

Auswertung von Testaufnahmen der Stichprobeninventur in den Naturwaldreservaten Josen- und Seeliwald

Kathrin Streit, Brigitte Commarmot, Peter Brang, Lukas Rohrer



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft,
Birmensdorf, und Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
Professur für Waldökologie, Zürich, 2007

Autoren

Kathrin Streit¹, Brigitte Commarmot¹, Dr. Peter Brang¹, Lukas Rohrer²

¹Eidg. Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

²Eidg. Technische Hochschule, Departement Umweltwissenschaften, Professur für Waldökologie, ETH-Zentrum, CHN K 75.2, Universitätsstrasse 16, CH-8092 Zürich

Ein Bericht aus dem Projekt «Naturwaldreservate Schweiz» (www.waldreservate.ch)

Zitierung

Streit, K.; Commarmot, B.; Brang, P.; Rohrer, L., 2007. Auswertung von Testaufnahmen der Stichprobeninventur in den Naturwaldreservaten Josen- und Seeliwald. [published online February 2008] Available from World Wide Web www.waldreservate.ch. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zürich, ETH Zürich, Professur für Waldökologie. 36 S.

Im pdf-Format zu beziehen über www.waldreservate.ch und e-collection.ethbib.ethz.ch

Dank

Unser Dank geht an Andreas Zingg für diverse Auskünfte und das Programmieren von Taschenrechnern für die Einmessung der Stichproben, Edgar Kaufmann für das Erklären der Volumenberechnung mittels Tarifen, Andreas Schwyzer und Adrian Lanz für ihre Hilfe bei der Datenauswertung, Jochen Böhl für Instruktionen hinsichtlich der Aufnahme von liegendem Totholz und SP-Netzdichte, Fabrizio Cioldi für das Zurverfügungstellen von Ausrüstung, Alexander Wyrsh für seine praktische Instruktion im Feld, Thomas Kuster, Carla Rigling, Claudio Cattaneo und Ori Harari für ihre Mitarbeit bei den Feldaufnahmen.

Umschlag: Naturwaldreservat Seeliwald, Kanton Obwalden (Foto Carla Rigling)

Inhalt

| | |
|--|----|
| Abkürzungen | 4 |
| Zusammenfassung..... | 4 |
| 1 Einleitung und Projektrahmen | 5 |
| 2 Vorgehen..... | 6 |
| 2.1 AUSWAHL DER RESERVATE..... | 6 |
| 2.1.1 <i>Josenwald</i> | 6 |
| 2.1.2 <i>Seeliwald</i> | 6 |
| 2.2 PLANUNG DES STICHPROBENNETZES | 6 |
| 2.3 VORGEHEN BEI DEN TESTAUFNAHMEN..... | 7 |
| 2.4 AUSWERTUNG DER TESTAUFNAHMEN | 7 |
| 2.4.1 <i>Allgemein</i> | 7 |
| 2.4.2 <i>Zeitbedarf</i> | 7 |
| 2.4.3 <i>Lebender Bestand: Stammzahl/ha</i> | 8 |
| 2.4.4 <i>Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen</i> | 8 |
| 2.4.5 <i>Lebender Bestand: Schaftholzvolumen [m³/ha]</i> | 8 |
| 2.4.6 <i>Habitatstrukturen: Anzahl/ha</i> | 9 |
| 2.4.7 <i>Stehendes Totholz: Volumen [m³/ha]</i> | 9 |
| 2.4.8 <i>Liegendes Totholz: Volumen [m³/ha]</i> | 10 |
| 2.4.9 <i>Wurzelteller: Anzahl/ha</i> | 11 |
| 2.4.10 <i>Mindestprobengrösse und registrierbare Veränderung</i> | 11 |
| 3 Resultate | 12 |
| 3.1 JOSENWALD..... | 12 |
| 3.1.1 <i>Zeitaufwand</i> | 12 |
| 3.1.2 <i>Lebender Bestand: Stammzahl/ha</i> | 12 |
| 3.1.3 <i>Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen</i> | 13 |
| 3.1.4 <i>Lebender Bestand: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 14 |
| 3.1.5 <i>Habitatstrukturen: Anzahl/ha</i> | 16 |
| 3.1.6 <i>Stehendes Totholz: Volumen [m³/ha]</i> | 17 |
| 3.1.7 <i>Liegendes Totholz: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 18 |
| 3.1.8 <i>Wurzelteller: Anzahl/ha</i> | 18 |
| 3.1.9 <i>Mindestprobengrösse und registrierbare Veränderung</i> | 18 |
| 3.2 SEELIWALD | 20 |
| 3.2.1 <i>Zeitaufwand</i> | 20 |
| 3.2.2 <i>Lebender Bestand: Stammzahl/ha</i> | 20 |
| 3.2.3 <i>Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen</i> | 21 |
| 3.2.4 <i>Lebender Bestand: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 21 |
| 3.2.5 <i>Habitatstrukturen: Anzahl/ha</i> | 24 |
| 3.2.6 <i>Stehendes Totholz: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 25 |
| 3.2.7 <i>Liegendes Totholz: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 25 |
| 3.2.8 <i>Wurzelteller: Anzahl/ha</i> | 26 |
| 3.2.9 <i>Mindestprobengrösse und registrierbare Veränderung</i> | 26 |
| 4 Diskussion..... | 28 |
| 4.1 PROBLEME BEI DEN TESTAUFNAHMEN | 28 |
| 4.2 ZEITAUFWAND | 29 |
| 4.3 SCHÄTZFEHLER UND ANPASSUNG DES STICHPROBENDESIGNS | 29 |
| 4.4 ANPASSUNG DES MERKMALSKATALOGS..... | 31 |
| 4.5 INTERPRETATION DER DATEN..... | 32 |
| 4.5.1 <i>Allgemeines</i> | 32 |
| 4.5.2 <i>Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen</i> | 32 |
| 4.5.3 <i>Lebender Bestand: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 33 |
| 4.5.4 <i>Habitatstrukturen: Anzahl/ha</i> | 33 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.5.5 | <i>Stehendes Totholz: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 33 |
| 4.5.6 | <i>Liegendes Totholz: Volumen/ha [m³/ha]</i> | 34 |
| 4.5.7 | <i>Wurzelteller: Anzahl/ha</i> | 34 |
| 4.6 | FAZIT | 34 |
| 5 | Anhang | 35 |
| 5.1 | LITERATUR | 35 |
| 5.2 | AUFGENOMMENE STICHPROBEN..... | 36 |
| 5.3 | DATENABLAGE..... | 36 |

Abkürzungen

| | |
|--------|---|
| BHD | Brusthöhendurchmesser (Baumdurchmesser auf 1,3 m Höhe über Boden) |
| KF | Kernfläche |
| LFI | Landesforstinventar |
| LFI2 | 2. Landesforstinventar |
| LFI3 | 3. Landesforstinventar |
| HS | Habitatstruktur |
| NWR | Naturwaldreservat |
| PK | Probekreis |
| SP | Stichprobe |
| StdAbw | Standardabweichung |
| StdFeh | Standardfehler |

Zusammenfassung

Um die Wirkung der Reservatspolitik des Bundes zu überprüfen, ist die Entwicklung ausgewählter Naturwaldreservate (NWR) nach einer einheitlichen Monitoringmethode zu verfolgen, die auch eine Stichprobeninventur von Wald- und Habitatstrukturen umfasst. Die dafür entwickelte Monitoringmethode wurde mit Testaufnahmen geprüft. Dabei wurden je 30 Stichproben (SP) in einem NWR mit vielen Laubbäumen (Josenwald, Walenstadt SG) und in einem mit vielen Nadelbäumen (Seeliwald, Sarnen OW) aufgenommen. Die ausgewählten NWR unterscheiden sich auch bezüglich Geländebeschaffenheit stark. Der Zeitaufwand für Einmessung und Stichprobenaufnahme war im steilen Josenwald drei Mal so hoch wie im einfacheren Gelände des Seeliwaldes. Ausserdem unterschieden sich die NWR bezüglich der vorkommenden Habitatstrukturen, der Stammzahlverteilung sowie des Volumens des liegenden Totholzes erheblich. Die Schätzfehler für wichtige Merkmale sind bei 60 bis 100 SP akzeptabel. Aufgrund der Testaufnahmen wurden das Stichprobendesign und der Merkmalskatalog angepasst. Verbesserungen sind noch bei der Feldausrüstung und Software nötig.

1 EINLEITUNG UND PROJEKTRAHMEN

Um die Wirkung der Reservatspolitik des Bundes zu überprüfen, sind ausgewählte NWR nach einer einheitlichen Monitoring-Methode zu beobachten. Dabei soll insbesondere aufgezeigt werden, inwiefern sich die natürliche Walddynamik der NWR von der Entwicklung bewirtschafteter Wälder unterscheidet sowie welche Unterschiede sich hinsichtlich Habitatqualität ergeben. Ausserdem soll das wissenschaftliche Interesse an der Entwicklung unbewirtschafteter Wälder befriedigt werden. Die Grundüberlegungen zur Monitoringmethode sind in Brang *et al.* (2008) dokumentiert. Das Basismodul Wald- und Habitatstrukturen dieser Methode enthält Aufnahmen sowohl auf Kernflächen (KF) als auch auf Stichproben (Brang *et al.* 2008).

Die SP-Aufnahmen sollen im Rahmen der hier ausgewerteten Aufnahmen hinsichtlich Machbarkeit und Aussagekraft getestet und wo nötig angepasst werden. Der Hauptzweck der Testaufnahmen ist, die Grösse und Anzahl der Habitatstruktur-SP festzulegen, die Praktikabilität der Merkmale zu testen und Erfahrungszahlen für Aufwandschätzungen zu gewinnen, denn die Häufigkeit und Verteilung der neu angesprochenen HS ist unter schweizerischen Verhältnissen weitgehend unbekannt. Dieser Bericht beschreibt die Testaufnahmen, deren Resultate und die Anpassungen der Methode für weitere Aufnahmen. Die Merkmale sind in Commarmot & Streit (2007) beschrieben.

2 VORGEHEN

2.1 AUSWAHL DER RESERVATE

Für die Testaufnahmen der Stichprobeninventur wurden zwei NWR ausgesucht. Folgende Kriterien spielten dabei eine Rolle: Um den Einfluss der Baumarten auf die Häufigkeit der HS zu überprüfen, wurden je ein von Laubbäumen und ein von Nadelbäumen dominiertes NWR ausgesucht. Die KF in den ausgesuchten NWR sollten zudem wenn möglich 2007 oder 2008 aufgenommen werden.

2.1.1 Josenwald

Als Laubbaumreservat wurde der 85 ha grosse Josenwald im Kanton St. Gallen ausgewählt. Der Josenwald ist Eigentum der Gemeinde Walenstadt und seit 1976 durch einen Pachtvertrag mit der ETH als Totalreservat ausgeschieden. Es handelt sich um einen Laubmischwald mit Buchendominanz, in dem aber wegen südexpontierten Lage oberhalb des Walensees auch Linden und Eichen häufig sind. Es kommen denn auch viele verschiedene Waldgesellschaften vor (Nummern 9, 15, 25C, 40* und 18* nach Keller et al. [1998] sowie Kartierung, einsehbar unter <http://www.geoportal.ch>¹).

2.1.2 Seeliwald

Als Nadelbaumreservat wurde der 79 ha grosse Seeliwald im Kanton Obwalden ausgewählt. Der Seeliwald ist ein Hochmoor von nationaler Bedeutung und unterliegt der «Verordnung über den Schutz der Hoch- und Übergangsmoore» SR 451.32. Er ist vorwiegend mit Bergföhre bestockt, an erhöhten und nicht vernässten Stellen wachsen Fichten. Es kommen die Waldgesellschaften 71 sowie 57 nach Keller et al. (1998) vor. Wegen der speziellen Bodenverhältnisse und der hohen Lage (1400-1500 m ü. M.) wachsen die Bergföhren nur sehr langsam und erreichen fast nie einen BHD von mehr als 36 cm. Deshalb wurde für den Seeliwald der Minimaldurchmesser für einen Baum mit HS im 1000 m²-Kreis auf 24 cm und der Mindestdurchmesser für einen Baum von HS-Typ 1 von 80 cm auf 50 cm reduziert.²

2.2 PLANUNG DES STICHPROBENNETZES

Im Intensivmonitoring wurde davon ausgegangen, dass je nach Homogenität eines NWR 30-70 SP aufgenommen werden. Für die Aufnahme von Habitatstrukturen (HS) wird diese SP-Anzahl verdoppelt. Somit gibt es zwei Arten von SP; **volle SP** bestehend aus drei Kreisen (den beiden inneren LFI-Kreisen (200 und 500 m²) und dem äusseren HS-Kreis (1000 m²) und **HS-SP** bestehend aus einem Kreis für die Aufnahme von HS (1000 m²). Um diese Forderungen zu erfüllen, werden in jedes NWR etwa 60-140 SP gelegt. Das Netz wird so gewählt, dass es die Kilometerknotenpunkte des Landeskoordinatennetzes einschliesst. Der Abstand zwischen den SP ist demnach ein Bruchteil eines Kilometers.

¹ Eingesehen 31.10.2007

² Inventurdesign und Merkmale sind in Commarmot & Streit (2007) beschrieben. S. auch Kap. 2.2.

Zum Festlegen des Netzes müssen Fläche und Lage des NWR bekannt und in Form eines GIS-Shapefiles vorhanden sein (kann eventuell über die kantonalen Forstämter bezogen werden). Die SP Punkte werden als dBase-Dateien ins GIS-Projekt importiert. Im nächsten Schritt führt Christian Ginzler (WSL) für jede SP auf dem Luftbild einen ersten Wald-Nichtwaldentscheid durch sowie die Integration von Grenz-SP.

Um das SP-Netz an das Landeskoordinatennetz zu knüpfen, sind Fixpunkte mit bekannten Koordinaten nötig, die im Feld eindeutig identifizierbar sind. Für die Auswahl der Fixpunkte gelten die Regeln des von 2004 bis 2007 durchgeführten LFI3. Fixpunkte werden ebenfalls durch Christian Ginzler mittels Luftbildinterpretation ermittelt. Hilfreich für die Feldaufnahmen ist folgendes Material, welches zum Teil über die Forstämter der Kantone bezogen werden kann: digitale Karten im Massstab 1:10'000, Vegetationskartierungen, sowie die Koordinaten schon vorhandener Markierungen im Feld, welche durch Geometerbüros oder die Landestopografie etabliert wurden. Zur Verwaltung und Bearbeitung der geographischen Daten wird ArcGIS Version 9.2 von ESRI verwendet.

2.3 VORGEHEN BEI DEN TESTAUFNAHMEN

Für die Testaufnahmen wurden in jedem NWR 30 SP aufgenommen (darunter 15 volle SP und 15 HS-SP). Um die Aufnahmen nicht unnötig zu erschweren, wurde nicht im Vorherein bestimmt, welche SP aufzunehmen sind. Die SP konnten frei ausgewählt werden und sind Teil des zuvor berechneten Stichprobennetzes (siehe Kap. 2.2). Sie wurden von Fixpunkten her eingemessen und permanent versichert, wie in Commarmot & Streit (2007) beschrieben. Die Aufnahmen fanden im Zeitraum August bis Oktober 2007 statt.

2.4 AUSWERTUNG DER TESTAUFNAHMEN

2.4.1 Allgemein

Die drei konzentrischen Aufnahmekreise (200, 500 und 1000 m²) wurden separat ausgewertet, um die Resultate mit der richtigen Fläche zu gewichten und auf eine Hektare umzurechnen. Es wurde darauf geachtet, auch leere SP in die Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler zu integrieren. Deshalb ist es wichtig zu wissen, in wie vielen SP das betrachtete Merkmal aufgenommen wurde. Für die Auswertung wurde EXCEL 2002 von Microsoft Corporation verwendet.

2.4.2 Zeitbedarf

Für die Ermittlung des Zeitbedarfs wurden die Arbeiten an einer SP in drei Schritte eingeteilt:

- Einmessen und allgemeine Angaben: Unabhängig vom SP-Typ. Einmessen des SP-Zentrums vom nächsten Fixpunkt oder von der letzten SP aus, Entscheid Aufnahme/Nichtaufnahme, Etablierung und Einmessen von drei Versicherungspunkten, Aufnahme der Neigung hangauf- und hangabwärts, Berechnung der Kreisradien. Bestimmung von Exposition und Höhenlage.
- Aufnahme des stehenden Bestandes: In vollen SP: Aufnahme der lebenden und (stehend) toten Bäume mit BHD \geq 7 cm im 200 m²-Kreis, Aufnahme der lebenden und toten Bäume mit BHD \geq 36 cm im 500 m²-Kreis, sowie im 1000 m²-Kreis Aufnahme der lebenden Bäume mit HS und der toten mit BHD \geq 36

cm sowie der Bäume mit $BHD \geq 80$ cm. In HS-SP: im 1000 m²-Kreis nur Aufnahme der lebenden Bäume mit HS und der toten mit $BHD \geq 36$ cm sowie der Bäume mit $BHD \geq 80$ cm.

- Aufnahme des liegenden Totholzes: Nur in vollen SP. Transektaufnahme des liegenden Totholzes.

Der Zeitaufwand für die Einmessung wurde über alle SP pro NWR (N = 30) gemittelt. Für den stehenden Bestand wurde der Unterschied zwischen vollen SP (N = 15) und HS-SP (N = 15) mittels ANOVA auf Signifikanz hin überprüft. Der Zeitaufwand für die Aufnahme des liegenden Totholzes wurde über die vollen SP (N = 15) gemittelt.

2.4.3 Lebender Bestand: Stammzahl/ha

Die Summe der Stämme wurde über die vollen SP (N = 15) gemittelt und auf eine Hektare umgerechnet, stratifiziert nach Baumarten.

2.4.4 Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen

Die Bäume wurden in 4 cm-Durchmesserklassen eingeteilt: 7-11³, 12-15, 16-19, 20-23, 24-27, 28-31, 32-35, 36-39, 40-43, 44-47, 48-51, 52-55, 56-59, >60. Die Anzahl Stämme pro Durchmesserklasse wurde über die vollen SP gemittelt und auf eine Hektare umgerechnet. Dabei ist zu beachten, dass die Durchmesserklassen bis und mit 35 cm BHD auf dem 200 m²-Kreis und alle Durchmesserklassen darüber auf dem 500 m²-Kreis aufgenommen wurden.

2.4.5 Lebender Bestand: Schaftholzvolumen [m³/ha]

Das Schaftholzvolumen wurde mit Tarifen für Schaftholz in Rinde nach Kaufmann (2000) ermittelt (Formel 1).

Formel 1. Schätzung des Schaftholzvolumens in Rinde

$$V_k = e^{(b_{0k} + b_{1k} \cdot \ln(BHD) + b_{2k} \cdot \ln^4(BHD) + \sum_{j=3}^7 b_{jk} \cdot B_j)}$$

- wobei gilt:
- V: Schaftholzvolumen in Rinde in m³
 - k: Tarifnummer (201-230)
 - b0-b7: Modellkoeffizienten
 - BHD: Brusthöhendurchmesser in cm
 - B3-B7: Einzelbaum-, Bestandes- und Standortsmerkmale:
 - B3: Standortsgüte: Gesamtwuchsleistung (GWL) in kg Trockensubstanz pro Hektare und Jahr
 - B4: d_{dom} : mittlerer BHD der hundert stärksten Bäume/ha in cm, Indikatorgröße für Entwicklungsstufe
 - B5: Verzweiselung (1: ja / 0: nein)

³ Die Klasse 7-11 cm umfasst 5 cm und wurde gewählt, um die Daten mit dem LFI vergleichbar zu halten (Grenzen von 12 und 36 cm auf den konzentrischen PK).

B6: Höhe ü. Meer (m)

B7: Schicht eines Baumes (0: Oberschicht /
1: nicht Oberschicht)

Die Tarifnummern und die Modellkoeffizienten können bei Kaufmann (2000) eingesehen werden. Die benötigten Bestandes- und Standortmerkmale wurden für jedes NWR hergeleitet. Die für die Zuteilung der Parameter benötigte Produktionsregion wurde der Einteilung nach Brassel & Brändli (1999) entnommen. Die Standortgüte wurde abgeleitet aus den vorkommenden Waldgesellschaften und den damit verbundenen Bonitäten sowie einer Abschätzung der maximalen Höhe aus Höhen- und Durchmesserkurven für die Hauptbaumarten im NWR. Falls Angaben zur Bonität fehlten, wurde die Höhen- und Durchmesserkurve mit der Höhenkurve der jeweiligen Baumart aus der Ertragstafel (Flury 1907) verglichen. B4 beziehungsweise d_{dom} wurde bestimmt als mittlerer BHD der 5 stärksten Bäume im 500 m²-Kreis.

2.4.6 Habitatstrukturen: Anzahl/ha

Auf den 30 SP mit 1000 m²-Kreis wurden vier Gruppen von HS aufgenommen

- HS-Typ 1: Lebende Bäume mit einem BHD von mindestens 80 cm
- HS-Typ 2: Lebende oder tote Bäume mit mindestens einer HS und einem BHD von mindestens 36 cm
- HS-Typ 3: Dürrständer mit einem BHD von mindestens 36 cm
- HS-Typ 4: Strünke von mindestens einem halben Meter Höhe und einem Mitteldurchmesser von mindestens 36 cm

Die Stammzahl der HS wurde über alle aufgenommenen SP gemittelt und auf eine Hektare umgerechnet.

Für die Bäume des HS-Typs 2 wurde die Häufigkeit der einzelnen HS berechnet. Dabei wurden unterschiedliche HS am gleichen Baum separat betrachtet. Die Summe der Stammzahlen/ha aller HS an Bäumen mit HS-Typ 2 übertraf daher die Summe der Bäume mit HS-Typ 2.

2.4.7 Stehendes Totholz: Volumen [m³/ha]

Die Berechnung des stehenden Totholzes erfolgte mit einem leicht modifizierten Verfahren nach Kaufmann (2000). Dabei wurde die geschätzte ursprüngliche Höhe aus dem BHD des Baumes errechnet. Das geschah mit Hilfe der Gleichung zur Trendlinie der Höhen-Durchmesserkurve aus dem Bestand. Ideal wäre eine Höhen-Durchmesserkurve pro Baumart. Nach 30 SP waren allerdings im Josenwald zu wenig Baumhöhen gemessen, um den nötigen Datensatz zu liefern. So stand nur eine Höhen-Durchmesserkurve für Buche zur Verfügung sowie eine unspezifische Höhen-Durchmesserkurve (alle Laubbaum-Höhenmessungen zusammengefasst), die für die restlichen Baumarten verwendet wurde. Für den Seeliwald gab es sowohl für die Bergföhre als auch für die Fichte eine Höhen-Durchmesserkurve sowie eine unspezifische Kurve für die unbestimmten Nadelbäume.

Der Prozentsatz des verbliebenen Schaftholzvolumens wurde über die Differenz zwischen der aus dem BHD geschätzten, ursprünglichen Baumhöhe und der gemessenen Höhe des Stumpfes hergeleitet. Unter der Annahme, dass ein Höhenverlust

von unter 20% praktisch keinen Verlust an Derbholzvolumen mit sich bringt, wurde bei kleineren Höhenverlusten das Derbholzvolumen nicht reduziert. Die Abnahme erfolgte danach linear. Bei dieser Formel handelt es sich um eine Annäherung, mit der das Totholzvolumen dabei vermutlich etwas unterschätzt wird.

Formel 2. Schätzung des Prozentsatzes des verbliebenen Schaftholzvolumens von Dürrständern.

$$V\% = \frac{H_a}{H_g} * 100 / 80$$

wobei gilt: V% ist der Prozentsatz des verbliebenen Schaftholzvolumens von Dürrständern, H_a ist die aktuelle (gemessene) Höhe des Dürrständers und H_g die durch die Gleichung der Trendlinie der Durchmesser-Höhenkurve geschätzte Höhe des Dürrständers.

Lag der Prozentsatz des verbliebenen Schaftholzvolumens unter 100%, wurde das nach Formel 1 berechnete Schaftholzvolumen in Rinde mit dem Prozentsatz multipliziert. Lag der Prozentsatz über 100%, erfolgte keine Multiplikation mit dem Prozentsatz.

Die Summe des stehenden Totholzvolumens pro SP-Fläche wurde auf eine ha umgerechnet und über alle vollen SP (N = 15) gemittelt.

2.4.8 Liegendes Totholz: Volumen [m^3/ha]

Das liegende Totholz wurde nach der Methode von Böhl & Brändli (2006) aufgenommen und berechnet (Formel 3).

Formel 3. Schätzung des liegenden Totholzvolumens in einer SP in m^3/ha .

$$V_j = \frac{\pi^2}{8 * L_j} * \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2 * \frac{1}{\cos(\alpha_1)}$$

wobei gilt: V_j ist das geschätzte Totholzvolumen in m^3 pro ha für die SP_j, L_j ist die Länge des Transekts in SP_j, d_1 und d_2 sind die beiden übers Kreuz gemessenen Durchmesser des Totholzstücks in cm gemessen an der Schnittlinie des Totholzstücks mit der Transektlinie und α_1 ist die Winkelabweichung des Totholzstücks von der horizontalen Lage in Gon.

Die Schätzung des liegenden Totholzvolumens wurde über alle vollen SP (N = 15) gemittelt und nach den 5 Totholz-Abbaustufen stratifiziert. Diese sind wie folgt definiert (Keller 2005):

- Frischholz (saftführend)
- Totholz (saftlos, fest; Messer dringt in Faserrichtung nur sehr schwer ein)
- Morschholz (weniger fest; Messer dringt in Faserrichtung leicht ein, nicht aber quer)
- Moderholz (weich; Messer dringt in jeder Richtung leicht ein)
- Mulmholz (sehr locker oder pulvrig; kaum noch zusammenhängend)

2.4.9 Wurzelteller: Anzahl/ha

Die auf einer SP gezählten Wurzelteller wurden auf eine Hektare hochgerechnet. Die Werte wurden über alle SP (N = 30) gemittelt.

2.4.10 Mindestprobengrösse und registrierbare Veränderung

Die Häufigkeit seltener Merkmale hat einen kleinen Mittelwert und eine verhältnismässig grosse Varianz, da es für diese Merkmale viele Nullstichproben gibt. Je kleiner der Mittelwert, desto schwieriger wird es, eine Veränderung von beispielsweise 20% zwischen zwei Aufnahmen zu registrieren, beziehungsweise umso grösser müsste dazu die Probe sein. Näherungsweise kann eine Veränderung dann signifikant erkannt werden, wenn das halbe Vertrauensintervall (oft wird der Standardfehler verwendet) der Mittelwertschätzung nicht grösser ist als die Hälfte der Veränderung. Für die Merkmale Stammzahl/ha der lebenden HS-Bäume, sämtlicher HS, lebender Bestand Volumen/ha nach Baumarten, toter Bestand Volumen/ha und liegender Bestand m³/ha wurde daher die Mindestprobengrösse berechnet, um eine Veränderung von 20% zu registrieren. Dabei wurde $n \geq \frac{\text{var } \bar{x}_1}{\left(\frac{D}{2}\right)^2}$ geschätzt, wobei gilt

n ist der Stichprobenumfang, $\text{var } \bar{x}_1$ ist die Varianz des Mittelwerts zum Zeitpunkt 1 und $D = \bar{x}_2 - \bar{x}_1$ ist die Differenz des Mittelwertes zwischen Zeitpunkt 2 und 1, respektive der Mittelwert zum jetzigen Zeitpunkt multipliziert mit 0,2.

Zusätzlich wurde berechnet, welche Veränderung bei der gegebenen SP-Anzahl für die Hauptinventur (für NWR mit intensivem Monitoring 60 volle und 120 HS-Stichproben) statistisch signifikant (65%-Niveau) erkannt werden kann. Dabei wurde

die Formel $r = \frac{2}{\bar{x}_1} * \sqrt{\frac{\text{var } \bar{x}_1}{n}}$ verwendet. r ist die entdeckte relative Veränderung gegenüber dem Mittelwert \bar{x}_1 zum Zeitpunkt 1.

3 RESULTATE

3.1 JOSENWALD

3.1.1 Zeitaufwand

Für die Einmessung und die allgemeinen Angaben wurden im Josenwald im Mittel 1,34 h benötigt. Der Zeitbedarf für die Aufnahme des stehenden Bestandes in vollen SP (1,45 h) war signifikant höher als der Zeitbedarf in HS-SP (0,74 h) ($p = 0,004$). Die Aufnahme des liegenden Totholzes dauerte im Mittel 0,65 h (Tabelle 1). Die Geländeneigung der SP lag bei durchschnittlich 80% (Standardfehler 16%).

Tabelle 1. Zeitbedarf für verschiedene Arbeitsschritte im Josenwald in Industriestunden⁴ mit Standardabweichung und Standardfehler. Für die Aufnahme am stehenden Bestand wurde unterschieden zwischen HS-SP und vollen SP; der Zeitbedarf unterscheidet sich signifikant bei $p=0,0004$.

| | Einmessen und allg. Angaben (h) | Aufnahme stehender Bestand (h) | | Aufnahme liegender Bestand (h) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| | | Volle SP (N = 15) | HS-SP (N = 15) | Volle SP (N = 15) |
| Für | Alle SP (N = 30) | | | |
| Mittelwert | 1,37 | 1,45 | 0,74 | 0,65 |
| StdAbw | 0,49 | 0,64 | 0,34 | 0,21 |
| StdFeh | 0,09 | 0,16 | 0,06 | 0,05 |

3.1.2 Lebender Bestand: Stammzahl/ha

Im Josenwald stehen durchschnittlich 487 Bäume pro ha ($BHD \geq 7$ cm), davon 367 Bäume mit $BHD < 36$ cm (Tabelle 2). Am häufigsten vertreten ist sowohl bei den kleinen als auch bei den grossen Durchmessern die Buche (insgesamt 289 Bäume pro ha bzw. 59%). Darauf folgt mit 55 Bäumen pro ha bzw. 11% die Linde, mit 46 Bäumen pro ha bzw. 9% die Eiche und mit 43 Bäumen pro ha bzw. 9% die Esche. Die Baumartenvielfalt nimmt mit zunehmendem BHD ab (Abbildung 1). Vor allem die Stammzahl der Esche nimmt mit zunehmendem Durchmesser drastisch ab. (Tabellen 2 und 3).

Tabelle 2. Lebender Bestand stehend, Stammzahl [N/ha] total und nach Baumarten. Bäume mit $BHD < 36$ cm aufgenommen im 200 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Buche | Eiche | Esche | Linde | Bergulme | Feldahorn | Fichte | Nussbaum |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|--------|----------|
| Mittelwert | 366,7 | 206,7 | 33,3 | 36,7 | 43,3 | 23,3 | 6,7 | 10,0 | 3,3 |
| StdAbw | 287,0 | 269,8 | 79,4 | 58,1 | 75,3 | 37,2 | 25,8 | 38,7 | 12,9 |
| StdFeh | 74,1 | 69,7 | 20,5 | 15,0 | 19,4 | 9,6 | 6,7 | 10,0 | 3,3 |

⁴ Industriestunden: Minuten werden in Dezimalstunden dargestellt (Bsp. 10 min entsprechen 0,17 h)

Tabelle 3. Lebender Bestand stehend, Stammzahl [N/ha] total und nach Baumarten. Bäume mit BHD \geq 36 cm aufgenommen im 500 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Buche | Eiche | Esche | Linde | Bergulme |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Mittelwert | 120,0 | 82,7 | 13,3 | 6,7 | 12,0 | 5,3 |
| StdAbw | 59,0 | 62,7 | 23,5 | 9,8 | 23,7 | 9,2 |
| StdFeh | 15,2 | 16,2 | 6,1 | 2,5 | 6,1 | 2,4 |

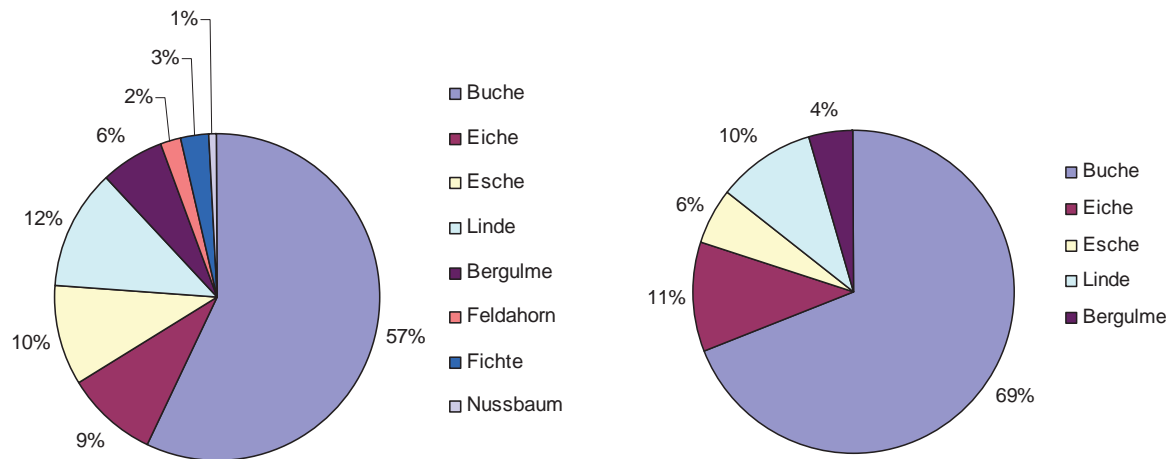


Abbildung 1. Stammzahlverteilung nach Baumarten und Stärkeklassen: BHD < 36 cm (links) und BHD \geq 36 cm (rechts).

3.1.3 Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen

Die Stammzahl nach 4 cm-Durchmesserklassen nimmt im Josenwald bis zu einem BHD von 24 cm ab von anfänglich ca. 100/ha auf weniger als 10/ha. Zwischen 20 und 36 cm nimmt die Stammzahl zu bis auf ca. 70 Stämme pro ha, um dann wieder abzunehmen (Abbildung 2).

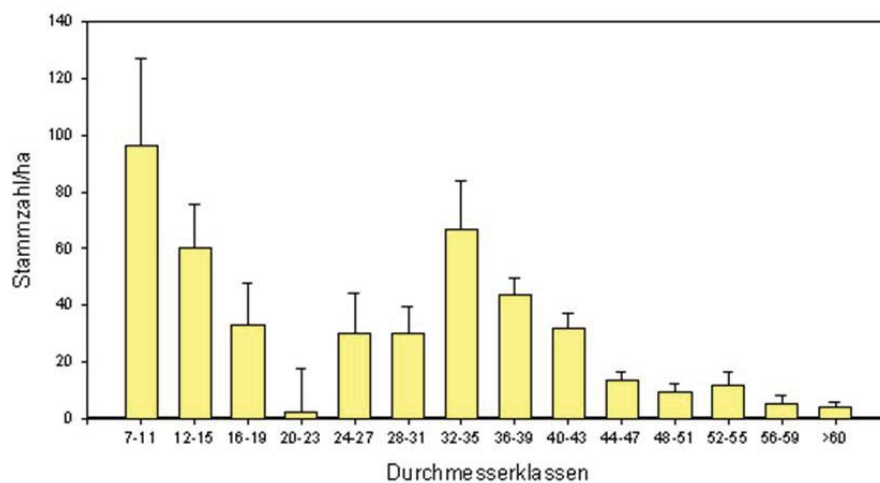


Abbildung 2. Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen (4 cm-Klassen). Die Säulen stellen die Mittelwerte aller vollen SP (N = 15) dar, die Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

3.1.4 Lebender Bestand: Volumen/ha [m^3/ha]

Gemäss der Einteilung der Regionen aus dem LFI2 (Brassel & Brändli, 1999) gehört der Josenwald, nordwestlich des Walensees gelegen (Pfeil, Abbildung 3), zur Produktionsregion Alpen Nordost. Aus der Produktionsregion werden die Tarifparameter für die einzelnen Baumarten nach Kaufmann (2000) hergeleitet.

Die dominanten Waldgesellschaften 9, 25C und 40* ergeben eine maximale Baumhöhe von 25-35 m (Frehner et al. 2005) und eine Bonität von 18-20 für Buche (Burnand et al. 1998). Daraus ergibt sich eine jährliche Wuchsleistung von 4'500 kg Trockensubstanz pro Hektare (Tabelle 4). Die Baumhöhe für Buche ist auch aus der Höhen-Durchmesserkurve für Buche ersichtlich, die aufgrund der Probestämme im Josenwald berechnet wurde (Abbildung 4).

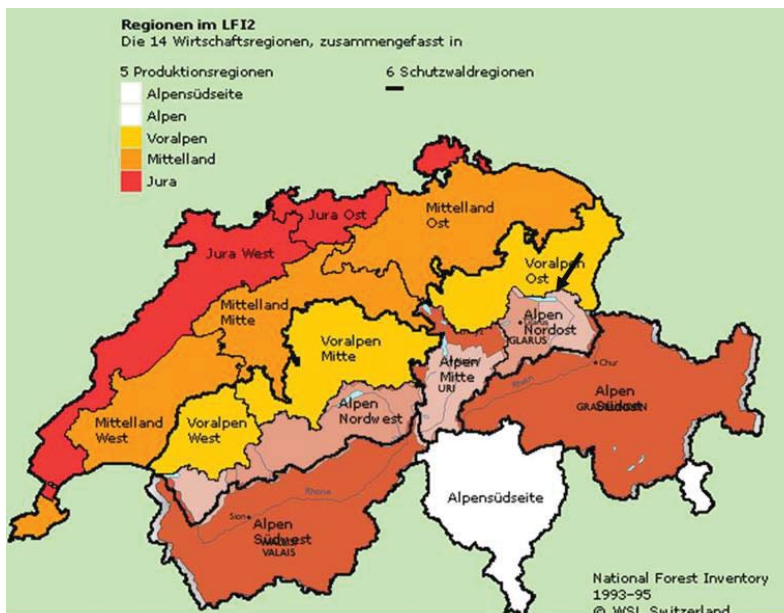


Abbildung 3. Produktionsregion Josenwald.

Tabelle 4. Zusammenhang zwischen Gesamtwuchsleistung und Bonität für Fichte und Buche (Tabelle generiert von Edgar Kaufmann 6.11.07).

| GWL (kg) | Bonität Buche | Bonität Fichte |
|----------|---------------|----------------|
| 750 | 7 | 7 |
| 2250 | 13 | 14 |
| 3750 | 17 | 20 |
| 5250 | 19 | 23 |
| 6750 | 22 | 26 |

Insgesamt stehen im Josenwald 315 m^3/ha lebende Bäume mit BHD ≥ 7 cm. Den grössten Anteil am Schafftholz hat mit 222 m^3/ha bzw. 70% die Buche, danach kommt mit 38 m^3/ha bzw. 12% die Eiche, mit 33 m^3/ha bzw. 11% die Esche und mit 16 m^3/ha bzw. 5% die Linde (Tabellen 5 und 6). Es fällt auf, dass das Buchenschafftholz bei Bäumen mit einem BHD von mindestens 36 cm einen wesentlich grösseren Anteil ausmacht als bei den kleineren Bäumen (Abbildung 5). Zudem ist das Linden-schafftholzvolumen im Vergleich zur Lindenstammzahl (Tabellen 2 und 3) sehr klein.

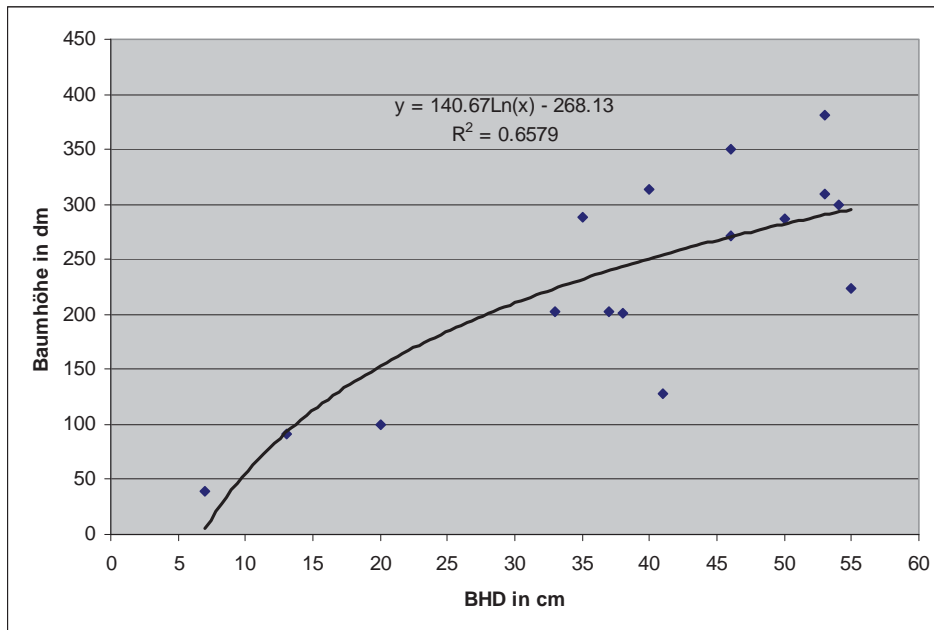


Abbildung 4. Höhen-Durchmessercurve für Buche im Josenwald. Die im Rahmen der Testaufnahmen gemessenen Buchen sind als Punkte dargestellt.

Tabelle 5. Schaftholzvolumen des lebenden Bestandes [m^3/ha] (Schaftholz in Rinde) total und nach Baumarten im Josenwald. Bäume mit BHD < 36 cm aufgenommen im 200 m^2 -Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Buche | Eiche | Esche | Linde | Berg- ulme | Fichte | Feld- ahorn | Nuss- baum |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|--------|----------------|---------------|
| Mittelwert | 115,3 | 64,0 | 19,4 | 20,9 | 8,1 | 1,3 | 0,53 | 0,3 | 0,8 |
| StdAbw | 92,4 | 85,7 | 45,4 | 40,4 | 15,0 | 2,1 | 2,06 | 1,2 | 3,0 |
| StdFeh | 23,9 | 22,1 | 11,7 | 10,4 | 3,9 | 0,6 | 0,53 | 0,3 | 0,8 |

Tabelle 6. Schaftholzvolumen des lebenden Bestandes [m^3/ha] (Schaftholz in Rinde) total und nach Baumarten im Josenwald. Bäume mit BHD \geq 36 cm aufgenommen im 500 m^2 -Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Buche | Eiche | Esche | Linde | Bergulme |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Mittelwert | 200,0 | 157,9 | 18,4 | 12,4 | 7,4 | 4,1 |
| StdAbw | 120,0 | 121,3 | 32,7 | 20,1 | 14,4 | 7,4 |
| StdFeh | 31,0 | 31,3 | 8,4 | 5,2 | 3,7 | 1,9 |

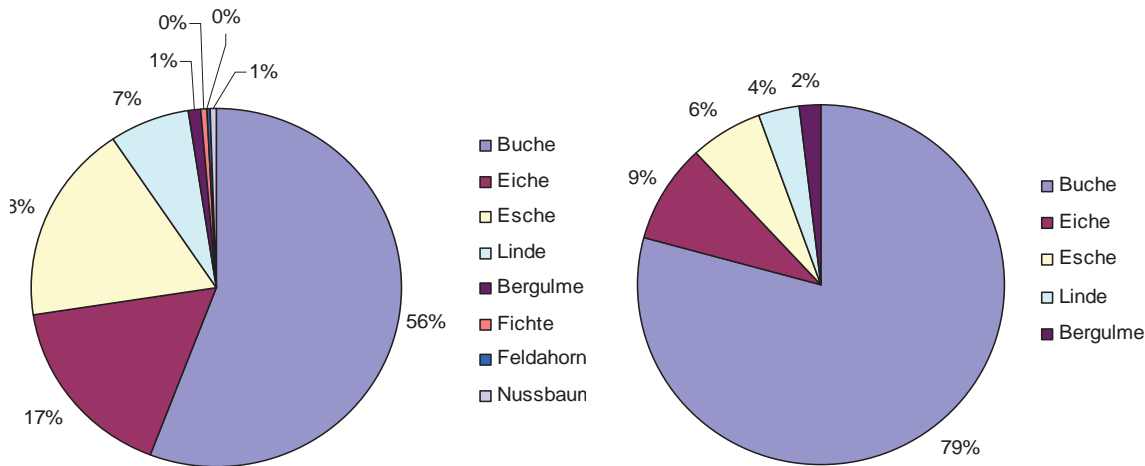


Abbildung 5. Volumenverteilung nach Baumarten und Stärkeklassen: Links mit BHD < 36 cm, rechts mit BHD ≥ 36 cm. Schaftholzvolumen in Rinde [m³/ha] über alle vollen SP (N = 15) gemittelt.

3.1.5 Habitatstrukturen: Anzahl/ha

Es wurden nur Bäume mit mindestens 36 cm BHD auf HS hin untersucht. Insgesamt stehen 22 Bäume mit HS (HS-Typ 2) auf einer Hektare, also 18% der Stammzahl aller Bäume von mindestens 36 cm BHD (Tabelle 7). Die häufigste Habitatstruktur ist mit 8 Bäumen/ha die Höhle mit Mulmkörper (Tabelle 8). Der Anteil dieser HS an allen HS beträgt 34% (Abbildung 6). Am zweithäufigsten ist die flächige Rindenverletzung mit 18%, gefolgt von Kronentotholz mit 17%. In den 30 SP wurden nur ein lebender Baum von mehr als 80 cm BHD aufgenommen (HS-Typ 1) und zwei Stöcke (HS-Typ 4), diese Daten sind somit kaum auswertbar. Des Weiteren stehen auf einer Hektare im Josenwald 4 Dürrständer (HS-Typ 3, Tabelle 7).

Tabelle 7. Habitatstrukturen in Stammzahl [N/ha] aufgeteilt nach HS-Typ gemittelt über sämtliche SP (N = 30) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | HS-Typ 1 | HS-Typ 2 | HS-Typ 3 | HS-Typ 4 |
|------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Mittelwert | 26,3 | 0,3 | 22,0 | 3,7 | 0,3 |
| StdAbw | 16,1 | 1,8 | 15,0 | 6,2 | 1,8 |
| StdFeh | 2,9 | 0,3 | 2,7 | 1,1 | 0,3 |

Tabelle 8. Stammzahl [N/ha] lebender Bäume mit HS (HS-Typ 2) aufgeteilt nach Habitatstrukturen gemittelt über sämtliche SP (N = 30) mit Standardabweichung und Standardfehler. Die Merkmale sind in Commarmot & Streit (2007) beschrieben.

| Lebender Baum mit HS | Kronentotholz | Kronenbruch | Risse und Spalten | Flächige Rindenverletzung | Höhle mit Mulmkörper | Loch am Stamm | Konsolenpilz |
|----------------------|---------------|-------------|-------------------|---------------------------|----------------------|---------------|--------------|
| Mittelwert | 4,0 | 1,3 | 3,3 | 4,3 | 8,3 | 2,3 | 0,3 |
| StdAbw | 6,8 | 3,5 | 7,1 | 6,8 | 10,9 | 5,0 | 1,8 |
| StdFeh | 1,2 | 0,6 | 1,3 | 1,2 | 2,0 | 0,9 | 0,3 |

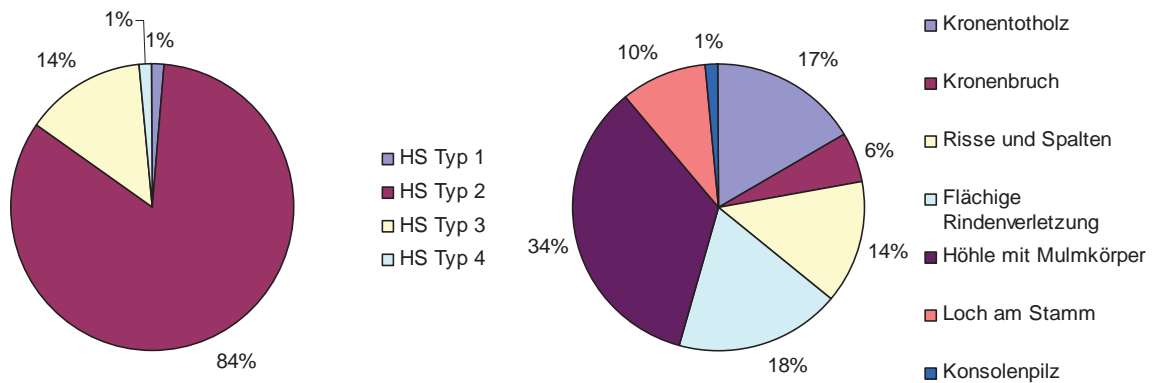


Abbildung 6. Anteile der HS-Typen (s. Text) am Total aller HS-Bäume mit BHD ≥ 36 cm (links) und Anteile der Habitatstrukturen am Total aller Habitatstrukturen (rechts).

3.1.6 Stehendes Totholz: Volumen [m³/ha]

Für die Volumenberechnung wurde beim stehenden Totholz bei Buche die art-spezifische Höhen-Durchmesserkurve verwendet (Abbildung 4), sonst die unspezifische Höhen-Durchmesserkurve für Laubbäume (Abbildung 7). Insgesamt stehen im Josenwald 10 m³ Totholz auf einer Hektare (Tabelle 9). Den grössten Anteil bilden dabei die Durchmesser von 7 bis 36 cm BHD.

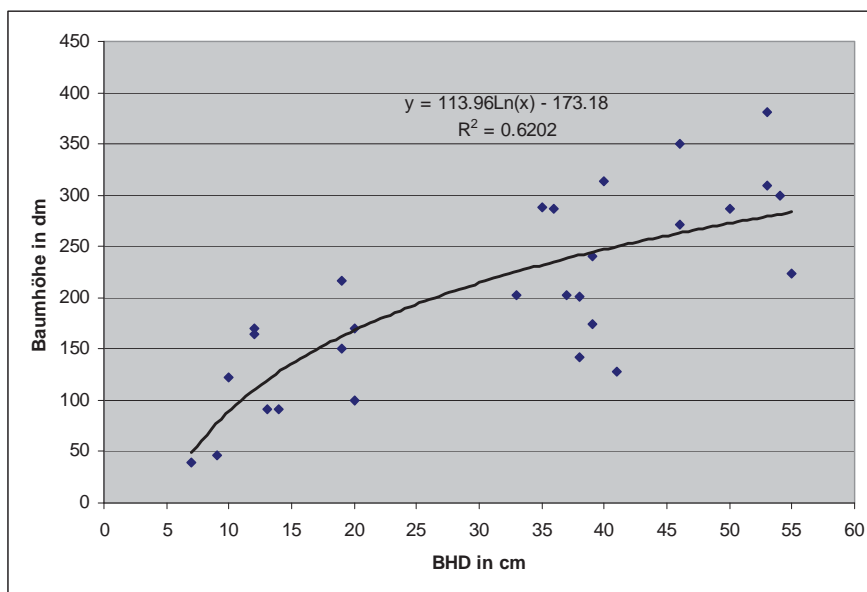


Abbildung 7. Unspezifische Höhen-Durchmesserkurve für alle Laubbaumarten im Josenwald. Die Punkte stellen die bei den Testaufnahmen gemessenen Laubbäume dar.

Tabelle 9. Stehendes Totholz [m³/ha] nach Stärkeklassen: BHD < 36 cm auf dem 200 m²-Kreis und BHD \geq 36 cm auf dem 500 m²-Kreis aufgenommen. Gemittelte Werte der vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | BHD < 36 cm | BHD \geq 36 cm |
|--------------------|-------------|------------------|
| Mittelwert | 7,4 | 2,5 |
| Standardabweichung | 16,8 | 4,7 |
| Standardfehler | 4,3 | 1,2 |

3.1.7 Liegendes Totholz: Volumen/ha [m^3/ha]

Insgesamt liegen im Josenwald 90 m^3 Totholz pro Hektare (Tabelle 10). Es gibt somit 9-mal mehr liegendes als stehendes Totholz. Das meiste liegende Totholz befindet sich in der Totholz-Abbaustufe 2 (56%; Totholz saftlos, fest; Messer dringt in Faserichtung nur sehr schwer ein, Abbildung 8).

Tabelle 10. Volumen des liegenden Totholzes [m^3/ha] aufgeteilt nach Totholz-Abbaustufen. Gemittelte Werte der vollen SP (N = 15) sowie Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Totholz-Abbaustufe | | | | |
|------------|-------|--------------------|------|------|------|-----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mittelwert | 90,3 | 5,6 | 48,6 | 16,9 | 12,2 | 2,8 |
| StdAbw | 85,9 | 15,1 | 46,2 | 33,5 | 27,5 | 6,9 |
| StdFeh | 22,2 | 3,9 | 11,9 | 8,7 | 7,1 | 1,8 |

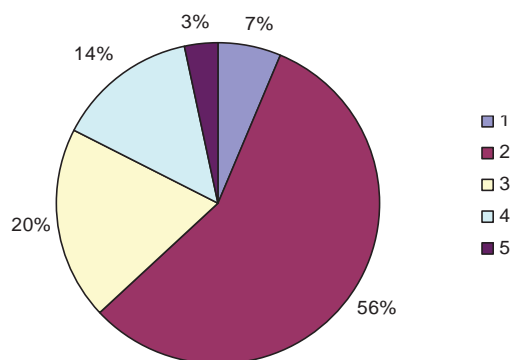


Abbildung 8. Volumenanteile der Totholz-Abbaustufen (1-5, s. Kap. 2.4.8) am liegenden Totholz.

3.1.8 Wurzelteller: Anzahl/ha

Im Josenwald liegen pro Hektare 55 Wurzelteller (Standardabweichung 52,6, Standardfehler 9,6).

3.1.9 Mindestprobengröße und registrierbare Veränderung

Eine Veränderung von 20% wird nur bei wenigen Merkmalen, zum Beispiel Buche Volumen/ha und HS-Typ 2, registrierbar sein (Tabellen 11 bis 14).

Tabelle 11. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für das Volumen [m^3/ha] der lebenden Bäume mit BHD \geq 36 cm und registrierbare Veränderung r bei einer gegebenen Probengröße von 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Total | Buche | Eiche | Esche | Linde | Bergulme |
|--------------|---------|---------|--------|-------|-------|----------|
| Mittelwert | 200,0 | 157,9 | 18,4 | 12,3 | 7,4 | 4,1 |
| Varianz | 14404,5 | 14714,8 | 1068,6 | 403,0 | 206,6 | 55,0 |
| $D(X_2-X_1)$ | 40,0 | 31,6 | 3,7 | 2,5 | 1,5 | 0,8 |
| $N \geq$ | 36,0 | 59,0 | 316,5 | 264,4 | 380,9 | 332,0 |
| r bei N=60 | 0,15 | 0,20 | 0,46 | 0,42 | 0,50 | 0,47 |

Tabelle 12. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für die Stammzahl [N/ha] für ausgesuchte HS. BHD und registrierbare Veränderung r bei einer gegebenen Probengröße von 120 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | HS-Typ 2 | Kronen- totholz | Kronen- bruch | Risse und Spalten | Flächige Rinden- verletzung | Mulm- körper | Loch am Stamm | Konsolen- pilz |
|--------------|-------------|--------------------|------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| Mittelwert | 22,0 | 4,0 | 1,3 | 3,3 | 4,3 | 8,3 | 2,3 | 0,3 |
| Varianz | 223,4 | 45,5 | 12,0 | 50,6 | 46,1 | 117,8 | 25,4 | 3,3 |
| $D(X_2-X_1)$ | 4,4 | 0,8 | 0,3 | 0,7 | 0,9 | 1,7 | 0,5 | 0,1 |
| $N \geq$ | 46,2 | 284,5 | 672,4 | 455,2 | 245,5 | 169,7 | 466,6 | 3000,0 |
| r bei N=120 | 0,12 | 0,31 | 0,47 | 0,39 | 0,29 | 0,24 | 0,39 | 1,00 |

Tabelle 13. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für das Volumen [m³/ha] von Dürrständern und registrierbare Veränderung r bei einer gegebenen Probengröße von 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Dürrständer mit BHD < 36 cm | Dürrständer mit BHD \geq 36 cm |
|--------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Mittelwert | 7,4 | 2,5 |
| Varianz | 281,5 | 21,8 |
| $D(X_2-X_1)$ | 1,5 | 0,5 |
| $N \geq$ | 508,0 | 349,0 |
| r bei N=60 | 0,58 | 0,48 |

Tabelle 14. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für das Volumen des liegenden Totholzes [m³/ha] und registrierbare Veränderung r bei einer gegebenen Probengröße von 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Liegendes Totholz [m ³ /ha] |
|--------------|--|
| Mittelwert | 90,2 |
| Varianz | 7379,5 |
| $D(X_2-X_1)$ | 18,0 |
| $N \geq$ | 90,6 |
| r bei N=60 | 0,25 |

3.2 SEELIWALD

3.2.1 Zeitaufwand

Die mittlere Geländeneigung der SP lag bei 19% (Standardfehler 13%). Die Einmessung und die allgemeinen Angaben dauerten im Seeliwald im Mittel 0,62 h, also nur 46% des Zeitaufwandes im Josenwald (Tabellen 15 und 1). Der Zeitbedarf für die Aufnahme am stehenden Bestand war in vollen SP (1,45 h bzw. 77% des Zeitaufwandes im Josenwald) signifikant höher als in HS-SP (0,74 h bzw. 51% des Zeitaufwandes im Josenwald; $p = 0,001$). Die Aufnahme des liegenden Totholzes dauerte im Mittel 0,65 h (42% des Zeitaufwandes im Josenwald, Tabellen 15 und 1).

Tabelle 15. Zeitbedarf für die Arbeitsschritte im Seeliwald in Industriestunden mit Standardabweichung und Standardfehler. Für die Aufnahme am stehenden Bestand wurde unterschieden zwischen HS-SP und vollen SP; der Zeitbedarf unterscheidet sich signifikant mit $p=0,0001$.

| | Einmessen und allg. Angaben (h) | Aufnahme stehender Bestand (h) | | Aufnahme liegender Bestand (h) |
|------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| Für | Alle SP (N = 30) | Volle SP (N = 15) | HS-SP (N = 15) | Volle SP (N = 15) |
| Mittelwert | 0,62 | 1,11 | 0,38 | 0,27 |
| StdAbw | 0,16 | 0,63 | 0,12 | 0,25 |
| StdFeh | 0,03 | 0,17 | 0,03 | 0,07 |

3.2.2 Lebender Bestand: Stammzahl/ha

Im Seeliwald stehen durchschnittlich 776 Bäume pro ha, davon 739 Bäume mit BHD < 36 cm (Tabellen 16 und 17). Bei den Bäumen mit BHD zwischen 7 und 36 cm hat die Bergföhre mit 65% den grössten Anteil, bei den Bäumen mit BHD ≥ 36 cm hingegen die Fichte mit 58% (Abbildung 9). Andere Baumarten kommen nicht vor.

Tabelle 16. Stammzahl [N/ha] des lebenden Bestandes, total und nach Baumarten. Bäume mit BHD < 36 cm aufgenommen im 200 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Fichte | Bergföhre |
|------------|-------|--------|-----------|
| Mittelwert | 739,3 | 260,7 | 475,0 |
| StdAbw | 303,3 | 385,4 | 321,5 |
| StdFeh | 81,1 | 103,0 | 85,9 |

Tabelle 17. Stammzahl [N/ha] des lebenden Bestandes, total und nach Baumarten. Bäume mit BHD ≥ 36 cm aufgenommen im 500 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Fichte | Bergföhre |
|------------|-------|--------|-----------|
| Mittelwert | 37,1 | 21,4 | 15,7 |
| StdAbw | 32,2 | 31,8 | 19,5 |
| StdFeh | 8,6 | 8,5 | 5,2 |

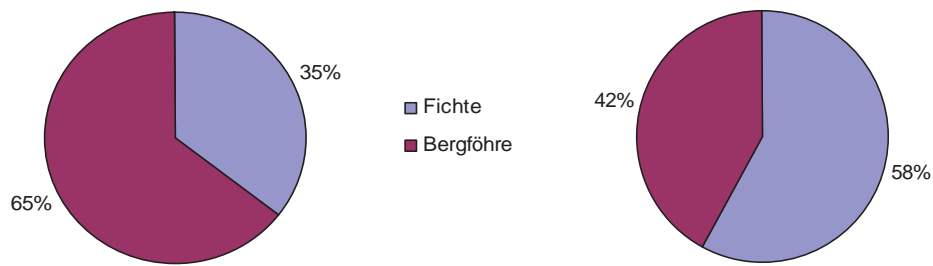


Abbildung 9. Stammzahlverteilung nach Baumarten und Stärkeklassen: BHD < 36 cm (links) und BHD ≥ 36 cm (rechts).

3.2.3 Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen

Die Stammzahlverteilung in 4 cm-Durchmesserklassen zeigt eine lineare Abnahme mit einem Loch bei 20-23 cm BHD (Abbildung 10). Die Bergföhre ist bei den kleinen Durchmessern stärker vertreten als die Fichte, bei den grossen Durchmessern ist es umgekehrt. Daher verläuft die Kurve für Fichte viel flacher als für Bergföhre.

3.2.4 Lebender Bestand: Volumen/ha [m³/ha]

Gemäss der Einteilung der Regionen aus dem LFI2 (Brassel & Brändli 1999) liegt der Seeliwald, südwestlich des Sarnersees gelegen (Pfeil, Abbildung 11), in der Produktionsregion Voralpen Mitte. Aus der Produktionsregion werden die Tarifparameter für die einzelnen Baumarten nach Kaufmann (2000) hergeleitet.

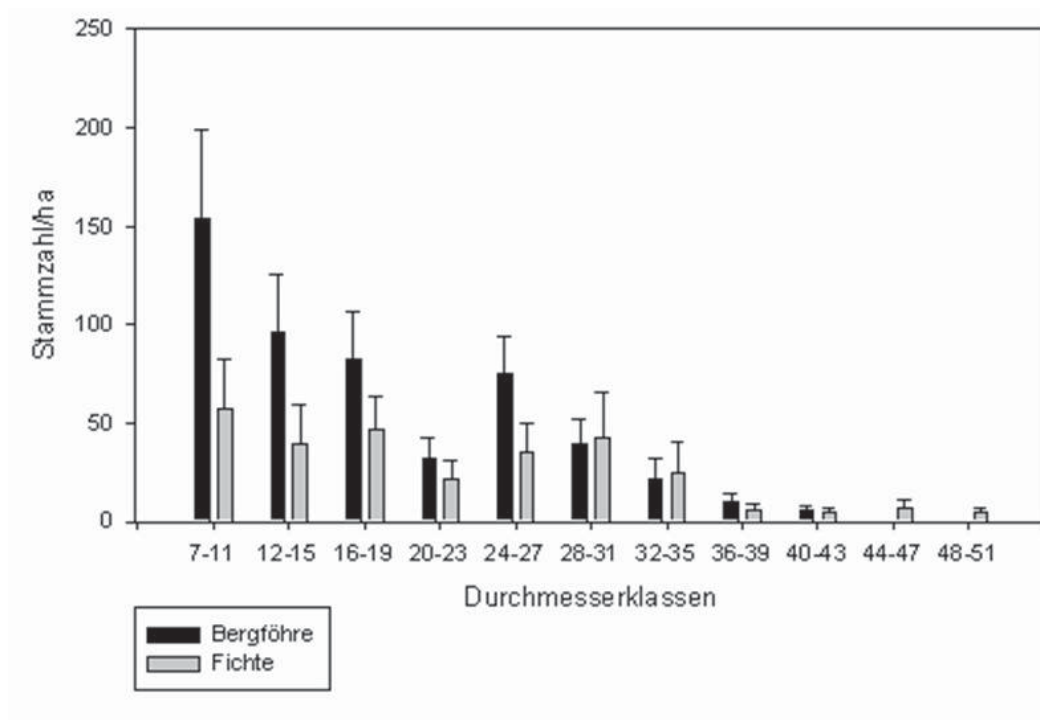


Abbildung 10. Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen (4 cm-Klassen) für Bergföhre und Fichte. Säulen stellen die gemittelten Werte aus allen vollen SP (N = 15) dar. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler.

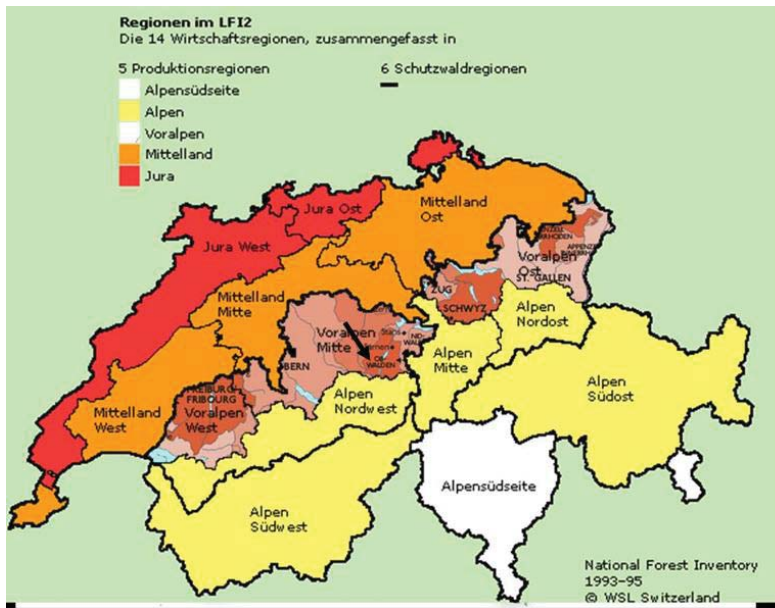


Abbildung 11. Produktionsregion für den Seeliwald.

Die dominanten Waldgesellschaften 57 (erhöhte Lagen, Fichte) und 71 (Bergföhren im Hochmoor) ergeben eine maximale Baumhöhe von 10-25 m für die Fichte und von 4-15 m für die Bergföhre. Nach den Höhen-Durchmesserkurven liegt die Wüchsigkeit für beide Baumarten am oberen Ende dieser Spanne (Abbildungen 12 und 13). Für die Fichte ergibt sich eine Bonität von 18, für die Waldgesellschaft 71 wurden keine Angaben zur Bonität in der Literatur gefunden. Die Gesamtwuchsleistung dürfte allerdings unter der Gesamtwuchsleistung für Fichte Bonität 18 liegen. Deshalb wurde eine Gesamtwuchsleistung von 2250 kg Trockensubstanz pro Hektare und Jahr angenommen (Tabelle 4).

Insgesamt stehen im Seeliwald 248 m³/ha an lebenden Bäumen mit BHD \geq 7 cm. Den grössten Anteil am Schaftholz macht mit 155 m³/ha bzw. 63% die Fichte aus; danach kommt mit 92 m³/ha bzw. 37% die Bergföhre (Tabellen 18 und 19, Abbildung 14). Die Fichte überwiegt beim Volumen, die Bergföhre bei der Stammzahl.

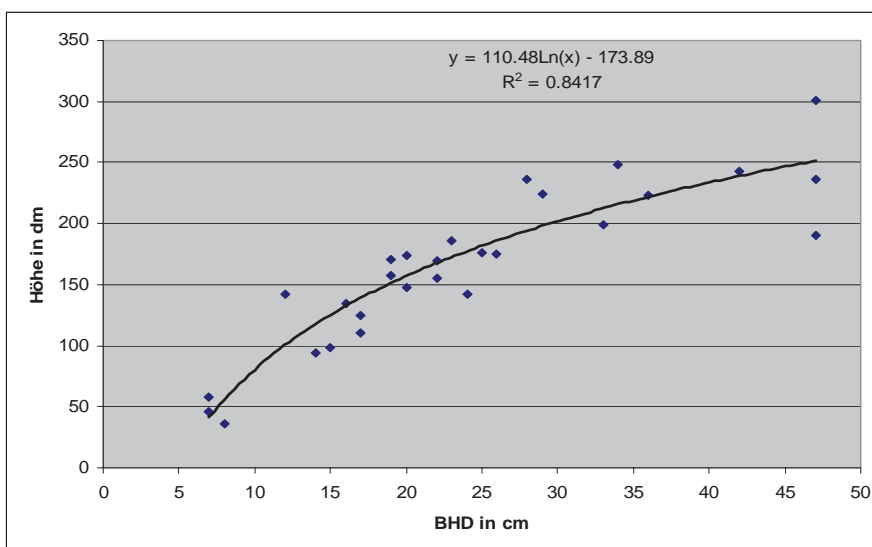


Abbildung 12. Höhen-Durchmesserkurve für Fichte im Seeliwald. Die Punkte sind im Rahmen der Testaufnahmen gemessene Bäume.

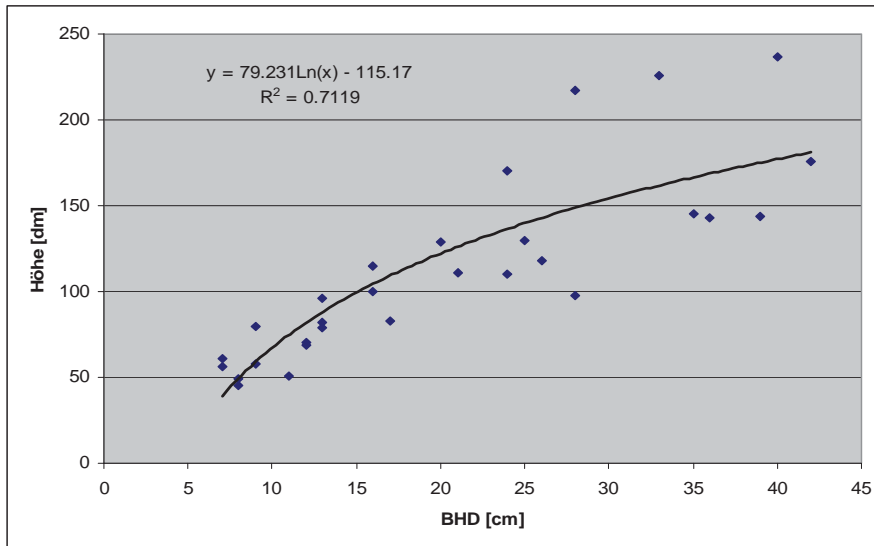


Abbildung 13. Höhen-Durchmesserkurve für Bergföhre im Seeliwald. Die Punkte sind im Rahmen der Testaufnahmen gemessene Bäume.

Tabelle 18. Volumen des lebenden Bestandes [m³/ha] (Schaftholz in Rinde) total und nach Baumarten. Bäume mit BHD < 36 cm aufgenommen im 200 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Fichte | Bergföhre |
|------------|-------|--------|-----------|
| Mittelwert | 186,0 | 108,0 | 77,6 |
| StdAbw | 194,3 | 188,6 | 45,1 |
| StdFeh | 51,9 | 50,4 | 12,1 |

Tabelle 19. Volumen des lebenden Bestandes [m³/ha] (Schaftholz in Rinde) total und nach Baumarten geteilt. Bäume mit BHD ≥ 36 cm aufgenommen im 500 m²-Kreis, Mittelwert über alle vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Fichte | Bergföhre |
|------------|-------|--------|-----------|
| Mittelwert | 62,3 | 47,8 | 14,5 |
| StdAbw | 65,8 | 69,2 | 17,8 |
| StdFeh | 17,6 | 18,5 | 4,8 |

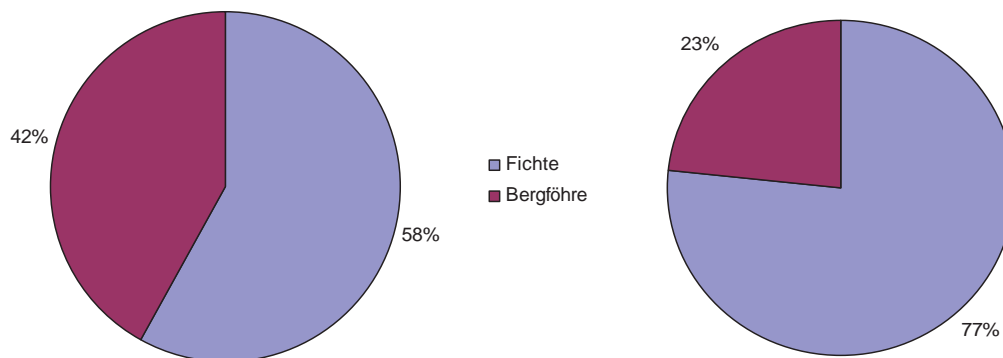


Abbildung 14. Volumenverteilung nach Baumarten und Stärkeklassen: BHD < 36 cm (links) und BHD ≥ 36 cm (rechts). Schaftholz in Rinde [m³/ha] über alle vollen SP (N = 15) gemittelt.

3.2.5 Habitatstrukturen: Anzahl/ha

Weil die Bergföhren im Seeliwald kaum je 36 cm BHD erreichen, wurde der minimale BHD für Bäume mit HS im Seeliwald auf 24 cm reduziert. Insgesamt stehen 22 Bäume mit HS (HS-Typ 2) auf einer Hektare, das sind 9% der Bäume dieser Durchmesserklasse (anteilmässig nur halb so viele wie im Josenwald, jedoch von der Stammzahl her gleich viele (Tabelle 20). Die häufigste HS ist Kronentotholz. Pro Hektare stehen im Seeliwald 17 Bäume mit mindestens 10% Kronentotholz (Tabelle 21). Der Anteil dieser HS an allen lebenden Bäumen mit HS beträgt 69% (Abbildung 15). Am zweithäufigsten kommen mit je 11% flächige Rindenverletzungen und Konsolenpilze vor. In den 30 SP wurde nur ein Stock (HS-Typ 4) aufgenommen (Tabelle 20). Durchschnittlich stehen auf einer Hektare 17 Dürrständer (HS-Typ 3) mit BHD \geq 24 cm sowie 2 Bäume mit BHD \geq 50 cm (HS-Typ 1, Tabelle 20; unter den insgesamt 5 aufgenommenen Bäumen waren 4 Fichten und 1 Bergföhre).

Tabelle 20. Habitatstrukturen in Stammzahl [N/ha] nach HS-Typen gemittelt über sämtliche SP (N = 30) mit Standardabweichung und Standardfehler. Beschreibung der HS-Typen im Text.

| | Total | HS-Typ 1 | HS-Typ 2 | HS-Typ 3 | HS-Typ 4 |
|------------|-------|----------|----------|----------|----------|
| Mittelwert | 41,7 | 1,7 | 22,3 | 17,3 | 0,3 |
| StdAbw | 32,4 | 5,9 | 18,7 | 26,4 | 1,8 |
| StdFeh | 5,9 | 1,1 | 3,4 | 4,8 | 0,3 |

Tabelle 21. Stammzahl der lebenden Bäume mit HS-Typ 2 [N/ha] über alle SP (N = 30) mit Standardabweichung und Standardfehler. Die Merkmale sind in Commarmot & Streit (2007) beschrieben.

| | Kronentotholz 1 | Kronentotholz 2 | Kronenbruch | Risse und Spalten | Flächige Rindenverletzung | Loch am Stamm | Konsolenpilz |
|------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| Mittelwert | 14,3 | 2,3 | 1,7 | 0,3 | 2,7 | 0,3 | 2,7 |
| StdAbw | 15,5 | 5,7 | 3,8 | 1,8 | 5,2 | 1,8 | 6,4 |
| StdFeh | 2,8 | 1,0 | 0,7 | 0,3 | 1,0 | 0,3 | 1,2 |

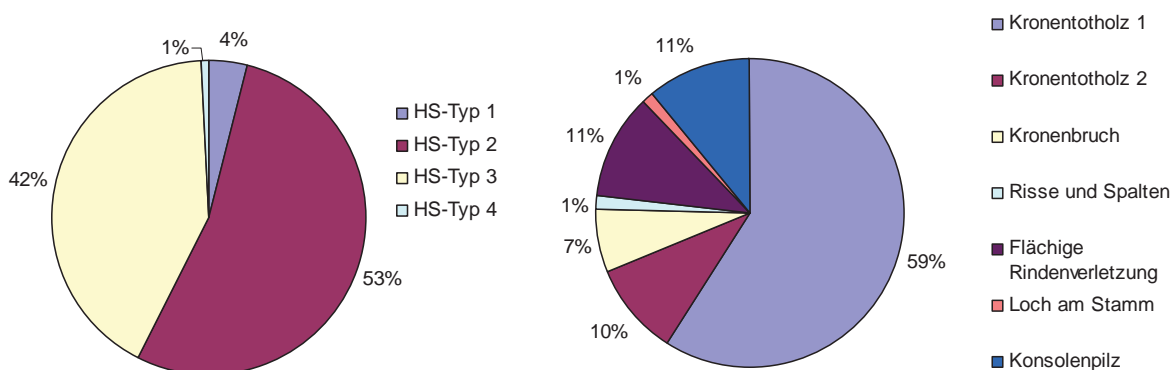


Abbildung 15. Anteile der HS-Typen am Total aller Bäume mit BHD \geq 36 cm und HS (links) und Anteile unterschiedlicher Habitatstrukturen am Total aller Habitatstrukturen (rechts).

3.2.6 Stehendes Totholz: Volumen/ha [m^3/ha]

Das Volumen des stehenden Totholzes wurde mit den in Kapitel 2.4.7 genannten Verfahren berechnet, entweder mit artspezifischen Höhen-Durchmessercurven (Abbildungen 12 und 13) oder mit einer unspezifischen Höhen-Durchmessercurve für Nadelbäume (Abbildung 16).

Insgesamt stehen im Seeliwald 31 m^3 Totholz auf einer Hektare (Tabelle 22), also dreimal soviel wie im Josenwald. Den grössten Anteil haben dabei Bäume mit BHD zwischen 7 und 36 cm.

Tabelle 22. Stehendes Totholz [m^3/ha] nach Stärkeklassen: BHD < 36 cm auf dem 200 m^2 -Kreis aufgenommen und BHD \geq 36 cm auf dem 500 m^2 -Kreis aufgenommen. Gemittelte Werte der vollen SP (N = 15) mit Standardabweichung und Standardfehler.

| | BHD < 36 cm | BHD \geq 36 cm |
|--------------------|-------------|------------------|
| Mittelwert | 25,2 | 5,4 |
| Standardabweichung | 28,6 | 12,3 |
| Standardfehler | 7,6 | 3,3 |

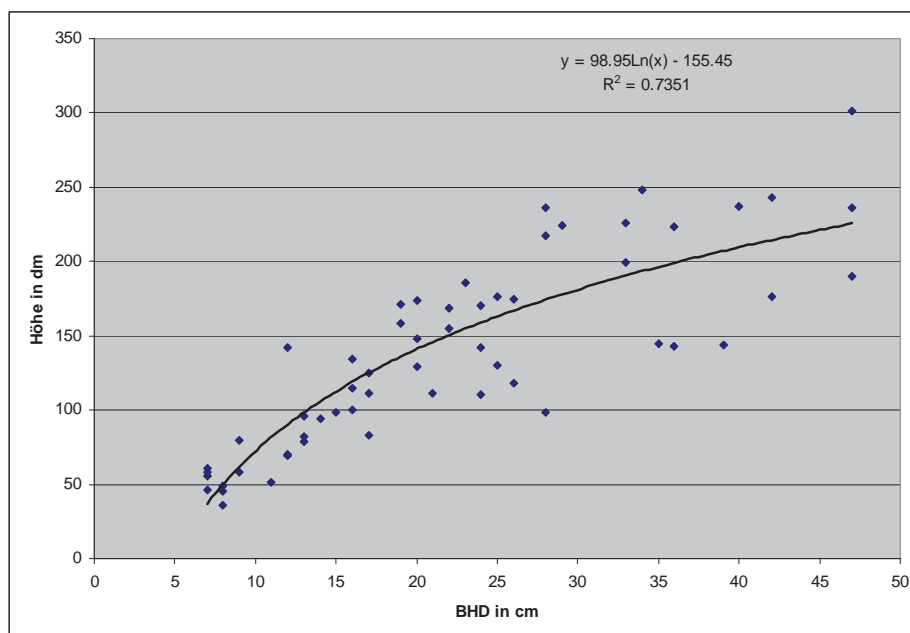


Abbildung 16. Unspezifische Höhen-Durchmessercurve für alle Nadelbaumarten im Seeliwald. Die Punkte stehen für Höhenmessungen im Rahmen der Testaufnahmen.

3.2.7 Liegendes Totholz: Volumen/ha [m^3/ha]

Insgesamt liegen im Seeliwald 17 m^3 Totholz pro Hektare (Tabelle 23). Das sind nur 19% des Wertes im Josenwald und nur wenig mehr als die Hälfte des stehenden Totholzes im Seeliwald. 65 % des liegenden Totholzes befindet sich in der Totholz-Abbaustufe 2 (Totholz saftlos, fest; Messer dringt in Faserrichtung nur sehr schwer ein).

Tabelle 23. Volumen des liegenden Totholzes [m³/ha] aufgeteilt nach Totholz-Abbaustufen. Gemittelte Werte der vollen SP (N = 15) sowie Standardabweichung und Standardfehler.

| | Total | Totholz-Abbaustufe | |
|--------------------|-------|--------------------|------|
| | | 2 | 4 |
| Mittelwert | 17,4 | 11,3 | 6,1 |
| Standardabweichung | 26,6 | 20,3 | 12,9 |
| Standardfehler | 6,9 | 5,2 | 3,3 |

3.2.8 Wurzelteller: Anzahl/ha

Im Seeliwald liegen pro Hektare 8 Wurzelteller (Standardabweichung 19,4, Standardfehler 0,4). Das sind bloss 15% der Wurzeltellerdichte im Josenwald.

3.2.9 Mindestprobengrösse und registrierbare Veränderung

Mit der geplanten SP-Anzahl kann eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% nur für die Merkmale totales Volumen/ha des lebenden Bestandes, HS-Typ 2 und Kronentotholz registriert werden (Tabellen 24-27).

Tabelle 24. Mindestprobengrösse N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für das Volumen [m³/ha] der lebenden Bäume mit $BHD \geq 36$ cm und registrierbare Veränderung r bei gegebener Probengrösse 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Total | Fichte | Bergföhre |
|--------------|--------|--------|-----------|
| Mittelwert | 62,3 | 47,8 | 14,5 |
| Varianz | 4325,7 | 4785,7 | 316,4 |
| $D(X_2-X_1)$ | 12,5 | 9,6 | 2,9 |
| $N \geq$ | 111,5 | 209,7 | 150,1 |
| r bei N=60 | 0,27 | 0,37 | 0,32 |

Tabelle 25. Mindestprobengrösse N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für die Stammzahl [N/ha] für ausgesuchte HS und registrierbare Veränderung r bei gegebener Probengrösse 120 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | HS-Typ 2 | Kronentotholz | Kronenbruch | Risse und Spalten | Flächige Rindenverletzung | Loch am Stamm | Konsolenpilz |
|--------------|----------|---------------|-------------|-------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| Mittelwert | 22,3 | 16,0 | 1,7 | 0,3 | 2,7 | 0,3 | 2,7 |
| Varianz | 349,5 | 273,1 | 14,4 | 3,3 | 27,1 | 3,3 | 40,9 |
| $D(X_2-X_1)$ | 4,5 | 3,2 | 0,3 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 |
| $N \geq$ | 70,1 | 106,7 | 517,2 | 3000,0 | 381,5 | 3000,0 | 575,4 |
| r bei N=120 | 0,15 | 0,19 | 0,42 | 1,00 | 0,36 | 1,00 | 0,44 |

Tabelle 26. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für das Volumen [m³/ha] von Dürrständern und registrierbare Veränderung r bei gegebener Probengröße 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Dürrständer BHD < 36 cm | Dürrständer BHD \geq 36 cm |
|--------------|-------------------------|------------------------------|
| Mittelwert | 25,2 | 5,3 |
| Varianz | 817,2 | 150,6 |
| $D(X_2-X_1)$ | 5,0 | 1,1 |
| $N \geq$ | 128,3 | 526,6 |
| r bei N=60 | 0,29 | 0,59 |

Tabelle 27. Mindestprobengröße N, um eine Veränderung von 20% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 33% zu registrieren, für liegendes Totholz [m³/ha] und registrierbare Veränderung r bei gegebener Probengröße 60 dezimal ausgedrückt. $D(X_2-X_1)$ =Differenz der Mittelwerte zwischen den Aufnahmeperioden ($=0,2 \cdot \text{Mittelwert}$).

| | Liegendes Totholz [m ³ /ha] |
|--------------|--|
| Mittelwert | 17,4 |
| Varianz | 708,7 |
| $D(X_2-X_1)$ | 3,5 |
| $N \geq$ | 234,7 |
| r bei N=60 | 0,40 |

4 DISKUSSION

Vorbemerkung: Das Grundkonzept der Aufnahmen wird in Brang et al. (2008) diskutiert, ist also nicht Gegenstand dieses Kapitels.

4.1 PROBLEME BEI DEN TESTAUFNAHMEN

Im Josenwald erschwerte das steile, mit Felsstufen und Tobeln durchsetzte Gelände die Aufnahmen erheblich. Viele SP sind mindestens zum Teil unzugänglich. Von den anfänglichen 141 ins NWR gelegten SP dürften mindestens 48 (34%) unzugänglich sein. Es bleiben 93 SP bzw. 46 volle SP. Da in einer Auswertungseinheit mindestens 30 SP sein sollten, ist diese Zahl zu knapp. Es wird ohne empfindliche Einbussen in der Schätzgenauigkeit kaum möglich sein, nach Standorten zu stratifizieren.

Die Situierung der SP dürfte mit Abweichungen von höchstens ca. 10 m recht gut sein. Die Steilheit des Geländes im Josenwald macht die Einmessung jedoch fehleranfällig. Die Genauigkeit des Handklinometers könnte zu gering sein, um genügend genaue Horizontalabstände zu erreichen. Dies könnte variable Fehler der Einmessdistanz und die ungenaue Situierung von SP zur Folge haben, was Folgeinventuren erschweren würde. Die Lage gewisser SP wurde an wolkenfreien Tagen mit Hilfe eines GPS-Gerätes von Garmin überprüft. Die Abweichungen zwischen eingemessenen und GPS-Koordinaten lagen dabei immer im Rahmen des Messfehlers des GPS-Gerätes.

Windwurf oder dichtes Buschwerk erschwerten das Einmessen mittels Messband, da sie das gerade Ausbringen des Messbandes auf eine längere Distanz verunmöglichten und somit die Distanzen verkürzten. Dadurch erhöhte sich der Zeitbedarf bei der Einmessung. In vielen NWR wäre es daher ein grosser Vorteil, das Messband durch andere Hardware zu ersetzen. Falls dieses Gerät über einen integrierten elektronischen Klinometer verfügt, würde auch diese Fehlerquelle (siehe letzter Abschnitt) ausgeschaltet.

Der programmierte HP-Taschenrechner (HP 41CV), der bei der Einmessung die Enddistanz und Richtung berechnete, ist in seiner Benutzung fehleranfällig, denn die eingegebenen Daten sind nicht überprüfbar, weil sie gleich nach der Eingabe verschwinden.

In NWR mit einfachem Gelände und grosser Stammzahl (Seeliwald) gibt es andere Probleme. So muss vermehrt darauf geachtet werden, keine Bäume zu vergessen. Diese Fehlerquelle kann durch die gestaffelte Aufnahme der drei Kreise nacheinander reduziert werden.

Mehrere HS waren schwer erkennbar. Auch gibt es beim Erkennen einen gewissen individuellen Spielraum, der die Reproduzierbarkeit beeinträchtigen könnte. Stark von dieser Fehlerquelle betroffen sind die HS Kronentotholz und Kronenbruch. Beim Kronentotholz soll die Ansprache durch Bildtafeln für verschiedene Prozentsätze von Kronentotholz für Nadelbäume und Laubbäume vereinheitlicht werden.

Das Material und die Software sind zu optimieren. So ist abzuklären, ob FIELDMAP von IFER (www.fieldmap.cz) für die Aufnahmen im Rahmen der Stichprobeninventur in Frage kommt.

4.2 ZEITAUFWAND

Im Josenwald wurde mit 1,37 h/SP zum Einmessen etwa doppelt so viel Zeit benötigt wie im Seeliwald mit 0,62 h/SP. Der Grund dafür ist das schwierigere Gelände des Josenwalds. So war es im Josenwald kaum möglich, gerade von SP zu SP einzumessen, da immer wieder Felsbänder umgangen werden mussten. Dazu kamen oft Sichtbehinderungen wegen dichtem Buschwerk. Der Seeliwald hingegen ist eben und die Sicht grösstenteils frei. Trotzdem war der Zeitaufwand für die Aufnahme des stehenden Bestandes in den beiden NWR ähnlich (im Seeliwald wurde 77% der Zeit des Josenwalds benötigt). Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Seeliwald im innersten und im mittleren Kreis (200 und 500 m²) 60% mehr Bäume aufgenommen wurden als im Josenwald. Dies wog den Nachteil des steilen Geländes im Josenwald zum Teil auf. Für die SP, in denen nur HS aufgenommen wurden, liegt der Zeitaufwand im Josenwald Geländebedingt wieder deutlich über dem im Seeliwald (51% des Zeitaufwands des Josenwalds). Die Aufnahme des liegenden Totholzes schliesslich nahm im Seeliwald 42% des Zeitaufwands im Josenwald in Anspruch, obwohl im Seeliwald nur 19% des Totholzvolumens des Josenwalds lag.

Insgesamt lag die Tagesleistung im Josenwald bei 2-3 SP, im Seeliwald bei 4-6 SP. Bei der Aufwandschätzung für weitere Inventuren ist zu berücksichtigen, dass die Verjüngung dabei nicht aufgenommen wurde.

Die Vorbereitung von SP-Inventuren in NWR umfasst die Erarbeitung eines GIS-Projekts (Fixpunkte, SP-Koordinaten, Orthoplan), sowie die Kontaktaufnahme mit den örtlichen Behörden, insbesondere das Abklären von Fahrerlaubnissen und Parkiermöglichkeiten. Dafür ist pro NWR mit einem Zeitaufwand von drei Tagen zu rechnen; die Beschaffung von GIS-Daten dauert aber oft Monate. Für die Aufnahmen durch ein Zweierteam ist bei 30 SP (extensives Monitoring) in einfachem Gelände mit 6-8 Tagen, in schwierigem Gelände mit 12-15 Tagen zu rechnen. Bei 100 SP (Intensivmonitoring) erhöht sich der Zeitaufwand auf 20-30 bzw. 40-50 Tage.

4.3 SCHÄTZFEHLER UND ANPASSUNG DES STICHPROBENDESIGNS

Bezüglich Schätzfehlern ergaben die Testaufnahmen Folgendes: Eine Veränderung von etwa 20% dürfte nur für die Merkmale Volumen/ha des lebenden Bestandes (Total und Buche) für den Josenwald, Kronentotholz für den Seeliwald sowie HS Typ 2 für beide NWR nachweisbar sein, eine solche von $\leq 30\%$ für die Häufigkeit der HS Kronentotholz, Flächige Rindenverletzung und Mulmkörper sowie das Volumen des liegenden Totholzes im Josenwald sowie Gesamtvolumen/ha für den lebenden Bestand und für Dürrständer mit BHD < 36 cm im Seeliwald (Tabellen 11-14 und 24-27).

Falls die Testaufnahmen repräsentativ sind, sollten sich theoretisch Mittelwert und Varianz auch durch die Erhöhung der SP-Anzahl nicht mehr ändern. Gerade für die seltenen Merkmale ist jedoch nicht davon auszugehen, dass 30 SP die Verhältnisse im ganzen NWR gut repräsentieren. Es braucht nur sehr wenige Bäume oder HS, um den Mittelwert zu verdoppeln. Wird die Veränderung als Prozentwert betrachtet, ist immer zu beachten, welche Anzahl Bäume dieser Prozentwert ausdrückt. So kann eine Verdoppelung des Mittelwertes unter Umständen die zusätzliche Aufnahme von einem Baum bedeuten. Bei seltenen HS ist also das Hauptresultat der Inventur die Bestätigung ihrer Seltenheit. Immerhin dürfte deren Häufigkeit mit der Zeit zunehmen, was die Schätzfehler verringert. Das Problem hoher Schätzfehler bei seltenen

Merkmale ist ohne Methodenänderung (z.B. Vollaufnahmen) nicht lösbar.

Für viele Merkmale ist eine grosse Veränderung über die Zeit vor allem im Zusammenhang mit Störungen zu erwarten. Zu den durch Störung geförderten Merkmalen gehören die HS (Kronentotholz, Kronenbruch, Risse und Spalten, flächige Rindenverletzung und Konsolenpilz) sowie stehendes und liegendes Totholz. Andere Merkmale wie lebender Baum mit BHD ≥ 80 cm oder die HS Höhle mit Mulmkörper, Loch am Stamm und hohler Stamm werden durch Störungen kaum gefördert oder brauchen danach lange, um sich zu entwickeln. Änderungen können bei diesen Merkmalen in einem Zeitraum von 10 Jahren nicht erwartet werden, es braucht eher 20 oder 30 Jahre.

Es stellte sich daher die Frage, ob nicht ein anderes SP-Design die Volumenschätzung verbessern könnte, ohne die Häufigkeitsschätzung der HS massgeblich zu verschlechtern. Folgende Änderung wurde geprüft: a) Beschränkung auf einen SP-Typ (nur noch volle SP, keine reine HS-SP), und b) Verzicht auf den dritten Probekreis (PK) mit 1000 m² Fläche. Bei gleicher Netzdichte würden die bisherigen HS-SP in volle SP umgewandelt. Die LFI-Aufnahme würde also verdichtet, die HS-Aufnahme reduziert.

Für diese Alternative wurden Zeitaufwand und Schätzfehler berechnet. Das Ergebnis: Der Zeitaufwand für die SP-Inventur würde um 20-30% steigen. Diese Zunahme kann kompensiert werden durch entsprechend verringerte Netzdichte (was einen kleinen Teil des Gewinns wieder zunichte macht) und, in NWR mit viel liegendem Totholz, durch verminderte Transektlänge (10 m statt 15 m).

Schätzgenauigkeit und nachweisbare Veränderungen verhalten sich beim Alternativ-Design wie folgt:

- Bei wichtigen Merkmalen der Bestandesstruktur (Volumen, Stammzahl) verringern sich die Schätzfehler um ca. 30%. Somit werden Veränderungen um rund 20% bei relativ häufigen Baumarten (im Bereich von 20-30% Anteil, was in ca. einem Drittel der NWR auftreten dürfte) eher nachweisbar.
- Für seltenere Baumarten (wie z.B. alle ausser Buche im Josenwald) verringern sich die Schätzfehler zwar auch, sind aber weiterhin sehr hoch.
- Der Anteil der HS-Bäume an allen Bäumen lässt sich trotz geringerer erfasster Fläche etwa gleich genau berechnen, da die Bezugsfläche gleich ist (verbundene SP, s. Kapitel 4.5.1)
- Die nachweisbaren Veränderungen bei den häufigsten HS erhöhen sich um 20-25% (also eher geringfügig), bei den seltenen stärker (aber dort ist die Schätzung ohnehin sehr ungenau).

Ein Vorteil des Alternativ-Designs ist die Vereinfachung der Feldarbeit und Auswertung, da nur ein SP-Typ vorkommt. Das macht die Alternative robuster.

Aufgrund der erheblichen Vorteile des Alternativ-Designs und der geringen Nachteile wird das SP-Design wie oben beschrieben geändert. Zusätzlich ist bei kleineren NWR (bis ca. 20 ha) im Einzelfall zu prüfen, ob statt der SP-Inventur eine Vollaufnahme erfolgen soll (Vollkluppierung inkl. Habitatstrukturen, ergänzt mit einer SP-Inventur für liegendes Totholz und Verjüngung).

Änderungen am Design gab es auch hinsichtlich SP, die durch Grenzlinien (Begehbarkeitsgrenze, Waldgrenze und/oder Reservatsgrenze) geteilt sind. Nach Adrian Lanz war die bei den Testaufnahmen angewandte Regel, solche SP wegzulassen, statistisch nicht korrekt, da die Wahrscheinlichkeit aufgenommen zu werden für Bäume, die sich höchstens im Abstand des Radius des HS-Probekreises von einer Grenzlinie entfernt befinden, kleiner ist als für andere Bäume im NWR. Die Integration von Grenzlinien erforderte eine erhebliche Ausweitung des Merkmalskatalogs⁵.

4.4 ANPASSUNG DES MERKMALSKATALOGS

Nach den Testaufnahmen wurden Unklarheiten im Merkmalskatalog beseitigt (der Prozess kann über «Merkmalskatalog SP-HS V6.doc» bis «...V73⁵.doc» nachvollzogen werden. Freiräume in der Interpretation der Methode wurden vermindert und so Zweideutigkeiten reduziert. Zum Beispiel wurde bestimmt, dass das Merkmal «Zwiesel» auch an toten Bäumen aufgenommen wird, solange nicht mindestens eine der zwei Hauptachsen abgebrochen ist. Analoges gilt für Mehrfachstämme.

Ausserdem wurden Expertenmeinungen (Dr. Beat Wermelinger, Insekten-Ökologe, WSL; Jogeir Stokland, Totholzspezialist, Norsk institutt for skog og landskap, Norwegen) über die Vollständigkeit des Merkmalskatalogs für HS eingeholt. Dadurch kam es zu folgenden Änderungen des Merkmalskatalogs:

- Bemerkung zu HS-Typ 3: Baum mit Borkenkäferfrass: An Dürrständern und Stöcken, die als HS aufgenommen werden ($BHD \geq 36$ cm), werden Frassbilder von mindestens 1000 cm^2 Ausdehnung aufgenommen.
- Zusätzliche HS: Hohler Stamm, Safffluss (an Laubbäumen, Definition in «Merkmalskatalog SP-HS V73.doc»)
- Aufnahme von HS an Dürrständern: Neu werden folgende HS auch an Dürrständern und Stöcken aufgenommen: Risse und Spalten, Höhle mit Mulmkörper, Loch am Stamm, Hohler Stamm und Konsolenpilze.

Nicht berücksichtigt wurde die Anregung von Jogeir Stokland, auf Kosten von HS-Aufnahmen mehr Zeit in die Aufnahme von liegendem Totholz zu investieren, und dabei die Transekte zu verlängern und den Basaldurchmesser zusätzlich zum Totholzdurchmesser am Transektschnittpunkt aufzunehmen. Die bei den Testaufnahmen verwendete Methode (Böhl & Brändli 2007) ist sehr einfach und damit kaum fehleranfällig, zudem dürfte sie die erforderlichen Resultate liefern.

Es besteht aufgrund der Daten kein Anlass, die Mindestdurchmesser für die aufzunehmenden Bäume mit HS im Vergleich zu den Testaufnahmen anzupassen; die Differenzierung des minimalen BHD für HS-Bäume (36 cm für HS-Typen 1 bis 3 und 80 cm für HS-Typ 4, bzw. 24 cm und 50 cm auf wenig produktiven Standorten wie im Seeliwald) ist vernünftig. Dicke Bäume sind allerdings vorderhand sehr selten.

Die Änderungen am Merkmalskatalog haben folgende Konsequenzen für die Brauchbarkeit der Daten der Testaufnahmen: Die hinzugefügten HS «hohler Stamm» und «Safffluss» wurden nicht aufgenommen. Ebenso wurden keine HS an Dürrständern

⁵ Datei «Merkmalskatalog SP_HS_V73.doc», spätere Versionen sind im Tagebuch dokumentiert, Speicherort: N:\WALDYN\MFW\Proj NWR\Forschungsmethoden\Habitatstrukturen

aufgenommen und Borkenkäferfrass fehlt als Bemerkung an Dürrständern. Eine Wiederaufnahme der schon aufgenommenen SP ist nötig, denn die oben erwähnten Merkmale können in den beiden NWR sonst kaum ausgewertet werden.

4.5 INTERPRETATION DER DATEN

4.5.1 Allgemeines

Nach erfolgter Auswertung wurden Fachleute des LFI (Andreas Schwyzer, WSL; Dr. Adrian Lanz, WSL) zu aufgetauchten Fragen konsultiert.⁶

Generell werden auch bei 120 SP nie so viele Stämme seltener Baumarten aufgenommen, dass deren Häufigkeit befriedigend genau geschätzt werden kann. Gleiches gilt für viele HS und stehendes Totholz. Dieses Problem kommt besonders dann zum Tragen, wenn eine Veränderung registriert werden soll. Eine Veränderung kann nämlich nur dann als signifikant registriert werden, wenn der Standardfehler des Mittelwerts zum Zeitpunkt 1 nicht grösser ist als die Hälfte der Veränderung bis zum Zeitpunkt 2 (siehe Kapitel 2.4.10).

Probleme ergeben sich, wenn ein Verhältnis zwischen zwei auf verschiedenen Flächen aufgenommenen Datensätzen berechnet werden soll. Zum Beispiel soll der Anteil der lebenden Bäume mit HS (HS-Typ 1 und 2), aufgenommen im 1000 m²-Kreis, an allen lebenden Bäumen mit BHD ≥ 36 cm, aufgenommen im 500 m²-Kreis, berechnet werden. Die beiden Datensätze sind unabhängig, was den Standardfehler sehr gross werden lässt. Das oben angeführte Beispiel rechnet sich wie folgt: Das Verhältnis für die unabhängigen Proben ist 0,18 und der Standardfehler 0,03. Werden nur die lebenden Bäume mit HS betrachtet, die im mittleren Kreis auf den vollen SP aufgenommen wurden, ist der Datensatz für die HS-Bäume sehr viel kleiner (grösserer Standardfehler), allerdings sind die SP verbunden. Das Verhältnis aus den Mittelwerten ist somit 0,14 und der Standardfehler 0,03. Die Vervierfachung der Probengrösse für HS verliert also ihren Vorteil, sobald Verhältnisse aus unverbundenen Datensätzen betrachtet werden sollen.

Da für die Testaufnahmen nur 15 volle SP pro NWR aufgenommen wurden, sind die Standardfehler für die meisten Auswertungen sehr gross. Zudem waren die aufgenommenen SP nicht zufällig auf die beiden NWR verteilt. Die in diesem Bericht präsentierten Resultate sind demnach mit Vorsicht zu geniessen. Ziel der Testaufnahmen war nicht, Aussagen über die beiden NWR zu machen, sondern die Methode unter unterschiedlichen Bedingungen zu testen.

4.5.2 Lebender Bestand: Stammzahlverteilung nach Durchmesserklassen

Bei der Stammzahlverteilung lässt sich in beiden NWR ein negativ exponentieller Verlauf erahnen, der von einer glockenförmigen Kurve unterbrochen wird. Der exponentielle Verlauf trifft für die meisten Wälder zu, falls die Auswertungseinheit genügend gross ist, beziehungsweise mehrere Entwicklungsstufen in die Betrachtung einbezogen werden (DeLiocourt 1898, Hough 1932, Cancino & Gadow 2002). Die glockenförmige Kurve entspricht bewirtschafteten gleichförmigen Hochwäldern. Sie

⁶ Die Notizen zu den Sitzungen sind unter «Prot NWR 2007.10.16 Auswertung Testaufnahmen.doc» und «Prot NWR 2007.11.20 Auswertung.doc» abgelegt.

bewegt sich dort normalerweise über die Jahre nach rechts, bis die Verjüngung eingeleitet wird. Ohne die Bestandesgeschichte genau zu kennen, ist es schwierig, Angaben über das Alter der Bäume zu machen. Es darf auch nicht davon ausgegangen werden, dass alle Bäume einer Entwicklungsstufe ähnlich alt sind. Die Stammverteilungskurven aus beiden NWR sind nicht überraschend für Bestände, die früher einmal bewirtschaftet wurden und deren Bewirtschaftung mittlerweile eingestellt ist. Ob sich die Kurve mit der Zeit einer exponentiellen Funktion angleicht, dürfte eine interessante Frage für das Monitoring sein. Die Stammzahlverteilung ist auch abhängig von der Baumart (siehe Seeliwald).

4.5.3 Lebender Bestand: Volumen/ha [m^3/ha]

Die Herleitung der jährlichen Gesamtwuchsleistung in Trockensubstanz pro Hektare scheint nicht sehr gut fundiert. Dafür wird noch beim LFI nach genaueren Unterlagen gesucht.

Da im Seeliwald je nach Standort (erhöhte Fichtenlagen oder Bergföhren im Hochmoor) ganz unterschiedliche Wuchsbedingungen herrschen, sollte der Seeliwald nach diesen zwei Standorten stratifiziert werden.

Im Josenwald steht erwartungsgemäss mehr Volumen/ha als im Seeliwald, allerdings nicht im erwarteten Ausmass (21% mehr). Das liegt daran, dass im Seeliwald 60% mehr Bäume stehen, was den Vorsprung durch die grösseren Durchmesser im Josenwald abschwächt. In beiden Wäldern liegt der Vorrat unter dem Schweizer Mittel von $354 m^3/ha$ für Bäume von mindestens 12 cm BHD (Brassel & Brändli 1999), obwohl der Josenwald rund 20% mehr Bäume/ha mit $BHD \geq 36$ cm aufweist als das Schweizerische Mittel (99 Stämme/ha, Brassel & Brändli 1999). Dies belegt, was auch im Gelände auffällt: die Stammzahl von Bäumen mit $BHD < 36$ cm ist sehr tief.

4.5.4 Habitatstrukturen: Anzahl/ha

Sowohl im Josenwald als auch im Seeliwald stehen 22 Bäume/ha mit HS. Der Entscheid, den minimalen BHD für HS-Bäume im Seeliwald auf 24 cm zu reduzieren, scheint daher vernünftig. In den zwei NWR waren jeweils andere HS häufig. Im Josenwald waren Höhlen mit Mulmkörper mit 34% die häufigste HS, im Seeliwald hingegen Kronentotholz mit 69%. Dies ist wohl auf die Baumarten (Laubbäume vs. Nadelbäume) zurückzuführen. Eine artspezifische Anpassung der HS-Parameter wurde diskutiert, aber verworfen, da die Parameterliste für alle Baumarten gleich sein soll, was die Aufnahmen erleichtert.

4.5.5 Stehendes Totholz: Volumen/ha [m^3/ha]

Die Annahme einer linearen Abnahme des Volumens bei einer Abnahme der Höhe von Dürreständen ist eine Annäherung, mit der das tatsächliche Volumen unterschätzt wird. Eine Formel, welche die Verjüngung der Bäume mit zunehmender Höhe realistischer abbildet, wäre vorzuziehen.

Im Seeliwald steht drei Mal so viel Totholz pro ha wie im Josenwald. Das stehende Totholz wurde in dieser Auswertung nicht nach Zerfallsstadium und Totholzabbau stratifiziert, da insgesamt nicht sehr viele Bäume gezählt wurden und eine Stratifizierung die Standardfehler noch erhöht hätte. Zudem wurde im Josenwald das Zerfallsstadium fehlerhaft aufgenommen, was die Auswertung dieses Zusatzmerkmals ver-

unmöglich, falls keine Wiederholungsaufnahme stattfindet (siehe Kapitel 4.4, letzter Abschnitt). Bezüglich Totholzabbau lässt sich nur sagen, dass sich in beiden NWR mehr als die Hälfte des stehenden Totholzes in der Abbaustufe 2 befand. Sobald mehr SP aufgenommen sind, wird es möglich sein, nach Totholz-Abbaustufen zu stratifizieren. Die Baumarten wurden im Josenwald bei 42% und im Seeliwald bei 64% der Dürrständer nicht näher bestimmt als mit einer Einteilung in Nadel- und Laubbäume. Daher wurden die Daten des stehenden Totholzes nicht nach Arten stratifiziert. Dies dürfte aber in Folgeinventuren einfacher werden, da in Zukunft heute lebende Bäume mit bekannter Baumart absterben werden.

4.5.6 Liegendes Totholz: Volumen/ha [m^3/ha]

Im Josenwald liegt fünf Mal soviel Totholz wie im Seeliwald, obwohl im Seeliwald dreimal mehr Totholz pro Hektare steht als im Josenwald. Das gibt Anlass zu Spekulationen. So könnten im Josenwald die Bäume häufiger durch abiotische Faktoren wie zum Beispiel Wind, Steinschlag oder Hangrutsch entwurzelt werden und seltener wie im Seeliwald langsam stehend absterben. Dabei gibt es eventuell auch baumartenspezifische Unterschiede. Auch scheint der dicke *Sphagnum*-Teppich im Seeliwald das am Boden liegende Totholz rasch zu überdecken. Um diese Hypothesen zu bestätigen, müsste allerdings mehr über die Bestandesgeschichte bekannt sein. Diese aufzuarbeiten, ist Teil der Grunddokumentation jedes NWR. Der grösste Anteil des liegenden Totholzes befindet sich sowohl im Josenwald als auch im Seeliwald in der Abbaustufe 2.

4.5.7 Wurzelteller: Anzahl/ha

Im Josenwald liegen sieben Mal mehr Wurzelteller als im Seeliwald. Dies stützt die in Kapitel 4.5.6 geäusserte Hypothese, dass abiotische Störungen im Josenwald eine grössere Rolle spielen als im Seeliwald.

4.6 FAZIT

Die erarbeitete Methode erweist sich nach Anpassung des Designs (Kap. 4.3) und des Merkmalskatalogs (Kap. 4.4) als operabel. Folgende Fragen sind jedoch noch offen:

- Korrektur der im Rahmen der Testaufnahmen erhobenen Daten aufgrund der methodischen Änderungen. Im Josenwald betrifft dies alle HS-SP und die Aufnahme folgender HS: hohler Stamm und Saftfluss an allen Bäumen, an toten Bäumen zudem das Merkmal Borkenkäferfrass und Zerfallsstadium
- Stratifizierung von NWR nach den wichtigsten Waldgesellschaften aufgrund der Vegetationskartierung oder aufgrund einer Aufnahme der Gesellschaft im Gelände als SP-Merkmal
- Optimierung der Ausrüstung (Hardware und Software)
- Bildtafeln für die Eichung bei der Bewertung von Kronentotholz
- Aufnahme von HS in Wirtschaftswäldern durch LFI

5 ANHANG

5.1 LITERATUR

Böhl J, Brändli U-B. 2007. Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. *European Journal of Forest Research* 126: 449-457

Brang P, Commarmot, B, Rohrer, L, Bugmann, H., 2008. Monitoringkonzept für Naturwaldreservate in der Schweiz. [published online February 2008] Available from World Wide Web <<http://www.wsl.ch/publikationen/pdf/8555.pdf>>. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zürich, ETH Zürich, Professur für Waldökologie. 58 S.

Brassel, P, Brändli U.-B. (Red.) 1999. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt. 442 S.

Burnand J, Küper M, Schmider P, Stocker R, Winter D. 1998. Waldgesellschaften der kollinen und montanen Stufe, Zusammengefasst auf Grund der Vegetationskartierung der Kantone Zürich und Thurgau. Zürich, Beratungsgemeinschaft für Umweltfragen.

Cancino J, Gadow K V. 2002. Stem number guide curves for uneven-aged forests, development and limitation. In: Gadow K V, Nagel J, Saborowski J. (Eds.), *Continuous Cover Forestry*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers: 163-174

Commarmot B, Streit K. 2007. SP-Inventur in NWR, inklusive Aufnahme von Habitatstrukturen. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 20 S.

DeLiocourt F. 1898. De l'aménagement des Sapiniers. *Bulletin de la Société Forestière de Franche-Comté et Belfort*: 396-406

Flury P. 1907. Ertragstabellen für die Fichte und Buche der Schweiz. Schweiz. Centralanst. für das forstl. Versuchswes., Mitt., Bd. IX: 3-290.

Frehner M, Wasser B, Schwitter R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, 564 S.

Hough A.F. 1932. Some diameter distributions in forest stands of northwestern Pennsylvania. *Journal of Forestry* 30: 933-943

Kaufmann E. 2000. Tarife für Schaftholz in Rinde und Rundholzsortimente. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 53 S.

Keller M. (Red.) 2005. Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004-2007. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. 393 S.

5.2 AUFGENOMMENE STICHPROBEN

| Josewald | | Seeliwald | |
|----------|-----|-----------|-----|
| E03 | L06 | C07 | G08 |
| E10 | L07 | D07 | G09 |
| F03 | L08 | D08 | G10 |
| F10 | M04 | D09 | H07 |
| G03 | M05 | D10 | H08 |
| G10 | M06 | E07 | H09 |
| H10 | M07 | E08 | H10 |
| I08 | M08 | E09 | I07 |
| I10 | N04 | E10 | I08 |
| J07 | N05 | E11 | I09 |
| J08 | N07 | F07 | I10 |
| J10 | O04 | F08 | J07 |
| K08 | O05 | F09 | J08 |
| K09 | P04 | F10 | J09 |
| K10 | Q05 | G07 | J10 |

5.3 DATENABLAGE

Die Daten der Auswertung der Testaufnahmen sind abgespeichert unter:

- «N:\WALDYN\MFW\Proj NWR\Reservate\SG Josewald\Auswertungen Testaufnahmen»
- «N:\WALDYN\MFW\Proj NWR\Reservate\OW Seeliwald\Auswertungen Testaufnahmen».

Die Feldformulare mit den Rohdaten befinden sich in zwei Ordnern mit der Aufschrift «Josewald Aufnahmedata» und «Seeliwald Aufnahmedata».