

14 Betriebsbezogene Nutzungsszenarien in Testbetrieben

Gerald Kändler¹, Jürgen Nagel², Sabine Rumpf², Christian Vonderach¹,
Dietmar Zirlewagen³

¹*Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Biometrie und Informatik*

²*Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldwachstum*

³*Interra, Büro für Umweltmonitoring*

14.1 Einleitung und Problemstellung

Die im Vorhaben entwickelten Instrumente zur Quantifizierung der mit der Holzernte verbundenen Nährstoffentzüge und ihre Bilanzierung mit der standörtlichen Nährstoffverfügbarkeit werden in zwei Varianten an zwei Testbetrieben dargestellt. Mit diesen beispielhaften Anwendungen soll zum einen gezeigt werden, dass die Verfahren für konkrete betriebsbezogene Anwendungen geeignet sind; zum anderen liefern die zwei berechneten Varianten Hinweise für die Interpretation und Bewertung der abgeleiteten Ergebnisse. Grundlagen sind jeweils Betriebsinventurdaten sowie die regionalisierten Bodenbilanzen für die Nährelemente Calcium, Magnesium und Kalium.

Im Testbetrieb „Altdorfer Wald“, ein Betriebsteil des Staatswalds im Landkreis Ravensburg in Baden-Württemberg, werden die Nährstoffbilanzen für die realen, aus wiederholten Inventuren abgeleiteten Nutzungen über einen Zeitraum von 20 Jahren (zwei rund zehnjährige Inventurperioden 1994 bis 2014) hergeleitet.

Als Alternative hierzu werden im Testbetrieb „Niedersächsisches Forstamt Fuhrberg, Revier Fuhrberg“ mit dem ForestSimulator der NW-FVA für aus Inventurstichproben generierte Beispielbestände über eine 30 bzw. 80-jährige Periode die durchschnittlichen Nährstoffentzüge pro Jahr berechnet und den Bodenbilanzen gegenübergestellt.

14.2 Material und Methoden

14.2.1 Testbetrieb Staatswald im Altdorfer Wald

Der Altdorfer Wald ist ein bewaldeter Höhenzug (bis 776,6 m über NHN) zwischen Aulendorf und Vogt im baden-württembergischen Landkreis Ravensburg und bildet mit rund 8.000 ha Fläche das größte zusammenhängende Waldgebiet Oberschwabens. Der Staatswald umfasst dort rund 4.800 ha Fläche.

Die Bestandesverhältnisse zeigen die für Oberschwaben typischen Charakteristika, hochproduktive Standorte mit einer Dominanz der Fichte, die allerdings im betrachteten Zeitraum von 1994 bis 2014 einen signifikanten Rückgang an Fläche und Vorrat aufweist (Tab. 14.1).

Tab. 14.1: Entwicklung der Baumartenanteile im Staatswald Altdorfer Wald [%].

| | 1994 | 2004 | 2014 |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Fichte | 57,2 | 50,3 | 45,9 |
| Sonstige Nadelbäume | 8,7 | 9,5 | 10,6 |
| Buche | 17,2 | 19,7 | 19,9 |
| Eiche und sonstige Laubbäume | 16,9 | 20,5 | 23,6 |

Die Nutzungen sind dementsprechend stark von der Fichte geprägt, auf die im betrachteten Zeitraum ca. 75 % des Holzeinschlags entfällt (Tab. 14.2).

Tab. 14.2: Mittlerer jährlicher Holzeinschlag im Staatswald Altdorfer Wald im Zeitraum 1994 bis 2014.

| | Insgesamt | | | je ha HB Baumartenfläche | |
|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|-------|
| | m ³ Derbholz m.R. | m ³ Erntevolumen o.R. | % | m ³ Erntevolumen o.R. | |
| Fichte | 62.381 | 49.727 | 74,7 | 9,62 | 18,82 |
| Sonst. Nadelbäume | 4.184 | 3.130 | 5,0 | 0,61 | 6,30 |
| Buche | 11.325 | 9.563 | 13,6 | 1,85 | 9,77 |
| Eiche/sonst.Laubbäume | 5.593 | 4.226 | 6,7 | 0,82 | 4,02 |
| Alle Baumarten | 83.483 | 66.647 | 100 | 12,90 | 12,90 |

Die standörtlichen Bedingungen sind von Rendzinen, Pararendzinen und Parabraunerden geprägt, wobei im Nordwesten weniger durchlässige Böden mit hoher Speicherkapazität für Nährstoffe, im Südwesten dagegen durchlässige Substrate mit geringer Speicherkapazität vorherrschen. Klimatisch ist das Gebiet durch relativ hohe, nach Südosten zunehmende Niederschläge (mittlerer Jahresniederschlag 1.000 mm) bei moderaten Temperaturen (mittlere Jahrestemperatur 7 °C) geprägt.

Die Erstellung von Nährstoffbilanzen im Testbetrieb Altdorfer Wald folgt demselben Prinzip wie bei der bundesweiten Bilanzierung: dies gilt sowohl für die Erstellung der nutzungsfreien Bodenbilanzen, bei denen als Größen des Nährstoffeintrags die atmogene Deposition und Verwitterung und als Output der Nährstoffaustrag mit dem Sickerwasser berücksichtigt werden (Kapitel 8) als auch für die Herleitung der mit der Holzernte einhergehenden Nährstoffumverteilungen und -austräge (Kapitel 9). Die Berechnung der Nährstoffentzüge erfolgte mit Hilfe der Biomassefunktionen (Kapitel 2) in Verbindung mit kompartimentweisen Nährelementgehalten (Kapitel 3). Für die Sortenaushaltung nach den Sortimentsgruppen Stamm-, Industrie- und Energieholz wurden getrennt nach Laub- und Nadelholz für unterschiedliche Durchmesserbereiche (BHD) Aufarbeitungszöpfe festgelegt (Tab. 14.3). Die Sortenaushaltung entspricht somit dem praxisüblichen Nutzungsszenario.

Die Aufarbeitung der Sorten beschränkte sich auf das Derbholz (Aufarbeitungszopf 7 cm beim Energieholz). Bezüglich des Nichtderbholzes wurde allerdings angenommen, dass 50 % durch Selbstwerber als Energieholz genutzt werden und 50 % auf der Rückegasse verbleiben. Als Ernteverluste wurden beim Derbholz pauschal 10 %, beim Nichtderbholz 40 % für Laubholz bzw. 20 % für Nadelholz unterstellt. Bei den auf die Rückegassen verlagerten Mengen wurde angenommen, dass 80 % einen dauerhaften Entzug darstellen und 20 % für den Bestand als wiedergewinnbar gelten.

Tab. 14.3: Sortiervorgaben für die Sortenaushaltung des ausgeschiedenen Vorrats.

| Holzartengruppe | bis BHD [cm m.R.] | Aufarbeitungsstuf [cm m.R.] | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|---------------|-------------|
| | | Stammholz | Industrieholz | Energieholz |
| Nadelholz | 35 | 16 | 12 | 7 |
| | ∞ | 20 | 17 | 7 |
| Laubholz | 30 | - | 12 | 7 |
| | 37 | 29 | 12 | 7 |
| | 40 | 31 | 15 | 7 |
| | ∞ | 35 | 17 | 7 |

Die Nährstoffbilanzen wurden für insgesamt 1.193 Betriebsinventurstichproben berechnet, welche eine Holzbodenfläche von 4.772 ha repräsentieren.

14.2.2 Testbetrieb Forstamt Fuhrberg, Revier Fuhrberg

Für sechs Beispielbestände, von denen drei auf nährstoffarmen und drei auf nährstoffreicheren Standorten im Forstamt Fuhrberg, Revier Fuhrberg stehen, wurden die durchschnittlichen Nährstoffentzüge pro Jahr berechnet. Die Bestandsdaten stammen aus der Betriebsinventur der Niedersächsischen Landesforsten. Die Bestände waren 28/30 Jahre, 46/54 Jahre sowie 80 Jahre alt. Sie wurden für 30 Jahre simuliert. Mit diesen Simulationen soll gezeigt werden, wie hoch die durchschnittlichen Nährstoffentzüge in den drei Altersbereichen sind. Da die mittleren und älteren Bestände in dem Untersuchungsgebiet in ihrer Struktur und Bestandesdichte sehr heterogen sind, lässt sich aus den drei Altersbereichen keine Zeitreihe rechnen, die ideal bewirtschaftete Kiefernbestände abbildet. Aus diesem Grunde wurden zusätzlich die beiden jüngeren Bestände über einen Zeitraum von 80 Jahren simuliert, woraus sich durchschnittliche Närelemententzüge für eine Rotation ergeben.

Die Berechnung wurde mit dem ForestSimulator der NW-FVA durchgeführt. Er baut auf dem Paket TreeGrOSS (Hansen u. Nagel 2014) auf, mit dem die Entwicklung von Waldbeständen in Nordwestdeutschland geschätzt werden kann. Der ForestSimulator enthält darüber hinaus eine Komponente für die Sortierung und die Berechnung der Biomassen und Nährstoffgehalte mit den durchschnittlichen Konzentrationswerten aus dem EnNa-Projekt. Für die sechs Betriebsinventurpunkte liegen die regionalisierten Nährstoffbilanzen aus dem Projekt EnNa vor (siehe Kapitel 10).

Für jeden der sechs Betriebsinventurpunkte wurden mit dem ForestSimulator die Daten eingelesen und aus diesen ein 0,25 ha großer Bestand erzeugt. Der Bestand wurde gespeichert und für 30 Jahre in der Entwicklung gemäß den Standardeinstellungen fortgeschrieben. Am Ende der Simulation wurden die Einzelbaumdaten in einer Datei gespeichert. Diese enthält die Bäume des verbleibenden Bestandes mit ihren Dimensionen am Ende der Simulation und alle ausscheidenden Bäume mit den Dimensionen zum Zeitpunkt des Absterbens bzw. der Entnahme. Die Simulation verläuft unter "idealen Bedingungen". Es wird alle fünf Jahre in die Bestände eingegriffen. Abiotische und biotische Risiken bleiben unberücksichtigt. Alle Bäume wurden anschließend mit dem ForestSimulator nach den Vorgaben aus Tab. 14.4 sortimentiert.

Tab. 14.4: Bei der Bestandessimulation der Baumarten verwendete Sortimentierung.

| Sortiment | Zopf [cm] | Länge [m] |
|-----------------------|-----------|------------------|
| Kiefer 3 m Abschnitte | 12 | 3,0 + 0,1 Zugabe |
| Fichte 4 m Abschnitte | 12 | 4,0 + 0,1 Zugabe |
| Laubholz IL | 7 | 3,0 bis 18,0 |

Bei der Kiefer wurden durchgängig über den gesamten Simulationszeitraum Abschnitte ausgehalten. Es wurden ab dem Alter 100 aufgrund der für alte Kiefern typischen Kronenform höherwertige Sortimente nur bis zum Kronenansatz unterstellt. Bei der Fichte wurden durchgängig über den gesamten Simulationszeitraum Abschnitte über den gesamten Schaft hinweg ausgehalten. Das weitestgehend unterständige Laubholz schlechter Qualität wurde als Industrieholz sortimentiert. Nicht sortimentiertes Holz wurde dem Restholz zugeordnet und es wurde der Stubben für eine Fällhöhe von 0,3 m berechnet. In einem weiteren Schritt wurden für die Sortimente, Baumkompartimente, das Restholz und die Stubben die Biomasse und die Nährstoffgehalte berechnet. Die Ergebnistabelle mit den Nährstoffgehalten aus dem ForestSimulator wurde dann in OpenOffice Calc für die Schlussberechnung übernommen und sortiert.

14.3 Ergebnisse

14.3.1 Testbetrieb Altdorfer Wald

In der Periode 1994 bis 2014 sind im Mittel pro Jahr und Hektar 17,0 m³ Derbholz in Rinde eingeschlagen worden, was einer Erntemenge von 13,6 m³ ohne Rinde bzw. 14,6 m³ mit Rinde entspricht. Tatsächlich wird die Rinde mit dem Holz aus dem Wald verbracht, da die aktuelle Aufarbeitung grundsätzlich keine Entrindung im Bestand mehr vorsieht. Insofern spiegelt das forstübliche Verkaufsmaß Erntefestmeter ohne Rinde nicht die realen Mengeneinheiten wider.

Die hohe Nutzungsintensität ist eine Folge starker Nutzungen in der Fichte, die zu einem Abbau des Fichtenvorrats geführt haben, und spiegelt die waldbaulichen Ziele der Laubholzförderung zur Stabilisierung der Bestände wider, teils getrieben durch kalamitätsbedingte Holzanfälle (Sturm, Borkenkäfer). Für die betrachtete Periode führt das hohe Nutzungsniveau dazu, dass im Mittel bei allen drei Elementen negative Bilanzen auftreten, die sich in unterschiedlichen räumlichen Mustern abbilden (Abb. 14.1 bis Abb. 14.2). Relativ am günstigsten stellt sich die Situation bei Calcium dar (Abb. 14.1 links). Insbesondere im nordwestlichen Bereich bis zur Gebietsmitte sind durchweg positive Bilanzen gegeben, das heißt, dass die hohen Nutzungen dort zu keinem Netto-Calcium-Entzug führen. Bei Kalium (Abb. 14.1 rechts) ergibt sich ein anderes Bild, hier streuen die Bereiche mit Netto-Entzügen über das gesamte Gebiet, wobei auch hier der nordwestliche Bereich etwas weniger Mangelsituationen aufweist. Auch beim Magnesium (Abb. 14.2) verteilen sich die negativen Bilanzen über das gesamte Waldgebiet.

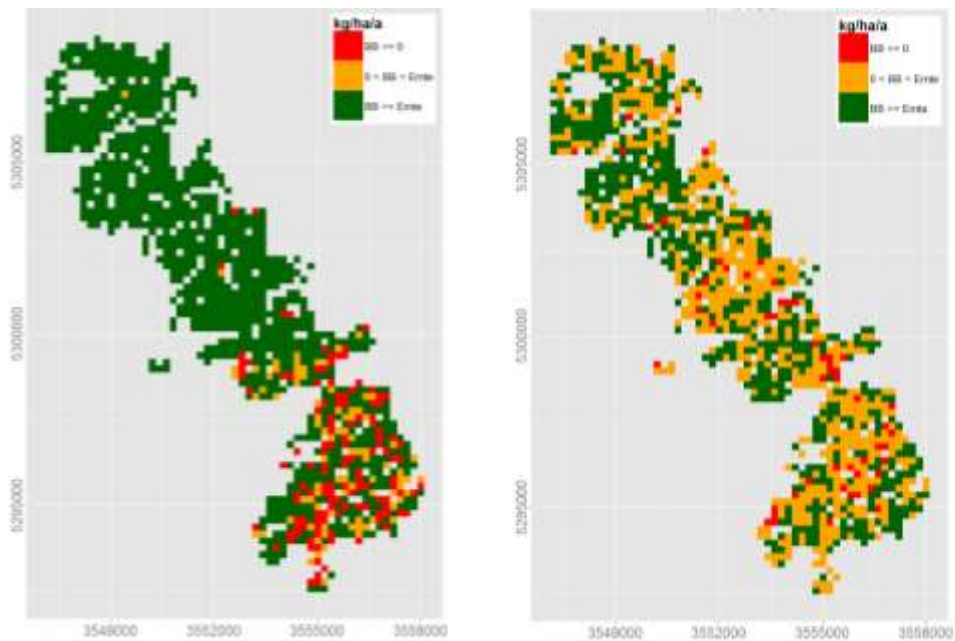


Abb. 14.1: Saldierung der erntebedingten Entzüge (Ernte) der Periode 1994 bis 2014 mit der Bodenbilanz (BB) für Calcium (links) und Kalium (rechts) [$\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] im Staatswald im Altdorfer Wald ($n = 1193$).

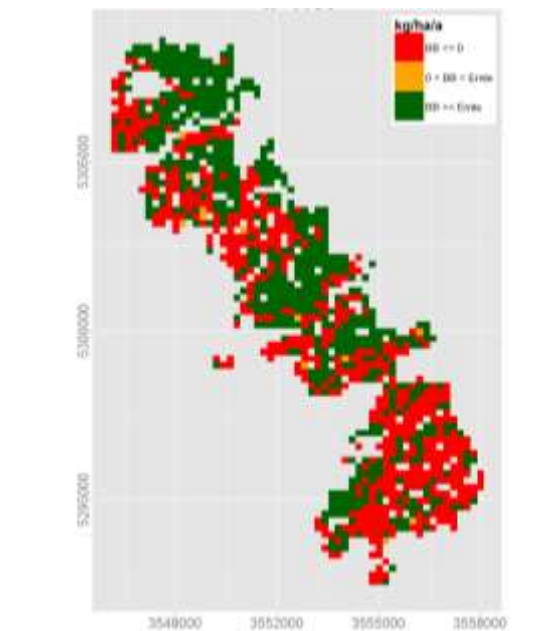


Abb. 14.2: Saldierung der erntebedingten Entzüge (Ernte) der Periode 1994 bis 2014 mit der Bodenbilanz (BB) für Magnesium [$\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] im Staatswald im Altdorfer Wald ($n = 1193$).

Würden die Erntemengen auf das Maß beschränkt werden, dass keine Netto-Entzüge auftreten (Tab. 14.5), ergäbe sich für Calcium im Mittel eine Reduktion um rund 14 %, mit einer im Mittel unbedenklichen Erntemenge von 12,5 m³ (m.R.) je Hektar und Jahr. Beim Kalium müsste die Erntemenge sogar um ca. 28 % auf 10,5 m³ ha⁻¹ a⁻¹ reduziert werden, um im Mittel ausgeglichene Bilanzen zu erhalten. Am stärksten sind die Einschnitte, um für Magnesium im Mittel eine negative Bilanz zu vermeiden, nämlich eine Reduktion um rund 46 % auf 7,8 m³ ha⁻¹ a⁻¹.

Tab. 14.5: Mittlere bezüglich Nährstoffbilanz kritische Erntemengen nach Nährelement.

| Element | Erntemenge [m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹] | | Anteil der unbedenklichen Erntemenge [%] |
|-----------|---|---|--|
| | Unbedenkliche Entnahmen mit im Mittel ausgeglichener Bilanz | Zuzüglich genutzte Menge, die im Mittel zu negativer Bilanz führt | |
| Calcium | 12,5 | 2,1 | 85,6 |
| Kalium | 10,5 | 4,1 | 71,9 |
| Magnesium | 7,8 | 6,8 | 53,5 |

Gleichzeitig lassen sich für das aktuelle Nutzungsniveau die erforderlichen Mengen an Nährelementrückführung kalkulieren (Tab. 14.6).

Tab. 14.6: Herleitung des Rückführungsbedarfs, um die durch Mehrnutzungen entstandenen negativen Bilanzen auszugleichen.

| Element | Erntemenge [t _{TM} ha ⁻¹ a ⁻¹] | | theoretischer Rückführungsbedarf | |
|-----------|--|---|-------------------------------------|---|
| | Unbedenkliche Entnahmen mit im Mittel ausgeglichener Bilanz | Zuzüglich genutzte Menge, die im Mittel zu negativer Bilanz führt | kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | kmol _c ha ⁻¹ in 20 Jahren |
| Calcium | 6,7 | 1,3 | 2,96 | 2,95 |
| Kalium | 5,7 | 2,3 | 3,40 | 1,73 |
| Magnesium | 4,1 | 3,9 | 1,13 | 1,85 |

14.3.2 Testbetrieb Forstamt Fuhrberg

Die Simulationsergebnisse sind in Abb. 14.3 bis Abb. 14.10 bzw. Tab. 14.7 bis Tab. 14.13 zusammengefasst. In den Tabellen sind die Bilanzergebnisse nach folgendem Aufbau dargestellt:

Dem Bereich Totholz (Toth) wurden alle durch Mortalität ausgeschiedenen Bäume, sämtliche Stubben sowie die gesamte Nadel-/Blattmasse zugeordnet. Bei den beiden alten Beständen wurden alle Bäume des stehenden Bestandes am Ende der 80- bzw. 30-jährigen Simulation der Entnahme zugerechnet. In den Tabellen wird in der Zeile Sort (nur Sortimente) die Nährstoffentnahme angegeben, wenn nur die angegebenen Sortimente dem Bestand entnommen und Restholz und Reisig im Bestand verbleiben. Die Zeile Totholz (Toth) enthält nicht das Restholz und das Reisig der genutzten Bäume. In der Zeile Entnahme (Entn) sind die Nährstoffentzüge bei kompletter Vollbaumnutzung (ohne Nadeln und Blätter) dargestellt. Die Zeile Entnahme (Entn) gibt die maximale Nährstoffentnahme an, weil bei der Sortimentierung keine Verluste durch Fäule, Bruch oder Krümmungen

vorgesehen sind. Die letzte Zeile (BoBil) enthält für die Nährelemente Calcium, Kalium und Magnesium das Saldo der regionalisierten Bodenbilanz.

14.3.2.1 Jungbestand

Der junge Bestand auf dem **armen** Standort mit einer Oberhöhenbonität 28,8 m wurde über 30 Jahre simuliert (Abb. 14.3 und Tab. 14.7).

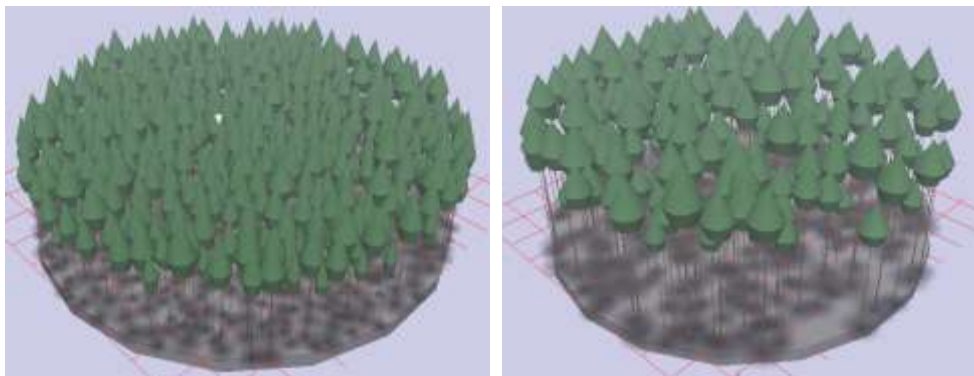


Abb. 14.3: 30jähriger Bestand auf armem Standort mit Oberhöhenbonität 28,8 m; links: Ausgangssituation im Alter 30; rechts: nach 30 Jahren Simulation im Alter 60.

Tab. 14.7: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen jungen Bestand auf armem Standort. Vol = Derbholzvolumen; Biom = Biomasse; Verb = verbleibender Bestand; Toth = Totholz, Stubben, Reste u. Blätter; Entn = Entnahme der Sortimente, Restholz, Zweige; Sort = Entnahme nur der Sortimente (Restholz und Zweige wurden aber nicht dem Totholz zugeschlagen); Diff = Differenz = $100 \cdot (\text{Entn} - \text{Sort}) / \text{Sort}$; BoBil = bodenbezogene Stoffbilanz nach der Regionalisierung.

| | Vol | Biom | C | N | S | P | K | Ca | Mg |
|-------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ |
| Verb | 5,6 | 2,8 | 1,4 | 4,9 | 0,4 | 0,4 | 2,3 | 4,4 | 0,9 |
| Toth | 1,2 | 0,7 | 0,3 | 1,8 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 1,3 | 0,2 |
| Entn | 1,7 | 0,9 | 0,4 | 1,3 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 1,4 | 0,3 |
| Sort | 1,0 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,6 | 0,1 |
| Diff | 70 % | 125 % | 100 % | 160 % | - | - | 133 % | 133 % | 200 % |
| BoBil | | | | | | | 3,7 | 6,4 | 1,8 |

Der junge Bestand auf dem **reicheren** Standort mit einer Oberhöhenbonität 34,0 m wurde über 30 Jahre simuliert (Abb. 14.4 und Tab. 14.8).

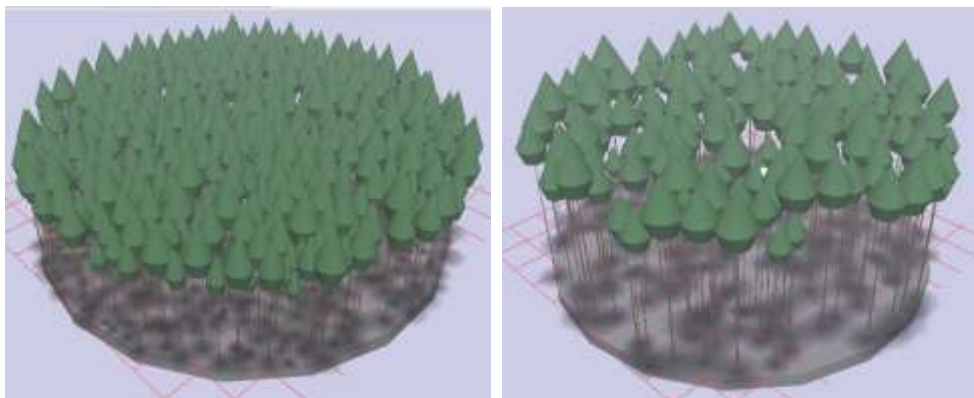


Abb. 14.4: Junger Bestand auf reichem Standort mit Oberhöhenbonität 34,0 m. Links: Ausgangsbestand im Alter 28, rechts: nach 30 Jahren Simulation im Alter 58.

Tab. 14.8: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen jungen Bestand auf reichem Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol | Biom | C | N | S | P | K | Ca | Mg |
|-------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ |
| Verb | 6,4 | 3,1 | 1,5 | 5,0 | 0,4 | 0,5 | 2,5 | 4,8 | 0,9 |
| Toth | 1,8 | 1,0 | 0,5 | 2,4 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 1,7 | 0,3 |
| Entn | 2,5 | 1,2 | 0,6 | 1,8 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 1,9 | 0,4 |
| Sort | 1,7 | 0,8 | 0,4 | 0,9 | 0,1 | 0,1 | 0,5 | 1,1 | 0,2 |
| Diff | 47 % | 50 % | 50 % | 100 % | 100 % | 100 % | 100 % | 73 % | 100 % |
| BoBil | | | | | | | 4,1 | 4,0 | 1,5 |

14.3.2.2 Mittelalter Bestand

Der mittelalte Bestand auf dem **armen** Standort mit einer Oberhöhenbonität 30,3 m wurde über 30 Jahre simuliert. In diesem Bestand sind auch einige Fichten. Der Bestand ist überbestockt und scheint noch nicht gepflegt worden zu sein. Aus diesem Grund wurde die Entnahmerate auf 76 Jahre berechnet (Abb. 14.5 und Tab. 14.9).

Tab. 14.9: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen mittelalten Bestand auf armem Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol | Biom | C | N | S | P | K | Ca | Mg |
|-------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ |
| Toth | 3,1 | 1,7 | 0,8 | 4,7 | 0,4 | 0,4 | 2,0 | 3,5 | 0,6 |
| Entn | 4,9 | 2,3 | 1,1 | 3,2 | 0,3 | 0,3 | 1,7 | 3,5 | 0,7 |
| Sort | 4,2 | 1,9 | 0,9 | 2,1 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 2,5 | 0,5 |
| Diff | 17 % | 21 % | 22 % | 52 % | 50 % | 50 % | 55 % | 40 % | 40 % |
| BoBil | | | | | | | 4,1 | 5,1 | 1,7 |

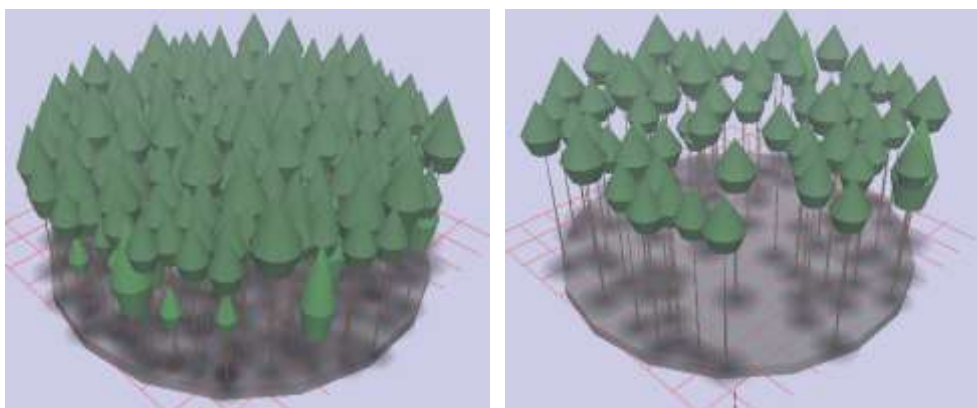


Abb. 14.5: Mittelalter Bestand auf armem Standort mit Oberhöhenbonität 30,3 m; links: Ausgangsbestand im Alter 46, ungepflegt mit Grundfläche 56 m² ha⁻¹; rechts: nach 30 Jahren Simulation im Alter 76.

Der mittelalte Bestand auf dem **reicheren** Standort mit einer Oberhöhenbonität 32,8 m wurde über 30 Jahre simuliert. Der Bestand hat eine Grundfläche von 29 m² ha⁻¹ und ist leicht unterbestockt (Abb. 14.6 und Tab. 14.10).

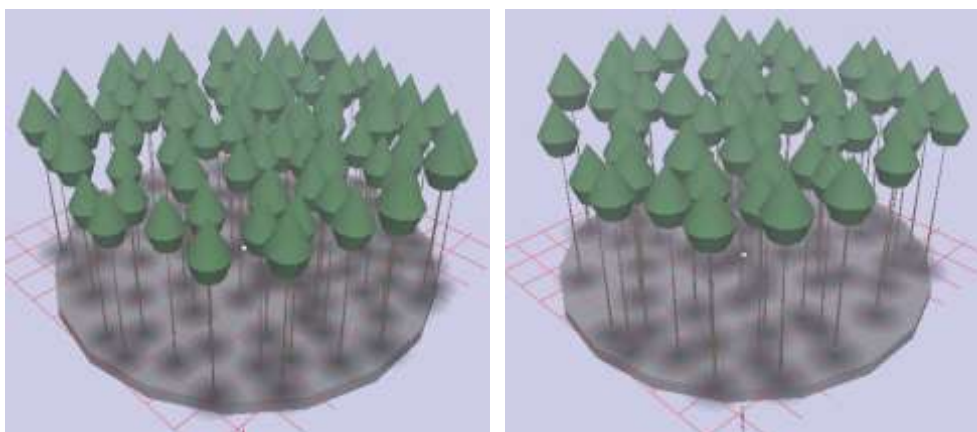


Abb. 14.6: Mittelalter Bestand auf reichem Standort mit Oberhöhenbonität 32,8 m; links: Ausgangsbestand im Alter 54, gepflegt mit Grundfläche 29 m² ha⁻¹; rechts: nach 30 Jahren Simulation im Alter 84.

Tab. 14.10: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen mittelalten Bestand auf reichem Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol m ³ ha ⁻¹ a ⁻¹ | Biom t ha ⁻¹ a ⁻¹ | C t ha ⁻¹ a ⁻¹ | N kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | S kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | P kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | K kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | Ca kg ha ⁻¹ a ⁻¹ | Mg kg ha ⁻¹ a ⁻¹ |
|--------------|--|--|---|--|--|--|--|---|---|
| Toth | 2,5 | 1,2 | 0,6 | 2,4 | 0,2 | 0,2 | 1,1 | 1,9 | 0,4 |
| Entn | 2,6 | 1,2 | 0,6 | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 0,9 | 1,8 | 0,3 |
| Sort | 2,5 | 1,1 | 0,5 | 1,2 | 0,1 | 0,1 | 0,7 | 1,5 | 0,3 |
| Diff | 4 % | 9 % | 20 % | 33 % | 0 % | 0 % | 29 % | 20 % | 0 % |
| BoBil | | | | | | | 7,6 | 5,2 | 4,4 |

14.3.2.3 Alter Bestand

Der alte Bestand auf dem **armen** Standort mit einer Oberhöhenbonität 30,7 m wurde über 30 Jahre simuliert. In diesem Bestand sind auch einige Stieleichen. Der Bestand hat eine Grundfläche von $24 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ und ist mit einem Bestockungsgrad von 0,8 unterbestockt (Abb. 14.7 und Tab. 14.11).

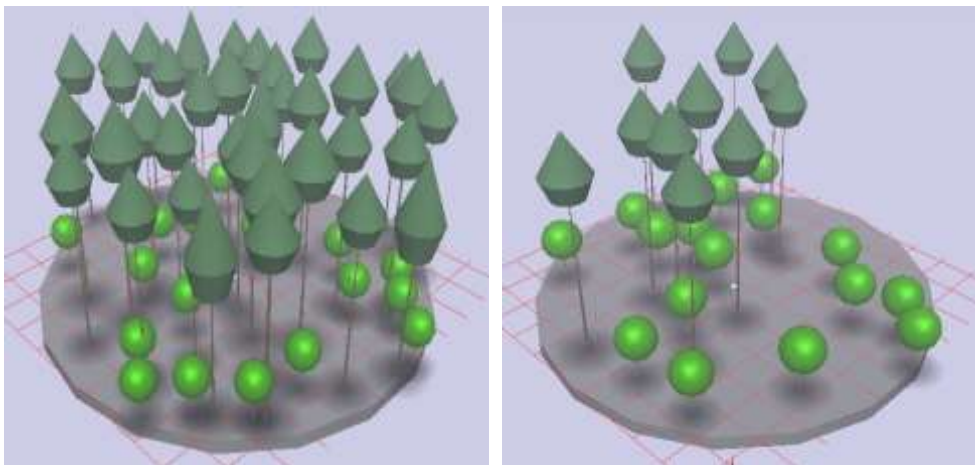


Abb. 14.7: Alter Bestand auf armem Standort mit Oberhöhenbonität 30,7 m; links: Ausgangsbestand im Alter 80 mit Grundfläche $24 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; rechts: nach 30 Jahren Simulation im Alter 110.

Tab. 14.11: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen alten Bestand auf armem Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Biom $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | C $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | N $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | S $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | P $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | K $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Ca $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Mg $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ |
|--------------|--|---|--|---|---|---|---|--|--|
| Toth | 1,5 | 0,8 | 0,4 | 2,4 | 0,2 | 0,2 | 1,0 | 1,6 | 0,3 |
| Entn | 9,3 | 4,4 | 2,1 | 6,0 | 0,5 | 0,5 | 3,3 | 6,9 | 1,2 |
| Sort | 9,1 | 4,1 | 2,0 | 4,9 | 0,4 | 0,4 | 2,7 | 6,1 | 1,1 |
| Diff | 2 % | 7 % | 5 % | 22 % | 25 % | 25 % | 22 % | 13 % | 9 % |
| BoBil | | | | | | | 4,1 | 5,6 | 1,8 |

Der alte Bestand auf dem **reicheren** Standort mit einer Oberhöhenbonität 22,2 m wurde über 30 Jahre simuliert. Der Bestand enthält viele Sandbirken. Er hat eine auffällig geringe Bonität. Alle Bäume wurden am Ende der Simulation genutzt (Abb. 14.8 und Tab. 14.12).

Tab. 14.12: Nährelementbilanz über 30 Jahre für einen alten Bestand auf reicheren Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Biom $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | C $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | N $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | S $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | P $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | K $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Ca $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | Mg $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ |
|--------------|--|---|--|---|---|---|---|--|--|
| Toth | 1,6 | 1,0 | 0,5 | 3,8 | 0,3 | 0,3 | 1,3 | 2,0 | 0,3 |
| Entn | 10,5 | 5,5 | 2,7 | 12,7 | 0,8 | 0,9 | 4,5 | 9,2 | 1,5 |
| Sort | 9,4 | 4,3 | 2,1 | 8,9 | 0,5 | 0,6 | 3,0 | 6,7 | 1,1 |
| Diff | 12 % | 28 % | 29 % | 43 % | 60 % | 50 % | 50 % | 37 % | 36 % |
| BoBil | | | | | | | 3,6 | 4,1 | 1,6 |

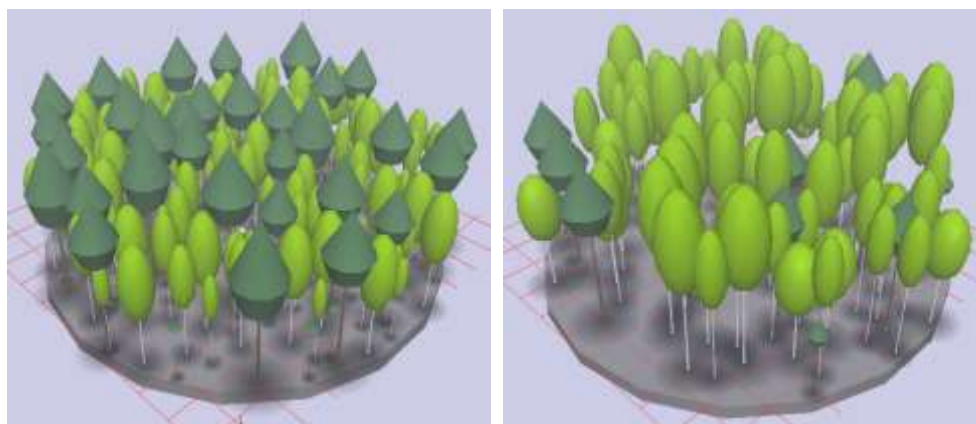


Abb. 14.8: Alter Bestand auf reichem Standort mit Oberhöhenbonität 22,2 m; links: Ausgangsbestand mit Grundfläche $27 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$; rechts: nach 30 Jahren Simulation; Bestand komplett genutzt.

14.3.2.4 80-jährige Simulation

Der junge Bestand auf dem **armen** Standort mit einer Oberhöhenbonität 28,8 m wurde über 80 Jahre simuliert. Alle Bäume wurden am Ende der Simulation genutzt (Abb. 14.9 und Tab. 14.13).

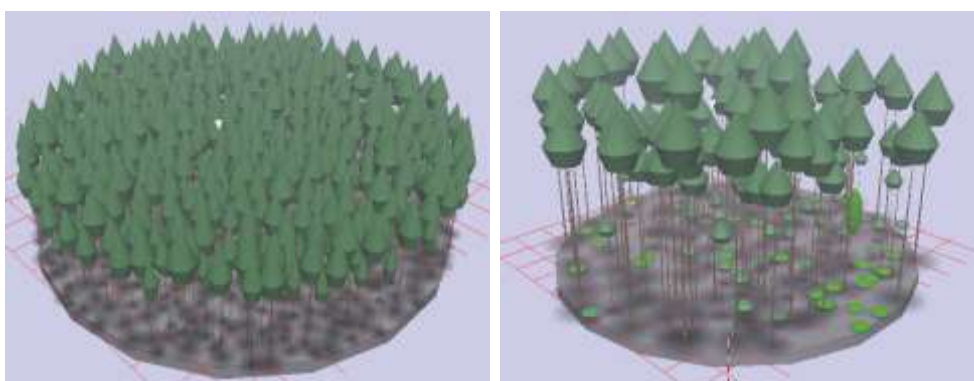


Abb. 14.9: Junger Bestand auf armem Standort mit Oberhöhenbonität 28,8 m; links: Ausgangssituation im Alter 30; rechts: nach 80 Jahren Simulation im Alter 110.

Tab. 14.13: Nährelementbilanz über 80 Jahre auf armem Standort. Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol | Biom | C | N | S | P | K | Ca | Mg |
|--------------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ |
| Toth | 2,1 | 1,1 | 0,5 | 2,9 | 0,2 | 0,3 | 1,2 | 2,0 | 0,4 |
| Entn | 5,8 | 2,8 | 1,4 | 3,7 | 0,3 | 0,3 | 2,0 | 4,1 | 0,8 |
| Sort | 5,0 | 2,2 | 1,1 | 2,5 | 0,2 | 0,2 | 1,3 | 3,0 | 0,6 |
| Diff | 16 % | 27 % | 27 % | 48 % | 50 % | 50 % | 54 % | 37 % | 33 % |
| BoBil | | | | | | | 3,7 | 6,4 | 1,8 |

Der junge Bestand auf dem reicheren Standort mit einer Oberhöhenbonität 34,0 m wurde über 82 Jahre simuliert. Alle Bäume wurden am Ende der Simulation genutzt (Abb. 14.10 und Tab. 14.14).

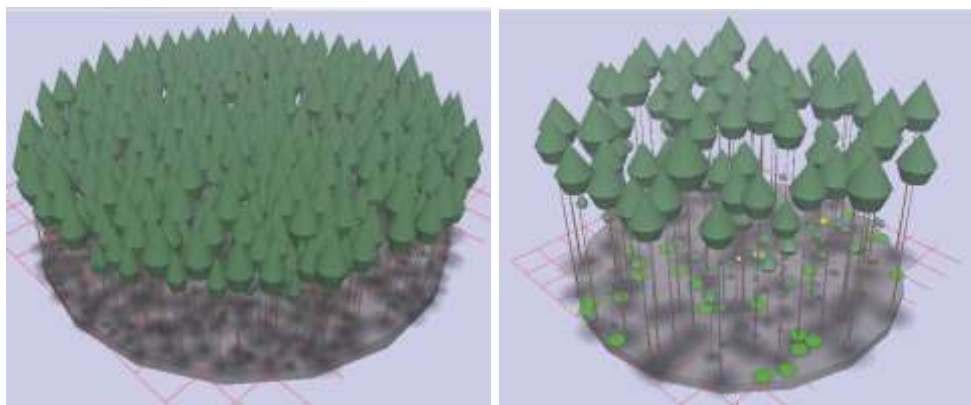


Abb. 14.10: Junger Bestand auf reicheren Standort mit Oberhöhenbonität 34,0 m; links: Ausgangsbestand im Alter 28; rechts: nach 82 Jahren Simulation im Alter 110.

Tab. 14.14: Nährelementbilanz für 82 Jahre auf einem reicheren Standort Abkürzungen siehe Tab. 14.7.

| | Vol | Biom | C | N | S | P | K | Ca | Mg |
|--------------|---|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{t ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ | $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ |
| Toth | 2,4 | 1,2 | 0,6 | 3,0 | 0,2 | 0,3 | 1,3 | 2,1 | 0,4 |
| Entn | 6,8 | 3,2 | 1,5 | 4,1 | 0,4 | 0,4 | 2,2 | 4,6 | 0,9 |
| Sort | 6,0 | 2,6 | 1,3 | 2,9 | 0,2 | 0,3 | 1,6 | 3,5 | 0,7 |
| Diff | 13 % | 23 % | 15 % | 41 % | 50 % | 33 % | 38 % | 31 % | 29 % |
| BoBil | | | | | | | 4,1 | 4,0 | 1,5 |

Aus den Simulationsergebnissen lassen sich folgende Befunde ableiten: Der Anteil von Biomasse, die bei Hochdurchforstung im Bestand verbleibt, beträgt ca. 15 %. Dabei handelt es sich um absterbende Bäume, die Stubben und die Nadelmasse. Bei konsequenter Vollbaumnutzung kann ca. 25 % mehr Biomasse geerntet werden. Dem stehen im Vergleich zu einer konventionellen Sortimentsnutzung erhöhte Nährstoffentzüge bei Schwefel und Stickstoff um 40–50 % und bei Kalium, Calcium sowie Magnesium um 30–50 % gegenüber.

14.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ziel dieses Arbeitspakets war es zu zeigen, dass die entwickelten Methoden auch auf konkrete forstbetriebliche Situationen angewendet werden können und es ermöglichen, auf der operativen betrieblichen Ebene die stoffliche Nachhaltigkeit zu quantifizieren. Insofern haben die Ergebnisse nur demonstrativen Charakter und können nicht verallgemeinert werden.

In den Anwendungsbeispielen wurden bewusst zwei unterschiedliche Ansätze gewählt. Im **Aldorfer Wald** wurden die Nährelementbilanzen, beschränkt auf Calcium, Kalium und

Magnesium, für die realen Nutzungen einer 20-jährigen Periode abgeschätzt. Das Vorgehen entspricht der bundesweiten Anwendung der im Rahmen des Projekts entwickelten Methoden.

Am Beispiel des Testbetriebs **Fuhrberg** konnte gezeigt werden, dass erntebedingte Nährstoffentzüge mit dem waldwachstumskundlichen Simulationspaket TreeGrOSS einfach geschätzt werden können. In dem Simulator sind die im Rahmen des Gesamtprojekts EnNa entwickelten Biomasse-Funktionen und Nährstoffkonzentrationen integriert.

Das Beispiel des Testbetriebs Altdorfer Wald zeigt, dass das hohe Nutzungsniveau im Mittel zu negativen Bilanzen führt, wobei sich ein Muster kleinstandörtlich variierender negativer und positiver Bilanzen zeigt. Es wird deutlich, dass eine 20-jährige Periode im Vergleich zu realen Umtriebszeiten von 100 und mehr Jahren eine kurze Phase darstellt, die von einem spezifischen Nutzungsniveau geprägt ist. Offensichtlich weisen Phasen erhöhter Nutzungen, die mit einem Vorratsabbau verbunden sind, tendenziell negative Nährelementbilanzen auf. Eine langfristige, auf forstliche Produktionszeiträume bezogene Nährelementbilanzierung als quantitatives Maß für Nährstoffnachhaltigkeit muss daher die gesamte Produktionsdauer (Umtriebszeit im Altersklassenwald) einer Betriebsklasse (führende Baumart mit einem bestimmten Produktionsziel) umfassen, also Aufbau- und Abbauphasen, die durch unterschiedliche Bilanzen geprägt sind. Erst durch eine Integration über den gesamten Entwicklungszyklus kann idealerweise eine vollständige Nährelementbilanz gerechnet werden.

Allerdings ist diese idealtypische Bilanzierung unter realen Bedingungen aus empirischen Daten kaum herleitbar, da sich zum einen im Laufe der Zeit die Produktionsziele ändern können und zum anderen die standörtlichen Verhältnisse langfristig einer Drift unterliegen, insbesondere verursacht durch den Klimawandel, aber auch beeinflusst durch das anthropogene Depositionsgeschehen.

Eine langfristige Abschätzung von Nährelementbilanzen ist daher nur theoretisch mit Hilfe von langfristigen Waldwachstumssimulationen möglich, wie sie im Rahmen dieser Untersuchung am Beispiel des Testbetriebs Fuhrberg durchgeführt wurden. Auch hier zeigte sich, dass die Betrachtung 30-jähriger Simulationszeiträume in Bezug auf die Bilanz schwierig ist, weil die Entzüge in den Altersphasen recht unterschiedlich sind. Die Bildung einer Zeitreihe ließ sich ebenfalls nicht mit den in den Beispielen verwendeten BI-Punkten realisieren, weil die älteren Bestände zum Teil stark aufgelichtet und zu gering bestockt sind.

Die anschließend durchgeführte 80-jährige Simulation lieferte dagegen stabile Werte für eine Umtriebszeit. Diese langfristigen Simulationen ergaben für die ausgewählten Fallbeispiele, Kiefernbestände auf einem armen bzw. reicheren Standort, insgesamt bezüglich Nährstoffentzüge unkritische Befunde, da alle Bilanzen positive Werte liefern. Wegen des beispielhaften Charakters der durchgeführten Simulationen lassen sich diese unbedenklichen Ergebnisse allerdings nicht verallgemeinern.

14.5 Literaturverzeichnis

Hansen J., Nagel J. (2014) Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS – Anwendung und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Band 11.