

# Bewertung der Klimaschutzleistung der Forst- und Holzwirtschaft auf lo- kaler Ebene (BEKLIFUH)

---

Ein Projekt im Rahmen des Waldklimafonds

Förderkennzeichen: 28W-B-4-017-04

## Dokumentation

Vorbereitung: Eingabe der Forsteinrichtungsdaten durch die Anwender – Eingabe der Simulationspa-  
rameter durch die Anwender/Menüführung – Ergebnisse: Ergebnisbericht als Kurz- und Langfassung  
und zusätzlich bereitgestellte Daten – Methodische Grundlagen und Annahmen der Simulation

Stand 1. August 2018

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## **Informationen zum Projekt**

www.beklifuh.de  
mail@beklifuh.de

## **Projektpartner**

*Knauf Consulting GbR*  
Dorotheenstraße 7, 33615 Bielefeld  
Dr. Marcus Knauf (Koordinator des Verbund-  
vorhabens), Prof. Dr. Arno Frühwald  
mknauf@knauf-consulting.de

*Zentrum Holzwirtschaft, Weltforstwirtschaft*  
Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg  
Prof. Dr. Michael Köhl (Projektleiter), Dr. Volker  
Mues, Vlad Strimbu  
weltforst@uni-hamburg.de

*Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen*  
Fachbereich Holzwirtschaft, Forschung, Klima-  
schutz  
Carls-Aue-Str. 91a, 59939 Olsberg  
Volker Holtkämper  
volker.holtkaemper@wald-und-holz.nrw.de

*Deutscher Städte- und Gemeindebund*  
August-Bebel-Allee 6, 53175 Bonn  
Ute Kreienmeier  
ute.kreienmeier@dstgb.de

## **Ansprechpartner für Fragen zur waldbaulichen Simulation**

Dr. Volker Mues, Prof. Dr. Michael Köhl

Weltforst@uni-hamburg.de

## **Ansprechpartner für Fragen zur Holzverwendungssimulation und allgemeine Fragen zum Projekt BEKLIFUH**

Dr. Marcus Knauf

mknauf@knauf-consulting.de

## **Ansprechpartner für Fragen zur ökobilanziellen Bewertung/ zum Produktvergleich von Holz- und Nichtholzprodukten**

Prof. Dr. Arno Frühwald

arno.fruehwald@uni-hamburg.de

### **Zitiervorschlag**

Mues, V., Knauf, M., Köhl, M., Frühwald, A., 2017. Bewertung der Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft auf lokaler Ebene (BEKLIFUH). Ein Projekt im Rahmen des Waldklimafonds. Dokumentation, Stand 1. August 2018. Hamburg/Bielefeld.

## Nutzungsrechte

Die Projektpartner des Projektes BEKLIFUH („Projektpartner“) stellen das Softwaretool deutschen Forstbetrieben („Nutzern“) unentgeltlich zur Verfügung. Die eingeräumte Nutzung beinhaltet lediglich die Anfrage der Simulation des Klimaschutzbeitrages für ausschließlich von zum Forstbetrieb des Nutzers zugehörigem Wald durch das BEKLIFUH Softwaretool. Mit dieser Verfügbarmachung ist keinerlei Übertragung von Nutzungsrechten über die vorstehend eingeräumte Nutzung hinaus verbunden. Aus der Einräumung des Nutzungsrechts können ebenfalls keinerlei Ansprüche an einen oder mehrere der Projektpartner abgeleitet werden. Der Nutzer verpflichtet sich zum Hinweis auf die Verwendung des Softwaretools im Rahmen von Veröffentlichungen, die auf den BEKLIFUH-Simulationsergebnissen basieren, durch Übernahme des folgenden Textes: *„Die Ergebnisse wurden mit Hilfe des Softwaretools BEKLIFUH ermittelt. Das Projekt BEKLIFUH („Bewertung der Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft auf lokaler Ebene“, [www.beklifuh.de](http://www.beklifuh.de)) wurde im Rahmen des Waldklimafonds ([www.waldklimafonds.de](http://www.waldklimafonds.de)) gefördert und von Knauf Consulting (Bielefeld), der Universität Hamburg (Weltforstwirtschaft), dem Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen und dem Deutschen Städte- und Gemeindebund mit Unterstützung durch die INTEND Geoinformatik GmbH durchgeführt.“*

## Haftungsausschluss

Das Softwaretool wurde im Rahmen des Projektes BEKLIFUH entwickelt und in Zusammenarbeit mit fünf Forstbetrieben verifiziert. Alle Inhalte, Annahmen, Berechnungen und Festlegungen entsprechen dem Stand guter wissenschaftlicher Praxis. Trotzdem wird keine Haftung für Unstimmigkeiten und Fehler in den Annahmen und der Programmsicherheit übernommen, auch nicht gegenüber Dritten. Die Projektbearbeiter und Programmhersteller haften nicht für die Ergebnisse der Berechnungen, da diese weitgehend automatisiert durch die Dateneingabe durch den Anwender bedingt sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass in dem Bericht Szenarien und keine Prognosen dargestellt werden.

## Datensicherheit

Die Datensicherheit wird durch verschiedene Maßnahmen gewährleistet. Es werden abgesicherte Services während der Eingabe von Daten und Parametern zur Simulation verwendet. Für die Berechnung der Simulationen werden die Daten nur temporär auf den Servern, die von Intend Geoinformatik GmbH bereitgestellt werden, verarbeitet. Nach der Bearbeitung eines Simulationsauftrags werden alle Daten gelöscht. Weiterhin wird jede Simulation in einem isolierten Berechnungslauf durchgeführt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Vorwort: das Projekt BEKLIFUH	8
3	Aufbau der Dokumentation	10
3.1	Versionsverlauf.....	10
4	Vorbereitung: Eingabe der Forsteinrichtungsdaten durch die Anwender	11
4.1	Bestandesdaten als Grundlage der Simulationen.....	14
4.2	Baumdaten aus Stichproben.....	16
4.3	Holzerntedaten .....	19
4.4	Alternative Eingabe von Daten nur einer Inventur („EinInventur“) .....	21
5	Eingabe der Simulationsparameter durch die Anwender – Menüführung	22
5.1	Oberflächen zur Konfiguration des BEKLIFUH Simulationsauftrages.....	24
5.2	Simulationsparameter im Expertenmodus.....	34
6	Ergebnisse der Simulation	38
7	Methodische Grundlagen und Annahmen der Simulation	40
7.1	Ganzheitliche Betrachtung des Systems Wald-Holzverwendung.....	40
7.2	Waldbauliche Simulation.....	41
7.2.1	Szenarien der Waldbewirtschaftung .....	43
7.2.2	Baumartgruppen.....	44
7.2.3	Bestandesbegründung und Baumartwechsel .....	45
7.2.4	Ertragstafeln und Zuwachs .....	46
7.2.5	Holzerntemengen .....	50
7.2.6	Totholzspeicher .....	56
7.2.7	Bestimmung von Biomassen und Kohlenstoffgehalt.....	59
7.3	Simulation der Holzverwendung.....	62
7.3.1	Prinzip der Zuordnung der Holzerntemengen als Ergebnis der waldbaulichen Simulation zu den für die Bewertung der Kohlenstoffeffekte relevanten Verwendungen.....	62
7.3.2	Ableitung der Kohlenstoffeffekte der Holznutzung auf Basis des Outputs des Holzverwendungsmodells.....	63

---

7.3.3	Das im Softwaretool entwickelte Stoffstrommodell .....	65
7.3.4	Eingabe einer individuellen Holzverwendung durch die Anwender .....	66
8	Literatur .....	67
9	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	74
9.1	Abbildungen.....	74
9.2	Bildschirmansichten.....	75
9.3	Tabellen.....	76

## **I Kurzfassung**

Durch Speicherung von Kohlenstoff im Wald und in langlebigen Holzprodukten sowie die Vermeidung von Emissionen durch die energetische und stoffliche Verwendung von Holz leisten Forst- und Holzwirtschaft einen bedeutenden Beitrag zum Schutz des Klimas. Das Projekt BEKLIFUH („Bewertung der Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft auf lokaler Ebene“) greift die Ziele des Waldklimafonds auf, indem es sich der Forstplanung auf lokaler Ebene widmet und deutschen Forstbetrieben ein Internet basiertes Softwaretool bereitstellt, mit dessen Hilfe sie die Auswirkungen verschiedener Waldbewirtschaftungs- und Holzverwendungsoptionen auf das CO<sub>2</sub>-Minderungs-, Energie- und Substitutionspotenzial von Wald und Holz untersuchen und bewerten können. Der Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen stellt durch die Finanzierung sicher, dass das Softwaretool nach dem Projektende für zwei Jahre kostenfrei den Forstbetrieben zur Verfügung steht. Das im Projekt BEKLIFUH entwickelte Softwaretool bedient sich der Methode der Szenarienanalyse. Die Szenarien zeigen die Bandbreite zukünftiger Entwicklungen, innerhalb derer sich die tatsächliche Entwicklung wahrscheinlich bewegen wird. Dadurch werden objektive Informationen bereitgestellt, die eine Beurteilung zukünftiger Handlungsalternativen unter Beachtung möglicher Synergien zwischen Klimaschutz, Anpassung der Wälder an den Klimawandel und Erhalt der biologischen Vielfalt erlauben.

## 2 Vorwort: das Projekt BEKLIFUH

Durch das Projekt BEKLIFUH wird ein Softwaretool zur Verfügung gestellt, mit dessen Hilfe die Auswirkungen verschiedener Waldbewirtschaftungs- und Holzverwendungsoptionen auf das CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzial durch Wald- und Holzproduktespeicher und stofflicher und energetischer Substitution und damit insgesamt von Wald und Holz bewertet werden können. Abbildung I zeigt den methodischen Ansatz von BEKLIFUH mit einem lokalen Waldwachstumsmodell und einem Holzverwendungsmodell, das ebenfalls eine lokale Anpassung ermöglicht.

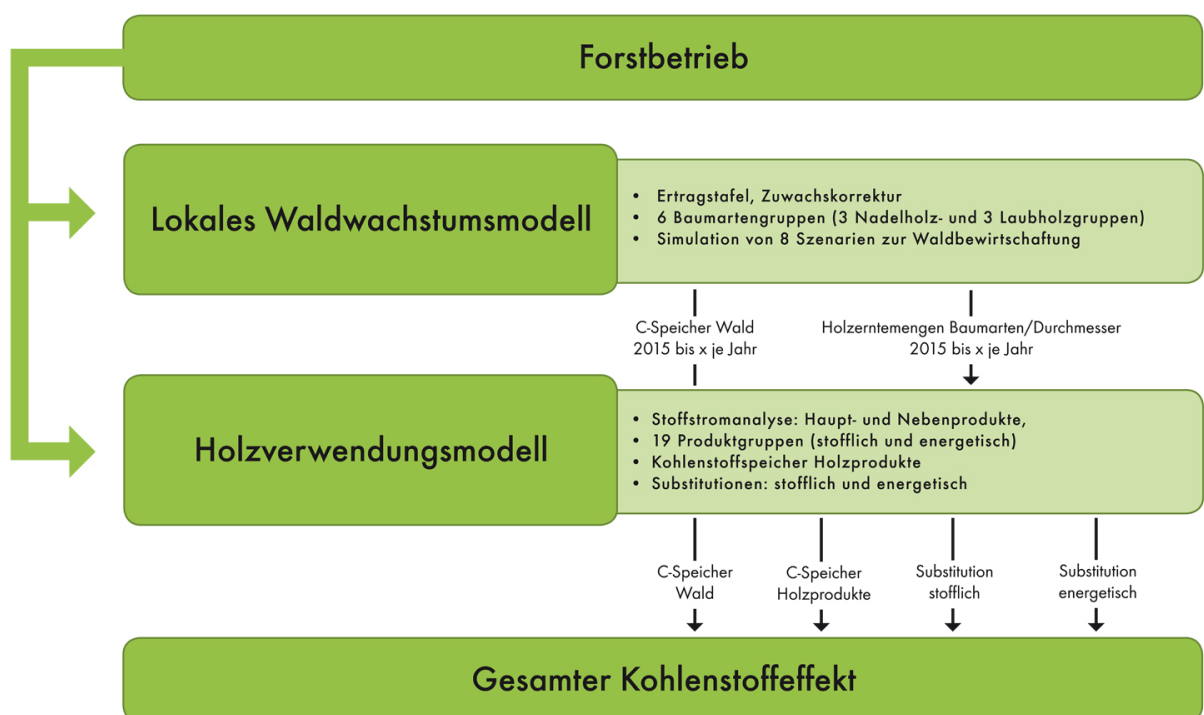


Abbildung I Grundsätzliche Vorgehensweise des Projekts BEKLIFUH

Das entwickelte Softwaretool wird als BEKLIFUH-Softwaretool bezeichnet.

Die Studie „Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz“ (Knauf und Frühwald, 2013) war Ausgangspunkt für die Entwicklung des Waldklimafondsprojekts „Bewertung der Klimaschutzleistungen der Forst- und Holzwirtschaft auf lokaler Ebene (BEKLIFUH)“. Im Projekt BEKLIFUH erfolgt eine *lokale* Analyse auf Ebene eines Forstbetriebs. Die Modellierung der Klimaschutzleistung konnte in Form eines Softwaretools umgesetzt werden, das zum Projektende allen deutschen Forstbetrieben kostenfrei zur Verfügung gestellt werden kann.



Durch BEKLIFUH werden dem anwendenden Forstbetrieb Informationen bereitgestellt, die eine Beurteilung zukünftiger Handlungsalternativen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung und Holzverwendung unter Klimaschutzaspekten erlaubt. In Zusammenarbeit mit fünf Forstämtern (Regionalforstamt Niederrhein/NRW, Regionalforstamt Hochstift/NRW, Stadtforstamt Höxter/NRW, Forstverwaltung Graf von Spee/NRW, Stadtforstamt Freiburg/BW) wurde das Waldwachstums- und Holzverwendungsmodell entwickelt und getestet. Waldbaulich decken die fünf Betriebe unterschiedliche Standortbedingungen, Bestandesbilder und -zusammensetzungen, einen weiten Bereich individueller Entstehungs- und Bewirtschaftungsgeschichte sowie unterschiedliche Schwerpunktsetzungen zur aktuellen und zukünftigen forstlichen Bewirtschaftung ab. Ebenso werden die verschiedenen Waldbesitzarten repräsentiert.

### 3 Aufbau der Dokumentation

Diese Dokumentation soll a) die Anwender unterstützen, das Softwaretool BEKLIFUH zu benutzen und bei der Interpretation der Ergebnisse unterstützen und b) die methodischen Grundlagen und Annahmen der Simulation darstellen. Redaktionelle Änderungen am Dokument werden fortlaufend durchgeführt, inhaltliche Änderungen führen zur Änderung des Datums zum „Stand“ auf dem Deckblatt und einer Beschreibung der durchgeführten Änderungen im Unterkapitel 3.1 zum Versionsverlauf.

In Kapitel 4 („Vorbereitung: Eingabe der Forsteinrichtungsdaten durch die Anwender“) wird beschrieben, welche Daten die Anwender wie aufbereiten müssen, um das Tool anwenden zu können. In diesem Kapitel werden damit die Vorarbeiten beschrieben, die stattfinden, bevor man über eine Internetplattform die Daten eingeben und die Simulation beauftragen kann.

In Kapitel 5 („Eingabe der Simulationsparameter durch die Anwender – Menüführung“) wird die Eingabe der Daten und der Simulationsparameter über die Internetplattform beschrieben. Die Darstellung folgt dabei der Menüführung des Tools im Internet.

Kapitel 6 („Ergebnisse der Simulation“) gibt einige Informationen zu den Ausgabeformaten der Simulation (u. a. Ergebnisbericht in Kurz- und Langfassung).

In Kapitel 7 („Methodische Grundlagen und Annahmen der Simulation“) werden die allgemeinen methodischen Grundlagen und Annahmen der Simulationen dargestellt.

#### 3.1 Versionsverlauf

Stand	Beschreibung
10. März 2017	Veröffentlichung der ersten Version
10. Mai 2017	Textliche Anpassungen (4, 4.1, 7.2.4)
1. August 2018	Einfügen der Dokumentation zu einer vereinfachten Eingabe von Daten nur EINER Inventur in Verbindung mit Werten zum erwarteten laufenden Zuwachs („EinInventur“) => Änderungen Ende von Kapitel 4.; neues Kapitel 4.4 eingefügt und Anpassungen in Kapitel 7.2.4.2), textliche Anpassungen (redaktionell), Aktualisierung aller Bildschirmansichten

## 4 Vorbereitung: Eingabe der Forsteinrichtungsdaten durch die Anwender

Die Simulation des Waldwachstums und der aus diesem hervorgehenden jährlichen Erntemengen stützt sich grundsätzlich auf das Vorhandensein von Daten zu zwei aufeinander folgenden **Inventuren** derselben Holzbodenflächen und der zwischen den Inventuren dort entnommenen **Holzerntemengen** (zu einer alternativen Eingabemöglichkeit mit einer Inventur vgl. Kapitel 4.4 „EinInventur“). Die Gesamtheit dieser Flächen wird im Folgenden als „Forstbetrieb“ bezeichnet. Die Simulation des Waldwachstums im Forstbetrieb stützt sich auf „Bestände“, die durch die Inventurdaten definiert sind. Als Inventuren kommen entweder Bestandsinventuren im Sinne der traditionellen Forsteinrichtungsinventur (s. Kapitel 4.1) oder sogenannte Stichprobeninventuren (s. Kapitel 4.2) in Frage. Während bei Bestandsinventuren Daten zu einzelnen Waldbeständen übergeben werden, werden bei der Verwendung von Stichprobendaten in jeder Zeile Daten zu den am Stichprobenpunkt aufgenommenen Bäumen übermittelt. Die Dateneingabe umfasst schließlich neben den bereits erwähnten Daten aus den Inventuren solche über die Holzerntemengen (s. Kapitel 4.3). Im Rahmen der Datenvorbereitung sind einige grundlegende Annahmen und Bedingungen zu beachten, die in diesem Kapitel kurz erläutert werden sollen:

- Einheitliche Zuordnung vorkommender Baumarten zu Baumartgruppen
- Inventuren und Holzerntemengen müssen sich auf dieselbe Forstbetriebsfläche beziehen
- Grundsätzliche Verwendung des Hauptbestandes
- Die Datenübermittlung bedient sich einfacher Festlegungen zu Formaten und Struktur

Neben der räumlichen Aufteilung in Bestände bzw. Stichprobenpunkte sind alle Bestände durch die Zugehörigkeit zu einer **Baumartgruppe** und zu einem Alter definiert (vgl. auch 7.2.2). Alle Baumarten sind in bis zu sechs Baumartgruppen einzuteilen. Mischbestände müssen bei Verwendung von Daten aus Bestandsinventuren in ideelle Reinbestände dieser Baumartgruppen aufgeteilt werden.

Die erste Bildschirmansicht des Softwaretools gibt dem Forstbetrieb die Möglichkeit, die gewählte Einteilung der Baumartgruppen zu dokumentieren (s. Kapitel 5) und wird standardmäßig mit der Grundannahme des Softwaretools geöffnet (vgl. Tabelle 1): Die Eichen sind in Baumartgruppe „Eiche“ zusammengefasst, die Weichlaubhölzer und alle anderen Baumarten mit niedriger Lebensdauer werden in der Gruppe „Pappel“ zusammengefasst und die Baumarten mit hoher Lebensdauer, die nicht „Eiche“ sind, werden der Baumartgruppe „Buche“ zugeordnet. Im Nadelholz gilt eine entsprechende Einteilung in „Kiefer“ (alle Lärchen- und Kiefernarten), Douglasie (Douglasie, Küstentanne, Thuja) und aller übrigen Nadelbaumarten in Baumartgruppe „Fichte“. Hierdurch werden alle Baumarten

berücksichtigt und ihre Zuordnung ist eindeutig. Lichtbaumarten, Schattbaumarten und schnell wüchsige Baumarten werden dementsprechend eingegeben und simuliert.

Tabelle I Baumartgruppen gemäß Standardeinstellung

Baumart-gruppe	Baumarten	Kürzel für Dateneingabe
Kiefer	Kiefern- und Lärchenarten	KI
Fichte	Fichte, Weißtanne und alle anderen Koniferen	FI
Douglasie	Douglasie, Küstentanne, Thuja	DGA
Eiche	alle Eichenarten	EI
Buche	Buche und alle anderen Laubbaumarten mit hoher Lebensdauer (ALH: Ahorn, Esche, Esskastanie, Linde, Robinie, Ulme, Hainbuche, Nuss)	BU
Pappel	Pappel, Weide, Erle, Birke und alle anderen Laubbaumarten mit niedriger Lebensdauer (ALN: restliche Baumarten)	PA

Sowohl zur Dokumentation der eigenen Simulation als auch während der Datenvorbereitung und -eingabe, die in diesem Kapitel erläutert wird, muss vom Forstbetrieb die gewählte Baumarteinteilung konsequent angewendet werden. Die Dateneingabe umfasst dabei sowohl die bereits erwähnten Daten aus den Inventuren als auch die Holzerntemengen. Diese müssen getrennt nach denselben Baumartgruppen vorliegen und ins Softwaretool eingegeben werden.

Der Forstbetrieb kann die sechs Baumartgruppen grundsätzlich mit anderen Baumarten belegen als es in der Standardeinstellung definiert ist (vgl. Tabelle I). Eine abweichende Zuordnung muss aber berücksichtigen, dass alle im Hintergrund voreingestellten Parameter wie z.B. die der Mortalität, der Holzdichte oder die der Holzverwendung auf die Baumarteinteilung abgestimmt sind. Es können zwar viele, nicht aber alle Parameter angepasst werden (vgl. Kapitel 5), weshalb eine Abweichung von der Standardeinteilung gut überdacht sein sollte.

Es werden aus den Inventuren grundsätzlich nur solche Bestände und Bäume in die BEKLIFUH-Eingabedateien übernommen, die dem **Hauptbestand** zuzuordnen sind. Hierdurch wird im Sinne der konservativen Schätzung auf einen Teil des Volumens und Zuwachses von Überhalt und Voranbau/Unterstand verzichtet und die mehrfache Belegung derselben Fläche wird durch diese Vorgehensweise vermieden.

Es soll hier bereits wiederholt und damit unterstrichen werden, dass bei der Aufbereitung der Dateien zu den Inventuren und den Holzerntemengen **konsistent** dieselbe Einteilung der Baumarten in Baumartgruppen zu denselben Flächen angewendet werden muss. Falls in einer der benötigten Informationsquellen wie z. B. in Holzlisten zu einem Jahr, die Daten für zwei oder mehr der sechs Baumartgruppen nicht getrennt voneinander ermittelt werden können oder deren Aufteilung nicht geschätzt werden kann, müssen diese Baumartgruppen ggf. in der gesamten Simulation gemeinsam si-

muliert werden. Ebenso müssen sich die Inventuren und die Holzerntemengen auf dieselbe **Forstbetriebsfläche** beziehen. Abgegangene Flächen dürfen nicht mit aus der ersten Inventur in die entsprechende BEKLIFUH-Datei übernommen werden. Die auf diesen Flächen bis zum Verkauf/Abgang gewonnenen Holzerntemengen sind nicht in die BEKLIFUH-Datei zu den Holzerntemengen zu übernehmen. Entsprechend dürfen auch aus der zweiten Inventur keine Flächen berücksichtigt werden, die zum Zeitpunkt der ersten Inventur noch nicht zum Forstbetrieb gehörten und entsprechende Holzerntemengen sind nicht in die entsprechende Datei zu übernehmen.

Das Zusammenstellen der Daten kann in der Regel unproblematisch und übersichtlich in sogenannten Programmen zur Tabellenkalkulation wie z. B. Microsoft Excel erfolgen. Diese ermöglichen auch das direkte Abspeichern der zusammengestellten Dateien als Komma-separierte Datei („CSV-Datei“). Die Spalten in diesen CSV-Dateien werden jeweils durch ein Semikolon getrennt, als Dezimaltrennzeichen sollte ein Komma verwendet werden und auf die Verwendung von Punkten oder Leerzeichen als Tausender Trennzeichen sollte verzichtet werden<sup>1</sup>. Das Dezimaltrennzeichen kann ggf. im Voranschau-Fenster während der Dateiauswahl auch als „Punkt“ gewählt werden. In diesem Fall sollte ein Komma als Trennzeichen an Stelle des Semikolons verwendet werden. Die Dateien zu den Inventuren dürfen 1,5 MB aus Gründen der Kapazitätssicherung nicht übersteigen, was aber zur Simulation auch größerer Forstbetriebe (bzw. Teile mit einheitlichem Inventurzeitraum) ausreichen sollte. Bitte wenden Sie sich an die BEKLIFUH-Verantwortlichen, falls Sie auf Probleme mit diesem Limit stoßen.

Die Daten der ersten Inventur dienen zur Bildung der Simulationsbestände; die Daten der zweiten Inventur dienen der Vorratsbestimmung zum zweiten Inventurzeitpunkt (Vorratsbestimmung über die gewählten Ertragsstufen) und letztlich zur Zuwachsanpassung (vgl. 7.2.4). Das Softwaretool leistet keinen Abgleich der Daten auf Bestandes- oder gar Baumbene. Grundsätzlich muss der Anwender für eine komplette Datenlage sorgen.

---

<sup>1</sup> Die Definition entsprechender Formate sollte vor dem Abspeichern im Tabellenkalkulationsprogramm in den Einstellungen von Windows Betriebssystemen gewählt werden. Unter Windows 10 findet man diese z.B. durch Auswahl von „Einstellungen“ im Startmenü und Selektion von „Zeit und Sprache“ und der Unterauswahl „Zusätzliche Datums-, Uhrzeit- und Ländereinstellungen“. Im Bereich „Region“ wählt man dort „Datums-, Uhrzeit- und Zahlenformat ändern“. All das hört sich viel komplizierter an, als es ist. Versichern Sie sich im Zweifelsfall der Hilfe eines geübten Nutzers zur Änderung der Einstellungen und ändern Sie nach Speichern Ihrer CSV-Dateien die Einstellungen ggf. wieder zurück, um Fehlfunktionen in anderen Programmen zu vermeiden. Alternativ können auch CSV-Dateien mit den bestehenden Einstellungen abspeichern und diese CSV-Dateien nachträglich in einem Editor öffnen und ggf. mit Hilfe der Funktion „Suchen und Ersetzen“ ändern.

## 4.1 Bestandesdaten als Grundlage der Simulationen

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Daten aus den Flächenwerken der Forsteinrichtung abzu-  
leiten und wie diese in einer entsprechenden BEKLIFUH-Inventurdatei zusammengestellt werden, um  
im BEKLIFUH-Softwaretool verwendet werden zu können. Die alternative Eingabe von Baum bezo-  
genen Daten aus Stichproben wird in Kapitel 4.2 beschrieben.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Abteilung	Unterabteilung	Baumart	Bestand	Jahr	Ertragsklasse	Alter	Bestockungsgrad	Flaeche_ha	Vorrat_Vfm_ha
2	6	2 FI	2	2001	2	115	0,6	0,31	302,4	
3	7	1 FI	2	2001	2	125	0,7	0,23	354,2	
4	7	1 FI	3	2001	1	28	1	0,25	141	
5	7	2 FI	1	2001	1,5	23	1	5,21	60	
6	7	2 FI	1	2001	1,5	28	1	0,75	106	
7	8	1 FI	2	2001	1	22	1	0,5	32	
8	8	1 FI	4	2001	2	125	0,7	0,31	354,2	
9	8	3 FI	1	2001	1	20	1	3,76	32	
10	1	1 FI	1	2001	1,5	26	1	1,91	60	
11										
12										
13										

Abbildung 2 zeigt die Darstellung der Vorbereitung von Bestandesdaten in einer MS Excel Tabelle. Die Tabelle ist in Spalten A bis J unterteilt. Spalte A bis J enthalten die Spaltennamen der Inventurdatei. Die Datenzeilen 2 bis 10 zeigen die Bestandesdaten für verschiedene Abteilungen, Unterabteilungen, Baumarten, Bestände, Jahre, Ertragsklassen, Alter, Bestockungsgrade, Flächen und Vorräte.

Abbildung 2 Darstellung der Vorbereitung von Bestandesdaten in einer MS Excel Tabelle

Das Muster einer BEKLIFUH-Inventurdatei für eine Bestandesinventur kann unter folgender Inter-  
netadresse abgerufen werden:

<http://beklifuh.de/muster-bestandesinventur/>

Jeder Forstbestand mit einheitlicher Baumartgruppe und Alter, der zum Hauptbestand gehört, wird  
in einer Zeile der zu erstellenden Inventurdatei gespeichert. Jede Zeile steht für einen solchen „Rein-  
bestand“. Informationen zu zehn Spalten oder „Datenfeldern“ sind dabei in die Inventurdatei aufzu-  
nehmen und die entsprechenden Spaltennamen sind in die erste Zeile der jeweiligen Dateien einzu-  
geben in Form des folgenden Textes:

„Abteilung; Unterabteilung; Baumart; Bestand; Jahr; Ertragsklasse; Alter; Bestockungsgrad; Flae-  
che\_ha; Vorrat\_Vfm\_ha“

Diese Eingabe der Spaltennamen dient der Dokumentation und soll vermeiden, dass zu späterem  
Zeitpunkt Zweifel über die Inhalte der Dateien entstehen. Die Bedeutung der einzelnen Spaltenna-  
men wird in Tabelle 2 erläutert.

Der Bestand im Sinne der Simulation wird definiert über die Kombination von Abteilung, Unterabtei-  
lung und Bestand sowie durch eine Baumartgruppe mit demselben Alter. So können ggf. für jede  
Kombination von Abteilung und Unterabteilung **mehrere Bestände** einer Baumartgruppe mit un-  
terschiedlichen Bestandesnummern (Spalte „Bestand“) eingegeben werden und müssen nicht aggre-

giert werden. Jeder Bestand der ersten Inventur wird letztlich zum Ausgangspunkt für die Simulationen im BEKLIFUH Softwaretool. Über die Kombination von Abteilung, Unterabteilung, Baumartgruppe, Bestand und Alter muss jede Zeile der Inventurdatei eindeutig identifizierbar sein. Für jeden Bestand muss die Eingabe aller Daten komplett sein.

Tabelle 2                      Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Bestandesinventuren

Spaltenname	Bedeutung in der Bestandesinventurdatei	Werte, Format
Abteilung	Erstes Feld zur Beschreibung der räumlichen Einteilung des Bestandes. Die Eingabe einer Bestandesnummer als Zahl wird hier erwartet, Eingabe von Textwerten führt zu Fehlern; es muss eine Eingabe erfolgen.	Ganzzahl
Unterabteilung	Zweites Feld zur Beschreibung der räumlichen Einteilung des Bestandes. Die Eingabe einer Bestandesnummer als Zahl wird hier erwartet, Eingabe von Textwerten führt zu Fehlern; es muss eine Eingabe erfolgen.	Ganzzahl
Baumart	Eingabe der Baumartgruppe des Bestandes; vgl. Anfang von Kapitel 4 und Tabelle 1, Seite 12.	„KI“, „FI“, „DGA“, „EI“, „BU“, „PA“
Bestand	Drittes Feld zur Beschreibung der räumlichen Einteilung des Bestandes. Die Eingabe einer Bestandesnummer als Zahl wird hier erwartet, Eingabe von Textwerten führt zu Fehlern; es muss eine Eingabe erfolgen.	Ganzzahl
Jahr	Jahr der Inventur als vierstellige Zahl	1961 bis aktuelles Jahr
Ertragsklasse	Ertragsklasse des Bestandes als Dezimalzahl mit maximal einer Nachkommastelle; die Ertragsklasse sollte mit der in der BEKLIFUH-Simulation angewendeten Ertragstafel korrespondieren.	Zahl
Alter	Angabe des Bestandesalters als ganze Zahl in Jahren; unbekannte Werte NICHT als „0“ eintragen! (an dieser Stelle in der Datei nichts zwischen den Trennzeichen (,;““)) eingeben.	Ganzzahl>0
Bestockungsgrad	Der Bestockungsgrad des Bestandes zum Zeitpunkt der Inventur	0,1 bis 4
Flaeche_ha	Die dem Bestand zugeordnete Fläche in ha	0,001 bis 50
Vorrat_Vfm_ha	Der vom Bestand zum Zeitpunkt der Inventur gebildete Vorrat in Vorratsfestmeter Derbholz (incl. Rinde) pro Hektar.	0 bis 900

## 4.2 Baumdaten aus Stichproben

Der Begriff „Stichprobendaten“ wird im BEKLIFUH-Softwaretool für Daten aus Stichprobeninventuren verwendet. Die räumliche Einheit ist der Stichprobenpunkt. Die in der Stichprobe an einem Punkt aufgenommenen Bäume repräsentieren den realen Bestand an diesem Punkt. Jede Zeile der zu erstellenden Inventurdateien im CSV-Format enthält die Daten zu einem solchen Baum.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	StichprobeNr	Alter	Baumart	Jahr	Baumhoehe_r	BHD_cm	N_ha	Standflaeche	Volumen_Vfm	
2	1	26	BU	2012	22	22,2	103,33	7,96	0,37	
3	1	147	BU	2012	35	49,5	20,78	121,24	3,32	
4	1	26	BU	2012	21	19,1	139,6	6,23	0,26	
5	1	73	FI	2012	23,4	38,6	34,18	25,51	1,12	
6	1	26	BU	2012	14,3	8,8	657,66	2,35	0,02	
7	2	124	FI	2012	34,3	74	10	308,24	5,65	
8	3	124	FI	2012	34,6	74,1	12,26	309,05	5,02	
9	3	124	FI	2012	33,4	69,4	11,48	272,33	4,52	
10	3	60	BU	2012	30,4	36,9	37,4	44,5	1,53	
11	3	60	BU	2012	31,7	45,3	24,81	65,58	2,19	
12	3	26	BU	2012	20,4	16,9	178,31	5,16	0,18	
13	3	124	EI	2012	25,3	29,2	59,73	21,77	0,81	
14	3	95	FI	2012	30,7	52,1	27,52	31,28	2,72	
15	4	124	BU	2012	27,5	33,2	46,2	27,23	1,1	
16	4	124	KI	2012	25,5	30,3	55,47	22,57	0,62	
17	4	124	EI	2012	27,1	40,5	31,04	41,08	1,72	
18	4	124	BU	2012	28,2	37,6	36,02	27,37	1,47	
19	4	124	EI	2012	26,8	38,4	34,53	37,02	1,52	
20	4	124	BU	2012	29,8	52,9	18,19	53,15	3,2	
21	4	73	EI	2012	23,5	27,7	66,37	24,76	0,66	
22	4	124	BU	2012	29,9	49,4	20,86	46,48	2,32	
23										
24										

Abbildung 3 Darstellung der Vorbereitung von Baumdaten aus Stichproben in einer MS Excel Tabelle

Das Muster für eine BEKLIFUH-Inventurdatei für eine Stichprobeninventur kann unter folgender Internetadresse abgerufen werden:

<http://beklifuh.de/muster-stichprobeninventur/>

Die Summe aller Stichprobenpunkte ist repräsentativ für den Forstbetrieb. Jeder Stichprobenpunkt auf Holzbodenfläche (und damit: mit gemessenen Bäumen) repräsentiert eine Fläche, die so groß ist, wie der Quotient aus der Holzbodenfläche des Betriebes und der Anzahl der Stichprobenpunkte<sup>2</sup>. Dieser Wert muss zwischen den Inventuren möglichst genau übereinstimmen und ist als „Flächenfaktor“ in der Oberfläche zur Dateneingabe einzutragen, die in Bildschirmansicht 3 präsentiert wird. Um dieses Feld zu aktivieren, muss als Inventurart „Stichprobeninventur“ ausgewählt werden. Die Stich-

<sup>2</sup> Die durch einen Stichprobenpunkt repräsentierte Fläche kann auch über den Abstand zwischen den Stichprobenpunkten bestimmt werden. Fehlende Stichprobenpunkte (evtl. nicht begehbar, etc.) müssen ausgeglichen werden.



jahre der beiden Inventuren werden in dieser Oberfläche als „Inventurjahr“ eingetragen und die Inventurdateien werden zum Hochladen ausgewählt, deren Format im Folgenden beschrieben wird.

Die erste Zeile der Inventurdatei muss dem folgenden Text entsprechen:

„StichprobeNr;Alter;Baumart;Jahr;Baumhoehe\_m;BHD\_cm;N\_ha;Standflaeche\_m2;Volumen\_Vfm“

Diese Eingabe der Spaltennamen dient der Dokumentation und soll vermeiden, dass zu späterem Zeitpunkt Zweifel über die Inhalte der Dateien entstehen. Die Bedeutung der einzelnen Spaltennamen wird in Tabelle 3 erläutert.

Tabelle 3 Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Stichprobeninventuren und der Eingabe von ermittelten Baumdaten

Spaltenname	Bedeutung in der Stichproben-Inventurdatei	Werte, Format
StichprobeNr	Eindeutige Identifikationsnummer des Stichprobenpunktes als ganze Zahl	Ganzzahl
Alter	Das Baumalter; sollte dies für Einzelbäume nicht bekannt sein, bitte KEINEN Wert eintragen („;“ in der Datei an dieser Stelle; s. Erläuterungen zum Alter unten)	Ganzzahl > 0
Baumart	Eingabe der Baumartgruppe des Baumes; vgl. Anfang von Kapitel 4 und Tabelle 1	„KI“, „FI“, „DGA“, „EI“, „BU“, „PA“
Jahr	Stichjahr der Inventur als vierstellige Zahl	1961 bis aktuelles Jahr
Baumhoehe_m	Baumhöhe in m	Zahl
BHD_cm	Brusthöhendurchmesser in cm	Zahl
N_ha	Auf eine Ganzzahl gerundete Anzahl der durch diesen Baum repräsentierten Bäume je ha	Ganzzahl
Standflaeche_m2	Standfläche des Baumes in m <sup>2</sup> ; dient der Berechnung des Flächenanteils der im Tool aggregierten Bestände	Zahl
Volumen_Vfm	Derbholzvolumen des Baumes in Vfm (optional)	Zahl

Als „StichprobeNr“ wird eine eindeutige, ganzzahlige Identifikationsnummer für jeden Stichprobenpunkt angegeben. Diese Nummer muss nicht zwischen den beiden Inventurdateien konsistent sein, da im Rahmen der BEKLIFUH Waldwachstumssimulation kein Abgleich zwischen den Inventuren geleistet werden kann. Letztlich ist wichtig, dass die Inventuren die gleiche Fläche mit der gleichen Auflösung erfassen (s. hierzu Erläuterungen zum „Flächenfaktor“ oberhalb von Tabelle 3). Der Spaltenname „Alter“ steht für das Baumalter (s.u.). Als „Baumart“ ist die Bezeichnung der jeweiligen Baumartgruppe einzugeben (vgl. Tabelle 1, Seite 12). Das Stichjahr der Inventur wird zu Dokumentationszwecken in die Spalte „Jahr“ eingetragen. Der Brusthöhendurchmesser ist in der Spalte „BHD\_cm“ einzutragen, die Spalte „N\_ha“ entspricht der durch den Baum repräsentierten Stammzahl pro ha. Standfläche [m<sup>2</sup>] und Vorrat [Vfm] des Baumes sind als letzte Spalten im Datensatz einzufügen. Die Verwendung der Daten zur Simulation des Waldwachstums im Forstbetrieb wird im Folgenden erläutert.

Alle Bäume eines Stichprobenpunktes, die zur gleichen Baumartgruppe und zur gleichen Altersgruppe zu zählen sind, bilden einen Bestand im Sinne der Simulation. Wenn nicht alle Bäume über Altersangaben verfügen, teilt das BEKLIFUH-Softwaretool alle Bäume einer Baumartgruppe und ähnlicher Brusthöhendurchmesser in einen Bestand ein. Als Bestandesalter wird der Mittelwert aus den vorhandenen Altersangaben berechnet. Der Anwender ist hier für eine ausreichende Datenlage verantwortlich und sollte sicherstellen, dass für möglichst alle Bestände jeweils mindestens ein Baum mit ggf. mittlerer Altersangabe vorhanden ist. Liegen für einzelne Bestände keine Altersangaben vor, so wird über den BHD des Grundflächenmittelstammes das Bestandesalter geschätzt.

Die Standfläche beschreibt den Teil der Holzbodenfläche, die von diesem Baum belegt wird. Die Werte sind dem Datensatz der Stichprobeninventur zu entnehmen oder nach den Vorgaben der Inventuranweisung zu berechnen. Im BEKLIFUH-Softwaretool werden die Flächenanteile der Bestände über den Anteil der Summe der Standflächen eines Bestandes an der Summe der Standflächen aller Bestände des Stichprobenpunktes berechnet. Die Eingabe eines Wertes zur Standfläche ist daher obligatorisch, Bäume mit einer Standfläche von „0“ werden von der Datenverarbeitung im BEKLIFUH-Softwaretool ausgeschlossen.

Die Angaben zum Baumvolumen sind optional. Sie dienen nur der projektinternen Dokumentation und können im Rahmen der Interpretation und Plausibilisierung der Simulationsergebnisse durch den Anwender herangezogen werden. Das BEKLIFUH-Softwaretool verwendet die Ertragstafelvolumina, die über das Einhängen der aggregierten Bestände nach Alter und Höhe und die Bestimmung des Bestockungsgrades über den Quotienten von Bestandesgrundfläche und Ertragstafelgrundfläche ermittelt wird.

### 4.3 Holzerntedaten

Die Daten zu den Holzerntemengen sind obligatorisch anzugeben für die Jahre von der ersten bis zur zweiten Inventur (vgl. Kapitel 4.1 und 4.2). Nach Möglichkeit sollten zudem die Holzerntemengen für die nachfolgenden Jahre bis zum Vorjahr vor der Anwendung des BEKLIFUH-Softwaretools mit an das BEKLIFUH-Softwaretool übergeben werden. Die Holzerntemengen werden sowohl zur lokalen Anpassung des Ertragstafelzuwachses (vgl. Kapitel 7.2.4.2) als auch zur möglichst genauen Rekonstruktion des Forstbetriebs zu Beginn der eigentlichen Simulation von Bewirtschaftungsszenarien mit dem BEKLIFUH-Softwaretool herangezogen (vgl. Kapitel 7.2.5). Die Übergabe der Holzerntemengen an das Tool erfolgt in Form einer CSV-Datei, deren Format und inhaltlicher Aufbau in diesem Kapitel erläutert wird.

	A	B	C	D	E
1	Jahr	Baumart	Nutzung_EFMoR		
2	2001	BU	163,27		
3	2002	BU	293,840003		
4	2003	BU	272,21857		
5	2004	BU	165,712857		
6	2005	BU	155,005714		
7	2006	BU	217,951427		
8	2007	BU	159,73		
9	2008	BU	112,05		
10	2009	BU	3,64		
11	2010	BU	226,335716		
12	2011	BU	510,625717		
13	2012	BU	64,084285		
14	2013	BU	121,964285		
15	2014	BU	221,328568		
16	2001	DGA	75		
17	2002	DGA	60		
18	2003	DGA	55		
19	2004	DGA	60		

Abbildung 4 Darstellung der Vorbereitung von Holzerntemengen in einer MS Excel Tabelle

Das Muster für eine BEKLIFUH-Inventurdatei für eine Stichprobeninventur kann unter folgender Internetadresse abgerufen werden:

<http://beklifuh.de/muster-holzeinschlagsmengen/>

Die Holzerntedaten sollen den Einschlag umfassen und damit die Holzernte in Erntefestmeter (Efm) ohne Rinde sowie eingeschlagene aber im Bestand verbliebene Holzmenen. Holz, das in Form von Sammelhieben gewonnen wurde, sollte nach Einschätzung des örtlichen Forstpersonals auf die Baumartgruppen verteilt werden. Für die interne Umrechnung der hier eingegebenen Werte in Efm pro Hektar in Vorratsfestmeter (Vfm) wird in der vorliegenden ersten Version des BEKLIFUH Softwaretools generell ein Umrechnungsfaktor von 0,8 verwendet, durch den die Holzerntemengen dividiert

werden. Die Daten zu den Holzerntemengen müssen durch den Anwender entsprechend aufbereitet werden.

Die erste Zeile der CSV-Datei zu den Holzerntemengen muss dem folgenden Text entsprechen:

„Jahr;Baumart;Nutzung\_EFMoR“

Diese Eingabe der Spaltennamen dient der Dokumentation und soll vermeiden, dass zu späterem Zeitpunkt Zweifel über die Inhalte der Dateien entstehen. Die Bedeutung der einzelnen Spaltennamen wird in der folgenden Tabelle kurz erläutert.

**Tabelle 4** Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Stichprobeninventuren und der Eingabe von ermittelten Baumdaten

Spaltenname	Bedeutung in der Stichproben Inventurdatei	Werte, Format
Jahr	Jahr der Holzernte als vierstellige Zahl	1961 bis Vorjahr zu heute
Baumart	Eingabe der Baumartgruppe des Baumes; vgl. Anfang von Kapitel 4 und Tabelle 1.	„KI“, „FI“, „DGA“, „EI“, „BU“, „PA“
Nutzung_EFMoR	Holzerntemenge, gerne mit X-Holz, so aufbereitet, dass Division durch 0,8 zu Vorratsfestmetern führt.	Zahl

Jede Zeile nach der ersten steht für jeweils eine Kombination von Baumartgruppe und Jahr. Sollte keine Holzernte für eine Kombination stattgefunden haben, ist die Holzerntemenge mit „0“ anzugeben, die Zeile muss trotz fehlender Erntemenge in der Datei an das BEKLIFUH-Softwaretool übermittelt werden.

#### 4.4 Alternative Eingabe von Daten nur einer Inventur („EinInventur“<sup>3</sup>)

Die Ermittlung des spezifischen Zuwachses der Baumartgruppen im Forstbetrieb erfolgt – wie in Kapitel 4 beschrieben – üblicherweise mit Hilfe von Daten zweier Waldinventuren und der Holzern-temengen der Jahre zwischen den Inventuren (vgl. auch 7.2.4.2). Als Alternative wurde im Jahr 2018 die vereinfachte Eingabe von nur einer Inventur in Kombination mit den erwarteten Zuwächsen der Baumartgruppen entwickelt, die sogenannte Eingabe-Variante der „EinInventur“<sup>3</sup>.

Der erwartete laufende Zuwachs der Baumartgruppen kann hierzu aus den Ergebnissen der Forsteinrichtung abgeleitet werden. Im Allgemeinen findet sich im Einrichtungswerk zu Beginn der Herleitung des nachhaltigen Hiebssatzes eine Beschreibung der erwarteten Zuwächse im Einrichtungszeitraum. Diese können, da sie bereits auf die Altersklassenverteilung der Bestände angepasst sind, direkt als Schätzwerte für den erwarteten laufenden Zuwachs der Baumartgruppen herangezogen werden. Liegen die Ergebnisse der Forsteinrichtung für Baumartgruppen vor, die nicht denen der BEKLIFUH-Simulation entsprechen (z.B. Buche und ALh getrennt), so sollten die angegebenen erwarteten Zuwächse der Baumartgruppen aus der Forsteinrichtung mit den dazugehörigen Flächen gewichtet gemittelt werden.

Grundsätzlich können in der Tabelle der erwarteten laufenden Zuwächse Werte zwischen 0 und 40 eingegeben werden (s. Bildschirmansicht 6, Seite 27). Es ist vom Nutzer dabei unbedingt auf Plausibilität der Eingaben zu achten, um die Simulation zu hoher oder zu niedriger Zuwächse zu vermeiden. In jedem Fall sind hier auch die Zuwachswerte der Szenariensimulation (dargestellt im Langbericht Kapitel 4.1) auf Plausibilität zu prüfen. Ist eine Baumartgruppe nicht in den Daten der Forstinventur vertreten, so bleibt das Feld „erwarteter laufender Zuwachs“ für diese Baumartgruppe leer. Sollte eine solche Baumartgruppe im Zuge der Simulation durch den Baumartwechsel (s. Bildschirmansicht 9 auf Seite 29) für neu angelegte Bestände Verwendung finden, so werden sie mit dem Zuwachskorrekturfaktor 1 simuliert.

Die Forsteinrichtungsdaten sind entsprechend der Kapitel 4.1 und 4.2 aufzubereiten. Auch bei der Variante der „EinInventur“ ist es vorgesehen, Holzerntedaten einzugeben (entsprechend Kapitel 4.3). Die Eingabe der Holzerntedaten dient im Gegensatz zu der Standardvariante mit zwei Inventuren jedoch nicht der lokalen Anpassung des Ertragstafelzuwachses, sondern wird einzig zur möglichst genauen Rekonstruktion des Forstbetriebs zu Beginn der Simulation herangezogen. Mit der Eingabe des letzten Jahres, für das Holzerntemengen vorliegen, wird also das Jahr festgelegt, in dem die Simulation verschiedener Bewirtschaftungsszenarien beginnen soll.

<sup>3</sup> Diese Variante wurde unter finanzieller Unterstützung durch den Landesforstbetrieb Nordrhein-Westfalen erarbeitet.

## **5 Eingabe der Simulationsparameter durch die Anwender – Menüführung**

Das Softwaretool BEKLIFUH berechnet in Szenarien die Klimaschutzwirkung Ihres Forstbetriebes. In diesem Kapitel wird die Menüführung des Softwaretools vorgestellt. Die in den Anwender-Oberflächen getätigten Eingaben zu Parametern und Einstellungen dienen der Definition und der Anpassung der Szenarien und der Simulationen im BEKLIFUH Softwaretool. Die generelle Abfolge von Eingabe-Oberflächen führt den Anwender durch die Eingabe der Parameter, die zur Simulation definiert werden müssen (Kapitel 5.1). Weitere Einstellungen zu den Simulationen und zu den Szenariendefinitionen können im Expertenmodus getätigt werden (Kapitel 5.2).

In jeder Oberfläche kann der Anwender nach Eingabe aller obligatorischen Informationen durch Wahl der Schaltfläche „Weiter“ auf die nächste Oberfläche wechseln. Die Schaltfläche „Weiter“ ist deaktiviert bis alle obligatorischen Eingaben gemacht wurden. Durch Wahl von „Zurück“ erfolgt ein Wechsel in die vorherige Oberfläche. Ein Hilfe-Knopf öffnet weitere Informationen zur aktuellen Ansicht und den Auswahl- und Eingabemöglichkeiten. Wenn der Mauszeiger über Schaltflächen bewegt wird, erscheinen kürzere Hilfetext zu den hinterlegten Aktionen und Auswahlmöglichkeiten.

Eine falsche bzw. nicht zulässige Eingabe führt grundsätzlich zur Hervorhebung der jeweiligen Felder in roter Farbe, wobei betont werden muss, dass nicht alle Fehler durch entsprechende Abfragen erkannt werden können. Die implementierten Prüfungen, die auf einfachen Regeln basieren, können nur grobe Fehlangaben erkennen. Als falsch erkannte Werte/Parameter werden in entsprechenden Meldungen als „Fehler“ bezeichnet, fragwürdig erscheinende Werte werden mit „Warnung“ belegt. Für die Richtigkeit der eingegebenen Werte und Parameter sind letztlich die Anwender verantwortlich.

Einige Gruppen von Feldern verlangen die Eingabe von Prozentwerten, die zusammen in Summe 100 ergeben müssen. Weicht die Summe durch Änderung eines Wertes von 100 ab, werden alle Felder dieser Gruppe rot markiert bis deren Summe durch entsprechende Änderungen der Feldwerte wieder auf 100 kommt. Die Schaltfläche „Weiter“ zum Wechseln in die nächste Oberfläche bleibt gesperrt, solange eine Feldeingabe durch Prüfung als „Fehler“ erkannt wird.

## Bildschirmansicht I Startbildschirm

Die dargestellte Oberfläche heißt die Anwender des BEKLIFUH Softwaretools willkommen und verweist auf die Projektpartner und auf die Förderung des BEKLIFUH-Projektes durch den Waldklimafonds des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Durch einen Mausklick auf die Schaltfläche „Zur Simulation“ wird die Konfiguration der BEKLIFUH Simulation gestartet.



## 5.1 Oberflächen zur Konfiguration des BEKLIFUH Simulationsauftrages

Die Oberflächen werden in diesem Kapitel in der Abfolge vorgestellt, welche dem Anwender einen einfachen und direkten Start der BEKLIFUH Simulationen und Berechnungen zur Klimaschutzwirkung seines Forstbetriebes ermöglicht. Zu jeder Oberfläche werden die möglichen Eingaben und wählbaren Optionen kurz beschrieben und es werden auf verwandte Themen in anderen Kapiteln Verweise gemacht.

### Bildschirmansicht 2 Bestehende Konfiguration laden und Dokumentation der Baumartgruppen

Über die Schaltfläche „Konfiguration laden“ besteht die Möglichkeit, die Konfiguration (alle Einstellungen und Parameter) einer früheren Simulation zu laden. Mehr zur Speicherung der Konfiguration in Bildschirmansicht 13. In den Textfeldern des unteren Teils dieser Oberfläche wird dokumentiert, welche Baumarten im Forstbetrieb den Baumartgruppen Kiefer, Fichte, Douglasie, Eiche, Buche und Pappel zugeordnet sind.

**BEKLIFUH**

**Willkommen zum BEKLIFUH Simulationsprogramm** Hilfe

Zu Beginn der Auswahl der Simulationseinstellungen erhalten Sie stets die Möglichkeit, eine früher abgespeicherte Konfiguration zu laden, um die Eingabe einer neuen Variation zu vereinfachen. Sollten Sie das Simulations-Tool zum ersten mal verwenden, wählen Sie bitte einfach "Weiter" am unteren Rand des Fensters. Sie werden dann in den folgenden Fenstern zur Eingabe notwendiger und optionaler Einstellungen aufgefordert.

Konfiguration laden

Sie haben die Möglichkeit, die Zuordnung der Baumarten zu den Baumartengruppen individuell zu definieren und von der empfohlenen Standardzuordnung abzuweichen. Bei einer solchen Abweichung vom Standard ist auf die baumartenspezifische Definition der Holzverwendung zu achten (vgl. Dokumentation). Die gewählte Baumartenzuordnung muss in den folgenden Dialogen durchgängig bei der Dateneingabe und der Auswahl von Simulationsparametern beachtet werden.

Kiefer:	Kiefern- und Lärchenarten
Fichte:	Fichte, Weißtanne und alle anderen Koniferen
Douglasie:	Douglasie, Küstentanne, Thuja
Eiche:	alle Eichenarten
Buche:	Buche und alle anderen Laubbaumarten mit hoher Lebensdauer (ALH: Ahorn, Esche, Eßkastanie, Linde, Robinie,
Pappel:	Pappel, Weide, Erle, Birke und alle anderen Laubbaumarten mit niedriger Lebensdauer (ALN: restliche Baumarten

Impressum Datenschutz Zurück Weiter

Die getätigten Eingaben werden in Kapitel 2.1 der Langfassung des Ergebnisberichts dargestellt. Die hier beschriebene Einteilung aller Baumarten in Baumartgruppen muss eindeutig sein und bei der Aufbereitung der Eingabedateien zu den Inventuren („Inventurdateien“) und den Holzerntemengen durch den Anwender konsistent angewandt worden sein (vgl. Kapitel 4 und 7.2.2).



### Bildschirmansicht 3 Eingabe der Inventurdateien im CSV-Format

Diese Oberfläche dient der Eingabe des Betriebsnamens (erscheint in den Ergebnisberichten in Kurz- und Langfassung und dient damit der Dokumentation), der Definition der Inventurart und der Eingabe der Inventurdateien (vgl. Kapitel 4). Zu jeder der beiden unter Option a) einzugebenden Inventuren ist zudem deren Stichjahr anzugeben. Nach erfolgter Simulation werden alle Dateien vom System gelöscht.

Als Inventurarten gelten hier Bestandesinventuren und Stichprobeninventuren. Sollte im Forstbetrieb des Anwenders z. B. der Übergang von Bestandesinventur zu Stichprobeninventur erfolgt sein, ermöglicht das Tool durch Anwahl der Option nur eine CSV-Datei einzugeben („1 CSV-Datei“), alternativ zum Regelfall die Verwendung von einer Datei zur ersten Inventur und die händische Eingabe der Volumina der zweiten Inventur in Textfeldern (s. Bildschirmansicht 5).

### Bildschirmansicht 4 Vorschaufenster im Verlauf der Dateneingabe

Nach der Auswahl einer Inventurdatei wird stets ein Vorschaufenster mit den ersten Zeilen der Datei angezeigt. Warnungen und auch Fehler werden durch einen roten Text am unteren linken Rand des Vorschaufensters belegt.

Abteilung	Unterabteilung	Bestand	Baumart	Jahr	Ertragsklasse	Alter	Bestockungsgrad	Fläche_ha	Vorrat_Vlm_ha
6	2	2	FI	2001	2	115	0,6	0,31	302,4
7	1	2	FI	2001	2	125	0,7	0,23	354,2
7	1	3	FI	2001	1	28	1	0,25	141
7	2	1	FI	2001	1,5	23	1	5,21	60
7	2	1	FI	2001	1,5	28	1	0,75	106
8	1	2	FI	2001	1	22	1	0,5	32
8	1	4	FI	2001	2	125	0,7	0,31	354,2
8	3	1	FI	2001	1	20	1	3,76	32
1	1	1	FI	2001	1,5	26	1	1,91	60
1	1	3	FI	2001	1,5	75	0,9	0,46	430,2
1	1	3	FI	2001	1	1	1	0,1	0
1	2	2	FI	2001	1,5	28	1	1,57	106
1	2	5	FI	2001	1,5	75	0,8	0,72	382,4
1	2	1	FI	2001	1	26	0,8	6,13	156,8

Im Falle von Warnungen oder Fehlern in den Daten ist in diesem roten Text ggf. ein „hier“ in gelber Farbe hervorgehoben. Durch Mausklick auf dieses Wort erhält der Anwender den Zugang zu einer Textdatei mit den Fehlern und Warnhinweisen. Diese Datei kann direkt geöffnet werden oder aber zunächst gespeichert und später erneut gelesen werden.

Bildschirmansicht 5 Volumina der zweiten Inventur im Fall von wechselnden Inventurarten mit Option b)

Die Volumina der zweiten Inventur (im oben genannten Beispiel eine Stichprobeninventur) mögen dem Anwender im Idealfall durch entsprechende Auswertungen bekannt sein. Wichtig ist, bei der händischen Berechnung zu beachten, dass alle Angaben in Vfm mit Rinde einzugeben sind. Der Regelfall der Dateneingabe ist, dass zu zwei

Zeitpunkten Inventuren derselben Art vorliegen und für jede dieser Inventuren jeweils eine Inventurdatei im CSV-Format vorbereitet und an das Softwaretool übermittelt wird.

## Bildschirmansicht 6 Eingabe der erwarteten Zuwachsleistung der Baumartgruppen im Fall der Option c) zur *EinInventur*

Im Fall, dass Daten nur einer Forstinventur eingegeben werden sollen, kann die Zuwachskorrektur nicht aus dem Vergleich aufeinander folgender Inventuren berechnet werden (vgl. Abschnitt 7.2.4.2). Daher wird zur Anpassung der Ertragstafelzuwächse die Zuwachskorrektur so hergeleitet, dass die Zuwächse der Baumartgruppen im Jahr-

nach der Forstinventur exakt diejenigen Werte erreichen, die in diesem Menüpunkt für die Baumartgruppen vom Anwender des Softwaretools eingegeben werden. Die so hergeleiteten Werte der Zuwachskorrektur werden wie auch bei Verwendung der Optionen a) und b) im Langbericht, Kapitel 4.1 dargestellt. Sollten die Werte außerhalb des Bereichs von 0,5 bis 2,0 liegen, so werden sie auf den nächst liegenden Grenzwert dieses Werterahmens beschränkt.

Für jede in der Inventurdatei vorhandene Baumartgruppe muss ein Wert mit bis zu 2 Nachkommastellen zwischen 0 und 40 für die erwartete Zuwachsleistung eingegeben werden. Nicht vorhandene Baumartgruppen bleiben ohne Wert.

### Bildschirmansicht 7      Holzerntemengen: Datei im CSV-Format

In dieser Oberfläche wird die Datei der Holzerntemengen eingelesen. Es werden aus der ausgewählten Datei (zur Vorbereitung s. Kapitel 4.3) für jedes Jahr zwischen den Inventuren und ggf. für Folgejahre und für jede verwendete Baumartgruppe die eingeschlagenen Holzerntemengen in Erntefestmetern ohne Rinde eingelesen (vgl. auch Kapitel 7.2.7.1).

### Bildschirmansicht 8      Endjahr der Simulation

In dieser Oberfläche wird das letzte Jahr der Simulation der Szenarien definiert. Die Simulationen starten im Jahr nach der letzten verfügbaren Holzerntemenge in der entsprechenden CSV-Datei.

Gültige Endjahre für die Simulation sind alle Werte von 2051 bis 2200. Das Softwaretool gibt standardmäßig das Endjahr 2100 vor, um allzu lange Simulationsdauern zu vermeiden. Die Beschränkung auf 2200 erfolgt aus Gründen der Kapazitätssicherung. Andererseits gibt eine zu kurze Simulationsdauer keine ausreichend lange Basis, um z. B. die Auswirkungen von Baumartwechseln beurteilen zu können, die in den Szenariendefinitionen festgelegt werden können (s. Bildschirmansicht 9).

## Bildschirmansicht 9 Definition von Baumartwechsel nach Endnutzung

In der dargestellten Oberfläche können Baumartwechsel definiert werden (vgl. Kapitel 7.2.3). Für jede am linken Rand der Tabelle aufgeführte Baumartartgruppe ist anzugeben, zu welchem Anteil die zu ihr gehörenden Bestände nach Endnutzung mit einer anderen oder mit derselben Baumartgruppe regeneriert werden.

## BEKLIFUH

### Baumartenwechsel

Hilfe

Prozentuale Verteilung der Fläche eines in Endnutzung befindlichen Bestandes

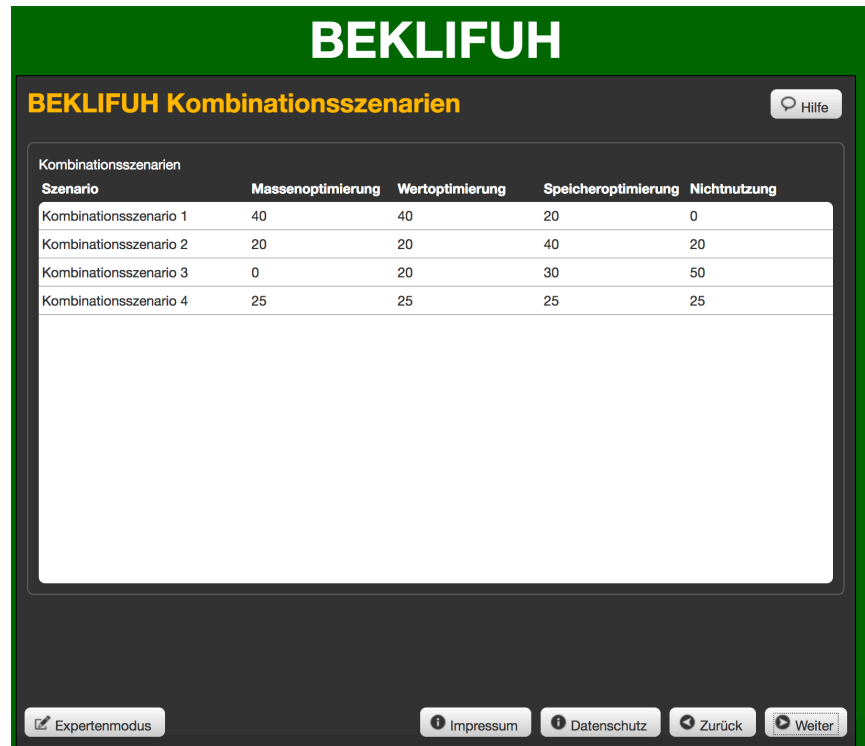
Baumart in Endnutzung	Geht zu Kiefer in %	Geht zu Fichte in %	Geht zu Douglasie in %	Geht zu Eiche in %	Geht zu Buche in %	Geht zu Pappel in %
Kiefer	100	0	0	0	0	0
Fichte	0	100	0	0	0	0
Douglasie	0	0	100	0	0	0
Eiche	0	0	0	100	0	0
Buche	0	0	0	0	100	0
Pappel	0	0	0	0	0	100

Impressum
Datenschutz
Zurück
Weiter

Die Grundeinstellung von 100 in der Diagonalen bezeichnet eine Simulation ohne Baumartwechsel, da 100% jeder Baumartgruppe mit derselben Baumartgruppe regeneriert werden. Die Summe der vom Anwender einzugebenden Werte je Zeile muss nach Abschluss der Bearbeitung 100 betragen.

## Bildschirmansicht 10 Kombinationsszenarien

Das Softwaretool BEKLIFUH simuliert Wachstum und Bewirtschaftung der Waldbestände eines Forstbetriebs (vgl. Kapitel 7.2 und insbesondere Kapitel 7.2.1) gemäß der Definition von Szenarien. In dieser Oberfläche geht es nicht um die Definition der Grundszenarien und damit nicht um die Bewirtschaftungsweise in den Grundszenarien. Vielmehr wird hier definiert, zu welchem Anteil die Grundszenarien in die Kombinationsszenarien eingehen sollen.



Szenario	Massenoptimierung	Wertoptimierung	Speicheroptimierung	Nichtnutzung
Kombinationsszenario 1	40	40	20	0
Kombinationsszenario 2	20	20	40	20
Kombinationsszenario 3	0	20	30	50
Kombinationsszenario 4	25	25	25	25

Über die Schaltfläche „Expertenmodus“ am unteren linken Rand der Bildschirmansicht werden weitere spezifische Einstellungen zu Szenarien und Baumartgruppen im BEKLIFUH Softwaretools angesteuert (s. Kapitel 5.2). Ein Mausklick auf die Schaltfläche „Weiter“ führt zur nächsten Oberfläche.

## Bildschirmansicht II Konfiguration der Holzverwendung während der Anpassung eines Wertes

Die Eingabe der Parameter zur Holzverwendung erfolgt in vier Stufen. Die ersten beiden Stufen unterteilen die Holzarten analog zu den BEKLIFUH-Baumartgruppen und diese in Klassen unterschiedlicher Dimension. Die dritte Stufe wird durch die primäre Holzverwendung gebildet: Neben der Sägeindustrie ist hier die Holzwerkstoffindustrie, die Papierindustrie, die Energiewirtschaft und „Sonstige“ als mögliche Verwendung aufgeführt.



Jede weitere Stufe umfasst jeweils 100 % des in der übergeordneten Stufe anfallenden Holzes. Die Änderung eines Wertes muss daher innerhalb derselben Hierarchiestufe stets durch Änderung an anderer Stelle ausgeglichen werden. Die Änderung wird durch doppelten Mausklick auf einen einzelnen Wert eingeleitet. Bildschirmansicht II zeigt die Änderung des Anteils von Holz zur Herstellung von MDF (ursprünglich 55 %) an den 3 % HWI-Holzanteil, der für die Durchmesserstufe 21–50cm der Baumartgruppe Fichte voreingestellt war. Wird dieser Anteil z. B. auf 40% herabgesetzt, so müssen innerhalb der Stufe „HWI“ andere Anteile um insgesamt 15 % heraufgesetzt werden, um wiederum die 100 % des Holzes aufzuteilen, das an die Holzwerkstoffindustrie geht (3% der BHD-Stufe von 21–50cm des Fichtenholzes).

## Bildschirmansicht 12 Eingabe der Benutzerdaten

In dieser Oberfläche sind einige notwendige Angaben zum Anwender zu machen. Die Eingabe der E-Mail-Adresse ermöglicht den Versand der Ergebnisse der Simulationen an den Nutzer. Der Name des Nutzers und des Betriebes werden mit der Simulationskennung zudem im Ergebnisbericht dokumentiert.

Der Nutzer hat an dieser Stelle die Möglichkeit zuzustimmen, dass seine E-Mail gespeichert wird (zu statistischen Zwecken und/oder zur Aufnahme in einen E-Mail-Verteiler zur Information). Falls der Nutzer keine Auswahl trifft, wird die eingegebene E-Mail-Adresse nur zum Versand der Abschlussberichte genutzt und *nicht* gespeichert.

The screenshot shows a web form titled 'BEKLIFUH Eingabe Benutzerdaten' with a green header bar containing the 'BEKLIFUH' logo. The form has a dark grey background. It includes four input fields: 'Name', 'E-Mail', 'Simulationskennung', and 'Betrieb' (which has 'Testbetrieb' pre-filled). Below the fields are two checkboxes with associated text. The first checkbox is for statistical data storage, and the second is for an email newsletter. At the bottom, there are four buttons: 'Impressum', 'Datenschutz', 'Zurück', and 'Weiter'. A 'Hilfe' button is located in the top right corner of the form area.

**BEKLIFUH**

**BEKLIFUH Eingabe Benutzerdaten** [Hilfe](#)

Name

E-Mail

Simulationskennung

Betrieb

☐ Ich bin damit einverstanden, dass meine E-Mail zusammen mit Datum und Uhrzeit gespeichert wird. Dies dient ausschließlich dem statistischen Zweck, die Häufigkeit der Nutzung von BEKLIFUH zu quantifizieren.

☐ Ich bin damit einverstanden, in einen E-Mail-Verteiler aufgenommen zu werden, der mich über aktuelle Informationen zu BEKLIFUH informiert.

Falls Sie keine Auswahl treffen, wird Ihre E-Mail-Adresse nur zum Versand der Ergebnisberichte verwendet und darüberhinaus nicht gespeichert. Das trifft natürlich auch auf alle anderen Daten zu.

[Impressum](#) [Datenschutz](#) [Zurück](#) [Weiter](#)



### Bildschirmansicht 13 Abschluss Dateneingabe

Die hier dargestellte Oberfläche ermöglicht es dem Anwender, alle hinterlegten Einstellungen zu prüfen. Der Balken an der rechten Seite des Fensters dient der Navigation durch die aktuell aktiven Einstellungen zur anstehenden Simulation mit dem BEKLIFUH Softwaretool. Bevor der Anwender die Simulation starten kann, ist es grundsätzlich sinnvoll, die aktuell gemachten Einstellungen in einer Konfigurationsdatei zu sichern.

**BEKLIFUH**

**BEKLIFUH Abschluss Dateneingabe** Hilfe

Übersicht Dateneingabe

Simulationskennung: 1  
 Inventurart: Bestand  
 Inventurjahr 1: 2001  
 Simulationsendjahr: 2100  
 Erwartete Zuwachseleistung im Startjahr

Baumartengruppe	Vfm / (ha*a)
Kiefer	5
Fichte	15
Douglasie	18
Eiche	4
Buche	8
Pappel	4

Baumartengruppe Kiefer (KI): Kiefern- und Lärchenarten  
 Baumartengruppe Fichte (FI): Fichte, Weißtanne und alle anderen Koniferen  
 Baumartengruppe Douglasie (DGA): Douglasie, Küstentanne, Thuja  
 Baumartengruppe Eiche (EI): alle Eichenarten  
 Baumartengruppe Buche (BU): Buche und alle anderen Laubbaumarten mit hoher Lebensdauer (ALH: Ahorn, Esche,

☐ Ich stimme den Nutzungsbedingungen zu.

Konfigurationsdatei speichern Impressum Datenschutz Zurück Simulation starten

Der Dialog zur Speicherung der Konfiguration wird durch Mausklick auf die entsprechende Schaltfläche am unteren linken Rand der Bildschirmansicht gestartet. Eine solche abgespeicherte Konfiguration kann in der ersten Oberfläche (dargestellt in Bildschirmansicht 2) geladen werden, falls z. B. auf dieser basierend eine neue Variation angelegt werden soll. Eine solche Konfigurationsdatei wird auch mit den Ergebnissen der Simulation per E-Mail an den Anwender versandt.

Im unteren linken Bereich der Bildschirmansicht ist die Zustimmung zu den Nutzungsbedingungen des Tools zu dokumentieren. Die Nutzungsbedingungen können durch Mausklick auf den gelben Schriftzug „Nutzungsbedingungen“ eingesehen werden. Ohne diese Zustimmung bleibt die Schaltfläche „Simulation starten“ am unteren rechten Rand der Oberfläche deaktiviert und die Simulation kann nicht beauftragt werden.

## 5.2 Simulationsparameter im Expertenmodus

Die Einstellungen im Expertenmodus können von der in Bildschirmansicht 10 beschriebenen Definition der Kombinationsszenarien aus durch Mausklick auf die Schaltfläche „Expertenmodus“ geöffnet werden. Es handelt sich dabei um Einstellungen zu drei verschiedenen Gebieten: Szenariendefinition, Baumartgruppen und generelle Simulationsparameter. Diese drei Themengebiete sind auf drei Registerkarten im Expertenmodus verteilt, die hier als einzelne Bildschirmansichten dargestellt werden. Die Werte in der Startversion des Tools werden hier kurz besprochen, um eine erste Übersicht über die Szenariendefinition zu geben. Eine umfassendere Darstellung der Simulationen erfolgt in Kapitel 7.2.

### Bildschirmansicht 14 Expertenmodus – Register I zur Szenariendefinition

Gegenstand der Szenariendefinition an dieser Stelle sind die Grundszenarien des BEKLIFUH-Softwaretools. Die Grundszenarien sind hier in den Reihen der Tabelle aufgeführt. In den Spalten werden teils baumartspezifisch Werte zur Parametrisierung der Simulation angegeben.

Experten Modus

SzenariendefinitionBaumartgruppenparameterSimulationsparameter

Szenario	Jahre nach dGZ <sub>max</sub> [Jahre]						Totholzanteil am ausschcheidenden Bestand	Zieldurchmesser des Grundflächenmittelstammes[cm]						Zielbestockungsgrad
	Kiefer	Fichte	Douglasie	Buche	Eiche	Pappel		Kiefer	Fichte	Douglasie	Buche	Eiche	Pappel	
Massenoptimierung	0	0	0	0	0	0	0,05	999	999	999	999	999	999	1
Wertoptimierung	40	40	40	50	50	50	0,1	50	50	50	50	50	50	1
Speicheroptimierung	70	70	70	70	70	70	0,2	60	60	60	60	60	60	1
Nichtnutzung	999	999	999	999	999	999	1	999	999	999	999	999	999	4

OkHilfe

Abbrechen

Expertenmodus

Impressum

Datenschutz

Zurück

Weiter

Der erste Abschnitt „Jahre nach dGZ<sub>max</sub>“ betrifft den Beginn der Endnutzung nach Alter. Hier wird baumartspezifisch definiert, wie viele Jahre nach Erreichen des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses (dGZ<sub>max</sub>) die Endnutzung eingeleitet werden soll (vgl. Kapitel 7.2.5.2). Im Fall der Massenoptimierung ist dies im Jahr des Erreichens von dGZ<sub>max</sub> durch Eingabe des Wertes „0“, die Wertnutzung lässt den Nadelholzbeständen 40, den Laubholzbeständen 50 Jahre mehr Zeit zu wachsen. Im Fall der Speicheroptimierung wird erst 70 Jahre nach Erreichen des dGZ<sub>max</sub> die Endnutzung eingeleitet. Die Werte der Nichtnutzung können nicht durch den Anwender verändert werden. Hier entspricht der Wert „999“ einem Code, der im BEKLIFUH-Softwaretool bewirkt, dass keine Endnutzung nach Alter eingeleitet wird.

Der nächste Parameter „Totholzanteil am ausscheidenden Bestand“ beschreibt den Anteil am aus-

scheidenden Derbholz, der zusätzlich zum Holz unter der Derbholzgrenze in den Totholzspeicher übergeht (vgl. Kapitel 7.2.6). Die Starteinstellungen sehen für die Massenoptimierung einen Anteil von 5%, für die Wertoptimierung einen Anteil von 10%, für die Speicheroptimierung einen Anteil von 20% und für die Nichtnutzung einen Anteil von 100% vor.

Neben dem Alter kann auch der simulierte BHD zur Einleitung der Endnutzung führen. Hierzu kann für die drei Nutzungsszenarien Massenoptimierung, Wertoptimierung und Speicheroptimierung und jeweils für jede Baumartgruppe ein BHD als „Zieldurchmesser des Grundflächenmittelstamms“ definiert werden. Soll keine Zieldurchmesser abhängige Endnutzung eintreten, so ist wie im Fall der Nichtnutzung der Code „999“ einzugeben.

Die vierte Parametergruppe betrifft die Dichte der Bestände in Form des Zielbestockungsgrades. Jede Vornutzung (vgl. Kapitel 7.2.5.1) strebt durch einen entsprechend hohen Einschlag das Erreichen des Zielbestockungsgrades an. Der Zielbestockungsgrad beeinflusst so auch die Höhe des Einschlages und hat letztlich einen großen Einfluss auf die Höhe des Derbholzvorrats, der für das jeweilige Szenario berechnet wird. Für die Nichtnutzung ist hier ein Bestockungsgrad von 4 gewählt. Ein derart hoher Bestockungsgrad wird allerdings im gesamten Simulationszeitraum nicht erreicht werden, da im Verhältnis zu Alter und Ertragsklasse der Zuwachs in frühen Jahren hierzu nicht ausreichend hoch sein kann und in höherem Alter die in Bildschirmansicht 15 definierten Kappungsgrenzen in der Regel einen unrealistisch hohen Bestockungsgrad verhindern.

#### Bildschirmansicht 15 Expertenmodus – Register II zu Parametern der Baumartgruppen

In dieser Oberfläche können durch die Anwender Änderungen zu Baumartgruppen spezifischen Parametern getätigt werden, zu denen nähere Informationen in Kapitel 7.2 dargestellt werden.

Baumart	Genetikkfaktor	Begründung	Ertragstafel	Kappungsgrenze Vfm	Mortalität Feuer	Mortalität Wind	Zerfallrate oberirdisch pro Jahr	Zerfallrate unterirdisch pro Jahr
Kiefer	1	Kiefer mäßige Durchforstung - Wiedemann 1943	800	800	0,0000169	0,000490415	0,08	0,05
Fichte	1	Fichte mäßige Durchforstung - Wiedemann 1942	800	800	0,0000169	0,00141361	0,08	0,05
Douglasie	1	Douglasie mäßige Durchforstung - Bergel 198	800	800	0,0000169	0,000490415	0,08	0,05
Eiche	1	Eiche mäßige Durchforstung - Jüttner 1955	800	800	0,0000063	0,000285308	0,08	0,04
Buche	1	Buche mäßige Durchforstung - Schober 1967	800	800	0,0000063	0,000285308	0,12	0,06
Pappel	1	Pappel - Rätzl 1969	800	800	0,0000063	0,000285308	0,12	0,06

Die Baumartgruppen sind in den Reihen, die Parameter in den Spalten der Oberfläche angeordnet. Der als „Genetikkfaktor“ bezeichnete Parameter dient der Simulation von zu erwartenden Änderungen des Zuwachses durch die Verwendung anderer Herkünfte oder durch einen Wechsel der Baumartenanteile innerhalb der Baumartgruppe im Zuge der Bestandesbegründung nach abgeschlossener Endnutzung. Als Beispiel soll hier ein Eichenbestand dienen, der nach Abschluss der Endnutzung er-

neut mit Eiche begründet werden soll. Wurde bisher im Forstbetrieb eine weit verbreitete Herkunft mit mittlerer Wuchsleistung und bescheidener Qualität verwendet, bietet sich mit der Begründung des nachfolgenden Bestandes die Gelegenheit, diese Herkunft durch qualitativ hochwertigere und wüchsigere Herkünfte zu ersetzen. Besteht die begründete Erwartung von Zuwachssteigerungen um ca. 15 %, so ist der Genetikfaktor „1.15“ für Eiche einzugeben. Dieser führt zur Erhöhung des für die alte Herkunft ermittelten Zuwachses um 15% ab dem Zeitpunkt der Begründung des nachfolgenden Eichenbestandes. Es können Genetikfaktoren von 0,7 bis 1,3 eingegeben werden.

Die zweite Spalte „Begründung“ dient lediglich der Dokumentation, welche Gründe für eine erwartete Reduktion oder Verstärkung des Zuwachses sprechen. Der hier eingegebene Text wird im Anhang des Ergebnisberichtes (in der Langfassung) zusammen mit den gewählten Genetikfaktoren aufgeführt.

Die dritte Spalte dient der Auswahl einer Ertragstafel. Die Wahl der Ertragstafel kann nur unter den bereits hinterlegten Ertragstafeln erfolgen (vgl. Kapitel 7.2.3). Bei Bedarf können u.U. weitere Ertragstafeln aufgenommen werden. Da die Ertragstafeln jeweils für nur eine Baumart gültig sind, während das BEKLIFUH-Softwaretool auf Basis von Baumartgruppen simuliert, können die Ertragstafeln das Wachstum in Bezug auf Zuwachs und Grundflächen oder BHD-Werte nur näherungsweise beschreiben. Die Anwender des BEKLIFUH-Softwaretools sollten daher diejenige Ertragstafel wählen, die das Wachstum und die Grundflächenhaltung der gesamten Baumartgruppe am besten beschreibt. Die Auswahl der Ertragstafeln wird durch Mausklick auf die voreingestellte Ertragstafel geöffnet.

In der vierten Spalte der Oberfläche sind Kappungsgrenzen festzulegen. Diese definieren den maximalen Vorrat, den ein Bestand der jeweiligen Baumartgruppe unter den standörtlichen Gegebenheiten des Forstbetriebes erreichen kann. Diese Grenze muss nicht dauerhaft zu erreichen sein, sie ist für den Extremfall gedacht. Als Startwerte sind für alle Baumartgruppen 800 Vfm/ha gewählt worden. Es ist wichtig, die in Kapitel 7.2.5.1 beschriebenen Erläuterungen zu beachten. Das Heranziehen von bekannten, möglichst ortsnahen Auswertungen zu Dauer- oder Naturwäldern kann hilfreich sein. In jedem Fall aber müssen sich Anwender des BEKLIFUH Softwaretools von der Vorstellung freimachen, dass es hier einen wirklich „richtigen“ Wert gibt. Im Zweifel sollte im Sinne einer konservativeren Schätzung zu Gunsten der Nichtnutzungsoption der jeweils größere Wert für die Kappungsgrenze gewählt werden. Gültig sind alle Eingaben von 400 bis 1500 Vfm/ha.

Die Mortalitätsfaktoren bestimmen, welcher Anteil der Bestände einer Baumartgruppe jährlich durch eine Katastrophe betroffen und komplett „geräumt“ wird (vgl. Kapitel 7.2.5.4). Im ersten Fall, der „Mortalität Feuer“, sollte durch den einzutragenden Wert das Risiko abgedeckt werden, dass ein Bestand dieser Baumartgruppe einem Feuer oder einer anderen Katastrophe anheimfällt und dass durch diese Katastrophe unverzüglich die gesamte oberirdische Biomasse in Form von CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Im Gegensatz hierzu führt ein Schadereignis mit dem Risikofaktor „Mortalität Wind“ dazu, dass der gesamte Derbholzvorrat des Bestandes im Schadjahr genutzt wird. Die gesamte Biomasse unter Derbholzgrenze und der Szenario spezifische Totholzanteil des Derbholzvorrats werden dem Totholz

zugeschlagen, das restliche Derbholz wird als „geerntete Derbholzmenge“ an die Holzverwendung im BEKLIFUH-Softwaretool übergeben. Der Wertebereich für die Mortalitätsfaktoren ist von 0 bis 0,01.

Die letzten beiden Spalten in dieser Oberfläche betreffen Zerfallsraten für die ober- und unterirdischen Totholzspeicher. Kapitel 7.2.6 gibt zu diesen Faktoren nähere Erläuterungen. Der Wertebereich für die „Zerfallsrate oberirdisch pro Jahr“ ist von 0 bis 0,15, für unterirdische Werte bis 0,1.

#### Bildschirmansicht 16 Expertenmodus – Register III zu Simulationsparametern

Die dritte Oberfläche im Expertenmodus erlaubt die Eingabe zu drei allgemeinen Simulationsparametern: Maximale Bestockungsgradänderung, Zeitraum für Endnutzung in Jahren, Zeitraum für Zielstärkennutzung in Jahren.

Die waldbauliche Simulation im BEKLIFUH-Softwaretool strebt grundsätzlich für jeden Bestand den Bestockungsgrad an, der unter „Szenariendefinition“ im Expertenmodus vom Anwender als Zielbestockungsgrad definiert wird (vgl. Bildschirmansicht 14). In Kapitel 7.2.5 und im Unterkapitel 7.2.5.1 wird die Verwendung des Zielbestockungsgrades näher erläutert. Zu Beginn des Simulationszeitraums kann der Bestockungsgrad einzelner Bestände zum Teil deutlich vom Zielbestockungsgrad abweichen. Durch Einschränkung oder Intensivierung der Hiebsmengen im Rahmen der Vornutzung wird im Verlauf der Simulation eine Angleichung an den Zielbestockungsgrad angestrebt. Diese Anpassung wird durch den Faktor zur maximalen jährlichen Bestockungsgradanpassung beschränkt. Der Startwert ist auf 0,02 festgelegt, was einer maximalen Anpassung des Bestockungsgrades um 0,2° je Jahrzehnt bedeutet. Werte von 0,01 bis 0,1 sind erlaubt.

Die letzten beiden Parameter zu den Simulationen definieren den Zeitraum, über den die Endnutzung eines Bestandes erfolgt (s. Kapitel 7.2.5). In Kapitel 7.2.5.2 wird die Endnutzung nach Alter, in Kapitel 7.2.5.3 diejenige nach erreichtem Durchmesser des Bestandes erläutert. Im Regelfall wird die Endnutzung unter leichter Intensivierung relativ kontinuierlich im Bestand durchgeführt und dieser wird schließlich geräumt. Die Waldsimulation im BEKLIFUH-Softwaretool sieht vor, dass zu diesem Zeitpunkt der Folgebestand im Mittel bereits ein Alter erreicht hat, das der Hälfte des Endnutungszeitraumes entspricht. Gültige Werte für die Endnutungszeiträume sind von 1 bis 40 bzw. von 1 bis 50 Jahren.

## 6 Ergebnisse der Simulation

Nach der Beendigung der Eingaben auf den Benutzeroberflächen und dem Absenden des Auftrags durch den Button „Simulation starten“ (vgl. Kapitel 4) werden den Anwendern des Tools die Ergebnisse an die zuvor eingegebene E-Mail-Adresse geschickt. Als Ergebnisdateien werden verschickt:

1. Ein 69-seitiger Ergebnisbericht, der die Ergebnisse der Simulation ausführlich darstellt („Langbericht“)
2. Ein 4-seitiger Bericht, der die wichtigsten Ergebnisse der Simulation zusammenfasst („Kurzbericht“)
3. Eine Datei im txt-Format, die die Simulationsparameter dokumentiert
4. Eine ZIP-Datei, die für alle Abbildungen der Langfassung die Daten in einer separaten CSV-Datei enthält

Zu 1: Der Langbericht dokumentiert die gewählten Simulationsparameter (Kapitel 3 und Anhang) und stellt die Ergebnisse der Simulation getrennt nach Wald (Kapitel 4 mit: a. Bestandesentwicklung; b. Klimaschutzleistung des Waldes: Entwicklung der Kohlenstoffspeicher und c. Holzerntemengen), Holzverwendung (Kapitel 5) und Klimaschutzwirkung des Gesamtsystems Wald und Holzverwendung (Kapitel 6) dar. In Kapitel 6 findet sich damit das Hauptergebnis der Simulation. Der Langbericht differenziert die Ergebnisse nach den acht individuell definierten Szenarien. Zum Teil findet ebenfalls eine Differenzierung nach Baumartgruppen oder der gewählten Holzverwendung statt. Die Anwender haben dadurch die Möglichkeit zu erkennen, welches Forstmanagement und welche Strategie der Holzverwendung die höchsten Klimaschutzeffekte hat.

Da sich die simulierten Forstbetriebe und Bestände hinsichtlich Alter, Dichte, Baumartenzusammensetzung, Zuwachsleistung, etc. stark unterscheiden, können weder im Ergebnisbericht noch in dieser Dokumentation Interpretationen der Ergebnisse geliefert werden. Auf Basis zahlreicher Testläufe, der Analyse der Annahmen der Simulation und aktueller Literatur (z. B. Knauf et al., 2015) lassen sich jedoch folgende grundsätzliche Aussagen treffen:

- Langfristig ist die Klimaschutzwirkung von nutzungsorientierten Szenarien höher als die von naturschutzorientierten Szenarien, die eine hohe Kohlenstoffsequestrierung im Wald anstreben. Diese Aussage gilt jedoch nur, wenn das Holz stofflich genutzt wird (nicht aber Papier/Zellstoff).
- Für die in BEKLIFUH angestrebte lokale Betrachtung bestätigen sich in diesem Beispiel damit die Ergebnisse anderer Studien (siehe Kapitel 7.1.). Über einen kurz- und mittelfristigen Zeitraum (z. B. 20 bis 30 Jahre) kann auch die Nichtnutzung ähnlich hohe Klimaschutzleistungen haben wie eine auf Holznutzung ausgelegte Strategie. Bei bestimmten Baumartenzusammensetzungen, Zuwächsen und Vorräten kann zeitweilig bzw. in einem kurzfristigen Zeitraum auch die Nichtnut-

zung höhere Klimaschutzleistungen zeigen. Jedoch kann eine generelle Vorteilhaftigkeit der Nichtnutzung gegenüber der Nutzung deutlich verneint werden.

- Langfristig ermöglicht nur eine nachhaltige Nutzung des Waldes, die Potenziale der Forst- und Holzwirtschaft zum Klimaschutz zu realisieren.
- Die Klimaschutzwirkung eines Forstbetriebes hängt von der Zuwachsleistung und den Möglichkeiten der Holzverwendung ab: Relativ schnellwüchsige Nadelhölzer (Douglasie, aber auch Fichte, Tanne) zeichnen sich in der Regel durch eine höhere Zuwachsleistung und bessere Möglichkeiten zur stofflichen Nutzung in langlebigen Verwendungen aus; damit erreichen sie in der Regel auch höhere Klimaschutzleistungen als langsam wüchsige Laubbaumarten.
- Die Art der Holzverwendung ist entscheidend für die Höhe der Klimaschutzwirkung. Stofflich genutztes Holz (außer Papier/Zellstoff) hat einen deutlich höheren Klimaschutzeffekt als energetisch genutztes Holz

Zu 2: Der Kurzbericht ist als Zusammenfassung z. B. für politische Entscheider gedacht. Er greift drei wichtige Ergebnisse der Simulation heraus: a) grafische Darstellung der Baumartenverteilung nach Fläche und Volumen im Startjahr der Simulation; b) grafische Darstellung der Entwicklung des oberirdischen Volumens und der Holzerntemenge im Simulationszeitraum getrennt nach den acht Szenarien; c) tabellarische Darstellung der durchschnittlichen jährlichen Klimaschutzleistung des Forst- und Holzsektors im Simulationszeitraum in Hinblick auf Kohlenstoffspeicherung sowie Substitutionseffekte der nachgelagerten Holzverwertung für alle acht Szenarien.

Zu 3: Die TXT-Datei enthält alle Parameter, die bei der Simulation gewählt wurden. Dies dient zum einen der Dokumentation. Zum anderen kann diese Datei bei einem weiteren Simulationslauf eingelesen werden und als Grundlage für weitere Variationen verwendet werden („Konfiguration laden“, vgl. Kapitel 4, Bildschirmansicht 2).

Zu 4: Die CSV-Dateien enthalten die Daten der Abbildungen des Langberichts. Damit erhalten die Anwender die Möglichkeit, individuelle Ergebnisse darzustellen. So ist es z.B. möglich, andere als die vorgegebenen Zeiträume (Startjahr–2030, Startjahr–2050, Startjahr–Endjahr) zu betrachten. Auch ist es möglich, statt der in den Abbildungen im Langbericht mit jeweils vier dargestellten Szenarien, in einer Abbildung nur zwei aus Sicht der Anwender relevante Szenarien herauszugreifen. Insgesamt lassen sich zahlreiche zusätzliche Auswertungen gestalten.

## 7 Methodische Grundlagen und Annahmen der Simulation

### 7.1 Ganzheitliche Betrachtung des Systems Wald-Holzverwendung

Wälder nehmen atmosphärischen Kohlenstoff ( $\text{CO}_2$ ) aus der Atmosphäre auf und speichern ihn langfristig (= „Kohlenstoffspeicher Wald“ oder „Waldspeicher“). Auch mit der Ernte von Holz kommt es nicht zu einer unmittelbaren Freisetzung von Kohlenstoff (C) bzw.  $\text{CO}_2$ , sondern zur Übertragung des gebundenen Kohlenstoffs in den Holzproduktespeicher. Neben der Speicherung des Kohlenstoffs im Wald und in den Holzprodukten trägt die Holznutzung durch sogenannte Substitutionseffekte zur  $\text{CO}_2$ -Emissionsminderung bei; dabei wird zwischen der energetischen und der stofflichen Substitution unterschieden:

1. Energetische Substitution: Holz ersetzt fossile Energieträger wie Öl, Gas oder Kohle. Die energetische Nutzung von Holz wird als  $\text{CO}_2$ -neutral angesetzt (Gustavsson et al., 2007; Reijnders, 2006; Sathre und Gustavsson, 2009); lediglich die Vorketteneffekte für Waldbewirtschaftung, Transporte und Aufbereitung sind zu berücksichtigen.
2. Stoffliche/materielle Substitution: Eine meist verhältnismäßig große Emissionseinsparung wird dadurch erbracht, dass Holzprodukte andere, nicht auf Holz basierende Produkte, z. B. aus Beton, Kunststoff oder Stahl, ersetzen; diese Nichtholzprodukte werden in der Regel energieaufwändiger hergestellt, bearbeitet und entsorgt und verursachen dadurch höhere  $\text{CO}_2$ -Emissionen im Vergleich zu Holzprodukten (Frühwald und Solberg, 1995; Karjalainen et al., 2001; Lippke et al., 2004; Puettmann und Wilson, 2005; Sathre und O'Connor, 2010; Taverna et al., 2007; Wilson und Sakimoto, 2005; Winistorfer et al., 2005).

Im Gegensatz zu der temporären Bindung des Kohlenstoffs im Wald- und im Holzproduktespeicher leistet die Emissionsreduktion durch energetische und stoffliche Nutzung einen dauerhaften Beitrag zur Minderung des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ .

Die internationale Klimaberichterstattung berücksichtigt in der Kategorie „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (international als „Land Use, Land Use Change and Forestry“ LULUCF bezeichnet) bzw. im Sektor „Agriculture, Forestry, and Other Land Use – AFOLU“ die Veränderungen des Kohlenstoffspeichers des Waldes. Seit 2013 wird in Folge der Entscheidungen der Klimakonferenzen 2009–2012 in Kopenhagen, Doha und Durban auch die Veränderung des Holzproduktspeichers in die Betrachtung mit einbezogen (IPCC, 2014; UNFCCC, 2011; 2010). Die weiteren  $\text{CO}_2$ -Wirkungen der Holzverwendung durch die Substitution fossiler Energieträger (energetische und stoffliche Substitution) werden in anderen Sektoren erfasst und auch berichtet, der Zu-



sammenhang mit Forst- und Holzwirtschaft geht dabei jedoch verloren (vgl. z. B. den nationalen Inventurbericht: Umweltbundesamt, 2016). Betrachtet man lediglich den Wald- und Holzproduktespeicher ohne die zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Wirkungen der Holzverwendung, erfolgt eine unvollständige Betrachtung, was inhaltlich falsche Ableitungen nach sich ziehen kann. Um solche Fehlschlüsse zu vermeiden, verwendet das Softwaretool BEKLIFUH einen ganzheitlichen Bewertungsansatz, der sowohl die Kohlenstoffeffekte des Waldes und des geernteten Holzes als auch die Substitutionseffekte der Holzverwendung in die Analyse mit einbezieht. Der ganzheitliche Bewertungsansatz in BEKLIFUH folgt damit grundsätzlich dem methodischen Ansatz zahlreicher Studien, auf nationaler Ebene (z. B. Taverna et al., 2007 für die Schweiz, Köhl et al., 2010 für Deutschland, Lundmark et al., 2014 für Schweden), auf Ebene eines Bundeslandes (z. B. Wördehoff et al., 2011 für Niedersachsen, Klein und Schulz, 2012 für Bayern, Knauf et al., 2015 für Nordrhein-Westfalen und auf regionaler Ebene (z. B. Mund et al., 2015 für lokale Waldflächen in Thüringen).

Die direkten Kohlenstoffeffekte des Waldes werden in der im Softwaretool BEKLIFUH verwendeten Methode in einer waldbaulichen Simulation berechnet; die methodische Beschreibung erfolgt im nachfolgenden Kapitel 7.2. Die waldbauliche Simulation berechnet neben den Veränderungen des Kohlenstoffspeichers des Waldes auch die Holzerntemengen, die im Holzverwendungsmodell hinsichtlich Ihrer Kohlenstoffeffekte (Veränderung des Holzproduktespeichers, energetische und stoffliche Substitution) bewertet werden. Die innerhalb dieses Holzverwendungsmodells getroffenen Annahmen werden in Kapitel 7.3 beschrieben.

## 7.2 Waldbauliche Simulation

Das im Projekt BEKLIFUH entwickelte Softwaretool bedient sich der Methode der Szenarienanalyse. Im Gegensatz zu Prognosemodellen versucht die Szenarienanalyse nicht, zukünftige Entwicklung abzubilden, sondern präsentiert alternative zukünftige Entwicklungen und deren Ergebnisse. Hierdurch wird die Bandbreite zukünftiger Entwicklungen aufgezeigt, innerhalb derer sich die tatsächliche Entwicklung wahrscheinlich bewegen wird. Die Definition der Szenarien und damit die Simulation verschiedener Bewirtschaftungsweisen des Waldes wird in diesem Kapitel und in den Unterkapiteln erläutert. Bezüge zu den Oberflächen des BEKLIFUH Softwaretools bzw. zu den Bildschirmansichten sind eingearbeitet.

Forstseitig werden als Managementoptionen folgende vier Grundszenarien angenommen:

- a. Massenoptimierung: Strategie mit möglichst hoher Holzproduktion; Bestände werden zum Zeitpunkt des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses geerntet
- b. Wertoptimierung: Langfristig auf Starkholz mit entsprechendem Wertzuwachs ausgelegte Strategie geprägt durch längere Rotationszeiträume und Zuwachssteigerung des Einzelbaumes

- c. Speicheroptimierung: (Begrenzte) Holznutzung bei gleichzeitigem Aufbau eines hohen Waldspeichers; extrem verlängerte Rotationsperioden in Verbindung mit reduzierter Holznutzung zu Gunsten des Totholzspeichers
- d. Nichtnutzung: keine holzwirtschaftliche Nutzung der Waldbestände (kein Holzeinschlag); anfallendes Holz (z.B. durch simulierten Windwurf) geht vollständig über in den Totholzspeicher

Diese vier Grundszenarien spannen einen weiten Raum der möglichen zukünftigen Entwicklung des Waldes auf und sind Grundlage für die Erstellung von vier weiteren Szenarien: die Kombinationsszenarien, die ein Nebeneinander unterschiedlicher Bewirtschaftungsschwerpunkte simulieren (z. B. Nichtnutzung zu Naturschutzzwecken auf einem Teil und intensive Holzproduktion auf einem anderen Teil der untersuchten Fläche). Die Kombinationsszenarien ermöglichen es, ein Nebeneinander von unterschiedlichen Bewirtschaftungsschwerpunkten darzustellen. Für die vier Kombinationsszenarien kann die im Programm hinterlegte Standardeinstellung zur Kombination der Grundszenarien gewählt werden; die Kombinationsszenarien können vom Anwender auch individuell benannt und definiert werden (s. Bildschirmansicht 10).

Die waldbauliche Simulation erfolgt im BEKLIFUH-Softwaretool auf Basis der durch den Anwender eingegebenen Daten zu Inventuren und Holzerntemengen und der durch den Anwender gewählten Einstellungen zur Waldbewirtschaftung. Ein Teil der Einstellungen ist für die gesamte Simulation gültig, ein anderer Teil kann je nach Baumartgruppe oder Grundszenario der Waldbewirtschaftung variieren (vgl. Kapitel 5 und insbesondere Kapitel 5.2). Die Bedeutung der Szenarien und die Interpretation der hierzu relevanten Ergebnisse ist in Kapitel 7.2.1 näher erläutert.

Die waldbauliche Simulation erfolgt für jeden Einzelbestand bei zu Grunde liegender Bestandsinventur bzw. für die Bestände, die durch Aggregation aus Stichprobendaten gebildet werden (vgl. Kapitel 4). Im letzteren Fall einer Modellierung auf Grund von Stichprobendaten wird ein „Bestand“ definiert über alle Bäume, die zum selben Stichprobenpunkt, derselben Baumart- und Altersgruppe zählen und umfasst die Fläche und alle Bäume, die von diesen gemäß Stichprobenanweisung repräsentiert werden. Für jeden Bestand wird jährlich ein Zuwachs an Derbholz ermittelt (Kapitel 7.2.3) und eine Holzerntemenge bestimmt (Kapitel 7.2.5). Dies geschieht für den kompletten Zeitraum ab dem ersten Jahr nach Eingabe von Holzerntemengen (Kapitel 4.3 und Kapitel 7.2.2) bis zum Endjahr der Simulation. Letzteres wird in Bildschirmansicht 8 durch den Anwender definiert. Dieser Zeitraum wird als „Simulationszeitraum“ bezeichnet. Die aggregierten Holzerntemengen pro Jahr, Baumartgruppe und BHD-Klasse werden an die Modellierung der Holzverwendung (Bildschirmansicht 11 und Kapitel 7.1 und 7.3) übergeben. Totholzanteile werden in den Totholzspeicher eingerechnet (Kapitel 7.2.6).

---

## 7.2.1 Szenarien der Waldbewirtschaftung

Die Waldbewirtschaftung wird durch den Anwender des Softwaretools definiert. Dies erfolgt über die Oberflächen zur Simulation (s. Kapitel 5) und insbesondere im Expertenmodus (s. Kapitel 5.2). Zur sinnvollen Auswahl der Einstellungen ist ein Grundverständnis der BEKLIFUH-Szenarien im Waldbereich des BEKLIFUH Softwaretools erforderlich, das hier vermittelt werden soll.

Das BEKLIFUH-Softwaretool ermöglicht den Anwendern, die Definition von bis zu drei Bewirtschaftungsweisen in sogenannten „**Grundszenarien**“. Für jedes dieser Grundszenarien und damit für jede der Bewirtschaftungsweisen wird jeweils der gesamte Forstbetrieb für den kompletten Simulationszeitraum mit den entsprechenden Parametern und Einstellungen des Szenarios durchsimuliert. Die Grundszenarien im BEKLIFUH-Softwaretool werden als „Massenoptimierung“, „Wertoptimierung“, „Speicheroptimierung“ und „Nichtnutzung“ bezeichnet. Die Starteinstellungen zu den Szenarien sehen im Fall der Massenoptimierung Endnutzungen zum Zeitpunkt des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses (vgl. Kapitel 7.2.5.2) und nur geringen Anfall von Totholz bei der Ernte vor (s. Bildschirmansicht 14 zum „Totholzanteil“ und vgl. Kapitel 7.2.5). Im Falle der Wertoptimierung wachsen die Bestände länger, was zur Ernte von Holz stärkerer Dimension führt. Die Endnutzung im Falle der Speicheroptimierung wird gemäß den Parametern der Starteinstellung noch weiter verzögert, um den durchschnittlichen Kohlenstoffspeicher im Wald durch die Entwicklung von alten, vorratsreichen Beständen zu optimieren. Das Szenario Nichtnutzungen verzichtet gänzlich auf geplante Vor- und Endnutzungen. Dieses Szenario kann nicht vom Anwender angepasst werden. Die Grundszenarien sind sich ausschließende Alternativen der Bewirtschaftung. Ihre Simulation gibt für den Forstbetrieb ein Bild über die Auswirkungen verschiedener Bewirtschaftungsweisen in Reinform. Die Simulationen spannen sozusagen den Raum für die Wirklichkeit auf.

Da im Allgemeinen nicht angenommen werden kann, dass die gesamte Fläche nach den gleichen Optimierungskriterien betreut wird, sieht das BEKLIFUH-Softwaretool vor, dass die Ergebnisse der Grundszenarien zu sogenannten **Kombinationsszenarien** integriert werden können. Nach den Anteilen, die vom Anwender in Bildschirmansicht 10 in Form von Prozentangaben definiert werden, kann so z.B. simuliert werden, dass ein Anteil von 40 % der Fläche nach den Grundsätzen der Massenoptimierung, weitere 40 % nach denen der Wertoptimierung und 15 % nach denen der Speicheroptimierung behandelt werden. Damit blieben in diesem Fall 5 % der Fläche für die Nichtnutzung.

Der Anwender ist in der Wahl eines Namens für die Kombinationsszenarien sowie in der Festlegung der Flächenanteile der Grundszenarien an diesen frei (vgl. Bildschirmansicht 10). Der Ergebnisbericht stellt die Ergebnisse der Grund- und Kombinationsszenarien zu Zuwächsen, Vorräten, Holzerntemengen und Kohlenstoffpools auf.

### 7.2.2 Baumartgruppen

Die gesamte waldbauliche Simulation und auch die Modellierung der Holzverwendung basieren auf der Einteilung aller vorkommenden Baumarten in bis zu sechs Baumartgruppen. Die Einteilung in Baumartgruppen erfolgt bereits im Rahmen der Datenaufbereitung und diesbezügliche Aspekte werden daher auch in Kapitel 4 behandelt. Die Ermittlung des laufenden Zuwachses und von Bestockungsgraden mit Hilfe der für jede Baumartgruppe auszuwählenden Ertragstafeln wird in Kapitel 7.2.4 beschrieben, die Bestimmung von Ernteereignissen und Holzerntemengen wird in Kapitel 7.2.5 erläutert.

Die Standardeinstellung sieht vor, in Nadel- und Laubbaumarten zu unterscheiden. Es wird sodann weiter in Lichtbaumarten (Baumartgruppe „Kiefer/Lärche“ bzw. „Eiche“), Schattbaumarten („Fichte“ bzw. „Buche“) sowie schnell wachsende Arten („Douglasie“ bzw. „Pappel“) unterteilt, wie in Tabelle 1 auf Seite 12 dargestellt wird.

Die Anwender des BEKLIFUH Softwaretools haben grundsätzlich die Möglichkeit, die Zuordnung der Baumarten zu den Baumartgruppen individuell zu definieren und von der empfohlenen Standardzuordnung abzuweichen. Durch eine solche Abweichung vom Standard sind sowohl die Simulationen im waldbaulichen Teil als auch in der Holzverwendung betroffen (vgl. Kapitel 7.3). Da diese Simulationen u.a. interne Parameter verwenden, die auf die Standardeinstellung abgestimmt sind, sollte sich eine Anpassung möglichst moderat z.B. in Bezug auf Holzdichten und Hauptverwendungsmöglichkeiten und -prozesse der Baumartgruppen auswirken.

Da die Baumartgruppen sowohl in der waldbaulichen Simulation als auch im Rahmen der Modellierung zur Holzverwendung herangezogen werden, sind bei der Einteilung in Baumartgruppen folgende Fragen zu bedenken:

- Haben die gemeinsam in Gruppen zusammen gefassten Baumarten eine ähnliche Wuchsdynamik? Grundsätzlich wird die Dynamik des Wuchses aller in der Gruppe zusammengefassten Arten mit einer Ertragstafel modelliert.

- Ist eine Ertragstafel verfügbar, die diese Wuchsdynamik beschreibt?

Es ist die Ertragstafel zu wählen, die der Wuchsdynamik der Baumartgruppe im Forstbetrieb am nächsten kommt. Hier sollte vor allem diejenige Baumart, die ggf. dem Vorrat und der bestockten Fläche nach innerhalb der Gruppe eine dominierende Stellung hat, eine leitende Bedeutung eingeräumt werden. Es sollte grundsätzlich davon auszugehen sein, dass die Leitbaumart der Gruppe auch die Auswahl der Ertragstafel dominiert (vgl. Kapitel 7.2.3). Sollte für die gesamte Gruppe eine andere Tafel die Wuchsdynamik unter besonderem Augenmerk auf dem laufenden jährlichen Zuwachs die Kulmination des durchschnittlichen Gesamtzuwachses und die Volumen- und Grundflächenentwicklung besser beschreiben, so sollte diese abweichende Tafel aus der angebotenen Liste gewählt werden (s. Tabelle 5, Seite 46).

- Kann die Holzverwendung der in der Baumartgruppe zusammengefassten Arten gemeinsam dargestellt werden?

Hier ist vom Anwender zu beurteilen, ob die Verteilung der anfallenden Holzerntemengen aus Vor- und Endnutzung für die zusammengefassten Baumarten einheitlich beurteilt werden kann. Der Anwender muss hier sicher Kompromisse eingehen und sollte sich im Zweifelsfall an der Bedeutung einzelner Baumarten in Bezug auf die anfallenden jährlichen Holzerntemengen orientieren. Ggf. kann eine erste Simulation, die sich weitgehend an den Starteinstellungen orientiert, bei der weiteren Vorbereitung und Parametrisierung des endgültigen Simulationsauftrages im BEKLIFUH-Softwaretool helfen.

Die vom Forstbetrieb getroffene Baumartgruppenzusammensetzung wird im Anhang des Ergebnisberichts unter Verwendung der in der entsprechenden Oberfläche des BEKLIFUH Softwaretools eingegebenen Texte dokumentiert (vgl. Kapitel 5, Bildschirmansicht 2 und Kapitel 6).

### 7.2.3 Bestandesbegründung und Baumartwechsel

Nach jeder Endnutzung wird die Begründung eines nachfolgenden Bestandes simuliert. Die Endnutzung wird mit der Räumung des Vorbestandes abgeschlossen. Die Kapitel 7.2.5.2, 7.2.5.3 und 7.2.5.4 beschreiben die Endnutzungen nach Alter, Zieldurchmesser und Kalamitäten. Die Dauer der Endnutzung beträgt im letzten Fall, der Kalamität, ein Jahr. Für die beiden anderen Varianten der simulierten Endnutzung wird diese Dauer in einer Oberfläche des Expertenmodus gewählt (s. Bildschirmansicht 16). Das mittlere Alter des Nachfolgebestandes im Jahr der Räumung des Vorbestandes wird auf die halbe Endnutzungsdauer festgelegt und ggf. gerundet. Im Fall der Bestandesbegründung nach Kalamität wird auf ein Jahr aufgerundet. Jeder neu begründete Bestand hat den Bestockungsgrad eins. Die Simulation in Abhängigkeit vom Zielbestockungsgrad des Szenarios wird in Kapitel 7.2.5.1 beschrieben.

Das BEKLIFUH-Softwaretool unterscheidet nicht verschiedene Arten der Bestandesbegründung. Aus Naturverjüngung hervorgegangene Bestände zeichnen sich im Vergleich zu künstlich begründeten in der Regel durch höhere Diversität in Bezug auf das Alter und andere Bauparameter aus. Diesem Aspekt kann im Rahmen der Simulation mit dem BEKLIFUH-Softwaretool jedoch keine Rechnung getragen werden.

Das BEKLIFUH-Softwaretool ermöglicht es dem Anwender, in Abhängigkeit von der bisherigen Baumartgruppe eines Bestandes, Wahrscheinlichkeiten für die Neubegründung mit derselben oder einer anderen Baumartgruppe festzulegen. Hierfür sind die Eingaben in der Oberfläche vorgesehen, die in Bildschirmansicht 9 dargestellt ist. Die bisherigen Baumartgruppen sind in Reihen angelegt. Die Werte in jeder Reihe müssen daher in Summe 100 ergeben. Der Wert jeder Zelle gibt an, zu welchem Anteil die zur bisherigen Baumartgruppe (Reihenname links in der Tabelle) gehörenden Bestände nach Endnutzung mit der Baumartgruppe der entsprechenden Spalte regeneriert werden. Die

Werte der Diagonalen von links oben nach rechts unten sind die Wahrscheinlichkeiten für den Verbleib in der bisherigen Baumartgruppe. Die Starteinstellung mit dem Wert „100“ in jeder Zelle der Diagonalen definiert somit eine Simulation ohne Baumartwechsel.

#### 7.2.4 Ertragstafeln und Zuwachs

Die Entwicklung der durch die Inventurdateien bestimmten Bestände (vgl. Kapitel 4) über den Simulationszeitraum (s. Bildschirmansicht 8 und Kapitel 7.2) wird bestimmt durch Zuwachs zum Bestandesvorrat und Holzentnahmen aus dem Bestandesvorrat. Diese Entnahmen von Derbholz aus dem Bestandesvorrat gehen zu einem vom Anwender festzulegenden Anteil über in den Totholzspeicher, und das restliche Derbholz wird an die Holzverwendung übergeben (vgl. Kapitel 7.2.6 und 7.3). Die Zuwachsbestimmung wird in diesem Kapitel beschrieben, das ein Unterkapitel zur Reduktion des Zuwachses nach Bestockungsgrad und ein Unterkapitel zu den Ertragstafeln selbst enthält.

Die Simulation erfolgt für die in den Inventurdateien definierten Bestände. Jeder Bestand kann durch Angaben der Ertragsklasse des Bestandes (s. Kapitel 4.1) oder Alter und Höhe der zum Bestand aggregierten Bäume eines Stichprobenpunktes (s. Kapitel 4.2) in die vom Anwender definierte Ertragstafel eingehängt werden. Entspricht die Ertragsklasse des Bestandes nicht genau einer der enthaltenen Ertragsklassen, so werden die Werte für Grundfläche, laufenden jährlichen Zuwachs, Derbholzvorrat des stehenden Bestandes und Alter der Kulmination des  $dGZ_{\max}$  der beiden nächsten Ertragsklassen linear interpoliert. Der in der ersten Inventurdatei übermittelte Wert der Grundfläche des Bestandes,  $G_i$ , wird mit dem inter- oder extrapolierten Ertragstafelwert der Grundfläche  $G_{ET}$  dividiert, um so den Bestockungsgrad zum Startzeitpunkt der Simulation zu bestimmen.

Die im BEKLIFUH-Softwaretool zur Verfügung stehenden Ertragstafeln sind in Tabelle 5 aufgeführt. Die letzte Spalte der Tabelle führt für die Ertragsklassen I bis IV das Alter des Erreichens des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses auf, wie es für die Bestimmung des Endnutzungsalters verwendet wird (vgl. Kapitel 7.2.5.2).

Tabelle 5 Ertragstafeln im BEKLIFUH-Softwaretool mit Alter des Eintritts des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses (nach Schober, 1975)

Standard BEKLIFH Baumartgruppe	Baumart	Durchforstung	Autor	Alter des $dGZ_{\max}$ I/II/III/IV
EI	Eiche	mäßig	Jüttner, 1955	126/142/145/161
	Eiche	stark	Jüttner, 1955	103/133/146/-
BU	Buche	mäßig	Schober, 1967	150
	Buche	stark	Schober, 1967	150
FI	Fichte	mäßig	Wiedemann, 1942	91/95/115/112
	Fichte	stark	Wiedemann, 1942	77/78/96/-

Standard BEKLIFH Baumartgruppe	Baumart	Durchforstung	Autor	Alter des dGZ <sub>max</sub> I/II/III/IV
KI	Kiefer	mäßig	Wiedemann, 1943	72/83/89/112
	Kiefer	stark	Wiedemann, 1943	66/78/88/111
DGA	Douglasie	mäßig	Bergel, 1985	72/75/76/-
PA	Pappel		Rätzel, 1969	28/28/26/-
	Roteiche		Bauer, 1955	98/100/100/-
	Esche	mäßig	Volquardts, 1958	75/75/-/-
	Birke		Schwappach, 1929	66/68/-/-
	Schwarzerle	stark	Mitscherlich, 1945	52/58/69/-
	Sitka-Fichte	mäßig	Schober, 1955	69/70/70
	Weißtanne	mäßige	Hausser, 1956	109/122/133/148
	Strobe	mäßige	Eckstein, 1965	56/59/61/64
	Europäische Lärche	mäßige	Schober, 1946	56/60/67/-
	Japanische Lärche	mäßige	Schober/Rusack, 1953/1972	48/52/60/-

In Kapitel 7.2.4.2 wird die Anpassung der Ertragstafeln an die lokalen Zuwachsverhältnisse zur Verwendung im BEKLIFUH-Softwaretool erläutert. In Kapitel 7.2.5.2 wird erläutert, wie der Beginn der Endnutzung über das Alter des dGZ<sub>max</sub> festgelegt werden kann.

#### 7.2.4.1 Zuwachsreduktion nach Bestockungsgrad

Der Zuwachs der Ertragstafeln ist grundsätzlich für einen Bestockungsgrad von 1,0 ausgewiesen. Niedrigere Bestockung führt grundsätzlich auch zu niedrigeren Zuwächsen. Allerdings ist für mäßige Bestockungsabsenkung z.B. bis 0,8 auch beschrieben worden, dass der „Lichtungszuwachs“ dazu führt, dass derselbe und damit relativ zum Bestockungsgrad ein höherer laufender Zuwachs im Bestand und vor allem auch am Einzelbaum zu beobachten ist als dies bei einem Bestockungsgrad von 1,0 der Fall ist. Pretzsch (2004) beschrieb art-, standort- und altersspezifische Zuwachsreaktionen für verschiedene Dichtehaltungen auf Basis einer umfangreichen Datenbasis zumeist aus dem bayerischen Alpenvorland. „Der Zuwachs bei zunehmender Bestandesdichte folgt prinzipiell einer unimodalen Optimumkurve“. ... „Je nach Dichtespektrum, Altersphase oder Standortgüte eines betrachteten Bestandes sehen wir unterschiedliche Ausschnitte des Kurvenverlaufs“ heißt es hier.

Zuwachsreduktionstabellen wurden von diversen Autoren entwickelt, um den Zusammenhang zumeist auf der Ebene von Bundesländern zu beschreiben (z.B. Eder und Dong, 2003 für Rheinland-Pfalz). Zusätzlich zur allgemein eingeschränkten Gültigkeit derartiger Reduktionstabellen für das bundesdeutsche Gebiet fehlen vor allem für den Bereich über einem Bestockungsgrad von 1,0 Angaben

zum Verhalten des laufenden Zuwachses. Da gerade zu Beginn des Simulationszeitraums und unter Verwendung von Stichprobeninventuren Bestände höherer Bestockungsgrade zu simulieren sind, wurde in Anlehnung an die Reduktionstabelle für Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland nach Lembcke et al. (2000), die immerhin bis zu einem Bestockungsgrad von 1,15 vorliegt, eine Funktion zur Berechnung des Bestockungsgradfaktors „Bgfakt“ angepasst. Bgfakt wird mit dem ggf. zwischen den Ertragsklassen interpolierten Ertragstafelwert für den laufenden Zuwachs multipliziert, um diesen Wert bestandes- und dichteabhängig anzupassen. Als Minimum für Bgfakt wird der Wert 0,0015 gesetzt.

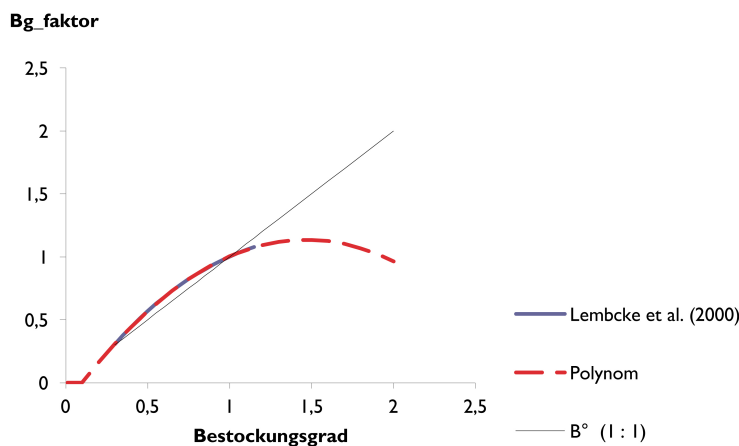


Abbildung 5 Herleitung des Bestockungsgradfaktors zur Reduktion des laufenden jährlichen Zuwachses nach Ertragstafelwerten;  

$$\text{Bgfakt} = \text{Math.Max}(-0.6055 * \text{B\_grad}^2 + 1.7781 * \text{B\_grad} - 0.1702, 0.0015)$$

#### 7.2.4.2 Ertragstafel je Baumartgruppe und die lokale Anpassung des Zuwachses

Da die Simulation der Bestandesentwicklung im BEKLIFUH-Softwaretool jährlich erfolgt, wurden die Ertragstafeln auf jährliche Werte transformiert. Einträge wie die Gesamtwuchsleistung können hierzu als Summe des laufenden jährlichen Zuwachses akkumuliert berechnet werden, andere Wert wie der mehrjährige Einschlag und die aus Zuwachs und Einschlag resultierenden Werte des verbleibenden Bestandes werden durch Division mit der Alter-Schrittweite der Ertragstafel hergeleitet.

Für das Alter vor Erreichen der ersten Einträge der Ertragstafeln werden der Derbholzvorrat des verbleibenden Bestandes und der laufende jährliche Zuwachs mit 0 Vorratsfestmetern je ha festgelegt. Für das Alter nach dem letzten Eintrag der Ertragstafel zur jeweiligen Ertragsklasse wird mit dem laufenden jährlichen Zuwachs des letzten Eintrages gerechnet.

Die Zuwachswerte in den Ertragstafeln gelten allgemein als zu gering. Wachstumsänderungen in Folge von Stickstoffeinträgen, modernem Waldbau und Klimawandel führen oft zu verstärktem Höhen- und Durchmesserwachstum. Zudem werden ausgewählte Ertragstafeln zu bestimmten Baumarten im



BEKLIFUH-Softwaretool als Modellierungsgrundlage für ganze Baumartgruppen an Stelle der angegebenen, einzelnen Baumart verwendet, wie zu Beginn von Kapitel 7.2 dargelegt wird. Daher wird der Volumenzuwachs der Ertragstafeln über einen Baumartgruppe spezifischen Zuwachskorrekturfaktor an die lokalen Bedingungen des Forstbetriebs angepasst.

Die Anpassung des Zuwachses der ausgewählten Ertragstafeln (s. Bildschirmansicht 15) erfolgt grundsätzlich über die Simulation der Bestandesentwicklung in der Periode zwischen zwei aufeinander folgenden Inventuren. Aus den Daten zur ersten Inventur werden ideelle Reinbestände abgeleitet (vgl. Bildschirmansicht 3 und Kapitel 4.1 und 4.2). Ausgehend von diesen Beständen wird jährlich der Bestandeszuwachs als Produkt aus dem laufenden jährlichen Zuwachses der Ertragstafel und dem Bestockungsgradfaktor bestimmt (Kapitel 7.2.4.1). Als Einschlag wird zunächst die Einschlagsmenge der auf jährliche Werte heruntergebrochenen Volumina des Ausscheidenden Bestandes der Ertragstafel gewählt. Diese werden in einer Korrekturschleife so korrigiert, dass sie in Summe den durch den Anwender für jede Baumartgruppe und dieses Jahr eingegebenen Holzerntemengen entsprechen (vgl. Kapitel 4.3). Zum Ausgleich wird das Volumen der verbleibenden Bestände gegenläufig korrigiert. Diese jährlich durchgeführte Simulation mit Ertragstafelzuwachs und korrigierter Einschlagsmenge führt für den Forstbetrieb zu einem Gesamtvorrat je Baumartgruppe zum Zeitpunkt der zweiten Inventur,  $V_{BA\_ET\_2}$ . Durch Abgleich mit den entsprechenden Vorratssummen, die aus den Daten der zweiten Inventur abgeleitet werden ( $V_{BA\_2}$ ), wird für jede Baumartgruppe und die jeweils spezifizierte Ertragstafel ein Zuwachskorrekturfaktor ermittelt.

Im Fall der Simulation mit der Variante *EinInventur* werden alternativ zur im vorherigen Absatz geschilderten Vorgehensweise die Zuwachskorrekturfaktoren so berechnet, dass der durch den Benutzer eingegebene erwartete laufende Zuwachs für jede Baumartgruppe im Jahr nach der *EinInventur* erreicht wird. Die derart bestimmten Zuwachskorrekturfaktoren werden sodann für die gesamte Simulationslaufzeit angewendet.

Die berechneten Zuwachskorrekturfaktoren werden in die Herleitung des jährlichen Bestandeszuwachses durch Multiplikation mit Ertragstafelzuwachs und Bestockungsgradfaktor einbezogen. Die Datenbasis für die Ertragstafel gestützte Simulation der Waldentwicklung mit lokal angepasster Zuwachskorrektur sind somit die beiden Inventurdateien in Verbindung mit den Daten der Holzerntemengen und den ausgewählten Ertragstafeln.

Um eine Simulation mit extremen Zuwachskorrekturfaktoren zu vermeiden, wurde deren Anwendung auf einen Bereich von 0,5 bis 2,0 beschränkt. Sowohl die berechneten als auch die angewendeten Zuwachskorrekturfaktoren und die aus deren Anwendung hervorgehenden Zuwächse der Simulationen finden sich in Kapitel 4.1 der Langfassung der Ergebnisdarstellung. Eine Plausibilisierung dieser Simulationsergebnisse durch die Anwender des BEKLIFUH Softwaretools ist nach jeder Simulation unumgänglich.

Falls der Verdacht besteht, dass Störungen z.B. in der Folge von Kalamitäten oder großflächigen Waldumbaumaßnahmen in Teilgebieten des Forstbetriebs der Grund für unplausible Ergebnisse der Zuwachskorrektur sind, können die entsprechenden Daten aus den Eingabedateien zu den Inventuren und Holzerntemengen probeweise gelöscht werden. Eine Simulation kann dann ohne diese Teilgebiete und die entsprechenden Holzerntemengen durchgeführt werden. Eine Simulation auf Basis der angewandten Wuchskorrekturfaktoren im eingeschränkten Werterahmen von 0,5 bis 2,0 kann zudem im Sinne einer konservativen Schätzung interpretiert werden, extreme hohe oder niedrige Korrekturfaktoren werden nicht zur Simulation verwendet. Stehen nur wenige Bestände bzw. Bäume in den Inventurdateien zur Schätzung der Zuwachskorrektur zur Verfügung, sind die entsprechenden Korrekturen als unsicher anzusehen. Es ist ggf. auf die Ausweisung der jeweiligen schwach vertretenen Baumartgruppen schon in der Datenvorbereitung zu verzichten und die entsprechenden Bäume bzw. Bestände sind dann einer größeren Baumartgruppe zuzurechnen.

Im Fall der Simulation mit der Option *EinInventur* ist die Berechnung der Zuwachskorrekturfaktoren kein so sensibler Indikator für die Plausibilität und Konsistenz der eingegebenen Daten. Hier muss intensiver auf die Höhe des Zuwachses während der gesamten Simulationszeit geachtet werden, die im Langbericht im Kapitel 4.1 dargestellt werden. Die Eingabe zu hoher Holzerntemengen kann z. B. zu sehr geringen Bestockungsgraden zu Beginn der Szenariensimulation und damit zu sehr viel niedrigeren Zuwächsen als den erwarteten führen. Zu niedrige Holzerntemengen könnten zu erhöhten Bestockungsgraden und damit ggf. auch zu erhöhtem Zuwachs führen.

### 7.2.5 Holzerntemengen

Die Holzerntemengen werden in der waldbaulichen Simulation jährlich ermittelt und nach Baumartgruppe und Durchmesserstufe (vgl. Bildschirmansicht 11) aggregiert und als Erntefestmeter in Rinde an die Holzverwendung (Kapitel 7.3) übergeben. Holzerntemengen sind dabei diejenigen Anteile am Holzeinschlag, die nicht in den Totholzspeicher übergehen.

Ein dem Anteil des eingeschlagenen oberirdischen Vorrates entsprechender Anteil der unterirdischen Biomasse geht in die unterirdische tote Biomasse über. Alles Holz unter Derbholzgrenze geht in den oberirdischen Totholzspeicher über und zusätzlich derjenige Anteil am Derbholz, der durch den „Totholzanteil am ausscheidenden Bestand“ in der entsprechenden Oberfläche für das jeweilige Grundscenario definiert wurde (s. Bildschirmansicht 14). Die Modellierung des Totholzspeichers wird in Kapitel 7.2.6 erläutert.

Die folgenden Kapitel beschreiben die Vornutzung von Beständen, die dem Erreichen bzw. Beibehalten des in Bildschirmansicht 14 zu definierenden Zielbestockungsgrades während der Bestandesentwicklung dienen (Kapitel 7.2.5.1), die über das Bestandesalter oder den mittleren Bestandesdurchmesser definierte Endnutzung (Kapitel 7.2.5.2 und 7.2.5.3), sowie die Simulation von unplanmäßiger Endnutzung eines Bestandes wegen Kalamitäten (Kapitel 7.2.5.4). Für Vornutzungen und Endnutzun-

gen, die durch das Auftreten von Kalamitäten bedingt sind, wird nur im entsprechenden Jahr der Nutzung eine Holzerntemenge berechnet. Im Fall der Endnutzung nach Alter oder Bestandesdurchmesser erfolgt die Endnutzung mit leicht steigender Intensität bis kurz vor Ende der Endnutzung, und im letzten Jahr erfolgt die Räumung des Bestandes. Ein typischer Verlauf von Bestandesvorrat und Holzerntemenge ist in Abbildung 6 dargestellt.

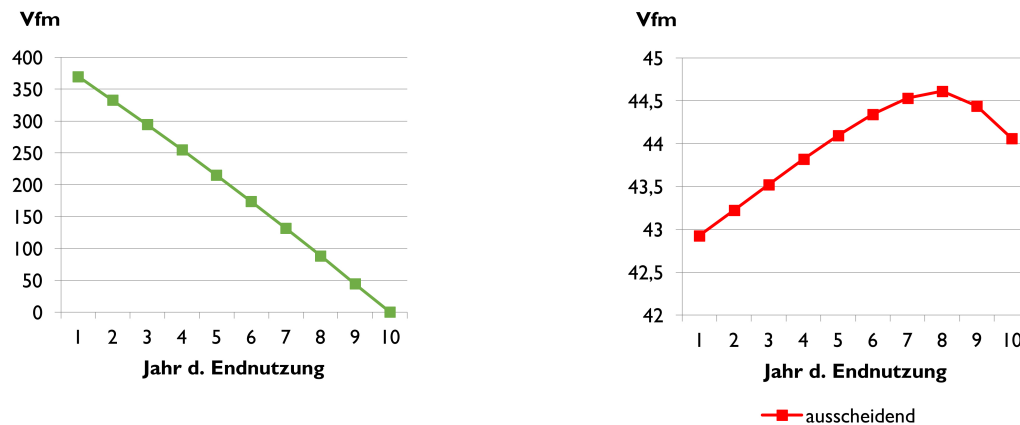


Abbildung 6 Verlauf einer Endnutzungsphase von 10 Jahren; dargestellt sind links der Vorrat [Vfm] und rechts die Holzerntemenge [Vfm]; die Intensität des Einschlags steigt leicht an und verliert vor der Räumung etwas an Intensität; im letzten Jahr erfolgt die Räumung des Restbestandes.

#### 7.2.5.1 Vornutzung und Kappungsgrenze

Die Simulation im BEKLIFUH-Softwaretool sieht für jeden Bestand vor, dass er so bewirtschaftet wird, dass der für die Simulation definierte Zielbestockungsgrad (vgl. Bildschirmansicht 14) erreicht oder beibehalten wird. Hierzu wird der jährliche Zuwachs durch einen entsprechenden Einschlag so ausgeglichen, dass der Bestockungsgrad sich dem Zielbestockungsgrad um den Betrag der „maximalen Bestockungsgradänderung“ (vgl. Bildschirmansicht 16) anpasst.

Jährliche Vornutzungsmengen werden für jeden Bestand so hoch gewählt, dass der Bestockungsgrad des Bestandes stets beim Zielbestockungsgrad bleibt oder sich diesem annähert. Die Anpassung geht jährlich nicht über diejenige hinaus, die mit Hilfe des Faktors zur „maximalen Bestockungsgradanpassung“ bestimmt werden kann, der in Bildschirmansicht 16 festgelegt wird.

Eine Funktion im BEKLIFUH-Softwaretool begrenzt den Vorrat eines jeden Bestandes auf einen absoluten Wert, der in einer Oberfläche des Expertenmodus spezifisch für jede Baumartgruppe als „**Kappungsgrenze**“ festzulegen ist (s. Bildschirmansicht 15). Dieser Wert definiert den maximalen Vorrat in Vorratsfestmeter je ha (Vfm/ha), der in einem Bestand der jeweiligen Baumartgruppe des Forstbetriebes erreicht werden kann. Der darüber hinaus gehende Zuwachs geht in diesen Beständen in den Totholzspeicher über. Bei der Festlegung der Kappungsgrenzen mögen Untersuchungen zu Naturwaldzellen oder in schon länger ohne waldbauliche Behandlung stehenden „Urwäldern“

hilfreich sein. Letztlich bleiben diese aber genauso Fallstudien, die sich unter dem Einfluss einer zu-  
meist unbekannten Vorbehandlung entwickelt haben. Zudem befinden sich einige der derartigen Be-  
stände zumindest in Teilen bereits wieder in der Zerfallsphase und stellen somit ggf. nicht das an  
Vorrat reichste Stadium eines Waldes dar. Eine Übersicht zu Untersuchungen in Naturwäldern aus  
Klein und Schulz (2012) wird in Tabelle 6 vorgestellt. Eine Zusammenstellung anschaulicher Beispiele  
ist zudem online verfügbar unter [http://www.totholz.ch/totholzmengen/naturwald\\_DE](http://www.totholz.ch/totholzmengen/naturwald_DE).

Tabelle 6 Übersicht zu Untersuchungen in Naturwäldern aus dem Europäischen Raum  
(aus Klein und Schulz, 2012). Abkürzungen in der Spalte Land: AL=Albanien,  
AT=Österreich, BO=Bosnien, BY=Bayern, HR=Kroatien, MV=Mecklenburg-  
Vorpommern, NI=Niedersachsen, SK=Slovakei, TH=Thüringen. Spalte oB  
(„ohne Behandlung“) gibt an, seit welcher Zeit keine Behandlung mehr  
durchgeführt wurde. „LH“ und „NH“ stehen für Laub- bzw. Nadelholz,  
BAh=Bergahorn, Bu=Buche, Ei=Eiche, Fi=Fichte, Ta=Tanne

Land	Baumart	Alter	Vorrat [Vfm/ha]	oB seit [a]	Quelle
SK	Bu	-	455-794	Urwald	Korpel, 1992
BY	Ei	141	603	22	Kölbel, 1996
BY	Bu/LH	100-140	518	16	Kölbel, 1994
SK	Bu	-	451-716	Urwald	Dröbner und Lüpke, 2007
AL	Bu+BAh	>200	559-807	Urwald	Tabaku und Meyer, 1999
MV	Bu	300-350	507	150	Tabaku und Meyer, 1999
NI	Bu+TEi+Fi	148	508	25	Tabaku und Meyer, 1999
TH	Bu	156	497(192-1004)	43	Hessenmöller et al., 2008
SK	Fi	old-growth	500(312-665)	439	Holeksa et al., 2007
NI	Bu/LH	87-170	345-687	22-24	Meyer, 1999
NI	Fi+Bu	121-160	910	33	Meyer et al., 2009
NI	Bu/LH/NH	81-120	55	25	Meyer et al., 2009
NI	Bu/LH	81-200	312-684	28-31	Meyer et al., 2009
BY	Fi-Ta-(Bu)	-	412-712	unberührt	Magin, 1959
BY	Fi-Ta-Bu	115-204	488-530	100	Magin, 1959
BY	Fi-Ta-(Bu)	167-195	501-787	30	Magin, 1959
BY	Fi-Ta-Bu	142-270	361-478	unberührt	Magin, 1959
SK	Bu-Ta	-	502-1016	64-84	Saniga und Schütz, 2001a
SK	Bu-Ta-Fi	-	513-1245	45-65	Saniga und Schütz, 2001a
BO	Ta-Bu-(Fi)	-	714	Urwald	Leibundgut, 1982
BO	Ta-Bu-(Fi)	-	1400	Urwald	Leibundgut, 1982
NI	Bu	145	488	21	Müller-Using und Bartsch, 2003
BY	Bu	120-210	568-876	6-20	Straußberger, 2004

Land	Baumart	Alter	Vorrat [Vfm/ha]	oB seit [a]	Quelle
AT	Fi-Bu	190	547	Urwald	Mayer und Neumann, 1981
HR	Bu-Ta	320	678	Urwald	Mayer und Neumann, 1981

Die aufgeführten Werte auch in der nachfolgenden Tabelle 7 können weder den kompletten Wissensstand darstellen noch sollten Sie den Anwender direkt zu einer Entscheidung hinleiten. Die dargestellten Werte sollen vielmehr die große Bandbreite von beobachteten Vorräten deutlich machen.

Tabelle 7                      Zusätzliche Untersuchungen zu Vorräten in Naturwäldern Europas und beobachtete Vorräte

Land	Baumartgruppe	Vorrat [m <sup>3</sup> /ha]	Autor
Italien	BU	385	Burrascano et al., 2008
Polen	FI	665	Holeksa et al., 2007
Rumänien	EI	577	Petritan et al., 2012
Rumänien	BU	675	Petritan et al., 2012
Slovakei	BU	571-914	Saniga und Schütz, 2001b
Polen	FI	522-548	Svoboda und Pouska, 2008
Ukraine	BU	525-1237	Trotsiuk et al., 2012
Polen	FI	305-622	Zielonka, 2006

Als Startwerte für die Kappungsgrenze wurde für alle Baumartgruppen ein Wert von 800 Vfm je ha gewählt. Der Anwender ist gefordert, ggf. davon abweichende Annahmen zu treffen. Jeder forstlich ausgebildete Anwender sollte nach reiflicher Überlegung als Kappungsgrenze wählen, was ihm unter den Standortgegebenheiten und unter Berücksichtigung der regionalen Waldbilder als zeitlich befristet mögliches Maximum für den Bestandesvorrat als angemessen erscheint. Im Zweifelsfall stellt eine höhere Annahme den konservativeren Ansatz dar.

### 7.2.5.2 Endnutzung nach Alter

Trotz zunehmender Diversität der Waldbestände in Deutschland ist die Angabe der Länge von Umtriebszeiten oder Rotationsperioden immer noch eine gängige Methode, um zu beschreiben, wann „in der Regel“ die Endnutzung eines Bestandes abgeschlossen ist. Je nach Verjüngungsart gehen der abschließenden Räumung verschiedene Phasen von Auflichtungen voraus. Die Vielfalt von Endnutzungsregimen ist durch ein einfaches Waldwachstumsmodul wie dem, das im BEKLIFUH-Softwaretool umgesetzt wurde, nicht möglich. Dennoch soll über die beiden Parameter des Beginns der Endnutzung und der Endnutzungsdauer ein gewisses Maß an Flexibilität gegeben werden. Die Definition der Endnutzung nach dem Alter der Bestände wird in diesem Kapitel erläutert, während in Kapitel 7.2.5.3 das Einsetzen von Endnutzung nach dem mittleren Durchmesser eines Bestandes beschrieben wird.

Die im BEKLIFUH-Softwaretool verfügbaren Ertragstafeln sind in Tabelle 5 auf Seite 46 dargestellt. In Abhängigkeit von der Ertragsklasse ist das Alter, in dem der maximale durchschnittliche Gesamtzuwachs erreicht wird, in der letzten Spalte der Tabelle für jede Ertragstafel dargestellt, das „Alter des  $dGZ_{max}$ “. Die Anwender des BEKLIFUH Softwaretools haben in der in Bildschirmansicht I4 dargestellten Oberfläche des Expertenmodus die Möglichkeit, für jede Baumartgruppe und jedes Szenario spezifisch festzulegen, in welchem Alter die Endnutzung einsetzen soll. Da dieses Alter mit der Ertragsklasse erheblich variieren kann, erfolgt die Festsetzung als Differenz zum Alter des  $dGZ_{max}$  (vgl. Tabelle 5, letzte Spalte) und ist damit keine absolute Angabe einer fixen Umtriebszeit. Soll keine Endnutzung nach Alter simuliert werden, so ist der Code 999 einzugeben.

Ist ein Bestand in Endnutzung übergegangen, so erfolgt die weitere Simulation gemäß den Angaben in Kapitel 7.2.5. Die nachfolgende Simulation der Bestandesbegründung ist in Kapitel 7.2.3 beschrieben.

### 7.2.5.3 Endnutzung nach Durchmesser/BHD

Die im BEKLIFUH-Softwaretool verfügbaren Ertragstafeln und deren Anpassung und Verwendung im BEKLIFUH-Softwaretool werden in den Kapiteln 7.2.4 und 7.2.4.2 präsentiert. Die dort enthaltenen Werte für den BHD sind Angaben zum Durchmesser des Grundflächenmittelstammes. Sie sind im Regelfall niedriger als die mittleren BHD, die in realen Beständen gleichen Alters der jeweiligen Ertragsklasse zu beobachten sind. Die BHD Werte der Einzelbäume streuen zudem mehr oder minder stark um den Mittelwert. Da Mittelwert und Streuung der Einzelbaum-BHD sehr von der individuellen Bestandesbegründung und -entwicklung abhängen, konnte im Zuge des BEKLIFUH Projektes keine entsprechende allgemein gültige Modellierung erfolgen. Es kann daher im Rahmen dieser Dokumentation nur auf diesen Umstand verwiesen werden, und die Anwender des BEKLIFUH Softwaretools sind dazu aufgefordert, ihn in ihre Überlegungen zur Parametrisierung mit einzubeziehen.

Der Zieldurchmesser ist durch den Nutzer in der in Bildschirmansicht 14 dargestellten Oberfläche des BEKLIFUH Softwaretools zu definieren. Der Zieldurchmesser ist nicht etwa als eine Zielstärke im waldbaulichen Sinne einzupflegen, sondern vielmehr der BHD der Ertragstafel, der erwartungsgemäß (in dem Alter) erreicht werden dürfte, wenn der Einschlag starten soll. Zum praktischen Vorgehen bei der Parametrisierung sollten die Nutzenden schlicht überlegen, in welchem Alter im Forstbetrieb zumeist Zielstärken abhängige Endnutzung beginnt. Der mittlere BHD der Ertragstafel dieses Alters für eine mittlere Ertragsklasse der Baumartgruppe ist der Wert, der in der in Bildschirmansicht 14 dargestellten Oberfläche als „Zieldurchmesser des Grundflächenmittelstammes“ einzupflegen ist. Bestände mit stärkerer Wuchseistung (bzw. niedrigerer Ertragsklasse) erreichen diesen Durchmesser in jüngerem Bestandesalter als Bestände mit niedrigerer Wuchseistung. Soll keine Endnutzung über die BHD-Werte festgelegt werden, so ist der Wert „999“ einzugeben.

Ist ein Bestand durch Erreichen dieses Wertes für den mittleren BHD in Endnutzung übergegangen, so erfolgt die weitere Simulation gemäß den Angaben in Kapitel 7.2.5. Die nachfolgende Simulation der Bestandesbegründung ist in Kapitel 7.2.3 beschrieben.

#### 7.2.5.4 Endnutzung durch Kalamitäten mit simuliertem Risiko

In Bildschirmansicht 15 wird die Oberfläche des BEKLIFUH Softwaretools präsentiert, in welcher spezifisch für die Baumartgruppen zwei Parameter zum Risiko der Bestände definiert werden, von einer Kalamität betroffen zu werden. Diese beiden Risiken werden in der Oberfläche mit „Mortalität Feuer“ und „Mortalität Wind“ bezeichnet. Eine solche Kalamität hat jeweils in der Simulation zur Folge, dass in diesem Jahr der bisherige „Vorbestand“ komplett geräumt und durch einen Folgebestand ersetzt wird. Die Begründung des Folgebestandes ist in Kapitel 7.2.3 erläutert. In diesem Kapitel wird die Simulation einer Kalamität für den Vorbestand erläutert.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Typen von Kalamitäten unterschieden. Typ „Feuer“ führt zur unverzüglichen Freisetzung des gesamten oberirdischen Kohlenstoffs. Im BEKLIFUH-Softwaretool wird hierzu der Vorrat auf null gesetzt und ein Folgebestand wird begründet. Die unterirdische Biomasse geht in die unterirdische tote Biomasse über.

Der Typ „Wind“ führt zu einer sofortigen Räumung des gesamten Bestandes. Alle Derbholzmengen, die entsprechend der Szenariendefinition nicht als Totholzanteil gelten, werden in diesem Jahr als Holzerntemenge genutzt. Der Totholzanteil des Derbholzes und die gesamte Baumbiomasse unter Derbholzgrenze (vgl. Kapitel 7.2.6) geht in den Totholzspeicher über. Für die Nichtnutzung mit einem Totholzanteil von 100 % geht die komplette oberirdische Biomasse im Fall von Windwurf über in den Totholzspeicher.

Insbesondere unter dem Faktor „Mortalität Wind“ lassen sich solche Risiken von Kalamitäten subsummieren, in deren Verlauf zwar die Bäume sterben, dennoch aber eine Nutzung stattfinden kann. Die Biomasse ist nicht verloren, aber es findet eine vorzeitige Endnutzung mit unverzüglicher Räumung statt. Vor allem, wenn durch ein solches Schadereignis ein großer und vorratsreicher Bestand betroffen ist, können der Vorratsabbau und der Anfall von geerntetem Holz spürbaren Einfluss auf das Simulationsergebnis für einzelne Jahre haben.

#### 7.2.6 Totholzspeicher

Im Zuge jeder Vor- und Endnutzung fällt oberirdisch und unterirdisch tote Biomasse an (vgl. Kapitel 7.2.5). Dieses wird dem Totholzspeicher zugerechnet. In jedem Jahr wird aber auch ein Teil des Totholzspeichers abgebaut. Dieser Totholzabbau kann im Expertenmodus (s. Kapitel 5.2, Bildschirmansicht 15) durch den Anwender spezifisch für die Baumartgruppen und für die ober- und die unterirdische tote Biomasse in Form von Zerfallsraten angepasst werden.

In der Literatur wird von einem linearen Abbau des anfallenden Totholzes ausgegangen. Die Zerfallsrate wird mit der ursprünglich angefallenen Menge an Totholzbiomasse multipliziert und das resultierende Produkt wird in jedem Folgejahr vom Totholzspeicher abgezogen, bis die angefallene Menge Totholz vollständig abgebaut ist. Die Abbaumenge ist somit für jeden jährlichen Anfall von Totholz zu



berechnen und in den Folgejahren vom Totholzspeicher abzuziehen. Um den Zerfall des Totholzes einfacher bestimmen zu können, wurde im BEKLIFUH-Softwaretool ein logarithmischer Zerfallsverlauf des gesamten Totholzspeichers unterstellt. Die aus dem Vorjahr übernommene Menge an Totholz wird um den vom Anwender zu definierenden Wert der Zerfallsrate reduziert.

In Abbildung 7 sind jeweils paarweise Zerfallsraten für logarithmischen und linearen Zerfall in gleicher Farbe dargestellt, die eine Restmenge von ungefähr 30% der Anfangsmenge in gleicher Zeitspanne erreichen. Dies soll verdeutlichen, dass hierfür bei logarithmischem Abbau höhere Werte für die Zerfallsrate gewählt werden müssen, die zu einem schnelleren Abbau vor und einem verlangsamteten Abbau nach dem Schnittpunkt mit dem linearen Zerfall führen. Die Halbwertszeiten und damit die Zeitspanne, in der ein Wert zu linearem bzw. logarithmischem Abbau von 50% der ursprünglichen Totholzbiomasse führt, sind für einige Werte in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8 Halbwertszeiten einiger Zerfallsraten für die Verwendung in logarithmischem Abbau – wie im BEKLIFUH-Softwaretool – oder bei linearem Abbau

Zerfallsrate	0,027	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,12
Halbwertszeit logarithmisch	25,3	22,8	17,0	13,5	11,2	9,6	8,3	7,3	5,4
linear	18,5	16,7	12,5	10,0	8,3	7,1	6,3	5,6	4,2

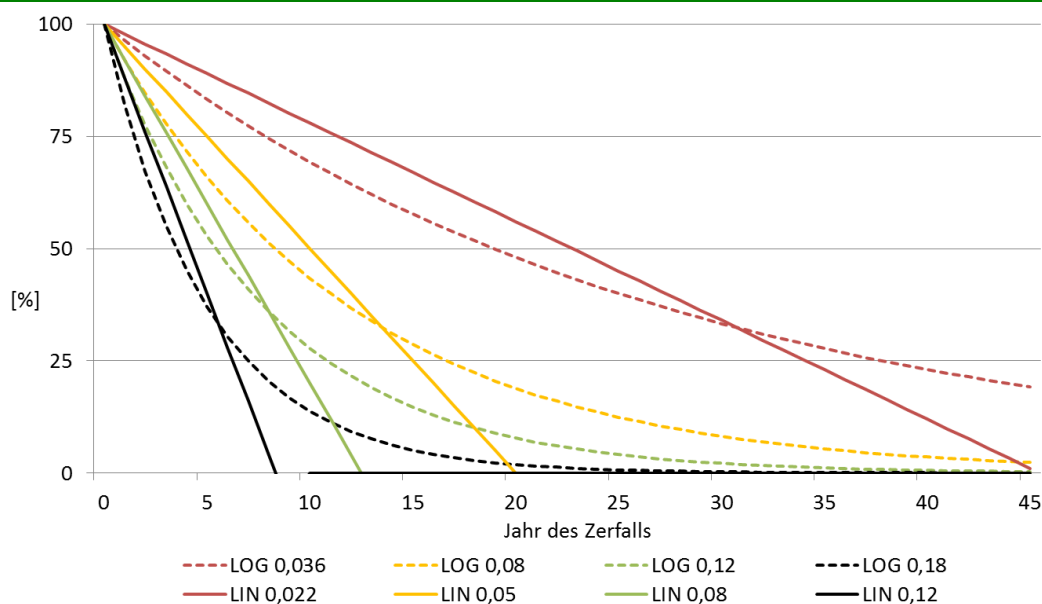


Abbildung 7 Gegenüberstellung von linearem und logarithmischem Zerfall mit paarweisen Werten, die jeweils 30% Restmenge ungefähr nach gleicher Zeitspanne erreichen.

Als Standardwerte für die logarithmischen Zerfallsraten im BEKLIFUH-Softwaretool werden die in Tabelle 9 zusammen gestellten Werte verwendet. Insbesondere für die unterirdische Verwitterung ist das Wissen um Verwitterungsgeschwindigkeiten unsicher. Die Standardwerte für Zerfallsraten der unterirdischen toten Biomasse sind niedriger veranschlagt als die des oberirdischen Zerfalls. Nach Angaben von Olajuyigbe et al. (2011) lassen sich Werte um 0,036 für einen linearen Zerfall finden.

**Tabelle 9** Nach Literatúrauswertungen und generellen Abwägungen zur Zusammensetzung der Totholzmasse gesetzte Standardwerte der logarithmischen Zerfallsraten für oberirdische tote Biomasse mit entsprechenden Halbwertszeiten; der Anwender kann abweichende Einstellungen im Expertenmodus treffen (s. Bildschirmansicht 15).

Baumartgruppe	Zerfallsrate oberirdisch [kg/kg Totholz]	Halbwertszeit oberirdisch [Jahre]	Zerfallsrate unterirdisch [kg/kg Totholz]	Halbwertszeit unterirdisch [Jahre]
BU	0,12	5,4	0,06	11,2
EI	0,08	8,3	0,04	17,0
FI	0,08	8,3	0,05	13,5
KI	0,08	8,3	0,05	13,5
DGA	0,08	8,3	0,05	13,5
PA	0,12	5,4	0,06	11,2

**Tabelle 10** Zusammenstellung von Zerfallsraten für oberirdische tote Biomasse in der Literatur; die hier abgedruckten Zerfallsraten entsprechen dem Anteil der in einem bestimmten Jahr anfallenden Totholzmenge x, der bis zum vollständigen Abbau jährlich abgebaut wird.

Baumartgruppe	oberirdische Zerfallsraten	Quelle	Bemerkung
FI	0,033 (Min: 0,0165 – Max: 0,0488)	Næsset, 1999	Picea abies in Norwegen
FI	0,027	Herrmann und Bauhus, 2009	Literatúrauswertung
FI	0,033 – 0,034	Herrmann und Bauhus, 2009	Literatúrauswertung
KI	0,026 – 0,049	Herrmann und Bauhus, 2009	Literatúrauswertung
BU	0,029	Herrmann und Bauhus, 2009	Literatúrauswertung
BU	Min: 0,0189 –Max: 0,178	Rock et al., 2008	Literatúrauswertung
EI	Min: 0,0175 –Max: 0,26	Rock et al., 2008	Literatúrauswertung
FI	Min: 0,0004 –Max: 0,071	Rock et al., 2008	Literatúrauswertung
KI	Min: 0,01 –Max: 0,079	Rock et al., 2008	Literatúrauswertung

Sowohl die Annahme eines gleichförmigen Zerfalls linearer Art als auch die des niemals vollständig abbauenden logarithmischen Zerfalls können nur eine Annäherung an die Realität darstellen und die Modellierung des Totholzspeichers bietet hier ein weites Feld für zukünftige Verbesserungen der Simulationsmöglichkeiten mit dem BEKLIFUH Softwaretool.

## 7.2.7 Bestimmung von Biomassen und Kohlenstoffgehalt

Zum Abschluss der Waldbaulichen Simulation erfolgen Berechnungen zur Biomasse, weshalb Angaben zum Rindenanteil und zur Raumdichte des Holzes hier vorgestellt werden (s. Kapitel 7.2.7.1). Ausgehend vom Derbholzvolumen kann über Biomasseexpansions- und -konversionsfaktoren die ober- und unterirdische lebende Biomasse geschätzt werden (s. Kapitel 7.2.7.2). Der Kohlenstoffgehalt der Biomasse der Waldkompartimente wird berechnet (s. Kapitel 7.2.7.3). Vor den Berechnungen zu Vorräten und Erntemengen ist der Abzug der Totholzanteile bereits erfolgt, was in Kapitel 7.2.6 zum Totholzspeicher beschrieben wird.

### 7.2.7.1 Rindenanteil und Raumdichte

Das BEKLIFUH-Softwaretool berechnet u.a. die Holzerntemenge in Erntefestmeter ohne Rinde (Efm o. R.) und stellt diese im Ergebnisbericht dar. Um die Erntefestmeter ohne Rinde herzuleiten, wurde spezifisch für jede Baumartgruppe ein Rindenanteil an der Derbholzmasse verwendet (s. Tabelle 11). Die Übergabe der Holzerntemengen an die Holzverwendung erfolgt allerdings in Efm mit Rinde, da die Verwendungsmodellierung die Rinde entsprechend der realen Abläufe berücksichtigt.

Tabelle 11 Rindenanteil pro Baumartgruppe nach Knigge und Schulz (1966) und Raumdichten nach Kollmann 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013)

Baumartgruppe	Rindenanteil [m³/m³ Derbholz]	Raumdichte Derbholz [t/m³]	Raumdichte Astholz [t/m³]
BU	0,060	0,56	0,61
EI	0,122	0,57	0,61
PA	0,100	0,40	0,43
FI	0,100	0,38	0,51
KI	0,122	0,44	0,58
DGA	0,122	0,41	0,56

Die Verwendung der in Tabelle 11 ebenfalls dargestellten Raumdichten für Derbholz und Astholz im BEKLIFUH-Softwaretool zur Herleitung von Biomasse und Kohlenstoffgehalt aus dem Derbholzvolumen wird im nachfolgenden Kapitel 7.2.7.2 beschrieben.

### 7.2.7.2 Expansionsfaktoren für ober- und unterirdische Biomasse

Die Berechnung der Biomasse aus dem Derbholzvolumen folgt der Beschreibung im Nationalen Inventurbericht von 2014 für Deutschland (Umweltbundesamt, 2014), die sich auf die entsprechende Methodik nach Burschel et al. (1993) bezieht. Aus den Werten zum Wurzelprozent, zu den Expansionsfaktoren (Tabelle 262 und Tabelle 263, Umweltbundesamt 2014) sowie den Raumdichten für Derbholz und Astholz (Tabelle 11) wurden Expansionsfaktoren vom Derbholzvolumen in oberirdische und unterirdische Biomasse abgeleitet (Tabelle 12). Die Faktoren für Douglasie entsprechen dabei denen von Fichte und die für die Baumartgruppe Pappel denen für Buche.

**Tabelle 12** Expansionsfaktoren von Derbholzvolumen zu oberirdischer Biomasse hergeleitet aus den Tabellen 262 und 263 des Deutschen Reports zur Treibhausgasberichterstattung 2014 (Umweltbundesamt, 2014) und den Derbholz- und Astholzdichten nach Kollmann 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013)

Baumart- gruppe	Altersstufen in Jahren								
	0–20	21– 40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	141–160	> 160
FI	1,4000	0,5585	0,4871	0,4565	0,4565	0,4565	0,4616	0,4667	0,4718
KI	1,6000	0,5908	0,5386	0,5270	0,5038	0,4922	0,4922	0,4922	0,4864
DGA	1,5300	0,6060	0,5276	0,4940	0,4940	0,4940	0,4996	0,5052	0,5108
EI	1,7900	0,7713	0,6676	0,6554	0,6432	0,6310	0,6249	0,6310	0,6249
BU	1,7800	0,8284	0,6942	0,6576	0,6393	0,6454	0,6454	0,6393	0,6454
PA	1,2600	0,5892	0,4946	0,4688	0,4559	0,4602	0,4602	0,4559	0,4602

Die Expansionsfaktoren von oberirdischer Biomasse zu unterirdischer Biomasse werden in Tabelle 13 vorgestellt.

**Tabelle 13** Konversionsfaktoren für die Bestimmung von unterirdischer Biomasse aus oberirdischer Biomasse nach den Tabellen 262 und 263 des Deutschen Reports zur Treibhausgasberichterstattung 2014 (Umweltbundesamt, 2014) und den Derbholz- und Astholzdichten nach Kollmann, 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013)

Baumart- gruppe	Altersstufen in Jahren								
	0–20	21– 40	41–60	61–80	81–100	101–120	121–140	141–160	> 160
FI	0,33	0,22	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
KI	0,33	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
DGA	0,33	0,22	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25
EI	0,33	0,19	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23
BU	0,33	0,17	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
PA	0,33	0,17	0,20	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22

### 7.2.7.3 Kohlenstoffgehalt der Biomasse

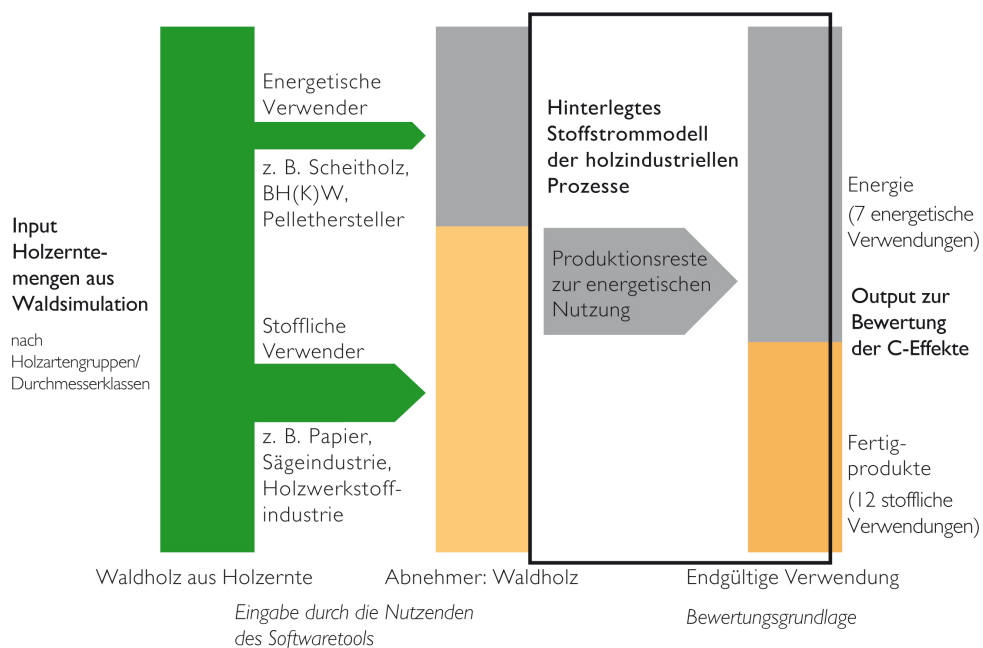
Der Kohlenstoffgehalt wird für die Baumartgruppen generell mit einem Faktor von 0,5 t C pro t Biomasse berechnet (IPCC, 2003, Gleichung 3.2.3). Da ohnehin bei der Anwendung des BEKLIFUH Softwaretools nicht von einheitlich zusammengesetzten Baumartgruppen ausgegangen werden kann, bietet dieser einfache Ansatz jedem Anwender die Möglichkeit, die berechneten Kohlenstoffmengen bzgl. eventueller Abweichungen im Vergleich zur Anwendung Baumart spezifischer Faktoren abzuschätzen.

$$\text{Kohlenstoffgehalt [t C]} = 0,5 \text{ [t C/t]} * \text{Biomasse [t]}$$

## 7.3 Simulation der Holzverwendung

### 7.3.1 Prinzip der Zuordnung der Holzerntemengen als Ergebnis der waldbaulichen Simulation zu den für die Bewertung der Kohlenstoffeffekte relevanten Verwendungen

Die Waldwachstumssimulation berechnet jährlich die Holzerntemengen und weist sie getrennt nach Baumartgruppen und Durchmesserklassen aus. Diese Holzerntemengen werden im Holzverwendungsmodell hinsichtlich Ihrer Klimaschutzeffekte bewertet. Dazu werden die dem Wald entnommenen Holzerntemengen entsprechend ihrer Verwendung zugeordnet (siehe Kapitel 7.3.2). Das dem Wald entnommene Holz wird entweder zur a) Herstellung von Produkten aus Holz mit unterschiedlich langer Lebensdauer oder b) direkt zur Erzeugung von Energie verwendet. Die mit der Produktherstellung verbundenen Nebenprodukte und Resthölzer werden entweder in der Holzwerkstoff- oder Papierherstellung eingesetzt oder energetisch verwertet. Abbildung 8 zeigt das Prinzip der Zuordnung der Holzerntemengen zu den zur Bewertung der Kohlenstoffeffekte relevanten Verwendungen, die sich im Falle der stofflichen Verwendung auf die Fertigprodukte und die in ihnen gespeicherte Masse an Kohlenstoff beziehen.



**Abbildung 8** Das Prinzip der Zuordnung der Holzerntemengen als Ergebnis der waldbaulichen Simulation zu den für die Bewertung der Kohlenstoffeffekte relevanten Verwendungen (Darstellung in Anlehnung an das Holzverwendungsmodell für Bayern in Friedrich und Knauf, 2016)

### 7.3.2 Ableitung der Kohlenstoffeffekte der Holznutzung auf Basis des Outputs des Holzverwendungsmodells

Bei einer stofflichen Verwendung verbleibt der Kohlenstoff bis zu seinem Ausscheiden im Holzproduktespeicher. Es wird angenommen, dass die Holzprodukte nach Erreichen der durchschnittlichen Lebensdauer aus dem Holzproduktespeicher ausscheiden. Im Modell sind Werte für die produktspezifische durchschnittliche Lebensdauer hinterlegt; diese ergeben sich auf Basis von Literaturangaben (z. B. IEMB, 2006 oder BBSR, 2011) oder wurden durch Expertenschätzungen abgeleitet. Die durchschnittliche Lebensdauer beschreibt also, wie lange sich die Holzprodukte im Holzproduktespeicher befinden. Produkte werden, gemäß dem zugrundeliegenden Stoffstrommodell, bei Ausscheiden aus der Verwendung zu 16 % einem stofflichen Recycling und zu 64 % der energetischen Verwendung zugeführt. Der Rest (20 %) wird als direkte CO<sub>2</sub>-Emission (biologischer Abbau) betrachtet/modelliert. Mit diesen Annahmen werden heutige Marktverhältnisse unterstellt (vgl. Knauf und Frühwald, 2013).

Die CO<sub>2</sub>-Minderungen durch die stoffliche Substitution werden durch produktspezifische Substitutionsfaktoren berechnet. Diese Substitutionsfaktoren für die stoffliche Substitution sind in Anlehnung an Knauf et al. (2015) bzw. Knauf und Frühwald (2013) und Frühwald und Knauf (2014) auf Basis ökobilanzieller Vergleiche festgelegt; für die zusätzlich aufgenommene Produktkategorie "Dämmstoffe" wird ein Substitutionsfaktor von 0 festgelegt, weil hierzu in der Literatur widersprüchliche Angaben vorliegen. Eine spätere Anpassung kann bei verbesserter Datenlage entsprechend erfolgen. Für Papierprodukte wird ebenfalls ein Substitutionsfaktor von 0 angenommen, da keine zu substituierenden Konkurrenzprodukte in Ansatz gebracht werden können.

Entsprechend der Darstellung in Abbildung 8 ergibt sich rein rechnerisch die Menge des energetisch verwendeten Holzes als Differenz der Erntemengen zu der stofflich verwendeten Holzmenge im Fertigprodukt (jeweils in der Einheit t Holz bzw. t C). Energetisch verwertet werden dabei die Holzmengen, die direkt an energetische Verwender geliefert werden (heute überwiegend Scheitholz im Privathaushalt) oder die über den Stoffstrom in der Holzindustrie als Nebenprodukte und Industrie-restholz bzw. als Produktionsreste (Verschnitt) bei der Verarbeitung des Holzes (z. B. auf dem Bau) der energetischen Verwertung zugeführt werden. Für die energetische Verwertung wurden sieben verschiedene energetische Substitutionsfaktoren festgelegt. Dabei werden vier energetische Verwendungen für Holz bzw. Holzprodukte (Scheitholz, BH(K)W, Pellets, Einsatz in Holzindustrie) unterschieden; daneben wird die Verwendung der Rinde mit drei spezifischen Substitutionsfaktoren berücksichtigt (niedriger Energieinhalt der Rinde bei der Verbrennung).

Die Erntemengen im Softwaretool BEKLIFUH werden als Efm ohne Rinde (Efm o. R.) ausgewiesen. Entsprechend der heute üblichen Verwendung wird jedoch davon ausgegangen, dass bei einer Belieferung von energetischen Verwendern die Rinde vollständig auch zu Energiezwecken genutzt wird. Bei der Belieferung von stofflichen Verwendern wird davon ausgegangen, dass 80 % der Rinde ener-

getisch genutzt werden, für 20 % wird eine sonstige Verwendung angenommen (z. B. Mulch), wobei von einer sofortigen Emission ohne die Substitution fossiler Energieträger ausgegangen wird. Tabelle 14 zeigt die definierten Produktgruppen mit den angenommenen spezifischen Produktlebensdauern und Substitutionsfaktoren. Die Tabelle enthält in der Kommentarspalte Informationen zu den getroffenen Annahmen.

Tabelle 14 Produktgruppen mit den zugehörigen spezifischen Produktlebensdauern und Substitutionsfaktoren

Einsatzbereich ID	Einsatzbereich Fertigprodukt	Substitutionsfaktor stofflich [tC/tC]	Lebensdauer [Jahre]	Substitutionsfaktor Energie [tC/tC]	Kommentare
1	Bau Massiv	1,56	65	0	
2	Möbel Massiv	1,62	25	0	
3	Verpackung	1,35	3	0	
4	Sonstige Massiv	1,50	30	0	gew. Durchschnitt aus 1-3
5	Fußboden	1,35	25	0	
6	Dämmung	0	50	0	
7	Möbel HWI	1,46	25	0	
8	Bau HWI	1,30	50	0	
9	Sperrholz/LWL	1,62	40	0	
10	Papier	0,00	2	0,52	Verbrennung zu 80 %
11	Masten	2,60	30	0	
12	Sonstige	1,50	40	0	gew. Durchschnitt aus 1-11
E1	Pellets	0	1	0,67	
E2	Scheitholz	0	2	0,54	20 % Abzug wegen des geringeren Wirkungsgrads im Vergleich z. B. zu E1
E3	Energie Industrie	0	1	0,67	
E4	B(H)KW	0	1	0,67	
E5	Rinde Scheitholz	0	2	0,48	10% Abzug wegen ger. Wirkungsgrad
E6	Rinde Industrie	0	1	0,48	stoffliche Nutzung von 20 % berücksichtigt, 10 % Abzug wegen ger. Wirkungsgrad
E7	Rinde B(H)KW	0	1	0,60	10% Abzug wegen ger. Wirkungsgrad

Die CO<sub>2</sub>-Minderungen der stofflichen und energetischen Substitution ergeben sich gemäß der folgenden Formel (vgl. Knauf et al., 2016):

$$CO_2\text{-Minderung durch stoffliche Holznutzung} = \text{Masse Kohlenstoff im Fertigprodukt} * SF_{Ma}$$

$$CO_2\text{-Minderung durch energetische Holznutzung} = \text{Masse Kohlenstoff im zur energetischen Verwertung bestimmten Produkt} * SF_{En}$$



Bei den Bezeichnungen  $SF_{Ma}$  und  $SF_{En}$  in der angegebenen Formel handelt es sich um spezifische Substitutionsfaktoren entsprechend Tabelle 14. Diese Minderungen werden jährlich berechnet und durch das Softwaretool aufbereitet und im Ergebnisbericht dokumentiert.

Abbildung 9 zeigt schematisch die Verwendungsmatrix und wie die Zuordnung der Holzerntemengen aus der Waldsimulation im Rahmen des Stoffstrommodells so erfolgt, dass über die primäre Verwendung (z. B. Lieferung an Holzwerkstoffindustrie) und sekundäre Verwendung (z. B. Produktspektrum der belieferten Abnehmer aus der Holzindustrie) eine Zuordnung zu den definierten Verwendungsbereichen (mit jeweils spezifischen Substitutionsfaktoren und Lebensdauern) festgelegt wird.

19 Verwendungsbereiche (12 Produkte, 7 Energie)  
mit jeweils spez. Substitutionsfaktor/Lebensdauer

6 Holzartengruppen 2–3 Durchmesserklassen		1	...	19
	Primäre Verwendung			
	Sekundäre Verwendung	.	.	.
		240		

Abbildung 9 Verwendungsmatrix in BEKLIFUH

### 7.3.3 Das im Softwaretool entwickelte Stoffstrommodell

Das hinterlegte Stoffstrommodell versucht, den Holzmarkt und die Stoffströme des Holzes in Deutschland möglichst genau abzubilden. Es ist so angelegt, dass im Softwaretool BEKLIFUH standardmäßig die Holzverwendung mit bundesdeutschen Durchschnittswerten (Standardmodell) zugrunde gelegt ist. D.h., macht der Anwender keine Angabe zu seiner individuellen Holzverwendung, wird die Simulation basierend auf diesem Standardmodell durchgeführt.

Das Standardmodell wurde auf Basis verschiedener Veröffentlichungen zum Holzmarkt entwickelt. Die Zuordnung der Holzerntemengen zu verschiedenen Verwendungszwecken (stoffliche und energetische Verwendungen) erfolgte auf Basis der Analyse von Jochem et al. (2015) für den Durchschnitt der Jahre 2009–2013 und für die (prozentuale) Zuordnung zu den Endprodukten auf Basis von Mantau und Bilitewski (2010). Diese zu Grunde liegenden Literaturangaben differenzieren jedoch lediglich in die Verwendung von Laub- und Nadelholz. Die für das Standardmodell notwendige Zuordnung zu je drei Baum- bzw. Holzartgruppen der Laub- und Nadelholzbaumarten erfolgte auf Basis der Holzmarktberichterstattung (z. B. BMEL, 2015), die in vier Hauptbaumartgruppen unterscheidet. Da die Holzmarktberichterstattung keine Aussagen über die Holzverwendung der Hölzer macht, die der

DGA-Gruppe bzw. der PA-Gruppe (vgl. Kapitel 7.2) zugeordnet sind, werden die für die FI-Gruppe bzw. BU-Gruppe abgeleiteten Verwendungen auf diese Baumartgruppen übertragen.

Die Holzmarktberichterstattung und Veröffentlichungen zu den Holzmärkten differenzieren nicht in verschiedene Durchmesserklassen. Daher musste bei der Zuordnung der Holzverwendung und des Stoffstroms einer Holzart gemäß den definierten Baumartgruppen auf unveröffentlichte Daten bzw. in Sonderauswertungen aufbereitete Daten der Landesforstverwaltungen (z. B. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, 2016) zurückgegriffen werden. Diese Daten wurden ergänzt um gutachterliche Einschätzungen, die holztechnologische Aspekte berücksichtigen (z. B. über Ausbeuten im Einschnitt von Sägerundholz bei unterschiedlichen Durchmesserklassen).

#### 7.3.4 Eingabe einer individuellen Holzverwendung durch die Anwender

Die definierten 19 Produktgruppen sind in einem „Standardmodell der Holzverwendung“ entsprechend der bundesdeutschen Verwendungsstruktur für Holz voreingestellt, können aber beliebig jeweils in ein selbst definiertes Verwendungsmodell eingehen. Die Standardeinstellungen für die erste und zweite Verwendungsstufe (hergeleitet wie in Kapitel 7.3.3 beschrieben) werden auf der Oberfläche des Softwaretools (also während des Eingabevorgangs) angegeben.

Die Anwender des Softwaretools haben also die Möglichkeit die im Softwaretool hinterlegte Standardeinstellung mit bundesdeutschen Durchschnittswerten für die Berechnung der Kohlenstoffeffekte der Holzverwendung zu nutzen. Es ist jedoch ebenso möglich, dass die Anwender eine holzartenspezifische und nach Durchmesserklassen differenzierte individuelle Verwendung für das dem Wald entnommene Holz entsprechend den vorhandenen oder beabsichtigten Holzverkäufen definieren (s. Bildschirmansicht II). Die vom Anwender definierte Verwendung wird für den gesamten Simulationszeitraum angenommen und zur Berechnung verwendet. Für die erste Verwendungsstufe (als primäre Verwendung in Abbildung 9 bezeichnet) wird unterschieden in die Verwendungen Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Zellstoff/Papier, Energie und Sonstige Produkte. Es ist möglich, auch über die erste Verwendungsstufe hinaus weiter zu differenzieren (z. B. beim Verwendungsweg Holzwerkstoffindustrie Differenzierung in OSB, Spanplatte, MDF, LDF, Sperrholz/LWL). Der Anwender kann also Angaben lediglich zu Teilen der ersten oder zweiten Verwendungsstufe machen und ansonsten die Standardangaben nutzen. Der abgebildete Stoffstrom der holzindustriellen Prozesse (vgl. Abbildung 9) lässt sich durch den Anwender nicht verändern; hier sind in BEKLIFUH bundeseinheitliche Durchschnittswerte hinterlegt.

## 8 Literatur

- BBSR [Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung], 2011. Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB). Stand 03.11.2011, Bonn.
- BMEL [Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft], 2015. Holzmarktbericht 2014. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2014 (01.01.2014–31.12.2014), Bonn.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft, 2015. Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland. [http://www.ble.de/DE/01\\_Markt/14\\_Waldbrandstatistik/WaldbrandStatistik\\_node.html](http://www.ble.de/DE/01_Markt/14_Waldbrandstatistik/WaldbrandStatistik_node.html); zuletzt geprüft am 11.12.2016
- Burrascano, S., Lombardi, F., Marchetti, M., 2008. Old-growth forest structure and deadwood: Are they indicators of plant species composition? A case study from central Italy. *Plant Biosystems* 142 (2), S. 313–323. doi:10.1080/11263500802150613.
- Burschel, P., Kuersten, E., Larson, B. C., 1993. Die Rolle von Wald und Forstwirtschaft im Kohlenstoffhaushalt. Eine Betrachtung fuer die Bundesrepublik Deutschland. Hg. v. FAO of the UN (Forstliche Forschungsberichte München, no. 126).
- Drößler, L., Lübke, B.v., 2007. Bestandesstruktur, Verjüngung und Standortfaktoren in zwei Buchenurwald-Reservaten der Slowakei. *AFJZ* 178 (7/8), 121-135.
- Eder, W., Dong, P. H., 2003. Vorläufige Referenztafeln für die Forsteinrichtung. Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Trippstadt.
- Federal Environment Agency, 2014. National Inventory Report for the German Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2012. [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/8108.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/8108.php); zuletzt geprüft am 11.12.2016
- Friedrich, S., Knauf, M., 2016. Holzbilanzen als Informationsquelle zur Holzverwendung auf Bundeslandebene am Beispiel der bayerischen Holzmarktbilanz. *Forstarchiv* 87, 79–85. doi:10.4432/0300- 4112-87-79
- Frühwald, A., Knauf, M., 2014. Carbon aspects promote building with wood. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE, Quebec, Kanada, 10–14. August 2014.

- Frühwald, A., Solberg, B., 1995. LCA – a challenge for forestry and forest products industry. EFI Proceedings No. 8. Frühwald, A., Solberg, B. (Hrsg.), Joensuu.
- Gustavsson, L., Holmberg, J., Dornburg, V., Sathre, R., Eggers, T., Mahapatra, K., Marland, G., 2007. Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. *Energy Policy* 35, 5671–5691. doi:10.1016/j.enpol.2007.05.023
- Hessenmöller, D., Schulze, E.D., Großmann, M., 2008. Bestandesentwicklung und Kohlenstoffspeicherung des Naturwaldes „Schönstedter Holz“ im Nationalpark Hainich. *Allg. Forst- u. Jagdzeitung* 179, 209-219.
- Holeksa, J., Saniga, M., Szwagrzyk, J., Dziedzic, T., Ferenc, S., Wodka, M., 2007. Altitudinal variability of stand structure and regeneration in the subalpine spruce forests of the Pol'ana biosphere reserve, Central Slovakia. *Eur J Forest Res* 126 (2), 303–313. doi:10.1007/s10342-006-0149-z.
- IEMB [Kompetenzzentrum "Kostengünstig qualitätsbewusst Bauen" im Institut für Erhaltung und Modernisierung], 2006. Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten. Berlin.
- IPCC, 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry, Hayama.
- IPCC, 2014. 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hayama.
- Jochem, D., Weimar, H., Bösch, M., Mantau, U., Dieter, M., 2015. Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. *Eur J Forest Res* 1–20. doi:10.1007/s10342-015-0896-9
- Karjalainen, T., Zimmer, B., Berg, S., Welling, J., Schwaiger, H., Finér, L., Cortijo, P., 2001. Energy, Carbon and Other Material Flows in the Life Cycle Assessment of Forestry and Forest Products. European Forest Institute Discussion Paper 10, Joensuu.
- Klein, D., Höllerl, S., Blaschke, M., Schulz, Chr., 2013. The Contribution of Managed and Unmanaged Forests to Climate Change Mitigation—A Model Approach at Stand Level for the Main Tree Species in Bavaria. *Forests* 4 (1), 43–69. doi:10.3390/f4010043.
- Klein, D., Schulz, C., 2012. Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- Knauf, M., Frühwald, A., 2013. Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz. Langfassung der Studie. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Münster.
- Knauf, M., Joosten, R., Frühwald, A., 2016. Assessing fossil fuel substitution through wood use based on long-term simulations. *Carbon Management* 7, 67–77. doi:10.1080/17583004.2016.1166427

- Knauf, M., Köhl, M., Mues, V., Olschofsky, K., Frühwald, A., 2015. Modeling the CO<sub>2</sub>-effects of forest management and wood usage on a regional basis. Carbon Balance and Management 10, 13. doi:10.1186/s13021-015-0024-7
- Knigge, W., Schulz, H., 1966. Grundriss der Forstbenutzung. Verlag Paul Parey, Hamburg-Berlin.
- Köhl, M., Frühwald, A., Kenter, B., Olschofsky, K., Köhler, R., Köthke, M., Rüter, S., Pretzsch, H., Rötzer, T., Makeschin, F., Abiy, M., Dieter, M. 2009. Potential und Dynamik der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz: Beitrag des deutschen Forst- und Holzsektors zum Klimaschutz. vTI Agric. For. Res. Sonderheft 2009, 327, 103–109.
- Köhl, M., Hildebrandt, R., Olschofsky, K., Kohler, R., Rötzer, T., Mette, T., Pretzsch, H., Koethke, M., Dieter, M., Abiy, M., Makeschin, F., Kenter, B., 2010. Combating the effects of climatic change on forests by mitigation strategies. Carbon Balance and Management 5, 8. doi:10.1186/1750-0680-5-8
- Kölbel, M. (1994). Waldkundliche Aufnahmen im Naturwaldreservat Wasserberg. LWF Wissen 10, 49-54.
- Kölbel, M. (1996). Waldkundliche Untersuchungen im Naturwaldreservat Seeben. Naturwaldreservate in Bayern 3, 55-76, Bayerische Landesanst. für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- König, A., Mössmer, R., Bäumler, A., 1995. Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur Schadenszeit. Bayerische Landesanst. für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- Korpel, S., 1992. Ergebnisse der Urwaldforschung für die Waldwirtschaft im Buchen Ökosystem. AFZ/Der Wald, 21, 1148-1152.
- Landesbetrieb Forst Baden-Württemberg (ForstBW), 2015. Aufnahmeanweisung permanente Betriebsinventur 2015.  
<https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/Service/Bekanntmachung/Seiten/ForstBW-Betriebsinventur-2015.aspx>, zuletzt geprüft am 11.12.2016
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, 2016. Holzverkäufe in NRW. Differenzierung nach Baumarten und Durchmesser. Sonderauswertung, Münster.
- Leibundgut, H., 1982. Europäische Urwälder der Bergstufe: Dargestellt für Forstleute, Naturwissenschaftler und Freunde des Waldes. Bern, Stuttgart. Verlag Paul Haupt. 308 S.
- Lembcke, G., Knapp, E., Dittmar, O., 2000. Ertragstafel für die Kiefer im Nordostdeutschen Tiefland. Landesforstanstalt Eberswalde

---

<http://forst.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.4595.de/kieferet.pdf>, zuletzt geprüft am 11.12.2016

- Lippke, B., Wilson, J., Perez-Garcia, J., Bowyer, J., Meil, J., 2004. CORRIM: Life-cycle environmental performance of renewable building materials. *Forest Products Journal* 54, 8–19.
- Lundmark, T., Bergh, J., Hofer, P., Lundström, A., Nordin, A., Poudel, B., Sathre, R., Taverna, R., Werner, F., 2014. Potential Roles of Swedish Forestry in the Context of Climate Change Mitigation. *Forests* 5, 557–578. doi:10.3390/f5040557
- Magin, R., 1959. Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. *Mitteilungen a. d. Staatsforstverwaltung Bayerns*, Heft 30, Sonderdruck, München, 161 S.
- Mantau, U., Bilitewski, B., 2010. Stoffstrom-Modell-Holz. Bestimmung des Aufkommens, der Verwendung und des Verbleibs von Holzprodukten. Forschungsbericht für den Verband Deutscher Papierfabriken e. V. (VDP), Celle.
- Mayer, H., Neumann, M., 1981. Struktureller und entwicklungsdynamischer Vergleich der Fichten-Tannen-Buchen-Urwälder Rothwald/Niederösterreich und Corkova Uvala/Kroatien. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100, S. 111–132.
- Meyer, P., 1999. Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse. *Forstwiss- Cbl.* 118, S. 167–180.
- Meyer, P., Menge, N., Nagel, J., Hansen, J., Kwaletz, H., Paar, U., Evers, J., 2009. Entwicklung eines Managementmoduls für Totholz im Forstbetrieb. Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts.
- Müller-Using, S., Bartsch, N., 2009. Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *European Journal of Forest Research* 128, S. 287–296.
- Mund, M., Frischbier, N., Profft, I., Raacke, J., Richter, F., 2015. Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen. BfN-Skripten 396. Bundesamt für den Naturschutz (Hrsg.), Bonn.
- Næsset, E., 1999. Decomposition rate constants of *Picea abies* logs in southeastern Norway. *Can. J. For. Res.* 29 (3), 372–381.
- Olajuyigbe, S. O., Tobin, B., Gardiner, P., Nieuwenhuis, M., 2011. Stocks and decay dynamics of above- and belowground coarse woody debris in managed Sitka spruce forests in Ireland. *Forest Ecology and Management* 262 (6), 1109–1118. doi:10.1016/j.foreco.2011.06.010.

- Petritan, A. M., Biris, I. A., Merce, O., Turcu, D. O., Petritan, I. C. 2012. Structure and diversity of a natural temperate sessile oak (*Quercus petraea* L.) – European Beech (*Fagus sylvatica* L.) forest. *Forest Ecology and Management* 280, 140–149. doi:10.1016/j.foreco.2012.06.007.
- Pretzsch, H. J., 2004. Gesetzmäßigkeit zwischen Bestandesdichte und Zuwachs. Lösungsansatz am Beispiel von Reinbeständen aus Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 175. Jg. 12
- Puettmann, M. E., Wilson, J. B., 2005. Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. *Wood and Fiber Science* 37, 18–29.
- Reijnders, L., 2006. Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. *Energy Policy* 34, 863–876. doi:10.1016/j.enpol.2004.09.001
- Rock, J., Badeck, Fr.-W., Harmon, M. E., 2008. Estimating decomposition rate constants for European tree species from literature sources. *Eur J Forest Res* 127 (4), 301–313.  
doi:10.1007/s10342-008-0206-x.s
- Saniga, M., Schütz, J. Ph, 2001a. Dynamik des Totholzes in zwei gemischten Urwäldern der Westkarpaten im pflanzengeographischen Bereich der Tannen-Buchen- und der Buchenwälder in verschiedenen Entwicklungsstadien. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 152 (10), S. 407–416.
- Saniga, M., Schütz, J. Ph, 2001b. Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle. *J. For. Sci* 47 (12), 557–565.
- Sathre, R., Gustavsson, L., 2009. A state-of-the-art review of energy and climate effects of wood product substitution. *School of Technology and Design Reports* 57, University Växjö, Växjö.
- Sathre, R., O'Connor, J., 2010. A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts, 2nd Edition. *FPIInnovations*, Vancouver.
- Schober, R., 1975: *Ertragstabeln wichtiger Baumarten*. Sauerländer, Frankfurt a.M.
- Smith, A. C., Bhatti, J. S., Chen, H., Harmon, M. E., Arp, P. A., 2011. Modelling above- and below-ground mass loss and N dynamics in wooden dowels (LIDET) placed across North and Central America biomes at the decadal time scale. *Ecological Modelling* 222 (14), 2276–2290.  
doi:10.1016/j.ecolmodel.2010.09.018.
- Statistisches Bundesamt, 2015. *Wald und Holz – Durch Schäden verursachter Holzeinschlag nach Einschlagsursache und Waldeigentumsarten 2014*. Wiesbaden.  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/Wal>

- 
- dundHolz/Tabellen/HolzeinschlagUrsachen.html, zuletzt aktualisiert 2015, zuletzt geprüft am 01.11.2016.
- Straußberger, R., 2004. Buchen-Naturwaldreservate – Perlen im Oberpfälzer Wald. LWF Wissen 43, 47-77.
- Svoboda, M., Pouska, V., 2008. Structure of a Central-European mountain spruce old-growth forest with respect to historical development. *Forest Ecology and Management* 255 (7), 2177–2188. doi:10.1016/j.foreco.2007.12.031.
- Tabaku, V., Meyer, P., 1999. Lückenmuster albanischer und mitteleuropäischer Buchenwälder unterschiedlicher Nutzungsintensität. *Forstarchiv* 70, 87-97.
- Taverna, R., Hofer, P., Werner, F., Kaufmann, E., Thürig, E., 2007. The CO<sub>2</sub> Effects of the Swiss Forestry and Timber Industry. Scenarios of future potential for climate-change mitigation, Bern.
- Trotsiuk, V., Hobi, M.L., Commarmot, B., 2012. Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). In: *Forest Ecology and Management* 265, 181–190. doi:10.1016/j.foreco.2011.10.042.
- Umweltbundesamt, 2013. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2011, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt, 2014. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2012, Dessau-Roßlau.
- Umweltbundesamt, 2016. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2016. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2014, Dessau-Roßlau.
- UNECE, 2012. UNECE Statistical Database. Forestry (FOREST EUROPE/UNECE/FAO), Forest Health and Vitality, Forest Damage (Indicator 2.4).  
[http://w3.unece.org/PXWeb2015/pxweb/en/STAT/STAT\\_\\_26-TMSTATI\\_\\_020-TM15\\_HVI](http://w3.unece.org/PXWeb2015/pxweb/en/STAT/STAT__26-TMSTATI__020-TM15_HVI), zuletzt geprüft am 19.12.2016.
- UNFCCC, 2010. Ad Hoc Working Group on further Commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol, Consideration of further commitments for Annex I Parties under the Kyoto Protocol. Revised Proposal by the Chair. FCCC/KP/AWG/2010/CRP.4/Rev.4., Cancun.
- UNFCCC, 2011. Synthesis report of the technical assessments of the forest management reference level submissions. Note by the secretariat, Durban.
-



- Wilson, J. B., Sakimoto, E. T., 2005. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood plywood production. *Wood and Fiber Science* 37, 58–73.
- Winistorfer, P., Chen, Z., Lippke, B., Stevens, N., 2005. Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions Related to the Use, Maintenance, and Disposal of a Residential Structure. *Wood and Fiber Science* 37, 128–139.
- Wördehoff, R., Spellmann, H., Evers, J., Nagel, J., 2011. Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Band 6, Göttingen.
- Zielonka, T., 2006. Quantity and decay stages of coarse woody debris in old-growth subalpine spruce forests of the western Carpathians, Poland. In: *Can. J. For. Res.* 36 (10), 2614–2622.  
doi:10.1139/X06-149.

## 9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### 9.1 Abbildungen

Abbildung 1	Grundsätzliche Vorgehensweise des Projekts BEKLIFUH.....	8
Abbildung 2	Darstellung der Vorbereitung von Bestandesdaten in einer MS Excel Tabelle.....	14
Abbildung 3	Darstellung der Vorbereitung von Baumdaten aus Stichproben in einer MS Excel Tabelle	16
Abbildung 4	Darstellung der Vorbereitung von Holzerntemengen in einer MS Excel Tabelle .....	19
Abbildung 5	Herleitung des Bestockungsgradfaktors zur Reduktion des laufenden jährlichen Zuwachses nach Ertragstafelwerten; $B_{\text{grad}} = \text{Math.Max}(-0.6055 * B_{\text{grad}}^2 + 1.7781 * B_{\text{grad}} - 0.1702, 0.0015)$ .....	48
Abbildung 6	Verlauf einer Endnutzungsphase von 10 Jahren; dargestellt sind links der Vorrat [Vfm] und rechts die Holzerntemenge [Vfm]; die Intensität des Einschlags steigt leicht an und verliert vor der Räumung etwas an Intensität; im letzten Jahr erfolgt die Räumung des Restbestandes..	51
Abbildung 7	Gegenüberstellung von linearem und logarithmischem Zerfall mit paarweisen Werten, die jeweils 30% Restmenge ungefähr nach gleicher Zeitspanne erreichen. ....	57
Abbildung 8	Das Prinzip der Zuordnung der Holzerntemengen als Ergebnis der waldbaulichen Simulation zu den für die Bewertung der Kohlenstoffeffekte relevanten Verwendungen (Darstellung in Anlehnung an das Holzverwendungsmodell für Bayern in Friedrich und Knauf, 2016)	62
Abbildung 9	Verwendungsmatrix in BEKLIFUH .....	65

## 9.2 Bildschirmansichten

Bildschirmansicht 1	Startbildschirm .....	23
Bildschirmansicht 2	Bestehende Konfiguration laden und Dokumentation der Baumartgruppen.....	24
Bildschirmansicht 3	Eingabe der Inventurdateien im CSV-Format .....	25
Bildschirmansicht 4	Vorschaufenster im Verlauf der Dateneingabe.....	25
Bildschirmansicht 5	Volumina der zweiten Inventur im Fall von wechselnden Inventurarten mit Option b) .....	26
Bildschirmansicht 6	Eingabe der erwarteten Zuwachsleistung der Baumartgruppen im Fall der Option c) zur <i>EinInventur</i> .....	27
Bildschirmansicht 7	Holzerntemengen: Datei im CSV-Format.....	28
Bildschirmansicht 8	Endjahr der Simulation .....	28
Bildschirmansicht 9	Definition von Baumartwechsel nach Endnutzung.....	29
Bildschirmansicht 10	Kombinationsszenarien.....	30
Bildschirmansicht 11	Konfiguration der Holzverwendung während der Anpassung eines Wertes ..	31
Bildschirmansicht 12	Eingabe der Benutzerdaten .....	32
Bildschirmansicht 13	Abschluss Dateneingabe .....	33
Bildschirmansicht 14	Expertenmodus – Register I zur Szenariendefinition.....	34
Bildschirmansicht 15	Expertenmodus – Register II zu Parametern der Baumartgruppen.....	35
Bildschirmansicht 16	Expertenmodus – Register III zu Simulationsparametern.....	37

### 9.3 Tabellen

Tabelle 1	Baumartgruppen gemäß Standardeinstellung .....	12
Tabelle 2	Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Bestandesinventuren.....	15
Tabelle 3	Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Stichprobeninventuren und der Eingabe von ermittelten Baumdaten .....	17
Tabelle 4	Variablen der Dateien zur Eingabe von Informationen aus Stichprobeninventuren und der Eingabe von ermittelten Baumdaten .....	20
Tabelle 5	Ertragstafeln im BEKLIFUH-Softwaretool mit Alter des Eintritts des maximalen durchschnittlichen Gesamtzuwachses (nach Schober, 1975) .....	46
Tabelle 6	Übersicht zu Untersuchungen in Naturwäldern aus dem Europäischen Raum (aus Klein und Schulz, 2012) .....	52
Tabelle 7	Zusätzliche Untersuchungen zu Vorräten in Naturwäldern Europas und beobachtete Vorräte .....	53
Tabelle 8	Halbwertszeiten einiger Zerfallsraten für die Verwendung in logarithmischem Abbau – wie im BEKLIFUH-Softwaretool – oder bei linearem Abbau.....	57
Tabelle 9	Nach Literatúrauswertungen und generellen Abwägungen zur Zusammensetzung der Totholzmasse gesetzte Standardwerte der logarithmischen Zerfallsraten für oberirdische tote Biomasse mit entsprechenden Halbwertszeiten; der Anwender kann abweichende Einstellungen im Expertenmodus treffen (s. Bildschirmansicht 15).....	58
Tabelle 10	Zusammenstellung von Zerfallsraten für oberirdische tote Biomasse in der Literatur; die hier abgedruckten Zerfallsraten entsprechen dem Anteil der in einem bestimmten Jahr anfallenden Totholzmenge x, der bis zum vollständigen Abbau jährlich abgebaut wird. ....	58
Tabelle 11	Rindenanteil pro Baumartgruppe nach Knigge und Schulz (1966) und Raumdichten nach Kollmann 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013) .....	59
Tabelle 12	Expansionsfaktoren von Derbholzvolumen zu oberirdischer Biomasse hergeleitet aus den Tabellen 262 und 263 des Deutschen Reports zur Treibhausgasberichterstattung 2014 (Umweltbundesamt, 2014) und den Derbholz- und Astholzdichten nach Kollmann 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013).....	60

---

Tabelle 13	Konversionsfaktoren für die Bestimmung von unterirdischer Biomasse aus oberirdischer Biomasse nach den Tabellen 262 und 263 des Deutschen Reports zur Treibhausgasberichterstattung 2014 (Umweltbundesamt, 2014) und den Derbholz- und Astholzdichten nach Kollmann, 1951/1982 (zitiert in Umweltbundesamt, 2013).....	60
Tabelle 14	Produktgruppen mit den zugehörigen spezifischen Produktlebensdauern und Substitutionsfaktoren .....	64