



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

Methan-Emissionen organischer Böden ergeben sich aus der Bilanz von Methanbildung unter anaeroben Bedingungen und der Methankonsumption, die aerobe Bedingungen erfordert. Der jeweilige Wasserstand steuert die Mächtigkeit der aeroben Bodenzone, in der aufsteigendes Methan durch Mikroorganismen abgebaut wird. Der im Rahmen von CC-LandStraD entwickelte Modellansatz beschreibt Methanbildung und Methankonsumption als chemische Reaktionen erster Ordnung. Dabei wird die Reaktionsgeschwindigkeit über Wasserstand, Temperatur und Konzentration des Ausgangssubstrats modifiziert.

#### **4.2.2.4 Entwicklung des Forstbetrieblichen Simulationsmodells FoBeSiMo**

Nils Ermisch, Hermann Englert, Margret Köthke und Peter Elsasser

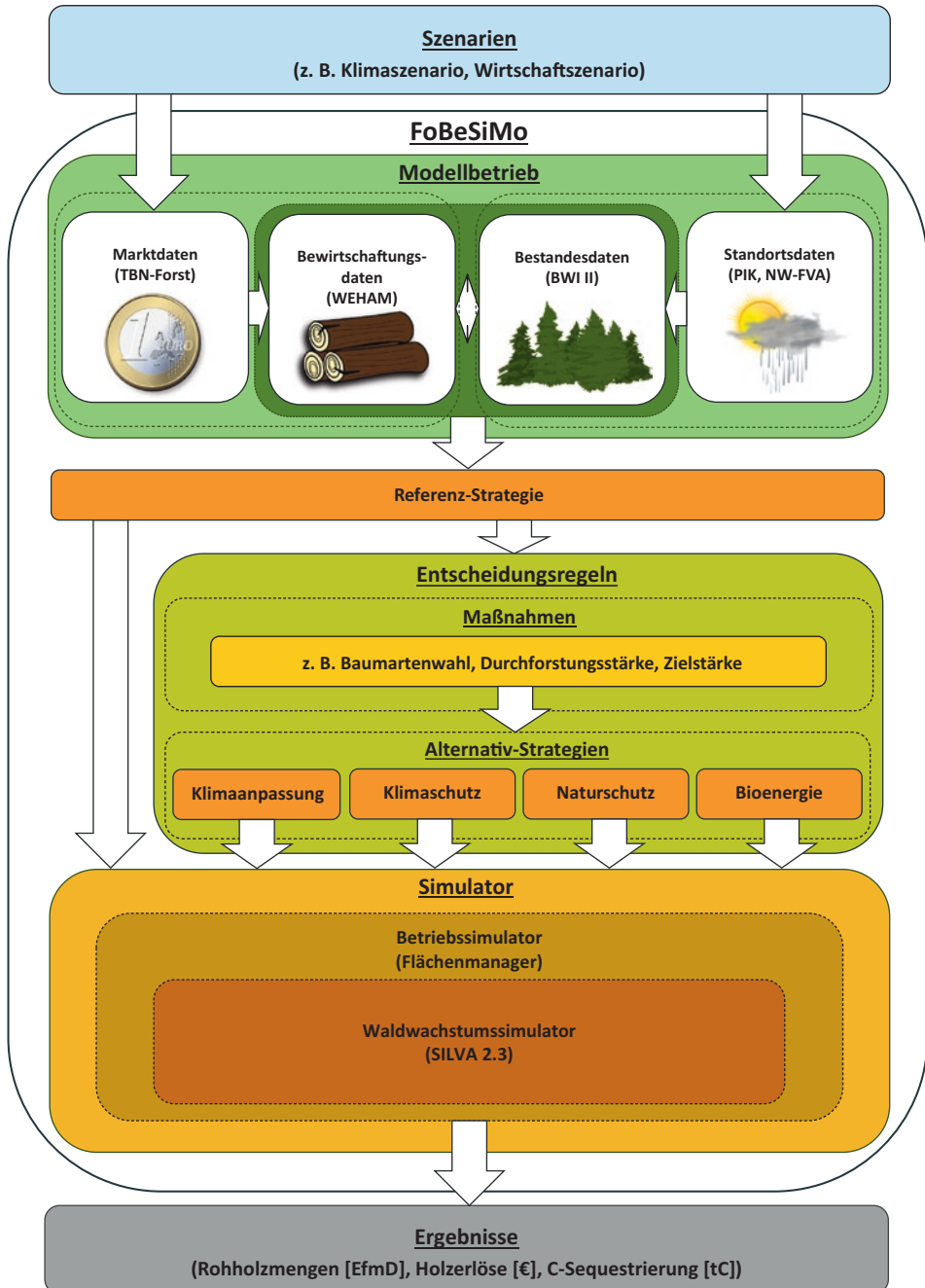
Für die Analyse der Anpassungen von Forstbetrieben an veränderte Rahmenbedingungen wurde im Rahmen von CC-LandStraD das Forstbetriebliche Simulationsmodell (FoBeSiMo) entwickelt. Mit Hilfe von FoBeSiMo lassen sich Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen von Produktionsbedingungen, Änderungen wirtschaftlicher Rahmenbedingungen sowie mögliche Reaktionen der Forstbetriebe sowohl auf naturale als auch wirtschaftliche Ergebnisse in der Forstwirtschaft abbilden. Dabei sind in FoBeSiMo die regional unterschiedlichen Standortbedingungen in Deutschland berücksichtigt. Der Aufbau des Modells FoBeSiMo ist in Abb. 4.3 schematisch dargestellt und umfasst als drei zentrale Module 1) forstliche Modellbetriebe, 2) Entscheidungsregeln und 3) ein integriertes Simulationsmodul.

##### 1. Forstliche Modellbetriebe

Zur Abbildung möglicher Anpassungsreaktionen unterschiedlicher Forstbetriebe wurden erstmalig für Deutschland 13 typische Forstbetriebe definiert, die jeweils die 13 Flächenbundesländer repräsentieren und damit den gesamten deutschen Wald. Die Beschreibung der Modellbetriebe in den einzelnen Modellzeitpunkten erfolgt über ein Datenmodell, das ausgewählte naturale und ökonomische Daten umfasst. Die Steuerung der Fortschreibung der Zustandsdaten im Zeitverlauf erfolgt über Datenschnittstellen, die auf exogene und endogene Steuerdaten zurückgreifen. Exogene Steuerdaten dienen zur Abbildung des außerbetrieblichen Entscheidungsumfelds (Markt- und Standortdaten). Endogene Steuerdaten dienen der dynamischen Abbildung des forstbetrieblichen Zustands bzw. forstbetrieblicher Entscheidungen (Bewirtschaftungs- und Bestandesdaten).

##### a) Marktdaten

Die unterstellten Marktdaten fußen auf Angaben aus dem Testbetriebsnetz-Forst (TBN-Forst) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (teilweise veröffentlicht in BMEL 2013). Dazu wurden unter Berücksichtigung von



**Abb. 4.3** Schematische Abbildung des forstbetrieblichen Simulationsmodells (FoBeSiMo)

Selbstwerbermengen pro Holzartengruppe durchschnittliche erntekostenfreie Holzerlöse berechnet. Da die Erlös- und Kostengrößen aus Datenschutzgründen nicht eigentums- und länderspezifisch ausgewertet werden konnten, wurden die Eigentumsarten über alle Modellbetriebe nach ihren Einschlagsanteilen gewichtet und pro Holzartengruppen je ein gesamtsektoraler erntekostenfreier Holzerlös berechnet. Um Jahresschwankungen der Vergangenheit abzufangen, handelt es sich um durchschnittliche erntekostenfreie Holzerlöse der Jahre 2009 bis 2013. Zusätzlich wurden, basierend auf einer Literaturrecherche, unterschiedliche Kulturkosten veranschlagt, die zusätzlich nach Holzartengruppen und Verjüngungsart (Naturverjüngung oder Pflanzung) differenziert wurden. Ferner wurden Läuterungskosten berücksichtigt. Somit ist es möglich, pro Holzartengruppe einen Deckungsbeitrag I (DBI)<sup>3</sup> zu berechnen. Des Weiteren wurden spezifische nicht verwertete Derbholzanteile (nvD-Holzanteile) pro Holzartengruppe aus dem TBN-Forst abgeleitet. Die entsprechenden Annahmen bezüglich der unterstellten Marktdaten sind in Tab. 4.20 dargestellt. Als Kalkulationszins wurden die aktuell forstüblichen 1,5 % p.a. angenommen.

b) Bewirtschaftungsdaten

Die für die Simulation der Bewirtschaftungsalternativen benötigten Annahmen wurden aus den Steuerdaten des Basisszenarios 2002 des WEHAM-Modells<sup>4</sup> abgeleitet (Polley und Kroihner 2006). Es handelt sich dabei um die Steuerdaten zu zehn Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche die Referenzbewirtschaftung und die Bewirtschaftungsziele der Alternativstrategien abbilden (vgl. Abschn. 4.6). Diese Bewirtschaftungsvorgaben nach WEHAM wurden für FoBeSiMo angepasst und mittels einer Analyse der aktuellen Waldbaurichtlinien der Bundesländer aktualisiert und überarbeitet. Da über den Körperschafts- und Privatwald keine ausreichenden Informationen vorlagen, wurden die Waldbewirtschaftungskonzepte des Staatswaldes im jeweiligen Bundesland auf diese beiden Eigentumsarten übertragen. Die Festlegung der Referenzbewirtschaftung bildet somit die Grundlage weiterer davon abweichender Bewirtschaftungsstrategien.

c) Bestandesdaten

Aus den Daten der Bundeswaldinventur (BWI) 2002 wurden für die vier Hauptbaumarten<sup>5</sup> Fichte, Kiefer, Buche und Eiche die dendrometrischen Werte je Bundesland berechnet (Thünen-Institut 2013). Diese bildeten die Eingangsdaten, um für jeden Modellbetrieb (bundeslandspezifische) Waldbestände zu modellieren.

---

<sup>3</sup>Der hier berechnete Deckungsbeitrag I entspricht dem waldbaulichen Deckungsbeitrag I, also dem erntekostenfreien Holzerlös (Verkaufserlös minus variable Holzerntekosten) abzüglich der Wiederbegründungskosten.

<sup>4</sup>WEHAM steht für WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung.

<sup>5</sup>Im weiteren Verlauf werden die Hauptbaumarten (Eiche, Buche, Fichte und Kiefer) synonym für die vier Holzartengruppen (Eiche, Buche, Fichte und Kiefer) verwendet.

Die Douglasie wird in der weiteren Analyse zwar als eigene Baumart geführt, ihr Wachstum sowie die ihr zugeschriebenen Kosten und Erlöse werden jedoch aus den entsprechenden Daten für Fichte übernommen. Die anderen Baumarten wurden den entsprechenden vier Hauptbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) zugeschlagen und jeweils Durchschnitte der dendrometrischen Werte der Hauptbaumarten im Bundesland verwendet. Dies bedeutet, dass als Eingangswert der Kalibrierung pro Hauptbaumart ein durchschnittlicher Brusthöhendurchmesser für jeden Modellbetrieb verwendet wurde. Mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA wurden aus diesen Eingangswerten je Hauptbaumart und Modellbetrieb Klupplisten erstellt, die dann jeweils für eine Holzartengruppe Verwendung finden.

Für jedes Klimaszenario, jede Strategie und jeden Modellbetrieb wurde jeweils eine Wachstumskurve ab der Altersklasse 30 jeder Hauptbaumart modelliert. Somit liegen am Ende des Betrachtungszeitraumes für jeden Baum bzw. Bestand forstwirtschaftlich relevante Daten wie z. B. Durchmesser- und Höhenentwicklung vor. Alle weiteren Werte der Altersklassen unter den jeweiligen Bewirtschaftungsstrategien basieren auf diesen Wachstumskurven. Folglich ist keine dynamische Änderung von einer Strategie hin zu einer anderen im Zeitverlauf möglich. Zur Berechnung der genannten Wachstumskurven wurde der Einzelbaum-Wachstumssimulator SILVA (Biber et al. 2000) verwendet. Als Startaltersklasse wurde die Altersklasse 20–40 Jahre (im Mittel 30 Jahre) ausgewählt, da in der Altersklasse 0–20 Jahre die Bäume noch nicht alle die Brusthöhe (Messpunkt des Brusthöhendurchmessers) erreicht haben. Das beschriebene Vorgehen impliziert die Annahme, dass die Bewirtschaftung der jeweiligen Strategien zum Startzeitpunkt der Modellierung im Jahr 2015 bereits umgesetzt ist. Eine Übergangsphase vom heutigen Zustand hin zur jeweiligen Strategie wird nicht modelliert.

Da Risiko im Gegensatz zu Unsicherheit ein sowohl in der Folge als auch in der Eintrittswahrscheinlichkeit bekanntes Ereignis darstellt, ist es in Form altersspezifischer Überlebenswahrscheinlichkeiten nach Staupendahl (2011) für die vier Hauptbaumarten in der Modellierung berücksichtigt worden.

#### d) Standortdaten

Eine regionale Differenzierung für Deutschland erfolgte auf der Ebene der 13 Flächenbundesländer. In den Regionen wurden jeweils vier potenzielle Standorttypen unterschieden, die sich nach der aktuellen Bestockung der vier Hauptbaumarten zum Stand der BWI 2002 unterscheiden. Für die Beschreibung der Standorte verwendet SILVA neun Standortvariablen.<sup>6</sup> Für die Standortdaten wurden in Zusammenarbeit mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung die einzelnen BWI-Stichprobenpunkte

---

<sup>6</sup>Je drei Standortvariablen zu Nährstoff ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , Nährstoffversorgung), Wärme (Anzahl der Tage mit Temperatur  $>10^\circ\text{C}$ , Jahrestemperaturamplitude, Temperaturmittel Vegetationszeit) und Feuchtigkeit (Ariditätsindex Vegetationszeit, Bodenfrische, Niederschlag Vegetationszeit).



mit der Bodenübersichtskarte (BGR 2004) und im Anschluss mit den Polygonen der Klimastationen verschnitten. Dies ermöglicht, temperaturabhängige Veränderungen der klimatischen und pedologischen Standortdaten regionalisiert zu berücksichtigen. Zur Herleitung von einheitlichen, bundeslandspezifischen Standortdaten ist aus den jeweiligen Mittelwerten der neun SILVA-Standortvariablen für jede der vier Hauptbaumarten der 13 Modellbetriebe ein „mittlerer Standort“ berechnet worden. Mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA wurden daraufhin baumarten- und standortspezifische Wachstumskurven der Alters-Höhenbeziehung berechnet. Diese lassen sich den ebenfalls ermittelten klimabedingten Wachstumskurven gegenüberstellen, um zwischen Baumart- und Standort- bzw. Klimaeffekten zu differenzieren.

## 2. Forstliche Entscheidungsregeln

Aus der Vielzahl möglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen (vgl. Abschn. 3.3.2) wurden neun Einzelmaßnahmen ausgewählt (vgl. Abschn. 3.3.6), die die typischen Forstbetriebe im Rahmen dieser Studie ergreifen können, um sich veränderten Rahmenbedingungen anzupassen. Durch Variation der Ausprägung der Einzelmaßnahmen ist es möglich, verschiedene Strategien zu definieren, die sich in ihrer jeweiligen Umsetzung unterscheiden (vgl. Abschn. 4.6). Die Umsetzung der Einzelmaßnahmen innerhalb des Maßnahmenbündels richtet sich dabei nach dem jeweils verfolgten Strategieziel. Maßnahmen, ihre Varianten und die entsprechenden Strategien sind in Tab. 4.21 zusammengefasst.

## 3. Waldwachstums- und Betriebssimulator

Ausgehend von den dargestellten Start- und Steuergrößen lassen sich mit Hilfe von SILVA die Ausgangssituation eines Bestandes und die Standortbedingungen charakterisieren. In SILVA wird die Dynamik eines betrachteten Bestandes einzelbaumweise in 5-Jahres-Schritten von der Bestandesbegründung bis zum Generationenwechsel durch ein für den entsprechenden Standort initialisiertes Funktionensystem nachgebildet (Biber et al. 2000). Um die aus SILVA stammenden naturalen Ergebnisgrößen der Modellbetriebe ökonomisch bewerten zu können, wurde ein Betriebssimulator entwickelt. Der Betriebssimulator führt die von SILVA erzeugten Naturaldaten auf Bestandesebene zu Betriebsklassen zusammen. Die Betriebsklassen der 13 Modellbetriebe wurden auf Basis der Baumarten-, Flächen- und Altersklassenverteilung der Bundesländer gemäß der BWI 2002 gebildet. Dieses Vorgehen ermöglicht es, einen Forstbetrieb aus unterschiedlichen (Haupt-)Baumarten auf unterschiedlichen Flächen in unterschiedlichen Altersklassen abzubilden und weiterführende ökonomische Analysen auf Betriebsebene durchführen zu können. Dadurch können die Holzmengen, Erlöse und Kosten sowie die Kohlenstoffmengen pro Modellbetrieb in den Simulationsperioden berechnet werden.

Zur Berechnung des jeweiligen Kohlenstoffgehaltes der vom Waldwachstumssimulator SILVA berechneten Holzvolumina und deren Substitutionspotenziale wurde auf einen Ansatz von Schweinle et al. (2018) zurückgegriffen. Dieser ermittelt auf Basis von Umrechnungsfaktoren aus der Literatur aus den vorliegenden Eingangsdaten den

Kohlenstoffgehalt der drei Speicherkompartimente lebende Baumbiomasse (Derbholz und Nichtderbholz), Totholz und Holzprodukte sowie die jeweiligen Auswirkungen auf stoffliche und energetische Substitutionspotenziale. Holzprodukte werden dort nach Verwendungsbereichen unterteilt (Sägeholz, Platten, Papier), einschließlich der Berücksichtigung der jeweiligen Abbauraten. Veränderungen des Kohlenstoffgehaltes in Böden und Streu werden in diesem Modell nicht berücksichtigt.

#### 4.2.2.5 Modellierung der Stoffflüsse im Forst mit 4C

Martin Gutsch, Petra Lasch-Born und Felicitas Suckow

Die Untersuchung der Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimaänderungen auf den Stoffhaushalt der Waldbestände in Deutschland erfolgt mit Hilfe des prozessbasierten Waldwachstumsmodells 4C. Mit 4C werden sowohl der Stoffhaushalt als auch die forstliche Wuchsleistung von Wäldern unter sich ändernden Klimabedingungen und unter Bewirtschaftung analysiert (Lasch et al. 2005; Lasch-Born et al. 2015). Um flächendeckende Aussagen ableiten zu können, wurde das Modell 4C für 69.393 Waldbestände in Deutschland angewendet. Die Anzahl der Bestände ergab sich durch die Datengrundlage der Bundeswaldinventur (BWI<sup>2</sup>-Erhebung 2002), auf deren Basis die Charakterisierung der Bestandesausgangssituation erfolgte (BMELV 2005). Die Daten der Untersuchungsplots der BWI<sup>2</sup> lieferten für jeden simulierten Waldbestand die Informationen „Baumart“ und „Alter“. Um die Initialisierung der Bestände für die Modellsimulation zu ermöglichen, mussten Vereinfachungen in der Bestandsstruktur vorgenommen werden. Berücksichtigung fanden nur die Baumartengruppen Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche, Eiche<sup>7</sup> und sonstige Laubhölzer niedriger Lebensdauer.

Des Weiteren wurden den Beständen die bundesland-, baumarten- und altersklassenspezifischen mittleren Bestandesparameter (Höhe, Bursthöhendurchmesser und Grundfläche) zugeordnet und für die Bestandesinitialisierung genutzt. Dadurch ist gesichert, dass die Aggregation der Bestände auf Kreis-, Landes- und Bundesebene den Erhebungen der BWI<sup>2</sup> entspricht. Aus den Informationen, die durch die Verschneidung der Koordinaten jedes einzelnen Bestands mit der BÜK 1000 (BGR 2004) gewonnen wurden, wurde für jeden Bestand der entsprechende Boden initialisiert. Weiterhin wurde jedem Bestand die nächstliegende der insgesamt 1218 Klimastationen zugeordnet. Auf der Grundlage der zum Bestand gehörenden Waldfläche (CORINE Landnutzungsdatensatz; DLR-DFD 2004; CORINE Land Cover [CLC] 2000) werden die Ergebnisse der Simulationen auf die drei o. g. Verwaltungsebenen aggregiert. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine flächige Simulation des Gesamtwaldes, ohne jedoch exakte Aussagen zu konkreten Waldbeständen machen zu können.

---

<sup>7</sup>Keine Unterscheidung von Traubeneiche und Stieleiche.