

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 163 (2012)

**Heft:** 6

**Artikel:** Totholzvolumen und -qualität in ausgewählten Schweizer Naturwaldreservaten

**Autor:** Herrmann, Steffen / Conder, Malgorzata / Brang, Peter

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097666>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Totholzvolumen und -qualität in ausgewählten Schweizer Naturwaldreservaten

Steffen Herrmann  
Malgorzata Conder  
Peter Brang

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)\*  
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Deadwood volume and quality in selected Swiss natural forest reserves

Deadwood is structurally and functionally important for forest ecosystems. To date, there are hardly any data on the amount of deadwood in Swiss natural forests which can serve as reference value for deadwood management in managed forests. In this study, deadwood volumes and qualities (sizes, broadleaf/conifer ratios, decomposition stages) from six natural forest reserves were analysed and compared with data from managed forests as well as from natural and virgin forests. An average of 69 m<sup>3</sup>/ha with a broadleaf proportion of 66% was calculated for the six reserves. Deadwood volume in relation to the total volume was 12% on average. Overall the volume of lying deadwood was double the volume of standing deadwood. The average proportion of large deadwood (diameter >30 cm) was 48% and was higher in snags (52%) than in lying deadwood (46%). Advanced stages of decomposition made up 53% of the lying deadwood. The volumes, sizes and decomposition stages varied greatly within the reserves. In comparison, in the Swiss forests altogether, there is less deadwood (21.5 m<sup>3</sup>/ha, 5% of total volume), the deadwood is thinner (35% large deadwood proportion) and less decayed (proportion of advanced stages of decomposition 10%). However, deadwood volumes in the reserves are considerably lower than those in European natural beech forests and beech virgin forests. The investigated reserves are therefore, 40 to 92 years after the last silvicultural intervention, only at the beginning of the process of acquiring a virgin forest character.

**Keywords:** deadwood, forest reserves, wood decay, Switzerland

**doi:** 10.3188/szf.2012.0222

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail steffen.herrmann@wsl.ch

Totholz ist für das Ökosystem Wald strukturell und funktionell bedeutend (Harmon et al 1986). In liegender und stehender Form ist es insbesondere eine unverzichtbare Lebensgrundlage für viele Arten. Neben der Menge ist auch die Qualität (v.a. Dimension, Zersetzungszustand) des Totholzes bedeutsam, denn von Totholz abhängige Arten bevorzugen unterschiedliche Mikrohabitate (Heilmann-Clausen & Christensen 2003, Hövemeyer & Schauer mann 2003). Weltweit sind 20 bis 25% aller Waldarten auf Totholz angewiesen (z.B. Lindemayer et al 2002). Neben seiner herausragenden Bedeutung für die Waldbiodiversität ist Totholz auch wichtig als Speicher im Kohlenstoffhaushalt (Pregitzer & Euskirchen 2004) und, in Gebirgswäldern, als Substrat für die Baumverjüngung (Eichrodt 1970).

Je nach Baumartenzusammensetzung und Entwicklungsphase sind in europäischen Urwäldern 40 bis 450 m<sup>3</sup> Totholz pro ha vorhanden (Korpel' 1997, Saniga & Schütz 2001). Auch wenn die Totholz mengen in den bewirtschafteten Wäldern Eu-

ropas seit einigen Jahrzehnten zunehmen, sind sie deutlich kleiner als die oben genannten Werte aus Urwäldern. Beispielsweise beträgt das Totholz volumen im Schweizer Wald 21.5 m<sup>3</sup>/ha (Brändli et al 2010). Zudem sind weit fortgeschrittene Zersetzungsstadien und dickes Totholz meist unterrepräsentiert (Bütler & Lachat 2009). Das Volumen, die Stückdimension und der Zersetzungszustand des Totholzes in Naturwaldreservaten (NWR) können Hinweise für das Totholzmanagement in bewirtschafteten Wäldern geben.

Seit 2007 wird im Rahmen der Inventuren in Schweizer NWR auch das Totholz erfasst (Bugmann et al 2011). Dies wird für die vorliegende Untersuchung genutzt, indem die Menge und die Qualität (stehendes/liegendes Totholz, Dimension, Laub-/Nadelholzanteil, Zersetzungsstadium) des Totholzes in sechs ausgewählten NWR analysiert werden. Die Daten stammen aus der Inventur sogenannter Kernflächen, in denen jeder Baum (i.d.R. alle 10 Jahre) individuell erfasst wird.

| Reservat       | Gründungs-<br>jahr | Letzter<br>Eingriff | Untersuchte Kernflächen          |                      | Höhe ü. Meer<br>(m) | Niederschlag<br>(mm) | Temperatur<br>(°C) | Waldgesell-<br>schaft     |
|----------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|
|                |                    |                     | Nummern                          | Gesamtfläche<br>(ha) |                     |                      |                    |                           |
| St-Jean        | 1957               | ≈ 1920              | 1–6                              | 2.08                 | 1300–1380           | 1536                 | 4.7                | 21                        |
| Girstel        | 1961               | ≈ 1957              | 2, 4, 6, 7, 10, 11,<br>21, 25–28 | 2.26                 | 620–770             | 1313                 | 8.3                | 10, 15, 26, 27,<br>61, 62 |
| Unterwilerberg | 1962               | 1962                | 1–3                              | 0.27                 | 450–490             | 1232                 | 9.0                | 7, 17                     |
| Bois de Chênes | 1961               | ≈ 1960              | 1, 2, 4–7, 9, 10, 11             | 5.44                 | 510–570             | 1236                 | 9.4                | 9, 15                     |
| Rinsberg       | 1972               | ≈ 1972              | 1                                | 0.67                 | 500                 | 1200                 | 8.9                | 7                         |
| Josenwald      | 1976               | ≈ 1945              | 3, 4, 8, 9, 11                   | 1.98                 | 560–820             | 1783                 | 7.4                | 9, 15, 25, 40             |
| Derborence     | 1956               | vor 1714            | 1, 2, 6–9, 15–17                 | 4.70                 | 1440–1600           | 1638                 | 4.4                | 50, 48                    |

**Tab 1** Untersuchte Naturwaldreservate. Klimavariablen (Niederschlag und Temperatur) der Schweiz in 100-m-Auflösung, Mittelwerte der Jahre 1976 bis 2006 (Datenquelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz, Datenaufbereitung: Landschaftsdynamik WSL). Waldgesellschaft nach Ellenberg & Klötzli (1972).

Anhand der Untersuchung sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie viel Totholz welcher Qualität ist in den untersuchten NWR vorhanden?
- Wie variieren Menge und Qualität des Totholzes in Abhängigkeit von Reservat und Holzvorrat?
- Inwiefern unterscheiden sich die untersuchten Naturwaldreservate bezüglich Menge und Qualität des Totholzes vom durchschnittlichen Schweizer Wald?

## Material und Methoden

### Untersuchungsstandorte

Für die Untersuchung wurden Daten aus der Inventur von 44 Kernflächen in sechs NWR der Jahre 2007 bis 2009 verwendet (Abbildung 1). Die Kernflächen sind 0.04 bis 1.3 ha (Mittelwert 0.36 ha) gross. Die Reservate liegen vorwiegend in Buchenwaldgesellschaften der kollinen bis montanen Stufe und setzen sich vorwiegend aus Laub- und Laubmischwäldern zusammen (Abbildung 1, Tabelle 1). Die letzte Nutzung erfolgte vor 40 bis 92 Jahren. Zum Vergleich wurden auch Daten aus dem Fichten-Tannen-Urwald Derborence (9 Kernflächen, 0.23 bis

1.25 ha, Mittelwert 0.5 ha) herangezogen (Zollinger 2010), in welchem der letzte Eingriff vor 1714 stattgefunden haben muss.

### Untersuchungsmethoden

#### Liegendes Totholz

Im Rahmen der Kernflächeninventur wurde jedes liegende Stamm- oder Aststück aufgenommen, sofern seine Achse mindestens 50 Gon von der Vertikalen abwich und sich sein dickeres Ende innerhalb der Kernfläche befand. Für die Erfassung musste jedes Stück einen Durchmesser von mindestens 7 cm auf einer Länge von mindestens 2 m oder einen Durchmesser von 36 cm auf mindestens 0.5 m Länge aufweisen (Robin & Brang 2008). Von jedem Stück wurden die Länge sowie der Durchmesser an beiden Enden gemessen, falls möglich mittels kreuzweiser Kluppierung. Das Volumen wurde nach der Formel von Smalian berechnet (Kramer & Akça 1995; Formel 1).

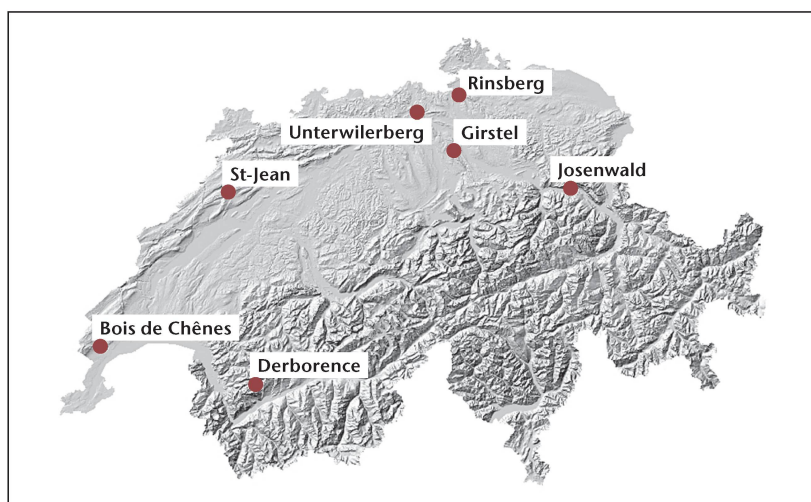
$$v = \frac{g_1 + g_2}{2} \times l \quad (1)$$

mit

$g_1$ : Querschnittfläche am einen Ende

$g_2$ : Querschnittfläche am anderen Ende

$l$ : Länge des Stammes oder Stammabschnittes



**Abb 1** Lage der untersuchten Naturwaldreservate.

Die Zersetzungsstadien wurden nach der Methode von Robin & Brang (2008) erfasst (Tabelle 2), wobei bei heterogen zersetzten Totholzstücken das dominierende Zersetzungsstadium massgebend war.

Im Urwald Derborence wurde das Totholz nach anderen Methoden ermittelt: Im Rahmen einer Stichprobeninventur wurden in 54 systematisch verteilten Probekreisen (mit jeweils 50 m<sup>2</sup> Fläche) die Länge sowie der maximale und der minimale Durchmesser (> 10 cm) aller liegenden Totholzstücke erfasst beziehungsweise diejenigen ihrer Abschnitte, die innerhalb des Probekreises lagen (Zollinger 2010). Das Volumen wurde nach der Formel für Kegelstümpfe berechnet. Der Zersetzungsstatus wurde anhand der 8-stufigen Skala nach Zielonka & Piatek

| Festigkeitsklasse | Bezeichnung | Eindringtiefe Messer  |   |
|-------------------|-------------|---|---|
|                   |             | Parallel zu den Holzfasern  | Rechtwinklig zu den Holzfasern                                    |
| 1                 | Frischholz  | Ø (frisches Totholz)  | Ø (frisches Totholz)  |
| 2                 | Hartholz    | Das Messer dringt kaum ins Totholz ein (Maximum einige mm)        | Das Messer dringt kaum ins Totholz ein (Maximum einige mm)        |
| 3                 | Morschholz  | Das Messer dringt leicht und tief ins Totholz ein (ungefähr 1 cm) | Das Messer dringt kaum ins Totholz ein (Maximum einige mm)        |
| 4                 | Moderholz   | Das Messer dringt leicht und tief ins Totholz ein (ungefähr 1 cm) | Das Messer dringt leicht und tief ins Totholz ein (ungefähr 1 cm) |
| 5                 | Mulmholz    | Das Totholz ist stark zersetzt, pulvrig                           | Das Totholz ist stark zersetzt, pulvrig                           |

Tab 2 Zersetzungsstadien (Festigkeitsklassen) nach Robin & Brang (2008).

| Reservat          | Totholzvolumen               |                              |                             |                  | Holzvorrat lebend (m <sup>3</sup> /ha) | Anteil des Totholzes am Gesamtvorrat (%) |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------|--|--|
|                   | Liegend (m <sup>3</sup> /ha) | Stehend (m <sup>3</sup> /ha) | Gesamt (m <sup>3</sup> /ha) | Liegend:Stehend  |  |  |
| St-Jean           | 29.3 <sup>a</sup>            | 22.2                         | 51.6                        | 1.3              | 611                                    | 7.8 <sup>bcd</sup>                       |
| Girstel           | 20.1 <sup>a</sup>            | 38.4                         | 58.5                        | 0.5              | 386                                    | 13.2 <sup>abcd</sup>                     |
| Unterwilerberg    | 49.9 <sup>ab</sup>           | 22.1                         | 72.0                        | 2.3              | 472                                    | 13.2 <sup>ac</sup>                       |
| Bois de Chênes    | 21.3 <sup>a</sup>            | 27.2                         | 48.4                        | 0.8              | 553                                    | 8.1 <sup>bd</sup>                        |
| Rinsberg          | 40.2 <sup>ab</sup>           | 12.9                         | 53.1                        | 3.1              | 511                                    | 9.4 <sup>abcd</sup>                      |
| Josenwald         | 100.5 <sup>b</sup>           | 28.7                         | 129.2                       | 3.5              | 522                                    | 19.8 <sup>a</sup>                        |
| <b>Mittelwert</b> | <b>43.6 ± 12.3</b>           | <b>25.3 ± 3.5</b>            | <b>68.8 ± 12.5</b>          | <b>1.9 ± 0.5</b> | <b>516 ± 34</b>                        | <b>11.9 ± 1.9</b>                        |
| Derborence        | 322                          | 60.7                         | 388.7                       | 5.3              | 435                                    | 47.2                                     |

Tab 3 Volumen des liegenden und des stehenden Totholzes sowie Vorrat der lebenden Bäume (flächengewichtete Werte). Mittelwerte ohne Derborence, ± Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ( $p < 0.05$ ).

(2004) klassifiziert. Totholzstücke, welche von der Bodenvegetation eingewachsen oder so weit abgebaut waren, dass deren Form auch nicht annäherungsweise einem Kegel entsprach, blieben unberücksichtigt. Mulmholz wurde daher nicht erfasst. Dies führte im Reservat Derborence zu einer systematischen Unterschätzung fortgeschrittener Zersetzungsstadien (Zollinger 2010).

Für die vorliegende Untersuchung brachten wir diese Einteilung mit der 5-stufigen Skala von Robin & Brang (2008) in Einklang, indem wir die Zersetzungsstadien 4–6 beziehungsweise 7–8 nach Zielonka & Piatek (2004) den Zersetzungsstadien 4 respektive 5 nach Robin & Brang (2008) zuordneten und die Zersetzungsstadien 1–3 beider Klassifikationen einander gleichsetzten.

#### Dürrständer und lebende Bäume

Totholzstücke über 1.3 m Höhe, welche weniger als 50 Gon geneigt waren, wurden als Dürrständer erfasst. Bei diesen wurde die Baumart bestimmt sowie der BHD gemessen. Im Rahmen der Kernflächeninventur wird jeder Baum mittels Zustandscode klassifiziert. Dieser unterscheidet zwischen lebend und tot sowie stehend und liegend (Tinner et al 2011). Das Volumen der Dürrständer und der lebenden Bäume wurde mittels der Tarife für Schaftholz in Rinde von Kaufmann (2000) berechnet (Formel 2), wobei bei den Dürrständern das berechnete Gesamtvolumen pauschal um 50% reduziert wurde, um Stammbrüchen Rechnung zu tragen. Bei feh-

lenden Angaben zur Schichtzugehörigkeit wurden Bäume mit BHD ≥ 20 cm zur Oberschicht, solche mit BHD < 20 cm zur Unterschicht gezählt.

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

V: Schaftholzvolumen in Rinde (m<sup>3</sup>)

k: Tarifnummer (201–230; abhängig von Produktionsregion und Baumart)

b<sub>0</sub>–b<sub>7</sub>: Modellkoeffizienten in Abhängigkeit von der Tarifnummer

BHD: Brusthöhendurchmesser (cm)

B<sub>3</sub>–B<sub>7</sub>: Einzelbaum-, Bestandes- und Standortmerkmale:

B<sub>3</sub>: Gesamtwuchsleistung (GWL) in kg Trockensubstanz pro ha und Jahr als Mass für die Standortgüte

B<sub>4</sub>: d<sub>dom</sub> (mittlerer BHD der hundert stärksten Bäume pro ha; cm)

B<sub>5</sub>: Verzwieselung (1: ja/0: nein)

B<sub>6</sub>: Höhe über Meer (m)

B<sub>7</sub>: Schicht eines Baumes (0: Oberschicht/1: nicht Oberschicht)

#### Datenanalyse

Das Volumen des liegenden und stehenden Totholzes wurde nach Zersetzungsstadium (nur für liegendes Totholz) und Dimension (Schwachtotholz: ≤ 30 cm, Starktotholz: > 30 cm Durchmesser am stärkeren Ende für liegendes respektive BHD für stehendes Totholz) sowie Nadel- und Laubholz stratifiziert. Das Reservat Derborence wurde jeweils separat betrachtet, weil es nicht nur bezüglich Standort und Nutzungsgeschichte, sondern auch bezüglich des Erhebungsdesigns von den übrigen NWR abweicht.

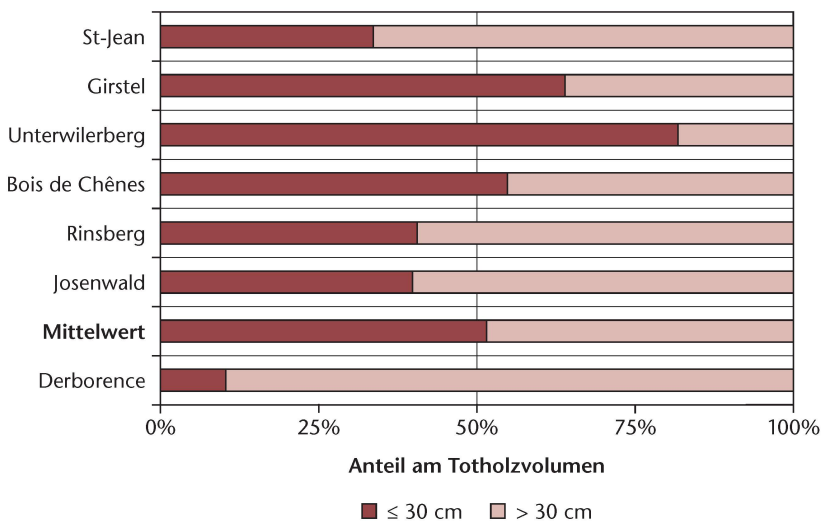


Abb 2 Volumenanteil von Schwach- ( $\leq 30$  cm) und Starktotholz ( $> 30$  cm) pro Reservat. Mittelwert ohne Derborence.

Bei der Berechnung der Durchschnittswerte pro NWR wurden die Totholzvolumina mit der Grösse der Kernflächen gewichtet. Zur Erfüllung des Kriteriums der Normalverteilung (nach Kolmogorov-Smirnow-Test) wurden die zu vergleichenden Parameter, falls notwendig, wurzeltransformiert. Wo dies nicht möglich war, wurden nicht parametrische Tests angewendet.

Mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse wurden die Mengen an liegendem und stehendem Totholz sowie die gesamten Totholz mengen, der Totholzanteil am Gesamtvorrat sowie der Anteil an Starktotholz zwischen den Reservaten verglichen (ohne Rinsberg mit nur einer Kernfläche). Als Nachfolgetests wurden der LSD-Test für homogene Varianzen (liegendes Totholz und Schwachtotholz) beziehungsweise der Dunnett-T3-Test für nicht homogene Varianzen verwendet (Sachs 2004). Volumenunterschiede zwischen liegendem und stehendem Totholz wurden mit paarweisen t-Tests geprüft. Als Signifikanzniveau für alle Tests

wurde  $p=0.05$  gewählt. Die statistische Analyse wurde mit SPSS Statistics 17.0 durchgeführt.

## Resultate

### Totholzvolumen

Die sechs NWR wiesen ein mittleres Totholzvolumen von  $69 \text{ m}^3/\text{ha}$  auf. Dabei liegen die Werte der vier NWR St-Jean, Girstel, Bois de Chênes und Rinsberg mit 49 bis  $58 \text{ m}^3/\text{ha}$  nahe beisammen (Tabelle 3). Im Unterwilerberg war das Totholzvolumen mit  $72 \text{ m}^3/\text{ha}$  um etwa ein Drittel höher als in den vier genannten NWR, im Josenwald mit  $129 \text{ m}^3/\text{ha}$  gar gut doppelt so hoch. Die Unterschiede zwischen den NWR waren aber nicht signifikant (einfaktorielle Varianzanalyse,  $N=34$ ,  $p=0.11$ ). Mit  $389 \text{ m}^3/\text{ha}$  wurden in Derborence deutlich grössere Totholz volumina gemessen.

Das Volumen des liegenden Totholzes war im Josenwald signifikant grösser als in St. Jean, Girstel und Bois de Chênes (einfaktorielle Varianzanalyse,  $N=34$ ,  $p=0.000$ ; LSD-Test; Tabelle 3). Im Gegensatz dazu unterschieden sich die NWR bezüglich des stehenden Totholz volumens nicht signifikant ( $p=0.26$ ).

In vier von sechs NWR war mehr liegendes als stehendes Totholz vorhanden, und im Mittel aller sechs NWR etwa doppelt so viel (Tabelle 3). In den Reservaten Rinsberg und Josenwald waren es drei bis dreieinhalb, in Derborence sogar mehr als fünf Mal so viel. Die Unterschiede waren aber nur im Josenwald signifikant (paarweiser t-Test,  $N=5$ ,  $p=0.02$ ).

Der Anteil des Totholzes am Gesamtvorrat betrug durchschnittlich 12% und variierte zwischen den Reservaten signifikant (einfaktorielle Varianzanalyse,  $N=34$ ,  $p=0.01$ ), von 8% in St-Jean und Bois de Chênes bis 20% im Josenwald (Tabelle 3). Beim Vergleich der Totholzanteile unterschieden sich die



Abb 3 Volumen des liegenden (links) und des stehenden Totholzes (rechts) in Abhängigkeit von der Dimension nach Reservat. Man beachte den Skalensunterschied!

| Reservat                           | Stammzahl der Dürrständer (St./ha) |                            |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|                                    | Schwachtotholz (BHD ≤ 30 cm)       | Starktotholz (BHD > 30 cm) |
| St-Jean                            | 24                                 | 10                         |
| Girstel                            | 171                                | 15                         |
| Unterwilerberg                     | 331                                | 0                          |
| Bois de Chênes                     | 125                                | 11                         |
| Rinsberg                           | 28                                 | 6                          |
| Josenwald                          | 81                                 | 11                         |
| <b>Mittelwert ± Standardfehler</b> | <b>127 ± 47</b>                    | <b>9 ± 2</b>               |
| Derborence                         | 33                                 | 36                         |

Tab 4 Stammzahl der Dürrständer (flächengewichtete Werte). Mittelwert ohne Derborence.

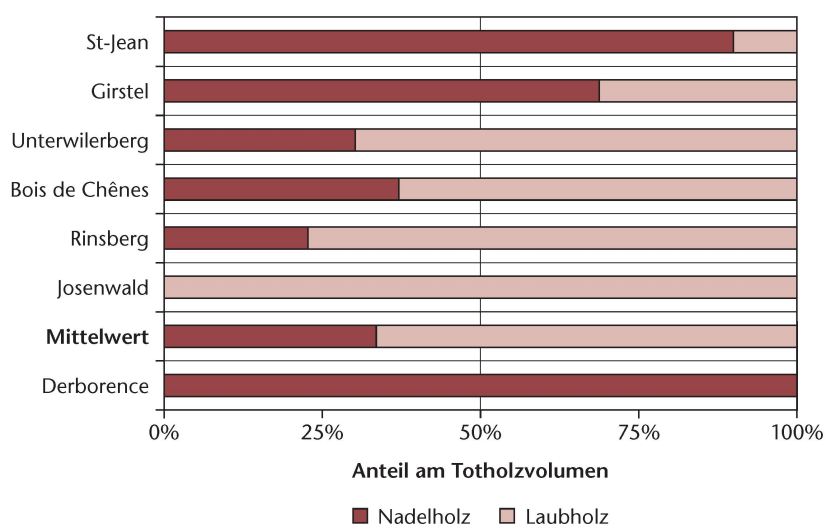


Abb 4 Anteil Nadel- und Laubholz am Totholzvolumen nach Reservat. Mittelwert ohne Derborence.

NWR Unterwilerberg und Bois de Chênes ( $p=0.03$ ) sowie Josenwald und St. Jean ( $p=0.007$ ) beziehungsweise Josenwald und Bois de Chênes (Dunnett-T3-Test,  $p=0.01$ ) signifikant. In drei von sechs NWR lag der Totholzanteil über 10%. In Derborence betrug er sogar 47%. Der Vorrat der lebenden Bäume korrelierte schwach positiv, aber nicht signifikant mit dem gesamten Totholzvolumen und dem Volumen des liegenden Totholzes.

#### Totholzdimension

Der Anteil an Starktotholz betrug in drei von sechs NWR mehr als 50% am gesamten Totholzvolumen. Im Durchschnitt aller sechs NWR waren es 48% (Abbildung 2). Die Unterschiede im Starktotholz-Anteil zwischen den NWR waren gross, aber knapp nicht signifikant (einfaktorielle Varianzanalyse,  $N=34$ ,  $p=0.053$ ); das Minimum wies mit 18% Unterwilerberg auf, das Maximum mit 66% St-Jean. Derborence zeigte einen Starktotholz-Anteil von 90%. Beim stehenden Totholz belief sich der Starktotholz-Anteil auf insgesamt 52% und war damit tendenziell grösser als beim liegenden (46%). Ein solcher Unterschied zeigte sich in vier der sechs NWR (Abbildung 3).

Bei der Stammzahl des stehenden Totholzes (Dürrständer) überwog das Schwachtotholz in allen sechs NWR deutlich (Tabelle 4). In Derborence hingegen war die Anzahl der schwachen und starken Dürrständer in etwa gleich gross. Zudem war hier die Zahl der starken Dürrständer mit 36 Stück pro Hektare wesentlich grösser als in den anderen NWR.

#### Streuung der Totholzvolumina innerhalb der Reservate

Das Volumen und die Dimension des liegenden und stehenden Totholzes variierten innerhalb der NWR stark (Abbildung 3). Dabei reichte die Spannweite von etwa 2 m<sup>3</sup>/ha bis über 150 m<sup>3</sup>/ha für liegendes und von 0.1 m<sup>3</sup>/ha bis über 200 m<sup>3</sup>/ha für stehendes Totholz. Auffällig sind die grossen Totholzvolumina der Kernflächen 8 und 9 (166 und 145 m<sup>3</sup>/ha) im Josenwald für liegendes und der Kernflächen 7 und 10 (215 und 147 m<sup>3</sup>/ha) im Girstel für stehendes Totholz. Liegendes und stehendes Totholz war in allen NWR vorhanden, wenn auch in einzelnen Kernflächen (insbesondere in St-Jean und im Girstel) nur in sehr geringen Mengen. Im Reservat Derborence reichte die Spannweite von 34 bis 660 m<sup>3</sup>/ha für liegendes und von 29 bis 151 m<sup>3</sup>/ha für stehendes Totholz.

#### Nadel- und Laubholz

Laubholz machte in den sechs NWR insgesamt 66% des Totholzvolumens aus (Abbildung 4). Nur in den Reservaten Girstel (31%) und St-Jean (10%) lag der Laubholzanteil unter 50%. Im Gegensatz zum Nadelholz, bei dem etwas mehr stehendes (13 m<sup>3</sup>/ha) als liegendes Totholz (10 m<sup>3</sup>/ha) vorhanden war, gab es beim Laubholz mehr als zweieinhalb Mal so viel liegendes (33 m<sup>3</sup>/ha) wie stehendes Totholz (13 m<sup>3</sup>/ha; Abbildung 5). Die Anteile an Schwach- und Starktotholz waren für Nadel- und Laubholz ähnlich, wobei es beim Nadelholz tendenziell etwas mehr Starktotholz gab (6%). Der Nadelholzanteil war beim Totholz grösser als bei den lebenden Bäumen (Abbildung 6).

#### Zersetzungsstadien

Daten zum Zersetzungsstadium liegen für die sechs NWR nur für liegendes Totholz vor. Hier waren die fortgeschrittenen Zersetzungsstadien Moder- (33%) und Mulmholz (20%) zusammen mit über 50% vertreten (Abbildung 7). Der Anteil des noch kaum zersetzten Frisch- und Hartholzes lag bei 22%.

Der höchste Anteil an Hartholz trat im Bois de Chênes (> 40%) auf, der höchste Mulmholzanteil (30%) im Unterwilerberg. Im Reservat Derborence machten Morsch- (28%) und Moderholz (72%) 100% des Totholzes aus (Abbildung 7). Mulmholz wurde hier nicht erfasst. Innerhalb jedes Reservates variierten die Anteile der Zersetzungsstadien stark.

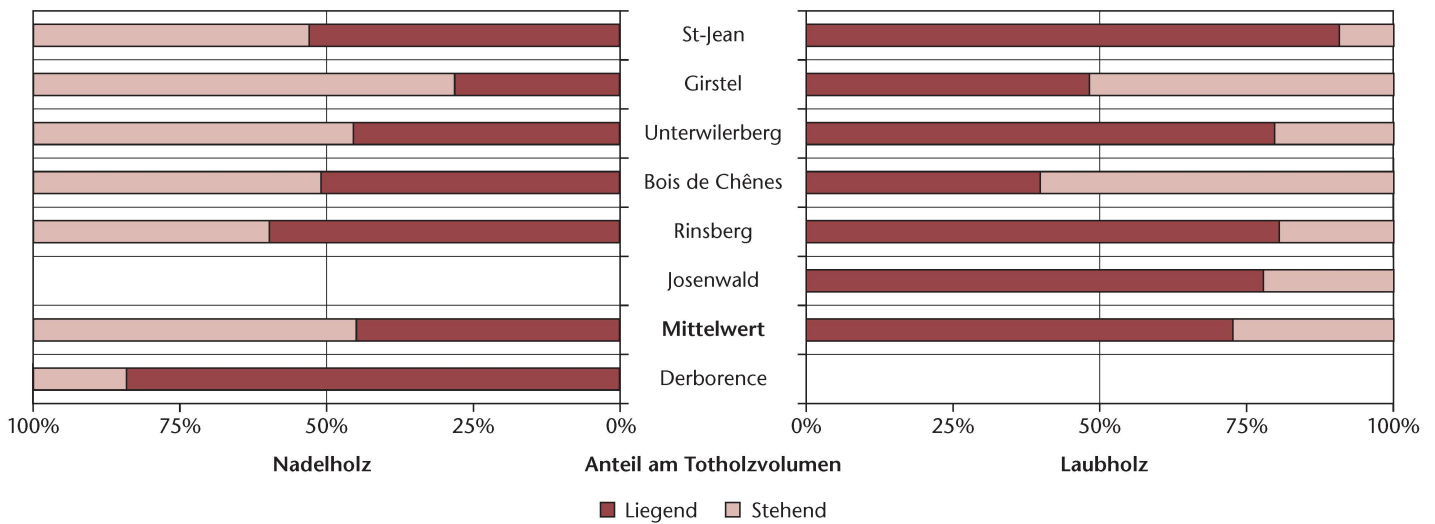


Abb 5 Anteil liegendes und stehendes Totholz am Totholzvolumen für Nadelholz (links) und Laubholz (rechts) nach Reservat. Mittelwert ohne Derborence.

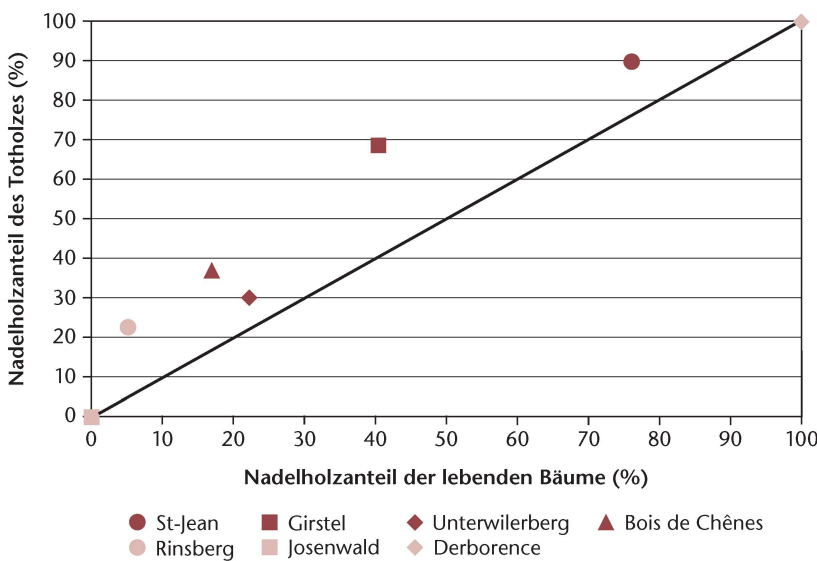


Abb 6 Verhältnis zwischen dem Nadelholzanteil am Volumen der lebenden und der toten Bäume.

Der Anteil der fortgeschrittenen Zeretzungsstadien lag beim Laubholz bei etwa 55%, beim Nadelholz bei etwa 42%. Dagegen war der Hartholzanteil beim Nadeltotholz um etwa 18% grösser (Abbildung 8).

## Diskussion

### Totholzvolumen

In den untersuchten NWR wurde im Durchschnitt ein Totholzvolumen von 69 m<sup>3</sup>/ha (48–129 m<sup>3</sup>/ha auf Reservatsebene, Tabelle 3; bzw. 15–233 m<sup>3</sup>/ha auf Kernflächenebene, Abbildung 3) ermittelt. Für reine Buchennaturwälder mit überwiegender Urwaldcharakter in der Slowakei fand Korpel' (1997) einen Durchschnittswert von 113 m<sup>3</sup>/ha (50–310 m<sup>3</sup>/ha), wobei die produktiveren Standorte ein Totholzvolumen von durchschnittlich 200 m<sup>3</sup>/ha erreichten. In einem Buchenurwald in den ukrainischen Karpaten ermittelten Commarmot

et al (2005) ein durchschnittliches Totholzvolumen von 111 m<sup>3</sup>/ha, wobei die Werte auf den 0.25 ha grossen Kernflächen von 27 bis 255 m<sup>3</sup>/ha streuten. Eine Untersuchung in 86 europäischen Buchen-Naturwaldreservaten ergab ein durchschnittliches Totholzvolumen von 130 m<sup>3</sup>/ha (6–550 m<sup>3</sup>/ha; Christensen et al 2005). In Buchenmischwäldern variiert der Durchschnittswert zwischen 91 m<sup>3</sup>/ha (Eichen-Buchen-Wälder) und 210 m<sup>3</sup>/ha (mit Nadelholzbeimischung, Tannen-Buchen- und Fichten-Tannen-Buchen-Wälder; Korpel' 1997).

Im Vergleich dazu sind die in den sechs Schweizer NWR gemessenen Totholzvolumina deutlich niedriger. Dies legt nahe, dass sich die untersuchten NWR mehrheitlich am Beginn der Entwicklung zurück zum Urwald befinden. Wie viel Totholz in Schweizer Naturwäldern maximal zu erwarten ist, kann daher erst durch zukünftige Inventuren beantwortet werden. Mit einem Simulationsmodell ermittelten Rademacher et al (2001), dass sich die für Buchenurwälder typische grosse Dichte von Baumriesen (Alter > 300 Jahre) und Diversität in der Altersstruktur frühestens 300 Jahre nach der letzten Nutzung einstellen. Für einen Simulationszeitraum von 3000 Jahren wurde ein mittleres Totholzvolumen von 148 m<sup>3</sup>/ha berechnet (Rademacher & Winter 2003). Die letzte Holznutzung in unseren Reservaten liegt erst 40 bis maximal 92 Jahre zurück (Tabelle 1). Ein Anstieg des Totholzvolumens mit zunehmender Zeit ohne Bewirtschaftung wurde wiederholt beobachtet (Christensen et al 2005, Bütler & Lachat 2009, Vandekerhove et al 2009, Meyer & Schmidt 2011). Dass zum Beispiel Meyer & Schmidt (2011) in zwölf nordwestdeutschen Buchen- und Buchenmischwald-Reservaten mit erst 28 Jahren ohne Bewirtschaftung nur mittlere Totholzvolumina von 18 m<sup>3</sup>/ha (8–57 m<sup>3</sup>/ha) und damit deutlich kleinere Volumina als in unserer Studie fanden, ist daher nicht erstaunlich. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass die Mengen von Meyer & Schmitt wegen

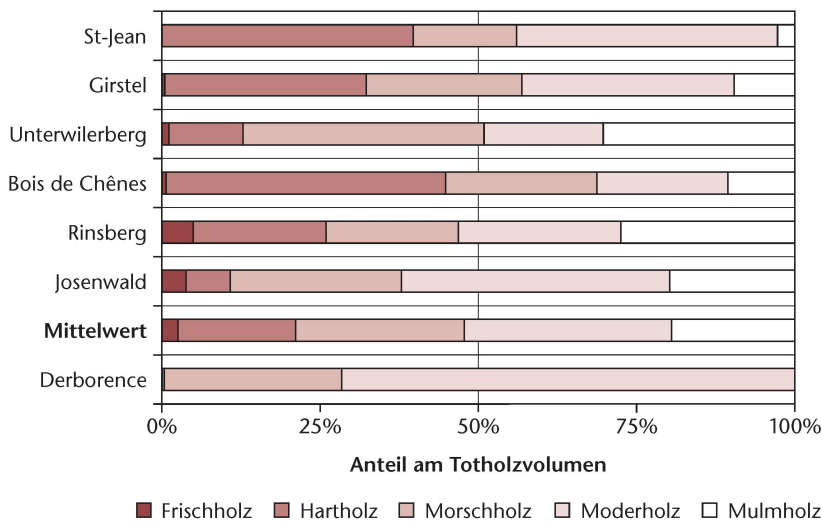


Abb 7 Volumenanteil der Zersetzungsstadien im liegenden Totholz nach Reservat. Mittelwert ohne Derborence.

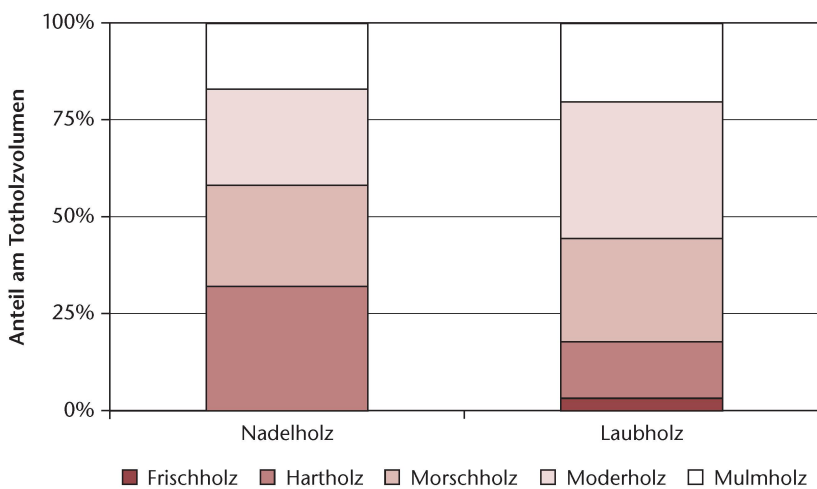


Abb 8 Volumenanteile der Zersetzungsstadien des liegenden Totholzes in Abhängigkeit von der Holzart (Nadel- und Laubtotholz; ohne Derborence).

der hohen Erfassungsschwelle (20 cm Mindestdurchmesser im Gegensatz zu 7 cm in unserer Studie) fast zu verdoppeln wären (Böhl & Brändli 2007). Das in den sechs NWR gefundene durchschnittliche Totholzvolumen ist mehr als dreimal so gross wie dasjenige im Mittel aller Schweizer Wälder von 21.5 m<sup>3</sup>/ha (Mindestdurchmesser 12 cm; Brändli et al 2010) und immer noch mehr als zweieinhalb Mal grösser als in Wäldern, in denen der letzte Eingriff mindestens 50 Jahre zurückliegt (25.1 m<sup>3</sup>/ha; WSL 2012). Auch wenn die NWR allein schon wegen der tieferen Erfassungsschwelle 28% mehr Totholz aufweisen dürften (Böhl & Brändli 2007), ist der in den untersuchten NWR ermittelte Wert deutlich höher als im gesamten Schweizer Wald. Laut LF13 konzentriert sich das Totholzvolumen zudem zu einem erheblichen Teil auf vom Sturm «Lothar» (1999) betroffene Gebiete und ist sonst deutlich geringer, besonders im Mittelland (Brändli et al 2010). In den hier betrachteten Reservaten kamen demgegenüber nur Würfe oder Brüche von Einzelbäumen oder Baumgruppen vor. Anders sieht die Situation

in Derborence aus, welches stark vom Orkan «Vivian» (1990) getroffen wurde. Die dort erfassten 389 m<sup>3</sup>/ha unterschätzen das Totholzvolumen im Vergleich jedoch, weil die Erfassungsschwelle bei 10 cm Durchmesser festgelegt worden war. Zudem wurden stark zersetzte Stücke nicht aufgenommen. Verglichen mit dem europäischen Wald, in dem im Durchschnitt 10 m<sup>3</sup>/ha Totholz (stehend und liegend, bei Mindestdurchmessern von 4 bis 20 cm) ermittelt wurden (San-Miguel-Ayanz et al 2011), ist die in unserer Untersuchung gemessene durchschnittliche Totholzmenge sogar siebenmal grösser.

In allen Untersuchungen streuen die Totholzvolumina stark. Auf Kernflächenebene ist die Mengenvariation in unserer Untersuchung ähnlich derjenigen im ukrainischen Urwald Uholka (Commarmot et al 2005). Dagegen wurde in der Untersuchung von Christensen et al (2005) eine noch grössere Variation beobachtet, vermutlich infolge von Sturmereignissen. Das Totholzvolumen schwankt insbesondere in Abhängigkeit von der Entwicklungsphase (Korpel' 1997, Saniga & Schütz 2001). Das Minimum beträgt oft etwa 15–20% des Maximalwertes, der meist am Ende der Zerfallsphase erreicht wird, und tritt gewöhnlich in der Optimalphase auf, der viele unserer Kernflächen zuzuordnen sind (Heiri et al 2011). Zuweilen verschwindet das Totholz auch im Urwald auf Teilflächen von 1–2 ha vollständig (Korpel' 1997). Zudem beeinflussen Störungen, in Mitteleuropa vor allem Stürme und Insektenkalamitäten, das Totholzvolumen. So sind die sehr grossen Mengen an liegendem Totholz in Derborence und auf den Kernflächen 8 und 9 im Josenwald sowie an stehendem Totholz auf den Kernflächen 7 und 10 im Girstel auf die Stürme von 1990 und 1999 beziehungsweise auf Insektenbefall zurückzuführen.

In den untersuchten NWR war etwa zweimal so viel liegendes wie stehendes Totholz (Verhältnis 0.5–3.5) vorhanden. Ähnliche Relationen ermittelten auch Commarmot et al (2005; 3.0) und Christensen et al (2005; 1.8–3.5). Generell dominiert in Urwäldern liegendes Totholz (Korpel' 1997, Rademacher & Winter 2003). Daher empfiehlt Korpel' (1997) für bewirtschaftete Wälder einen Anteil an liegendem Totholz von 60%. In allen Schweizer Wäldern wurde dagegen durchschnittlich weniger liegendes als stehendes Totholz (0.76) ermittelt (Brändli et al 2010).

Bei all diesen Vergleichen ist zu beachten, dass das Volumen des liegenden Totholzes wesentlich genauer geschätzt werden kann als dasjenige des stehenden Totholzes, für welches eine Annäherung über Tariffunktionen und anschliessende pauschale Volumenreduktion gesucht wird.

#### Totholzanteil am Gesamtvorrat

Der Anteil des Totholzes am Gesamtvorrat betrug in unserer Untersuchung durchschnittlich 12% (8–20%; Tabelle 3). Korpel' (1997) ermittelte in art-



Abb 9 Starktotholz im Naturwaldreservat Unterwilerberg.

reinen Buchenwäldern 13 bis 26%. Durchschnittlich 13% (3–33%) waren es im ukrainischen Buchenurwald von Uholka (Commarmot et al 2005) und 19% (15–26%) in der Untersuchung von Christensen et al (2005). Im Vergleich dazu sind die bis jetzt erreichten Werte in den sechs NWR (analog zum Totholzvolumen) meist deutlich niedriger. Dies zeigt ebenfalls, dass sich das Totholzvolumen in den untersuchten NWR noch im Aufbau befindet. Dagegen beträgt der Anteil des Totholzes am Gesamtvorrat im gesamten Schweizer Wald insgesamt nur etwa 5%; für die Buche als Hauptbaumart sind es etwa 2%, für die Fichte etwa 7% (Brändli et al 2010). Wir fanden keinen signifikanten Zusammenhang (jedoch eine leichte, positive Korrelation) zwischen Totholz- und Lebendvolumen, im Gegensatz zu Korpel' (1997), Sippola et al (1998) und Christensen et al (2005). Nach anderen Studien variiert das Verhältnis von Totholzvolumen zu Lebendvorrat zwischen den Entwicklungsphasen (Krankina & Harmon 1995, Saniga & Schütz 2001).

#### Totholzqualität

Der Anteil an Starktotholz betrug im Mittel der sechs untersuchten NWR 48% (18–68%; Abbildung 2), in Derborence waren es 90%. Im Gegensatz dazu überwiegt in Schweizer Wäldern der Anteil des Schwachtotholzes mit etwa 65% deutlich (Brändli et al 2010). Im (bewirtschafteten) Wald Europas ist dieser Anteil meist noch grösser (z.B. Sweeney et al 2010). Der Vergleich zum Urwald von Derborence zeigt (auch hinsichtlich Anzahl Dürrständer), dass die forstliche Nutzung die Nachlieferung und Dynamik von Totholz nachhaltig beeinflusst und es sehr lange dauert, bis sich ein grosser Anteil an Starktotholz bildet (siehe auch Rademacher et al 2001, Bütler & Lachat 2009; Abbildung 9).

Der Nadelholzanteil ist beim Totholz um durchschnittlich gut 10% höher als bei den leben-

den Bäumen (Abbildung 6). Dies ist auch im gesamten Schweizer Wald so, in dem 81% des Totholzvolumens auf Nadelholz und nur 19% auf Laubholz entfallen (WSL 2012). Die Ursache hierfür dürfte eine grössere Störungsanfälligkeit (Mayer et al 2005) und eine geringere Zersetzungsgeschwindigkeit des Nadelholzes sein (Harmon et al 1986, Zell et al 2009). Letztere könnte auch eine Ursache dafür sein, dass bei Nadelholz der Moder- und Mulmholzanteil noch um 13% geringer ist als bei Laubholz, der Hartholzanteil hingegen um 18% höher. Die Verhältnisse von liegendem zu stehendem Totholz unterscheiden sich in unserer Untersuchung zwischen Laubholz (2.5:1) und Nadelholz (1:1.3) deutlich. Im gesamten Schweizer Wald überwiegt hingegen sowohl beim Laub- als auch beim Nadelholz stehendes Totholz (1:1.3; WSL 2012). Dies ist wahrscheinlich hauptsächlich auf den Bewirtschaftungseinfluss zurückzuführen.

In den untersuchten NWR betrug der Anteil Moder- und Mulmholz 53%. Im Gegensatz dazu befinden sich im Schweizer Wald nur etwa 10% des Totholzes in fortgeschrittenen Zersetzungsstadien und dafür über 70% im Stadium beginnender Zersetzung (Frisch- und Hartholz; Brändli et al 2010). Auch in borealen Fichten-Naturwäldern dominieren mittlere bis fortgeschrittene Zersetzungsstadien (Sippola et al 1998). Die Dominanz einzelner Zersetzungsstadien insbesondere im Reservat Derborence (72% Moderholz), aber auch in einzelnen Kernflächen im Josenwald und Girstel ist auf Störungsereignisse (v.a. die Stürme Vivian und Lothar) zurückzuführen.

### Schlussfolgerungen

Die hier untersuchten 35 Kernflächen von sechs NWR vorwiegend in Laub- oder Laubmischwäldern sind nicht repräsentativ für Schweizer Naturwälder. Sie geben dennoch gute Hinweise zur Menge und Qualität des Totholzes sowie zur Bandbreite möglicher Entwicklungen. Bezüglich Totholzmenge und -qualität (v.a. Anteil des Starktotholzes und Zersetzungsstadien) liegen die sechs untersuchten NWR, 40 bis 92 Jahre nach der letzten Holznutzung, zwischen bewirtschafteten Wäldern und europäischen Buchenurwäldern und -naturwäldern. Innert weniger Jahrzehnte erreichten sie bereits rund 60% der in Urwäldern vorkommenden Totholzmenge. Ähnlich schnell entwickeln sich die Anteile fortgeschrittener Zersetzungsstadien sowie das Verhältnis von liegendem und stehendem Totholz beim Laubholz. Der Aufbau von Starktotholz dauert hingegen länger, weil er an das Vorhandensein grosser Bäume und damit an das langsam verlaufende Baumwachstum gebunden ist. Wie sich in unseren Daten zeigt, hängen die lokalen Totholz mengen stark mit dem Auftreten beziehungsweise mit der Absenz von Störungen zusammen und entwickeln sich daher,

zumindest in den hier betrachteten Flächen von unter 10 ha Grösse, sprunghaft. Ohne solche Störungen dürften in den sechs NWR die Totholz mengen nur langsam zunehmen beziehungsweise sogar abnehmen, und der Anteil fortgeschrittener Zersetzungsstadien dürfte sich weiter erhöhen.

Unsere Untersuchung gibt Hinweise für ein nachhaltiges Totholzmanagement in bewirtschafteten Wäldern. In den NWR sind bereits einige Jahrzehnte nach Nutzungsaufgabe durchschnittliche Totholz mengen über 50 m<sup>3</sup>/ha die Regel, im einzelnen Bestand aber sowohl deutlich tiefere als auch deutlich höhere Mengen. Dieser Durchschnittswert kann aus Sicht der Walddynamik noch nicht als Maximum für Schweizer Naturwälder gelten. Er liegt aber bereits über der Empfehlung für mitteleuropäische Mindestmengen von 20–50 m<sup>3</sup>/ha (Müller & Bütler 2010). In den NWR ist weiter Totholz fortgeschrittener Zersetzungsstadien und starker Dimensionen häufig (s. auch Bütler & Lachat 2009). Eine solche naturnahe Totholzausstattung würde allerdings vielerorts zu erheblichen Einbussen an nutzbarem Holz führen. Wie gross diese Einbussen tatsächlich wären, hängt von der Nachlieferung und der Zersetzungsgeschwindigkeit des Totholzes ab und ist Gegenstand weiterführender Untersuchungen mit einem Totholzmodell an der WSL (siehe auch Meyer et al 2009 und den Totholzkalkulator<sup>1</sup> für einen ähnlichen Projektansatz). Es ist immerhin darauf hinzuweisen, dass bereits heute mehrere Rahmenbedingungen regional oder zumindest punktuell zu naturnahen Totholzausstattungen führen können: fehlende Erschliessung, mangelndes Interesse des Waldeigentümers an der Holznutzung und grossflächige Störungen, die einen Holzanfall zur Folge haben, den der Holzmarkt nicht absorbieren kann. ■

Eingereicht: 18. Januar 2012, akzeptiert (mit Review): 30. März 2012

## Dank

Wir danken dem Bundesamt für Umwelt und einer anonymen Stifterin für die Unterstützung unserer Forschung im Projekt «Totholz und xylobionte Insekten in Waldreservaten» (Toxywa), dem Bundesamt für Umwelt zudem für die Unterstützung der Erhebungen im Rahmen des Projekts «Forschung und Wirkungskontrolle in Naturwaldreservaten». Dank geht auch an Dirk Schmatz für die Bereitstellung der modellierten Klimadaten.

<sup>1</sup> [www.nwfva.de/WebTotholzkalkulator](http://www.nwfva.de/WebTotholzkalkulator) (26.3.2012)

## Literatur

BÖHL J, BRÄNDLI UB (2007) Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. *Eur J For Res* 126: 449–457.

- BRÄNDLI UB, ABEGG M, DUC P, GINZLER C (2010) Biologische Vielfalt. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. pp. 187–228.
- BUGMANN H ET AL (2011) Die Bedeutung von Naturwaldreservaten für die Forschung. In: Brang P, Heiri C, Bugmann H, editors. Waldreservate. 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz. Bern: Haupt. pp. 56–71.
- BÜTLER R, LACHAT T (2009) Wälder ohne Bewirtschaftung: eine Chance für die saproxyliche Biodiversität. *Schweiz Z Forstwes* 160: 324–333. doi: 10.3188/szf.2009.0324
- CHRISTENSEN M ET AL (2005) Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *For Ecol Manage* 210: 267–282.
- COMMARMOT B ET AL (2005) Structures of virgin and managed beech forests in Uholka (Ukraine) and Sihlwald (Switzerland); a comparative study. *For Snow Landsc Res* 79: 45–56.
- EICHRODT R (1970) Über die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. *Beih Schweiz Z Forstwes* 45.
- ELLENBERG H, KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Mitt Schweiz Anst Forstl Versuchswes* 48: 587–930.
- HARMON ME ET AL (1986) Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv Ecol Res* 15: 133–302.
- HEILMANN-CLAUSEN J, CHRISTENSEN M (2003) Fungal diversity on decaying beech logs – implications for sustainable forestry. *Biodivers Conserv* 12: 953–973.
- HEIRI C, BRANG P, COMMARMOT B, MATTER JF, BUGMANN H (2011) Walddynamik in Schweizer Naturwaldreservaten: Kennzahlen und Trends. In: Brang P, Heiri C, Bugmann H, editors. Waldreservate. 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz. Bern: Haupt. pp. 72–89.
- HÖVEMEYER K, SCHAUERMANN J (2003) Succession of *Diptera* on dead beech wood: a 10-year study. *Pedobiologia* 47: 6–75.
- KAUFMANN E (2000) Tarife für Schaftholz in Rinde und Rundholz-Sortimente. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 53 p.
- KELLER W (1978) Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. *Mitt Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch* 54: 3–98.
- KORPEL' Š (1997) Totholz in Naturwäldern und Konsequenzen für Naturschutz und Forstwirtschaft. *Forst Holz* 52: 619–624.
- KRAMER H, AKÇA A (1995) Leitfaden zur Waldmesslehre. Frankfurt a.M.: Sauerländer, 3 ed. 266 p.
- KRANKINA ON, HARMON ME (1995) Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forest. *Water Air Soil Polut* 82: 227–238.
- LINDENMAYER DB, CLARIDGE AW, GILMORE AM, MICHAEL D, LINDENMAYER BD (2002) The ecological roles of logs in Australian forests and the potential impacts of harvesting intensification on log-using biota. *Pac Conserv Biol* 8: 121–140.
- MAYER P ET AL (2005) Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Ann For Sci* 62: 303–311.
- MEYER P ET AL (2009) Entwicklung eines Managementmoduls für Totholz im Forstbetrieb. Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekts. Göttingen: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. 106 p.
- MEYER P, SCHMIDT M (2011) Accumulation of dead wood in abandoned beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in northwestern Germany. *For Ecol Manage* 261: 342–352.
- MÜLLER J, BÜTLER R (2010) A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. *Eur J Forest Res* 129: 981–992.

- NAGEL J (2000) Volumenermittlung von stehendem und liegendem Totholz. Recklinghausen: Natur- Umweltschutzakademie Nordrhein-Westfalen, Seminarberichte 4. pp. 311–314.
- PREGITZER KS, EUSKIRCHEN ES (2004) Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Glob Change Biol* 10: 2052–2077.
- RADEMACHER C, NEUERT C, GRUNDMANN V, WISSEL C, GRIMM V (2001) Was charakterisiert Buchenurwälder? Untersuchungen der Altersstruktur des Kronendachs und der räumlichen Verteilung der Baumriesen in einem Modellwald mit Hilfe des Simulationsmodells BEFORE. *Forstwiss Cent.bl* 120: 288–302.
- RADEMACHER C, WINTER S (2003) Totholz im Buchen-Urwald: Generische Vorhersagen des Simulationsmodells BEFORECWD zur Menge, räumlichen Verteilung und Verfügbarkeit. *Forstwiss Cent.bl* 122: 337–357.
- ROBIN V, BRANG P (2008) Methode für das Monitoring von Totholz in Kernflächen von Naturwaldreservaten. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 22 p.
- SACHS L (2004) *Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden*. Berlin: Springer, 11 ed. 889 p.
- SAN-MIGUEL-AYANZ J ET AL (2011) Criterion 4: Maintenance, conservation and appropriate enhancement of biological diversity in forest ecosystems. [www.unece.org/fileadmin/DAM/publications/timber/Criterion4\\_new.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/publications/timber/Criterion4_new.pdf) (29.3.2012)
- SANIGA M, SCHÜTZ JP (2001) Dynamik des Totholzes in zwei gemischten Urwäldern der Westkarpaten im pflanzengeographischen Bereich der Tannen-Buchen- und der Buchenwälder in verschiedenen Entwicklungsstadien. *Schweiz Z Forstwes* 152: 407–416. doi: 10.3188/szf.2001.0407
- SIPPOLA AL, SIITONEN J, KALLIO R (1998) Amount and quality of coarse woody debris in natural and managed forests near the timberline in Finnish Lapland. *Scand J For Res* 13: 204–214.
- SWEENEY OFM ET AL (2010) A lack of large-diameter logs and snags characterises dead wood patterns in Irish forests. *For Ecol Manage* 259: 2056–2064.
- TINNER R, STALDER A, BRANG P (2011) Aufnahmemethode für Kernflächen in schweizerischen Naturwaldreservaten. Version 1.1. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 38 p.
- VANDEKERKHOVE K, DE KEERSMAEKER L, MENKE N, MEYER P, VERSCHELDE P (2009) When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe. *For Ecol Manage* 258: 425–435.
- WSL (2012) Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Spezialauswertung der Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, 08032012 ER.
- ZELL J, KÄNDLER G, HANEWINKEL M (2009) Predicting constant decay rates of coarse woody debris – A meta-analysis approach with a mixed model. *Ecol Model* 220: 904–912.
- ZIELONKA T, PIATEK G (2004) The herb and dwarf shrubs colonization of decaying logs in subalpine forest in the Polish Tatra Mountains. *Plant Ecol* 172: 63–72.
- ZOLLINGER N (2010) Wirkung von Störungen auf die Baumverjüngung im Urwald von Derborence. Zürich: ETH Zürich, Departement Umweltwissenschaften, Masterarbeit. 56 p.

## Totholzvolumen und -qualität in ausgewählten Schweizer Naturwaldreservaten

Totholz ist für das Ökosystem Wald strukturell und funktionell bedeutend. Bisher gibt es jedoch kaum Daten zur Totholzausstattung in Schweizer Naturwäldern, die als Referenzwerte für das Totholzmanagement in Wirtschaftswäldern dienen könnten. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher das Totholzvolumen und die Totholzqualität (Dimension, Laub- bzw. Nadelholzanteil, Zersetzungsstadien) in sechs Naturwaldreservaten analysiert und mit Daten aus bewirtschafteten Wäldern, Natur- und Urwäldern verglichen. Im Durchschnitt aller sechs Naturwaldreservate wurde ein Totholzvolumen von 69 m<sup>3</sup>/ha ermittelt, davon 66% Laubholz. Der Anteil des Totholzvolumens am Gesamtvorrat betrug durchschnittlich 12%. Insgesamt war doppelt so viel liegendes wie stehendes Totholz vorhanden. Der mittlere Anteil an Starktotholz (Durchmesser > 30 cm) lag bei 48% und war beim stehenden Totholz (52%) höher als beim liegenden (46%). Fortgeschrittene Zersetzungsstadien (Moder- und Mulmholz) waren beim liegenden Totholz mit 53% vertreten. Die Volumina, Dimensionen und Zersetzungsstadien variierten innerhalb der Reservate stark. Im Vergleich dazu ist im gesamten Schweizer Wald weniger (Totholzvolumen 21.5 m<sup>3</sup>/ha, 5% des Gesamtvorrates), dünneres (Anteil Starktotholz 35%) und weniger stark zersetztes Totholz (Anteil fortgeschrittener Zersetzungsstadien 10%) vorhanden. Das Totholzvolumen in den Naturwaldreservaten ist aber noch deutlich geringer als in europäischen Buchenur- oder -naturwäldern. Die untersuchten Naturwaldreservate befinden sich, 40 bis 92 Jahre nach dem letzten Eingriff, immer noch am Beginn der Entwicklung Richtung Urwald.

## Volume et qualité du bois mort dans quelques réserves forestières naturelles suisses

Le bois mort joue un rôle fonctionnel et structurel important dans l'écosystème forestier. Jusqu'ici, il n'existe que peu de données sur le bois mort dans les forêts naturelles suisses qui pourraient servir comme valeurs de référence pour la gestion du bois mort dans les forêts aménagées. Par conséquent, dans la présente étude, le volume et la qualité (dimension, proportion des feuillus et des résineux et stades de décomposition) du bois mort dans six réserves forestières naturelles sont analysés et comparés avec les données provenant de forêts aménagées, naturelles et vierges. Dans l'ensemble, les six réserves avaient un volume moyen de bois mort de 69 m<sup>3</sup>/ha composé à 66% de feuillus. Le volume de bois mort correspondait en moyenne à 12% du volume total. En général, il y avait environ deux fois plus de bois mort au sol que sur pied. La proportion moyenne de bois mort de grosse dimension (diamètre > 30 cm) était de 48% et était plus élevée pour le bois mort sur pied (52%) que pour le bois mort au sol (46%). Les stades avancés de décomposition (bois en décomposition et bois vermoulu) représentaient 53% du bois mort au sol. Les volumes, les dimensions et les stades de décomposition variaient fortement d'une réserve à l'autre. En comparaison, dans la forêt suisse, il y a moins de bois mort (21.5 m<sup>3</sup>/ha, soit 5% du volume total), de dimension plus faible (seulement 35% de bois mort de diamètre > 30 cm), et il est moins décomposé (10% en stade de décomposition avancé). Le volume de bois mort dans les réserves forestières naturelles est cependant encore nettement inférieur à celui présent dans des hêtraies vierges ou naturelles européennes. Par conséquent, 40 à 92 ans après la dernière intervention, l'évolution en direction de la forêt vierge n'a que débuté dans les réserves étudiées.