrhythmen von fünf bzw. zehn Jahren erkennen. Auffällig sind aber v. a. die sehr hohen Holzeinschläge im ersten 5-Jahres-Zeitraum (2015–2019) der Bioenergie- sowie der Klimaanpassungsstrategie. Der Hauptgrund dafür sind die gegenüber dem Basisjahr 2015 bzw. der Referenzprojektion deutlich reduzierten Zielstärken, sodass durch den Bewirtschaftungswechsel viele der unter derzeitigen Bewirtschaftungszielen noch nicht hiebreifen Bäume eingeschlagen werden. Beispielsweise werden in der Bioenergiestrategie im zweiten 5-Jahres-Zeitraum (2020–2024) über 2 Mio. ha wieder aufgeforstet. Dies bewirkt in der Folge hohe Wiederbegründungskosten sowie niedrigere Zuwächse, deren Auswirkungen auf Holznutzung, finanzielle Erträge wie auch Kohlenstoffspeicherung während des Betrachtungszeitraumes nicht voll kompensiert werden.

Ab dem zweiten 5-Jahres-Zeitraum ist zu erkennen, dass in der Klimaschutz- sowie der Natur- und Umweltschutzstrategie mehr Holz eingeschlagen wird als in der

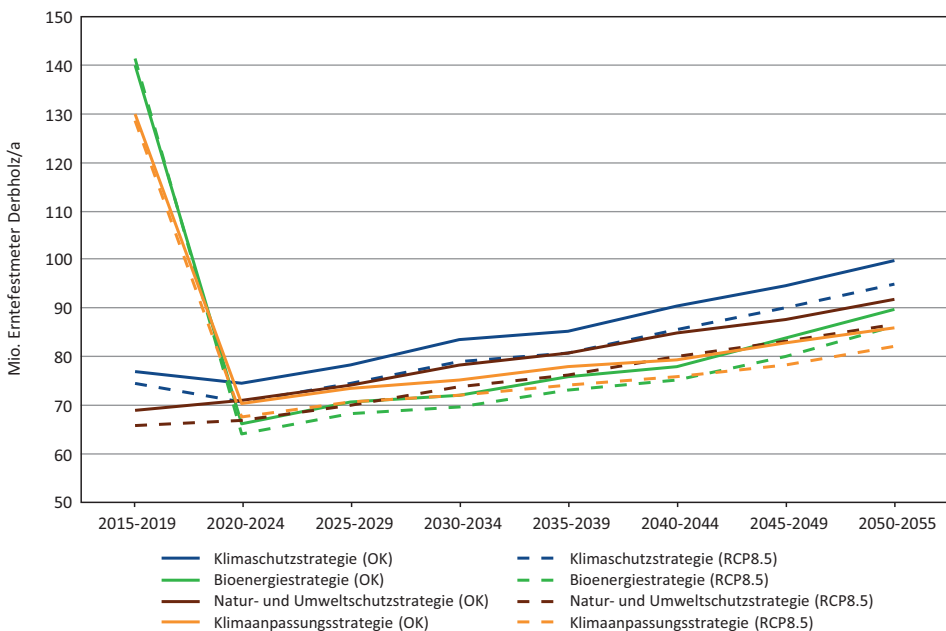


Abb. 4.41 Entwicklung des Holzeinschlages in Deutschland in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie. Das liegt vor allem an den hohen Einschlägen im ersten 5-Jahres-Zeitraum in der Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie. Die dadurch entstehenden umfangreichen Wiederaufforstungsflächen produzieren in den Folgeperioden weniger erntereifes Holz. Auch der in der Bioenergiestrategie avisierte Wechsel zu ertragsstärkeren Baumarten kann dies innerhalb des Betrachtungszeitraums von 40 Jahren nicht kompensieren, da die Bäume das Erntealter innerhalb dieses Zeitraums trotz reduzierter Zielstärken nicht erreichen werden.

Grundsätzlich befinden sich die deutschen Wälder derzeit noch in einer Aufbauphase. Insofern verursachen die in der Klimaschutz- sowie Natur- und Umweltschutzstrategie festgelegten vergleichsweise gemäßigten Holznutzungen keine Diskontinuitäten innerhalb des Betrachtungszeitraums von 2015–2055. Des Weiteren sind in der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie die fünfjährigen Durchforstungsintervalle zu erkennen, die nach den Einstellungen des Waldwachstumssimulators SILVA auf eine Periode mit etwas niedrigeren Einschlägen immer eine Periode mit etwas höheren Einschlägen folgen lässt.

Die finanziellen Auswirkungen auf die forstwirtschaftlichen Betriebe stellen sich gemessen am mittleren jährlichen Deckungsbeitrag im Betrachtungszeitraum in der Klimaschutzstrategie am vorzüglichsten dar und liegen bei rund 289 € je ha und Jahr, gefolgt von der Bioenergiestrategie (vgl. Tab. 4.23). Die Deckungsbeiträge bei der Natur- und Umweltschutz- sowie Klimaanpassungsstrategie fallen gegenüber der Klimaschutzstrategie um 13 bzw. 18 % geringer aus. Die niedrigen gesamtbetrieblichen Deckungsbeiträge ergeben sich aus den baumartenspezifisch unterschiedlichen Kosten und Erlösen (vgl. Tab. 4.20) und den jeweiligen Anteilen der Baumarten. So sind die Natur- und Umweltschutz- sowie die Klimaanpassungsstrategie durch einen hohen Anteil an Buchen gekennzeichnet, deren Deckungsbeitrag im Vergleich zu Fichten niedriger ist (vgl. Tab. 4.23).

Die durchschnittlichen Deckungsbeiträge entwickeln sich bei den Strategien im Betrachtungszeitraum sehr unterschiedlich. Während sie in der Klimaschutz- sowie Natur- und Umweltschutzstrategie nahezu kontinuierlich steigen, führen die hohen Holzeinschläge in der ersten 5-Jahres-Periode der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie zu hohen Deckungsbeiträgen (vgl. Abb. 4.42). Diese gehen jedoch in der zweiten 5-Jahres-Periode vorübergehend auf 150 bzw. 62 €/ha zurück, vor allem aufgrund der umfangreichen Wiederaufforstungsflächen, die hohe Bestandesbegründungskosten verursachen. Diese sind in der Klimaanpassungsstrategie trotz der etwas kleineren Wiederaufforstungsfläche von 1,8 Mio. ha gegenüber ca. 2 Mio. ha in der Bioenergiestrategie höher, weil die Erhöhung des Buchenanteils in der Klimaanpassungsstrategie sowohl bei Baumartenwechsel als auch bei Baumarterhalt höhere Kulturkosten bedingt (vgl. dazu Tab. 4.20).

Ab der zweiten 5-Jahres-Periode werden durchgehend bis zum Jahr 2055 in der Klimaschutzstrategie die höchsten Deckungsbeiträge erzielt. Das liegt vor allem an den vergleichsweise geringen Anfangseinschlägen und Umbaukosten, wodurch konstant hohe Einschläge erzielt werden können. Mit einem moderaten Umbau hin zur Douglasie

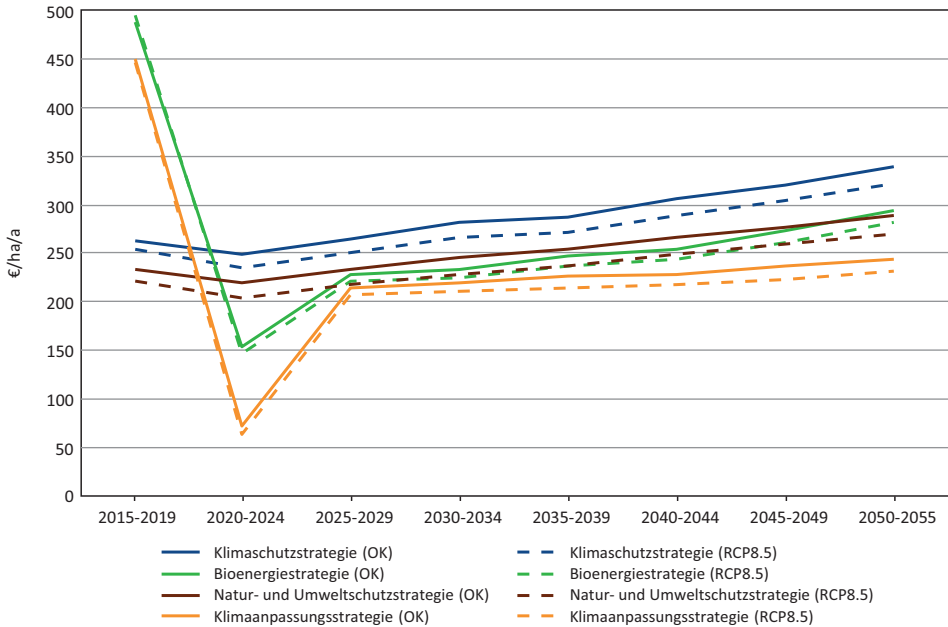


Abb. 4.42 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

und den nicht veränderten Zielstärken profitieren die Forstbetriebe in dieser Strategie deutlich von den sich derzeit im Wuchsoptimum befindlichen Fichtenbeständen der Nachkriegsaufforstungen, die innerhalb des Betrachtungszeitraums die Hiebsreife erreichen. Dagegen erreichen die Bestände in der Natur- und Umweltschutzstrategie aufgrund der um 5 cm erhöhten Zielstärken den angestrebten Zieldurchmesser nur teilweise im Betrachtungszeitraum. Die Berücksichtigung einer Klimaerwärmung führt zu keinen strukturellen Änderungen der Ergebnisse. Die Deckungsbeiträge liegen beim RCP 8.5-Szenario durchgehend etwas niedriger als beim OK-Szenario.

Die Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung 2015–2055 (vgl. Tab. 4.24 sowie Abb. 4.43) ist mit dem von Schweinle et al. (2018) beschriebenen Modell durchgeführt worden. Es sei daran erinnert, dass der bis 2015 aufgebaute Kohlenstoffspeicher in keinem der Speicherkompartimente außer der lebenden Baumbiomasse berücksichtigt wurde, um so eine bessere Vergleichbarkeit der Strategien zu gewährleisten. Die Abb. 4.43 zeigt, dass die durchschnittliche jährliche Senken- und Substitutionsleistung in den Strategien „Klimaschutz“ sowie „Natur- und Umweltschutz“ am höchsten, in den Strategien „Klimaanpassung“ und „Bioenergie“ dagegen am geringsten ist. Auf die einzelnen Kompartimente entfallen dabei sehr unterschiedliche Anteile.

Tab. 4.24 Durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055). (Quelle: N. Ermisch)

	Speicherveränderungen			Substitution		Summe
	Biomasse	Totholz- speicher	HWP	Material	Energie	
Bioenergie- strategie (OK)	2.923.375	4.241.878	5.133.309	17.332.690	9.871.979	39.503.231
Bioenergie- strategie (RCP8.5)	2.917.807	4.128.135	4.983.388	16.957.688	9.665.236	38.652.255
Klima- anpassungs- strategie (OK)	1.847.919	4.378.579	5.304.408	17.629.309	10.000.322	39.160.539
Klima- anpassungs- strategie (RCP8.5)	1.807.660	4.222.584	5.107.402	17.065.230	9.670.242	37.873.117
Klimaschutz- strategie (OK)	3.776.366	5.399.158	5.744.562	17.501.088	9.600.385	42.021.559
Klimaschutz- strategie (RCP8.5)	3.667.073	5.214.428	5.518.224	16.837.092	9.208.108	40.444.924
Natur- und Umweltschutz- strategie (OK)	5.568.644	5.385.579	5.430.186	16.485.949	8.979.449	41.849.808
Natur- und Umweltschutz- strategie (RCP8.5)	5.388.582	5.183.587	5.185.817	15.745.537	8.536.656	40.040.179

Angaben in t C/a

Insbesondere die Unterschiede der durchschnittlichen jährlichen Senkenleistung der lebenden Baumbiomasse sind deutlich zu erkennen. Diese belaufen sich in der Natur- und Umweltschutz- sowie der Klimaschutzstrategie auf jährlich knapp 0,6 bzw. knapp 0,4 tC je ha und Jahr. Die hohen Senkenleistungen sind zum einen durch die deutlich höhere Ausgangsvorräte in den beiden Strategien zu erklären und zum anderen dadurch, dass keine umfangreichen Aufforstungsflächen in der ersten 5-Jahres-Periode entstanden sind wie in der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie.

Auch der Totholzspeicher ist aufgrund der anfänglich höheren Totholzanteile in der Natur- und Umweltschutz- sowie in der Klimaschutzstrategie größer als in der Bioenergie- und der Anpassungsstrategie (vgl. Abb. 4.43). Dies liegt daran, dass die Totholzmenge im Modell stark von der Höhe des Anfangsvorrates an Baumbiomasse abhängt.

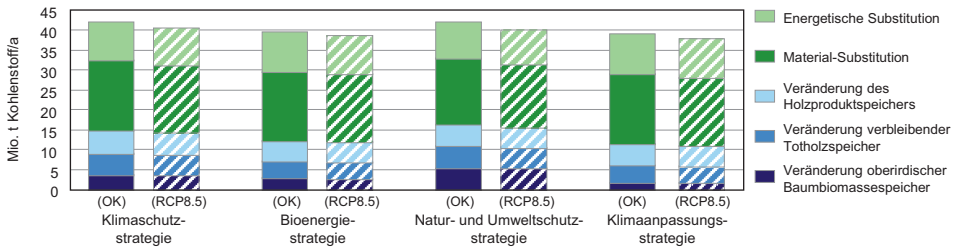


Abb. 4.43 Durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

Die durchschnittliche Senkenleistung des Holzproduktespeichers weist dagegen keine größeren Unterschiede zwischen den Strategien auf. Der größte Teil der Senkenleistung entfällt auf die Materialsubstitution und die energetische Substitution. Die jeweiligen Substitutionspotenziale unterscheiden sich zwischen den Strategien jedoch vergleichsweise wenig und können daher die Unterschiede der Speicherung in der Baubiomasse nicht vollständig kompensieren, zumindest nicht während des Betrachtungszeitraums. Die durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung des RCP 8.5-Szenarios liegt jeweils unterhalb der des OK-Szenarios. Inwieweit sich dies nach dem Betrachtungszeitraum ändern wird, kann aus den Ergebnissen des Modells nicht abgeleitet werden.

4.6.2.3 Exkurs: Klimaschutz durch Ausdehnung der Waldfläche und durch Nutzungsverzichte im Wald

Modul „Aufforstung“ (Klimaschutz durch Ausdehnung der Waldfläche)

Zusätzlich zu den in den vier Strategien zusammengefassten waldbaulichen Maßnahmenbündeln wurden zwei Maßnahmen als separate Module untersucht, die sich isoliert von den genannten Maßnahmenbündeln gestalten lassen. Im ersten dieser Module geht es um die Auswirkungen einer Ausdehnung der Waldfläche, vor allem mit Blick auf die Kohlenstoffsequestrierung. Dazu wurde eine Mehrung der Waldfläche um 10 % unterstellt, der besseren Illustration halber ausschließlich mit Douglasien. Im zweiten Modul geht es um den Verzicht einer Nutzung des Waldes.

Die finanziellen Auswirkungen einer solchen Aufforstung sind dadurch gekennzeichnet, dass die neubegründeten Waldflächen hohe Anfangsinvestitionen aufwerfen, denen zunächst (im ersten 5-Jahres-Zeitraum) noch keine Erlöse gegenüberstehen. Rechnet man das Modul „Aufforstung“ der Klimaschutzstrategie zu und unterstellt man, dass die Kosten der Aufforstung von den forstlichen (Modell-)Betrieben selbst getragen werden müssen, dann schlagen sich diese Kosten im gesamtbetrieblichen Deckungsbeitrag der Klimaschutzstrategie nieder, der zu Beginn des Betrachtungszeitraumes um ca. 80 € je ha geringer ausfällt als ohne die Aufforstung (vgl. Abb. 4.44). Nach der

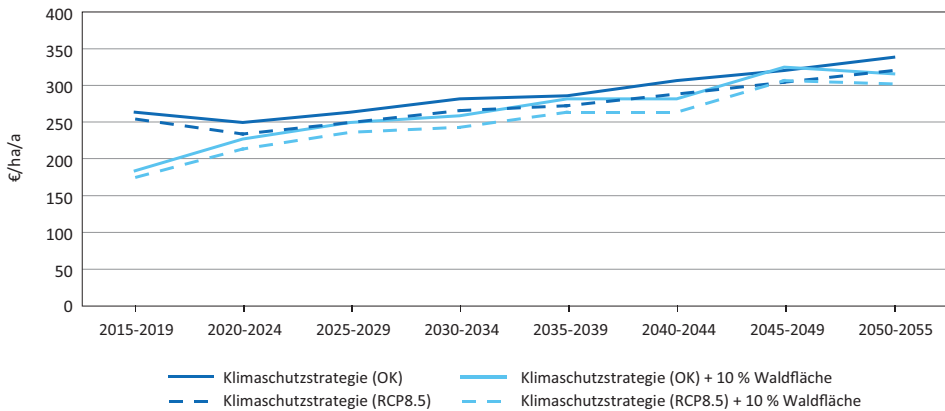


Abb. 4.44 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland bei einer Ausdehnung der Waldfläche um 10 % in der Klimaschutzstrategie (2015–2055)

ersten 5-Jahres-Periode nehmen die Deckungsbeiträge auf den neubegründeten Flächen zwar zu, fallen jedoch weiterhin unterdurchschnittlich aus, sodass der durchschnittliche Deckungsbeitrag der um 10 % vergrößerten gesamten deutschen Waldfläche über einen langen Zeitraum vermindert bleibt. Der Unterschied nivelliert sich erst zum Ende des Betrachtungszeitraumes, da die neubegründeten Douglasienflächen ein Alter erreichen, in dem Vornutzungserträge in nennenswerter Höhe generiert werden.

Im Durchschnitt des gesamten Betrachtungszeitraums entlastet das Modul „Aufforstung“ die Atmosphäre um zusätzliche 4,1 Mio. t C pro Jahr. Etwa die Hälfte dieses Betrages geht auf die Speicherveränderung in der ober- und unterirdischen Biomasse zurück (2,0 Mio. tC/a), weitere wesentliche Anteile entfallen auf die materielle und die energetische Substitution (1,1 bzw. 0,6 Mio. tC/a). Die Vergrößerung des Totholz- sowie des Harvested-Wood-Products-Speichers (HWP-Speicher) tragen lediglich 0,2 bzw. 0,1 Mio. t C/a bei.

Rechnet man diese Wirkungen der Klimaschutzstrategie zu, so steigt die durch sie bewirkte Entlastung der Atmosphäre dadurch von durchschnittlich 123,5 auf durchschnittlich 127,6 Mio. tC pro Jahr. Diese Entlastung verteilt sich ungleich über den Betrachtungszeitraum. Im Jahr 2015 beträgt sie 49,6 Mio. tC/a und steigt bis 2055 nahezu linear auf 221,2 Mio. tC/a an (ohne Modul „Aufforstung“ nur auf 213,4 Mio. tC/a). Zudem verschieben sich auch die Anteile, die auf die einzelnen Speicherkompartimente einerseits sowie die Substitution andererseits entfallen: Gehen in der ersten 5-Jahres-Periode des Betrachtungszeitraums noch 55 % der gesamten THG-Wirkung auf die Speicherveränderungen in Baumbiomasse, Totholz- und Holzprodukten zurück, so sinkt dieser Anteil bis 2055 auf lediglich 4 % ab (ohne das Modul „Aufforstung“ sogar auf 2 %); alles Übrige entfällt auf die materielle und energetische Substitution.

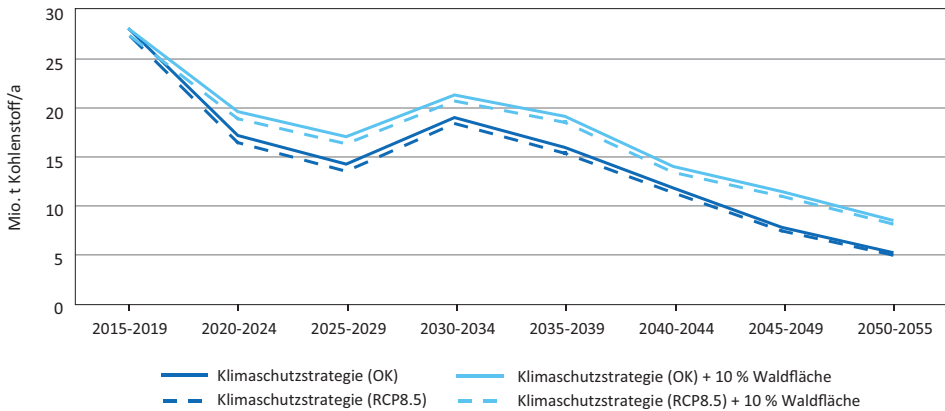


Abb. 4.45 Entwicklung der Kohlenstoffsequestrierung in Baumbiomasse, Totholz und Holzproduktespeicher in Deutschland bei einer Ausdehnung der Waldfläche um 10 % in der Klimaschutzstrategie (2015–2055; hier: ohne Substitution)

Dennoch lohnt sich auch ein Blick auf die zeitliche Entwicklung der durch die Ausdehnung der Waldfläche erzielbaren Kohlenstoffsequestrierung in lebender Baumbiomasse, Totholz- und Holzproduktespeicher allein. Sie ist (zu Illustrationszwecken ohne Berücksichtigung der Substitutionsleistung) in Abb. 4.45 dargestellt, wiederum am Beispiel der Klimaschutzstrategie. Durch die Waldflächenmehrung wird der im Zeitverlauf insgesamt abnehmenden Senkenleistung in den Wald- und Holzproduktespeichern Deutschlands entgegengewirkt, die durch die Altersstruktur des Waldes bedingt ist (vgl. Abschn. 1.2.4). Die neubegründeten Waldflächen weisen über den gesamten Betrachtungszeitraum eine zunehmende Senkenleistung auf, die ihr maximales Kohlenstoffsequestrierungspotenzial voraussichtlich erst nach 2055 erreichen werden.

Modul „Nutzungsverzicht“ (Klimaschutz durch Nutzungsverzichte im Wald)

Der Verzicht einer Nutzung des Waldes gehört nicht zu den klassischen waldbaulichen Maßnahmen; vielmehr dient er Zielen, die von Seiten des Natur- und Umweltschutzes gefordert werden. Die Auswirkungen eines Verzichtes auf Waldnutzung lassen sich isoliert von sonstigen waldbaulichen Maßnahmen untersuchen. Für die Analyse wird ein Verzicht auf forstliche Nutzung auf einer Waldfläche von 10 % unterstellt, der systematisch über alle Baumarten und Altersklassen verteilt wird.

Die finanziellen Auswirkungen dieses Nutzungsverzichtes gehen im Wesentlichen darauf zurück, dass auf gleichbleibender Fläche nur noch 90 % der Erträge erwirtschaftet werden. Rechnet man das Modul „Nutzungsverzicht“ der Natur- und Umweltschutzstrategie zu, so verringert sich der durchschnittliche Deckungsbeitrag in dieser Strategie von Beginn an um den genannten Prozentsatz (vgl. Abb. 4.46).

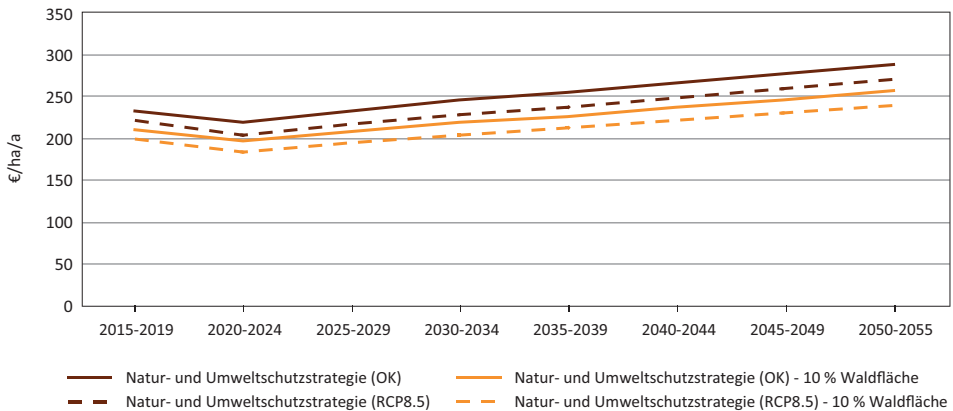


Abb. 4.46 Entwicklung des Deckungsbeitrages I bei einem Verzicht der Nutzung auf 10 % der Waldfläche in Deutschland in der Natur- und Umweltschutzstrategie (2015–2055)

Die Kohlenstoffsequestrierung in der Baumbiomasse wird durch eine Waldflächenstilllegung erwartungsgemäß erhöht, da auf 10 % der Flächen keine Holzernte mehr stattfindet. Das Speicherkompartiment „Totholz“ weist während des Betrachtungszeitraums eine nur leicht steigende Tendenz auf. Hierfür verantwortlich sind zwei gegenläufige Effekte, die sich im Modell weitgehend kompensieren: Zwar bewirkt der Nutzungsverzicht auch einen erhöhten Totholzfall, andererseits entfällt auf den stillgelegten Flächen aber die Nachlieferung von Totholz durch Einschlagsrückstände.¹⁵ Der positiven Entwicklung des Baumbiomasse- und des Totholzspeichers steht gegenüber, dass aus den stillgelegten Flächen kein Zufluss zum Holzproduktespeicher mehr erfolgt; der Aufbau dieses Speichers wird daher um 10 % vermindert. Gleichfalls entfallen alle Beiträge der stillgelegten Flächen zur materiellen und energetischen Substitution.

Quantitativ bedeutet dies, dass während des Betrachtungszeitraums durch den Nutzungsverzicht in den Speicherkompartimenten Baumbiomasse, Totholz und Holzprodukte insgesamt ein Speicheraufbau, also eine Sequestrierung, erfolgt. Im Beispiel der Natur- und Umweltschutzstrategie steigt diese Sequestrierung von 1,0 Mio. tC/a in der ersten 5-Jahres-Periode auf 2,5 Mio. tC/a in der letzten Periode an und beträgt im Durchschnitt des Betrachtungszeitraums 1,6 Mio. tC pro Jahr. Dem steht aber ein Verzicht auf Substitutionspotenziale i. H. v. durchschnittlich etwa 10 Mio. tC/a gegen-

¹⁵Es ist zu erwarten, dass diese weitgehende gegenseitige Kompensation in ferner Zukunft ein Ende findet, wenn die Bäume auf den stillgelegten Flächen ein deutlich höheres Alter erreichen, da sich dann der Totholzfall auf diesen Flächen erhöht – in diesem Fall zu Lasten des Baumbiomasse-Speichers. Generell sollte die Simulation der Totholzentwicklung aber nicht überinterpretiert werden, da das hier verwendete Modell nicht explizit auf eine Simulation von „nicht genutzten Flächen“, also einem Baumwachstum deutlich über den forstüblichen Umtriebszeiten, ausgelegt ist.

über.¹⁶ Betrachtet man daher den Klimaeffekt insgesamt einschließlich Substitution, so überwiegt per Saldo der Verzicht auf Substitutionspotenziale deutlich: Während die Natur- und Umweltschutzstrategie ohne Nutzungsverzichte im Durchschnitt eine Kohlenstoff-Einsparung von 122,8 Mio. tC/a erbringt, sinkt diese Einsparung durch die Nutzungsverzichte auf 113,7 Mio. tC/a, also um 9,1 Mio. tC jährlich.

4.7 Ergebnisse der Modellierung von Stoffflüssen im Forst

Martin Gutsch, Petra Lasch-Born und Felicitas Suckow

Zusammenfassung

Ziel der hier vorgestellten Modellergebnisse ist es, klimatische und bewirtschaftungsbezogene Auswirkungen auf die Kohlenstoff- und Wasserflüsse in den Wäldern bis zum Jahr 2050 zu untersuchen. Dazu wurde ein prozessbasiertes Waldwachstumsmodell mit den vorgestellten Klimaszenarien und Landnutzungsstrategien angewendet. Im Mittel (2011–2050) entwickeln sich die jährlichen Kohlenstoffflüsse unter der Referenzprojektion und -bewirtschaftung für den gesamten Wald wie folgt: Der in der gesamten Biomasse gespeicherte Kohlenstoff nimmt pro Jahr leicht ab ($-0,23 \text{ t C ha}^{-1}$), jedes Jahr werden $1,95 \text{ t C ha}^{-1}$ geerntet, $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$ im Boden gespeichert und $0,43 \text{ t C ha}^{-1}$ im Totholz. Demgegenüber steigt der Kohlenstoffvorrat in der Natur- und Umweltschutzstrategie aufgrund geringerer Holzerntemengen ($1,71 \text{ t C ha}^{-1}$) leicht an. Besonders stark ist der Rückgang des Kohlenstoffvorrats in der Bioenergiestrategie und etwa gleichbleibend in der Klimaschutzstrategie. Das Klimaszenario „RCP 8.5“ führt im Mittel bis 2050 zu positiven Waldwachstumseffekten, die sich in höheren biomasse- und erntebezogenen Kohlenstoffflüssen ausdrücken. Die Kohlenstoffspeicherung des Bodens geht unter diesem Klimaszenario um etwa 8 % zurück, führt zu einer erhöhten Verdunstung und damit zu geringeren Versickerungsraten im Vergleich zur Referenzprojektion. Der Einfluss der Bewirtschaftungsstrategien auf die Wasserflüsse ist im Mittel über die Gesamtwaldfläche sehr gering. Diese Effekte werden erst auf der Skala von Waldbeständen und Landschaften sichtbar.

Die Simulation von Waldbeständen sowie Stoffflüssen im Forst erfolgte mit dem Modell 4C (vgl. Abschn. 4.2.2.5) von 2011–2050 für die Referenzbewirtschaftung, den vier Landnutzungsstrategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Natur- und Umweltschutz“ sowie „Klimaanpassung“ und den zwei Klimaszenarien „0K-Referenzprojektion“ und

¹⁶Im Modul „Nutzungsverzichte“ haben Substitutionspotenziale einen größeren Anteil an der gesamten Kohlenstoffeinsparung als im Modul „Aufforstung“. Dies ist plausibel, da Aufforstungsflächen in ihrer Jugend vergleichsweise weniger nutzbares Holz produzieren (welches andere Materialien substituieren könnte), und der hier berücksichtigte Betrachtungszeitraum von 40 Jahren lediglich die Jugendphase der aufgeforsteten Bestände umfasst.