

Simulation verschiedener Waldentwicklungsszenarien

Simulation of forest management strategies

Sven Hentschel

Zusammenfassung

Für das Einzugsgebiet der Oker im Nordharz wurden verschiedene Waldentwicklungsszenarien mit dem Softwaresystem *WaldPlaner* (HANSEN 2006) für die Periode von 2003 bis 2053 simuliert. Die Simulationsumgebung des statistischen, einzelbaumbasierten Waldwachstumsmodells beinhaltet einen Szenariomanager, mit dem vordefinierte Waldbehandlungsstrategien umgesetzt werden können.

Im Rahmen der vorliegenden Studie kamen vier verschiedene waldbauliche Behandlungsstrategien zur Anwendung: „naturnaher“ Waldbau im Anhalt an die Richtlinien der Niedersächsischen Landesforsten (LÖWE), „ertragsorientierter“ Waldbau (ERTRAG), Waldbau unter Berücksichtigung der potenziell natürlichen Vegetation (PNV) und „naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS). Diese Strategien unterscheiden sich im Wesentlichen in den jeweils zugrunde liegenden Durchforstungs- und Holzernteregimen und der damit verbundenen szenarioabhängigen Baumartenwahl.

Für die verschiedenen Szenariosimulationen wurden die Entwicklung der Holzvorräte, der mittleren Durchmesser, des jährlichen periodischen Zuwachses, der ausscheidenden Volumina und der Baumartenzusammensetzung ausgewertet.

Dabei zeigt sich, dass bis auf die „naturschutzorientierte“ Variante (PROZESS), bei der die Baumartenanteile weitgehend konstant bleiben, ein teilweise deutlicher Rückgang der Fichtenanteile vor allem zugunsten der Buche zu beobachten ist. Am deutlichsten zeigt sich diese Veränderung bei der ertragsorientierten Variante, wo der Anteil der Baumartengruppe Fichte am Gesamt-Derbholzvolumen (Holzvorrat) im Verlaufe der Simulation um knapp ein Drittel zurückgeht. Gleichzeitig steigt der Buchenanteil von 10 % auf 28 %. Dies erfolgt auch vor dem Hintergrund des „Hineinwachsens“ großer Teile der im Untersuchungsgebiet dominierenden – überwiegend gleichförmig aufgebauten – Fichtenreinbestände in das hiebsreife Alter und dem damit verbundenen Beginn der Holzentnahme und der Walderneuerung. Die Holzvorräte steigen aufgrund der Unterlassung der Nutzung im Szenario „naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS) im Vergleich zu den übrigen Szenarien erwartungsgemäß stark an.

Stichworte: Waldentwicklungsszenarien, Waldwachstumsmodell, Waldbau

Abstract

Forest development scenarios were simulated for the Oker River Catchment in the northern Harz Mountains using the single-tree model *WaldPlaner* (HANSEN 2006) for the period 2003 to 2053. The simulation environment of the statistical forest growth model includes a scenario manager for the simulation of pre-defined forest management strategies.

In this study, four different silvicultural systems were used to achieve the following management objectives: near-natural forest stands based on the guidelines established by the Forest Department of Lower Saxony (LÖWE), prioritisation of timber production (ERTRAG), consideration of potential natural tree species (PNV), and conservation of nature (PROZESS). These strategies essentially differ in the underlying thinning and harvesting regimes and the consequent tree species selection performed in the scenarios.

The change in wood volume, mean diameter, periodic annual increment, extracted volume and the tree species composition were assessed for each of the four scenarios. With the exception of the nature conservation scenario (PROZESS) where tree species percentages remained largely constant, a distinct decline in the proportion of spruce in favour of beech was evident at times in all other scenarios. This change was most evident in the timber production scenario where the proportion of spruce in relation to the total standing wood volume decreased by almost a third over time in the simulation. Simultaneously the percentage of beech increased from 10 % to 28 %. This is also due to the recruitment of a large proportion of the primarily uniform pure spruce stands, which dominate the study site, into the harvestable age classes and the subsequent commencement of harvesting and forest regeneration. As expected, the standing wood volume

increased considerably in the nature conservation scenario (PROZESS) compared to the other scenarios due to the omission of the utilisation.

Keywords: forest management scenarios, forest growth model, silviculture

1 Einleitung

Um die Auswirkungen forstlichen Handelns auf den Zustand von Gewässern zu analysieren, bedarf es eines Instrumentes, das in der Lage ist, dieses Handeln modellhaft abzubilden. Im Rahmen des Pilotprojektes SILVAQUA wurde das Waldwachstum mit dem *WaldPlaner* – einem auf *BWTNPro* bzw. *TreeGrOSS*¹ aufbauenden Einzelbaumsimulator – modelliert (ALBERT u. HANSEN 2007).

Als Prognose-Tool konzipiert, können mit dem *WaldPlaner* sowohl detaillierte Informationen zum Zustand des Waldes als auch zu dessen mittelfristiger Entwicklung unter variablen Rahmenbedingungen bereitgestellt werden. Diese Funktionalität ist eine der grundlegenden Voraussetzungen, um die Modelle der verschiedenen Teilprojekte von SILVAQUA (Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, Ökonomie) integrierend zusammenzuführen.

2 Methodik

2.1 Waldentwicklungsszenarien

Für die Simulation der unterschiedlichen Szenarien wurde das Softwaresystem *WaldPlaner* in Verbindung mit einem die virtuellen Waldbestände parallel verarbeitendem Serversystem eingesetzt. Beide Programme basieren auf dem Einzelbaumwachstumsmodell *BWTNPro* (NAGEL 2005) und wurden zur Simulation und Auswertung einer großen Anzahl von einzelnen Beständen weiterentwickelt. Der *WaldPlaner* unterstützt das Generieren virtueller Modellbestände aus Forsteinrichtungsdaten oder Einzelbauminventuren und die Datenhaltung in einer beliebigen Datenbank. Die virtuellen Bestände werden einzelbaumweise aufgebaut und deren Wachstum und Behandlung simuliert. Das System besteht aus mehreren Komponenten:

- Datenbankschnittstelle,
- Datenergänzungsroutinen,
- Einzelbaumwachstumssimulator,
- Sortieroutine,
- Szenariomanager und Auswertungstool.

¹ *TreeGrOSS*: Tree Growth Open Source Software, (früher *BWTNPro*), frei verfügbares JAVA- Softwarepaket zur einzelbaumbasierten Simulation von Bestandsentwicklungen (NAGEL et al. 2002).

Die Komponenten Datenergänzungsroutinen, Einzelbaumwachstumssimulator und die Sortieroutine sind dem Softwarepaket *TreeGrOSS* entnommen. Der Szenariomanager greift auf eine, ebenfalls in JAVA realisierte Komponente (DUDA 2006) zurück, die über eine Vielzahl waldbaulicher Handlungsalternativen (Z-Baumauswahl, Durchforstung, Endnutzung, Pflanzung usw.) gesteuert wird. Diese einzelnen Elemente wurden im Szenariomanager zu einem Gesamtkonzept vereinigt, das Szenariosimulationen ermöglicht, die über die Einsteuerung unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungsvarianten flexibel gestaltet werden können.

Der Aufbau von standortsangepassten, arten- und strukturreichen Waldbeständen wird einerseits wesentlich durch das Vorgehen während der Endnutzung (Einzelbaumnutzung über einen längeren Zeitraum oder einmaliges Abnutzen ganzer erntereifer Schichten bzw. Kleinflächenkahlschläge) beeinflusst. Andererseits spielen auch die in der Phase der Walderneuerung zu treffenden Entscheidungen (Pflanzungen und / oder Naturverjüngung, Baumartenwahl usw.) eine entscheidende Rolle. Im Waldwachstumssimulator wird die zukünftige Baumartenzusammensetzung durch die Wahl des entsprechenden Waldentwicklungstyps (WET) gesteuert.

Die Waldentwicklungstypen (WET) beschreiben Leitbilder des angestrebten Waldaufbaus. Diese Leitbilder charakterisieren die sukzessionale Stellung des WET und nennen Entwicklungsziele hinsichtlich der Holzerzeugung, der Schutz- und Erholungsfunktionen sowie der Baumartenanteile. Ihre Zuordnung erfolgt im *WaldPlaner* analog zu der WET-Zuordnung, die in der Richtlinie zur Baumartenwahl (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 2004) beschrieben wird. Sie ist abhängig von der betrachteten Waldbauregion, der waldbaulichen Ausgangssituation, den Standortseigenschaften (Nährstoffversorgung, Wasserversorgung) und der Rangfolge der in Frage kommenden WET. Programmiertechnisch ist die Zuordnung wie folgt gelöst: Zunächst wird über die den Beständen zugeordnete Nährstoff- und Wasserhaushaltskennzahl auf die möglichen vorrangigen WET geschlossen. Von den in Frage kommenden WET werden zunächst jene ausgeschlossen, die aus der aktuellen Baumartenzusammensetzung heraus nicht entwickelt werden können. Das trifft insbesondere auch dann zu, wenn die weitere Entwicklung eines Bestandes bereits durch forstwirtschaftliche Maßnahmen zur Waldverjüngung / zum Waldumbau vorgegeben ist. Im Untersuchungsgebiet „Nordharz“ ist in diesem Zusammenhang bemerkenswert, dass auf etwa einem Viertel der Waldfläche Buchen-Voranbauten existieren.

Weitere Beschränkungen wurden den verbal formulierten Entscheidungskriterien der Richtlinie entnommen. Beispielsweise müssen Eichenbestandestypen in Eichen-WET und Buchenbestandestypen in Buchen-WET übergehen. Aus den verbleibenden Möglichkeiten wird durch eine zufallsgesteuerte Entscheidung ein WET ausgewählt. Sind auch alle nachrangigen WET ausgeschlossen, so geht die Routine davon aus, dass die „Fehlbestockung“ des Bestandes langfristig in einen für diesen Standort vorrangigen WET umgebaut werden soll. Auch diese Auswahl

wird zufallsgesteuert und berücksichtigt Auswahlwahrscheinlichkeiten. Die Auswahlwahrscheinlichkeiten richten sich nach der Rangfolge der WET. So wird zum Beispiel bei drei in Frage kommenden WET der erste mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 %, der zweite mit einer Wahrscheinlichkeit von 30 % und der dritte mit einer Wahrscheinlichkeit von 20 % ausgewählt. Kommt keiner der vorrangigen WET für die Entwicklung des Bestandes in Frage, so wird mit dem gleichen Verfahren geprüft, ob ein nachrangiger WET gewählt werden kann.

Abhängig vom ausgewählten Zieltyp kann nun den Baumarten des Bestandes und der Verjüngung ein Status als Hauptbaumart, Nebenbaumart oder nicht vorgesehener Baumart zugeordnet werden. Den gewünschten Haupt- und Nebenbaumarten wird ein angestrebter Mischungsanteil zugewiesen. Dieser ist als Anteil der Baumart an der Summe der Kronenschirmflächen des Bestandes zu verstehen. Da in der Richtlinie zur Baumartenwahl oft Prozentspannen angegeben sind, wurden die Maximal- und Minimalwerte gemittelt. Gibt es zwei mögliche Hauptbaumarten, wie zum Beispiel im Edellaubbaum-WET 31 (Esche/Bergahorn) der Fall, so richtet sich die angestrebte prozentuale Verteilung nach dem aktuellen Verhältnis der beiden Arten im Bestand.

Diese „Standard-Regeln“ finden Anwendung beim Szenario „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE. Für die drei anderen Szenarien sind sowohl die Waldbehandlungsregeln mit ihren entsprechenden Rahmenwerten als auch die Zuordnung der Zieltypen gutachterlich geschätzt und in den *WaldPlaner* integriert worden.

2.1.1 „Naturnaher“ Waldbau nach LÖWE (LÖWE)

Die Komponenten für das Szenario „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE sind so ausgewählt und konfiguriert, dass sie die waldbaulichen Zielsetzungen der Niedersächsischen Landesforsten widerspiegeln. Im Landeswald spielt der bestmögliche Ausgleich der verschiedenen Interessen im Spannungsfeld zwischen Ökonomie, Ökologie und Gesellschaft eine große Rolle. Kernpunkte der Strategie sind ein stabilerer Waldaufbau, naturnahe Waldbautechniken und die Verwirklichung eines multifunktionalen Ansatzes auf ganzer Fläche (OTTO 1989, 1991; NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 1991). Konkrete Handlungsanweisungen sind in den Merkblättern der Niedersächsischen Landesforstverwaltung (Merkblattsammlung) oder der Richtlinie zur Baumartenwahl (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 2004) enthalten. Hieraus wurden u. a. die Bestandesentwicklungs-, Endnutzungs-, Durchforstungs- und Verjüngungselemente für die Simulation entwickelt.

2.1.1.1 *Bestandesentwicklungsziel*

Jedem Bestand wird ein Waldentwicklungstyp (WET) gemäß den LÖWE-Richtlinien (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 2004) zugeordnet. Die Waldentwicklungstypen beschreiben die Leitbilder des angestrebten Waldaufbaus, ordnen ihre sukzessionale Stellung ein und nennen Entwicklungsziele hinsichtlich der Holzerzeugung, der Schutz- und Erholungsfunktionen sowie der Baumartenanteile. Die WET-Zuordnung ist abhängig von der betrachteten Waldbauregion, der waldbaulichen Ausgangssituation, den Standortseigenschaften (Nährstoffversorgung, Wasserversorgung) und der Rangfolge der in Frage kommenden WET.

2.1.1.2 *Verjüngung*

Um einen bestimmten WET erreichen zu können, werden Pflanzungen nur dann vorgenommen, wenn die aktuelle Artenzusammensetzung im Bestand nicht in eine dem WET entsprechende Mischung überführt werden kann.

2.1.1.3 *Schutz*

Das LÖWE-Programm sieht in seinem 7. Grundsatz die „Erhaltung alter Bäume und den Schutz seltener und bedrohter Pflanzen- und Tierarten“ vor (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 1991). Um diesem Grundsatz zu entsprechen, wird vor dem ersten simulierten Eingriff jeweils ein Baum pro Hektar als Habitatbaum markiert. Habitatbäume werden der Nutzung entzogen und dem weiteren Wachstum und Zerfall überlassen.

Um eine größtmögliche Baumartenvielfalt innerhalb eines Bestandes zu gewährleisten, wird während der Simulation, im Rahmen der Z-Baum-Auswahl, mindestens ein Individuum von jeder auf der Bestandesfläche vorkommenden Baumart – also auch solcher, die mit nur geringen Anteilen eher selten vertreten sind – ausgewählt, markiert und erhalten.

2.1.1.4 *Endnutzung*

Der 6. Grundsatz des LÖWE-Programms fordert, dass Wald alt werden und soweit wie möglich einzelstamm- oder gruppenweise nach Hiebsreife genutzt werden soll. Die Auswahl der zu erntenden Bäume wird anhand des Zieldurchmessers einer Art getroffen (Zielstärkennutzung). Dieser Brusthöhendurchmesser ist der „Richtlinie zur Baumartenwahl“ (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 2004) entnommen. Die zielstarken Bäume werden, beginnend mit den stärksten Individuen, genutzt. Allerdings wird nur dann eine Endnutzung gestartet, wenn ein bestimmtes Mindesterntevolumen erreicht ist. Ein festgelegtes maximales Endnutzungsvolumen darf dabei nicht überschritten werden, selbst wenn weitere

hiebsreife Individuen auf der Fläche verbleiben. Diese Begrenzungen sind abhängig vom Bestandestyp.

Ist die Verjüngung einer Art, die für das Erreichen des WET erhalten bleiben soll, noch nicht gesichert, werden hiebsreife Bäume dieser Art solange als Samenbäume im Bestand belassen, bis ihr Bruthöhendurchmesser (BHD) den Zieldurchmesser um mehr als 20 % überschreitet.

2.1.1.5 *Durchforstung*

Zunächst werden die permanent zu pflegenden Individuen (Zukunftsbäume: Z-Bäume) am starken Ende der Durchmesservertelung beginnend, absteigend ausgewählt. Dabei werden folgende Kriterien beachtet:

- Der Baum gehört einer Art an, die nach der WET-Zuordnung für den Bestand vorgesehen ist.
- Es wurden bisher weniger Bäume dieser Art ausgewählt als möglich wären, um die nach dem Bestandesziel des angestrebten WET vorgesehenen Kronenschirmflächenanteile erreichen zu können.
- Die Höhe des ausgewählten Baumes liegt über der Mindesthöhe für das Einsetzen der Erstdurchforstung.

Um eine Bestandespflege auf ganzer Fläche zu gewährleisten, werden Individuen zwischen den permanent markierten Bäumen temporär ausgewählt. Auch die Höhe dieser Bäume muss über der artenbezogenen Grenze für die Erstdurchforstung liegen und die Reihenfolge der Selektion entspricht der Reihenfolge ihrer abnehmenden Bruthöhendurchmesser. Es werden zunächst nur Bäume markiert, die einer nach dem angestrebten WET erwünschten Art angehören. Im Vergleich zu den permanent markierten Bäumen sollen hier allerdings erheblich mehr Individuen ausgewählt werden. Ihre Anzahl berechnet sich aus dem Quotienten der Bestandesfläche zur aktuellen Kronenschirmfläche, die ein Baum dieser Art mit dem mittleren Durchmesser zur Zeit der Betrachtung einnimmt.

Überschreitet die Entnahme der potenziellen Bedränger der permanent bzw. temporär zu pflegenden Bäume ein vorgegebenes Mindestvolumen, wird die eigentliche Durchforstung (Freistellung der markierten Bäume) durchgeführt. Bevorzugt werden bei der Entnahme die Bedränger der permanent markierten Z-Bäume berücksichtigt. Erst in einem zweiten Durchgang werden die temporär markierten Bäume ebenfalls freigestellt. Dabei werden zunächst diejenigen Bedränger entnommen, die zu Arten gehören, die nicht explizit in der Beschreibung des WET aufgeführt sind (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG 2004). Dadurch werden in den Räumen zwischen den Z-Bäumen die WET-konformen Arten besonders gefördert. Die Durchforstungsroutine bricht ab, sobald das festgelegte maximale Durchforstungsvolumen erreicht ist.

2.1.2 „Ertragsorientierter“ Waldbau (ERTRAG)

Die Holzerntekosten werden durch stärkere Durchforstungen und längere Durchforstungsintervalle (alle 10 Jahre) als im Szenario „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE gesenkt. Das Endnutzungsvolumen ist im Vergleich zu den anderen Waldbaustrategien höher und wird u. a. durch die Nutzung der gesamten führenden Bestandesschichten innerhalb von unterschiedlichen, baumartenabhängigen Erntezeiträumen erreicht. Die Umtriebszeiten verkürzen sich auf lange Sicht, weil geringere Zielstärken angestrebt werden, die zu früheren Nutzungen führen. Die Wälder entwickeln sich zu gleichaltrigen Reinbeständen, in denen Minderheiten oder Habitatbäume nicht geschützt werden.

2.1.2.1 Bestandesentwicklungsziel

Als Entwicklungsziel werden den Beständen vorwiegend Reinbestandstypen der Baumarten zugeordnet, die nach der gegebenen standörtlichen Ausstattung den höchsten Ertrag versprechen. Dabei wird häufig auf die Baumarten Douglasie, Fichte und Buche gesetzt. Zu Abweichungen von diesem Vorgehen kommt es, wenn bereits vollflächige Verjüngungen mit angemessener Ertragsersparnis vorhanden sind, die keine Investitionen in die Bestandesbegründung erfordern. Auf ertragsschwachen Standorten oder Sonderstandorten wird die Zuordnung der WET nach LÖWE übernommen. Dabei werden zunächst alle die Bestände ausgeschlossen, bei denen tief greifende Umbaumaßnahmen erforderlich sind. Dieses Vorgehen verhindert hohe Investitionen in den Umbau eines Bestandes, wenn bereits eine Bestockung mit angemessener Ertragsersparnis vorliegt. Sind für alle Zieltypen Umbaumaßnahmen notwendig, so wird derjenige Zieltyp für diesen Standort zufallsgesteuert ausgewählt, der – waldbaulich vertretbar – den voraussichtlich höchsten Ertrag verspricht. Die Variante ERTRAG kennt keine nachrangigen Zieltypen.

Fichten- oder Buchenbestände, in denen Naturverjüngung bzw. Voranbau vollflächig und gesichert vorhanden ist, werden nicht umgebaut. Greift die Zuordnung der WET nach LÖWE, werden die in Frage kommenden Waldentwicklungstypen als Reinbestandsform angestrebt. So wird z. B. auf einen reinen Buchenbestand hin gewirtschaftet, wenn ein Buchen-Fichten-Mischtyp nach LÖWE gewählt würde.

2.1.2.2 Verjüngung

Pflanzungen werden dann vorgenommen, wenn die angestrebten Reinbestände nicht aus der gegebenen Bestandessituation (Naturverjüngung, Voranbau) heraus entwickelt werden können und eine Pflanzung zu dem betrachteten Zeitpunkt waldbaulich sinnvoll ist. Die baumartenbezogenen Erntezeiträume sind so gewählt, dass sie das Ankommen von Naturverjüngung begünstigen.

2.1.2.3 *Schutz*

Seltene Baumarten oder Habitatbäume erfahren keine gesonderte Berücksichtigung.

2.1.2.4 *Endnutzung*

Die Endnutzungen setzen ein, sobald der Durchmesser des Grundflächenmittelmaststamms in Brusthöhe der führenden Bestandesschicht über dem angestrebten Zieldurchmesser der führenden Art dieser Schicht liegt. Die Anzahl der Endnutzungseingriffe bis zur vollständigen Entnahme der führenden Schichten hängt vom Eingriffsturnus und der Länge der Endnutzungsperiode ab.

Bei den Endnutzungseingriffen werden mit abnehmenden Durchmessern zunächst die stärksten, hiebsreifen Bäume entnommen. Dabei können höhere Volumina als bei den anderen Strategien erreicht werden, die allerdings zwingend ein bestimmtes Mindestvolumen überschreiten müssen. Diese Vorgabe ermöglicht es, dass die Holzernte effizienter durchgeführt werden kann, wodurch u. a. die Holzerntekosten sinken. Zum Ende der Endnutzungsperiode werden alle bis dahin verbliebenen Bäume der führenden Schicht, ungeachtet von Durchmesser, Mindest- oder Maximalmengen, entnommen.

2.1.2.5 *Durchforstungen*

Die zu pflegenden Individuen (Z-Bäume) werden analog zu der Auswahl nach der LÖWE-Strategie identifiziert und freigestellt. Da das Durchforstungsintervall bei der Ertrags-Strategie auf 10 Jahre erhöht wird, fallen in den einzelnen Beständen deutlich höhere Volumina je Eingriff an. Aus dem Kollektiv der potenziellen Bedränger der Z-Bäume werden vorrangig diejenigen entnommen, die den ertragschwächeren Baumarten angehören. Die Z-Bäume werden stark freigestellt.

2.1.3 *Waldbau unter Berücksichtigung der potenziell natürlichen Vegetation (PNV)*

2.1.3.1 *Bestandesentwicklungsziel*

Unter der vereinfachenden Annahme, dass alle Waldbestände im Untersuchungsgebiet von Natur aus von der Buche dominiert wären, wurde das Szenario „Waldbau unter Berücksichtigung der potenziell natürlichen Vegetation“ (PNV) mit der Vorgabe gerechnet, dass auf ganzer Fläche der Buchen-Reinbestands-WET (WET 20) angestrebt wird.

2.1.3.2 *Verjüngung*

Pflanzungen werden dann vorgenommen, wenn die aktuelle Artenzusammensetzung eines Bestandes nicht in Buche überführt werden kann. Ist der Umbau aus der gegebenen Situation heraus durchführbar, greift die Routine „Einwuchs aus Naturverjüngung“.

2.1.3.3 *Schutz*

Seltene Baumarten oder Habitatbäume werden nicht geschützt.

2.1.3.4 *Endnutzung*

Die Endnutzung erfolgt durch Einzelentnahme zielstarker Individuen. Das Szenario sieht forstliche Eingriffe alle 5 Jahre vor.

Die verwendeten Endnutzungselemente ähneln denen, die im Szenario LÖWE eingesetzt werden. Die Zielvorgaben „Minimales-, Maximales Endnutzungsvolumen“ und „Zielstärke“ sind unverändert. Allerdings bleiben hiebsreife Bäume als Samenbäume länger erhalten: Ist die Verjüngung einer Art, die für das Erreichen des Zieltyps notwendig ist noch nicht gesichert, werden Samenbäume im Bestand erhalten, bis sich die Verjüngungssituation geändert hat.

2.1.3.5 *Durchforstung*

Bei der Freistellung permanent markierter Z-Bäume werden primär die Bedränger entnommen, die nicht der Zielbaumart entsprechen. Der Freistellungsgrad der Z-Bäume ist höher als im LÖWE-Szenario, so dass eine noch stärkere Begünstigung der im Endbestand angestrebten Baumarten erzielt wird.

2.1.4 *„Naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS)*

Für das Szenario „naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS) werden keine Zieltypen festgelegt. Die Baumartenmischung soll nicht durch Eingriffe beeinflusst werden. Vielmehr sollen sich die konkurrenzstärksten Baumarten im Bestand auf dem Wege einer natürlichen, ungestörten Entwicklungsdynamik durchsetzen. Da in allen Simulationen der Einfluss von Extremereignissen (biotische oder abiotische Kalamitäten) ausgeblendet wird, wirken einzig die natürliche (Dichte-) Mortalität und das im System begrenzte Höchstalter der Baumarten vorratsreduzierend.

2.2 Technische Umsetzung

Nachdem zunächst die Grundzüge des methodischen Vorgehens durch beispielhafte Waldwachstumsmodellierungen im Teileinzugsgebiet „Lange Bramke“ geschaffen, verifiziert und angepasst wurden, war es das Ziel, diese Methodik auf die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes zu übertragen. Hierbei stand zunächst die eindeutige Abgrenzung des Untersuchungsgebietes im Vordergrund, wobei u. a. die folgenden Vorgaben zu berücksichtigen waren:

- Einzugsgebiet der Oker,
- Waldflächen,
- Verfügbarkeit der notwendigen Ausgangsdaten.

Unter Einbeziehung aller Restriktionen wurde das Untersuchungsgebiet „Nordharz“ definiert, welches eine relativ große, zusammenhängende Waldfläche des in Niedersachsen gelegenen nördlichen Harzes im Oker-Einzugsgebiet umfasst (JANSEN et al., in diesem Band).

Nach dem Zusammenführen der notwendigen Ausgangsinformationen in einer Datenbank wurde die Schnittstelle zum Generieren der Waldbestände im *WaldPlaner (FoEConverter)* überarbeitet.

Gleichzeitig wurde die Struktur der Datenausgabe definiert und umgesetzt. Somit war es möglich, den Ausgangszustand der Waldbestände im Untersuchungsgebiet (im Jahre 2003) auf Einzelbaumebene nachzubilden. Dieser Status quo stellt die Basis für alle nachfolgenden Berechnungen im Rahmen der Waldwachstums-simulation dar. Da das Wuchsmodell Bäume ab einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 7 cm verarbeitet, wurden die Bestände nur aus Bäumen aufgebaut, die diese Schwelle überschreiten. Bäume mit einem geringeren Brusthöhendurchmesser wurden der Verjüngung zugerechnet, welche ebenfalls kumulativ als Schicht (mittlere Höhe, Alter und Stammzahl) Eingang in das Wuchsmodell findet und bei der Simulation des Einwuchses (Bäume, die 7 cm BHD überschreiten) berücksichtigt wird.

Für das gesamte Untersuchungsgebiet diente eine erste Szenarienrechnung mit dem *WaldPlaner* bis zum Jahre 2053 einerseits dazu, die Plausibilität der Modell-ergebnisse und die Funktionalität der Ein- und Ausgabe-Schnittstellen zu überprüfen. Andererseits konnten erste Erkenntnisse zu den Anforderungen an die EDV-technischen Ressourcen (Laufzeiten, Speicherplatz usw.) gewonnen werden.

Die Simulation selbst lief im Rahmen der folgenden Vorgaben:

- Ausgabe der Zwischenergebnisse in 5-Jahres-Intervallen,
- Waldbewirtschaftung nach LÖWE-Kriterien auf der gesamten Fläche des Untersuchungsgebietes,

- Waldentwicklungstyp (WET)² = aktueller Bestandestyp (BT),
- Berücksichtigung von Pflanzung, Naturverjüngung und Mortalität³.

Das Einlesen der bestandesbeschreibenden Forsteinrichtungsdaten in den *Wald-Planer* übernimmt das integrierte Konvertierungs-Tool *FoEConverter*. Dieses Modul ist ein eigens auf die Strukturen der Forsteinrichtungsdaten des Niedersächsischen Landeswaldes abgestimmtes Interface, welches den unmittelbaren Aufbau einzelbaumbasierter Waldbestände im *WaldPlaner* unter spezieller Berücksichtigung folgender Besonderheiten ermöglicht:

- Durchmesserkorrektur nach WOLLBORN u. BÖCKMANN (1998),
- Zielgröße beim Generieren der Bestände ist der Vorrat.

Der *FoEConverter* ist in der Lage, auf Forsteinrichtungsdaten aus verschiedenen Datenbanksystemen zuzugreifen. Bislang existieren Schnittstellen zu *Microsoft Access*, *PostgreSQL*, *MySQL* und *Oracle*. Im Rahmen des SILVAQUA-Teilprojektes „Simulation der Waldentwicklung“ wird die *Microsoft Access* – Schnittstelle des *FoEConverters* genutzt, da über das landeseigene Auswertungsprogramm für den Forsteinrichtungsdatenbestand (*FEIGRAF*) eine relativ unkomplizierte Anbindung an die entsprechenden Daten des Landeswaldes Niedersachsens und des – in gleicher Weise erfassten – niedersächsischen Teils des Nationalparks Harz gewährleistet ist.

Die flächentreue Abbildung von Strukturelementen⁴ gewährleistet eine Zuordnungstabelle, die in die Ausgangsdatenbank integriert wurde. Mit deren Hilfe ist eine eindeutige Identifikation jedes einzelnen Strukturelements und der damit gekoppelten Bestandesinformation möglich. Eine weitere notwendige Hilfstabelle innerhalb der Ausgangsdatenbank beinhaltet u. a. eindeutige Flächenkennungen, die für das Verknüpfen von Geometrie- und Sachdaten in georelationalen Datenbanken (GIS) erforderlich sind.

Der Aufbau der auf Einzelbäumen basierenden Waldbestände erfolgt jeweils für Modellbestände. Die Modellbestandsgröße wurde im Hinblick auf die erforderliche Genauigkeit der Bestandesparameter und EDV-technischem Ressourcenverbrauch (Rechenzeiten, Speicherplatz usw.) optimiert. Für den Aufbau der hier

² WET: Der Waldentwicklungstyp beschreibt ein standortabhängiges Waldentwicklungsziel, das in mehr oder weniger langen Zeiträumen verwirklicht werden soll. Er ist vom Bestandestyp (BT) zu unterscheiden, der den derzeitigen Waldaufbau darstellt. Das Leitbild der WET charakterisiert die nach Baumarten und Mischungen anzustrebenden Waldaufbauformen. Die Angaben beziehen sich auf höhere Bestandesalter und berücksichtigen die Ansprüche und Wachstumsgänge der beteiligten Baumarten. Die im Rahmen der WET formulierten Waldentwicklungsziele gliedern sich in Vorgaben zur Holzerzeugung, zu Schutz und Erholung sowie zu Baumartenanteilen.

³ Pflanzung und/oder Naturverjüngung sind optional aktivierbare *WaldPlaner*-Routinen, welche die Entstehung der Waldbestände abbilden. Mit der Mortalitäts-Option kann das Ausscheiden von Einzelbäumen in Folge natürlicher Wachstumskonkurrenz simuliert werden.

⁴ Strukturelement: speziell in Niedersachsen in die Forsteinrichtungspraxis eingeführte zusätzliche Kategorie der räumlichen Ordnung des Waldes.

zu betrachtenden 4.001 Bestände zeigte sich, dass eine Modellbestandsgröße von 0,25 Hektar den Anforderungen genügt.

Optional kann anschließend eine von WOLLBORN u. BÖCKMANN (1998) vorgeschlagene Durchmesserkorrektur aktiviert werden, die den Umstand berücksichtigt, dass der reale BHD in den letzten Dekaden von den BHD-Werten der Ertragstafel i. d. R. deutlich abweicht.

Eine weitere Einstellmöglichkeit beim Generieren des Status quo bezieht sich auf die Zielgrößen aus der Forsteinrichtung, die möglichst genau getroffen werden sollen (Kreisfläche oder Vorrat). Einzelbäume werden demzufolge solange generiert, bis das jeweils selektierte Abbruchkriterium (generierte Bestandeskreisfläche = Bestandeskreisfläche der Forsteinrichtung oder generierter Bestandesvorrat = Bestandesvorrat der Forsteinrichtung) erreicht ist. In der vorliegenden Untersuchung wurde als Zielgröße der Bestandesvorrat gewählt.

Plausibilitätskontrollen zur stichprobenartigen Überprüfung der Ergebnisse der Bestandesgenerierung können innerhalb des *WaldPlaners* durchgeführt werden. Unter anderem durch tabellarische Zusammenfassungen, exemplarische 2D- oder 3D-Darstellungen sowie die Möglichkeit, vorgefertigte und/oder selbst definierte SQL-Abfragen anzuwenden, können Einzelbestände oder das gesamte Untersuchungsgebiet schnell und übersichtlich analysiert werden (s. Abb. 1 u. 2).

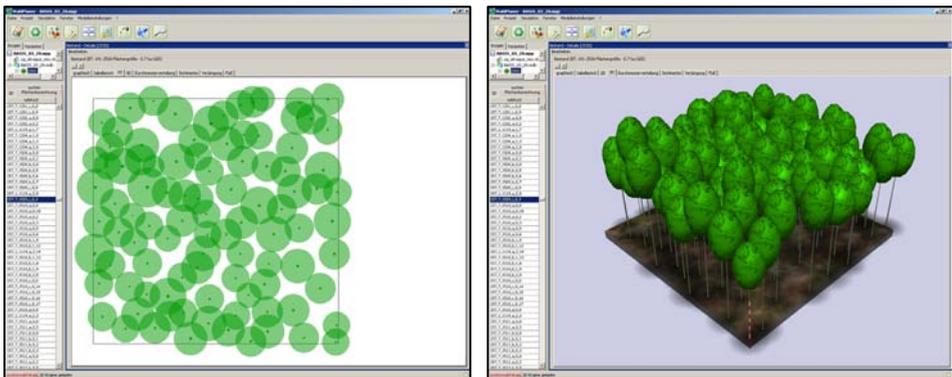


Abbildung 1: Beispiel für die Darstellung eines Einzelbestandes im WaldPlaner (links: 2-dimensional, rechts: 3-dimensional)

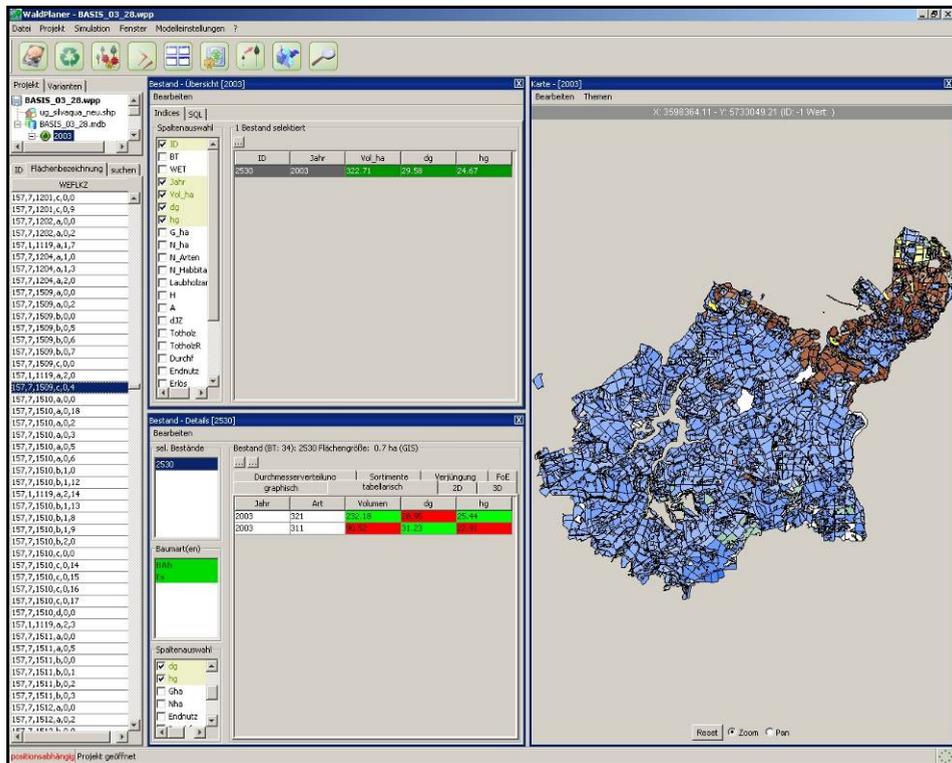


Abbildung 2: Beispiel für die Darstellung des Status quo im WaldPlaner

Mit dem Aufbau der Einzelbestände im WaldPlaner ist der aktuelle Waldzustand (Status quo) abgebildet. Die in einer Microsoft Access-Datenbank vorgehaltenen bestandesbeschreibenden Informationen dienen im Weiteren als Basis für die Prognose der Waldentwicklung in den nächsten fünfzig Jahren und bilden gleichzeitig die Grundlage für die Bereitstellung der Daten für die anderen Teilprojekte des Gesamtvorhabens.

Die Schnittstellenfunktion des Waldwachstumsmodells in SILVAQUA erfordert eine auf die einzelnen Teilprojekte abgestimmte Datenbereitstellung. Neben solchen Daten, die für alle Teilprojekte von Bedeutung sind (Baumart, Alter u. a.), werden modellbezogen auch spezifische Informationen angefordert. Solche projektbezogenen Naturaldaten sind z. B. der Deckungsgrad (Überschirmung) des Bestandes für das hydrologische Modell, der periodische Zuwachs für das Stoffhaushaltsmodell oder Angaben zu Durchforstungs- bzw. Holzerntemengen für das ökonomische Modell. Die entsprechenden Auswerteroutinen, welche diese Daten zu den geforderten Kennziffern komprimieren und in der notwendigen Datenstruktur ausgeben, wurden entwickelt.

Die den Teilprojekten bereitgestellte Datenbank mit den Ergebnissen der Simulation bis zum Jahre 2053 enthält die folgenden drei Tabellen (vgl. Abb. 3):

- „ID_Tabelle“:
Schlüsseltable mit Flächenkennungen und Flächengrößen
- „Tab_statisch“:
in vorliegender Untersuchung als unveränderliche Parameter eingestufte Informationen (Stichjahr der Forsteinrichtung, Wuchsbezirk, Standortseigenschaften)
- „Tab_dynamisch“:
waldbestandesbeschreibende Informationen in ihrer zeitlichen Dynamik

The screenshot shows three tables in Microsoft Access:

ID_Tabelle:

ID	WEFLKZ	COUNT	AREA	PERIMETER	KEY	FOA	REF	ABT	UABT	UFL	ID_ohne_x	Ha
		37	391016,885	16215,989		0	0	0		0	-99	39,10
10	157_1,1037_a,2,0	2	14741,608	647,224	157_1_1037_A_2	157	1	1037	A	2	9	1,47
100	157_1,1091_x,0,0	1	2919,019	212,864	157_1_1091_X_0	157	1	1091	X	0	-99	0,29
1000	157_3,1353_a,0,7	2	11846,374	444,419	157_3_1353_A_0	157	3	1353	A	0	772	1,18
1001	157_3,1353_a,0,8	3	3287,858	342,02	157_3_1353_A_0	157	3	1353	A	0	773	0,33
1002	157_3,1353_b,0,0	5	32021,189	1193,23	157_3_1353_B_0	157	3	1353	B	0	774	3,20
1003	157_3,1353_x,0,0	2	10692,719	580,935	157_3_1353_X_0	157	3	1353	X	0	-99	1,07
1004	157_3,1354_a,0,0	4	61020,258	1712,737	157_3_1354_A_0	157	3	1354	A	0	775	6,10
1005	157_3,1354_a,0,5	1	6882,104	492,625	157_3_1354_A_0	157	3	1354	A	0	776	0,69
1006	157_3,1354_a,0,9	1	2029,127	241,751	157_3_1354_A_0	157	3	1354	A	0	777	0,20
1007	157_3,1354_b,0,0	4	45579,612	1344,832	157_3_1354_B_0	157	3	1354	B	0	778	4,56

Tab_statisch:

WEFLKZ	KEY	St	Wuchsbezirk	1-Bodenfrische	1-Naehrstoffversorgung	1-Bodenart
157_1,10_a,0,0	157_1_10_A_0	2003	250	19	3	23
157_1,10_a,0,6	157_1_10_A_0	2003	250	19	3	23
157_1,10_a,0,7	157_1_10_A_0	2003	250	19	3	23
157_1,10_b,0,0	157_1_10_B_0	2003	250	16	3	22
157_1,10_b,0,4	157_1_10_B_0	2003	250	16	3	22
157_1,10_c,0,0	157_1_10_C_0	2003	250	19	3	23
157_1,1037_a,1,2	157_1_1037_A_1	2003	250	19	3	23
157_1,1037_a,1,0	157_1_1037_A_1	2003	250	19	3	23
157_1,1037_a,2,0	157_1_1037_A_2	2003	250	19	3	23
157_1,1037_a,2,4	157_1_1037_A_2	2003	250	19	3	23
157_1,1037_x,0,0	157_1_1037_X_0	2003	250	0	0	99

Tab_dynamisch:

ID	Jahr	Sitindex	Bestandesechicht	BTYP	Baumart	Alter	Hoehe	Durchmesser	Stammzahl	Kreisflaeche	Deckungsgrad	Mischungsanteil_ha	Mischungsanteil_pr
10	2003	29,8	1	50	511	51	19	26,8	456	26,3	0,6	1,46	
10	2003	25	1	50	451	51	16	23,7	4	0,2	0,6	0,01	
10	2003	18	3	50	321	51	12	19,1	4	0,1	0,6	1,47	1
10	2003	32	4	50	441	51	31	37,9	4	0,5	0,6	1,47	1
10	2008	29,8	1	50	511	56	20,5	30,1	392	28,5	0,64	1,46	
10	2008	25	1	50	451	56	16,8	25,2	4	0,2	0,64	0,01	
10	2008	0	1	50	511	0	0	0	0	0	0,64	0	
10	2008	29,8	2	50	511	56	13,7	25,4	4	0,2	0,64	0,5	
10	2008	18	2	50	321	56	12,5	20,4	4	0,1	0,64	0,33	
10	2008	29,8	2	50	511	25	6,7	7	28	0,1	0,64	0,27	
10	2008	29,8	2	50	511	26	6,7	7	16	0,1	0,64	0,15	
10	2008	18	2	50	321	14	6,2	7	4	0	0,64	0,04	

Abbildung 3: Datenbank mit den Ergebnissen der Beispielsimulation bis zum Jahr 2053

Der aktuelle Waldzustand und die prognostizierte Waldentwicklung der nächsten fünfzig Jahre werden in der Datenbanktable „Tab_dynamisch“ numerisch abgebildet. Dort wird jede einzelne Waldfläche mit den dazugehörigen grundlegenden Bestandeseigenschaften in 5-Jahres-Intervallen beschrieben.

Ein Beispiel für die Analysen, die auf der Basis dieser Simulationsergebnisse für eine exemplarisch gerechnete LÖWE-Variante durchgeführt werden können, zeigt Abbildung 4. Hier wird die Dynamik des mittleren Bestandes-Derbholtzvolumens (schwarze Linie) dargestellt. Das Volumen am Ende einer (5-Jahres-)Periode

ergibt sich dabei als Differenz aus dem Anfangsvolumen und der Bilanz von Zuwachs (grüner Balken) und Volumina der Abgänge (roter Balken) während der Periode. Als Abgänge werden sowohl die in der Folge von forstlichen Eingriffen in Form von Bestandespflege- und Holzerntemaßnahmen (Vor- und Endnutzung) als auch die durch natürliche Wachstumskonkurrenz absterbenden Bäume (Mortalität) berücksichtigt. Einem leichten Anstieg der Derbholzvorräte bis zum Jahre 2018 folgt eine stetige Abnahme bis zum Ende des Prognosezeitraumes. Diese Entwicklung ist auf das „Hineinwachsen“ der im Untersuchungsgebiet dominierenden Fichte in das Erntealter und die damit zusammenhängende Nutzung der zielstarken Bestände zurückzuführen. Hinzu kommt, dass die der Nutzung folgende Verjüngung im *WaldPlaner*-System zeitverzögert abgebildet wird, was wiederum darauf beruht, dass Einzelbäume erst ab der forstlichen Kluppschwelle von 7 cm Brusthöhendurchmesser mit Rinde generiert werden.

Der Ausgangszustand 2003 wird direkt aus den Daten der Forsteinrichtung hergeleitet. Dabei greift die bereits erwähnte Durchmesserkorrektur nach WOLLBORN u. BÖCKMANN (1998). Als Zielgröße (Abbruchkriterium) beim Generieren der Einzelbäume dient der Bestandesvorrat.

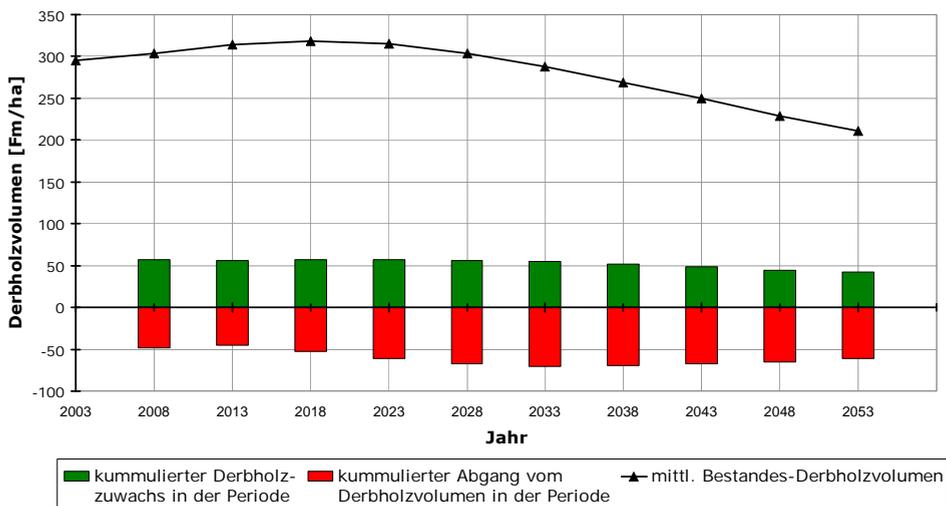


Abbildung 4: Dynamik des mittleren Bestandes-Derbholzvolumens für das Szenario LÖWE (flächen-gewichtetes Mittel aller Waldbestände des Untersuchungsgebietes)

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für die Entwicklung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes im *WaldPlaner* von 2003 bis 2053. Anhand des Wachstumsganges dieses – zur Illustration der Methodik ausgewählten – Modellbestandes lassen sich die im *WaldPlaner* wirksamen Basis-Algorithmen verdeutlichen. Es handelt sich um einen Bestand in der Unterfläche 1289 A 2 des Reviers Radauberg im Niedersächsischen Forstamt Clausthal. Hier stockt ein Mischbestand mit 90 % Flächenanteilen Fichte und 10 % Flächenanteilen Buche in der führenden Bestandesschicht. Darunter

wächst in der zweiten Bestandesschicht ein aus Naturverjüngung entstandener Nachwuchs mit 85 % Flächenanteilen Fichte und 15 % Flächenanteilen Buche. Dieser Nachwuchs wird – aufgrund des unterhalb der 7 cm-Kluppschwelle liegenden mittleren Bestandes-Brusthöhendurchmessers beider Baumarten – vom *Wald-Planer* nicht einzelbaumweise abgebildet. Stattdessen werden die Verjüngungsinformationen (Baumart, Alter, Flächenanteile, mittlere Höhe, Entstehung) in einer eigenen Tabelle der Simulations-Datenbank vorgehalten.

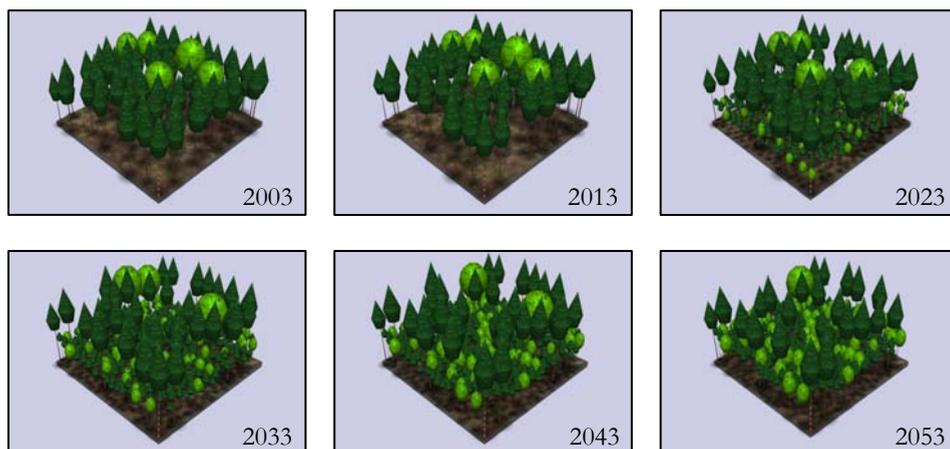


Abbildung 5: Beispiel für die Entwicklung eines Mischbestandes im *WaldPlaner* von 2003 bis 2053

Mit dem Generieren des Ausgangszustandes aus den Daten der Forsteinrichtung ist die Basis geschaffen, auf der im Weiteren die Prognosen der Waldentwicklung aufbauen. Zunächst werden verschiedene Rahmenwerte festgelegt, die die Simulation direkt beeinflussen. Im vorliegenden Beispiel sind das u. a.:

- Vorhersagezeitraum: 50 Jahre (bis 2053)
- Ausgabe der Zwischenergebnisse: 5-Jahres-Intervalle
- Waldentwicklungsszenario: „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE (vgl. Anhang 1 und 2)
- angestrebter Waldentwicklungstyp: Fichte mit Buche (52)
- Modellbestandsgröße: 0,25 ha
- mit Pflanzung, Naturverjüngung und Mortalität

In der Folge wird jeder einzelne 5-Jahresschritt auf Einzelbaumbasis gerechnet und die Ergebnisse werden in den entsprechenden Tabellen der Simulationsdatenbank gespeichert. Es liegen sowohl Einzelbauminformationen als auch daraus aggregierte Bestandeswerte vor. Die Simulationsdatenbank wiederum dient als Grundlage für das Generieren einer Ergebnisdatenbank, welche alle erforderlichen Daten in einer normierten Struktur bereitstellt.

Im Rahmen der Auswertung der Ergebnisse für den konkreten Beispielbestand zeigt sich, dass nach 15 Jahren Wachstumssimulation (im Jahre 2018) zunächst die

ersten – aus dem Nachwuchs stammenden – Fichten die 7 cm-Kluppschwelle erreichen und somit im *WaldPlaner* einzelbaumweise abgebildet werden. Erst nach dem nächsten Simulationsschritt (2023) tauchen zusätzlich die ersten 7 cm dicken Buchen auf, was mit dem langsameren Jugendwachstum der Buche im Vergleich zur Fichte begründet werden kann. Unterstützend für das Wachstum der neuen Bestandesgeneration wirken sich die stetigen Durchforstungs- und Endnutzungseingriffe in den Altbestand aus, die den nachwachsenden Bäumen ausreichend Licht und Wuchsraum gewährleisten. Diese Entwicklung setzt sich bis zum Ende des hier betrachteten Prognosezeitraumes fort, so dass sich – gemäß der Zielsetzung (Waldentwicklungstyp = Fichte mit Buche) – im Jahre 2053 ein Fichten-Buchen-Mischbestand mit Resten des sich aus den gleichen Baumarten zusammensetzenden Altbestandes etabliert hat.

In der Abbildung 6 wird die Entwicklung der unterschiedlichen Bestandestypen nach dem Waldentwicklungsszenario LÖWE auf der Ebene des gesamten Untersuchungsgebietes dargestellt. Beispielhaft wird hier die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung auf der Basis von Bestandestypengruppen gezeigt. Sehr deutlich wird der im Rahmen des LÖWE-Programms forcierte Waldumbau hin zu Beständen mit höheren Laubbaumanteilen abgebildet. Die in den kartographischen Übersichten jeweils braun dargestellten Bestandestypengruppen der Buche nehmen im Verlauf der Simulation zuungunsten der Fichtenflächen (blau dargestellt) zu.

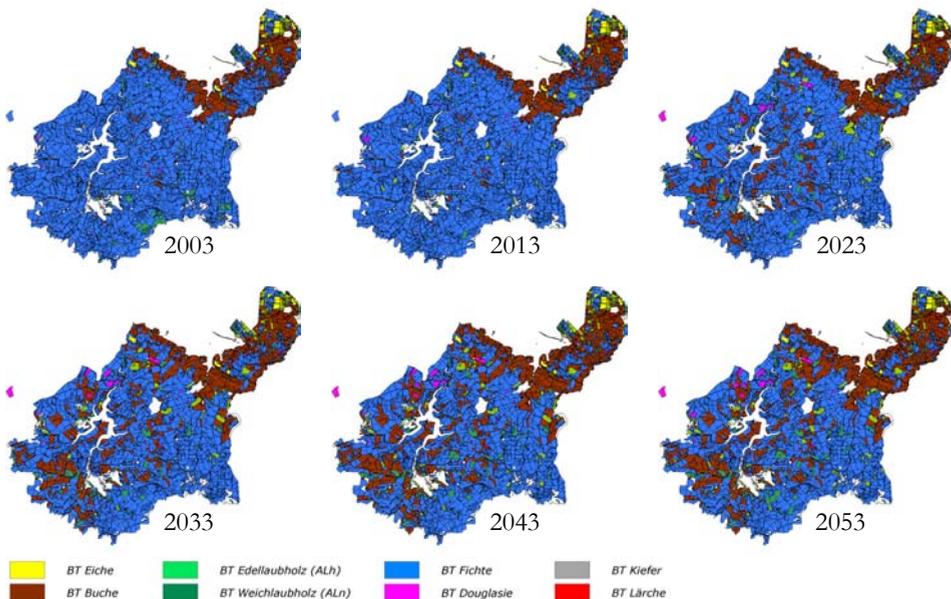


Abbildung 6: Entwicklung der Bestandestypen (BT) von 2003 bis 2053 (nach dem Szenario LÖWE)

Betrachtet man zusätzlich die Vorratsanteile der Baumartengruppen, dann bestätigen sich diese Verschiebungen hin zu mehr Laubbäumen (s. Tab. 1). Die im Untersuchungsgebiet im Status quo noch mit 86,2 % Volumenanteilen dominierende Fichte ist am Ende der Simulation nur noch mit 65,8 % Volumenanteilen in der Baumartenzusammensetzung vertreten. Bis auf die Kiefer, die über den gesamten Prognosezeitraum relativ konstant in der Baumartenzusammensetzung vorkommt, legen demgegenüber alle anderen Baumartengruppen, insbesondere die zu den Laubbäumen gehörenden, zum Teil deutlich zu.

Tabelle 1: Entwicklung der Baumartengruppenanteile [%] am Gesamtvorrat nach dem Szenario LÖWE

Baumarten- gruppe	2003	2013	2023	2033	2043	2053
Eiche	0,8	0,7	0,8	1,0	1,3	1,7
Buche	10,5	8,7	8,7	10,9	14,9	19,6
ALh ⁵	0,4	0,5	0,9	1,6	2,4	3,6
ALn ⁶	0,9	1,2	2,0	3,1	4,7	6,8
Fichte	86,2	87,8	86,2	81,7	74,8	65,8
Douglasie	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,3
Kiefer	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
Lärche	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	0,9

3 Ergebnisse der Szenariensimulation

Es wurden die Auswirkungen einer differenzierten Waldbehandlung untersucht, die im Wesentlichen auf verschiedenen Durchforstungs- und Holzernteregimen und der damit verbundenen szenarioabhängigen Baumartenwahl basieren. Das Szenario „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE repräsentiert die gegenwärtig aktuelle waldbauliche Praxis in den Niedersächsischen Landesforsten. Durchforstungen werden weniger intensiv durchgeführt, dafür häufiger in einem 5-Jahres-Intervall. Im Gegensatz dazu finden Durchforstungen im Rahmen der ertragsorientierten Variante alle zehn Jahre statt, allerdings mit deutlich höheren Eingriffsstärken. Dabei werden die Baumarten gefördert, die unter den gegebenen standörtlichen Rahmenbedingungen den höchsten Ertrag versprechen. Die an der PNV orientierte Waldbaustrategie zielt darauf hin, buchendominierte Waldbestände in der Zukunft zu etablieren. Im Szenario „naturschutzorientierter“ Waldbau (PRO-ZESS) wird komplett auf forstliche Eingriffe verzichtet.

⁵ ALh: Andere Laubbäume mit hoher Umtriebszeit (Edellaubholz)

⁶ ALn: Andere Laubbäume mit niedriger Umtriebszeit (Weichlaubholz)

Aufbauend auf der im methodischen Teil dargelegten Vorgehensweise wurden vier Waldentwicklungsszenarien für das gesamte Untersuchungsgebiet „Nordharz“ simuliert:

- „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE (LÖWE)
- „ertragsorientierter“ Waldbau (ERTRAG)
- Waldbau unter Berücksichtigung der potenziell natürlichen Vegetation (PNV)
- „naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS)

Die Szenarien unterscheiden sich in der unterschiedlichen Gewichtung von eingriffsspezifischen und naturschutzorientierten Parametern sowie in Aspekten der Waldverjüngung. Diese Variablen wurden für jedes Szenario gutachterlich festgelegt und werden im Anhang 1 und 2 dargestellt. Insbesondere die Rahmenwerte Eingriffsturnus, Durchforstungs- und Endnutzungsvolumen, Endnutzungszeitraum, Zielstärke und Freistellungsgrad haben einen wesentlichen Einfluss auf die weitere Bestandesentwicklung.

Die Analyse der beschriebenen Entwicklungen bis zum Jahre 2053 erfolgt vor dem Hintergrund des „Hineinwachsens“ großer Teile der im Untersuchungsgebiet dominierenden – überwiegend gleichförmig aufgebauten – Fichtenreinbestände in das hiebsreife Alter und dem damit verbundenen Beginn der Holzentnahme und der Walderneuerung.

3.1 Entwicklung der Holzvorräte

Als Holzvorrat wird hier die gesamte oberirdische Derbholzmasse (über 7 cm Durchmesser) eines Bestandes oder einer Summe von Beständen bezeichnet. Der Holzvorrat und seine zeitliche Entwicklung ist einer der wichtigsten Indikatoren zur Beurteilung forstwirtschaftlicher Betriebe. Die Zusammensetzung des Vorrates (Baumartenanteile, Altersverteilung, Durchmesserverteilung usw.), seine Gesamthöhe und seine Entwicklung ermöglichen die Beurteilung ökonomischer und ökologischer Potenziale unter dem Aspekt einer nachhaltigen Forstwirtschaft.

Abbildung 7 zeigt die prognostizierte Vorratsentwicklung im Untersuchungsgebiet „Nordharz“ in den Jahren von 2003 bis 2053. Dargestellt sind die zu erwartenden Vorräte der vier Waldentwicklungsszenarien. Erwartungsgemäß steigen die Vorräte bei Unterlassung der Nutzung im Szenario „naturschutzorientierter“ Waldbau (PROZESS) im Vergleich zu den übrigen Szenarien stark an. Als einziges vorratsreduzierendes Element wirkt hier die natürliche Mortalität, die über die Kronenkonkurrenz benachbarter Bäume und das natürliche Höchstalter im System gesteuert werden. Die durch natürliche Mortalität bedingte Vorratsreduktion wird allerdings vom periodischen Zuwachs bei weitem übertroffen, so dass bei dieser Variante im Jahre 2053 sehr hohe Bestandesvorräte mit über 800 Vfm/ha erreicht werden. Nicht enthalten sind vorzeitige Abgänge durch Wind- und Eisbruch bzw.

durch biotische Schädlinge, was in der Realität zu geringeren Vorräten führen würde.

Während die Variante „Waldbau unter Berücksichtigung der potenziell natürlichen Vegetation“ (PNV) über den gesamten Prognosezeitraum eine weitgehend konstante Vorratsentwicklung mit leichter Steigerung auf durchschnittlich knapp 400 Vfm/ha erfährt, führen die Varianten „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE (LÖWE) zu einem moderaten und „ertragsorientierter“ Waldbau (ERTRAG) zu einem deutlichen Vorratsabbau. Auffällig sind die durch den auf 10 Jahre verlängerten Eingriffsturnus und die entsprechend hohen Nutzungsmengen hervorgerufenen wellenförmigen Schwankungen der Vorratsentwicklung in der Ertragsvariante.

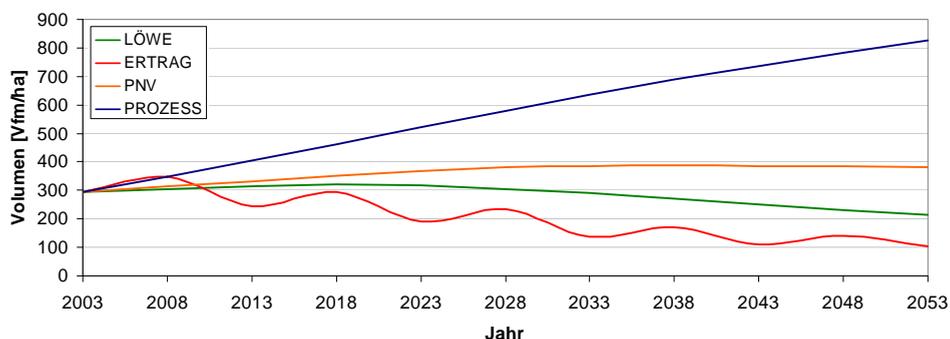


Abbildung 7: Entwicklung der flächenbezogenen Vorräte [Vfm/ha] der vier Szenarien

3.2 Durchmesserentwicklung

Bei der Analyse der Szenarienergebnisse bezüglich der Entwicklungen des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes (d_g) (s. Abb. 8) zeigt sich bis 2018 ein ähnlicher Verlauf bei allen Szenarien, bevor die Durchmesserentwicklungen dann im darauf folgenden Prognoseabschnitt bis zum Ende des Simulationszeitraumes im Jahre 2053 deutlicher auseinanderdriften.

Die zunächst bei allen Varianten zu beobachtende kurze Phase mit einer leichten Durchmesserzunahme geht bei drei Varianten relativ schnell in eine bis etwa zum Jahre 2030 andauernde Phase mit einem mehr oder weniger stark ausgeprägten fallenden Trend über, was sich mit der bereits erwähnten Waldverjüngung im Anschluss an die Nutzung hiebsreifer Fichtenbestände erklären lässt. Nach dem Jahr 2030 stabilisiert sich die Durchmesserentwicklung bei der Variante PNV auf einem relativ konstanten Niveau, in der LÖWE-Variante nimmt sie weiter, wenn auch in abgeschwächter Form, ab. Die stärkste Abnahme des Durchmessers (von ca. 30 cm im Status quo bis auf 15 cm im Jahre 2053) wird für das ertragsorientierte Szenario prognostiziert. Bei der Variante PROZESS kommt es ab ca. 2030 hin-

gegen zu einer dauerhaften Trendumkehr, die bis zum Ende des Prognosezeitraums durch steigende Durchmesser geprägt ist.

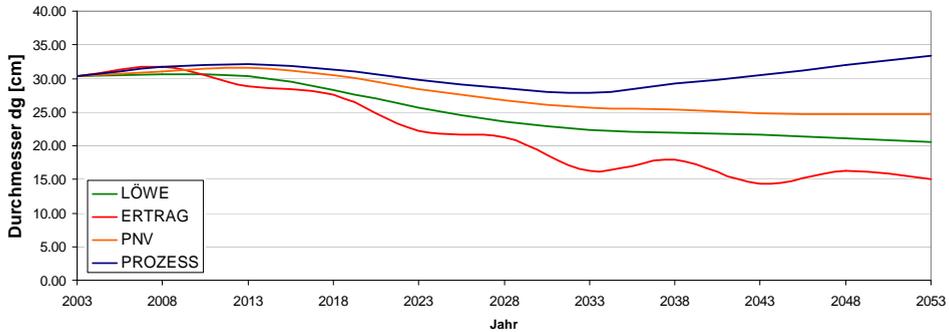


Abbildung 8: Entwicklung des Durchmessers des Grundflächenmittelstammes (dg) [cm] der vier Szenarien

3.3 Zuwachsentwicklung

Der Zuwachs wird als jährlicher periodischer Zuwachs in Vorratsfestmetern pro Hektar (V_{fm}/ha) errechnet. Dazu wird vom Gesamtvolumen eines Bestandes zum Zeitpunkt der Betrachtung das Bestandesvolumen am Anfang der zugehörigen Simulationsperiode abgezogen. Zu diesem Wert wird die Summe aus Durchforstungs- und Endnutzungsvolumen und das Volumen der während des Simulationszeitraums durch natürliche Mortalität ausgeschiedenen Bäume addiert. Das Ergebnis wird durch die Anzahl der Simulationsjahre dividiert.

Abbildung 9 zeigt die Zuwachsentwicklung der vier Szenarien. Durch die direkte Abhängigkeit der waldwachstumskundlichen Größen voneinander, zeigt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei der Betrachtung von Volumen- und Durchmesserentwicklung.

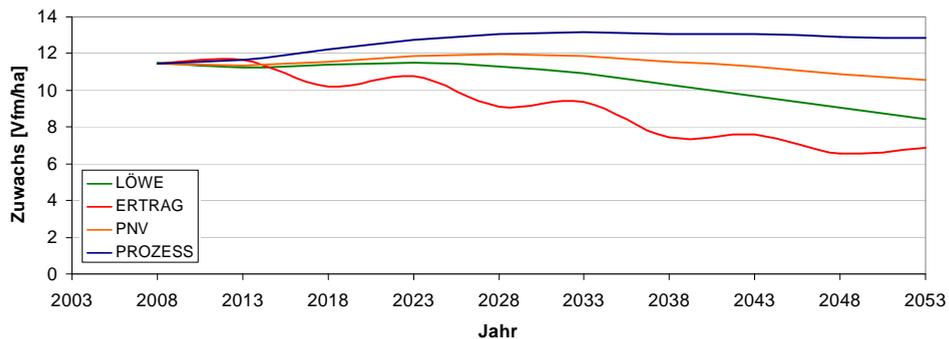


Abbildung 9: Entwicklung des jährlichen Zuwachses [V_{fm}/ha] der vier Szenarien

Während für die Varianten PROZESS und PNV bis etwa zum Jahr 2030 steigende Zuwächse prognostiziert werden, bevor dann bis zum Ende der Simulation der Zuwachs bei der PROZESS-Variante auf einem hohen Niveau konstant bleibt (ca. 13 Vfm/ha im Jahre 2053) und sich der Zuwachs bei der PNV-Variante nur unwesentlich verringert (auf ca. 10,5 Vfm/ha im Jahre 2053), setzt die Zuwachsreduktion bei der naturnahen Variante nach LÖWE und verstärkt bei der Ertragsvariante schon früher ein und fällt bis zum Ende des Prognosezeitraums weitaus deutlicher aus (von ca. 11,5 Vfm/ha im Status quo bei LÖWE auf 8,5 Vfm/ha im Jahre 2053 und bei ERTRAG auf ca. 7 Vfm/ha).

3.4 Entwicklung der ausscheidenden Volumina

Bei den ausscheidenden Volumina handelt es sich um die Gesamtabgänge des Bestandesvorrates pro Simulationsperiode. Sie ergeben sich aus der Summe von Durchforstungs- und Endnutzungsvolumen addiert mit dem Volumen der infolge von natürlicher Mortalität abgestorbenen Bäume. Das exemplarisch unter Verzicht auf jegliche Nutzung gerechnete naturschutzorientierte Waldentwicklungsszenario (PROZESS) enthält demnach nur die Volumenkomponente, die sich aus der natürlichen Mortalität ergibt (s. Abb. 10). Aufgrund der im Simulationsverlauf stetig zunehmenden Kronenkonkurrenz steigt im Rahmen dieser Variante deshalb das ausscheidende Volumen kontinuierlich an (von 3 Vfm/ha im Status quo auf 20 Vfm/ha im Jahre 2053). Neben der Kronenkonkurrenz ist das natürliche Alter der Baumarten ein zweiter, die natürliche Mortalität beeinflussender Faktor, der bei der Simulation Berücksichtigung findet. Allerdings wirkt sich diese Komponente hier nicht aus, da das natürliche Lebensalter der Baumarten im 50-jährigen Prognosezeitraum der vorliegenden Untersuchung nicht erreicht wird.

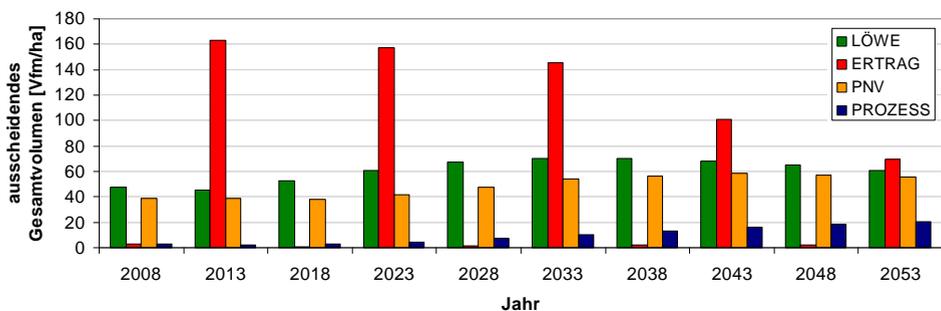


Abbildung 10: Entwicklung der ausscheidenden Volumina [Vfm/ha] (Vor- u. Endnutzung + natürliche Mortalität) der vier Szenarien

Die Entwicklung des ausscheidenden Gesamtvolumens verläuft bei den Varianten LÖWE und PNV ähnlich, insgesamt übersteigen die ausscheidenden Volumina der LÖWE-Variante die der PNV-Variante leicht (s. Abb. 10). Vor allem gegen Ende des Prognosezeitraums nähern sich die Werte dieser beiden Varianten ziemlich an.

Der gegenüber den anderen drei Varianten von 5 auf 10 Jahre verlängerte Eingriffsturnus der Variante ERTRAG mit entsprechend deutlich höheren Entnahmemengen in der Vor- und Endnutzung führt – vor allem in der frühen Phase der Simulation – zu sehr hohen ausscheidenden Volumina in den Jahren, in denen eine Nutzung stattfindet. Dagegen übersteigen die ausscheidenden Volumina der drei anderen Varianten jene der Ertragsvariante in der hier geltenden, zwischen zwei Nutzungszeitpunkten liegenden 10-jährigen Phase der Hiebsruhe deutlich. Dieses Phänomen führt bei den Varianten LÖWE, PNV und PROZESS – ähnlich wie auch bei der Betrachtung der Vorrats-, Durchmesser- und Zuwachsentwicklungen – zu einem ausgeglichenen Kurvenverlauf.

3.5 Entwicklung der Baumartenzusammensetzung

Das eingangs erwähnte Phänomen des innerhalb des Simulationszeitraumes stattfindenden „Hineinwachsens“ von großen Teilen der im Untersuchungsgebiet dominierenden Fichtenreinbestände in das hiebsreife Alter eröffnet der Forstwirtschaft verschiedene Möglichkeiten, um durch eine aktive waldbauliche Steuerung der Waldverjüngung Einfluss auf die künftige Baumartenzusammensetzung zu nehmen.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Waldbehandlungskonzepte der vier hier betrachteten Szenarien auf die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung im Untersuchungsgebiet werden flächenhaft in der Abbildung 11 und mit den prozentualen Anteilen der Baumartengruppen am Gesamt-Derbholzvolumen in der Abbildung 12 dargestellt.

Im Status quo (2003) erreicht neben der Fichte (87 %) nur noch die Buche (10 %) nennenswerte Anteile an der Baumartenzusammensetzung im Untersuchungsgebiet. Bis auf die „naturschutzorientierte“ Variante (PROZESS), bei der die Baumartenanteile weitgehend konstant bleiben, zeigen die Varianten LÖWE, ERTRAG und PNV teilweise sehr deutliche Veränderungen. Bei diesen drei Varianten ist ein Rückgang der Fichte vor allem zugunsten der Buche zu beobachten.

Am deutlichsten zeigt sich diese Veränderung bei der ertragsorientierten Variante, wo der Anteil der Baumartengruppe Fichte am Gesamt-Derbholzvolumen (Holzvorrat) im Verlaufe der Simulation um knapp ein Drittel zurückgeht (von 87 % in 2003 auf 56 % in 2053). Gleichzeitig steigt der Buchenanteil von 10 % auf 28 %. Rechnet man die ebenfalls deutlich steigenden Anteile der Laubbaumartengruppen ALh und ALn mit ein, so steigen die Laubbaumanteile von 13 % (2003) auf 43 % zum Ende der Simulation. Die Nadelbaumanteile erniedrigen sich dementsprechend in der gleichen Größenordnung um 30 %.

Vergleichbar verläuft die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung in der Variante „naturnaher“ Waldbau nach LÖWE. Hier geht der Nadelbaumanteil auf 68 % zurück, während der Laubbaumanteil auf 32 % steigt.

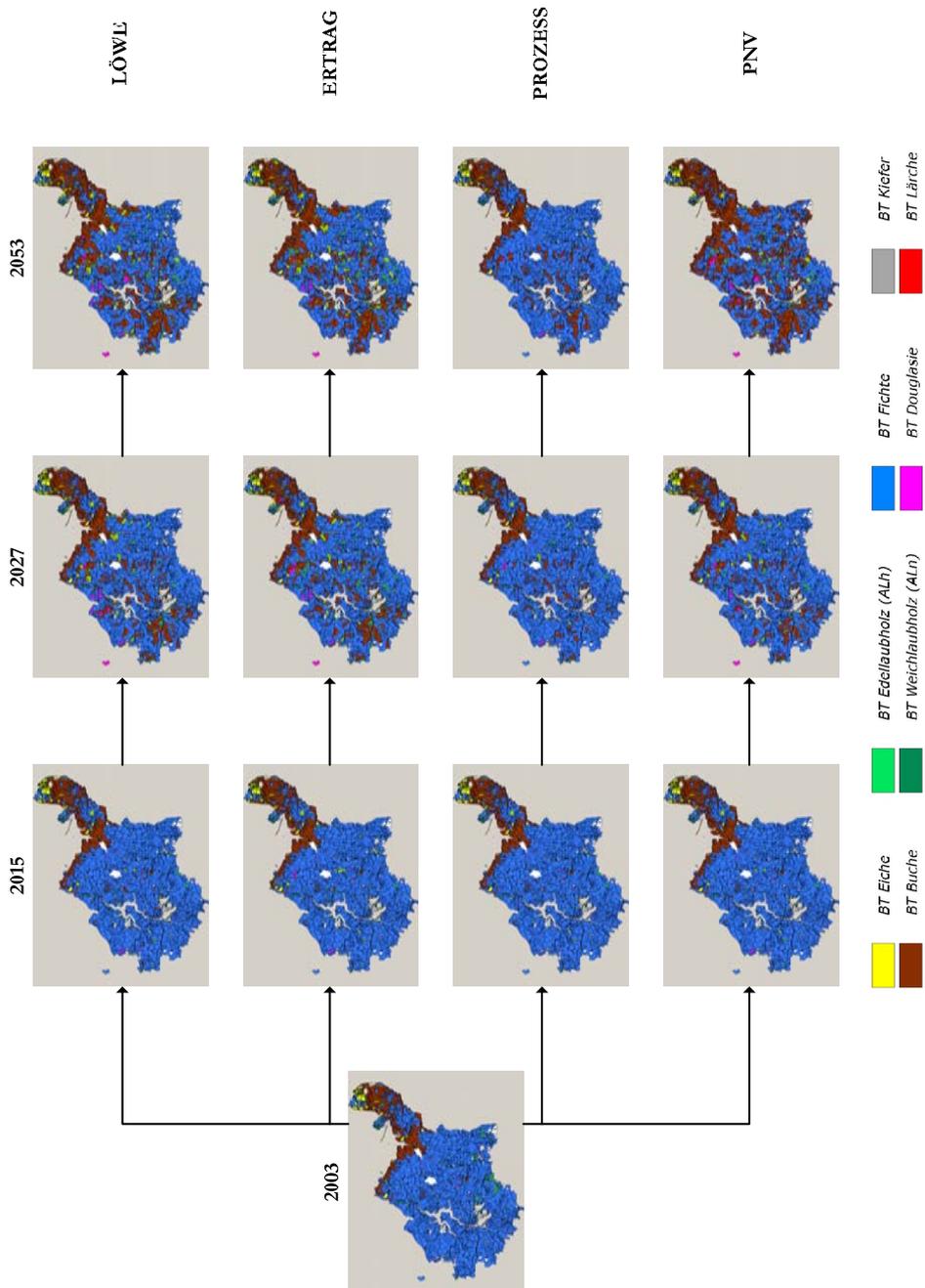


Abbildung 11: Waldentwicklung auf der Basis der jeweilig aktuellen Bestandestypen (BT)

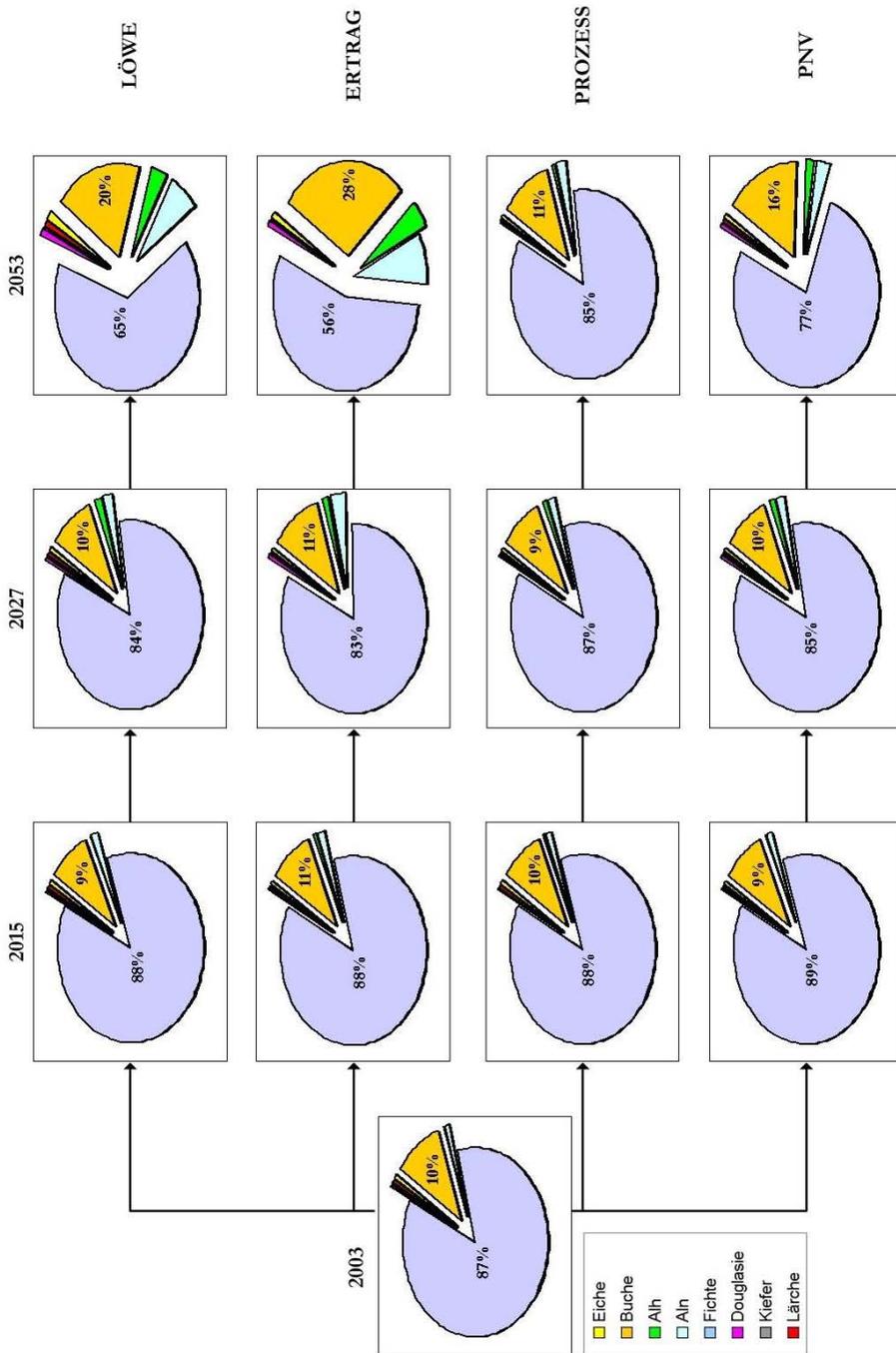


Abbildung 12: Entwicklung der Baumartengruppenanteile [%] am Gesamt-Derbbolzvolumen

Auffällig ist, dass gerade die PNV-Variante, die mit der konkreten Zielsetzung der gesteuerten Waldentwicklung hin zu Buchen-Reinbeständen simuliert wurde (flächenhafte Zuweisung des WET 20 = Buchen-Reinbestand), bei den Buchenanteilen am Ende der Simulation hinter den beiden zuvor genannten Varianten zurückbleibt. Hier wirken sich die, den einzelnen Strategien hinterlegten Maßnahmenketten der Waldbehandlung aus, die einen schnelleren Umbau der Waldflächen hin zu mehr Laubbäumen bei den Varianten LÖWE und ERTRAG ermöglichen, als dies bei dem längerfristig wirkenden Konzept der PNV-Strategie der Fall ist. Trotzdem ist der Anstieg der Laubbaumanteile auch im Rahmen dieser Variante von 10 % in 2003 auf 22 % in 2053 beträchtlich.

Das über den gesamten Simulationszeitraum weitgehend konstante Verhältnis der Anteile der Laub- und Nadelbäume bei der Naturschutzvariante (PROZESS) ist eine Folge des Verzichts auf jegliche Eingriffe in die natürlichen Wachstumsprozesse (keine Nutzungen und keine Pflanzungen). Eine Walderneuerung erfolgt hier ausschließlich durch Naturverjüngung.

Literatur

- ALBERT, M. u. HANSEN, J. (2007): Ein Entscheidungsunterstützungssystem für die multifunktionale Forstplanung auf Landschaftsebene. *Forst u. Holz*, 62, 14-18
- DUDA, H.A.A. (2006): Vergleich forstlicher Managementstrategien. Umsetzung verschiedener Waldbaukonzepte in einem Waldwachstumssimulator. Dissertation Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Books on Demand, Norderstedt, 182 S.
- HANSEN, J. (2006): Der WaldPlaner – Ein System zur Entscheidungsunterstützung in einer nachhaltigen Forstwirtschaft. In: DEGENHARDT, A. u. U. WUNN (Hrsg.): Sammlung der Beiträge von der 18. Jahrestagung der Sektion Biometrie und Informatik im DVFFA vom 25. bis 27.09.2006 in Trippstadt. *Die Grüne Reihe*, 112-119
- NAGEL, J. (2005): Integriertes Handbuch des Simulators: Modellfunktionen und Koeffizienten des Forest Simulators BWINPro Version 7.0. <http://TreeGrOSS.sourceforge.net/>, 15.06.2006
- NAGEL, J.; ALBERT, M. u. SCHMIDT, M. (2002): Das waldbauliche Prognose- und Entscheidungsmodell BWINPro 6.1 - Neuparametrisierung und Modellerweiterungen. *Forst u. Holz* 57, 486-493
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG (1991): Langfristige Ökologische Waldentwicklung in den Landesforsten. Programm der Landesregierung, Niedersächsische Landesregierung Hannover, 49 S.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTVERWALTUNG (2004): Langfristige Ökologische Waldentwicklung – Richtlinie zur Baumartenwahl. *Aus dem Walde*, 54, Hannover, 145 S.
- OTTO, H. J. (1989): Langfristige Ökologische Waldbauplanung für die niedersächsischen Landesforsten – Band 1. *Aus dem Walde*, 42, Hannover, 442 S.
- OTTO, H. J. (1991): Langfristige Ökologische Waldbauplanung für die niedersächsischen Landesforsten – Band 2. *Aus dem Walde*, 43, Hannover, 527 S.
- WOLLBORN, P. u. BÖCKMANN, T. (1998): Ein praktikables Modell zur Strukturierung des Vorrats aus Ertragstafelschätzung. *Forst u. Holz*, 53, 547-550

Anhang 1

Rahmenwerte für die Waldentwicklungsszenarien – Bestandeswerte

	BT	Waldbauregime			PROZESS
		LÖWE	PNV	ERTRAG	
Eingriffsturnus (Jahre)	alle	5	5	10	Keine Nutzung, nur „natürliche Mortalität“
Max. Endnutzungsvolumen (Vfm/ha)	Eiche	100	100	400	
	Buche	100	100	160	
	Alh	80	80	160	
	Aln	80	80	200	
	Fichte	100	100	200	
	Douglasie	100	100	200	
	Kiefer	70	70	150	
	Lärche	70	70	150	
Min. Endnutzungsvolumen (Vfm/ha)	Eiche	50	50	200	
	Buche	40	40	80	
	Alh	40	40	80	
	Aln	40	40	100	
	Fichte	50	50	100	
	Douglasie	50	50	100	
	Kiefer	35	35	75	
	Lärche	35	35	75	
Max. Durchforstungs- volumen (Vfm/ha)	Eiche	70	70	100	
	Buche	70	70	140	
	Alh	70	70	140	
	Aln	70	70	140	
	Fichte	70	70	140	
	Douglasie	70	70	140	
	Kiefer	70	70	100	
	Lärche	70	70	140	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Fortsetzung: Rahmenwerte für die Waldentwicklungsszenarien – Bestandeswerte

	BT	Waldbauregime			PROZESS
		LÖWE	PNV	ERTRAG	
Min. Durchforstungs- volumen (Vfm/ha)	Eiche	20	20	50	Keine Nutzung. Nur „natürliche Mortalität“
	Buche	20	20	70	
	Alh	20	20	70	
	Aln	20	20	70	
	Fichte	20	20	70	
	Douglasie	20	20	70	
	Kiefer	20	20	50	
	Lärche	20	20	70	
Max. Eingriffsvolumen (Vfm/ha)	alle	Max. Durchforstungs- oder Endnutzungsvolumen			
Min. Eingriffsvolumen (Vfm/ha)	alle	Min. Durchforstungs- oder Endnutzungsvolumen			
Endnutzungs- zeitraum (Jahre)	Eiche	∞	∞	10	
	Buche	∞	∞	30	
	Alh	∞	∞	30	
	Aln	∞	∞	10	
	Fichte	∞	∞	20	
	Douglasie	∞	∞	20	
	Kiefer	∞	∞	20	
	Lärche	∞	∞	20	
Anzahl Habitatbäume (n)	alle	1	0	0	0
Schutz von Minderheiten (ja / nein)	alle	ja	nein	nein	nein
Angestrebter Zieltyp	alle	abhängig von Standort u. BT	Buche	abhängig von Standort u. BT	keiner

Anhang 2

Rahmenwerte für die Waldentwicklungsszenarien – baumartenbezogene Werte

	Baumarten	Waldbauregime			
		LÖWE	PNV	ERTRAG	PROZESS
Mindesthöhe erster Eingriff (m)	Eiche	14	14	16	Keine Nutzung. Nur „natürliche Mortalität“
	Buche	16	16	18	
	Alh	12	12	14	
	Aln	10	10	12	
	Fichte	14	14	16	
	Douglasie	14	14	16	
	Kiefer	13	13	16	
	Lärche	12	12	14	
Zielstärke (cm)	Eiche	70	70	60	
	Buche	60	60	50	
	Hainbuche	45	45	45	
	Alh	60	60	60	
	Aln	45	45	40	
	Fichte	45	45	40	
	Douglasie	60	60	50	
	Kiefer	45	45	40	
Lärche	60	60	50		
Freistellungsgrad	allgemein	normal	stark	stark	
	Eiche	-0,1	0	0	
	Buche	-0,3	-0,2	-0,2	
	Alh	-0,2	-0,1	-0,1	
	Aln	-0,1	0	0	
	Fichte	-0,2	-0,1	-0,1	
	Douglasie	-0,3	-0,2	-0,2	
	Kiefer	-0,1	0	0	
Lärche	-0,1	0	0		
Ziel-Artenanteil	alle	Lt. Zieltyp	Lt. Zieltyp	Lt. Zieltyp	keine Vorgabe

Autor:

Dr. Swen Hentschel

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Grätzelstr. 2

D-37079 Göttingen

E-Mail: swen.hentschel@nw-fva.de

URL: www.nw-fva.de