

# ARBEITSBERICHT

**Institut für Waldökologie und Waldinventuren**

**Erfassung der Totholzmasse – Zusammenstellung von Verfahrensansätzen  
und Bewertung ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen**

**von**

**Katja Oehmichen**



**Bundesforschungsanstalt  
für Forst- und Holzwirtschaft**



Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg  
Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde

Tel: 03334 / 65 300  
Fax: 03334 / 65 354  
E-Mail: [koehmichen@bfh-inst7.fh-eberswalde.de](mailto:koehmichen@bfh-inst7.fh-eberswalde.de)  
Internet: <http://www.bfafh.de>

**Institut für Waldökologie und Waldinventuren**

**Erfassung der Totholzmasse – Zusammenstellung von Verfahrensansätzen  
und Bewertung ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen**

**von**

**Katja Oehmichen**

Arbeitsbericht des Instituts für Waldökologie und Waldinventuren 2007 / 1

Eberswalde, Juni 2007



# **Erfassung der Totholzmasse - Zusammenstellung von Verfahrensansätzen und Bewertung ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen**

**Dr. Katja Oehmichen**



**Fachhochschule Eberswalde  
Fachgebiet Waldinventur und Planung  
Projektleitung: Prof. Dr. B. Wolff  
Im Auftrag der BFH, Institut für Waldökologie und Waldinventuren**



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Methoden der Totholzerfassung .....	2
2.1	Definitionen .....	2
2.2	Aufnahmeparameter .....	2
2.3	Aufnahmeverfahren .....	6
2.3.1	Terrestrische Stichprobenverfahren .....	6
2.3.2	Fernerkundungsbasierte Verfahren .....	9
2.4	Volumenberechnung .....	10
3	Totholzerfassung im Rahmen von Regional- und Großrauminventuren .....	12
3.1	Totholzerfassung im Rahmen der Bundeswaldinventur <sup>2</sup> .....	12
3.1.1	Methodik .....	13
3.1.2	Volumenschätzung .....	14
3.1.3	Ergebnisse und Bewertung .....	14
3.2	Totholzerfassung im Rahmen einer erweiterten Bodenzustandserhebung (Bestockungsinventur) in Baden-Württemberg .....	15
3.2.1	Methodik .....	15
3.2.2	Ergebnisse und Bewertung .....	16
3.3	Totholzerhebung im Rahmen der Österreichischen Waldinventur 2000/2002 .....	17
3.3.1	Methodik .....	17
3.3.2	Bewertung .....	19
3.4	Erfassung von liegendem Totholz im 3. Schweizerischen Landesforstinventar .....	19
3.4.1	Methodik .....	19
3.4.2	Volumenschätzung .....	22
3.4.3	Bewertung .....	22
3.5	Erfassung von liegendem Totholz mit der Methodik der nationalen Waldinventur der USA .....	23
3.5.1	Methodik .....	23
3.6	Totholzerfassung im internationalen ForestBIOTA-Projekt .....	24
3.6.1	Methodik .....	25
3.6.2	Volumenschätzung .....	27
3.6.3	Ergebnisse und Bewertung .....	28
3.7	Totholzerfassung im BIOSOIL-Projekt .....	28
3.7.1	Methodik .....	28
3.7.2	Ergebnisse und Bewertung .....	31
4	Bewertung .....	32
5	Ausblick .....	36
6	Abkürzungsverzeichnis .....	38
7	Abbildungsverzeichnis .....	39
8	Tabellenverzeichnis .....	40
9	Literaturverzeichnis .....	41

# 1 Einleitung

Totholz verschiedener Baumarten, Dimensionen, Zustandstypen und Zersetzungsgrade ist ein natürlicher Bestandteil der Wälder und wird von zahlreichen Arten als Lebensraum und Nahrungsquelle genutzt (Scherzinger, 1996, Siitonen, 2001, Mason, 2003, Stokland et al., 2004). Es erhöht die Strukturvielfalt und ist maßgeblich an ökosystemaren Prozessen im Wald beteiligt (Möller, 1993, Huston et al., 1999, Albrecht, 1991). Seit einigen Jahren wird Totholz zunehmend auch als Indikator für die Bewertung von Naturnähe und Biodiversität verwendet (Larsson et al., 2001, Schuck, 2004). Das Vorkommen von Totholz ist stark von der Art und Intensität der Bewirtschaftung der Wälder abhängig (Guby & Dobbartin, 1996, Green & Peterken, 1997). Deshalb ist der Totholzvorrat in bewirtschafteten Wäldern wesentlich geringer als in Naturwäldern. In bewirtschafteten Wäldern sind nur 2 % bis 30 % des in nichtbewirtschafteten Wäldern vorkommenden Totholzes zu finden (Fridman & Walheim, 2000, Travaglini & Chirici, 2006). Für die Erhaltung der Biodiversität und Artenvielfalt im Wald ist ein angemessener, nachhaltiger Totholzanteil essentiell (Meyer et al., 2003). Die Umsetzung dieser Zielstellung wird mittels unterschiedlicher Programme und Initiativen verfolgt, wie beispielsweise lokalen und regionalen waldbaulichen Maßnahmen, den Altholzinselprogrammen der Naturwaldprojekte sowie nationalen und internationalen Programmen, z. B. der Erhaltung von Alt- und Totholz in Flora-Fauna-Habitat-Gebieten (Rat der Europäischen Gemeinschaften, 1992, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, 2004). Auf europäischer Ebene wird der Indikator 4.5 „Volumen von stehendem und liegendem Totholz in Wäldern und sonstigen bewaldeten Gebieten“ zur Bewertung und zum Monitoring einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung verwendet (MCPFE, 2003).

Das Totholzvorkommen stellt eine wichtige Größe im Kohlenstoffkreislauf dar, aufgrund dessen ein zunehmendes Interesse an der Erfassung und Bewertung der Quantität und Qualität des Totholzes zu beobachten ist (Huston & Marland, 2003). Neben der lebenden ober- und unterirdischen Biomasse, der Humusaufgabe und dem Mineralboden zählt Totholz zu den Kohlenstoff-„Pools“, über deren Veränderung gemäß Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls zu berichten ist. Da sich Deutschland im Dezember 2006 für die Anrechnung von Kohlenstoff-Senken und Quellen durch die forstliche Bewirtschaftung (forest management) nach Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls entschieden hat, sind für das Stichjahr 2008 auch belastbare Angaben zum Totholz gefordert. Deshalb besteht ein dringender Bedarf an Methoden und Verfahren, mit denen flächendeckend Angaben zum Totholzvorrat für Deutschland hergeleitet werden können.

Im Rahmen dieser Literaturstudie wurden daher praktikable Methoden zur Erhebung der Totholzmasse zusammengestellt und hinsichtlich ihrer Eignung für massenstatistische Erhebungen validiert. Dabei ist der Fokus dieser Übersicht insbesondere auf bereits entwickelte und operationale Verfahren gerichtet, die zur Inventur von Totholz in Wäldern der temperierten und borealen Klimazonen zum Einsatz kommen.

## 2 Methoden der Totholzerfassung

### 2.1 Definitionen

Zum Totholz gehören abgestorbene stehende und liegende Bäume, Kern- und Splintholz, Totholzstücke, Äste, Zweige und Rinde sowie Wurzelstöcke, deren Zersetzung bereits begonnen hat. In der Regel erfolgt bei terrestrischen Totholzinventuren keine Erfassung von Totholz an lebenden Bäumen (z. B. abgestorbene Äste). Frisch eingeschlagenes Holz, für den Abtransport bereitgestelltes Holz und bearbeitetes Holz (Bänke, Holzpfähle) (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2001) werden ebenfalls zumeist nicht inventarisiert.

Im Weiteren kann Totholz aufgrund definierter Durchmessergrößen in starkes (= coarse woody debris, CWD) und schwaches Totholz (= fine woody debris, FWD) unterteilt werden. Eine häufig verwendete Größe ist die Derbholzgrenze von 7 cm, so dass schwaches Totholz ab einem Durchmesser am stärkeren Ende von 7 cm bis 20 cm aufgenommen wird. Starkes Totholz ist jenes, mit einem Durchmesser  $\geq 20$  cm am stärkeren Ende. In Abhängigkeit von den Zielstellungen und den daraus resultierenden spezifischen Definitionen der verschiedenen Totholzinventuren variieren die Erfassungsgrenzen für Totholz. So liegt beispielsweise der minimale Brusthöhendurchmesser zur Erfassung von Totholz im ForestBIOTA-Projekt bei  $\geq 5$  cm (ForestBIOTA, 2006). In anderen Untersuchungen ist ein Durchmesser von 7,5 cm (Smith et al., 2004) oder 10 cm der Grenzwert zwischen schwachem und starkem Totholz (Müller-Using & Bartsch, 2003, Ringvall et al., 2001). Totholzobjekte, deren Durchmesser unter der in der entsprechenden Inventur definierten Aufnahmegrenze liegen, werden nicht erhoben. Die Aufnahmen des schwachen Totholzes sind einerseits sehr zeitintensiv und andererseits ist deren Anteil am gesamten Totholzvorrat gering (Müller-Using & Bartsch, 2003). Teilweise werden diese kleinen, liegenden Totholzstücke in anderen Inventurphasen erfasst, wie z. B. bei Streuaufnahmen der Bodenzustanderhebung in Baden-Württemberg (Kändler, 2006).

### 2.2 Aufnahmeparameter

Zur allgemeinen Charakterisierung des Totholzes werden die Kenngrößen Baumart, Totholztyp und Zersetzungsgrad verwendet.

Für die Beschreibung der Totholztypen, die auch als Zustandstypen bezeichnet werden, gibt es verschiedene Definitionen. Eine grobe phänologische Einteilung des Totholzes kann in die Kategorien stehendes und liegendes Totholz sowie Wurzelstöcke bzw. Stubben erfolgen. Die Unterscheidung zwischen stehendem und liegendem Totholz spielt vor allem aus naturschutzfachlicher Sicht eine entscheidende Rolle. So sind insbesondere starke, stehende Bäume und Stammbruchstücke im geschlossenen Bestand, welche sich im Gegensatz zu liegenden Totholzobjekten langsamer zersetzen, sowie trockener und wärmer sind, wichtiger Lebensraum für Vögel, Kleinsäuger und kleine Carnivoren (Ammer, 1991, Suter & Schielly, 1998). Allerdings hat diese Totholzfraction nur einen geringen Anteil an der gesamten Totholzmenge. Wenngleich liegende Totholzstücke meist nicht als Habitate für naturschutzrelevante Arten dienen, werden sie von verschiedenen Lebewesen, wie Käfern, Pilzen und Moosen bewohnt (Stokland et al., 2004).



Detaillierte Zustandstypen zeichnen sich z. B. durch die Angabe von Vitalität (lebende, absterbende und tote Objekte), Position zur Horizontalebene (stehende, hängende und liegende Objekte) und vorhandenen Baumkomponenten (Baum mit Kronenverlust, Stammteil oder Ast, Stubben) aus (Meyer, 1999). Darüber hinaus sind die Aufnahmen von Sonderstrukturen an Totholzstämmen weitere Merkmale, die vor allem in der Naturwaldforschung von Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise aufgesplitterte Bäume, Höhlenbäume und Wurzelteller als Sonderstrukturen bezeichnet (Winter, 2005).

Aus den Angaben zum Zersetzungsgrad lassen sich sowohl Rückschlüsse zur Qualität und zum Zustand des Totholzes als auch zur zeitlichen Dynamik der Mortalität herleiten. Meist erfolgt nur eine grobe Einschätzung des Zersetzungsgrades anhand weniger Parameter. Bezeichnend dafür ist der von Albrecht (1990) an der Baumart Fichte entwickelte Zersetzungsschlüssel, der für alle Baumarten Anwendung findet (siehe Abbildung 1). Albrecht (1990) definierte vier Zersetzungsgrade, die von „1 = frisch tot“ bis „4 = stark zersetzt, vermodert“ reichen. Winter (2005) modifizierte diese Einteilung, womit differenziertere Aussagen zur xylobionten Sukzessionsabfolge ermöglicht werden (Tabelle 1).

Zustandstyp	Zersetzungsgrade (Z°)			
	Z° 1	Z° 2	Z° 3	Z° 4
toter Baum				
Wurzelstöcke				
liegender Baum				
liegendes Stammteil Starkast				
schwaches Totholz (Zweige, Reisig)				
<div> <div></div> Z° 1 = frisch tot </div> <div> <div></div> Z° 2 = beginnende Zersetzung </div>			<div> <div></div> Z° 3 = fortgeschrittene Zersetzung </div> <div> <div></div> Z° 4 = stark zersetzt, vermodert </div>	

1 = frisch tot (1 bis 2 Jahre)  
2 = beginnende Zersetzung: Rinde lose, Holz noch beifest, Kernfäule < 1/3 Durchmesser  
3 = fortgeschrittene Zersetzung: Splint weich, Kern nur noch teilweise beifest, Kernfäule > 1/3 Durchmesser  
4 = stark vermodert: Holz durchgehend weich, Umrisse aufgelöst

Abbildung 1: Gliederung des Totholzes nach Zustandstypen und Zersetzungsgraden (Albrecht, 1990)

Tabelle 1: Klassifikation der Zersetzungsgrade (Winter, 2005)

Klasse	Definition
0	Diesjähriges Totholz (vor allem Stubben und Windwurf), das Holz ist hart, die Rinde ist > 95% vorhanden.
1	Totholz 2 - 3 Jahre alt, auch der äußere Holzbereich ist überwiegend noch hart.
2	Holz ist angerottet. Das äußere Totholz ist bereits weich, das Holzinne ist noch fest (bei Eiche häufig umgekehrt). Die Rinde ist überwiegend lose und stellenweise abfallend.
3	Holz ist stark angerottet und bis auf Teile des Kerns weich, meist feucht und schwammig. Rinde zum überwiegenden Teil fehlend und/oder in Resten nur lose am Holz anhaftend.
4	Umriss des Totholzobjektes löst sich auf, ist aber noch zu erkennen; weiches Holz, ausgedehnte Braun- oder Weißfäule.
5	Totholzobjekt ist im inneren Bereich stark angerottet (Mulmmaterial) oder ausgehöhlt, meist bei alten Bäumen mit Zwieseln, bei Eichen und manchmal bei alten Stubben.
6	Holz ist fast zu Humus geworden, es ist nur noch eine leicht strukturierte Humusanhäufung erkennbar.

Zudem wurden für verschiedene Baumarten spezifische Zersetzungsgradschlüssel entwickelt, wie z. B. von Müller-Using & Bartsch (2003) für die Rotbuche (siehe Abbildung 2). Je weiter die Zersetzung des Totholzobjektes fortgeschritten ist, umso schwieriger ist die Bestimmung der Baumart, die unter Umständen nicht mehr identifiziert werden kann.

Neben diesen Kenngrößen sind die folgenden Variablen entsprechend der Inventurziele erfassungsrelevant:

- Baum-/Totholzstück-Nummer
- Koordinaten (Lage, Anfang/Ende des Totholzstückes)
- Durchmesser (BHD, Mittendurchmesser bzw. Durchmesser am stärkeren und schwächeren Ende)
- Höhe bzw. Länge
- Rinde (bedeckte Fläche des Totholzstückes in Prozent)
- Qualität (Durchfeuchtung, Bodenkontakt, Besiedlungsgrad)
- Lichtverhältnisse.

Auf Basis der genannten Parameter werden die Zielgrößen einer Totholzinventur hergeleitet und berechnet. So geht daraus die Anzahl der Totholzobjekte je ha hervor, aber auch die räumliche Verteilung des Totholzes, Durchmesserverteilungen und Totholzvorräte können ermittelt werden. Aus den Angaben zum Zersetzungsgrad, der Qualität und Quantität des Totholzes als auch den Lichtverhältnissen im Bestand lässt sich das Potential von Totholz als Habitat für xylobionte Lebewesen ableiten. Ebenso ist die Zersetzungsgeschwindigkeit des Totholzes eine Komponente, die bei der Bilanzierung des Kohlenstoffes im Wald zu berücksichtigen ist.

Allerdings erfolgt die Quantifizierung der Holzzersetzung baumartenspezifisch und ist an entsprechende Standorte sowie klimatischen Bedingungen gekoppelt (Müller-Using & Bartsch, 2003). Für die Baumarten Mitteleuropas liegen jedoch kaum wissenschaftliche Untersuchungen zu Totholzzersetzungsgraden vor (Meyer et al., 2003). Da dieser Parameter entscheidenden Einfluss auf die Zersetzungsdynamik und die Kohlenstoffspeicherung von liegendem Totholz hat, ist er Schwerpunkt unterschiedlicher Forschungsprojekte. So werden derzeit am Waldbau-Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg die Zersetzungsgraden von liegendem Totholz in Abhängigkeit von der Baumart (Buche, Fichte, Kiefer), der Dimension und dem Zersetzungsstadium sowie klimatischen Faktoren (Temperatur,

Niederschlag) analysiert (Herrmann, 2007). Die Zersetzungsraten sollen anhand von zwei Ansätzen ermittelt werden: einerseits für die verschiedenen Zersetzungsstufen über die laufenden Atmungsraten in Abhängigkeit von Temperatur und Holzfeuchte und andererseits für den Gesamtzeitraum und die verschiedenen Phasen des Zersetzungsprozesses retrospektiv über den Massenverlust. Die aus dem Projekt resultierenden Zersetzungsmodelle sind eine wesentliche Grundlage für die Erstellung von Kohlenstoffbilanzen für Waldökosysteme. Im Weiteren sollen die Ergebnisse der Untersuchungen die als Basis für ein wissenschaftlich fundiertes, nachhaltiges Totholzmanagement genutzt werden.

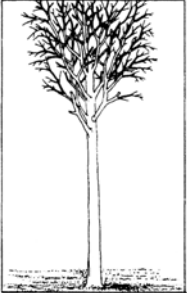
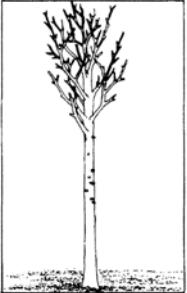

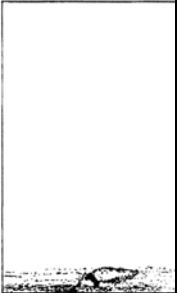
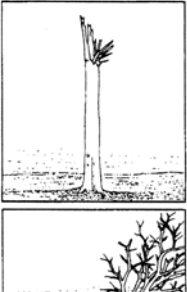
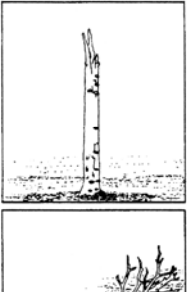
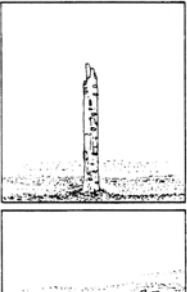


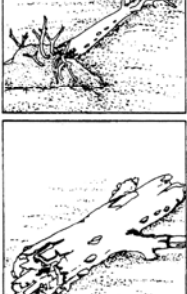
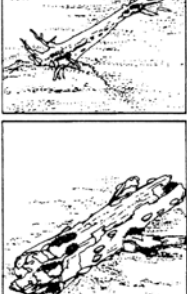

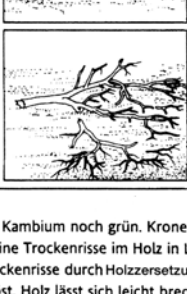


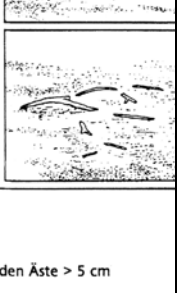




Zersetzungsgrade (Z°)				
Zustandstyp	Z°1	Z°2	Z°3	Z°4
Stehender Baum (mit Krone)				
Baumstumpf (ohne Krone)				
Liegender Baum (mit Krone)				
Liegendes Stammteil (ohne Krone)				
Schwaches Totholz (Zweige, Reisig)				
<p>Z° 1 Frisch abgestorben. Kambium noch grün. Krone vollständig erhalten</p> <p>Z° 2 Rinde lose. Meist feine Trockenrisse im Holz in Längsrichtung. Reisig abfallend</p> <p>Z° 3 Ausweitung der Trockenrisse durch Holzzersetzung. Entstehung von Furchen. Durchmesser der verbleibenden Äste &gt; 5 cm</p> <p>Z° 4 Stammform aufgelöst. Holz lässt sich leicht brechen. Krone vollständig zersetzt</p>				

Abbildung 2: Zersetzungsgradschlüssel für die Rotbuche (Müller-Using & Bartsch, 2003)

## 2.3 Aufnahmeverfahren

### 2.3.1 Terrestrische Stichprobenverfahren

#### 2.3.1.1 Probekreisinventuren

Probekreise werden aufgrund ihrer einfachen Abgrenzung im Gelände als bevorzugte Stichprobenflächen verwendet. Zudem wird aufgrund des günstigen Umfang-Flächen-Verhältnisses die Problematik der Grenzstämmen reduziert. Probekreise kommen beispielsweise bei der Bundeswaldinventur als auch bei regionalen forstlichen Inventuren zum Einsatz. Dabei haben sich Flächengrößen von 0,05 ha bis 0,125 ha bewährt (Meyer et al., 2001). Der Stichprobenumfang richtet sich nach der Streuung der Kenngröße und den Genauigkeitsanforderungen. Die Effizienz der Stichprobe kann durch eine Stratifizierung der Stichprobeneinheiten gesteigert werden (Cochran, 1977, Zöhrer, 1980, Riedel, 2007), z. B. nach Standortstypen, natürlichen Entwicklungsphasen oder auch Durchmesserklassen. Damit können zwei Optimierungsziele verfolgt werden: einerseits die Steigerung der Genauigkeit bei Beibehaltung des Stichprobennetzes oder andererseits die Senkung der Kosten bei gleich bleibender Genauigkeit. In Abhängigkeit von der Zielstellung der Optimierung wird das entsprechende Stratifizierungsverfahren gewählt.

Kreisförmige Stichprobeneinheiten werden i. d. R. für Mehrzweckinventuren angewandt, die nicht speziell für die Totholzerfassung entwickelt wurden. In Abhängigkeit vom Inventurziel und Untersuchungsobjekt erfolgen die Totholzaufnahmen auf einem oder mehreren, meist konzentrisch angeordneten Probekreisen mit festgelegten Radien, die von der Dimension und der Häufigkeit des Vorkommens der Totholzobjekte abhängig sind. Das Verfahren ist einfach anzuwenden und die Erfassung von stehendem und liegendem Totholz, Baumstümpfen und Wurzelstöcken erfolgt auf derselben Fläche. Bei der Aufnahme von Totholz werden nur die Objekte erfasst, die innerhalb des Probekreises liegen. Wird der Probeflächenrand von liegendem Totholz geschnitten, wird nur das Totholzstück innerhalb des Kreises aufgenommen. Eine Ausnahme bilden die Aufnahmen der BWI<sup>2</sup>, bei denen das gesamte Totholzstück auch über die Grenzen des Probekreises hinaus aufgenommen wird, insofern das dicke (wurzelseitige) Ende innerhalb des Kreises liegt. Die Größe der Probefläche kann an den entsprechenden Bestand angepasst werden. Permanente Probeflächen können zur Inventur der Gesamtbiomasse verwendet werden und bieten sich bei entsprechender Größe für ein Langzeitmonitoring an (Woldendorp et al., 2002).

Im Gegensatz zur Linienstichprobe sind die Totholzaufnahmen auf Probekreisen kostenintensiver und zeitaufwändiger. Der Umfang der Messungen je Totholzstück ist höher als beim Linienstichprobenverfahren. Die Größe der Probefläche ist entscheidend für präzise Schätzungen des Totholzvolumens. Liegendes Totholz ist in sehr dichten Beständen schwierig zu messen (Tabelle 2).

#### 2.3.1.2 Linienstichproben

Linienstichprobenverfahren bieten sich für die Inventur von liegendem Totholz an, da sie zur Aufnahme von liegenden, linienförmigen Objekten besser geeignet sind als flächige Inventurverfahren. Häufig wird die Linien-Intersekt-Stichprobe (LIS) (= line intersect sampling) eingesetzt, ein in der Forstwirtschaft etabliertes Verfahren (Warren & Olsen, 1964, Marshall et al., 2000, Wadell, 2002), mit dem das flächenbezogene Volumen von Totholz mit guter Präzision und geringen Kosten erfasst werden kann (Van Wagner, 1968, Stahl et al., 2001, Roth et al., 2003). Die Linienstichprobe kommt u. a. zur Erhebung von liegendem Totholz beim Schweizerischen Landesforstinventar (Keller (Red.), 2005), der

Bestockungsinventur in Baden-Württemberg (Kändler, 2006), in verschiedenen Regionen Australiens (Woldendorp et al., 2002) und bei der nationalen Waldinventur der USA, der FIA (Forest Inventory and Analysis) (USDA Forest Service (2005), zum Einsatz. Die LIS kann mit streifenweisen Aufnahmen des stehenden Totholzes kombiniert werden, woraus eine effektive Inventarisierung des gesamten Totholzes einer Untersuchungsfläche resultiert (Lämas & Fries, 1995, Vacik et al., 2000). Beim line intersect sampling werden systematisch oder zufällig angeordnete Stichprobenlinien ausgelegt. Die Totholzstücke, die die Linie schneiden, werden als Stichprobenelemente gewertet.

Obwohl das LIS ein weit verbreitetes Inventurverfahren ist, bleibt die Frage nach dem optimalen Inventurdesign bestehen (O’Hehir & Leech, 1997). In zahlreiche Untersuchungen wurden die Parameter des line intersect sampling getestet und analysiert, wie die Bestimmung der Durchmesser, die Festlegung der Anzahl und der Länge der Transekte, die Anordnung der Linien sowie verschiedene Volumenberechnungsformeln (Pickford & Hazard, 1978, Delisle et al., 1988; Bell et al., 1996, O’Hehir and Leech, 1997).

Aus diesem Grund wird die Linien-Intersekt-Methode in der Praxis mit verschiedenen Modifizierungen durchgeführt, die beispielsweise bei der Ermittlung der Durchmesser der Totholzobjekte zu finden sind. Hildebrandt (1975) schlägt die Berechnung der Gesamtlänge aller Linienelemente des Untersuchungsgebietes und des mittleren Durchmessers, der aus den Durchmessern der Totholzstücke an den Schnittpunkten mit der Intersektlinie hergeleitet wird, vor. Damit soll ein für die gesamte Untersuchungsfläche repräsentativer mittlerer Durchmesser für das vorhandene Totholz geschätzt werden. Van Wagner und Wilson (1976) verwenden zur Voluminierung des Totholzes beide Enddurchmesser. Eine weitere Möglichkeit stellt das Kluppen der Totholzstücke an den Kreuzungspunkten mit den Stichprobenlinien quer zur Mittelachse dar. Die Berechnung des Totholzvolumens erfolgt dann nach der Gleichung (Vacik et al., 2000):

$$V_{IT} = \frac{\pi^2 \sum_{i=1}^n d_i^2}{8L}$$

mit

$V_{IT}$  = Volumen liegendes Totholz (m<sup>3</sup>/ha)

$d_i$  = Durchmesser des i-ten Totholzstückes an seinem Kreuzungspunkt mit der Stichprobenlinie (cm)

$L$  = Gesamtlänge der Stichprobenlinie (m)

Eine entscheidende Variable ist die Gesamtlänge des Transekts (Van Wagner, 1968). Die erforderliche Transektlänge ist bei schwachen Totholzstücken kürzer als bei starken Totholzstücken, da diese häufiger vorkommen (Harmon & Sexton, 1996). Die erforderliche Länge des Transekts ist umgekehrt proportional zur Dichte der Totholzstücke pro Fläche (Pickford & Hazard, 1978). Harmon & Sexton (1996) erachten die in Studien verschiedener Waldökosysteme angewendeten Transektlängen als zu kurz (< 100 m), insbesondere für große, liegende Starkholzstücke.

Als alternatives Verfahren entwickelte Stahl (1998) die Transekt-Relaskop-Stichprobe (TRS) (= transect relascope sampling). Bei diesem kombinierten Verfahren aus Linien- und Relaskop-Stichprobe werden auf einer Linie alle Holzstücke, die breiter als ein festgelegter Zählfaktor im Spiegelrelaskop sind, aufgenommen. Auf einem ähnlichen Ansatz basiert das Punkt-Relaskop-Stichprobenverfahren (PRS) (= point relascope sampling) (Gove et al., 1999), bei dem die Holzstücke anstatt auf einer Linie von einem Punkt aus erfasst werden.

Eine effizientere Methode stellen Ringvall et al. (2001) mit einem zweiphasigen Verfahren der TRS und PRS vor. Damit kann in Abhängigkeit vom gewählten Verfahren und dem Regressionsschätzer eine Reduzierung des Standardfehlers zwischen 10 % und 23 % erreicht werden. Nemec & Davis (2002) schätzten das Volumen und die Anzahl von starkem Totholz mit einer Sechs-Linien-Intersekt-Stichprobe (six line intersect sampling). Aus der Studie gehen die Transekte mit einer Länge von 25 m bei einer geforderten Genauigkeit von 25 % - 35 % als die effizientesten hervor. Bei höheren Genauigkeitsanforderungen sind Transektlängen von 50 m oder 90 m Länge zu wählen. Roth et al. (2003) schlagen die Linien-Intersekt-Stichprobe mit Winkelkorrektur vor. Bei diesem Verfahren wird der Winkel zwischen der Stichprobenlinie und dem Aufnahmeobjekt berücksichtigt, so dass durch die Ausrichtung der Linien und des Totholzvorkommens keine Verzerrungen der Ergebnisse bei der Totholzinventur entstehen.

Die Erfassung von Totholz mit dem Linienstichprobenverfahren ist eine kostengünstige Methode, deren Vorteile der geringe Zeitbedarf der Totholzaufnahmen, die einfache Anwendung und die sehr guten Genauigkeiten sind (Tabelle 2). Sie kommt vor allem bei weiträumigen Untersuchungsgebieten zum Tragen, was durch den großen Stichprobenumfang begründet ist (Roth et al., 2003). Ebenso wird die Linienstichprobe bei sehr dichten Bestockungsverhältnissen gegenüber der Probeflächenaufnahme bevorzugt, da die Erhebung und Durchmesserbestimmung von Totholzstücken, die die Linie schneiden, wesentlich überschaubarer, einfacher und schneller durchzuführen ist (Woldendorp et al., 2002). Die Anordnung der Transekte kann je nach Ausrichtung der Totholzobjekte flexibel vorgenommen werden.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der festen Probefläche und der Linienstichprobe

<b>Feste Probefläche</b>		<b>Linienstichprobe</b>	
<i>Vorteile</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfache Anwendung</li> <li>- Erfassung der Gesamtbiomasse</li> <li>- für Langzeitmonitoring geeignet</li> <li>- Flächengröße kann an jeweiligen Bestand angepasst werden</li> <li>- Erfassung von stehendem und liegendem Totholz, Baumstümpfen und Wurzelstöcken auf derselben Fläche</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- einfache Anwendung, kosteneffizient, schnell</li> <li>- sehr hohe Genauigkeiten</li> <li>- flexible räumliche Ausrichtung/Anpassung</li> <li>- günstig in dichten Beständen bzw. bei dichter Vegetation</li> <li>- weniger Messungen pro Baum</li> </ul>	
<i>Nachteile</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- kosten- und zeitintensiver</li> <li>- mehr Messungen pro Totholzobjekt</li> <li>- Größe der Probefläche beeinflusst Genauigkeit</li> <li>- schwierige Messung von liegendem Totholz bei dichter Vegetation/Bestand</li> <li>- für Langzeitmonitoring große Flächen erforderlich</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Totholzobjekte müssen zufällig verteilt sein</li> <li>- Totholzobjekte müssen horizontal liegen</li> <li>- Totholzstücke müssen zylindrisch sein</li> <li>- Transektlänge ist entscheidend für erwartete Genauigkeiten</li> <li>- Baumstümpfe und Wurzelstöcke können nicht erfasst werden</li> <li>- für Langzeitmonitoring nicht geeignet</li> </ul>	

Eine Schwäche der Linienstichprobe ist der Bias, der durch die Ausrichtung der Linien und der Totholzobjekte entstehen kann, wie z. B. bei Windwürfen. Insofern keine zufällige Totholzorientierung vorliegt, kommt es zu verzerrten Stichprobenergebnissen, die nur schwer korrigiert werden können. Die Totholzstücke müssen horizontal liegen und sollten eine zylindrische Form haben, da zur Bestimmung des Volumens meist nur eine Durchmesserbestimmung am Schnittpunkt des Transekts vorgenommen wird. Die Länge des Transekts ist ausschlaggebend für die erwartete Genauigkeit (Tabelle 2). Baumstümpfe und

Wurzelstöcke können mit der Linienstichprobe nicht erhoben werden. Für ein Langzeitmonitoring ist das LIS nicht zu empfehlen (Woldendorp et al., 2002).

### *2.3.1.3 Vollaufnahmen*

Für waldbauliche und waldwachstumskundliche Untersuchungen werden häufig Vollaufnahmen durchgeführt. Diese Fallstudien sind Erhebungen auf quadratischen oder rechteckigen Flächen, deren Lage und Größe sich an der maximalen Repräsentativität der definierten Grundgesamtheit orientiert (Meyer et al., 2003). Die Größe dieser Kern- oder Repräsentationsflächen beträgt in der Naturwaldforschung meist 1 ha (Meyer et al., 2001). Damit kann ein kleiner Ausschnitt eines Ökosystems zusammenhängend und intensiv erforscht werden, wodurch eine Analyse von Strukturzusammenhängen möglich ist (Winter, 2005). Durch die Flächengröße kann der Einfluss von Randeffekten und daraus resultierende Verzerrungen gering gehalten werden. Fraglich ist, ob diese Kernflächen aussagekräftig für die Gesamtfläche sind. Von einer Verallgemeinerung solcherart ermittelter Ergebnisse sollte abgesehen werden. Deshalb ist die Kombination mit systematischen Stichproben empfehlenswert, um Gradienten oder strukturelle Unterschiede der Gesamtfläche zu erfassen (Thomas et al., 1995).

### **2.3.2 Fernerkundungsbasierte Verfahren**

Durch die fortschreitende Entwicklung auf dem Sektor der Fernerkundungssensoren sind sowohl die Einsatzmöglichkeiten als auch die Nachfrage nach Fernerkundungsdaten für forstliche Zwecke gestiegen. Orthofotos und Satellitenbilder sind eine Datenquelle, die einen hohen Aktualitätsgrad aufweisen und kurzfristig für große Waldflächen erhoben werden können. Durch diese sehr hoch aufgelösten Daten (z.B. bei CIR-Luftbilder 0,2 m) sind detaillierte Informationen hinsichtlich verschiedener Inventurmerkmale verfügbar. Allerdings sind bei der Verwendung von Fernerkundungsverfahren die teilweise nicht zeitnahe Aufnahme bzw. Bereitstellung der Daten und deren Kosten zu berücksichtigen (Iost et al., 2006, Oehmichen, 2007).

Die Kartierung von Totholz mit Color-Infrarot-Luftbildern wurde u. a. von Hoffmann (2001), Frei et al. (2003), Fuchs (2003) und Bütler & Schlaepfer (2004) untersucht. Frei et al. (2003) stellten fest, dass liegendes Totholz bei einer Auflösung der Luftbilder von 1 m nicht klassifiziert werden kann. Für diese Zielstellung sind Luftbilder mit einer Auflösung von 20 cm erforderlich. Stümer & Köhl (2005) nutzten das „k-Nächste-Nachbarn-Verfahren“ zur Klassifizierung von stehendem Totholz aus Landsat-Satellitendaten.

Für die Ermittlung des Totholzanteiles mittels Color-Infrarot-Luftbildern wurde von der Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretieren (AFL) ein Bestimmungsschlüssel ausgearbeitet (AFL, 2003). Dabei werden die Parameter Totholzart, Verteilung und Menge des Totholzes erfasst. Die Erkennung von stehendem Totholz in der Bestandesoberschicht ist im CIR-Luftbild gut möglich (Tabelle 3). Die Interpretation von liegendem und unterständigem Totholz ist jedoch stark vom Bestockungsgrad, Relief sowie der Totholzart abhängig und wird vor allem durch Faktoren wie Überschirmung, Beschattung, Überdeckung mit Laub und Moos als auch ähnlichen Reflexionscharakteristika von Laubstreu und Totholz beeinträchtigt (Hoffmann, 2001). Auf flächigen Wüfen hingegen ist das liegende Totholz in den ersten Jahren nach dem Ereignis gut sichtbar (AFL, 2003). Die Beschreibung der räumlichen Verteilung des Totholzes anhand von Luftbildern orientiert sich an den Definitionen der Forsteinrichtung und erfolgt analog zu denen der Mischungsformen, welche von der baumweisen bis zur flächigen Mischung bzw. Verteilung reichen. Die Totholzmenge kann

durch Zählen der Stammzahl, Einteilung nach Stammzahlklassen oder Schätzung des Flächenprozentes bestimmt werden. Ausschlaggebend für die Wahl des Verfahrens ist das jeweilige Inventurziel, wobei bis auf Ausnahme von flächigen Würfeln von einer direkten Schätzung des Totholzvolumens aufgrund der Verdeckung, Überschirmung oder Beschattung abgeraten wird.

Tabelle 3: Totholzarten und ihre Luftbildsichtbarkeit aus CIR-Luftbildern im belaubten Zustand (AFL, 2003)

Totholzart			Zersetzungsgrad	Anmerkung
Totholz stehend	stehender ganzer Baum oder Kronenteile		frisch abgestorben (Nadel-/Blattreste)	nur in der Oberschicht sichtbar
			beginnende Zersetzung (Feinreisig)	
			fortgeschrittene Zersetzung (Grobreisig)	
	Restbaum durch Schaftbruch (> 1,3 m)		nicht interpretierbar	häufig durch Überschirmung oder Beschattung nicht sichtbar
	Baumstumpf bis 1,3 m			
Totholz liegend	liegender Baum	mit Wurzel-teller	frisch abgestorben	Zersetzung oder fortgeschrittene Zersetzung durch Überschirmung, Beschattung oder Laubstreu nicht sichtbar
			beginnende Zersetzung	
			fortgeschrittene Zersetzung	
		ohne Wurzel-teller	frisch abgestorben	
			beginnende Zersetzung	
			fortgeschrittene Zersetzung	
	Stammteile, Äste, Schlagabraum			
	Wurzel-teller			

## 2.4 Volumenberechnung

Für die Berechnung des Totholzvolumens können verschiedene holzmesskundliche Verfahren angewandt werden (Kramer & Akca, 1995, Wolff et al., 1997). Meyer (1999) schlägt die in Tabelle 4 dargestellten Verfahren zur Kubierung von Totholzobjekten in nordwestdeutschen Naturwäldern vor. Ebenso können Schaftformfunktionen und Höhenkurven verwendet werden (Nagel, 1999, Stahl et al., 2001). Bei gebrochenen stehenden Totholzstämmen (Stümpfen) kann das Volumen mit einer Schaftformfunktion geschätzt werden, indem die ehemalige Baumhöhe des Stumpfes am Restbestand geschätzt und die obere Kante des Stumpfes gemessen wird (Nagel, 1999). Das Volumen liegender Totholzstücke wird mit den Formeln von Huber und Smalian (siehe Abbildung 3) berechnet.

Als schwierig hat sich die Berücksichtigung des Zersetzungsgrades des Totholzes bei der Ermittlung des Volumens erwiesen. Die Berechnung des Volumens basiert auf wenigen Messpunkten äußerer Dimensionen des Totholzobjektes, so dass unterschiedlich stark zersetzte Holzstücke nur unzureichend erfasst werden. Dies führt mit fortschreitendem Zersetzungsgrad zu einer steigenden Überschätzung der Totholzmasse und zu einer Unterschätzung der Zersetzungsraten (Meyer et al., 2003). Für Regressionsmodelle zur Quantifizierung der Holzzersetzung für die Baumarten Mitteleuropas liegen kaum empirische Untersuchungen vor.



Tabelle 4: Verfahren zur Kubierung einzelner Totholzobjekte (Meyer, 1999)

Objekt	Kubierungsansatz	Annahmen
Stehender oder hängender ganzer Baum	Formzahlfunktionen BERGEL (1973, 1974, 1987). Bei hängenden Bäumen wird statt der Höhe die Länge verwendet.	–
Baumstumpf	1. Stück von 0,5 m bis Endhöhe wird nach der Kegelstumpfformel (s. KRAMER u. AKÇA 1987) kubiert, wobei die Anfangs- und Enddurchmesser aufgrund des BHD aus den Ausbauchungsreihen (SCHÖBER 1952) hergeleitet werden.  2. Erdstammstück wird nach der Formel für den Neiloidstumpf kubiert.	zu 2.:  Zur Herleitung des mittleren Durchmessers des Neiloidstumpfes wird eine Durchmesserzunahme von 12 % je lfd. m angenommen.  Zur Herleitung des unteren Durchmessers des Neiloidstumpfes wird eine Durchmesserzunahme von 24 % je lfd. m angenommen.
Stubben	Kubierung wie das Erdstammstück des Baumstumpfes.	Wie das Erdstammstück des Baumstumpfes.
Liegender ganzer Baum > 20 cm BHD	Formzahlfunktionen BERGEL (1973, 1974, 1987). Die Länge wird aus der Höhenkurve hergeleitet.	–
Linienobjekte > 20 cm Durchmesser außer Ganzbäumen einschl. Stammstücken mit Krone	Kubierung nach der Kegelstumpfformel (s. KRAMER u. AKÇA 1987). Rechnerische Ermittlung des Enddurchmessers und der Derbholzlänge aufgrund der sich aus der Differenz von D1 und D2 ergebenden Abholzigkeit.	Bei Verzweiselungen wird angenommen, daß die Masse der einzelnen Zwiesel der Masse einer gedachten durchgehenden Stammachse mit der abgeleiteten Abholzigkeit entspricht.
Linienobjekte (≥ 7 cm und ≤ 20 cm Durchmesser am stärksten Ende	Kubierung nach der Huberschen Formel (s. KRAMER u. AKÇA 1987). Korrektur des Mittendurchmessers und der Derbholzlänge, falls der aufgrund der angenommenen Abholzigkeit errechnete Enddurchmesser < 7 cm ist.	Abholzigkeit von 1 cm je lfd. Meter.




HUBERSche Formel : $v = g_m \cdot l$	
SMALIANsche Formel: $v = \frac{g_o + g_u}{2} \cdot l$	
NEWTONsche Formel: $v = \frac{g_o + 4 \cdot g_m + g_u}{6} \cdot l$	
g = Grundfläche m=Mitte, o= oben u= unten, l= Länge	

Abbildung 3: Formeln zur Voluminierung einzelner Stammstücke (Nagel, 2001)

### **3 Totholzerfassung im Rahmen von Regional- und Großrauminventuren**

Aus der Vielzahl der unterschiedlichen Verfahren zur Erfassung von Totholz wurden die nachfolgend aufgeführten einer näheren Betrachtung unterzogen. Die Auswahl der Totholzerhebungsmethoden ist einerseits darauf zurückzuführen, dass sich diese bereits im operationalen Einsatz bewährt haben. Andererseits soll deren Relevanz zur Adaption und Integration in ein deutschlandweites Totholzinventurverfahren validiert werden. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen dabei das Inventurdesign, die Aufnahmeanleitung, der Erhebungskontext, die erhobenen Totholzparameter und die Ermittlung des Totholzvorrates mit den einzelnen Methoden.

Eines der ausgewählten Totholzerfassungsverfahren ist in der Bundeswaldinventur<sup>2</sup> (BWI<sup>2</sup>) verankert. Mit den in der BWI<sup>2</sup> erhobenen Informationen wurden die bislang ersten und einzigen flächenrepräsentativen Angaben über Totholzvorräte in deutschen Waldökosystemen ermittelt. Diese Daten können als wesentliche Grundlage zur Modellierung eines deutschlandweiten Totholz-Pools genutzt werden, so dass eine Verknüpfung mit dem BWI-Totholzinventurverfahren in Erachtung gezogen werden sollte. Dem BWI<sup>2</sup>-Verfahren ähnlich sind die Totholzaufnahmen der Österreichischen Waldinventur (ÖWI), die ebenfalls auf Probekreisen stattfinden. Bei der ÖWI findet zudem eine Erhebung von schwachem Totholz statt. Ein anderes Inventurdesign liegt der Bestockungsinventur in Baden-Württemberg zu Grunde, bei der Totholz auf den Stichproben der Bodenzustandserhebung aufgenommen wurde. Liegendes Totholz wurde mit einer Linienstichprobe erfasst. Die Übertragung dieser regionalen Lösung auf die Bundesebene ist ein möglicher Ansatz zur Erstellung eines Kohlenstoffinventars. Im Weiteren hat sich die Anwendung von Linienstichprobenverfahren zur Erfassung von liegendem Totholz etabliert, wie das Schweizerische Landesforstinventar und die nationale Waldinventur der USA zeigen. Der Einsatz des line intersect sampling zur Totholzerfassung ist insbesondere in Hinblick auf dessen effizientes Kosten-Nutzen-Verhältnis zu berücksichtigen. Ebenso wurden für europaweite Untersuchungen von Totholz Inventurmethoden entwickelt, beispielsweise in den Projekten ForestBIOTA und BIOSOIL, die als Anknüpfungspunkt für nationale Auswertungen evaluiert werden können.

#### **3.1 Totholzerfassung im Rahmen der Bundeswaldinventur<sup>2</sup>**

Im Zeitraum von 2000 bis 2002 wurden die Daten der zweiten Bundeswaldinventur in Deutschland erhoben. Die Prüfung und Auswertung der Daten wurde 2004 abgeschlossen und im Jahr 2005 erschien der Inventurbericht zur BWI<sup>2</sup>. Neben der Erhebung klassischer Inventurparameter, wie Waldfläche, Vorkommen der Baumarten, Zuwachs und Holznutzung wurden während der zweiten Bundeswaldinventur erstmalig zahlreiche ökologische Informationen erhoben. Zu diesen neuen Inventuraspekten zählen unter anderem die Erfassung und Beschreibung von Waldrändern, die Einschätzung der Naturnähe der Baumarten-Zusammensetzung sowie die Ermittlung der Totholzmenge. Das Verfahren zur Totholzerfassung ist in der „Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II“ (BMVEL, Hrsg., 2001) beschrieben.

### 3.1.1 Methodik

Im Rahmen der Datenerhebungen der Bundeswaldinventur<sup>2</sup> wurden Totholzvorkommen an den Traktecken des BWI-Inventurtraktes durch Probekreise mit einem Radius von 5 m aufgenommen (siehe Abbildung 4). Liegende Totholzstücke wurden der Stichprobe vollständig zugeordnet, wenn das dicke (wurzelseitige) Ende innerhalb des Probekreises lag. In diesem Fall wurde das gesamte Totholzstück eingemessen, nicht nur der im 5 m-Kreis befindliche Anteil. Die Erfassung liegender Totholzobjekte war im Weiteren an eine Mindestlänge von 10 cm gekoppelt. Wurden Probekreise von Bestandesrändern geschnitten, wurde das Totholz nur auf dem Teilkreis, in dem auch die Traktecke lag, aufgenommen. Zudem erfolgte die Einmessung des Verlaufes der Bestandesgrenze. Holz, das voraussichtlich nicht bis zur vollständigen Zersetzung im Bestand verbleibt, darf nicht als Totholz inventarisiert werden. Die Aufnahme beschränkte sich auf Totholz mit einem Durchmesser ab 20 cm am dickeren Ende (bei stehendem Totholz BHD) sowie Stöcke ab 50 cm Höhe oder 60 cm Schnittflächendurchmesser. Wurzelstöcke ab einer Höhe von 50 cm wurden nur erfasst, wenn der Schnittflächendurchmesser mindestens 20 cm betrug.

Totholz wurde in die Baumartengruppen Nadelbäume, Laubbäume (außer Eiche) und Eiche eingeteilt. Diese Einteilung wurde aus aufnahmetechnischer Sicht vorgenommen, da die Baumart Eiche bei der Datenerhebung im Gelände auch bei fortgeschrittener Zersetzung von anderen Laubbaumarten unterschieden werden kann. Aufgrund des hohen Gerbstoffanteiles in Eichen beträgt deren Zersetzungsdauer im Wald circa 50 Jahre, während Buchen und Weichlaubhölzer schon nach ungefähr 30 Jahren zersetzt sind (BMELV, 2004). Im Weiteren erfolgte eine Typisierung in fünf Gruppen: 1 - liegend, 2 - stehend, ganzer Baum, 3 - stehend, Bruchstück (Höhe  $\geq 1,3$  m), 4 - Wurzelstock (Höhe  $< 1,3$  m) und 5 - Abfuhrrest (aufgeschichtet). Totholz wurde auch dann aufgenommen, wenn es unter Moos verborgen war.

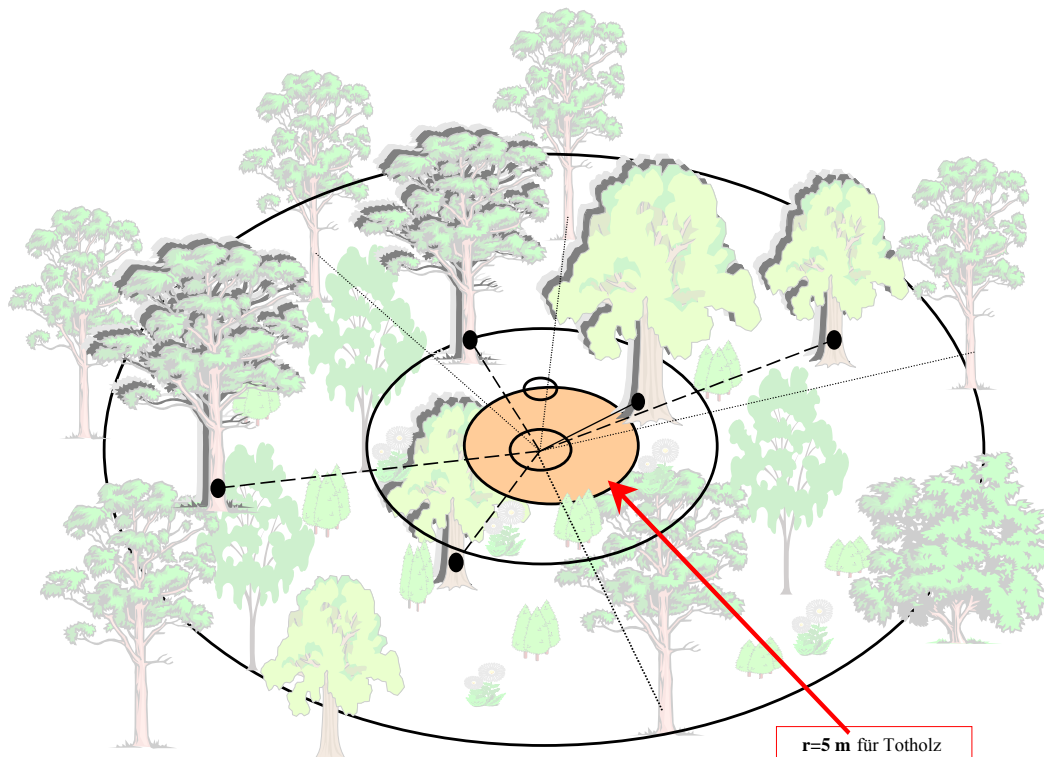


Abbildung 4: Erfassung von Totholz bei der BWI<sup>2</sup> mittels Probekreisinventur (nach BMVEL, 2001)

Die BWI<sup>2</sup>-Aufnahmemerkmale des Totholzes waren Durchmesser, Länge und Zersetzungsgrad. Bei liegendem Totholz wurde der Mittendurchmesser, bei stehendem der Brusthöhendurchmesser und bei Stöcken der Schnittflächendurchmesser in cm gemessen. Die Messung erfolgte wie vorgefunden mit oder ohne Rinde. Bei Stöcken wurde der größte auftretende Schnittflächendurchmesser (einschließlich Wurzelanläufen) ohne Rinde gemessen. Bei liegendem Totholz wurde die Länge und bei stehendem Totholz und Stöcken die Höhe in dm gemessen. Mehrere getrennte Abschnitte eines ursprünglich längeren Totholzstückes konnten wie ein Stück vermessen werden. Totholzstücke, die zwar eindeutig als Abschnitte eines Totholzobjektes zu identifizieren waren, aber außerhalb des Probekreises lagen, wurden nicht inventarisiert. Die Beschreibung der Kategorien des Zersetzungsgrades des Totholzes erfolgte nach Albrecht (1990) in den vier Stufen von „1 = frisch tot“ bis „4 = stark zersetzt, vermodert“ (siehe Kapitel 2.2).

### 3.1.2 Volumenschätzung

Zur Kubierung wurde bei liegendem Totholz neben dem Mittendurchmesser auch die Länge gemessen, so dass das Volumen über den so bestimmten Zylinder geschätzt wurde. Das Volumen von stehendem Totholz wurde über den Brusthöhendurchmesser und die Höhe mit dem BWI-Programm BDAT (Kublin, Scharnagl, 1987) errechnet. Bei Bruchstücken wurde zunächst eine Baumhöhe in Abhängigkeit des BHD modelliert. Anschließend erfolgte die Schätzung des Volumens für die gemessene Länge des Bruchstückes mit dem Programm BDAT. Das Volumen von Wurzelstöcken wurde aus ihrer Höhe und dem Schnittflächendurchmesser nach der Volumenformel für einen Zylinder geschätzt. Dafür wurde der größte auf der Schnittfläche auftretende Durchmesser (einschließlich Wurzelanläufen) gemessen. Mit diesem „Übermaß“ beim Durchmesser soll die Unterschätzung des Volumens infolge der Abweichung von der Form des Zylinders ausgeglichen werden. Unterschiedliche Zersetzungsgrade wurden bei der Voluminierung vernachlässigt bzw. nicht berücksichtigt.

Die Erfassung des Totholzes bei der BWI<sup>2</sup> erfolgte auf Probekreisflächen mit einem Radius von 5 m. Wenn Probekreise von Bestandesrändern geschnitten wurden, dann wurden Totholzstücke nur auf dem Teilkreis inventarisiert, in dem auch die Traktecke lag. Damit wurden die Probekreisflächen am Bestandesrand verringert. Aus diesem Grund mussten für die flächenbezogene Hochrechnung der Totholzmenge individuelle Probekreisgrößen verwendet werden. Wenn der gesamte Totholzvorrat  $x_j$  auf einer Probefläche von der Größe  $F_j$  ermittelt wurde, so schätzt

$$x_j^{ha} = \frac{x_j}{F_j}$$

den Totholzvorrat/ha (Dahm, 2006). Dieser Wert  $x_j^{(ha)}$  wurde als Merkmalswert der Traktecke betrachtet und unter Berücksichtigung der Stichprobendichte analog dem Verfahren der Vorratsberechnung des stehenden Bestandes auf die Gesamtwaldfläche hochgerechnet.

### 3.1.3 Ergebnisse und Bewertung

Aus den Auswertungen der BWI<sup>2</sup> geht eine Totholzmenge von durchschnittlich 11,5 m<sup>3</sup>/ha für den gesamten deutschen Wald hervor (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2005). Ein Fünftel davon ist stehendes Totholz, ein Fünftel entfällt auf Wurzelstöcke und den größten Anteil nimmt das liegende Totholz mit 6,5 m<sup>3</sup>/ha (= 55 % des gesamten Totholzvorrates) ein. Die Ergebnisse bezüglich des Zersetzungsgrades des

Totholzes zeigen, dass sich dieses hauptsächlich in der Phase der beginnenden und fortgeschrittenen Zersetzung ( $4,3 \text{ m}^3/\text{ha}$  und  $3,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) befindet. Diese Daten sind die bislang ersten und einzigen flächenrepräsentativen Angaben über Totholzvorräte in deutschen Waldökosystemen. Sie beziehen sich auf das Stichjahr 2002.

Das Design der Totholzaufnahmen der BWI<sup>2</sup> ist darauf ausgerichtet, Aussagen zur Strukturdiversität, nicht aber zum Kohlenstoffinventar vorzunehmen. Die Erhebungen beschränken sich daher auf Totholz mit einem Mindestdurchmesser von 20 cm am dickeren Ende (bei stehendem Totholz mindestens 20 cm BHD) und einer Mindestlänge von 10 cm, welches im Probekreis liegen muss, sowie Stöcke ab 50 cm Höhe oder 60 cm Schnitflächendurchmesser. Geringere Durchmesser werden nicht erfasst. Insofern sich das dicke (wurzelseitige) Ende von liegendem Totholz innerhalb des Probekreises befindet, wird das Totholzstück in seiner gesamten Länge erhoben, d. h. auch der Totholzanteil außerhalb des 5 m-Kreises wird erfasst. Damit soll ein Ausgleich für das Totholz, dessen dünnes Ende im Probekreis liegt und welches demzufolge nicht inventarisiert wird, geschaffen werden.

Durch das gewählte Verfahren ergeben sich hohe Streuungen für das geschätzte Totholzvolumen, was zum Anstieg des Stichprobenfehlers führt. Das inventarisierte Totholz wurde in die Baumartengruppen Nadelbäume, Laubbäume (außer Eiche) und Eiche eingeteilt; detailliertere Zuweisungen können nicht vorgenommen werden.

### **3.2 Totholzerfassung im Rahmen einer erweiterten Bodenzustandserhebung (Bestockungsinventur) in Baden-Württemberg**

Die mit der Bodenzustandserhebung (BZE) im  $8 \times 8 \text{ km}^2$ -Raster gewonnenen Daten bieten ein hohes Informationspotenzial hinsichtlich der Modellierung von Zusammenhängen zwischen Standort und Waldwachstum in Abhängigkeit von verschiedenen Umwelteinflüssen (Kändler, 2006). Insofern dieser Modellierungsansatz in die Realität umgesetzt werden kann, würden die Ergebnisse der BZE mittels der räumlich differenzierteren Bundeswaldinventurdaten im  $4 \times 4 \text{ km}^2$ -Netz auf kleinere räumliche Bezugsgrößen übertragen werden können. Vor diesem Hintergrund wurde die BZE II gegenüber der Erstinventur um detaillierte Angaben zur Bestockungssituation erweitert (Wellbrock et al., 2006). Hierbei wurden verschiedene Verfahrensalternativen zur Erhebung obligatorischer Merkmale zugelassen. Die Erfassung von Totholz im Rahmen der BZE II ist nicht obligatorisch, wurde aber von einigen Bundesländern praktiziert. Stellvertretend für die verschiedenen Länderverfahren soll das Verfahren der Bestockungsinventur Baden-Württembergs vorgestellt werden, bei der neben den wichtigsten Kenngrößen Baumart und Durchmesser auch Totholzmerkmale aufgenommen wurden.

#### **3.2.1 Methodik**

Die im Rahmen der BZE II in Baden-Württemberg durchgeführte Bestockungsinventur basiert auf einem modifizierten Stichprobendesign der BWI, welches aus einer permanenten Stichprobe im Traktzentrum und drei darum verteilten temporären Aufnahmen besteht (siehe Abbildung 5). Die temporären Stichprobenelemente werden auf einem Kreis um den Mittelpunkt der permanenten Stichprobe mit einem Radius von 50 m angelegt, mit folgenden Azimut-Positionen: 0, 130 und 270 gon. Die Stichprobeneinheit ist ein dreistrahligster Sterntrakt mit einer permanenten Winkelzählprobe (Zählfaktor 4) im Zentrum und drei temporären Winkelzählproben am Ende der Strahlen.

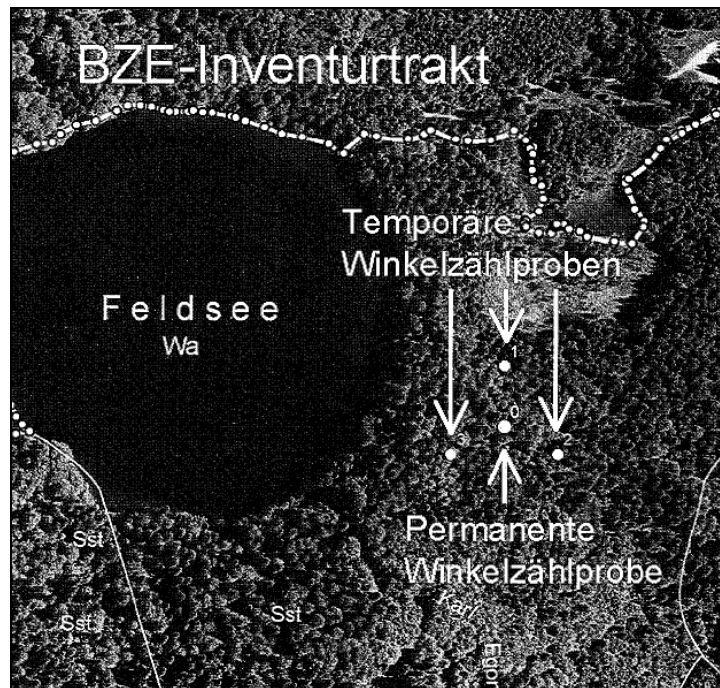


Abbildung 5: Anordnung der Stichproben eines BZE-Inventurtraktes (Kändler, 2006)

Die Totholzaufnahme erfolgt ausschließlich in der permanenten Stichprobe. Die Erhebungsmethode wurde im Gegensatz zur BWI-Totholzerfassung hinsichtlich der Aufnahmeschwelle des Totholzes und der Erhebung liegenden Totholzes verändert. In einem Probekreis mit 5 m Radius werden stehendes Totholz ab einem Mindestdurchmesser von 5 cm und Stöcke ab einem Schnittflächendurchmesser von 20 cm erfasst.

Liegendes Totholz wird nach einer Linien-Intersektions-Methode erhoben, welche auch im schweizerischen Landesforstinventar angewandt wird (Keller (Red.), 2005). Der Mindestdurchmesser liegender Totholzstücke beträgt 5 cm (mit Rinde). Die Festlegung dieser Aufnahmegrenze ist auf die Erfassung kleiner liegender Totholzstücke mittels der Streuaufnahme der BZE zurückzuführen.

### 3.2.2 Ergebnisse und Bewertung

Die Aufnahmen der Bestockungsinventur in Baden-Württemberg wurden von November 2005 bis Mai 2006 durchgeführt. Danach erfolgte die Prüfung und Validierung der Daten sowie eine Anpassung der BWI-Auswertungsprogramme. Als Ergebnis dieser Inventur werden für die BZE-Punkte mit der BWI vergleichbare Kennwerte über die Bestandesverhältnisse vorliegen. Aufgrund der niedrigeren Aufnahmeschwellen werden für die berechneten Totholzvorräte im Vergleich zu denen der Bundeswaldinventur<sup>2</sup> höhere Werte erwartet.

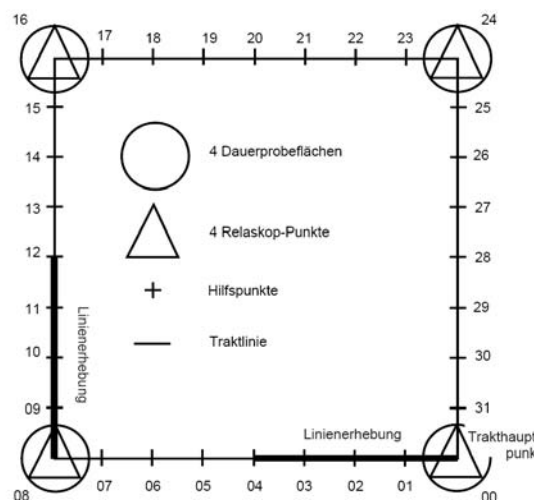
### 3.3 Totholzerhebung im Rahmen der Österreichischen Waldinventur 2000/2002

Die Österreichische Waldinventur (ÖWI) erhebt seit 1961 Daten über den Zustand und die Veränderungen des Ökosystems Wald. Der Einfluss der internationalen Entwicklungen auf nationale Waldinventuren, wie der ÖWI, spiegelt sich durch einen gestiegenen Informationsbedarf wider. Dabei ist das Interesse der Wald- und Umweltpolitik auf Themen wie Biodiversität, Klimawandel und Kohlenstoffsенке gerichtet. Der Wald soll einerseits eine möglichst große Senke für Kohlenstoff bilden, um den Klimawandel zu bremsen und andererseits mit Reichtum an Totholz eine Grundlage hoher Biodiversität bilden (Schadauer, 2004). Die Totholzausstattung der österreichischen Wälder wird mit der ÖWI seit 1992 beobachtet (Mehrani-Mylany & Hauk, 2004). Dabei wird zwischen stehendem Totholz, liegendem Totholz und Wurzelstöcken unterschieden.

#### 3.3.1 Methodik

Die Totholzaufnahme der ÖWI umfasst tote liegende Holzgewächse und deren verholzte Teile, auch Schlagerücklass („Waldabfälle“), oberirdische Teile von Wurzelstöcken, vergessene Holzhaufen oder Bloche, an denen schon Vermoderung festzustellen ist, dürre nicht mehr ausschlagfähige Stöcke des Niederwaldes und Wracks (= Bäume, die wegen ihrer abnormen Wuchsform nicht durch die Winkelzählprobe erfasst werden). Nicht aufgenommen werden bearbeitetes Holz (z. B. Hochstände, Bänke); frisch eingeschlagenes oder offensichtlich für den Abtransport bereitgestelltes Holz und Stöcke im Niederwald. Stehende Dürrlinge (= tote Bäume) werden im Rahmen der Probestammerhebung aufgenommen.

Die Probestflächen der ÖWI umfassen eine Fläche von 300 m<sup>2</sup> ( $r = 9,77$  m). Je Trakt sind vier feste, kreisförmige, permanente Probestflächen eingerichtet (siehe Abbildung 6), die in Teilflächen unterteilt sein können, auf denen alle Flächenmerkmale erhoben werden. Als Waldprobestflächen werden alle Probestflächen bezeichnet, bei denen mindestens ein Zehntelanteil (30 m<sup>2</sup>) der Fläche auf die Kulturgattung Wald fällt. In bestimmten Fällen sind Teilflächen anzulegen, beispielsweise bei Grenzen vom Bundesland bzw. Bezirksforstinspektion oder bei Flächentrennungen aufgrund unterschiedlicher Betriebsarten oder Eigentumsarten.



Die Menge des liegenden Totholzes mit einem Durchmesser < 20 cm, Ästen, Reisig, dünnen Stöcken und stehenden Dürrlingen mit einem BHD < 5 cm wird durch eine quantitative Anschätzung der Bodenbedeckung ermittelt. Fratten und Haufen sind so zu beurteilen, als ob sie auseinandergezogen und über die Probefläche verteilt wären. Die Ansprache der Bodenbedeckung erfolgt in fünf Stufen und reicht von „keine oder nur sehr wenig“ (Boden-Deckungsgrad bis 1 %) bis zu „außerordentlich starkes Vorkommen“ (Boden-Deckungsgrad > 50 %). Im Weiteren wird die Verteilung des liegenden Totholzes < 20 cm erfasst (Tabelle 5).

Tabelle 5: Verteilung des liegenden Totholzes < 20 cm (Schieler & Hauk, 2001)

Code	Beschreibung
1	Keine Haufen oder Fratten, natürlicher Bestandesabfall, kaum Stöcke < 20 cm
2	Keine Fratten oder Haufen, Material aus Pflegeeingriffen, viele Stöcke < 20 cm
3	Keine Haufen oder Fratten, Material aus Endnutzung, einzelne Stöcke
4	Haufen oder Fratten
5	Bestandteile ganzer umgefallener Bäume

Das liegende Totholz ab 20 cm Durchmesser wird stückweise erfasst, einer Durchmesser- und Längenklasse und einem Zersetzungsgrad zugeordnet. Ebenso werden das Vorhandensein von Kadaververjüngungen und der anthropogene Einfluss an Totholzstücken geprüft (siehe Abbildung 7). Liegt ein Stamm nicht vollständig in der Teilfläche, ist nur der Anteil innerhalb der Teilfläche zu berücksichtigen und zu beurteilen.

Durchmesser klasse der Stücke	Kadaver Verjüngg. /DM-Klasse	Längen klasse der Stücke	Anzahl der Stücke / Zersetzungsgrad		
			Hart	Zersetzungs- spuren	vermodert
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 20- 40 cm</li> <li>• 41- 60 cm</li> <li>• 61- 100 cm</li> <li>• 100+</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ja/</li> <li>• Nein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -1m</li> <li>• 1-3 m</li> <li>• 3-5 m</li> <li>• 5-10m</li> <li>• 10-20m</li> </ul>	Anzahl der Totholzstücke je nach Durchmesserklasse, Längenstufe, Zersetzungsgrad		

Abbildung 7: Inventurmerkmale am liegenden Totholz mit einem Durchmesser > 20 cm (Schieler & Hauk, 2001)

Die Erhebung von Stöcken ab einem Durchmesser von 20 cm erfolgt analog zur Erfassung des liegenden Totholzes ab 20 cm. Als Stock wird jedes stehende Totholz, das niedriger als 1,3 m ist bezeichnet.

Als „Wrack“ werden jene stehenden lebenden und toten Bäume bezeichnet, deren Masse wegen ihrer abnormen Wuchsform mit keiner der zur Verfügung stehenden Funktionen errechnet werden kann. Sie werden nicht über die Winkelzählprobe erfasst sondern auf der Probefläche. Die Beschreibung von Wracks erfolgt nur auf Holzbodenflächen und Strauchflächen in den Betriebsarten Wirtschaftswald und Schutzwald im Ertrag. Wegen der abnormen Wuchsform (insbesondere beim Auftreten mehrerer sehr starker Äste) ist es notwendig, das Volumen von Wracks anzuschätzen. Die Angabe erfolgt in ganzen Vorratsfestmetern. Vorräte < 0,5 Vorratsfestmeter sind mit „0“ anzugeben.

Dürrlinge (stehende tote Bäume mit BHD ab 5 cm) sind bezüglich ihrer Parameter bzw. Messungen wie alle anderen Probestämme zu betrachten. So werden Merkmale wie Lage, Baumart, Nutzungsart, Wuchsklasse, Altersklasse, erhoben.



### **3.3.2 Bewertung**

Aus den Totholzerhebungen der ÖWI 2000/2002 ist mit 6,1 Vorratsfestmetern je Hektar ein stark gestiegener Dürllingsanteil im Vergleich zu den vorherigen Inventurergebnissen hervorgegangen. Den geringsten Anteil am Gesamtvorrat haben die Buchendürllinge, den höchsten die Tannendürllinge. Da bei den Dürllingen keine Aufnahmen bezüglich des Zersetzungsgrades erfolgten, wurde dieser bei der Volumenberechnung des Totholzes nicht berücksichtigt.

Der Vorrat des liegenden Totholzes und von Stöcken mit einem Durchmesser über 20 cm liegt bei 13,9 m<sup>3</sup>/ha. Für dieses Totholz kann keine Unterscheidung nach Baumarten vorgenommen werden, da dieses Merkmal nicht erhoben wurde. Auf ungefähr drei Vierteln der Waldfläche ist die Bodendeckung durch schwaches liegendes Totholz (Durchmesser < 20 cm) als gering einzustufen, ca. 8 % der Waldfläche sind stark bedeckt (> 10 %). Eine grobe Schätzung der Masse des flächendeckenden schwachen Totholzes ergibt ca. 10.000.000 m<sup>3</sup> (Mehrani-Mylany & Hauk, 2004). Diese Menge entspricht z. B. der Hälfte der jährlichen Gesamtnutzung in Österreich. Während Reisig und Laubabfall wichtige Nährstofflieferanten für den Waldboden darstellen, kommt dem Totholz unter diesem Gesichtspunkt keine hervorragende Bedeutung zu. Da dünnes Totholz aufgrund der großen Oberfläche schneller als Starkholz zersetzt wird, erscheint es sinnvoll, das schwache Totholz auf Haufen zusammenzulegen, um somit die Zersetzungsgeschwindigkeit zu reduzieren (Mehrani-Mylany & Hauk, 2004).

## **3.4 Erfassung von liegendem Totholz im 3. Schweizerischen Landesforstinventar**

Die nationale Waldinventur der Schweiz ist das Schweizerische Landesforstinventar (LFI), welches als Mehrzweckinventur konzipiert wurde. Die Verschiebung der Informationsbedürfnisse von der Nutzfunktion des Waldes zu Schutz- und Erholungsfunktionen sowie der Erhaltung biologischer Vielfalt lässt sich u. a. auch an den Veränderungen der Totholzaufnahmen feststellen. Während im LFI1 (1982 - 1986) nur Daten über „verwertbares“ Totholz erhoben wurden, dass die Bedingungen eines Probebaumes (BHD > 12 cm, identifizierbare BHD-Messstelle, erkennbare Baumart) erfüllte, wurden im LFI2 (1993 - 1995) Daten über Totholz in allen Zerfallsphasen gesammelt, insofern die Bedingungen des Probebaumes erfüllt wurden waren, wobei die Prämisse „verwertbar“ entfallen war. Im LFI3 (2004 - 2007) wurden die Totholzaufnahmen um das am Waldboden liegende Totholz, zu dem beispielsweise gebrochene Kronen, Ernterückstände und Astholz zählen, erweitert.

### **3.4.1 Methodik**

Neben den Totholzerhebungen am Einzelbaum werden zur Abschätzung des am Waldboden liegenden Totholzes zusätzlich Transektaufnahmen (Linien-Intersekt-Stichprobe) durchgeführt. Als liegendes Totholz werden entwurzelte oder gefällte Stämme, Stammstücke, gebrochene Schäfte, entwurzelte Stöcke, Äste und andere Holzteile, die sich auf dem Waldboden befinden und deren kleinster Durchmesser mindestens 7 cm ist, bezeichnet. Nicht zum liegenden Totholz zählen totes Holz mit einem Durchmesser < 7 cm, Holz das noch Leben zeigt, tote Äste an stehenden Bäumen, Äste oder Stämme die vom Erdboden bedeckt sind, geerntete Stämme, die offensichtlich noch aus dem Wald entfernt werden, verwurzelte Stöcke, Dürrständer, Rindenstücke und Holz, das bereits zu Bodensubstrat verwittert ist.

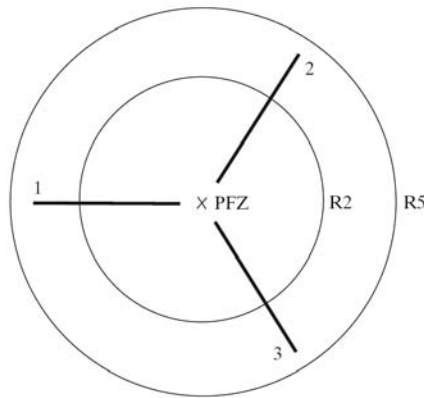


Abbildung 8: Aufbau einer terrestrischen LFI3-Probefläche. Die drei Transekte liegen über den konzentrischen Probekreisen (Keller (Red.), 2005).

Die Erfassung von liegendem Totholz findet auf drei Transekten statt, die über die permanenten LFI Probeflächen gelegt wurden, damit die Probeflächendaten und die Totholzmerkmale gemeinsam ausgewertet werden können. In Abbildung 8 sind der Probekreis R5 mit einem Radius von 12,6 m ( $= 500 \text{ m}^2$ ), auf dem Bäume mit einem BHD von mindestens 36 cm erfasst werden, und der Probekreis R2 mit einem Radius von 7,98 m ( $= 200 \text{ m}^2$ ) zur Erhebung von Probebäumen mit einem BHD von mindestens 12 cm dargestellt. Die Transekte beginnen in einem Abstand von jeweils 1 m vom Probeflächenzentrum (PFZ) und sind in Winkeln von 300 gon (1), 35 gon (2) und 170 gon (3) angelegt. Die horizontale Länge eines Transekts beträgt 10 m.

Bei geländebedingten Hindernissen, wie Begehrkeitsgrenzen, wird das Transekt nur bis zum Beginn des Hindernisses aufgenommen. Die Länge des Transekt-Teilstückes und dessen Neigung werden im Feldcomputer vermerkt. Ebenso wird bei Transekten die über Waldränder hinausreichen vorgegangen. Ein anderes Vorgehen wird bei Asthaufen angewendet. Dies sind kompakte Totholzhaufen (z.B. Windwurf, Asthaufen nach Erntemaßnahmen oder Holzhaufen durch Erdrutsch/Lawinen), in denen es nicht möglich ist, die Durchmesser der geschnittenen Einzelstücke aufzunehmen. Wenn ein Transekt einen Asthaufen schneidet, dann wird dessen Existenz vermerkt und die Länge des Asthaufens auf dem Transekt gemessen. Ein Asthaufen ist kein Abbruchkriterium für die Transektaufnahme wie geländebedingte Hindernisse oder Waldränder. Vor und nach dem Asthaufen findet eine reguläre Aufnahme bis zum Endpunkt des Transekts statt (Keller (Red.), 2005).

Ein Totholzstück ist Teil der Linienstichprobe, wenn es die Definition von liegendem Totholz erfüllt und seine Längsachse (= Zentralachse) von einem Transekt geschnitten wird. Der Durchmesser des liegenden Totholzstücks wird am Schnittpunkt zwischen Zentralachse und Transekt mit einer Kreuzmessung bestimmt. Wird ein Totholzobjekt von mehreren Transekten geschnitten, werden an jedem Schnittpunkt Totholzstück – Transekt der Durchmesser und die Neigung erfasst (siehe Abbildung 9). Für die Korrektur von Totholzstücken mit einer Neigung zur Horizontalen wurde der Winkel  $\alpha$  gemessen und der Korrekturfaktor  $1/\cos(\alpha)$  angewendet.

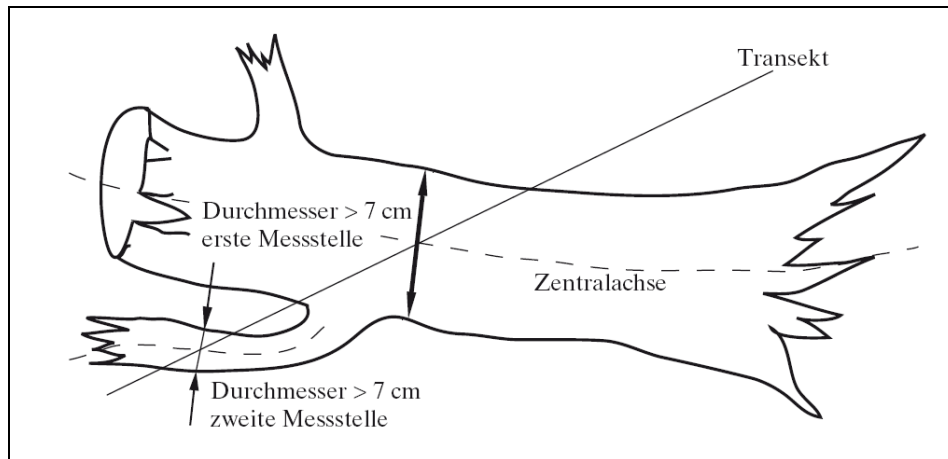
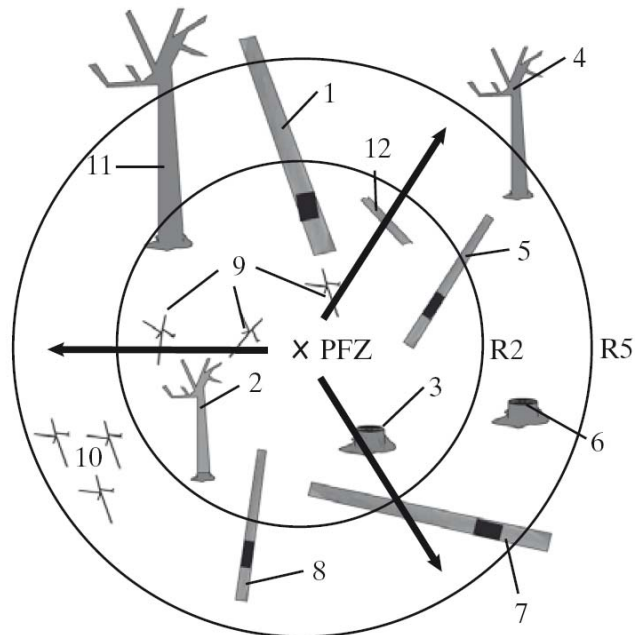


Abbildung 9: Messung von Durchmessern an den Schnittpunkten Totholzstück – Transekt (Keller (Red.), 2005)

In Abbildung 10 ist an einem Beispiel die Erfassung von Totholz gemäß LFI3 dargestellt.



Nr	Totholzstück	LFI-Probebaum	Einzelbaum-aufnahme	Transekt-aufnahme
1	liegend dürr, BHD=45cm	x	x	—
2	Dürrständer, BHD=27cm	x	x	—
3	Stock	—	—	—
4	Dürrständer, BHD=32cm	—	—	—
5	liegend dürr, BHD=26cm	x	x	—
6	Stock eines LFI-Probebaums	x	x	—
7	liegend dürr, BHD=42cm	x	x	x
8	liegend dürr, BHD=28cm	—	—	—
9	Astholz $D \geq 7$ cm	—	—	x
10	Astholz $D \geq 7$ cm	—	—	—
11	Dürrständer BHD=48cm	x	x	—
12	Stammstück $D \geq 7$ cm	—	—	x

Abbildung 10: Erfassung von Totholz im LFI3 (Keller (Red.), 2005)

### 3.4.2 Volumenschätzung

Die Länge der geneigten Transekte wird bereits im Feld korrigiert. Mit dem Korrekturfaktor für geneigte Totholzstücke und den zwei Durchmessermessungen ergibt sich folgende Formel zur Volumenberechnung des liegenden Totholzes für die j-te Probefläche (Böhl, 2005):

$$\hat{X}_j = \frac{\pi^2}{8L_j} \sum_{i=1}^N \left( \frac{d_{1i} + d_{2i}}{2} \right)^2 \frac{1}{\cos(\alpha_i)}$$

mit

$\hat{X}_j$  = Schätzer des Volumens von liegendem Totholz (m<sup>3</sup>/ha) der j-ten Probefläche

$d_{1i}$  und  $d_{2i}$  = Durchmessermessungen von Objekt i (cm)

$L_j$  = horizontale Länge der Transekte (m) der j-ten Probefläche

$\alpha_i$  = Winkel des i-ten Totholzstückes der j-ten Probefläche

### 3.4.3 Bewertung

Erste Auswertungen der Erhebungen von liegendem Totholz in der Schweiz haben gezeigt, dass es regionale Unterschiede beim Aufkommen von Totholz gibt. So wurde mit Zunahme der Geländeneigung ein Anstieg der Totholzmenge bei Waldgebieten mit mehr als 60 % Steigung verzeichnet. Dies ist vermutlich auf eine extensivere Bewirtschaftung der Wälder aufgrund höherer Holzerntekosten zurückzuführen. Aus dem Vergleich von Waldgebieten mit unterschiedlichem Mischungsgrad ging hervor, dass das niedrigere Volumen von liegendem Totholz mit dem guten Preis von Fichtenholz zu begründen ist. Dadurch wurden die Fichtenbestände wahrscheinlich intensiver genutzt und weniger Ernterückstände zurückgelassen (Böhl, 2005).

Nach Abschluss der Datenerhebungen im Gelände hat sich gezeigt, dass LIS eine einfach anzuwendende und schnell durchführbare Methode für die Erfassung von liegendem Totholz ist. Der Zeitbedarf des beschriebenen Verfahrens beträgt ca. 5 Minuten je Aufnahmepunkt mit 30 m Transektlänge (Böhl, 2005). Die Eingliederung der Linienstichprobe in eine bereits bestehende Aufnahmemethodik erfolgte ohne Probleme. Wenn die LIS über das vorhandene Stichprobendesign gelegt wird, sind dadurch gemeinsame Auswertungen des Volumens des liegenden Totholzes und weiterer erhobener Parametern möglich. So kann beispielsweise eine Gesamteinschätzung des Totholzvorrates von stehendem und liegendem Totholz vorgenommen werden. Verfahrensbedingt können keine Angaben zur Stückanzahl des liegenden Totholzes gemacht werden. Ebenso wurden keine Aufnahmen der Baumarten vorgenommen.

### **3.5 Erfassung von liegendem Totholz mit der Methodik der nationalen Waldinventur der USA**

Da mit dem LFI3 ( Kapitel 3.4) bereits ein Verfahren zur Aufnahme von liegendem Totholz vorgestellt wurde, soll hier nur ein Überblick zur Methodik des in der nationalen Waldinventur der USA angewandten line intersect sampling gegeben werden. Liegendes Totholz ist eine wichtige Komponente der Waldökosysteme der USA, die in der Phase 3 (Waldzustand) der FIA erhoben wird. Im Rahmen der Forest Inventory and Analysis (FIA) wird folgendes liegendes Holzmaterial (Down Woody Material) aufgenommen: starkes Totholz, schwaches Totholz, Streu, Kräuter und Büsche, Schlagabraum und Rohhumus (USDA Forest Service, 2005). Der Indikator „Liegendes Holzmaterial“ ist einer von sechs Kenngrößen, die den Waldzustand beschreiben. Der „Down Woody Material Indicator“ wird zur Risikoabschätzung von Feuern, zur Einschätzung der Qualität und Dynamik von Habitaten in Wäldern, zur Modellierung von Kohlenstoffinventaren und zur Untersuchung der Speicherung und des Kreislaufen von Nährstoffen und Wasser genutzt.

#### **3.5.1 Methodik**

Zum starken Totholz (CWD) zählen liegende tote Bäume und Stammteile von Büschen, starke Äste und andere Holzteile, die auf dem Waldboden liegen. Es umfasst ebenfalls tote Bäume mit einem Neigungswinkel von mehr als 45°. Der Durchmesser der starken Totholzobjekte muss größer als 7,6 cm sein und die Mindestlänge beträgt 0,9 m. Zum schwachen Totholz (FWD) gehören liegende tote Äste und Zweige, kleine Bäume und kleine Stammteile von Büschen, die nicht mit einem lebenden oder stehenden Objekt verbunden sind, mit einem Durchmesser  $\leq 7,6$  cm.

Liegendes starkes Totholz mit einem Durchmesser  $\geq 7,6$  cm ( $\geq 3$  inches) wird auf Transekten mit einer Länge von ca. 7,3 m (24 feet), die im Azimut von 30°, 150° und 270° auf den vier Inventurplots der nationalen Waldinventur FIA ausgerichtet sind, erfasst (siehe Abbildung 11). Die Aufnahmeparameter für liegendes starkes Totholz sind folgende: Entfernungsbestimmung vom Schnittpunkt Totholz – Transekt zum Mittelpunkt der Probefläche, Zersetzungsgrad, Baumart, Durchmesser vom Totholzstück am Schnittpunkt mit dem Transekt, Durchmesser am schmalen Ende (7,6 cm) und am dicken Ende, Gesamtlänge, Feststellung ob Totholzstück hohl ist, Geschichte/Ursache der Entstehung des Totholzobjektes.

Die Inventarisierung des liegenden schwachen Totholzes wird auf dem Transekt im 150° Azimut vorgenommen (siehe Abbildung 11). Da schwaches Totholz generell in höheren Dichten vorkommt, werden dazu kürzere Transekte verwendet. Die Länge des Transekts beträgt bei schwachen Totholzstücken mit einem Durchmesser von ca. 2,5 – 7,6 cm (1 - 3 inches = Large FWD) 3 m (10 feet), bei schwachen Totholzstücken mit einem Durchmesser von ca. 0,62 – 2,5 cm (0,25 – 0,9 inch = Medium FWD) und mit einem Durchmesser von ca. 0 – 0,61 cm (0 – 0,24 inch = Small FWD) 1,8 m (6 feet) (USDA Forest Service, 2005). Auf den Transektabschnitten wird die Anzahl der schwachen Totholzstücke der drei FWD-Kategorien gezählt. Wenn auf dem Transekt mehr als 50 Objekte der Durchmesserklasse  $< 2,5$  cm bzw. mehr als 20 Stück mit einem Durchmesser über  $\geq 2,5$  cm gezählt werden, erfolgt eine systematische Schätzung des schwachen Totholzes.

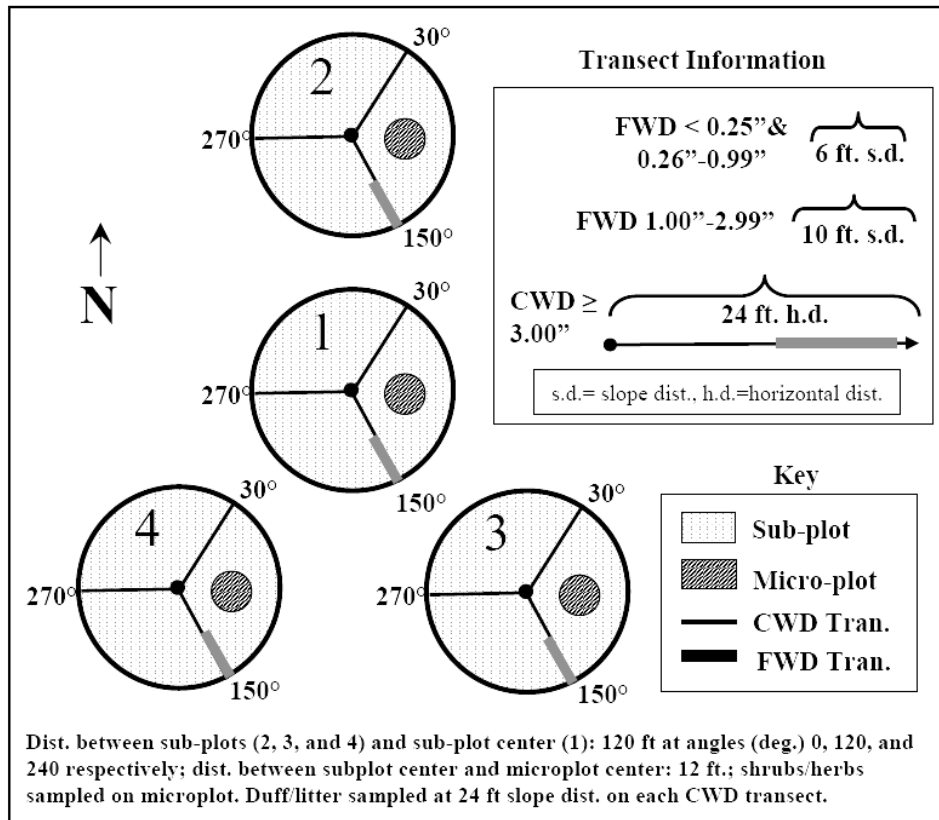


Abbildung 11: FIA-Stichprobendesign zur Erfassung von liegendem Totholz (USDA Forest Service, 2005)

Am Endpunkt der Transekte, also in einer Entfernung von ca. 7,3 m vom Mittelpunkt des plots wird die Tiefe der Streuauflage, des Rohhumus und der „Brandzone“ (fuelbed) bestimmt. Das „fuelbed“ setzt sich aus der Streu, dem schwachen und starken Totholz und toten Büschen zusammen. Diese Aufnahmen werden insbesondere zur Modellierung von Walbränden, der Ausbreitung von Feuern und der Rauchentwicklung verwendet.

### 3.6 Totholzerfassung im internationalen ForestBIOTA-Projekt

ForestBIOTA (Forest Biodiversity Test-phase Assessments) ist ein Projekt, in dessen Fokus die Weiterentwicklung des Monitorings von verschiedenen Aspekten der Biodiversität steht. Auf ausgewählten europäischen Dauerbeobachtungsflächen werden harmonisierte Methoden zur Erfassung von Bestandesstruktur, Totholz, epiphytischen Flechten, Bodenvegetation und der Bestandestypenklassifizierung entwickelt. Die Untersuchungen haben im Jahr 2003 begonnen und werden von der Europäischen Kommission im Rahmen der Forest Focus-Verordnung finanziert.

### 3.6.1 Methodik

Die Erhebung von Totholz auf 91 ausgewählten Level II-Flächen elf verschiedener europäischer Länder wurde auf quadratischen, nach magnetisch Nord ausgerichteten Flächen („plots“), mit einer Seitenlänge von 50 m durchgeführt. In diesem plot befinden sich vier kreisförmige subplots mit einem Radius von 7 m, deren Mittelpunkte auf den Eckpunkten eines 26 m großen, nach magnetisch-Nord ausgerichteten Quadrates liegen (siehe Abbildung 12).

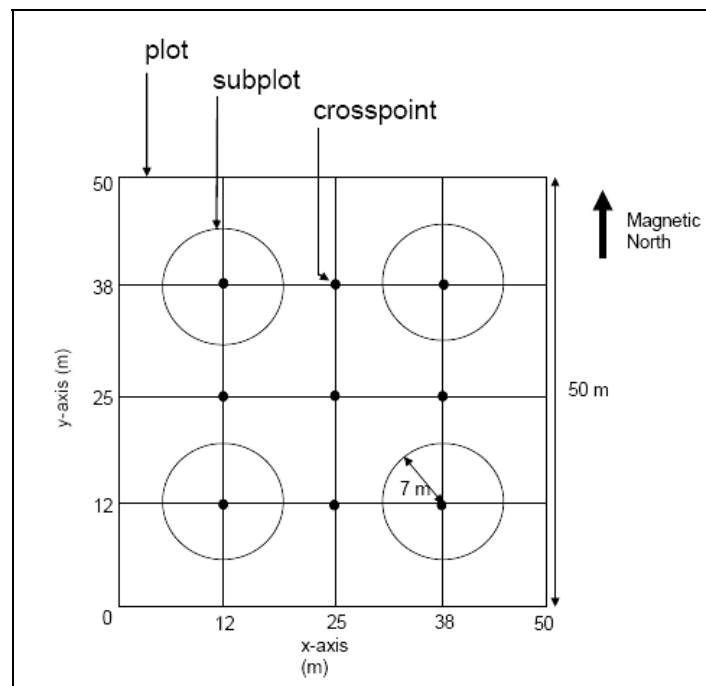


Abbildung 12: Skizze der Aufnahmeeinheiten für Totholz nach dem ForestBIOTA-Manual (ForestBIOTA, 2006)

Gemäß ForestBIOTA-Manual wurden fünf Totholzkomponenten auf den oben beschriebenen Aufnahmeeinheiten erfasst:

- |  |           |
|--|-----------|
| • stehende tote Bäume: stehendes Totholz | → plot    |
| • stehende tote Bäume: Baumstümpfe       | → plot    |
| • liegende tote Bäume                    | → plot    |
| • liegende Totholz-Teile                 | → subplot |
| • Wurzelstöcke                           | → subplot |

Die Aufnahmeregeln und Aufnahmeparameter sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Für jede der 91 ausgewählten Level II-Flächen wurden das Totholzvolumen, der Zerfallsgrad nach Hunter (1990) (siehe Abbildung 13) und die Anzahl der Totholzstücke ermittelt. Die Verteilung des gesamten Totholzvorrates wurde sowohl differenziert nach den fünf Totholzkomponenten als auch nach starkem (Totholz mit einem Durchmesser  $\geq 10$  cm) und schwachem Totholz (Durchmesser  $< 10$  cm) erfasst.

Tabelle 6: Aufnahmeregeln und Aufnahmeparameter für Totholz gemäß ForestBIOTA-Manual (ForestBIOTA, 2006)

	stehendes Totholz	liegende tote Bäume	liegende Totholz-Teile	Wurzelstöcke
Aufnahme- regel	minimaler BHD $\geq$ 5 cm, Stammfuß muss innerhalb des plots liegen	minimaler BHD $\geq$ 5 cm, stärkeres Stammende muss innerhalb des plots liegen	Durchmesser am stärkeren Ende $\geq$ 5 cm, stärkeres Ende muss innerhalb des subplots liegen	Durchmesser an Schnitt- oder Bruchstelle $\geq$ 10 cm, mehr als 50% des Wurzelstockes muss innerhalb des subplots liegen
	Mindesthöhe Baumstumpf: 1,3 m			Höhe < 1,3 m
	frisch eingeschlagenes Holz wird nicht erfasst		sind am Totholz-Teil Äste, müssen diese als separate Totholz-Teile erfasst werden, wenn deren Durchmesser $\geq$ 5 cm am stärkeren Ende ist	
Aufnahme- parameter	Baumart	Baumart	Baumart	Baumart
	Zersetzungsgrad	Zersetzungsgrad	Zersetzungsgrad	Zersetzungsgrad
	BHD (mit oder ohne Rinde), wenn Baumstumpf $H \leq 4$ m: Durchmesser in der Hälfte der Höhe	BHD (mit oder ohne Rinde)	Mitteldurchmesser	Durchmesser an Schnitt-/Bruchstelle (mit oder ohne Rinde)
	Höhe (höchste Stelle)	Gesamtlänge	Gesamtlänge des Totholz-Teiles vom stärkeren Ende bis dahin, wo Durchmesser $\leq$ 3 cm	Höhe

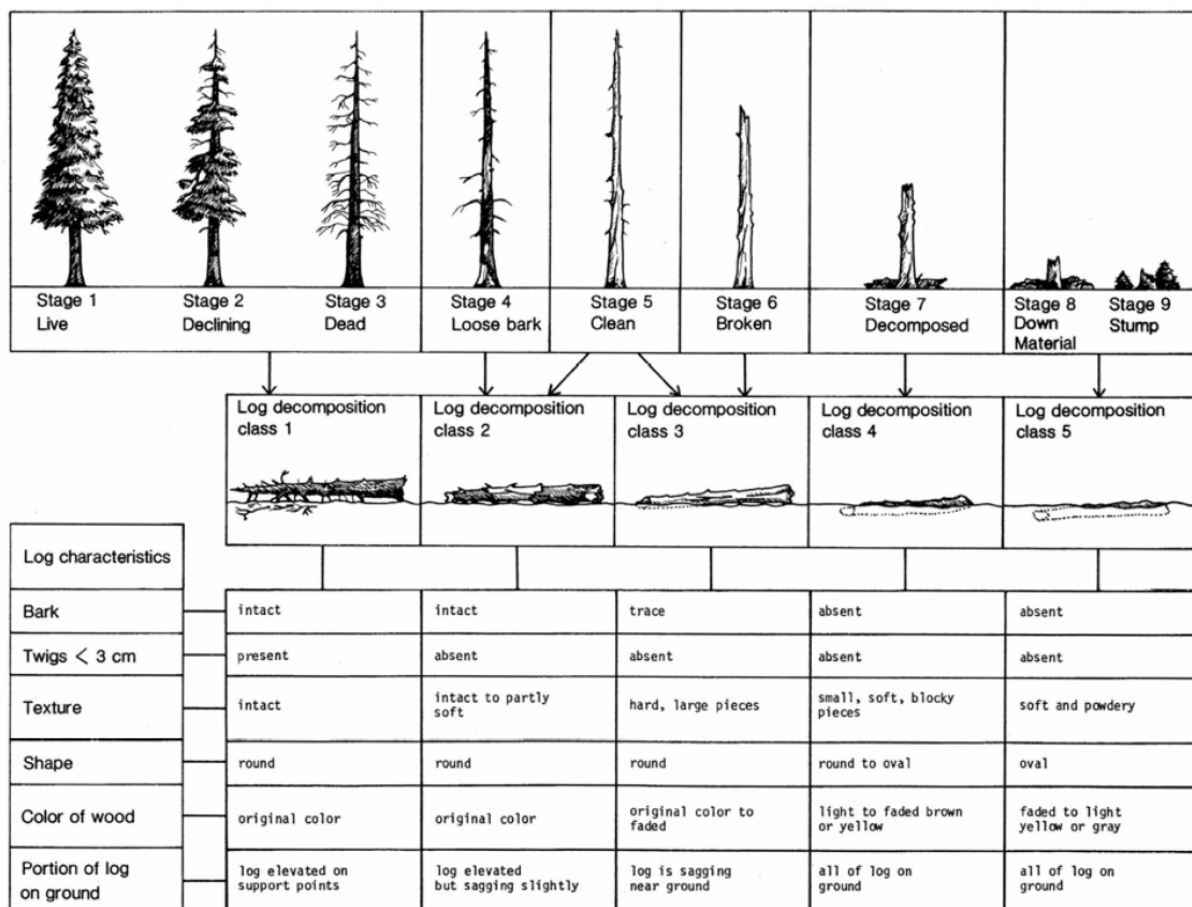


Abbildung 13: Zersetzungsgrade von Totholz nach Hunter (1990)



### 3.6.2 Volumenschätzung

Das Volumen stehender und liegender toter Bäume wird unter Verwendung von aus Ertragstafeln abgeleiteten Formzahlwerten berechnet. Zur Volumenermittlung von Baumstümpfen mit einer Mindesthöhe von 4 m wird auf den aus der Ertragstafel ermittelten Wert ein Reduktionsfaktor angewendet, der aus dem Höhen-Durchmesserverhältnis der umgebenden Bäume des Bestandes derselben Baumart abgeleitet wird. Die Angabe des Volumens erfolgt durch Aufsummierung des Volumens auf plot-Ebene und anschließender Umrechnung in m<sup>3</sup>/ha (Travaglini & Chirici, 2006).

Das Volumen liegender Totholzteile und Wurzelstöcke wird mittels Formel 1 und 2 berechnet. Kubikmeterangaben ergeben sich durch Aufsummierung des Volumens auf die subplot-Ebene und Transformierung auf m<sup>3</sup>/ha-Werte.

$$V = \frac{\pi}{4} d_{0,5l}^2 l \quad \text{Formel 1}$$

mit

V = Volumen

d<sub>0,5l</sub> = Durchmesser in der Hälfte der Länge/Höhe

l = Länge/Höhe.

$$V_{ws} = \frac{\pi}{4} d^2 h \quad \text{Formel 2}$$

mit

V<sub>ws</sub> = Volumen Wurzelstock

d = Durchmesser des Wurzelstockes in Höhe der Schnitt-/ Bruchstelle

h = Höhe des Wurzelstockes.

Das Volumen von Wurzelstöcken und liegenden Totholzteilen in m<sup>3</sup>/ha wird für den gesamten plot als ein Mittelwert der Schätzungen der einzelnen subplots berechnet. Wenn X<sub>i</sub> der Volumenwert (in m<sup>3</sup>/ha) geschätzt für den i-ten subplot ist, dann beträgt der Mittelwert auf plot-Ebene (X<sub>pp</sub> in m<sup>3</sup>/ha):

$$X_{pp} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 X_i \quad \text{Formel 3}$$

Das gesamte Totholzvolumen auf plot-Ebene (TV<sub>tot</sub>, in m<sup>3</sup>/ha) setzt sich aus den einzelnen Volumina des stehenden Totholzes (V<sub>stB</sub>), liegender toter Bäume (V<sub>IB</sub>), liegender Totholz-Teile (V<sub>ITt</sub>) und Wurzelstöcke (V<sub>ws</sub>) zusammen.

### 3.6.3 Ergebnisse und Bewertung

Mit dieser Fallstudie wurde das Totholzvolumen auf 91 ausgewählten Level II-Flächen, die über Europa verteilt sind, erhoben. Die ermittelten Totholzvorräte wurden für 15 verschiedenen Bestandstypen (nach ForestBIOTA, 2005) unterschiedlicher Altersklassen (ab 21 Jahre bis über 120 Jahre) untersucht. Damit verbunden sind ebenfalls verschiedene Bewirtschaftungskriterien und -intensitäten auf den einzelnen Monitoringflächen, die bei dem Vergleich der Totholzvorräte zu berücksichtigen sind.

Das mittels des ForestBIOTA-Projektes erfasste Totholzvolumen reicht von 0,1 m<sup>3</sup>/ha bis 258 m<sup>3</sup>/ha (siehe Abbildung 14). In Deutschland wurden 20 Level II-Flächen untersucht. Für diese Flächen wurden Totholzvorräte zwischen 2,1 m<sup>3</sup>/ha und 63,9 m<sup>3</sup>/ha ermittelt. Eine Ausnahme bildet eine Dauerbeobachtungsfläche mit einem überdurchschnittlich hohen Totholzvolumen von 225,7 m<sup>3</sup>/ha. Für den Großteil der untersuchten Flächen liegt der Totholzvorrat unter 25 m<sup>3</sup>/ha.

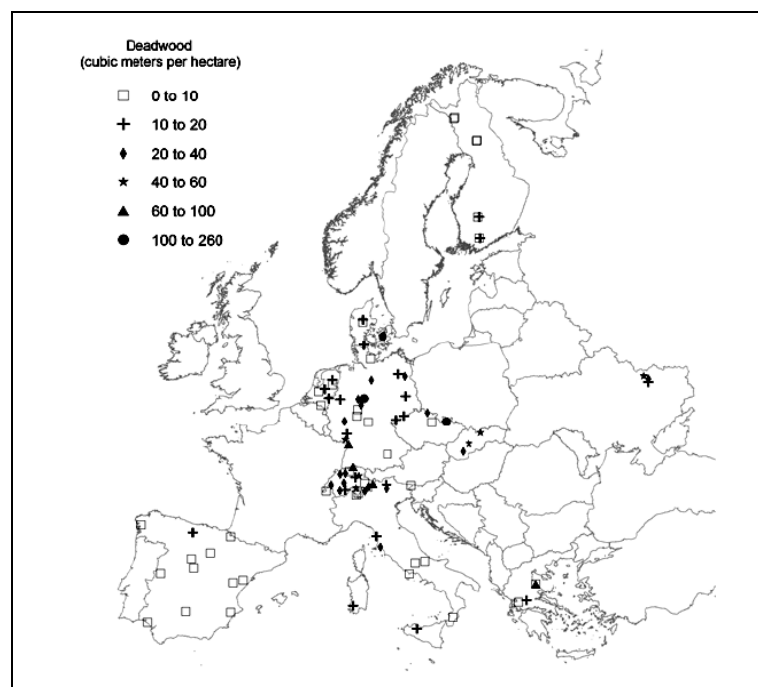


Abbildung 14: Totholzvorräte ausgewählter Level II-Flächen (Travaglini & Chirici, 2006)

## 3.7 Totholzerfassung im BIOSOIL-Projekt

Das BIOSOIL-Projekt ist ebenfalls ein Pilotprojekt im Rahmen der Forest Focus-Verordnung, dessen Zielstellung jedoch die großräumige, flächenrepräsentative Erfassung bodenchemischer Eigenschaften und Biodiversitätsparametern von Wäldern ist. Die Datenerhebungen werden an den bereits existierenden Level I-Flächen durchgeführt, die in einem 16 x 16 km<sup>2</sup>-Stichprobennetz über die europäischen Waldflächen verteilt sind.

### 3.7.1 Methodik

Die Aufnahmen der verschiedenen Inventurparameter erfolgen mittels Probekreisinventur, wobei die kreisförmige Probefläche (= plot) in drei konzentrische Probekreise (= subplots) unterteilt ist (siehe Abbildung 15). Der äußere Probekreis (= subplot 3) umfasst eine Fläche

von 2000 m<sup>2</sup> (r = 25,24 m), während die Fläche bei subplot 2 400 m<sup>2</sup> (r = 11,28 m) und bei subplot 1 30 m<sup>2</sup> (r = 3,09 m) beträgt. Die Totholzerhebungen werden nur auf den kleineren Kreisen, d. h. den subplots 1 und 2 durchgeführt.

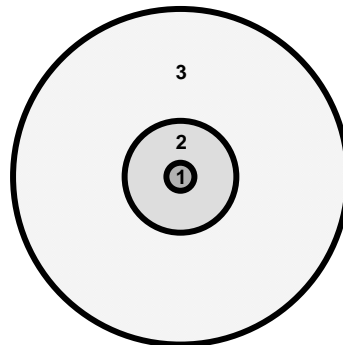


Abbildung 15: Aufbau der BIOSOIL-Probefläche (Bastrup-Birk et al., 2006)

Die Erfassung der Baumarten und Messung der BHD für stehende und liegende, lebende und tote Bäume (Höhe > 1,3 m) erfolgt für den gesamten plot nach definierten Durchmessergrößen (Tabelle 7). Im subplot 1 sind dies alle Bäume mit einer Mindesthöhe von 130 cm, im subplot 2 alle Bäume mit einem BHD ≥ 10 cm und im subplot 3 nur die Bäume mit einem BHD ≥ 50 cm. Weitere obligatorische Größen sind der Baumstatus, nach dem Totholz in die Gruppen stehend-tot und liegend-tot unterteilt wird, und der Zerfallsgrad (nach Hunter, 1990, siehe Abbildung 13), der im BIOSOIL-Manual mit einer Code-Tabelle der 5 Zersetzungsstufen hinterlegt ist (Tabelle 8). Im Rahmen der generellen Beschreibung der Untersuchungsfläche wird u. a. aufgenommen, ob starkes Totholz entfernt wurde.

Tabelle 7: Auszug aus den Erhebungen auf den BIOSOIL-Untersuchungsflächen für den Parameter Totholz (Bastrup-Birk et al., 2006)

BIOSOIL Aufnahmeparameter	subplot 1 (30 m <sup>2</sup> )	subplot 2 (400 m <sup>2</sup> )	subplot 3 (2000 m <sup>2</sup> )
DBH und Baumart forstlicher Pflanzen H > 130 cm (stehend und liegend, lebend und tot)	alle Bäume mit BHD > 0 cm (H > 130 cm)	alle Bäume mit BHD ≥ 10 cm	nur Bäume mit BHD ≥ 50 cm
starkes Totholz, Baumstümpfe, Wurzelstöcke	D > 10 cm	D > 10 cm	-

Tabelle 8: Code-Tabelle zum Zersetzungsgrad von Totholz, BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006)

Code	Beschreibung
1	Keine Anzeichen von Zersetzung
2	Festes Holz. Weniger als 10 % des Holzes zeigen veränderte Struktur. Das Holz hat eine feste Oberfläche. Das Totholzobjekt ist nur zu einem sehr geringen Anteil von holzzersetzenden Organismen besiedelt.
3	Leichte Zersetzung. 10 - 25 % des Holzes zeigen aufgrund der Zersetzungsprozesse eine veränderte Struktur. Dies kann durch das Hereinstecken eines scharfen Gegenstandes in das Totholzobjekt getestet werden.
4	Zersetztes, angerottetes Holz. 26 % - 75 % des Holzes sind weich bis sehr weich.
5	Stark zersetztes, angerottetes Holz. 76 % - 100 % des Holzes sind weich.

Bei der Erfassung von Totholz werden Messungen an stehenden und liegenden toten Bäumen, starkem Totholz, Baumstümpfen und Wurzelstöcken durchgeführt. Die Totholzerhebungen umfassen folgende obligatorische Parameter:

- Baumstümpfe: geschätzter Durchmesser (cm), Höhe (m), Mittelpunkt des Baumstumpfes muss innerhalb des subplots 1 oder 2 liegen, stehendes Totholz ohne Äste, Mindesthöhe 130 cm (siehe Abbildung 16), Baumart entsprechend der BIOSOIL-Artenliste (wenn möglich)
- Wurzelstöcke: Höhe (m) und Durchmesser (cm) von Wurzelstöcken mit einer Höhe < 130 cm und einem Schnittflächendurchmesser > 10 cm, Mittelpunkt des Wurzelstockes muss innerhalb des subplots 1 oder 2 liegen, Baumart entsprechend der BIOSOIL-Artenliste (wenn möglich)
- liegendes starkes Totholz: Durchmesser > 10 cm am stärkeren Ende, Mitteldurchmesser (cm) und Länge (m) (bis zu dem Punkt, nach dem der Durchmesser immer geringer als 10 cm ist, siehe Abbildung 17), mehr als 50 % des stärkeren Endes müssen innerhalb des subplots 1 oder 2 liegen, Baumart entsprechend der BIOSOIL-Artenliste (wenn möglich)
- Zerfallsgrad aller Totholzobjekte (nach Hunter, 1990 (siehe Abbildung 13) und Code-Tabelle BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006).

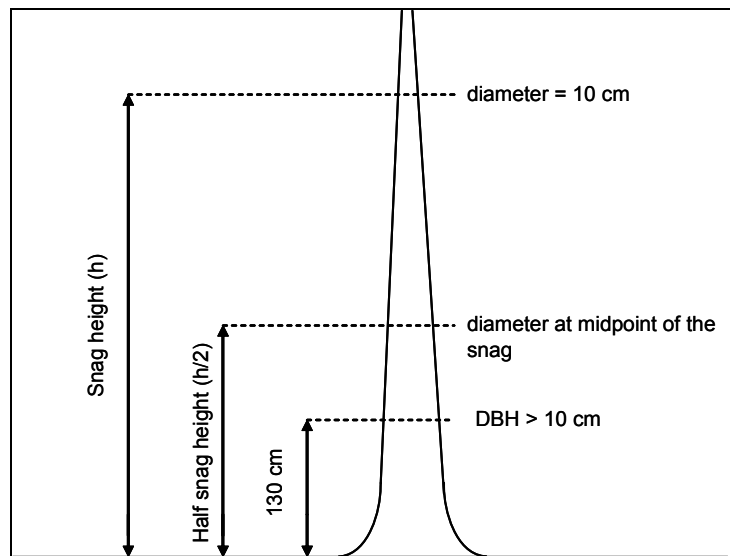


Abbildung 16: Messung des Durchmessers und der Höhe von Baumstümpfen gemäß BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006)

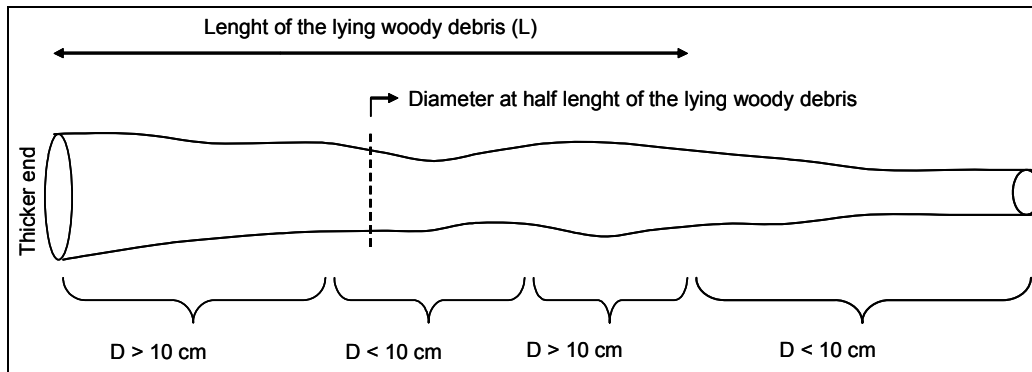


Abbildung 17: Messung von Länge und Durchmesser in der Hälfte der Länge eines liegenden starken Tothholzobjektes gemäß BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006)

Zusätzlich können die nachfolgenden fakultativen Parameter erhoben werden:

- Durchmesser (cm) und Länge (m) von schwachem Totholz
- Baumarten des schwachen Tothholzes entsprechend der BIOSOIL-Artenliste (wenn möglich)

Der Durchmesser und die Länge von schwachem Totholz wird dann erhoben, wenn der Durchmesser dieser Objekte  $\leq 10$  cm aber  $> 5$  cm ist.

### 3.7.2 Ergebnisse und Bewertung

Laut Zeitplan des BIOSOIL-Projektes sollen die Datenerhebungen an den Level I-Plots im März 2007 abgeschlossen werden. Somit liegen aktuell noch keine Ergebnisse vor. Durch das Inventurdesign werden flächendeckende Tothholzvorräte für ganz Europa ermittelt, die differenziert nach ca. 130 Baumarten aufgenommen werden. Neben der Auswertung des Tothholzvolumens nach einzelnen Baumarten kann dieses in Baumartengruppen zusammengefasst werden, in stehendes und liegendes Tothholz unterteilt werden und es wird eine Beurteilung des Zersetzungsgrades erfolgen. Insofern die fakultativen Erhebungen von schwachem Totholz wahrgenommen werden, ist eine Abgrenzung von schwachem Totholz, d. h. Tothholzobjekte mit einem Durchmesser  $> 5$  cm bis  $\leq 10$  cm, und starkem Totholz (Durchmesser  $> 10$  cm) möglich. Die Ermittlung des Parameters „Entfernung von starkem Totholz“ im Rahmen der generellen Plotbeschreibung wird als schwer nachvollziehbar eingestuft.

Mit den Auswertungen der Daten und der Berichterstellung soll im April 2007 begonnen werden. Die Pilotstudie „BIOSOIL“ endet am 31.12.2007 (Bastrup-Birk et al., 2006).

## 4 Bewertung

Totholz in seinen verschiedenen Dimensionen und Zersetzungsstufen beschreibt die Qualität und den Zustand des Habitats Wald und ist ein Indikator für die Struktur- und Biodiversität von Wäldern. Meist kommt Totholz in geringerer Dichte als lebende Bäume vor, es sei denn, die zu untersuchenden Flächen sind von großflächigen Schadeinwirkungen betroffen, wie z. B. Windwurf, Waldbrand, oder Kalamitäten. Daher müssen Inventurverfahren entsprechend konzipiert werden, um ausreichend genau und nicht zu zeitintensiv zu sein.

Die Erfassung von Totholz wird u. a. als Kenngröße zur Bewahrung und angemessenen Weiterentwicklung der biologischen Vielfalt in Waldökosystemen eingesetzt. In Abhängigkeit von den spezifischen Zielstellungen der einzelnen Inventuren unterscheiden sich diese im Inventurdesign, den Aufnahmemerkmale und letzten Endes auch in den Berechnungsformeln des Totholzvolumens. Aus diesem Grund ist ein Vergleich von Totholzvorräten regionaler, nationaler als auch internationaler Totholzerhebungen nicht ohne Weiteres möglich. Die Unterschiede ausgewählter Verfahren zur Totholzerfassung sind in Tabelle 9 dargestellt.

Aus der Übersicht zu den ausgewählten Totholz-Inventurverfahren geht hervor, dass sowohl Probekreise als auch Linienstichproben angewendet werden. Die Totholzaufnahmen, die mit der BWI<sup>2</sup> und der Österreichischen Waldinventur durchgeführt wurden, beschränkten sich auf einen Probekreis. Die BIOSOIL-Totholzmerkmale werden mit drei konzentrischen Probekreisen erfasst, wobei es sich hier und auch bei der BWI<sup>2</sup> und der ÖWI um Großrauminventuren mit sehr vielen Stichprobeneinheiten handelt. Auch bei der Bestockungsinventur in Baden-Württemberg und den ForestBIOTA-Erhebungen wurden Probekreisinventuren eingesetzt, wobei zusätzlich Linien- als auch Clusterstichproben verwendet wurden. Beim Schweizerischen Landesforstinventar wird ein aus Probekreisen und Linien kombiniertes Verfahren zur Totholzerhebung verwendet. Kreisförmige Stichprobeneinheiten sind nicht speziell für die Totholzerfassung entwickelt wurden und werden i. d. R. für Mehrzweckinventuren angewendet, was auch durch die ausgewählten Verfahren belegt wird. Im Gegensatz dazu ist die Wahl der Linienstichprobe eine Entscheidung gegen eine Mehrzweckinventur, da LIS immer separat durchgeführt werden und ausschließlich der Erfassung liegender Totholzobjekte dienen. Jedoch stellt das im Schweizerischen Landesforstinventar angewendete Stichprobendesign eine interessante Alternative dar, bei dem die Transekte in die Probekreise integriert sind.

Im Rahmen der europäischen Pilotprojekte ForestBIOTA und BIOSOIL werden Totholzvorräte auf europäischer Ebene ermittelt. Während die Daten der BIOSOIL-Totholzerhebungen auf Basis eines systematischen Stichprobennetzes von 16 x 16 km<sup>2</sup> erfasst werden und damit flächenrepräsentative Ergebnisse liefern, sind die Totholzvolumina der ForestBIOTA-Aufnahmen Fallstudien, die an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen durchgeführt wurden. Im ForestBIOTA-Projekt wurden die Totholzmerkmale stehender Bäume, Baumstümpfe und liegender Bäume auf einem 50 x 50 m<sup>2</sup>-plot und liegender Totholz-Teile und Wurzelstöcke auf Probekreisen mit 7 m-Radius erhoben. Das BIOSOIL-Stichprobendesign bedient sich konzentrischer Probekreise mit drei verschiedenen Radien. Der Zustand des Totholzes wird bei beiden Inventuren nach den Zersetzungsgraden von Hunter (1990) beurteilt, die im BIOSOIL-Manual zusätzlich in einer Code-Tabelle beschrieben sind. Die Aufnahmegrenze von schwachem Totholz liegt einheitlich bei einem Durchmesser von 5 cm (BIOSOIL > 5 cm, ForestBIOTA ≥ 5 cm). Ab 10 cm Durchmesser wird von starkem Totholz gesprochen (BIOSOIL > 10 cm, ForestBIOTA ≥ 10 cm). Allerdings sind die BIOSOIL-Aufnahmen von schwachem Totholz fakultativ. Die BIOSOIL-

Totholzvorräte können nach verschiedenen Baumarten unterschieden werden, während die ForestBIOTA-Vorräte auf Basis von 15 verschiedenen Bestandestypen geschätzt wurden.

In Hinblick auf die Entwicklung eines Totholzinventurverfahrens für Deutschland kommen von den untersuchten Verfahren diejenigen in Frage, mit denen auf Basis von systematischen Stichprobenverfahren flächendeckende Totholzvorräte ermittelt werden können. In Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen und dem zur Verfügung stehenden finanziellen Budget sind das Inventurdesign und die Stichprobendichte für die Totholzinventur festzulegen. Bei der Erstellung eines Kohlenstoffinventars sollten sowohl liegende als auch stehende Totholzobjekte berücksichtigt werden. Aus diesem Grund sei noch einmal darauf hingewiesen, dass Linienstichproben zur Erhebung von liegendem Totholz konzipiert wurden. Zur Aufnahme von stehendem Totholz können Linieninventuren beispielsweise um Streifen erweitert werden oder es werden Probekreisinventuren verwendet. Ebenfalls vorstellbar ist ein kombiniertes Verfahren aus Probekreis- und Linieninventur, wobei der Kosten-Nutzen-Faktor zu prüfen ist.

Aus dem Vergleich der einzelnen Inventuren geht hervor, dass die Aufnahmeschwellen von Totholz sehr unterschiedlich sind. Der Minstdurchmesser der BWI<sup>2</sup>-Totholzaufnahmen liegt bei 20 cm, womit also ausschließlich starkes Totholz inventarisiert wurde. Die Erfassungsgrenzen der Bestockungsinventur Baden-Württembergs, ForestBIOTA und BIOSOIL liegen bei 5 cm, so dass damit neben starkem Totholz ab Durchmesserdimensionen von 10 cm auch schwaches Totholz (Durchmesser von 5 cm bis 10 cm) aufgenommen wurde. Bei der ÖWI wurde auf eine untere Aufnahmeschwelle verzichtet. Stattdessen wurde für liegendes Totholz bis zu einem Durchmesser von 20 cm der Bodendeckungsgrad und die Art der Verteilung des Totholzes geschätzt. Dadurch wird eine größere Menge von Totholzobjekten erfasst. Jedoch steigt mit sinkender Aufnahmegrenze der Aufwand für die Totholzaufnahme, da Totholzobjekte geringerer Durchmesserdimensionen hinzukommen und meist häufiger vorkommen als stärkeres Totholz, was demzufolge auch zu höheren Kosten führt. Dem gegenüber ist der Anteil von schwachem Totholz am Gesamtotholzvolumen geringer als der von starkem Totholz. Zudem wird schwaches Totholz deutlich schneller als starkes zersetzt und ist aus ökologischer Sicht nicht so wertvoll wie starkes Totholz.

Das mit den verschiedenen Aufnahmegrenzen hergeleitete Totholzvolumen ist die Berechnungsgrundlage für ein Kohlenstoffinventar. In Bezug auf eine möglichst vollständige Schätzung des Kohlenstoffes ist abzuwägen, welche Aufnahmegrenzen für Totholzobjekte als Optimum festzulegen sind.

Tabelle 9: Übersicht zu den ausgewählten Verfahren zur Totholzerfassung (gelb hinterlegte Felder waren nicht Gegenstand der Untersuchung)

	BWI <sup>2</sup>	Bestockungsinventur Baden-Württemberg	Österreichische Waldinventur	LFI3: Erfassung von liegendem Totholz	ForestBIOTA	BIOSOIL
<b>Zielstellung</b>						
Vorrat	x	x	x	x		
Kohlenstoffbilanz	x	x	x	x		
Biodiversität	x	x	x	x	x	x
Stoffkreislauf		x				x
<b>Raumbezug</b>						
international					x	x
national	x		x	x		
regional		x				
großräumig	x	x	x	x		x
punktuell					x	
<b>Aufnahmeintensität</b>						
permanent	x	x	x	x	x	x
temporär						
<b>Stichprobendesign</b>						
Probekreise	x	x	x		x	x
Probekreisgröße (Radius)	5 m (stehendes und liegendes TH)	5 m (stehendes TH)			7 m (4 Kreise)	r <sub>3</sub> =25,24 m; r <sub>2</sub> =11,28 m; r <sub>1</sub> =3,09 m
Linienstichprobe		liegendes TH		x		
Cluster		x			50 m x 50 m	
<b>Auswahlkriterien der Totholzobjekte</b>						
stehende Bäume	BHD ≥ 20 cm	BHD ≥ 5 cm	BHD ≥ 5 cm		BHD ≥ 5 cm, Stammfuß muss innerhalb des plots liegen	r <sub>1</sub> =3,09 m: H > 130 cm; r <sub>2</sub> =11,28 m: BHD ≥ 10 cm; r <sub>3</sub> =25,24 m: BHD ≥ 50 cm
Baumstümpfe	BHD ≥ 20 cm	BHD ≥ 5 cm	BHD ≥ 5 cm		BHD ≥ 5 cm, Stammfuß muss innerhalb des plots liegen, H ≥ 130 cm	H > 130 cm, D > 10 cm, Mittelpunkt des Baumstumpfes innerhalb des subplots
Wurzelstöcke	Schnittflächendurchmesser ≥ 60 cm oder H ≥ 50 cm bei Schnittflächendurchmesser ≥ 20 cm	Schnittflächendurch- messer ≥ 20 cm	D ≥ 20 cm und H < 1,3 m		D ≥ 10 cm an Schnitt- oder Bruchstelle, mehr als 50% des Wurzelstockes muss innerhalb des subplots liegen, Höhe < 1,3 m	H < 130 cm, Schnittflächendurchmesser > 10 cm, Mittelpunkt des Wurzelstockes innerhalb des subplots



liegende Totholzobjekte	D ≥ 20 cm am dicken Ende, dickes (wurzelseitiges) Ende innerhalb des Probekreises, Mindestlänge 10 cm	D ≥ 5 cm	Unterteilung in TH mit D < 20 cm und D > 20 cm	wenn Längsachse von Transekt geschnitten wird, D > 7 cm	D ≥ 5 cm am stärkeren Ende, stärkeres Ende muss innerhalb des subplots liegen	D > 10 cm am stärkeren Ende, mehr als 50 % des stärkeren Endes innerhalb des subplots
<b>Aufnahmemerkmale</b>						
Baumart	Nadelholz/Laubholz (außer Eiche)/Eiche	Nadelholz/Laubholz (außer Eiche)/Eiche	nur bei Dürrlingen mit BHD > 5 cm	-	-	nach BIOSOIL-Artenliste (ca. 130 Baumarten)
Zersetzungsgrad	4 Stufen nach Albrecht (1990)	4 Stufen nach Albrecht (1990)	3 Stufen	-	5 Stufen nach Hunter (1990)	5 Stufen nach Hunter (1990)
Durchmesser	BHD (stehendes TH), Mittendurchmesser (liegendes TH), Schnittflächendurchmesser (Wurzelstöcke)	BHD (stehendes TH), Schnittflächendurchmesser (Wurzelstöcke)	BHD (stehendes TH), Durchmesserklassen (liegendes TH, Wurzelstöcke)	Kreuzmessung des Durchmessers am Schnittpunkt Zentralachse und Transekt	BHD (stehende, liegende tote Bäume TH), Mittendurchmesser (liegende Totholzteile), Schnittflächendurchmesser (Wurzelstöcke)	D (Baumstümpfe, Wurzelstöcke), Mittendurchmesser (liegende Totholz)
Höhe/Länge	H (stehendes TH, Wurzelstöcke), L (liegendes TH)	H (stehendes TH, Wurzelstöcke)	H (stehendes TH, Längenklassen (liegendes TH, Wurzelstöcke)	-	H (stehendes TH, Wurzelstöcke), L (liegendes TH)	H (Baumstümpfe, Wurzelstöcke), L (liegendes TH)
<b>Volumenermittlung Einzelobjekt</b>						
stehende Bäume	BHD u. Höhe -> Berechnung mit BWI-Programm BDAT	analog BWI	Volumen- bzw. Formzahl-funktionen		aus Ertragstafeln abgeleitete Formzahlwerte	?
Baumstümpfe	BHD u. modellierte Höhe -> Berechnung mit BWI-Programm BDAT	analog BWI	Volumen- bzw. Formzahl-funktionen		Anwendung Reduktionsfaktor auf aus Ertragstafeln abgeleitete Formzahlwerte	?
Wurzelstöcke	Höhe u. Schnittflächendurchmesser -> Zylinderformel	analog BWI	Hubersche Formel		Hubersche Formel	?
liegende Totholzobjekte	Mittendurchmesser u. Länge -> Zylinderformel	analog BWI	Hubersche Formel	$\hat{x}_j = \frac{\pi^2}{8L_j} \sum_{i=1}^N \left( \frac{d_{1i} + d_{2i}}{2} \right)^2 \frac{1}{\cos(\alpha_i)}$	Hubersche Formel	?
<b>Quelle</b>	BMELV (Hrsg.), 2001, Dahm, 2006	Kändler, 2006	Schieler & Hauk, 2001; Gabler & Schadauer, 2006	Böhl, 2005, Keller (Red.), 2005	ForestBIOTA, 2006; Travaglini & Chirici, 2006	Bastrup-Birk et al., 2006

## 5 Ausblick

Die Erfassung von Totholz in Deutschland ist ein vergleichsweise neuer thematischer Schwerpunkt im Bereich der forstlichen Forschung. Neben seinen vielfältigen Funktionen als Lebensraum und strukturbildende Größe ist Totholz ein wesentlicher Bestandteil des Stoffkreislaufes von Wäldern. Aufgrund der Erfüllung der Berichtspflichten des Artikels 3.4 des Kyoto-Protokolls werden bis zum Beginn der ersten Verpflichtungsperiode der Treibhausgasberichterstattung 2008 robuste Angaben zum Totholzvorrat in Wäldern benötigt, um die aktuellen, darin gespeicherten Kohlenstoffmengen zu erfassen. Aus diesen Gründen bedarf es der Weiterentwicklung und Anpassung operationaler methodischer Grundlagen als auch Verfahren zur Erhebung flächendeckender Daten zum Totholzvorrat in Deutschland.

In den vergangenen Jahren hat sich Totholz zu einem Parameter entwickelt, der bei zahlreichen forstlichen Inventuren in Deutschland und Europa erhoben wird. Allerdings sind die Intensität und der Detaillierungsgrad der Totholzaufnahmen von den Zielstellungen und Genauigkeitsanforderungen der jeweiligen Inventur abhängig. So wurden beispielsweise im Rahmen der BWI<sup>2</sup>, deren Schwerpunkt insbesondere auf klassischen Inventurergebnissen wie Holzvorrat, Nutzung und Zuwachs liegt, auch ökologische Merkmale wie die Naturnähe der Baumarten-Zusammensetzung und die Erfassung der Totholzmenge erhoben. Im Vergleich zur Datenerhebung mittels einer Mehrzweckinventur unterscheidet sich davon eine auf die Erfassung von Biodiversitätsparametern ausgerichtete Inventur, wie z. B. BIOSOIL, denn bei dieser stehen nur ein oder wenige Merkmale im Fokus der Untersuchungen, die dann mit einem konkret darauf zugeschnittenen Verfahren validiert werden. Grundsätzlich ist eine Verknüpfung dieser beiden Ansätze vorstellbar. Damit könnten Synergieeffekte genutzt werden, da beide Inventuren auf flächendeckenden systematischen Stichprobennetzen beruhen, wobei die unterschiedlichen Stichprobendichten entsprechend der Genauigkeitsanforderungen aufeinander abzustimmen wären, um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu ermitteln. Aufgrund der niedrigeren Aufnahmegrenzen der BIOSOIL-Erhebungen könnten diese Daten in Kombination mit den BWI<sup>2</sup>-Daten zur Modellierung eines „erweiterten“ Gesamttotholzvorrates untersucht werden.

Daneben sind außerdem die Möglichkeiten der Einbindung der Angaben zum Totholzvolumen in deutschen Wäldern, die mit den Verfahren der Bestockungsinventur in Baden-Württemberg und des europäischen ForestBIOTA-Projektes erhoben wurden, für die Berechnung des Totholzvorrates für Deutschland zu analysieren. Obgleich die Resultate beider Inventuren nur auf regionaler (Baden-Württemberg) bzw. punktueller Ebene (ForestBIOTA-Studie) gültig sind, beinhalten sie wertvolle Erfahrungen zu verschiedenen Totholzinventurverfahren, Datenauswertungsprozeduren, Totholzvolumina und Genauigkeitsangaben für ausgewählte Bestockungen.

Bei der Erhebung von Totholz werden neben unterschiedlichen methodischen Ansätzen ebenso verschiedene Definitionen verwendet. Dabei wirken sich insbesondere unterschiedliche Aufnahmegrenzen von Totholz auf die Schätzungen der Totholzvorräte aus. Vor dem Hintergrund der Erstellung eines vollständigen Kohlenstoffinventars ist zu klären, welche Aufnahmeschwellen für Totholzobjekte festgelegt werden sollen, um ein effizientes Kosten-Nutzen-Verhältnis bei der Wahl des Totholzerhebungsverfahrens berücksichtigen zu können. Für diese Fragestellung ist der Zusammenhang zwischen den Erfassungsgrenzen des Totholzes und dem Totholzvolumen bzw. des Kohlenstoffvorrates oder der Biodiversität von Bedeutung. Entscheidend ist dabei insbesondere die Entwicklung dieser Parameter bei einer Änderung der Aufnahmegrenze der Durchmesser. Ebenso sollte der Einfluss von Totholz im

Vergleich zu anderen Komponenten des Ökosystems Wald, wie Boden, Humus und lebende Bäume, in Hinblick auf ihren Stellenwert bezüglich des Nährstoffhaushaltes, der Biodiversität und des Kohlenstoffkreislaufes einbezogen werden.

Bei Großrauminventuren ist im Weiteren zu berücksichtigen, dass regionale Schadereignisse die Ergebnisse des gesamten Inventurraums beeinflussen können. Dies ist beispielsweise bei flächigen Kalamitäten oder nach Sturmereignissen der Fall, welche im Mittel zu deutlich höheren Totholzvorräten für die betroffenen Regionen (z. B. Bundesländer) führen können (Reif et al., 2005). Für eine effiziente Auswertung des Totholzes empfiehlt sich eine Stratifizierung der Stichprobeneinheiten, z. B. nach stehendem und liegendem Totholz, nach Waldflächen mit oder ohne Sturmwurfschäden (Cochran, 1977, Zöhrer, 1980, Riedel, 2007).

Auf Basis des ermittelten Totholzvolumens können unterschiedliche methodische Verfahren zur Schätzung der entsprechenden Kohlenstoffvorräte eingesetzt werden. Diese reichen von der lokalen Ebene, d. h. einzelbaumweise Kohlenstoffberechnungen, über die bestandesbezogene Ebene bis hin zu großräumigen, flächenbezogenen Kohlenstoffschätzungen (Smith et al., 2004). Nach Herleitung der Biomasse des Totholzes wird mittels Kohlenstoffumrechnungsfaktoren der Kohlenstoffvorrat berechnet (Lehtonen et al., 2004, Wirth et al., 2004, Riedel et al., 2006).

Die präzise Formulierung der Inventurziele und der Genauigkeitsanforderungen ist die Voraussetzung für die Festlegung des Stichprobendesigns (z. B. Stichprobendichte, Stichprobeneinheiten (Linien, Probekreise, Cluster), Aufnahmegrenzen) und die Wahl des Auswertungsverfahrens der Totholzerhebung in deutschen Wäldern. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die Wahl des Hochrechnungsverfahrens die benötigte Genauigkeit der Totholzerfassung beeinflussen kann. Umgekehrt schränken die gewählten Inventurverfahren die Auswertungsverfahren ein.

## 6 Abkürzungsverzeichnis

AFL	Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten
BHD	Brusthöhendurchmesser
BWI	Bundeswaldinventur
BZE	Bodenzustanderhebung
CIR	Color-Infrarot
CWD	coarse woody debris
D	Durchmesser
FIA	Forest Inventory and Analysis
FWD	fine woody debris
ForestBIOTA	Forest Biodiversity Test-phase Assessments
H	Höhe
L	Länge
LFI	Schweizerische Landesforstinventar
LIS	Linien-Intersekt-Stichprobe (= line intersect sampling)
ÖWI	Österreichische Waldinventur
PRS	Punkt-Relaskop-Stichprobenverfahren (= point relascope sampling)
TH	Totholz
TRS	Transekt-Relaskop-Stichprobe (= transect relascope sampling)

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gliederung des Totholzes nach Zustandstypen und Zersetzungsgraden (Albrecht, 1990) .....	3
Abbildung 2:	Zersetzungsgradschlüssel für die Rotbuche (Müller-Using & Bartsch, 2003).....	5
Abbildung 3:	Formeln zur Voluminierung einzelner Stammstücke (Nagel, 2001) .....	11
Abbildung 4:	Erfassung von Totholz bei der BWI <sup>2</sup> mittels Probekreisinventur (nach BMVEL, 2001).....	13
Abbildung 5:	Anordnung der Stichproben eines BZE-Inventurtraktes (Kändler, 2006) .....	16
Abbildung 6:	Erhebungstrakt der Österreichischen Waldinventur (Schieler & Hauk, 2001).....	17
Abbildung 7:	Inventurmerkmale am liegenden Totholz mit einem Durchmesser > 20 cm (Schieler & Hauk, 2001) .....	18
Abbildung 8:	Aufbau einer terrestrischen LFI3-Probefläche. Die drei Transekte liegen über den konzentrischen Probekreisen (Keller (Red.), 2005). .....	20
Abbildung 9:	Messung von Durchmessern an den Schnittpunkten Totholzstück – Transekt (Keller (Red.), 2005) .....	21
Abbildung 10:	Erfassung von Totholz im LFI3 (Keller (Red.), 2005) .....	21
Abbildung 11:	FIA-Stichprobendesign zur Erfassung von liegendem Totholz (USDA Forest Service, 2005).....	24
Abbildung 12:	Skizze der Aufnahmeeinheiten für Totholz nach dem ForestBIOTA-Manual (ForestBIOTA, 2006).....	25
Abbildung 13:	Zersetzungsgrade von Totholz nach Hunter (1990).....	26
Abbildung 14:	Totholzvorräte ausgewählter Level II-Flächen (Travaglini & Chirici, 2006).....	28
Abbildung 15:	Aufbau der BIOSOIL-Probefläche (Bastrup-Birk et al., 2006) .....	29
Abbildung 16:	Messung des Durchmessers und der Höhe von Baumstümpfen gemäß BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006) .....	30
Abbildung 17:	Messung von Länge und Durchmesser in der Hälfte der Länge eines liegenden starken Totholzobjektes gemäß BIOSOIL-Manual (Bastrup-Birk et al., 2006).....	31

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassifikation der Zersetzungsgrade (Winter, 2005) .....	4
Tabelle 2:	Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile der festen Probestfläche und der Linienschnittprobe.....	8
Tabelle 3:	Totholzarten und ihre Luftbildsichtbarkeit aus CIR-Luftbildern im belebten Zustand (AFL, 2003) .....	10
Tabelle 4:	Verfahren zur Kubierung einzelner Totholzobjekte (Meyer, 1999) .....	11
Tabelle 5:	Verteilung des liegenden Totholzes < 20 cm (Schieler & Hauk, 2001) .....	18
Tabelle 6:	Aufnahmeregeln und Aufnahmeparameter für Totholz gemäß ForestBIOTA-Manual (ForestBIOTA, 2006) .....	26
Tabelle 7:	Auszug aus den Erhebungen auf den BIOSOIL-Untersuchungsflächen für den Parameter Totholz (Bastrop-Birk et al., 2006) .....	29
Tabelle 8:	Code-Tabelle zum Zersetzungsgrad von Totholz, BIOSOIL-Manual (Bastrop-Birk et al., 2006).....	29
Tabelle 9:	Übersicht zu den ausgewählten Verfahren zur Totholzerfassung .....	34

## 9 Literaturverzeichnis

- AFL (Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpretieren) (Hrsg.) (2003): Luftbild-Interpretation, Bestimmungsschlüssel für die Beschreibung von strukturreichen Waldbeständen im Color-Infrarot-Luftbild, Landesforstpräsidium Sachsen, *Schriftenreihe* 26, 49 S.
- Albrecht, L. (1990): Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung und Naturwaldreservaten. Schriftenreihe Naturwaldreservate in Bayern 1, München, 219 S.
- Albrecht, L. (1991): Die Bedeutung des toten Holzes in Naturwaldreservaten, *Forstw. Cbl.* 110: 106 - 113
- Ammer, U. (1991): Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforschung für die forstliche Praxis. - *Forstw. Cbl.* 110: 149-157.
- Bastrup-Birk, A.; Neville, P.; Chirici, G.; Houston, T. (2006): The BioSoil Forest Biodiversity Field Manual, Version 1.0/1.1/1.1a, For the field assessment 2006-2007, Forest Focus Demonstration Project BIOSOIL 2004-2005, 51 S.
- Bell, G.; Kerr, A.; McNickle, D.; Woollons, R. (1996) Accuracy of the line intersect method of post-logging sampling under orientation bias. *Forest Ecology and Management*, 84: 23-28.
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2001): Aufnahmeanweisung für die Bundeswaldinventur II (2001 - 2002), 2. korrigierte, überarbeitete Ausgabe, Mai 2001, Bonn.
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2004): Die zweite Bundeswaldinventur - BWI<sup>2</sup> - Das Wichtigste in Kürze. 89 S.
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (Hrsg.) (2005): Die zweite Bundeswaldinventur - BWI<sup>2</sup>: Der Inventurbericht. 231 S.
- Böhl, J. (2005): Erfassung von liegendem Totholz im 3. schweizerischen Landesforstinventar, *Die Grüne Reihe* (ISSN 1860 - 4064), 61 - 66.
- Bütler, R. & Schlaepfer, R. (2004): Spruce snag quantification by coupling colour infrared aerial photos and a GIS, *Forest Ecology and Management* 195, 325 - 339.
- Brown, S.L. & Schroeder, P.E. (1999): Spatial patterns of aboveground production and mortality of woody biomass for eastern US forests, *Ecological Applications* 9 (3), 968 - 980.
- Cochran, W. G. (1977): Sampling Techniques. John Wiley & Sons, New York
- Chojnacky, D. C.; Heath, L. S. (2002): Estimating down deadwood from FIA forest inventory variables in Maine, *Environmental Pollution* 116 (1), 25 - 30.
- Chojnacky, D. C.; Schuler, T. M. (2004): Amounts of down woody materials for mixed-oak forests in Kentucky, Virginia, Tennessee, and North Carolina, *Southern Journal of Applied Forestry* 28 (2), 113 - 117.
- Dahm, S. (2006): Auswertungsalgorithmen für die zweite Bundeswaldinventur. Arbeitsbericht der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, 38 S.
- Delisle, G. P.; Woodard, P. M.; Titus, S. J.; Johnson, A. F. (1988) Sample size and variability of fuel weight estimates in natural stands of lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 649-652.
- Ducey, M. J.; Jordan, G. J.; Gove, J. H.; Valentine, H. T. (2002): A practical modification of horizontal line sampling for snag and cavity tree inventory, *Canadian Journal of Forest Research* 32 (7), 1217 - 1224.
- Erdmann, M.; Wilke, H. (1997): Quantitative and qualitative deadwood inventory in commercial beech forests, *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 116 (1), 16 - 28.

- Fensham, R. J. (2005): Monitoring standing dead wood for carbon accounting in tropical savanna, *Australian Journal of Botany* 53, 631 - 638.
- ForestBIOTA (2005): FOREST TYPE CLASSIFICATION within the EU/ICP Forests Biodiversity Test-Phase (ForestBIOTA), [http://www.forestbiota.org/docs/ForestTypes\\_classification2000.pdf](http://www.forestbiota.org/docs/ForestTypes_classification2000.pdf) (Stand: 10.12. 2006)
- ForestBIOTA (2006): ForestBIOTA (Forest Biodiversity Test-phase Assessments). Stand structure assessment including deadwood within the EU/ICP Forests Biodiversity Test-Phase (ForestBIOTA), [http://www.forestbiota.org/docs/cccstruct1\\_revMay06.pdf](http://www.forestbiota.org/docs/cccstruct1_revMay06.pdf). (Stand: 18.12. 2006)
- Frei, U.; Kellenberger, T.; Meuret, P.; Lencinas, J.; Ginzler, C.; Schwarz, M. (2003): Pilotprojekt LB-SNP 2000, Teilprojekt B: Digitale, automatisierte Auswerteverfahren, Schlussbericht, Remote Sensing Laboratories (RSL) & Eidgenössische Forschungsanstalt (WSL)
- Fridman, J.; Walheim, M. (2000): Amount, structure and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden, *Forest Ecology and Management* 131, 23 - 36.
- Fuchs, H.-J. (2003): Methodische Ansätze zur Erfassung von Waldbäumen mittels digitaler Luftbilddauswertung. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen; Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie.
- Gabler, K.; Schadauer, K. (2006): Methoden der Österreichischen Waldinventur 2000/2002 – Grundlagen, Entwicklung, Design, Daten, Modelle, Auswertung und Fehlerrechnung, BFW-Berichte, Schriftenreihe des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Nr. 135, Wien, 132 S.
- Gove, J. H.; Ringvall, A.; Stahl, G.; Ducey, M. D. (1999): Point relascope sampling of downed coarse woody debris. *Can. J. For. Res.* 29: 1718 - 1726
- Gove, J. H.; Ducey, M. J.; Valentine, H. T. (2002): Multistage point relascope and randomized branch sampling for downed coarse woody debris estimation, *Forest Ecology and Management* 155, 153 - 162.
- Green, P.; Peterken, G. F. (1997): Variation in the amount of deadwood in the woodlands of the Lower Wye Valley, UK in relation to the intensity of management, *Forest Ecology and Management* 98: 229 - 238
- Guby, N. A. B.; Dobbartin, M. (1996): Quantitative estimates of coarse wooded debris and standing trees in selected Swiss forests, *Global Ecology and Biogeography Letters* 5: 327-341.
- Harmon, M. E.; Sexton, J. (1996): Guidelines for Measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. Publication No. 20. US Long-term Ecological Research Network Office, University of Washington
- Herrmann, S. (2007): Zersetzungsdynamik und Kohlenstoffspeicherung liegenden Totholzes der Baumarten Buche, Fichte und Kiefer; *Mitteilungen der GFH Freiburg*, 21 (01), 10-11
- Hessenmöller, D. (2005): Zur Totholzkartierung im Wirtschaftswald - am Beispiel des Naturschutzgebietes „Aspenbusch“, *Forst und Holz* 60 (10), 421 - 423.
- Hildebrandt, G. (1975): Ermittlung der Länge linienförmiger Geländeobjekte, *Allg. Forstzeitschrift* 30, 29 - 31
- Hoffmann, B. (2001): Untersuchung zum Monitoring von Naturwäldern mit Hilfe von Geo-Informationssystemen, modernen Luftbilddauswertungsverfahren und Geostatistik – dargestellt am Beispiel des nordrhein-westfälischen Naturwaldreservates Hellerberg. Diss. Univ. Göttingen. Cuvillier Verlag.
- Hunter, M.L. (1990): Wildlife, forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 370 p.
- Huston, M.; McVicker, G.; Nielsen, J. (1999): A function approach to ecosystem management: Implications for species diversity. In: Szaro, R. C.; Johnson, N. C.; Sexton, W. T.; Malk, A. J.: Ecological Stewardship – A common reference for ecosystem management Vol. II: 45 - 85
- Huston, M. A.; Marland, G. (2003): Carbon management and biodiversity, *Journal of Environmental Management* 67, 77 – 86



- Iost, A.; Köhl, M.; Kroiher, F.; Oehmichen, K.; Polley, H.; Riedel, T. (2006): Schlussbericht zum Projekt „Bundeswaldinventur: Weiterentwicklung des Inventurverfahrens durch Integration von Erdbeobachtungsdaten“. *Technischer Bericht*, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Waldökologie und Walderfassung, Eberswalde.
- Juutinen, A.; Minkkinen, M.; Sippola, A. L. (2006): Cost-efficiency of decaying wood as a surrogate for overall species richness in boreal forests, *Conservation Biology* 20 (1), 74 - 84.
- Kändler, G. (2006): Bestockungsinventur auf den Stichproben der Bodenzustandserhebung 2006, FVA-einblick 2/2006, 11 - 12
- Keller, M. (Red.) 2005: Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Felddaufnahmen der Erhebung 2004-2007, Birmensdorf. Eidg. Forschungsanstalt WSL, 393 S.
- Kohv, K. & Liira, J. (2005): Anthropogenic effects on vegetation structure of the boreal forest in Estonia, *Scandinavian Journal of Forest Research* 20, 122 - 134.
- Kramer, H.; Akca, A. (1995): Leitfaden zur Waldmesslehre. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- Krankina, O.N.; Harmon, M.E.; Kukuev, Y.A.; Treyfeld, R.F.; Kashpor, N.N.; Kresnov, V.G.; Skudin, V.M.; Protasov, N.A.; Yatskov, M.; Spycher, G. & Povarov, E.D. (2002): Coarse woody debris in forest regions of Russia, *Canadian Journal of Forest Research* 32 (5), 768 - 778.
- Kublin, E. und Scharnagl, G. (1988): Verfahrens- und Programmbeschreibung zum BWI-Unterprogramm BDAT, FVA-Freiburg, 87 S.
- Kurz, W. A.; Apps, M.; Banfield, E.; Stinson, G. (2002): Forest carbon accounting at the operational scale, *Forestry Chronicle* 78 (5), 672 - 679.
- Lämas, T.; Fries, C. (1995): An integrated forest inventory in a managed north-Swedish forest landscape for estimating growing stock and coarse woody debris. In: Köhl, M.; Bachmann, P.; Brassel, P.; Preto, G. (eds.), The Monte Verita Conference on Forest Survey Designs. May 2 – 7, 1994, Monte Verita, Schweiz
- Larsson, T. B.; Angelstam, P.; Balent, G.; Barbati, A.; Bijlsma, R.-J.; Boncina, A. (2001): Biodiversity evaluation tools for European forests, *Ecological Bulletins* 50: 237 p.
- Lehtonen, A.; Mäkipää, R.; Heikkinen, J.; Sievänen, R.; Liski, J. (2004): Biomass expansion factors (BEF) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188: 211 - 224.
- Marshall, P. L.; Davis, G.; LeMay, V. M. (2000): Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris. *Forest Research Technical Report (TR-003)*, Vancouver Forest Region, 34 S.
- Mason, F. (2003): Guidelines and aims of the Project Life NAT/IT/99/006245 “Bosco della Fontana: urgent conservation actions on relict habitat”, 41 - 43, In: Mason, F.; Nardi, G.; Tisato, M. (eds.), *Proceedings of the International Symposium “Deadwood: a key to biodiversity”*, Mantova, May 29th - 31th 2003. Sherwood 95, Suppl. 2
- MCPFE (2003): State of Europe's Forests 2003 - The MCPFE Reports on Sustainable Forest Management in Europe, Vienna, Austria
- Mehrani-Mylany, H.; Hauk, E. (2004): Totholz – auch hier deutliche Zunahmen, *BFW Praxis Information* Nr. 3, 21 - 23
- Meyer, P. (1999): Dead wood research in forest reserves of Northwest-Germany: methodology and results, *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118 (3), 167 - 180.
- Meyer, P., Ackermann, J., Balcar, P., Boddenberg, J., Detsch, R., Förster, B., Fuchs, H., Hoffmann, B., Keitel, W., Köbel, M., Köthke, C., Koss, H., Unkrig, W., Weber, J., Willig, J. (2001): Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten, IHW-Verlag, Elching
- Meyer, P.; Bartsch, N.; Wolff, B. (2003): Methoden der Totholzerfassung im Wald, *Forstarchiv* 74, 263 - 274.

- Mikusinski, G. & Edenius, L. (2006): Assessment of spatial functionality of old forest in Sweden as habitat for virtual species, *Scandinavian Journal of Forest Research* 21, 73 - 83.
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.) (2004): Lebensräume und Arten der FFH-Richtlinie in NRW. Beeinträchtigungen, Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen, Bewertung des Erhaltungszustandes, 172 S., [http://www.natura2000.munlv.nrw.de/ffh-broschuere/ffh\\_broschuere\\_akt2005.pdf](http://www.natura2000.munlv.nrw.de/ffh-broschuere/ffh_broschuere_akt2005.pdf) (Stand: 15.02.2007)
- Montes, F. & Canellas, I. (2006): Modelling coarse woody debris dynamics in even-aged Scots pine forests', *Forest Ecology and Management* 221, 220 - 232.
- Möller, G. (1993): Holzbewohnende Insekten und Pilze – Ökologie, Gefährdungssituation, Schutzmaßnahmen. Sitzungsberichte der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin 32, 97 - 121
- Müller-Using, S. & Bartsch, N. (2003): Totholzodynamik eines Buchenbestandes (*Fagus sylvatica* L.) im Solling. Nachlieferung, Ursache und Zersetzung von Totholz, *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 174 (7), 122 - 130.
- Nagel, J. (1999): Volumenermittlung von stehendem und liegendem Totholz. NUA-Seminarbericht Band 4, Natur- und Umweltschutz Akademie des Landes Nordrhein-Westfalen (NUA), 311-314.
- Nagel, J. (2001): Skript Waldmesslehre, Universität Göttingen, <http://wwwuser.gwdg.de/~jnagel/wamel.pdf> (Stand: 10.12.2006)
- Nemec, A. F. L.; Davis, G. (2002): Efficiency of six line intersect sampling designs for estimating volume and density of coarse woody debris. Res. Sec., Van.For. Reg., B.C. Min. For., Nanaimo, British Columbia. *Tech. Rep.* TR-021/2002., 12 p.
- O’Hehir, J. F.; Leech, J. W. (1997) Logging residue assessment by line intersect sampling. *Australian Forestry*, 60: 196 - 201.
- Oehmichen, K., 2007: Satellitengestützte Waldflächenkartierung für die Bundeswaldinventur, Dissertation, Universität Hamburg, 105 S., <http://www.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/2007/3172/>
- Pickford, S. G.; Hazard, J. W. (1978) Simulation studies on line intersect sampling of forest residue. *Forest Science*, 24: 469-483.
- Ranius, T.; Jonsson, B.G. & Kruys, N. (2004): Modeling dead wood in Fennoscandian old-growth forests dominated by Norway spruce, *Canadian Journal of Forest Research* 34 (5), 1025 - 1034.
- Rat der Europäischen Gemeinschaften (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Reihe L 206: 7-50
- Reif, A.; Wagner, U.; Bieling, C. (2005): Analyse und Diskussion der Erhebungsmethoden und Ergebnisse der zweiten Bundeswaldinventur vor dem Hintergrund ihrer ökologischen und naturschutzfachlichen Interpretierbarkeit, *BfN-Skripten* 158, Bundesamt für Naturschutz, Bonn, 47 S.
- Riedel, T.; Köhl, M.; Kenter, B. (2006): CarboInvent - the bottom-up approach. Error budgets for carbon stock estimates in a combined inventory. In: Proc. Open science conference on the GHG cycle in the northern hemisphere, Sissi-Lassithi/ Kreta, 14.-18.11.2006. Jena: MPI für Biogeochemie 2006, S. 38.
- Riedel, T. (2007): Evaluierung alternativer Inventurdesigns für die Bundeswaldinventur. Dissertation, Universität Hamburg, (in Vorbereitung).
- Ringvall, A. & Stahl, G. (1999): On the field performance of transect relascope sampling for assessing downed coarse woody debris, *Scandinavian Journal of Forest Research* 14 (6), 552 - 557.
- Ringvall, A.; Stahl, G.; Teichmann, V.; Gove, J.H. & Ducey, M.J. (2001): Two-phase approaches to point and transect relascope sampling of downed logs, *Canadian Journal of Forest Research* 31 (6), 971 - 977.
- Roth, A.; Kennel, E.; Knoke, T. & Matthes, U. (2003): Line intersect sampling: An efficient method for sampling of coarse woody debris? *Forstw. Cbl.* 122 (5), 318 - 336.

Schadauer, K. (2004): Die Österreichische Waldinventur 200/2002 – Vielfältige Informationen aus erster Hand. *BFW Praxis Information* Nr. 3, 3-4

Scherzinger, W. (196): Naturschutz im Wald, Eugen Ulmer, Stuttgart, 447 S.

Schieler, K.; Hauk, E. (2001): Instruktion für die Feldarbeit - Österreichische Waldinventur 2000/2002, Dienstanweisung, FBVA; Wien 2001, 199 S.

Schuck, A.; Meyer, P.; Menke, N.; Lier, M.; Lindner, M. (2004): Forest Biodiversity Indicator: Dead Wood - A Proposed Approach towards Operationalising the MCPFE Indicator. In: Marchetti M, editor. Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe - From Ideas to Operationality. *EFI proceedings* 51, 2004. p. 49-77.

Shvidenko, A. & Nilsson, S. (2003): A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961-1998, *Tellus Series B - Chemical and Physical Meteorology* 55 (2), 391 - 415.

Siitonen, J.; Martikainen, P.; Punttila, P.; Rauh, J. (2000): Coarse woody debris and stand characteristics in mature, managed and boreal mesic forests in southern Finland, *Forest Ecology and Management* 128: 211 - 225

Smith, J.E.; Heath, L.S. & Woodbury, P.B. (2004): How to estimate forest carbon for large areas from inventory data, *Journal of Forestry* 102, 25 - 31.

Stahl, G. (1998): Transect relascope sampling: A method for the quantification of coarse woody debris, *Forest Science* 44 (1), 58 - 63.

Stahl, G.; Ringvall, A.; Friedmann, J. (2001): Assessment of coarse woody debris - a methodical overview. *Ecological Bulletins* 49, 57 - 70.

Stahl, G.; Ringvall, A.; Gove, J.H. & Ducey, M.J. (2002): Correction for slope in point and transect relascope sampling of downed coarse wood, *Forest Science* 48 (1), 85 - 92.

Stokland, J.N.; Tomter, S.M.; Söderberg, U. (2004): Development of Dead Wood Indicators for Biodiversity Monitoring: Experiences from Scandinavia. In: Marchetti M, editor. Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operationality. *EFI proceedings* 51, 2004. p. 207-226.

Stümer, W.; Köhl, M. (2005): Kombination von terrestrischen Aufnahmen und Fernerkundungsdaten mit Hilfe der k-Nächste-Nachbarn-Methode zur Klassifizierung und Kartierung von Wäldern, *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* 1: 23 – 36

Suter, W.; Schielly, B. (1998): Liegendes Totholz: Ein wichtiges Strukturmerkmal für die Habitatqualität von Kleinsäugetern und kleinen Carnivoren im Wald. - *Schweiz. Z. Forstwes.* 149: 795-807.

Talvitie, M.; Leino, I. & Holopainen, M. (2006): Inventory of sparse forest populations using adaptive cluster sampling, *Silva Fennica* 40, 101 - 108.

Thomas, A.; Mrotzek, R.; Schmidt, W. (1995): Biomonitoring in naturnahen Buchenwäldern. Aufgaben, Methoden und Organisation eines koordinierten Biomonitoringsystems in naturnahen Waldökosystemen in der Bundesrepublik Deutschland, *Angew. Landschaftsökologie* 6, 150 S.

Tietje, W.D.; Waddell, K.L.; Vreeland, J.K.; Bolsinger, C.L. (2002): Coarse woody debris in oak woodlands of California, *Western Journal of Applied Forestry* 17 (3), 139 - 146.

Travaglini, D.; Chirici, G. (2006): Deadwood assessment - ForestBIOTA project, Forest Biodiversity Test-phase Assessments, Work report, Accademia Italiana di Scienze Forestali, 19 S.

USDA Forest Service (2005): 3.0 Phase 3 Field Guide – Down Woody Materials, October, 2005. USDA Forest Service. 38 p.

Vacik, H.; Egger, A.; Koch, G.; Kirchmeir, H. (2000): Totholzerhebung im Rahmen der Hemerobiebewertung in Südtirols Wäldern, *Cbl. Ges. Forstw.* 117 (2), 115 - 132

Van Wagner, C. E. (1968): The Line Intersect Method In Forest Fuel Sampling, *Forest Science* 14, 20 – 26.

- Van Wagner, C. E.; Wilson, A. L. (1976): Diameter measurement in the Line Intersect Method, *Forest Science* 14, 20 – 26.
- Wadell, K. L. (2001): Sampling coarse woody debris for multiple attributes in extensive resource inventories. *Ecological Indicators* 1: 139 - 153
- Warren, W. G.; Olsen, P. F. (1964): A line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science* 13: 267 - 276
- Wellbrock, N.; Aydin, C. - T.; Block, J.; Bussian, B.; Deckert, M.; Diekmann, O.; Evers, J.; Fetzer, K. D.; Gauer, J.; Gehrmann, J.; Kölling, C.; König, N.; Liesebach, M.; Martin, J.; Meiwes, K. J.; Milbert, G.; Raben, G.; Riek, W.; Schäffer, W.; Schwerhoff, J.; Ullrich, T.; Utermann, J.; Volz, H. - A.; Weigel, A.; Wolff, B. (2006): Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) Arbeitsanleitung für die Außenaufnahmen. Hrsg. BMELV. Berlin. pp. 413.
- Winter, S. (2005): Ermittlung von Struktur-Indikatoren zur Abschätzung des Einflusses forstlicher Bewirtschaftung auf die Biozönosen von Tiefland-Buchenwäldern, Dissertation TU Dresden, 397 S.
- Wirth, C.; Schumacher, J.; Schulze, E.-D. (2004): Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe - a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology* 24: 121-139
- Woldendorp, G.; Keenan, R. J.; Ryan, M. F. (2002): Coarse Woody Debris in Australian Forest Ecosystems. A Report for the National Greenhouse Strategy, Module 6.6 (Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management), Bureau of Rural Sciences, Canberra, Australia
- Wolff, B.; Pahl, A.; Akca, A. (1997): Waldkundliche Zustandserfassung der Naturwaldzelle Hellberg mit Hilfe von permanenten Stichproben. *Arbeitsbericht des Instituts für Forstökologie und Walderfassung*, Eberswalde, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH), Hamburg, 137 S.
- Woodall, C. W.; Nagel, L. M. (2006): Coarse woody type: A new method for analyzing coarse woody debris and forest change, *Forest Ecology and Management* 227, 115 - 121.
- Zöhrer, F. (1980): Forstinventur. Hamburg & Berlin: Verlag Paul Parey. 207 S.