

# Kohlenstoffbindung und Nährstoffentzüge in Abhängigkeit der Nutzungsstrategie

---

*Jürgen Nagel und René Wördehoff  
Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum, Göttingen*

## 1 Einleitung

Die stark gestiegenen und hohen Treibhausgasemissionen unserer Gesellschaft werden für die Klimaänderungen verantwortlich gemacht. Der Klimaschutzplan der Bundesrepublik sieht eine starke Reduktion der Emissionen vor. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, soll auch die Kohlenstoffbindung durch den Wald erhöht werden. Dafür wird einerseits die Forderung gestellt, die Holzvorräte und damit die Kohlenstoffmenge, welche im lebenden Bestand gebunden ist, zu erhöhen. Andererseits fordern viele eine intensive Holznutzung, um mehr Kohlenstoff in Holzprodukten zu speichern und gleichzeitig mit diesen energieintensiver herzustellende und emissionsreiche Produkte durch Holz zu ersetzen.

In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob eine Zielstärkennutzung in einem alten Buchenbestand eine höhere Kohlenstoffspeicherung bedeutet, oder es etwa aus Klimaschutzgründen besser wäre, den Bestand nicht zu nutzen.

## 2 Methodik

Um der Fragestellung nachzugehen, wurde für die Untersuchung eine typische alte Buchen-Versuchsfläche aus dem Fundus der NW-FVA ausgewählt. Es handelt sich um die Versuchsparzelle 6 aus dem Forstamt Saarforst und die Aufnahme von 1983. Die Buchenparzelle hat zu dem Zeitpunkt ein Alter von 140 Jahren, eine Oberhöhe von 37 m bei einer Grundfläche von 31 m<sup>2</sup>/ha und wurde vorher niederdurchforstungsartig behandelt.

Es galt nun zu prüfen, ob die Nichtnutzung oder eine konsequente Zielstärkennutzung und gleichzeitige Verjüngung der Parzelle eine höhere Klimaschutzleistung bedeutet. Dabei sollten für die Zielstärkennutzung zwei Entnahmevarianten verglichen werden. Zum einen eine reine Nutzung von Stammholz und Industrieholzsortimenten, zum anderen zusätzlich eine Restholznutzung für energetische Zwecke. Als Zeitrahmen wurden hier 70 Jahre vorgegeben, um die langfristigen Effekte darstellen zu können.

Zur Beschreibung der Waldentwicklung wurde der ForestSimulator der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in der neuesten Version 7.9 verwendet. Der ForestSimulator besteht aus einem semi-positionshängigen Einzelbaumwachstumsmodell und Funktionen zur Schätzung von Mortalität und Einwuchs (HANSEN und NAGEL 2014). Zusätzlich verfügt er über ein Set waldbaulicher Routinen, die sich zu Behandlungsketten zur automatisierten Umsetzung von Waldbauprogrammen kombinieren lassen (HANSEN und NAGEL 2016). Für die abschließende Bewertung der Fragestellung stehen Routinen zur Sortierung, der Berechnung von Biomassen und Nährstoffen zur Verfügung.

Um die Speicherung des Kohlenstoffs in Holzprodukten und die Substitutionsleistung durch die Verwendung des Werkstoffes Holz als Ersatz für andere Stoffe wie Stahl, Kunststoff etc. abbilden zu können, wurde für den ForestSimulator ein neues Modul mit dem Holzverwendungsmodell nach WÖRDEHOFF (2016) programmiert und verwendet.

### 3 Berechnung

#### 3.1 Wachstumssimulation

Beide Simulationsläufe basieren auf derselben Ausgangssituation. Für die Nichtnutzungsvariante wurde der Bestand ohne Eingriffe fortgeschrieben. Für die Zielstärkennutzung wurden 120 Z-Bäume bestimmt und die Zielstärke auf 65 cm festgelegt. In der Simulation wurde der Algorithmus für strikte Zielstärkennutzung angewandt, das bedeutet, dass nur die Bäume entnommen werden, die die Zielstärke überschreiten. Darüber hinaus wurde die maximale Erntemenge auf 100 m<sup>3</sup>/ha begrenzt. Diese Einstellungen führen zu einem relativ langen Verjüngungszeitraum. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis der beiden Simulationsläufe über den Zeitraum von 70 Jahren. Bei der Nullnutzung sind alle Bäume des herrschenden Bestands erhalten geblieben, wobei die Grundfläche auf 57 m<sup>2</sup>/ha angestiegen ist und damit nah an der maximalen Grundfläche liegt. Bei der Zielstärkennutzung wurden sukzessive alle Bäume des Oberstands gerntet. Der Bestand hat sich zum Ende des 70-jährigen Zeitraums verjüngt und erreicht eine Grundfläche von 16 m<sup>2</sup>/ha.

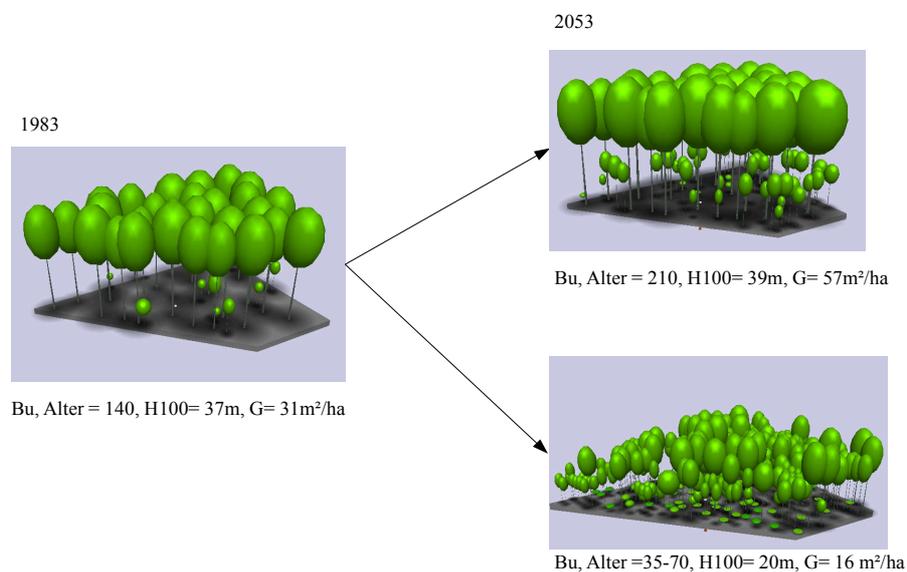


Abb. 1: Wachstumssimulation des 140-jährigen Buchenaltbestands und die beiden Zustände nach 70 Jahren bei unterschiedlicher Behandlung

#### 3.2 Sortimentierung

Der Waldwachstumssimulator enthält ein Sortimentierungsmodul mit dem alle Bäume (entnommene und verbleibende) sortimentiert werden können. Das Modul verwendet für die Buche die Schaftformfunktion von SCHMIDT (2001) in Kombination mit der Volumenfunktion für Buche (BERGEL 1973). Tabelle 1 zeigt die Einstellungen für die Sortimentierung. Im ForestSimulator wird die Aushaltung der Sortimente in der vorgegebenen Reihenfolge geprüft und sofern alle Vorgaben zutreffend sind, ausgeführt. Zusätzlich kann jedes Sortiment einer Holzproduktklasse zugeordnet werden, was später für die Kohlenstoffberechnung von Bedeutung ist. Wobei sich die Holzproduktklassen über Hauptprodukte, mittlere Lebensdauern und Abbauraten definieren (Tab. 2). Das Programm liefert nach der Sortimentierung eine Liste mit allen Sortimenten, die dann entsprechend nach ausscheidendem und lebendem Bestand sortiert und zusammengerechnet werden kann.

**Tabelle 1:** Verwendete Sortimente (Entnahmeszenario S = nur Sortimente, V = Vollbaum; kleiner Buchstabe = Material verbleibt im Bestand, großer Buchstabe = wird entnommen)

Sortiment	Szenario	Länge [m]	Mittendurchmesser [cm]	Zopf [cm]	Häufigkeit	Zugabe [%]	Produktklasse
Stubben	s,v	0,3	> 7	> 7	einfach	-	-
Stammholz	S,V	4,5 - 18	> 40	> 35	einfach	5	4
Industrieh. kurz	S,V	3	> 12	> 12	mehrfach	-	3
Restholz	s,V	1 - 18	> 7	> 7	einfach	-	1
Zweige, Reisig	s,V	-	< 7	< 7	-	-	1

**Tabelle 2:** Aufstellung der Produktklassen mit den entsprechenden mittleren Lebensdauern, Zersetzungskonstanten, ihren Hauptprodukten und der voreingestellten Substitution (verändert nach WÖRDEHOFF (2016), Substitutionsfaktoren nach KNAUF et al. 2013)

Produktklasse		Zersetzungskonstante	Hauptprodukte	Substitution
Produkte mit	langer Lebensdauer	0.02	Bau-, Konstruktionsholz	stofflich (1,5 t C/t C)
	mittlerer Lebensdauer	0.039	Holzwerkstoffe, Furniere, Möbel	
	kurzer Lebensdauer	0,32	Papier, Pappe, Kartonagen	energetisch (0,67 t C/t C)
Energieholz		0,7	Brennholz, Pellets	

### 3.3 Biomasse und Nährstoffe

Das Biomasse- und Nährstoffmodul setzt auf die Sortierung auf. Es enthält Biomassefunktionen und Nährstoffkonzentrationen, die in dem Projekt EnNa<sup>1</sup> mit einem deutschlandweiten Datensatz erarbeitet wurden. Für die Biomasse und die Nährstoffkonzentrationen werden die Kompartimente Stubben, Holz und Reisig ausgehalten. Es wird angenommen, dass alle Entnahmen in der vegetationslosen Zeit stattfinden und deshalb die Laubmasse vernachlässigt werden kann. Für die Berechnung der Biomasse der Einzelsortimente wird der Volumenanteil am Gesamtvolumen auf die Biomasse übertragen.

### 3.4 Kohlenstoffspeicher

Für die Berechnung der Kohlenstoffspeicherleistung der oberirdischen Baumbiomasse werden folgende Speicher berechnet:

- Bodenbiomasse: Stubben, Restholz und Reisig der entnommenen und abgestorbenen Bäume (sofern nicht genutzt)
- Stehender Bestand: Kohlenstoff aller lebenden Bäume
- Speicher P1: Energieholz
- Speicher P2: kurzlebige Holzprodukte
- Speicher P3: mittellebige Holzprodukte
- Speicher P4: langlebige Holzprodukten
- Substitution: Kohlenstoffeinsparung durch den Einsatz von Holz anstelle anderer Materialien

Jedes entnommene Sortiment wird entsprechend seiner Holzproduktklasse den Produktspeichern P1 bis P4 zugeordnet (Tab. 2). Bei der Herstellung von beispielsweise Bauholz fallen Sägenebenprodukte an, welche anderweitig verwendet werden (Koppelnutzung). Diesem Umstand wird im entwickelten Kohlenstoffmodul mittels frei wählbarer Verteilungsfaktoren (Tab. 3) Rechnung getragen. Sie ordnen die Nebenprodukte, die bei der Herstellung eines Produktes einer bestimmten Kategorie entstehen,

<sup>1</sup> Projekt Energieholzernte und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa) gefördert durch die FNR (FKZ: 22020212)

den anderen Kategorien zu. Der Kohlenstoff aus einem Stammholzstück der Produktklasse 4 wird bei der Verarbeitung demnach zu 64 % dem langlebigen, zu 15 % dem mittellebigen und zu 5 % dem kurzlebigen Holzproduktspeicher zugeordnet, 16 % fallen dem Speicher Energieholz zu. Jedes Mal, wenn einer dieser Speicher befüllt wird, fällt zudem eine Substitutionsleistung an, die im Substitutionspeicher addiert wird. Dabei werden je nach Holzproduktklasse andere Substitutionsleistungen unterstellt (Tab. 2). Im Simulationsverlauf bauen sich die Holzprodukte ab. Der dabei freiwerdende Anteil kann in gewissem Umfang zur Herstellung eines anderen Holzproduktes genutzt werden (Kaskadennutzung), sofern es sich nicht um Energieholz handelt. Denn die energetisch Holznutzung stellt einen Systemverlust und somit eine Quelle für Kohlenstoff dar. Der prozentuale Anteil der verbliebenen Kohlenstoffmenge  $rc$  lässt sich nach der Formel 1 berechnen,

$$(1) \quad rc = 100 \cdot e^{(-\text{Zersetzungskonstante} \cdot \text{Zeit})}$$

wobei sich die Abbauraten für die Speicher unterscheiden (Tab. 2) und unter Zeit die Zeitspanne zu verstehen ist, die seit dem Einstellen des Kohlenstoffs in den Speicher vergangen ist. Der Abbau des Kohlenstoffs in den Speichern wird im Modul des ForestSimulators in 5-jährigen Schritten berechnet. Der freiwerdende Kohlenstoff wird anschließend im Sinne der Kaskadennutzung teilweise erneut in die Speicher eingestellt (Tab. 4). Dabei fällt eine erneute Substitutionsleistung an, die dem Substitutionspeicher hinzu addiert wird. Die Kaskadennutzung wird beendet, wenn die Masse freigesetzten Kohlenstoffs kleiner als 0,5 kg ist oder es sich um Energieholz handelt.

**Tabelle 3:** Aufteilung des Kohlenstoffs der Holzsortimente auf die Speicher P1 bis P4 in Abhängigkeit der zugewiesenen Produktklasse (Verteilungsfaktoren [%])

Produktklasse	P1 - Energie	P2 - kurzlebige	P3 - mittellebige	P4 - langlebige
1	100	0	0	0
2	4	96	0	0
3	5	35	60	0
4	16	5	15	64

**Tabelle 4:** Aufteilung des freigesetzten Kohlenstoffs aus den Produktspeichern bei einer Mehrfachnutzung (Kaskadierungsfaktoren [%])

Freigesetzter Kohlenstoff aus Speicher	P1 - Energie	P2 - kurzlebige	P3 - mittellebige	P4 - langlebige
P1	0	0	0	0
P2	90	10	0	0
P3	35	45	20	0
P4	33	0	67	64

In der Tabelle 5 ist die Verteilung des Kohlenstoffs auf die Speicher, der Abbau der Speicher und die Substitutionsleistung für ein Stammholzstück der Produktklasse 4 mit einem Anfangswert von 200 kg Kohlenstoff veranschaulicht.

**Tabelle 5:** Speicherbelegung für ein Buchenholzsortiment der Produktklasse 4 mit 200 kg Kohlenstoff [kg C] für verschiedene Zeitpunkte

Jahre nach Holznutzung	P1 – Energie [kg C]	P2 – kurzlebige [kg C]	P3 – mittellebige [kg C]	P4 – langlebige [kg C]	Substitution [kg C]	Summe [kg C]
0	32	10	30	128	265	465
20	6	2	36	86	345	475
40	2	1	30	58	388	479
60	1	0	22	39	412	474

Die 200 kg Kohlenstoff aus der Produktklasse 4 werden zunächst entsprechend Tabelle 3 auf die Speicher verteilt. Dabei fällt bereits eine Substitutionsleistung von 265 kg an. Nach 20 Jahren erhöht sich die Substitutionsleistung auf 345 kg durch die erneute Verwendung des Holzes aus den Produktklassen 3 und 4. Nach 60 Jahren sind nur noch ca. 39 bzw. 22 kg Kohlenstoff in den Speichern 4 und 3 vorhanden. Die Substitutionsleistung ist nach 60 Jahren mehr als doppelt so hoch, wie der Kohlenstoffvorrat des eingesetzten Sortiments. Für die Betrachtung der Gesamtspeicher scheint es ein Optimum zu geben.

## 4 Ergebnisse

Die zwei Simulationsvarianten des 140-jährigen Buchenaltbestands wurden nach dem oben beschriebenen Verfahren berechnet, wobei zum einen eine reine Sortimentsnutzung und zum anderen eine Vollbaumnutzung unterstellt wurde. In Tabelle 6 ist die Belegung der Speicher zu Simulationsbeginn sowie nach 35 und 70 Jahren angegeben.

**Tabelle 6:** Speicherbelegungen für den simulierten Buchenaltbestand. Alle Angaben in t C/ha.

	Liegend	Stehend	Substitution	Prodkl. 1	Prodkl. 2	Prodkl. 3	Prodkl. 4	Summe C
<b>1983</b>								
Nullvariante	0.1	183.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	184
Sortimente	4.3	147.0	42.1	4.4	4.0	8.5	15.8	226
Vollbaum	0.6	147.0	44.6	8.0	4.0	8.5	15.8	229
<b>2018</b>								
Nullvariante	0.4	293.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294
Sortimente	26.1	24.5	347.1	11.8	6.5	44.9	66.9	528
Vollbaum	3.5	24.5	362.2	13.7	6.5	44.9	66.9	522
<b>2053</b>								
Nullvariante	1.8	392.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	394
Sortimente	37.4	49.2	482.8	5.3	3.1	31.7	40.0	650
Vollbaum	4.4	49.2	504.9	7.2	3.1	31.7	40.0	641

Es zeigt sich, dass die Summe aller betrachteten Speicher zu den drei Zeitpunkten bei der Variante Zielstärkennutzung (Sortimente und Vollbaum) deutlich höher ist als die für die ungenutzte Nullvariante. Die Vollbaumnutzung schneidet im Verhältnis zur reinen Sortimentsnutzung geringfügig schlechter ab. Der Grund dafür ist, das Kronenmaterial und Restholz der Klasse Energieholz zugeordnet werden und diese Holzproduktklasse einen geringen Substitutionsfaktor hat, während der Kohlenstoff des Kronenmaterials bei der Sortimentsnutzung voll dem liegenden Speicher zugerechnet und im Rahmen dieser Untersuchung nicht zersetzt wird.

Um die Auswirkungen der Substitutionsfaktoren deutlich zu machen, wurde dieselbe Berechnung mit halbierten Faktoren (0,33 und 0,75 tC/tC) durchgeführt (Tab. 7). Selbst bei diesen geringen Substitutionsfaktoren schneidet die Sortimentsnutzung noch besser ab, als würde man den Bestand nicht nutzen. Allerdings liegen beide Varianten nach 70 Jahren sehr nahe bei einander.

In Tabelle 8 sind die Biomassen und Nährstoffentzüge für die beiden Nutzungsvarianten dargestellt. Mit einer konsequenten Vollbaumnutzung lässt sich eine etwa 14 % höhere Biomasse über den Betrachtungszeitraum erzielen als bei der Sortimentsnutzung. Diese steht aber einer erheblich höheren Nährstoffentnahme gegenüber, welche bei Phosphor, einem essenziellen Nährstoff für die Pflanzenernährung und -gesundheit, um 44 % höher ist als bei der Sortimentsnutzung.

**Tabelle 7:** Speicherbegungen für den simulierten Buchenaltbestands mit halbierten Substitutionsfaktoren. Alle Angaben in t C/ha.

	Liegend	Stehend	Substitution	Prodkl. 1	Prodkl. 2	Prodkl. 3	Prodkl. 4	Summe C
<b>1983</b>								
Nullvariante	0.1	183.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	184
Sortimente	4.3	147	21	4.4	4	8.5	15.8	205
Vollbaum	0.6	147	22.2	8	4	8.5	15.8	206
<b>2018</b>								
Nullvariante	0.4	293.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	294
Sortimente	26.1	24.5	172.9	11.8	6.5	44.9	66.9	354
Vollbaum	3.5	24.5	180.4	13.7	6.5	44.9	66.9	340
<b>2053</b>								
Nullvariante	1.8	392.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	394
Sortimente	37.4	49.2	240.4	5.3	3.1	31.7	40	407
Vollbaum	4.4	49.2	251.3	7.2	3.1	31.7	40	387

**Tabelle 8:** Vergleich der Nährstoffentzüge bei Sortiments- und Vollbaumnutzung am Ende der Simulation

	Biomasse	C	N	S	P	K	Ca	Mg
	t/ha	t/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
Stehend	103	49	245	19	21	150	253	38
liegend	80	38	302	24	28	139	270	33
Sortimente	482	231	819	59	62	638	928	168
liegend	9	4	16	1	1	12	18	3
Vollbaum	552	264	1105	82	89	765	1180	197
Differenz%	14.6	14.5	34.9	39.5	43.9	19.9	27.2	17.8

## 5 Diskussion

Die Simulation und die Berechnung verschiedener Kohlenstoffspeicher sowie der Nährstoffexporte lässt sich mit dem ForestSimulator 7.9 durchführen. Alle Parameter des neuen Kohlenstoffmoduls lassen sich baumartenweise auch ohne Programmierkenntnisse verändern. Dazu muss lediglich eine xml-Datei editiert werden. Dies gilt auch für die Biomassefunktionen und Nährstoffkonzentration.

Die simulierte Waldentwicklung für die ungenutzte Variante ist sicherlich sehr optimistisch, weil keine Altbuchen im Oberstand abgestorben sind. Insofern ist diese Variante für die Befürworter eines Nutzungsverzichts in alten Buchenbeständen als eher günstig einzustufen. Bei der per Zielstärke genutzten Variante ergibt sich ein sehr langer Verjüngungszeitraum, der in der Realität eher verkürzt werden würde. Dies hängt mit der Beschränkung der maximalen Eingriffsstärke pro 5 Jahre von 100 m<sup>3</sup>/ha und der strikten Zielstärkennutzung von nur Bäumen über 65 cm zusammen. Nach 70 Jahren ist der Bestand verjüngt und weist eine Grundfläche von 16 m<sup>2</sup>/ha auf. Unter normalen Bedingungen würde man bei einem kürzerem Verjüngungszeitraum eine höhere Grundfläche erwarten. Hält man bei der Nutzungsvariante Stammholz und Industrieholz aus, so ergibt sich unter Berücksichtigung des Holzverwendungsmodell in der Summe eine deutlich höhere Kohlenstoffspeicherung, als wenn der Bestand nicht genutzt wird. Die Vollbaumnutzung schneidet geringfügig schlechter als die Nutzungsvariante ab, weil das Restholz und die Kronenbiomasse nur energetisch genutzt werden können. Der Kaskadennutzungseffekt liegt über den 70-jährigen Zeitraum betrachtet bei einem Faktor von über 2, obwohl nur ein Teil des Stamm- und Industrieholzes in die beiden höheren Produktklassen fallen und für diese ein Substitutionsfaktor von 1,5 angenommen wurde. Hier kommt das enorme Potenzial der Kaskadennutzung zum Ausdruck, die wie eine Art Zinseszinsseffekt wirkt. Gegen die Vollbaumnutzung sprechen neben der et-

was geringeren Klimaschutzleistung vor allem die höheren Nährstoffexporte. Am Ende des Betrachtungszeitraums zeigt der verjüngte Bestand einen Zuwachs und damit eine Kohlenstoffbindungsrate, die über der des ungenutzten liegt. Darüber hinaus werden in Zukunft in der ungenutzten Variante Bäume des Oberstands absterben, wobei deren Holzmasse über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten zersetzt und ein Teil des gebundenen Kohlenstoffs freigesetzt wird.

## 6 Zusammenfassung

Die Frage, ob eine alter Buchenbestand aus Klimaschutzgründen besser genutzt oder nicht genutzt werden sollte, wurde mit dem ForestSimulator untersucht. Dafür wurde dieser um ein neues Kohlenstoffmodul mit integriertem Holzverwendungsmodell erweitert. Auf Basis der Untersuchung lassen sich folgenden Aussagen treffen:

1. Durch die Nutzung eines alten Buchenbestand kann langfristig erheblich mehr Kohlenstoff gespeichert werden als bei Nichtnutzung.
2. Die Kaskadennutzung von Holz führt zu erheblichen Substitutionseffekten.
3. Die reine Sortimentsnutzung zeigt eine etwas höhere Klimaschutzleistung als die Vollbaumnutzung.
4. Bei der Vollbaumnutzung werden unverhältnismäßig mehr Nährstoffe entnommen.
5. Nach der Verjüngung des Altbestands leistet dieser einen höheren Zuwachs und kann mehr Kohlenstoff binden als der ungenutzte Altbestand, in dem eine erhöhte Mortalität zu erwarten ist.

## 7 Literatur

- BERGEL, D. (1973): Formzahluntersuchungen an Buche, Fichte, europäischer Lärche und japanischer Lärche zur Aufstellung neuer Massentafeln. *Allg. Forst- u. J. Ztg.* 144 (5/6), 117-124
- HANSEN, J. und NAGEL, J. (2014): Wachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. *Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 11.* Universitätsverlag Göttingen. 224 S.
- HANSEN, J. und NAGEL, J. (2016): Das Paket Silviculture für die automatisierte Simulation waldbaulicher Szenarien. In: Kohnle, U.; Klädtke, J. (Hrsg.): *Tagungsbericht der Jahrestagung 2016 der Sektion Ertragskunde im DVFFA vom 09.-11.05.2016 in Lyss/Schweiz.* 66-76
- KNAUF, M.; FRÜHWALD, A.; KÖHL, M. (2013): *Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz.* Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, Münster. 200 S.
- SCHMIDT, M. (2001): *Prognosemodelle für ausgewählte Holzqualitätsmerkmale wichtiger Baumarten.* Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August Universität Göttingen. 309 S.
- WÖRDEHOFF, R. (2016): *Kohlenstoffspeicherung als Teilziel der strategischen Waldbauplanung erläutert an Reinbeständen verschiedener Baumarten in Niedersachsen.* Dissertation, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August Universität Göttingen. 191 S.