

*Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie
der Schweiz*

Rita Bütler, Thibault Lachat, Rodolphe Schlaepfer

Laboratorium für Ökosystemmanagement
Eidgenössische Technische Hochschule, Lausanne (EPFL)

Oktober 2005

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	5
1. AUSGANGSLAGE.....	7
2. AUFTRAG UND ZIEL	9
3. WIE VIEL: ALT- UND TOTHOLZ REGIONENWEISE	11
3.1 INDIKATOR TOTHOLZ UND VORHANDENE DATEN	11
3.1.1 <i>Totholz</i>	12
3.1.2 <i>Biotopbäume</i>	13
3.1.3 <i>Gliederungen der Schweiz</i>	13
3.2 IST-ZUSTAND: DESKRIPTIVE UNIVARIATE ANALYSE DER LFI2-DATEN.....	14
3.2.1 <i>Totholz</i>	14
3.2.2 <i>Altholz</i>	16
3.2.3 <i>Vergleich zwischen den Regionen</i>	20
3.2.4 <i>Zusammenhang zwischen einzelnen Faktoren und Totholz mengen: univariate Analyse</i> ..	22
3.3 IST-ZUSTAND: MULTIVARIATE ANALYSE	32
3.3.1 <i>Methodisches Vorgehen</i>	32
3.3.2 <i>Multivariate Modelle für die Produktionsregionen</i>	32
3.3.3 <i>Synthese aus univariater und multivariater Analyse</i>	37
3.4 VERGLEICH ZWISCHEN IST- UND SOLL-ZUSTAND	39
3.4.1 <i>Die Praxishilfe „Holznutzung und Naturschutz“</i>	39
3.4.2 <i>Literatursynthese</i>	41
3.4.3 <i>FSC-Zertifizierungsstandards</i>	42
4. WO: ERHALTUNGS- UND FÖRDERUNGSPOTENTIALE AUS NATIONALER SICHT	45
4.1 AUSWAHL DER ALT- UND TOTHOLZABHÄNGIGEN ORGANISMEN.....	45
4.1.1 <i>Säugetiere</i>	47
4.1.2 <i>Vögel</i>	47
4.1.3 <i>Reptilien und Amphibien</i>	48
4.1.4 <i>Insekten</i>	48
4.1.5 <i>Mollusken</i>	49
4.1.6 <i>Pilze</i>	49
4.1.7 <i>Flechten</i>	50
4.2 HERSTELLUNG DER POTENTIELLEN VERBREITUNGSKARTEN	50
4.3 LEBENSRAUMEIGNUNGSKARTE: SAPROXYLIC HOTSPOTS	51
4.3.1 <i>Relative und absolute Fläche</i>	52
4.3.2 <i>Saproxyliche Hotspots nach Produktionsregionen</i>	52
4.3.3 <i>Saproxyliche Hotspots nach Wirtschaftsregionen</i>	55
4.3.4 <i>Saproxyliche Hotspots nach Kantonen</i>	57
4.4 REGIONALE HANDLUNGSSCHWERPUNKTE UND PRIORITÄTEN	60
5. WIE UND WAS: HANDLUNGSOPTIONEN	65
5.1 DIREKTE MASSNAHMEN	66
5.1.1 <i>Alt- und Totholzanreicherung durch „Weniger machen“</i>	66
5.1.2 <i>Waldreservate</i>	72
5.1.3 <i>Altholzinseln</i>	72
5.1.4 <i>Biotopbäume (Biotopholz, Habitatbäume)</i>	73
5.1.5 <i>Methusalems (Baumveteranen, Totholzanwärter)</i>	75
5.1.6 <i>Vernetzung</i>	76
5.1.7 <i>Technik</i>	76
5.1.8 <i>Finanzielle Unterstützung in anderen Ländern: Beispiele</i>	77
5.2 VERBESSERUNG DER RAHMENBEDINGUNGEN.....	78
5.2.1 <i>Bildung</i>	78
5.2.2 <i>Information</i>	79
5.2.3 <i>Sicherheit und Haftbarkeit</i>	79
5.2.4 <i>Monitoring und Forschung</i>	80

5.3 GEGENÜBERSTELLUNG SAPROXYLIC HOTSPOTS (ORGANISMEN) UND IST-ZUSTAND (TOTHOLZ)	82
5.4 BEDENKEN, ZIELKONFLIKTE UND MÖGLICHE LÖSUNGEN	86
5.4.1 <i>Phytosanitäre Risiken</i>	86
5.4.2 <i>Gefährdung durch herabfallendes Totholz</i>	87
5.4.3 <i>Holznutzungsentgang (Ernteaussfall)</i>	88
5.4.4 <i>Unordnung und Verschwendung</i>	88
5.4.5 <i>Erschwerung von Folgeeingriffen</i>	88
5.4.6 <i>Brandgefahr</i>	88
5.4.7 <i>Rutschgefahr</i>	89
5.4.8 <i>Verkläusung und Überschwemmungsgefahr</i>	89
6. SCHLUSSFOLGERUNGEN	91
7. DANKSAGUNG	93
8. BIBLIOGRAPHIE	94
9. ANHANG	97

Zusammenfassung

Alte Bäume und Totholz sind für unzählige Pflanzen- und Tierarten unerlässliche Ressourcen oder Habitate und darum wichtige Bestandteile eines gesunden, nachhaltig bewirtschafteten Waldes. Alte, totholzreiche Wälder bedeckten einst grosse Flächen in Mitteleuropa, fehlen jedoch heute als Folge der intensiven Waldnutzung weitgehend. Zahlreiche totholzabhängige (saproxylische) Organismen sind deshalb vom Aussterben bedroht. Diese Tatsache wurde auf politischer Ebene erkannt und Totholz wurde an der Ministerkonferenz zum Schutz der Wälder Europas als Indikator für Biodiversität definiert. Die Erhaltung der Biodiversität ist eine Priorität der Schweizer Waldpolitik geworden. Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) hat sich zum Ziel gesetzt, eine nationale Strategie zur Erhaltung und Förderung von Alt- und Totholz auszuarbeiten, um sicherzustellen, dass saproxylische Arten langfristig genügend Lebensraum in den Schweizer Wäldern finden. Diese Strategie ist ein Element nachhaltiger Waldbewirtschaftung und ein Schritt der Schweiz zur Konkretisierung ihrer Verpflichtungen auf internationaler Ebene. Sie gehört zum Umsetzungsprozess des Waldprogramms Schweiz und soll dem BUWAL als Grundlage für die effor2-Verträge mit den Kantonen dienen.

Dieser Bericht ist das Ergebnis eines Auftrags des BUWAL. Er liefert die wissenschaftlichen Grundlagen und unterbreitet einen Vorschlag für eine Alt- und Totholz-strategie. Die zugrundeliegende Untersuchung bezweckt, verschiedene Fragen zu beantworten:

1. **Wie viel** Alt- und Totholz hat und braucht es regionenweise?
2. **Wo** soll Alt- und Totholz gefördert und erhalten werden?
3. **Wie** kann Alt- und Totholz gefördert und **was** soll dazu unternommen werden?

Erstens will diese Untersuchung eventuelle Alt- und Totholzdefizite aufzeigen. Dafür wurden die Daten des zweiten Schweizerischen Landesforstinventars analysiert. Es zeigte sich, dass fast alle Regionen ökologische Defizite bezüglich Alt- und Totholz aufweisen. Am grössten sind die Mängel im Mittelland und im Jura. Die Analyse verdeutlicht, dass die vorhandenen Totholz mengen mit den zur Verfügung stehenden Daten kaum erklärt werden können. Der Hauptfaktor für das lokale Vorkommen von Alt- und Totholz ist wahrscheinlich der Einfluss des Forstpersonals.

Zweitens wird das Erhaltungspotential für alt- und totholzabhängige Organismen analysiert. Dafür wurde eine ökologisch begründete Auswahl von 55 Arten getroffen, für die die Schweiz eine besondere Verantwortung trägt und die voraussichtlich von einer Lebensraumaufwertung profitieren werden. Danach stellten wir für jede Art eine Lebensraumeignungskarte her. Die Kumulation der 55 Lebensraumeignungskarten zeigt die „saproxylischen Hotspots“ der Schweiz. Daraus wurden regional unterschiedliche Prioritätsstufen abgeleitet. Das Mittelland, der Jura und die Süd-Alpen haben das grösste Erhaltungspotential.

Drittens schlagen wir verschiedene Handlungsoptionen vor, um die Situation dort zu verbessern, wo ein Handlungsbedarf festgestellt wurde. Einerseits empfehlen wir direkte Massnahmen vor Ort (z.B. Einrichten von Altholzinseln, Markieren von Methusalems, Biotopbäumen usw.), um mittelfristig mehr Alt- und Totholz im Waldökosystem zu gewährleisten. Andererseits schlagen wir Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen vor. Dazu gehört insbesondere die Erarbeitung eines Aus- und Weiterbildungskurses für das Forstpersonal, das besser über Alt- und Totholz informiert werden muss. Es müssen auch Antworten auf offene Forschungsfragen gefunden werden, die für eine sinnvolle Umsetzung des Waldprogramms im Bereich Alt- und Totholz nötig sind.

1. Ausgangslage

Die Schweiz ist Mitglied des pan-europäischen Prozesses zum Schutz der Wälder in Europa. Sie hat an der 4. Ministerkonferenz in Wien die Indikatoren für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung akzeptiert (MCPFE Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 2003¹). Ein wichtiger **Indikator** für das **Kriterium Biodiversität** ist „**Totholz**“.

Totholz ist ein typisches Merkmal von Naturwäldern und ein Schlüsselement für die Biodiversität. Rund ein Fünftel der gesamten Waldfauna Mitteleuropas, über 1300 Käfer- sowie über 2500 höhere Pilzarten können ohne totes Holz nicht überleben. In alten, natürlichen Waldbeständen ist Totholz in grosser Menge und Vielfalt vorhanden. Da europäische Wälder seit Jahrhunderten intensiv genutzt wurden, fehlen heute alte Waldbestände weitgehend. Diese Verminderung von Totholz führte zu einem **krassen Verlust von Habitaten für saproxyliche**² **Arten**. Heute sind in Mitteleuropa beispielsweise mehr als die Hälfte der Käferarten bedroht, die in totem Holz leben.

Wie die meisten europäischen Länder hat auch die Schweiz in vielen Wäldern (z.B. Mittelland) zu wenig Alt- und Totholz für die Erhaltung der Artenvielfalt. Verglichen mit naturbelassenen Gebieten in Osteuropa, wo es 50-200 m³ Totholz pro Hektare gibt, hat es beispielsweise im Mittelland nur 4.9 m³ pro Hektare. Da die Schweiz ihren **internationalen Verpflichtungen** nachkommen muss, hat sie in ihrem nationalen **Waldprogramm** (WAP-CH)³ die Erhaltung der Biodiversität als eine Hauptstossrichtung definiert. Als Konsequenz für die Umsetzung dieses Programms ergibt sich nun die Notwendigkeit nach einer nationalen **Strategie für die Erhaltung und Förderung von Alt- und Totholz**. Deshalb erteilte das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) dem Laboratoire de Gestion des écosystèmes der EPFL (Ecole polytechnique fédérale de Lausanne) den Auftrag, einen Vorschlag für eine nationale Alt- und Totholzstrategie auszuarbeiten. In einem vorangehenden Auftrag⁴ wurde untersucht, inwiefern die Grundlagen für eine solche Strategie vorhanden sind. Eine wichtige Schlussfolgerung dieser Studie war die Feststellung, dass die **wissenschaftlichen Grundlagen für eine sinnvolle Strategie noch weitgehend fehlen**. Diese müssen parallel mit der Umsetzung der vorliegenden Strategie in mehreren Teilschritten erarbeitet werden.

¹ MCPFE, 2003. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management: as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7-8 October 2002, Vienna, Austria.

² Saproxylich: Arten, die während mindestens eines Teils ihres Lebenszyklus von absterbenden oder toten Bäumen oder von holzbewohnenden Pilzen abhängen und Arten, die von anderen saproxylichen Arten abhängen.

³ BUWAL. 2004. Waldprogramm Schweiz (WAP-CH): Handlungsprogramm 2004-2015. Schriftenreihe Umwelt Nr. 363. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 117 S. <http://www.waldprogramm.ch/>

⁴ Bütler, R., Gorgerat, V. & Schlaepfer, R. 2004. Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie für die Schweiz : Vorstudie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidg. Forstdirektion. Laboratoire de Gestion des écosystèmes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, November 2004.

2. Auftrag und Ziel

Das BUWAL hat sich zum Ziel gesetzt, eine ökologisch sinnvolle, praktisch machbare und politisch akzeptable *Alt- und Totholzstrategie für die Schweiz* zu erarbeiten. Diese Strategie soll sicherstellen, dass alt- und totholzabhängige Organismen langfristig genügend Lebensraum in den Schweizer Wäldern zur Verfügung haben. Sie ist somit ein Element nachhaltiger Waldbewirtschaftung und ein Schritt der Schweiz zur Konkretisierung ihrer Verpflichtungen auf internationaler Ebene (MCPFE).

Eine nationale Alt- und Totholzstrategie fügt sich in ein vielfältiges politisches und instrumentelles Umfeld ein (Abbildung 1). Aus dieser Abbildung wird klar, dass eine derartige Strategie viele Faktoren einbeziehen muss und ihre Erarbeitung deshalb entsprechend komplex ist. Es zeigt sich auch, dass die Umsetzung einer solchen Strategie ein mehrgleisiger Prozess ist. Einige Ziele werden sich nur mittel- bis langfristig erreichen lassen (z.B. Sensibilisierung der Öffentlichkeit; Erarbeitung der wissenschaftlichen Erkenntnisse), während andere kurz- bis mittelfristig erreicht werden müssen (Inkrafttreten der ersten effor2-Verträge im Jahre 2008).

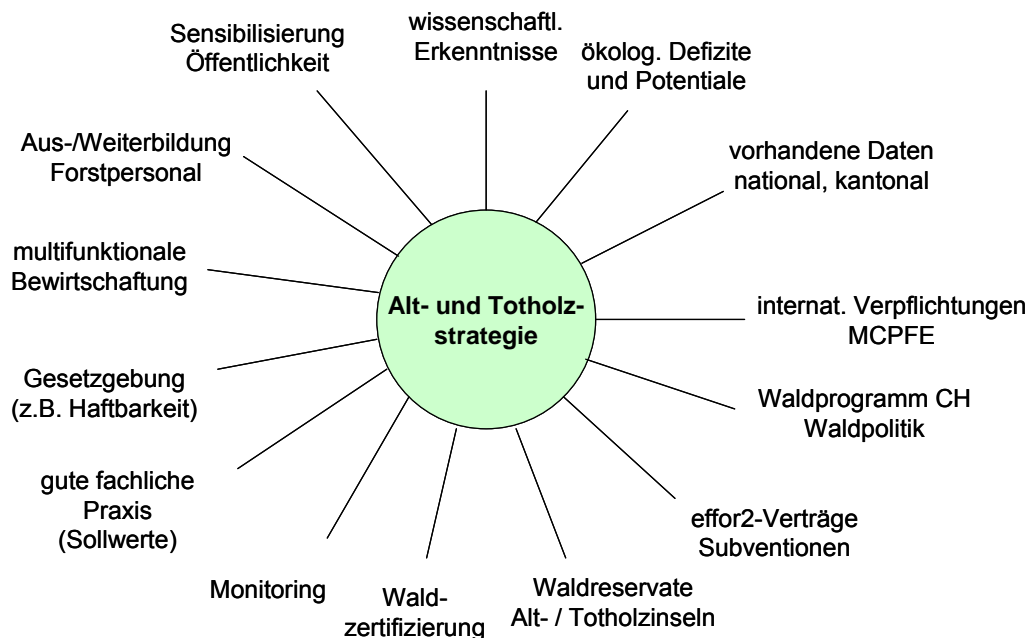


Abbildung 1: Vielfältiges Umfeld, in das sich die Alt- und Totholzstrategie einfügt und das sie zugleich in einem gewissen Rahmen beeinflusst.

Der Auftrag, der dem vorliegenden Bericht zugrunde liegt, hatte zum Ziel, die Erhaltungspotentiale und eventuellen ökologischen Defizite bezüglich Alt- und Totholz aus nationaler Sicht aufzuzeigen sowie den regionalen Handlungsbedarf daraus abzuleiten. Ein weiteres Ziel war, verschiedene konkrete Handlungsoptionen vorzuschlagen, wo ein Handlungsbedarf besteht. Der vorliegende Bericht soll dem BUWAL dazu dienen, den Kantonen für die Vorbereitung der effor2-Verträge für das Vierjahresprogramm 2008-2011 konkrete Handlungsschwerpunkte und -optionen im Bereich Alt- und Totholzförderung zu unterbreiten.

Der Auftrag hatte die folgenden Teilziele:

1. Treffen einer geeigneten Auswahl von alt- und totholzabhängigen Organismen (Gruppen, Arten), die von einer Alt- und Totholzförderung voraussichtlich profitieren werden und für die die Schweiz eine besondere Verantwortung trägt;

2. Aufzeigen eventueller Alt- und Totholzdefizite regionenweise aus nationaler Sicht bezüglich der Ansprüche dieser Organismen;
3. Ableiten der Handlungsschwerpunkte regionenweise mit Beurteilung der Prioritäten;
4. Vorschlagen von konkreten, machbaren Handlungsoptionen, dort, wo ein Handlungsbedarf besteht.

3. WIE VIEL: Alt- und Totholz regionenweise

In diesem Kapitel analysieren wir den schweizerischen Ist-Zustand bezüglich Alt- und Totholz mit Hilfe der Daten des zweiten Schweizerischen Landesforstinventars (LFI2-Daten). Zuerst präsentieren wir eine deskriptive, univariate statistische Analyse. Nachher folgt eine multivariate Analyse. Nach der Beschreibung des Ist-Zustandes bezüglich Alt- und Totholz vergleichen wir die Resultate mit verschiedenen möglichen Soll-Zuständen, die anderswo definiert wurden und zum Teil bereits angestrebt werden.

3.1 Indikator Totholz und vorhandene Daten

In den Schweizer Wäldern ist das Vorkommen vieler Arten an Totholz gebunden. Zudem sichert das verbleibende Totholz die Bodenfruchtbarkeit, stabilisiert den Waldboden und beugt Steinschlag, Lawinen und Erosion vor. Natürlicherweise nahmen Urwälder umfangreiche Flächenanteile in Mitteleuropa ein, sodass grössere Mengen alten, absterbenden und toten Holzes akkumulieren konnten (20 bis 400 m³ ha⁻¹). Die Vielfalt der Alt- und Totholzhabitate liess im Laufe der Evolution eine reiche und teilweise auch hoch spezialisierte Fauna und Flora entstehen. Das Entfernen von Alt- und Totholz führt nicht nur zu einem Habitatsverlust für all die Arten, die von Totholz abhängig sind, es unterbricht auch wertvolle Ökosystemprozesse, die zum Waldökosystem gehören.

Aus diesen Gründen wurde Totholz als einer von mehreren Indikatoren⁵ für die Waldbiodiversität vorgeschlagen und an der 4. Ministerkonferenz in Wien zum Schutz der Wälder in Europa auf politischer Ebene adoptiert. Genauer gesagt handelt es sich um das „Volumen von stehendem und liegendem Totholz in Wäldern und anderen bewaldeten Gebieten“. Gemessen wird dieser Indikator als Volumen pro Hektare (m³ ha⁻¹). Um internationalen Vergleichen zu genügen, arbeiteten wir in dieser Untersuchung hauptsächlich mit dem Totholzvolumen pro Fläche, obwohl es auch andere Möglichkeiten gibt, Totholz mengen auszudrücken (z.B. Totholzanteil am Gesamtvolumen).

Die Frage, ob das Totholzvolumen auch für dicke tote Bäume ein guter Indikator ist, kann mit der Abbildung 2 beantwortet werden. Sie zeigt eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Totholzvolumen und der Anzahl toter Bäume mit einem BHD >40 cm pro Hektare. Dies bedeutet, dass der offizielle Indikator Totholz auch eine Aussage über dicke tote Bäume liefert. Tatsächlich sind es dicke, tote Bäume, die für die Biodiversität besonders wichtig sind (Bütler, 2003), was nicht bedeutet, dass Totholz kleinerer Durchmesser nicht auch wichtig ist.

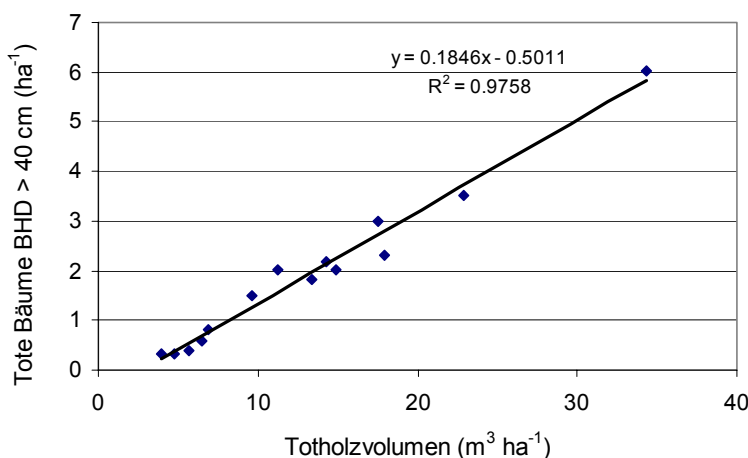


Abbildung 2: Korrelation zwischen der Anzahl toter Bäume mit BHD >40 cm pro Hektare und dem Totholzvolumen. Dargestellt sind die Mittelwerte der 14 Wirtschaftsregionen (siehe Abb. 3).

⁵ Die anderen Indikatoren für das Kriterium Biodiversität sind : Tree species composition, Regeneration, Naturalness, Introduced species, Genetic resources, Landscape Pattern, Threatened forest species, Protected forests.

Die in dieser Untersuchung benützten Daten über Alt- und Totholz stammen aus dem zweiten Landesforstinventar (LFI2, 1993 bis 1995). Es wurden darin sowohl Daten für Probeflächen (6'412) als auch für Einzelbäume (76'394) erhoben. Obwohl das „sampling design“ nicht gezielt für ein Alt- und Totholzinventar geplant wurde und demnach für diesen Zweck nicht optimal ist, haben wir diese einzigen auf nationaler Ebene zur Verfügung stehenden Daten für diese Arbeit verwendet. Leider konnten die Daten des LFI3 (drittes Landesforstinventar) noch nicht verwendet werden, da die Feldaufnahmen zur Zeit im Gang sind (2004-2006) und die Daten erst in einigen Jahren zur Verfügung stehen werden.

3.1.1 Totholz

Im LFI2 wurden alle liegenden und stehenden toten Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) >12 cm und >1.3 m Länge/Höhe gemessen. Der Totholzzersetzungsgrad kommt im LFI2 nicht vor, wird aber im LFI3 neu aufgenommen. Das Totholzvolumen pro Hektare ($m^3 ha^{-1}$) wurde von den Variablen Schaffholzvolumen des Baumes in Rinde (VMRD, m^3), Baumzustand (stehend oder liegend dürr; DUERR = 1 und 10) abgeleitet und mit der repräsentierten Stammzahl (RPSTZ, $n ha^{-1}$) auf die Hektare extrapoliert. Vier Totholztypen wurden im LFI2 erhoben (Tabelle 1).

Tabelle 1: Totholztypen aus dem LFI2.

Totholztypus	Flächenbeurteilung (Qualitativ)	Erhebung am Einzelbaum (Quantitativ)
Dürrständer (stehender toter Baum)	vorhanden/nicht vorhanden: >1 m^3 , ab 20 cm BHD	Ab BHD >12 cm und >1.3 m hoch, Baumart, Schichtzugehörigkeit, BHD und Umfang.
Liegend dürr (liegender toter Baum)	Vorhanden/nicht vorhanden, mindestens ein liegender Baum ab 30 cm BHD (als „Stöcke“ aufgenommen)	Ab BHD >12 cm und >1.3 m lang
Stöcke	Vorhanden/nicht vorhanden: Mehr als 5 Baumstöcke (Minimalhöhe 20 cm) ab 30 cm \varnothing	
Asthaufen	Vorhanden, nicht vorhanden: Holz- und Asthaufen (\pm kompakt, d.h. Boden nicht sichtbar, höher als 30 cm, zusammen >3 m^2)	

In der Schweiz sind im Durchschnitt 6% der Bäume tot (5 % in den tiefen Lagen und 8% in den hohen Lagen). Verglichen mit dem LFI1 hat der Anteil toter Bäume (stehend und liegend) zugenommen: +2.8%. Diese Zunahme liegt aber vorwiegend in der Aufnahmemethode. Im LFI1 wurden nur die toten Bäume betrachtet, welche noch als Feuerholz benützt werden konnten. Eine Zunahme in den letzten 10 Jahren ist aber trotzdem plausibel (Borkenkäfer, Lothar, weniger Bewirtschaftung, Überalterung). Die stärksten Zunahmen befinden sich vor allem in Gebieten, die schlecht erschlossen sind (Alpen und Süd-Alpen). In nicht bewirtschafteten Wäldern starben zwischen dem LFI1 und 2 (10 Jahre) 9.1% der Bäume, was 7.5% des Volumens entspricht (Brassel & Brändli, 1999).

3.1.2 Biotopbäume

Der Begriff „Biotopbaum“ wurde bis jetzt vor allem in Deutschland verwendet (siehe Kapitel 5.1.4 Biotopbäume). Biotopbäume sind jene Bäume, die aufgrund ihrer Beschaffenheit eine besondere Bedeutung für Fauna und Flora haben. Sie sind ein wichtiger Bestandteil des Lebensraumes für zahlreiche spezialisierte Arten. Sie müssen in ausreichender Qualität, Zahl und Verteilung vorhanden sein, um die biologische Vielfalt zu erhalten. Einige Kriterien der Biotopbäume wurden im LFI2 gemessen (aus der Variablen Schadenart: SCHART) und ermöglichen eine Schätzung der potentiellen Biotopbäume pro Hektare (Kapitel 5.1.4 Biotopbäume).

3.1.2.1 Alte Bäume

Die alten Bäume gehören zu den Biotopbäumen, da sie für viele Arten wertvolle Strukturen und Habitate anbieten. Daten über alte Bäume sind aber nicht direkt im LFI2 vorhanden. Das Alter von nicht genutzten Bäumen bleibt unbekannt, solange sie nicht gefällt werden. Das Bestandesalter (Schätzung oder Jahrringzählung) und/oder der BHD geben aber wertvolle Informationen über das Baumalter.

3.1.3 Gliederungen der Schweiz

Im Rahmen dieser Untersuchung haben wir die Schweiz in Produktionsregionen, Wirtschaftsregionen und Kantone gegliedert.

Die verschiedenen Gliederungen sind folgendermassen definiert (siehe auch Abbildung 3):

- Produktionsregion (Prodreg): Gliederung der Schweiz aufgrund von unterschiedlichen Wuchs- und Holzproduktionsbedingungen in die Regionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite;
- Wirtschaftsregion (Wireg): Weitere Unterteilung der 5 Produktionsregionen in 14 wirtschaftsgeographische Regionen;
- Kanton: Politische Gliederung. Basel Stadt und Basel Land wurden zusammen betrachtet (BS + BL); sie haben gemeinsame Forstdienste. Andere Halbkantone wurden zusammengefasst, sofern die Anzahl von LFI2-Probeflächen für die statistischen Analysen kritisch wurde.

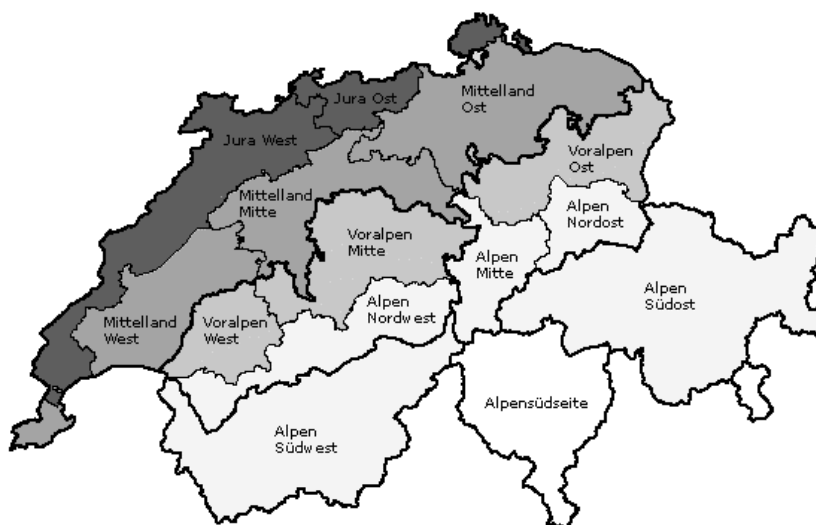


Abbildung 3:
Gliederung der Schweiz in Produktionsregionen (Prodreg, Dunkelgrau = Jura, Mittelgrau = Mittelland, Grau = Voralpen, Hellgrau = Alpen, Weiss = Südalpen) und in Wirtschaftsregionen (Wireg, 14) (Nach LFI2)⁶.

⁶ <http://www.lfi.ch/>

3.2 Ist-Zustand: Deskriptive univariate Analyse der LFI2-Daten

3.2.1 Totholz

Totholz mengen können durch verschiedene aus dem LFI2 abgeleitete Variablen ausgedrückt werden: z.B. *Volumen pro Hektare*, *Anteil am Gesamtvolumen* (lebend und tot), *Anzahl tote Bäume pro Hektare* oder *Waldflächenanteil mit Totholz >12 cm oder >40 cm*. Da die einzelnen Variablen verschiedene Aspekte beschreiben, ergeben sie zusammen ein kompletteres Bild als der offizielle Totholzindikator (Volumen pro Hektare) für sich allein.

Die Totholz mengen sind je nach Region sehr unterschiedlich. Das Mittelland hat die kleinsten Totholz volumen pro Hektare, die Alpen haben die grössten, gefolgt von den Vor- und Südalpen (Abbildung 4 und Tabelle 2; 4. Kolonne). Die Wirtschaftsregion Mittelland Mitte hat am allerwenigsten Totholz ($3.9 \pm 0.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Betrachtet man den Anteil des Totholzes am Gesamtvolumen, so steht ebenfalls Mittelland Mitte mit $0.8 \pm 0.2\%$ am schlechtesten da. In den Alpen treten die Alpen Nord-Ost mit $28.8 \pm 4.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ stark hervor, die Alpen Süd-West hingegen haben mit $8.1 \pm 0.7\%$ den grössten Anteil am Lebendvolumen.

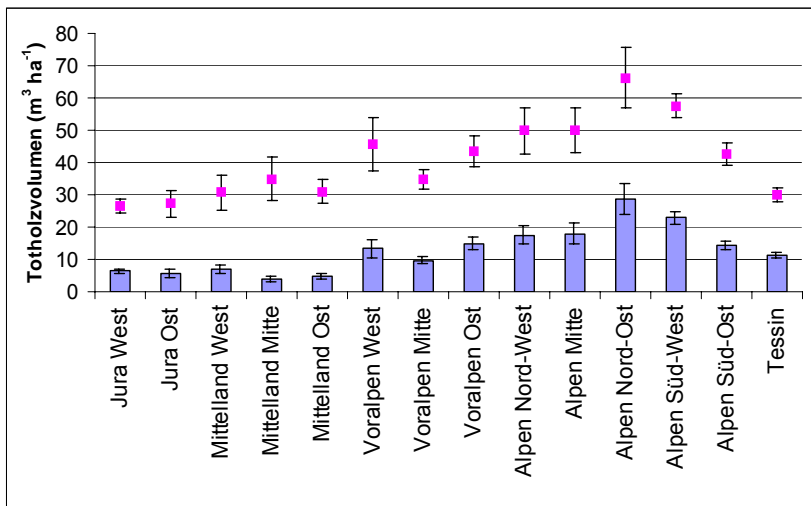


Abbildung 4: Histogramm: Mittleres Totholzvolumen (stehend und liegend) in den Wirtschaftsregionen. Punkte: Mittleres Totholzvolumen der Stichprobeflächen, in denen Totholz gefunden wurde (Probeflächen ohne Totholz ausgeschlossen). Mittelwerte und Standardfehler

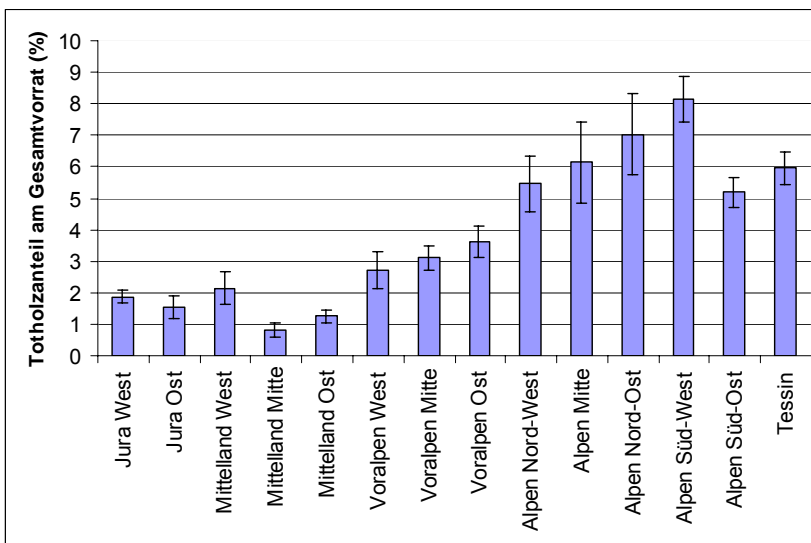


Abbildung 5: Anteil des Totholz volumens (stehend und liegend) am Gesamtvorrat (lebend und tot) in den Wirtschaftsregionen. Mittelwerte und Standardfehler.

Bezüglich des Anteils am Gesamtvolumen fallen die Südalpen (Tessin) auf (Abbildung 5 und Tabelle 2; 5. Kolonne). Sie weisen mit 6% fast doppelt so viel auf wie die Voralpen (3.2%), da der Lebendvorrat in den Südalpen erheblich kleiner ist. Es wird aus dieser Gegenüberstellung von *Volumen* und *Anteil am Gesamtvolumen* klar, dass der offizielle Indikator *Totholzvolumen* je nach Region eine andere Bedeutung bezüglich Bewirtschaftung bzw. Stehenlassen von Totholz haben kann. Ein Beispiel möge diesen Aspekt erläutern: 20 m³ ha⁻¹ Totholz (eine ökologische Minimalforderung; siehe Kapitel 3.4.2) entspricht im Jura 5.6% des Lebendvorrates, im Mittelland 4.6%, in den Voralpen 4.4%, in den Alpen 6.7% und den Südalpen gar 9.7%.

Tabelle 2: Totholz mengen in den Schweizer Produktionsregionen (Prodreg) und Wirtschaftsregionen (Wireg). Mittelwerte mit Standardfehlern.

Region	Prodreg	N	Volumen (stehend und liegend)			Totholz	LFI-Probefläche mit Totholz	
			[m ³ ha ⁻¹]	[%] ¹	[m ³ ha ⁻¹] ²	> 40 cm BHD	>12 cm	> 40 cm
Jura	1	1103	6.3 ± 0.6	1.8 ± 0.2	26.6 ± 2.0	0.5 ± 0.1	24	2
Mittelland	2	1310	4.9 ± 0.5	1.3 ± 0.2	31.8 ± 2.8	0.4 ± 0.1	16	2
Voralpen	3	1217	12.1 ± 1.0	3.2 ± 0.3	40.2 ± 2.8	1.7 ± 0.2	30	7
Alpen	4	2012	19.4 ± 1.1	6.3 ± 0.3	51.5 ± 2.3	3.1 ± 0.2	37	11
Südalpen	5	770	11.2 ± 1.0	6.0 ± 0.5	29.9 ± 2.3	2.0 ± 0.3	38	8
	Alle	6412	11.8 ± 0.4	3.9 ± 0.1	40.2 ± 1.2	1.7 ± 0.1	29	6

Region	Wireg	N	[m ³ ha ⁻¹]	[%] ¹	[m ³ ha ⁻¹] ²	[Anzahl ha ⁻¹]	>12 cm	> 40 cm
Jura West	1	857	6.4 ± 0.7	1.9 ± 0.2	26.4 ± 2.2	0.6 ± 0.1	24	3
Jura Ost	2	246	5.7 ± 1.1	1.5 ± 0.4	27.3 ± 4.2	0.4 ± 0.2	21	2
Mittelland West	3	275	6.9 ± 1.4	2.1 ± 0.5	30.7 ± 5.4	0.8 ± 0.3	23	3
Mittelland Mitte	4	412	3.9 ± 0.9	0.8 ± 0.2	35.0 ± 6.8	0.3 ± 0.2	11	1
Mittelland Ost	5	623	4.8 ± 0.7	1.2 ± 0.2	30.9 ± 3.7	0.3 ± 0.1	15	1
Voralpen West	6	240	13.3 ± 2.7	2.7 ± 0.6	45.7 ± 8.2	1.8 ± 0.5	29	7
Voralpen Mitte	7	563	9.6 ± 1.1	3.1 ± 0.4	34.8 ± 3.1	1.5 ± 0.3	28	6
Voralpen Ost	8	414	14.9 ± 1.9	3.6 ± 0.5	43.3 ± 4.8	2.0 ± 0.5	34	7
Alpen Nord-West	9	302	17.5 ± 2.8	5.5 ± 0.9	49.8 ± 7.1	3.0 ± 0.7	35	9
Alpen Mitte	10	148	17.9 ± 3.2	6.1 ± 1.3	50.0 ± 7.1	2.3 ± 0.6	36	10
Alpen Nord-Ost	11	176	28.8 ± 4.7	7.0 ± 1.3	66.2 ± 9.3	6.0 ± 1.5	44	17
Alpen Süd-West	12	612	22.9 ± 1.9	8.1 ± 0.7	57.5 ± 3.8	3.5 ± 0.4	40	13
Alpen Süd-Ost	13	774	14.2 ± 1.4	5.2 ± 0.5	42.6 ± 3.5	2.2 ± 0.3	34	8
Tessin	14	770	11.2 ± 1.0	6.0 ± 0.5	29.9 ± 2.3	2.0 ± 0.3	38	8
	Alle	6412	11.8 ± 0.4	3.9 ± 0.1	40.2 ± 1.2	1.7 ± 0.1	29	6

¹ Anteil am Gesamtvolumen (lebend und tot)

² nur Stichproben mit Totholz (d.h. totholzlose Probeflächen ausgeschlossen)

Eine andere interessante Information ist das Totholzvolumen berechnet ausschliesslich für die Stichprobeflächen, in denen Totholz gefunden wurde, d.h. unter Ausschluss aller totholzlosen Probeflächen (Tabelle 2; 6. Kolonne). Dabei gilt zu beachten, dass die LFI-Probeflächen eine Grösse von lediglich 500 m² aufweisen. Man findet 27 m³ pro Hektare im Jura (kleinster Wert) und 52 m³ pro Hektare in den Alpen (grösster Wert). Diese Zahlen lassen folgende Aussage zu: Wo Totholz vorkommt, da sind die Mengen relativ gross, und zwar in sämtlichen Regionen. Die Unterschiede

zwischen den Regionen für diese Totholz enthaltenden Probeflächen sind nur noch zweifach (z.B. zwischen Jura und Alpen) und nicht mehr sieben- oder gar zehnfach (Anteil am Gesamtvolumen). Anders ausgedrückt stellt man fest, dass das Mittelland auf 84% und der Jura auf 76% der Probeflächen überhaupt kein Totholz (>12 cm) hat (8. Kolonne). Betrachtet man die toten Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser von mindestens 40 cm, so findet man diese auf nur 2% der Probeflächen im Jura und im Mittelland (9. Kolonne). In den Alpen hingegen trifft man auf 11% der Probeflächen solche Strukturen an. Unter den Wirtschaftsregionen fallen das Mittelland Mitte und Ost negativ (1% Waldfläche mit Totholz >40 cm BHD), die Alpen Nord-Ost und Süd-West hingegen positiv auf (17 resp. 13%).



Im Mittelland Mitte ist das Totholzvolumen am kleinsten ($4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), in den Alpen Nord-Ost am grössten ($29 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Der Totholzanteil am Gesamtvolumen variiert von 0.8% (Mittelland Mitte) bis 8.1% (Alpen Süd-West). Totholz ($\geq 12 \text{ cm}$ BHD) kommt nur auf 11% der Waldfläche im Mittelland Mitte vor, wogegen man davon auf 44% der Waldfläche in den Alpen Nord-Ost findet. Tote Bäume mit BHD >40 cm findet man nur auf 1-3% der Waldfläche im Mittelland, jedoch auf 8-17% in den Alpen. Dies entspricht 0.3-0.8 Bäume pro Hektare im Mittelland und 2.3-6.0 Bäume pro Hektare in den Alpen. Betrachtet man nur diejenigen Waldflächen, die tatsächlich Totholz enthalten, so sind die Unterschiede zwischen den Regionen viel geringer. Im Minimum gibt es $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Jura West) und im Maximum $66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Alpen Nord-Ost).

3.2.2 Altholz

Die LFI2-Daten erlauben es nicht, das Alter jedes Baumes zu kennen. Wir analysieren deshalb hier die Variable *Brusthöhendurchmesser*, welche indirekt etwas über das Alter aussagt. Ausserdem benutzen wir die Variable *Bestandesalter*. Die waldwirtschaftliche und die ökologische Definition von Altholz gehen stark auseinander. Im ökologischen Sinne ist ein Baum alt, wenn er sich dem Ende der natürlichen Lebensdauer nähert. Im wirtschaftlichen Sinne hingegen spricht man meist dann von Altbestand oder Altholz, wenn die wirtschaftliche Hiebsreife erreicht und der Bestand gegen Ende der sogenannten Umtriebszeit geräumt und verjüngt wird. Als wirtschaftlich „überalterte Bestände“ bezeichnet man Bestände, die die optimale Umtriebszeit (wirtschaftliche Lebensdauer) überschritten haben.

Tabelle 3 zeigt die maximale Lebensdauer verschiedener Baumarten sowie deren Rekorddimensionen im Freiland. Die wirtschaftliche Umtriebszeit entspricht nur einem kleinen Anteil der natürlichen Lebenserwartung. Für Buchen oder Fichten beispielsweise beträgt die natürliche Lebensdauer 600-900 bzw. 200-500 Jahre (eher zu hohe Schätzung für Buche; pers. Mitt. U.-B. Brändli). Die Umtriebszeit liegt bei 120-160 bzw. 80-100 Jahren. Das heisst, dass eine Buche im Wirtschaftswald gefällt wird, wenn sie 13-27% ihrer Lebenserwartung erreicht hat, eine Fichte bei 25-50% ihrer Lebenserwartung. Die Schweizer Wälder sind zwar vom wirtschaftlichen Standpunkt aus gemäss LFI2 strukturell überaltert (das mittlere Bestandesalter hat im Schweizer Durchschnitt von 91 Jahren im LFI1 auf 97 Jahre im LFI2 zugenommen). Aus ökologischer Perspektive aber fehlen Altbestände weitgehend und nehmen nur einen verschwindend kleinen Anteil der Waldfläche ein, ausser in den Alpen (Abbildung 6). Der Waldflächenanteil der Bestände älter als 100 Jahre liegt in den Produktionsregionen noch bei 21-42%, sinkt jedoch unterhalb 3% für Bestände älter als 200 Jahre (Ausnahme: Alpen mit 8%). Im Mittelland ist das Fehlen von Altbeständen am ausgeprägtesten. Abbildung 6 verdeutlicht die besonders starke Abnahme der Altbestände im Mittelland nach dem Erreichen von 100 Jahren.

Tabelle 3: Maximale Lebenserwartung und Dimensionen (Rekordwerte) sowie wirtschaftliche Umtriebszeit für einige Bäume Europas. Quelle: Scherzinger 1996; S. 124, verändert nach Brändli, 1996.

natürliche Lebensdauer					
Baumgattung bzw. -art	Durchmesser [m]	Umfang [m]	Lebenserwartung [Jahre] (Schätzung)	wirtschaftliche Lebensdauer (Umtriebszeit) [Jahre]	Anteil Umtriebszeit an Lebenserwartung [%]
<i>Taxus baccata</i>	3.5-5.1	11-16	2000-3500	---	---
<i>Quercus</i>	4.5-5.7	14-18	1500-2000	140-160	7-11
<i>Tilia</i>	4.5-5.1	14-16	800-1000	80-120	8-15
<i>Ulmus</i>	4.8-5.4	15-17	500-800	80-120	10-24
<i>Fagus sylvatica</i>	1.9-2.5	6-8	600-900	120-160	13-27
<i>Abies alba</i>	2.2-2.5	7-8	300-400	90-120	23-40
<i>Picea abies</i>	1.3-1.6	4-5	200-500	80-100	25-50
<i>Pinus sylvestris</i>	1.3-1.6	4-5	300-600	100-150	17-50
<i>Populus</i>	---	---	200-400	50-80	13-40
<i>Alnus</i>	---	---	100-150	60-100	40-100
<i>Salix</i>	---	---	150	60-80	40-53

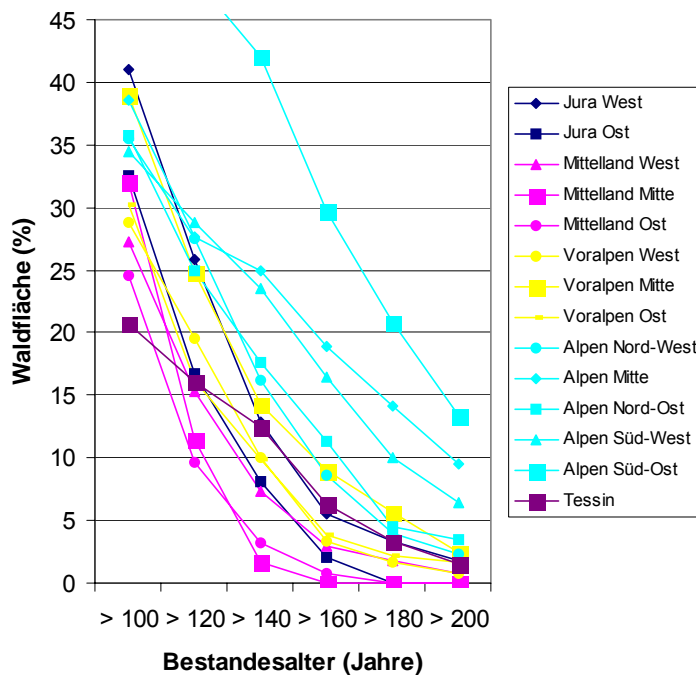


Abbildung 6: Waldflächenanteil als Funktion des Bestandesalters für die 14 Wirtschaftsregionen.

Gemäss Tabelle 3 erreichen Buche und Tanne Durchmesser von über 1.9 m, Eiche, Linde und Ulme gar über 4.5 m. Die Fichte erreicht 1.3-1.6 m Durchmesser. Feinborkige Arten wie z.B. die Buche bilden ökologisch wertvolle Altersmerkmale erst in fortgeschrittenem Alter aus, währenddem grobborkige Arten (z.B. Eiche) bereits früher eine hohe Rindenporosität und somit Habitate für Arthropoden und Mollusken aufweisen.

Bäume mit >50 cm Durchmesser sind in den Schweizer Wäldern nichts Seltenes. Man findet solche auf mehr als 50% der LFI-Probeflächen (Tabelle 4). Hingegen sind dicke Bäume mit >80 cm

Durchmesser nur noch auf 2-7% der Probeflächen zu finden. Bestände älter als 180 Jahre kommen im Mittelland Mitte und Ost sowie im Jura Ost überhaupt nicht mehr vor. Abbildung 7 gibt Auskunft über die Stammzahl pro Hektare. Man findet in allen Regionen ungefähr 20 oder mehr Bäume mit >50 cm Durchmesser pro Hektare (Südalpen ca. 18, Voralpen ca. 36). Allerdings fällt diese Stammesdichte beim Übergang von 50 zu 60 cm Durchmesser markant ab. Dicke Bäume mit >80 cm Durchmesser sind in allen Regionen sehr dünn gestreut (2 pro Hektare in den Südalpen, 1 oder weniger in den anderen Regionen).

Tabelle 4: Altholz in den Schweizer Produktionsregionen (Prodreg) und Wirtschaftsregionen (Wireg).

Prodreg	N	Waldfläche mit Bäumen > BHD [%]				Waldfläche mit Bestandesalter > x Jahre [%]			
		>50 cm	>60 cm	>70 cm	>80 cm	>100	>120	>180	>200
Jura	1103	56	23	8	2	39	24	3	1
Mittelland	1310	59	29	11	4	27	11	0	0
Voralpen	1217	65	33	13	5	34	21	4	2
Alpen	2012	55	29	13	5	42	36	13	8
Südalpen	770	46	26	14	7	21	16	3	2
	6412	57	28	12	4	35	24	6	3

Wireg	N	>50 cm	>60 cm	>70 cm	>80 cm	>100	>120	>180	>200
Jura West	857	56	23	8	2	41	26	3	2
Jura Ost	246	56	22	6	2	33	17	0	0
Mittelland West	275	54	24	9	2	27	15	2	1
Mittelland Mitte	412	62	33	13	4	32	11	0	0
Mittelland Ost	623	59	28	10	4	25	10	0	0
Voralpen West	240	63	31	13	4	29	20	2	1
Voralpen Mitte	563	66	36	13	5	39	25	6	2
Voralpen Ost	414	66	31	14	5	30	16	2	2
Alpen Nord-West	302	60	32	12	5	35	27	4	2
Alpen Mitte	148	51	27	15	5	39	28	14	9
Alpen Nord-Ost	176	56	31	18	9	36	25	5	3
Alpen Süd-West	612	50	26	13	5	34	29	10	6
Alpen Süd-Ost	774	58	28	12	4	53	48	21	13
Tessin	770	46	26	14	7	21	16	3	2
	6412	57	28	12	4	35	24	6	3

Eine mögliche Ursache für die Bedrohung von Altholzspezialisten ist der Mangel an Substrat und Habitat: Man findet dicke Bäume nur auf einem sehr kleinen Anteil der Waldfläche was zu einer sehr niedrigen Hektardichte solcher Bäume führt. Die Situation ist wahrscheinlich am prekärsten im Mittelland, wo Bestände älter als 180 Jahre überhaupt nicht mehr vorkommen und Bäume >80 cm nur auf 4% der Waldfläche zu finden sind, was einer mittleren Dichte von <1 pro Hektare entspricht (siehe Tabelle 4). Im Jura ist die Situation nicht viel besser. Bäume >80 cm Durchmesser findet man kaum (auf nur 2% der Waldfläche).

Von 76'130 im LFI2 gemessenen Bäumen wurden gesamtschweizerisch nur 351 Exemplare mit einem BHD >80 cm gefunden. Dies entspricht nur 0.25% aller Bäume (Tabelle 5). Die meisten Bäume (93%) sind dünner als 50 cm. Diese Zahlen illustrieren nochmals auf eindrückliche Art, wie selten sehr dicke Bäume sind.

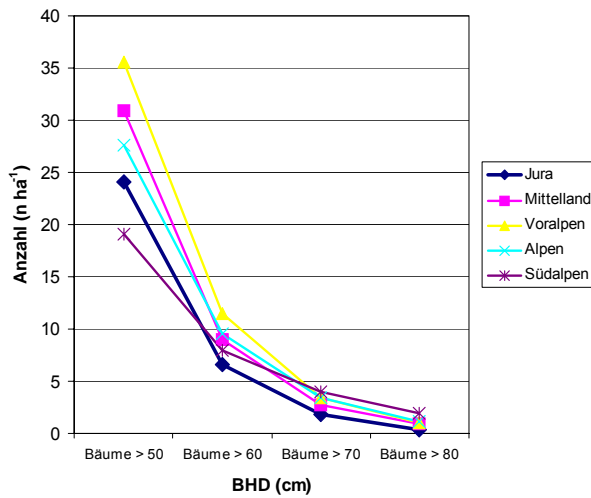


Abbildung 7: Mittlere Anzahl Bäume pro Hektare als Funktion des Brusthöhendurchmessers (BHD). Dargestellt sind Mittelwerte für die Produktionsregionen (Totalwaldfläche).

Tabelle 5: Prozentuale Verteilung der im LFI2 gemessenen Bäume auf Durchmesserklassen.

Durchmesser [cm]	(%)
≥ 12-19	41.5
20-29	26.4
30-39	15.8
40-49	9.3
50-59	4.7
60-69	1.5
70-79	0.6
Subtotal	99.75
80-89	0.16
90-99	0.05
100-109	0.02
110-119	0.01
120-129	0.003
130-139	0.001
≥ 140	0.01
Subtotal	0.25
Total	100

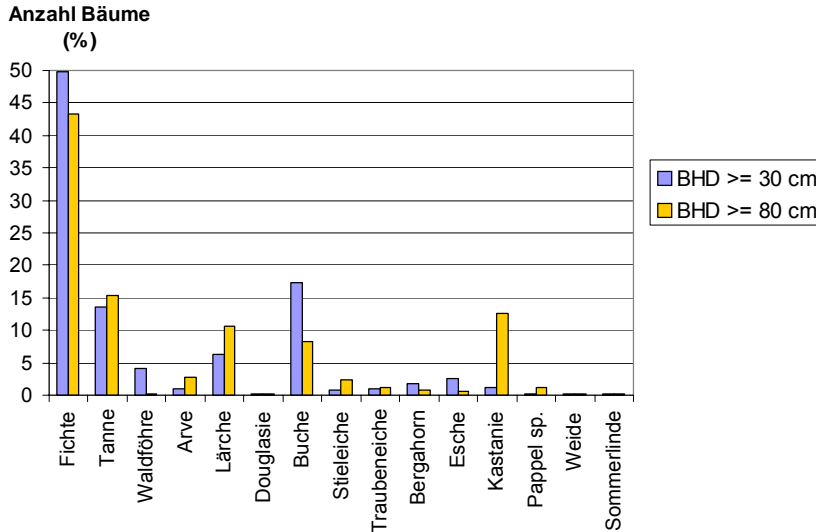


Abbildung 8: Prozentuale Verteilung der Bäume für zwei Durchmesser-kategorien BHD ≥ 30 respektive ≥ 80 cm (alte Bäume) auf die Baumarten. Daten für die ganze Schweiz. Die Summe aller Säulen einer Kategorie beträgt 100%.

Die LFI2-Daten klären auch darüber auf, wie sich dicke Bäume (≥80 cm = sehr alte Bäume) auf die Baumarten verteilen. Abbildung 8 zeigt die Verteilung von Bäumen in zwei Durchmesser-kategorien (BHD ≥30 cm respektive ≥80 cm). Die Summe aller Säulen pro Kategorie beträgt 100%. Erreichten alle Baumarten denselben Maximaldurchmesser, würden wir pro Baumart jeweils zwei gleich hohe Säulen erwarten. Ungleiche Säulenhöhen sind einerseits naturbedingt (verschiedene Baumarten erreichen unterschiedliche Maximaldurchmesser), können andererseits aber auch auf Management-einflüsse deuten. Zum Beispiel sind 17% aller Bäume ≥30 cm in den Schweizer Wäldern Buchen. Für

Bäume ≥ 80 cm beträgt der Anteil Buchen aber nur noch 8%, obwohl die Buche Durchmesser von >2 m erreichen könnte. Dies zeigt, dass dicke, alte Buchen im Vergleich zu jungen Buchen untervertreten sind und offenbar durch das Management ausgemerzt werden. Besonders auffällig ist das Beispiel der Kastanie. Es gibt proportional viel mehr alte Kastanien als aufgrund der jungen Bäume zu erwarten wäre. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die einstigen Kastanienhaine zum grossen Teil aufgegeben wurden und keine jungen Bäume mehr gefördert werden. Auch Lärche und Arve, d.h. Bergbaumarten, sind überproportional als dicke Exemplare vorhanden.



Um Totholz zu fördern, sollten mehr Bäume ihre natürliche Lebenserwartung erreichen. Aus ökologischer Sicht fehlen aber sehr alte Bäume in der Schweiz weitgehend. Im Mittelland gibt es keine Bestände, die älter als 180 Jahre sind. In den Alpen bedecken solche Altbestände immerhin 13% der Waldfläche. Nur 0.25% aller Bäume in der Schweiz haben einen BHD von >80 cm. Besonders schlecht vertreten unter den dicken Bäumen (>80 cm) ist die Buche. Im Gegensatz dazu sind dicke Kastanien überproportional vorhanden. Während man in allen Regionen 20-35 Bäume >50 cm pro Hektare findet, gibt es nur noch 0.4 bis 2 Bäume >80 cm pro Hektare.

3.2.3 Vergleich zwischen den Regionen

Der Jura und das Mittelland haben für alle Tot- und Altholzvariablen tiefe Werte und sind eindeutig als die Regionen zu bezeichnen, in denen im Bereich Alt- und Totholz besondere Anstrengungen nötig sind. Im Mittelland hat die Region 4 (Abbildung 9, Mittelland Mitte) sowohl das tiefste Totholzvolumen pro Hektare als auch besonders wenig Waldfläche mit Totholz, obwohl sie im Vergleich zu anderen Mittelland- und Jura-Regionen mehr Probestflächen mit dicken Bäumen (>70 cm BHD) hat. Das steht im Widerspruch zu natürlichen Verhältnissen.

In den Voralpen fällt die Region 7 (Abbildung 9, Voralpen Mitte) mit recht tiefen Totholzvolumen auf. Geografisch liegen die Voralpen Mitte (7) und das Mittelland Mitte (4) nebeneinander und werden vor allem von den Kantonen Bern und Luzern abgedeckt.

Die Alpen Mitte (10) und Süd-Ost (13) fallen durch besonders hohe Anteile an mehr als 200 Jahre alten Beständen auf. Am meisten überraschen aber die Alpen Nord-Ost (11) durch ihr besonders hohes Totholzvolumen. Sie haben zwar nicht besonders viele sehr alte Bestände (>200 Jahre), jedoch den höchsten Waldflächenanteil mit Bäumen grösser als 70 cm BHD. Zusätzlich ist in dieser Region sowohl die Hektardichte der grossen toten Bäume (>40 cm BHD) als auch die Waldfläche mit Totholz ausserordentlich hoch. Diese Region entspricht dem Kanton Glarus sowie dem südlichen Teil St. Gallens. Dort verursachte der Sturm Vivian besonders grosse Schäden.

Die Südalpen (14), geografisch mit dem Tessin, Misox und Puschlav zusammenfallend, verhalten sich anders als alle andern Regionen. Sie haben wenig sehr alte Bestände (>200 Jahre), dafür aber relativ viele dicke Bäume (>70 cm). Es könnte sich um den Einfluss der noch bestehenden, wenn auch zum grossen Teil nicht mehr als Selven gepflegten, alten Kastanien und der ausgedehnten relativ „jungen“ Niederwälder handeln (letztmals oft in den 1940er Jahren geschlagen). Das Totholzvolumen ist nicht besonders hoch, auch wenn man Totholz auf einem grossen Teil der Waldfläche findet, was typisch für nicht mehr bewirtschaftete Niederwälder ist. Der Totholzanteil am Gesamtvolumen ist relativ hoch, da der Lebendvorrat recht niedrig ist.

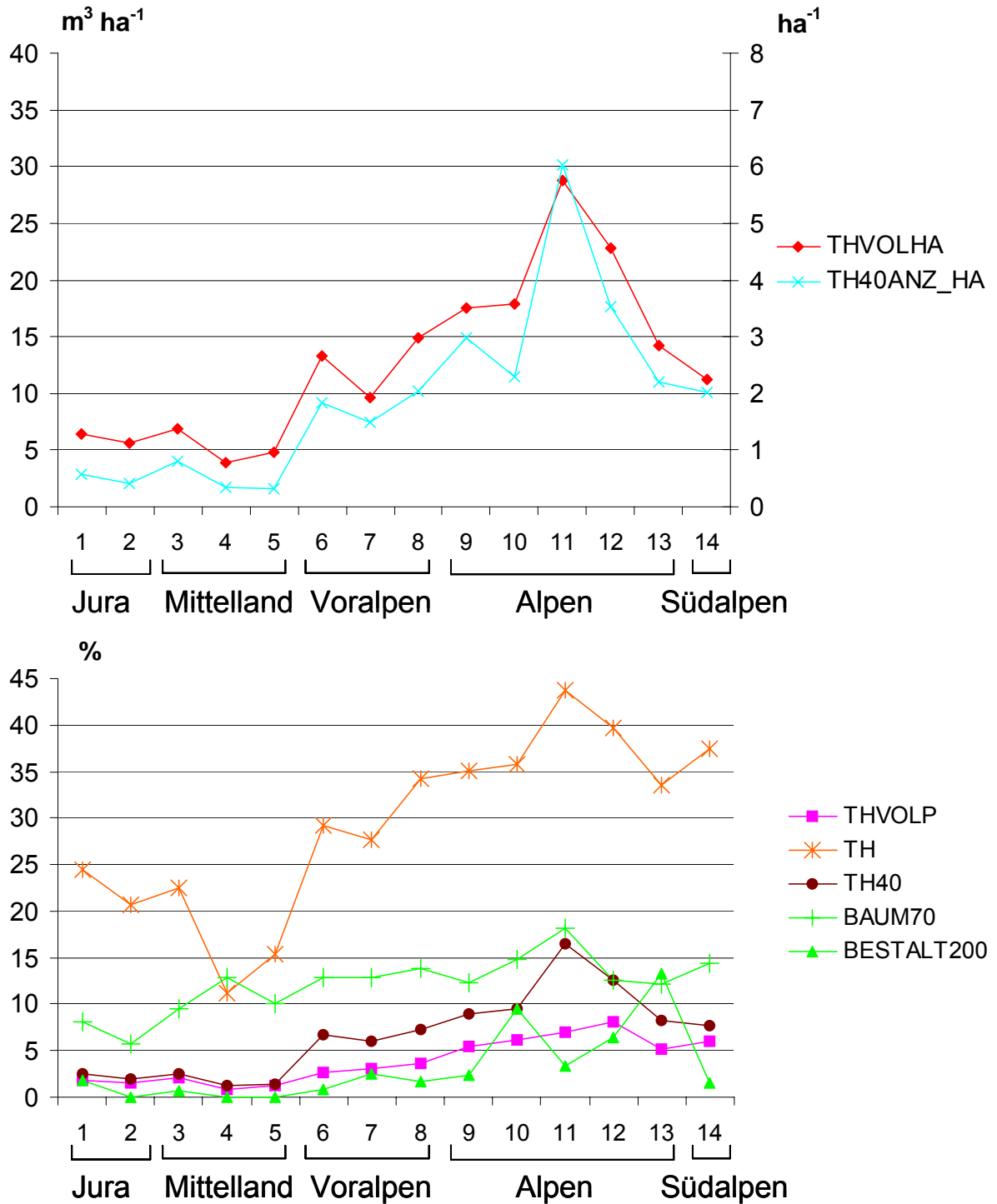


Abbildung 9: Zusammenspiel der verschiedenen Variablen, die die Tot- und Altholzmengen in den Wirtschaftsregionen beschreiben.

THVOLHA = Totholz (liegend und stehend) ($m^3 ha^{-1}$)

THVOLP = Totholzanteil am Gesamtvolumen (%)

TH40ANZ_HA = Anzahl tote Bäume mit BHD >40 cm pro Hektare (ha^{-1})

TH = Anteil Waldfläche mit Totholz (%)

TH40 = Anteil Waldfläche mit toten Bäumen mit BHD >40 cm (%)

BAUM70 = Anteil Waldfläche mit Bäumen mit BHD >70 cm (%)

BESTALT200 = Anteil Waldfläche mit Beständen älter als 200 Jahre (%).

Die Tabelle 6 zeigt die Totholzvolumen-Mittelwerte für die Kantone. Die Zahlen müssen vorsichtig interpretiert werden, da die Standardfehler gross sind. Trotzdem zeigt die Tabelle, in welchen Kantonen die Totholz mengen am dringendsten erhöht werden müssen. Schaffhausen, Thurgau und Neuenburg haben gemäss LFI2 extrem wenig Totholz.

Tabelle 6: Totholzvolumen in den Kantonen. Mittelwert mit Standardfehler. Achtung: grosse Standardfehler wegen kleiner Anzahl Stichproben (N) und grosser Variabilität an Totholz mengen!

Kanton	Nr.	N	Totholz [m ³ ha ⁻¹] ± SE	
Schaffhausen	14	65	1.7	± 0.7
Thurgau	20	125	2.5	± 0.7
Neuchâtel	24	163	2.5	± 1.0
Zug	9	35	3.3	± 1.7
Aargau	19	265	5.1	± 1.1
Luzern	3	236	5.2	± 1.0
Zürich	1	281	6.2	± 1.3
Fribourg	10	229	6.2	± 1.2
Genf	25	11	6.4	± 3.4
Basel (beide)	12	104	6.5	± 1.6
Solothurn	11	187	8.9	± 1.9
Bern	2	937	9.0	± 1.1
Waadt	22	546	9.9	± 1.4
Tessin	21	612	10.2	± 1.0
Jura	26	191	10.7	± 1.9
Mittelwert Schweiz			11.8	± 0.4
Graubünden	18	932	14.4	± 1.2
Schwyz	5	158	15.4	± 2.6
Ob- und Nidwalden	7	151	16.6	± 3.1
St. Gallen	17	307	16.9	± 2.2
Appenzell (beide)	15	83	18.9	± 6.7
Uri	4	91	19.7	± 4.5
Wallis	23	612	22.9	± 1.9
Glarus	8	90	29.8	± 7.6



Das Mittelland und der Jura sind diejenigen Regionen, die für alle Alt- und Totholzvariablen tiefe Werte haben. Die Alpen Nord-Ost fallen durch hohe Totholz mengen und durch einen hohen Waldanteil mit Bäumen >70 cm BHD auf. Die Südalpen haben zwar kein besonders hohes Totholzvolumen (11.2 m³ ha⁻¹), jedoch einen relativ grossen Totholzanteil am Gesamtvolumen (6%).

3.2.4 Zusammenhang zwischen einzelnen Faktoren und Totholz mengen: univariate Analyse

Die LFI2-Daten erlauben es, statistische Zusammenhänge aufzuzeigen. Es ist allerdings nicht möglich, kausale Zusammenhänge zu belegen. In diesem Abschnitt präsentieren wir statistische Zusammenhänge zwischen ausgewählten Faktoren und Totholz mengen in einem univariaten Ansatz. Das heisst, es wurde jeder Faktor separat als X-Variable der Y-Variablen *Totholzmenge* (in m³ ha⁻¹) gegenübergestellt. Wir führten für jeden Faktor und für jede Produktionsregion eine ANOVA mit anschliessendem Post-hoc Test (Tukey HSD for unequal N) durch. Die im folgenden Text gemachten Aussagen beziehen sich auf ein Signifikanzniveau von P<0.05. Die angeführten Tabellen zeigen jeweils Mittelwerte mit Standardfehlern sowie die Anzahl Probeflächen (N).

Faktor BESTANDESSCHÄDIGUNGSGRAD (Standort und Bestand)

Je mehr ein Bestand geschädigt ist, desto grösser ist seine Totholzmenge. Dies stimmt im Prinzip für alle Regionen. Diese Feststellung ist einleuchtend, da Schäden am Bestand zu erhöhter Mortalität und somit zu mehr toten Bäumen führen. In der Abbildung 10 sind die Daten für die ganze Schweiz dargestellt.

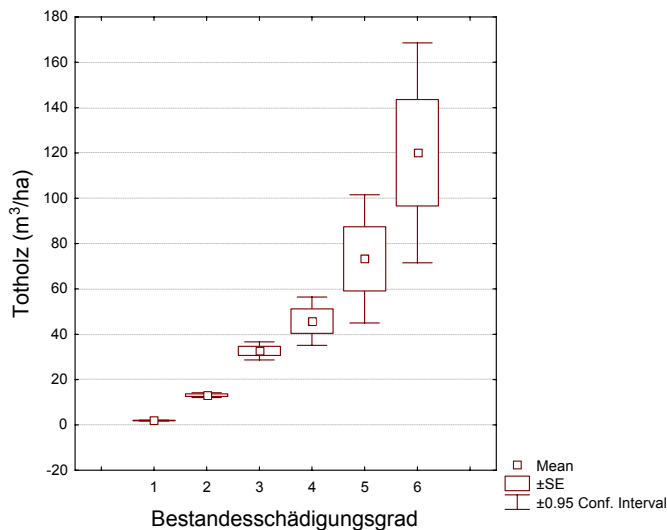


Abbildung 10: Totholzmenge in Abhängigkeit des Bestandesschädigungsgrades.
 1 = keine bedeutenden Schäden
 2 = schwach geschädigt
 3 = mässig geschädigt
 4 = stark geschädigt
 5 = sehr stark geschädigt
 6 = tot

Faktor RELIEF (Standort und Bestand)

Offensichtlich haben in den meisten Regionen Wälder in Steilhanglage mehr Totholz als solche in anderen Lagen (Tabelle 7). In den Alpen und Voralpen haben Wälder in Ebenen am wenigsten Totholz. Steile Lagen sind oft schlecht zugänglich und weniger intensiv bewirtschaftet. In den Südalpen kann man keinen Zusammenhang zwischen dem Relief und Totholz mengen beobachten.

Tabelle 7: Zusammenhang zwischen dem Relief und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Ebene		Hangfuss		Mittelhang		Steilhang	
	[m³ ha ⁻¹]	N	[m³ ha ⁻¹]	N	[m³ ha ⁻¹]	N	[m³ ha ⁻¹]	N
Jura	3.5 ± 1.4	105	3.9 ± 1.7	63	5.3 ± 0.6	766	20.6 ± 4.5	64
Mittelland	3.6 ± 0.9	403	6.9 ± 2.0	112	4.4 ± 0.7	580	17.0 ± 6.6	36
Voralpen	1.8 ± 0.8	29	13.4 ± 4.7	116	9.5 ± 1.1	720	20.2 ± 2.5	261
Alpen	5.3 ± 2.8	28	19.4 ± 6.1	109	12.4 ± 1.0	1089	29.7 ± 2.2	665
Südalpen	n.a. ¹ ± n.a.	8	10.4 ± 4.6	35	8.9 ± 1.2	362	13.4 ± 1.7	326

¹ nicht aussagekräftig (N zu klein)

Faktor SCHLUSSGRAD (Standort und Bestand)

Der Schlussgrad des Bestandes zeigt im Jura und den Voralpen einen statistischen Zusammenhang mit den Totholz mengen (Tabelle 8). Bestände mit gedrängtem Kronenschluss haben im Jura am meisten Totholz. Räumig-aufgelöste Bestände oder solche mit Rottenstruktur haben davon am

wenigsten. Vielleicht hängt dies damit zusammen, dass solche für die Wald-Weiden typischen Strukturen sich oft in Alpnähe befinden, wo absterbende und tote Bäume als Brennholz Verwendung finden und zudem wegen möglicher Verletzungsgefahr von Weidevieh entfernt werden. In den Voralpen hingegen haben normal-lockere Bestände am wenigsten Totholz. Möglicherweise sind dies die forstlich am meisten gepflegten und somit genutzten Bestände.

Tabelle 8: Zusammenhang zwischen dem Bestandesschlussgrad und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	gedrängt		normal-locker		räumig-aufgelöst		Rottenstruktur	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	10.0 ± 1.4	274	6.0 ± 0.8	623	2.3 ± 0.8	151	0.8 ± 0.8	35
Mittelland	5.5 ± 0.8	435	3.7 ± 0.6	730	8.7 ± 3.2	123	n.a. ¹ ± n.a.	7
Voralpen	15.3 ± 2.2	324	8.4 ± 1.0	516	13.7 ± 2.5	226	15.3 ± 3.1	83
Alpen	17.8 ± 2.2	364	16.7 ± 1.4	733	18.1 ± 1.9	612	22.5 ± 3.5	212
Südalpen	10.7 ± 1.6	231	11.3 ± 1.7	247	12.4 ± 2.4	195	10.3 ± 2.9	69

¹ nicht aussagekräftig (N zu klein)

Faktor MISCHUNGSGRAD (Standort und Bestand)

Im Jura haben reine Nadelwaldbestände deutlich weniger Totholz als Nadelmisch- und Laubmischbestände (Tabelle 9). Dies könnte damit zusammenhängen, dass Nadelwaldbestände intensiver bewirtschaftet werden als Mischbestände (anhand Faktor FONUFL Bewirtschaftungsintensität). In den Alpen hingegen haben reine Nadelwaldbestände viel mehr Totholz als reine Laubwaldbestände. Je grösser der Laubanteil ist, desto weniger Totholz gibt es. In diesem Fall spielt aber die Bewirtschaftungsintensität keine Rolle (sie nimmt sogar mit zunehmendem Laubanteil ab). Auch die Standortsproduktivität liefert keine Erklärung, da sie in den reinen Nadelwäldern kleiner ist als in den anderen Kategorien (anhand Faktor GWL Gesamtwuchsleistung). Hingegen ist das Gesamtvolumen in Laub- und Laubmischwäldern deutlich kleiner als in Nadelbeständen (anhand Faktor RVMRD Vorrat in Rinde), was zumindest eine partielle Erklärung sein könnte. Möglicherweise spielen auch die Abbaugeschwindigkeiten der verschiedenen Holzarten eine Rolle. So findet man natürlicherweise in Weichholz-Auenwäldern am wenigsten Totholz, in kalten, trockenen Lagen akkumuliert hingegen mehr Totholz. In den Südalpen beobachten wir wie in den Alpen mehr Totholz in reinen Nadelwaldbeständen, als wo Laubhölzer vorherrschen (die Buche baut sich relativ schnell ab). Auch hier liefern die Bewirtschaftungsintensität und die Standortsproduktivität keine Erklärung, jedoch der Gesamtvorrat, der wie in den Alpen in Laubwäldern deutlich geringer ist.

Tabelle 9: Zusammenhang zwischen dem Bestandesmischungsgrad und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Nadel rein		Nadel gemischt		Laub gemischt		Laub rein	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	2.7 ± 0.5	271	7.0 ± 1.1	309	9.7 ± 1.6	256	5.8 ± 1.1	265
Mittelland	4.2 ± 1.0	402	5.5 ± 1.0	385	5.8 ± 1.2	242	4.5 ± 1.1	276
Voralpen	11.6 ± 1.4	636	12.2 ± 1.5	317	14.2 ± 3.1	133	6.8 ± 1.9	111
Alpen	20.7 ± 1.3	1399	17.7 ± 2.5	215	10.6 ± 2.4	158	6.7 ± 1.6	194
Südalpen	15.3 ± 1.9	250	18.5 ± 5.8	70	6.8 ± 2.4	45	7.8 ± 1.0	401

Faktor STEINSCHLAG (Standort und Bestand)

Wo Steinschlag vorhanden ist, hat es in den Voralpen- und Alpenregionen sowie im Jura deutlich mehr Totholz (Tabelle 10). Dies könnte einerseits damit zusammenhängen, dass Steinschlag Bäume verletzt und zum Absterben bringen kann. Andererseits liegen Steinschlag ausgesetzte Wälder in viel steileren Lagen als Wälder ohne Steinschlag (anhand Variable NEIGUNG). Der positive Zusammenhang zwischen Steilhanglagen und Totholz mengen wurde schon beim Faktor RELIEF aufgezeigt.

Tabelle 10: Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Steinschlag und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	vorhanden		nicht vorhanden	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	13.9 ± 2.5	98	5.5 ± 0.6	1005
Mittelland	53.4 ± 21.9	15	4.4 ± 0.5	1295
Voralpen	23.8 ± 3.3	176	10.2 ± 1.0	1041
Alpen	28.8 ± 2.4	536	15.3 ± 1.1	1475
Südalpen	13.1 ± 2.3	180	10.7 ± 1.1	590

Faktor WALDRAND (Standort und Bestand)

Probeflächen am Waldrand haben im Mittelland mehr Totholz als Probeflächen im Waldesinneren (Tabelle 11). Möglicherweise ist die Bewirtschaftung direkt am Waldrand etwas weniger intensiv als im Waldesinneren (anhand Faktor FONUFL). Es ist auch möglich, dass die ökologische Waldrandaufwertung, die in den letzten Jahren begonnen hat, das Handeln der Förster auch punkto Totholz positiv beeinflusst. Allerdings stammen die LFI2-Daten aus den Jahren 1993-95 und es ist ungewiss, ob sich damals bereits ein solcher Einfluss bemerkbar gemacht hat.

Tabelle 11: Zusammenhang zwischen der Präsenz von Waldrand und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	vorhanden		nicht vorhanden	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	5.6 ± 1.1	204	6.4 ± 0.7	899
Mittelland	7.5 ± 1.5	280	4.3 ± 0.6	1030
Voralpen	11.0 ± 2.3	356	12.6 ± 1.0	861
Alpen	12.4 ± 1.8	341	20.2 ± 1.2	1670
Südalpen	6.9 ± 2.0	105	11.9 ± 1.1	665

Faktor ENTWICKLUNGSSTUFE (Standort und Bestand)

Abbildung 11 zeigt, dass die akkumulierte Totholzmenge eines natürlichen Waldes sich im Laufe seiner Entwicklungsphasen verändert. Grob gesagt hat es im Heranwachsstadium (im LFI2 als Jungwuchs und Stangenholz bezeichnet) sehr viel Totholz aus dem Zerfallsstadium des letzten Bestandes. Im Optimalstadium (im LFI2 schwaches, mittleres und starkes Baumholz) hat es etwas weniger und im Zerfallsstadium (im LFI2 nicht als eigene Kategorie erkennbar) dann wieder sehr viel Totholz. Während des Fortschreitens vom schwachen zum starken Baumholz erwartet man, dass die

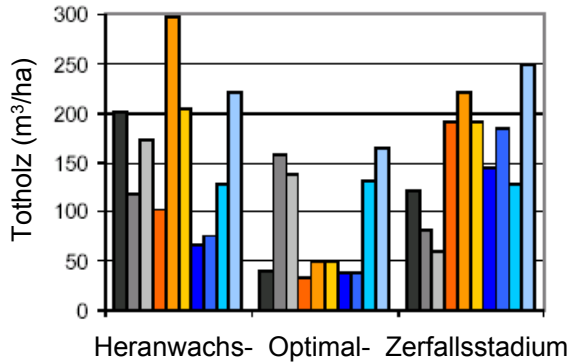


Abbildung 11: aus Saniga & Schütz (2001) für slowakische Buchen-Urwälder. Heranwachsstadium entspricht den Entwicklungsstufen 1 und 2 im LFI2; Optimalstadium entspricht den Stufen 3-5 (vgl. mit Abbildung 12).

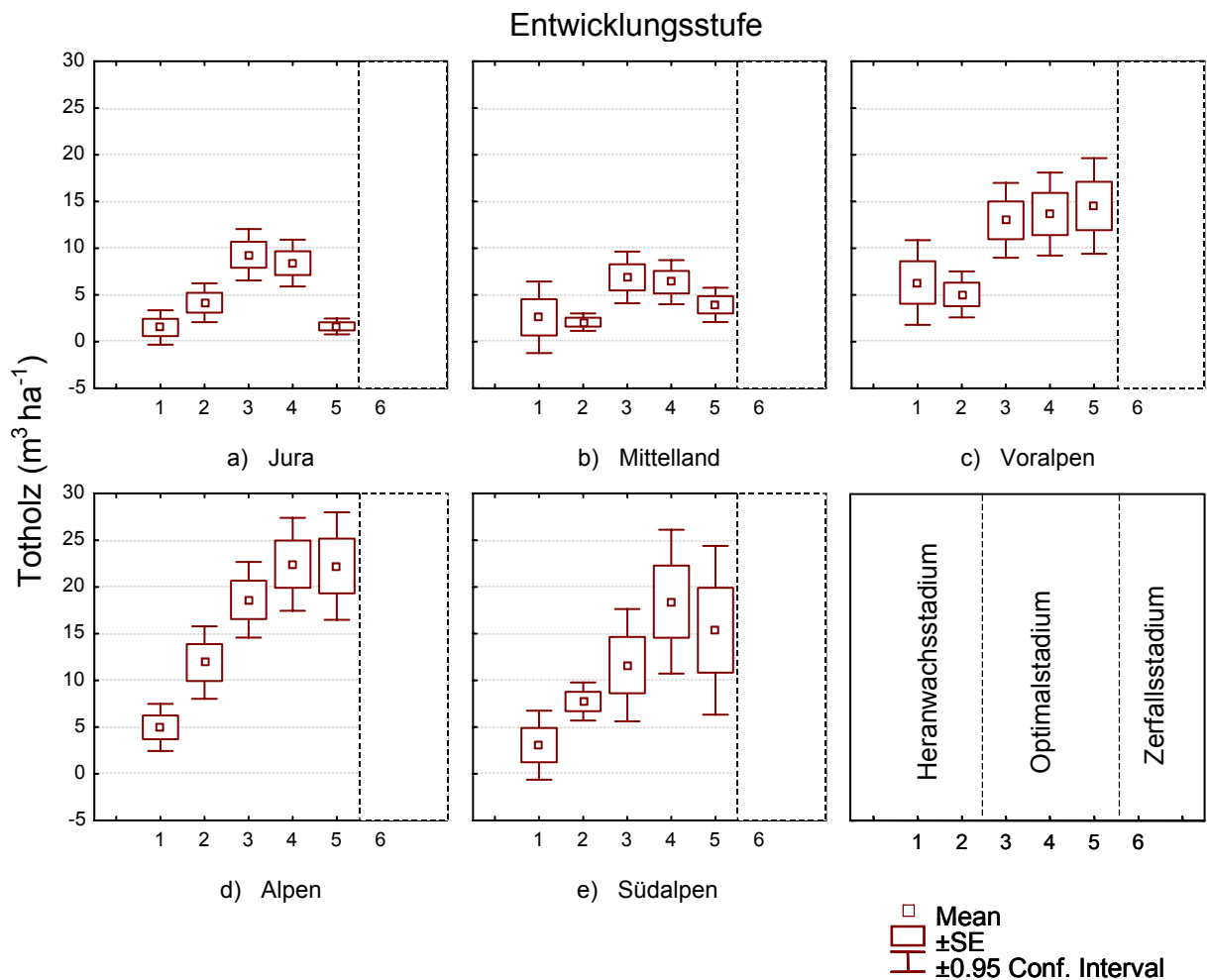


Abbildung 12: Totholzvolumen in den verschiedenen Entwicklungsstufen von Beständen. Dargestellt für die Produktionsregionen.

1 = Jungwuchs ($ddom < 12$ cm)

2 = Stangenholz ($ddom 12-30$ cm)

3 = Schwaches Baumholz ($ddom 31-40$ cm)

4 = Mittleres Baumholz ($ddom 41-50$ cm)

5 = Starkes Baumholz ($ddom > 50$ cm)

6 = Gemischt (Bäume verschiedener Durchmesserklassen) nicht dargestellt

Totholz mengen mehr oder weniger gleich bleiben oder evtl. leicht zunehmen, da die Mortalität für ältere Bestände eher zunimmt.

Betrachtet man nun die LFI2-Daten für die Schweiz, fällt in allen Regionen auf, dass Jungwuchs (Abbildung 12 Stufe 1) im Gegensatz zum natürlichen Wald nur wenig Totholz aufweist. Das bedeutet, dass die sich allmählich zersetzenden Baumriesen aus dem (ausser in sehr abgelegenen Alpentälern nicht vorhandenen) Zerfallsstadium des letzten Bestandes mehr oder weniger fehlen. In der Optimalphase (Abbildung 12, Stufen 3-5) findet man in allen Regionen – im Unterschied zum Urwald – mehr Totholz als in der Heranwuchsphase. In den Voralpen und Alpen bleiben die Volumen während der Optimalphase konstant (Abbildung 12 c, d; Stufen 3-5). Eine ganz unerwartete Situation liegt im Jura vor, wo Bestände mit starkem Baumholz (ddom >50 cm; Stufe 5) viel weniger Totholz haben als schwaches und mittleres Baumholz (Abbildung 12 a). Eine andere Erklärung als der Einfluss einer gezielten Waldwirtschaft liegt nicht auf der Hand. Es könnte damit zusammenhängen, dass schwaches und mittleres Baumholz weniger durchforstet wird als früher (die natürliche Mortalität zeigt sich durch Lichtmangel) und man sich bei der Bewirtschaftung eher auf die Endnutzung des starken Baumholzes konzentriert. Bestände mit starkem Baumholz werden von grossen gesunden Bäumen dominiert, die noch kein Totholz schaffen, die aber doch vor ihrem Absterben genutzt werden. Etwas abgeschwächt ist diese unerwartete Tendenz (Stufe 5 hat weniger Totholz als Stufen 3 und 4) auch im Mittelland zu sehen (Abbildung 12 b).

Faktor BEWIRTSCHAFTUNGSINTENSITÄT (FONUFL) (Bewirtschaftung)

Im Mittelland, im Jura und in den Voralpen gibt es deutlich weniger Totholz in bewirtschafteten Wäldern im Vergleich zu selten oder nicht bewirtschafteten (Tabelle 12). In den Alpen und Südalpen hingegen ist kein Zusammenhang zwischen Bewirtschaftungsintensität und Totholz mengen erkennbar. Dies kann mit der allgemein niedrigeren Bewirtschaftungsintensität erklärt werden. In den Südalpen sind die Wälder im Durchschnitt selten bis nicht bewirtschaftet. Zudem wird im Gebirge, sofern keine phytosanitären Risiken mehr bestehen, bei der Waldnutzung vermutlich mehr Totholz liegen gelassen als im Mittelland auf gut erschlossenen Standorten.

Tabelle 12: Zusammenhang zwischen der Bewirtschaftungsintensität und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Bewirtschaftet		Selten bewirtschaftet		Nicht bewirtschaftet		Mittlere Bewirtschaftungsintensität ¹
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	
Jura	5.1 ± 0.6	804	10.4 ± 1.7	176	15.3 ± 4.3	50	1.27 ± 0.02
Mittelland	4.5 ± 0.6	997	4.9 ± 1.1	206	16.4 ± 6.7	38	1.23 ± 0.01
Voralpen	10.8 ± 1.1	840	12.4 ± 2.1	171	26.0 ± 7.0	85	1.31 ± 0.02
Alpen	17.2 ± 1.3	1148	24.6 ± 3.1	258	21.9 ± 2.6	341	1.54 ± 0.02
Südalpen	10.4 ± 1.8	183	12.4 ± 2.5	197	10.8 ± 1.5	274	2.14 ± 0.03

¹ Berechnet, indem folgende Codierung vorgenommen wurde : Bewirtschaftet = 1, Selten bewirtschaftet = 2 und Nicht bewirtschaftet = 3

Faktor EINGRIFF (NUART) (Bewirtschaftung)

In den meisten Regionen findet man mehr Totholz in Wäldern, in denen seit dem LFI1 kein forstlicher Eingriff erfolgte, als wo Eingriffe (z.B. Pflege, Durchforstung, Lichtung, Räumung, Plenterung, Sanitärhieb etc.) stattfanden (Tabelle 13). Im Jura und in den Voralpen beträgt die Differenz *Eingriff* minus *kein Eingriff* im Durchschnitt 6-7 m³ ha⁻¹, in den anderen Regionen 3-4 m³ ha⁻¹.

Tabelle 13: Zusammenhang zwischen forstlichen Eingriffen und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Eingriff		Kein Eingriff		Differenz ¹ [m ³ ha ⁻¹]
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	
Jura	3.2 ± 0.6	582	9.7 ± 1.0	521	- 6.5
Mittelland	3.7 ± 0.5	897	7.6 ± 1.3	413	- 3.9
Voralpen	8.2 ± 1.0	522	15.1 ± 1.6	695	- 6.9
Alpen	16.4 ± 1.8	596	19.9 ± 1.2	1415	- 3.5
Südalpen	7.3 ± 2.5	87	11.7 ± 1.1	682	- 4.4

¹ Eingriff minus Kein Eingriff

Faktor HOLZHAUEREIHINDERNISSE (Bewirtschaftung)

Das Vorhandensein von Hindernissen, welche die Holzhauerei beeinflussen (Steine, Blöcke, Gräben, Rippen, Höcker etc), hat zur Folge, dass mehr Totholz vorkommt, als wo es keine Hindernisse gibt (Tabelle 14). Wo Hindernisse vorkommen, gibt es die beachtliche Menge von 6-8 m³ ha⁻¹ mehr Totholz, ausser in den Südalpen, wo kein derartiger Zusammenhang festgestellt wurde. Holzhauereihindernisse bewirken wahrscheinlich, dass die Bewirtschaftung weniger intensiv ist (anhand von Faktor FONUFL) und als Nebeneffekt mehr Totholz vorkommt. Die Erklärung für die Ausnahme in den Südalpen könnte darin liegen, dass in dieser Region die Bewirtschaftungsintensität ganz allgemein deutlich niedriger ist als in den anderen Regionen (anhand von Faktor FONUFL).

Tabelle 14: Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Holzhauereihindernissen und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Hindernisse ¹ ≥ 10%		Keine Hindernisse		Differenz ²
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	
Jura	10.7 ± 1.6	312	4.5 ± 0.5	791	+ 6.2
Mittelland	9.9 ± 2.0	244	3.8 ± 0.5	1066	+ 6.1
Voralpen	14.9 ± 1.4	660	8.9 ± 1.3	557	+ 6.0
Alpen	22.6 ± 1.6	1057	14.8 ± 1.2	954	+ 7.8
Südalpen	11.1 ± 1.1	568	11.7 ± 2.0	202	- 0.6

¹ Hindernisse (Steine, Blöcke, Gräben, Rippen, Höcker etc.), welche die Holzhauerei beeinflussen auf mindestens 10% der Stichprobenfläche vorhanden

² Hindernisse minus Keine Hindernisse

Faktor RÜCKEAUFWAND (Bewirtschaftung)

Für diesen Faktor betrachten wir ausnahmsweise nicht die Variable *Totholzmenge in m³ ha⁻¹*, sondern die *Dürrständer* (tote stehende Bäume mit BHD >20 cm), weil wir davon ausgehen, dass diese Variable in engerer Beziehung mit dem Rückeaufwand steht. Es besteht ein klarer Zusammenhang zwischen dem Rückeaufwand, ausgedrückt in Franken pro Hektare, und den vorhandenen Dürrständern (Abbildung 13).

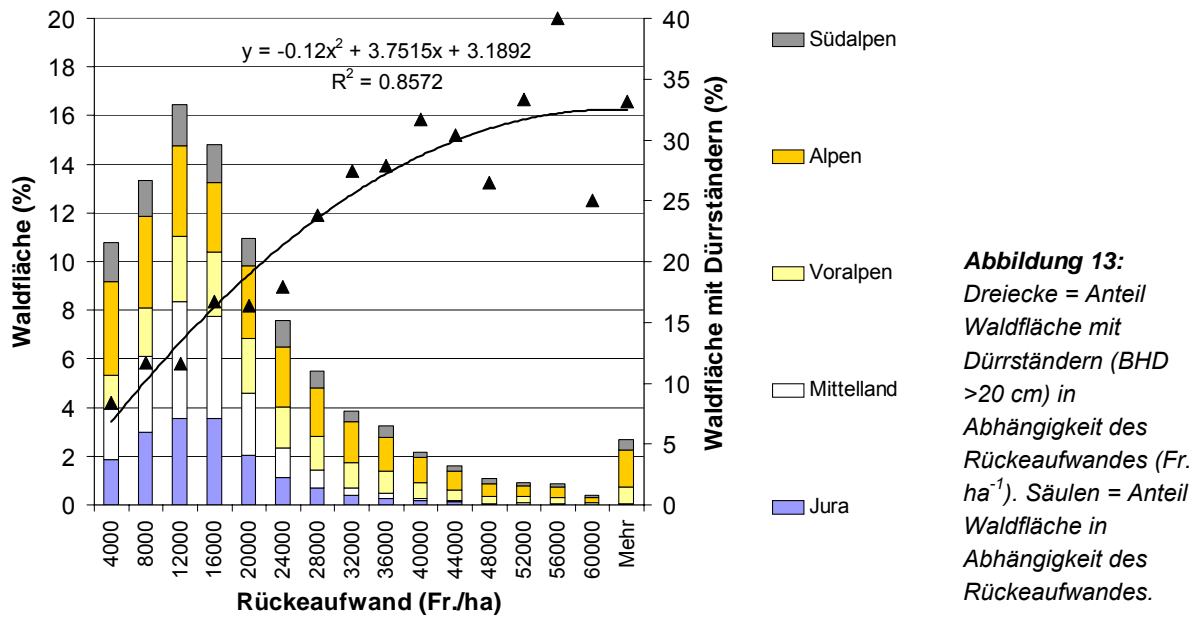


Abbildung 13:
Dreiecke = Anteil Waldfläche mit Dürrständern (BHD >20 cm) in Abhängigkeit des Rückeaufwandes (Fr. ha⁻¹). Säulen = Anteil Waldfläche in Abhängigkeit des Rückeaufwandes.

Je kleiner der Rückeaufwand (und je geringer also die Kosten für die Nutzung), desto kleiner ist der Anteil der Waldfläche mit Dürrständern. Die Abbildung präsentiert Daten für die ganze Schweiz. Der grösste Anteil der schweizerischen Waldfläche (insgesamt 70%) kann mit einem relativ geringen Rückeaufwand von ≤ Fr. 20'000.- pro Hektare bewirtschaftet werden. Auf dieser Fläche findet man jedoch nur einen geringen Anteil Waldfläche mit Dürrständern (Durchschnitt von 13%). Auf den restlichen 30% der Waldfläche (Rückeaufwand bis mehr als Fr. 60'000.- pro Hektare) hat es Dürrständer auf durchschnittlich fast einem Drittel (29%) der Waldfläche.

Faktor VERJÜNGUNGSART (Bewirtschaftung)

In Pflanzungen oder bei nur teilweiser Naturverjüngung (d.h. mit ausgepflanzten Lücken) hat es in den meisten Regionen deutlich weniger Totholz als in reinen Naturverjüngungen (Tabelle 15). Eine Erklärung dürfte das Wegräumen von Totholz vor dem Anpflanzen sein, damit dieses die Jungwuchspflege nicht behindert.

Tabelle 15: Zusammenhang zwischen der Verjüngungsart und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Naturverjüngung		Pflanzung ¹	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	6.7 ± 0.6	978	0.7 ± 0.6	80
Mittelland	5.9 ± 0.7	955	1.6 ± 0.7	294
Voralpen	11.0 ± 0.9	1010	2.1 ± 0.6	105
Alpen	18.5 ± 1.1	1727	4.1 ± 2.1	71
Südalpen	10.6 ± 0.9	721	6.2 ± 4.2	8

¹ auch Pflanzung mit dazwischen aufkommender Naturverjüngung.

Faktor VERJÜNGUNGSDECKUNGSGRAD (Bewirtschaftung)

Je höher der Verjüngungsdeckungsgrad, desto weniger Totholz findet man (Abbildung 14). Diese Tendenz gilt in allen Regionen. Möglicherweise kann ein hoher Verjüngungsdeckungsgrad nur dann

erreicht werden, wenn wenig Totholz auf dem Boden liegt, da dieses einer hohen Stammdichte von Sprösslingen hinderlich ist. Allerdings ist bekannt, dass Totholz in Bergwäldern auch die Verjüngung fördert (Moderverjüngung), jedoch offenbar nicht unbedingt eine hohe Stammdichte. Falls viel Totholz vorhanden ist, etabliert sich die Verjüngung in Bergwäldern wahrscheinlich etappenweise. Flächige Verjüngungen (mit hohem Verjüngungsdeckungsgrad) findet man in der Regel fast nur auf Laubwaldstandorten, d.h. in tieferen Lagen, wo intensiver genutzt wird und sich das Totholz auch rascher abbaut. In der Abbildung 14 sind die Daten für die ganze Schweiz dargestellt.

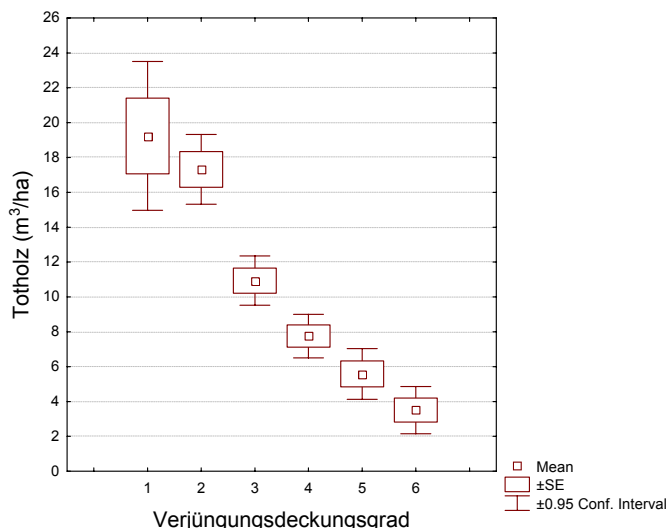


Abbildung 14: Totholzmenge in Abhängigkeit des Verjüngungsdeckungsgrades. Daten für die ganze Schweiz.
 1 = keine Verjüngung
 2 = Deckungsgrad 1-9%
 3 = Deckungsgrad 10-25%
 4 = Deckungsgrad 26-50%
 5 = Deckungsgrad 51-75%
 6 = Deckungsgrad 76-100%.

Faktor ERHOLUNGSEINRICHTUNG (Anthropogene Einflüsse)

Das Vorhandensein von Erholungseinrichtungen (z.B. Fuss-, Wander-, Radwege, Vitaparcours, Finnenbahn, Ski- und Sessellifte, Skipisten und Loipen, Sitzbänke, Papierkörbe etc.) korreliert in einigen Regionen mit tieferen Totholz mengen als in Waldstandorten, die frei von solchen Einrichtungen sind (Tabelle 16). Eine mögliche Erklärung ist das präventive Eingreifen des Försters, um allfällige durch Totholz bedingte Unfälle zu verhindern.

Tabelle 16: Zusammenhang zwischen Erholungseinrichtungen und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Keine Erholungseinrichtungen		Erholungseinrichtungen ¹	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	8.4 ± 0.9	583	3.9 ± 0.6	520
Mittelland	6.0 ± 0.9	561	4.2 ± 0.7	749
Voralpen	15.0 ± 1.4	842	5.8 ± 0.8	375
Alpen	21.2 ± 1.3	1431	13.2 ± 1.6	580
Südalpen	12.5 ± 1.2	551	8.1 ± 1.6	219

¹ Fuss-, Wander-, Radwege sowie Strassen der Klassen 4-6, Vitaparcours, Finnenbahn, Ski- und Sessellifte, Skipisten und Loipen, Sitzbänke, Papierkörbe, feste oder wilde Feuerstellen, Spielgeräte, Campingplatz usw.

Faktor TROCKENMAUER (Anthropogene Einflüsse)

Wo Trockenmauern (oder Steinhaufen) vorkommen, hat es weniger Totholz als in Waldflächen ohne solche Strukturen. Dies trifft für den Jura, die Alpen und Südalpen zu (Tabelle 17). Trockenmauern und Steinhaufen zeugen von Weideaktivität und menschlicher Präsenz. In der Nähe von Alpen ist Totholz als Brennholz begehrt und wird möglicherweise wegen der Verletzungsgefahr von Weidevieh entfernt, was zwei mögliche Gründe für das verminderte Totholzvorkommen sein könnten.

Tabelle 17: Zusammenhang zwischen Trockenmauern und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	vorhanden		nicht vorhanden	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	2.7 ± 0.8	86	6.6 ± 0.6	1017
Mittelland	7.6 ± 4.9	13	4.9 ± 0.5	1297
Voralpen	9.5 ± 4.5	27	12.2 ± 1.0	1190
Alpen	7.0 ± 2.0	165	19.9 ± 1.1	1846
Südalpen	6.6 ± 1.9	133	12.2 ± 1.1	637

Faktor EIGENTUM (Eigentumsverhältnisse)

Offenbar spielt es eine Rolle für die Totholzmengen, wer der Waldeigentümer ist. In den Alpen und Voralpen findet man in Wäldern von Bund, Kanton und politischen Gemeinden eindeutig weniger Totholz als in Wäldern von Bürgergemeinden, Korporationen und Gesellschaften (Tabelle 18). In den Alpen hat es am wenigsten Totholz, wenn es sich um Einzeleigentum handelt. Die Interpretation dieser Unterschiede ist nicht einfach. Zwei Faktoren können eine Erklärung liefern. Erstens ist die Bewirtschaftungsintensität in Wäldern von Bund, Kanton und polit. Gemeinden etwas höher als in Wäldern von Bürgergemeinden, Korporationen und Gesellschaften (anhand von Faktor FONUFL), was eine gewisse Verminderung von Totholzmengen erklären könnte. Zweitens wurde seit dem LF11 vermehrt in öffentlichen Wäldern eingegriffen (anhand von Faktor NUART).

Tabelle 18: Zusammenhang zwischen den Eigentumsverhältnissen und den Totholzvolumen in den Produktionsregionen (Mittelwert mit Standardfehler).

	Bund, Kanton, polit. Gemeinde		Bürgergemeinde, Korporation, Gesellschaft		Einzeleigentum	
	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N	[m ³ ha ⁻¹]	N
Jura	4.4 ± 0.7	476	7.4 ± 1.1	367	8.0 ± 1.3	260
Mittelland	6.7 ± 1.3	375	3.4 ± 0.8	439	5.0 ± 0.7	496
Voralpen	5.3 ± 1.0	214	17.5 ± 1.9	491	9.9 ± 1.4	512
Alpen	15.9 ± 1.7	578	23.1 ± 1.5	1060	11.5 ± 1.7	373
Südalpen	16.1 ± 4.3	97	10.6 ± 1.1	490	10.5 ± 2.0	183



Es bestehen klare statistische Zusammenhänge zwischen mehreren Standorts- und Bewirtschaftungsfaktoren und den Totholzvolumen. Totholz ist vermehrt in folgenden Situationen zu finden: steile Lagen, Wälder mit niedriger Bewirtschaftungsintensität, grossem Rückeaufwand oder Holzhauereihindernissen und ohne Spuren menschlicher Aktivitäten (Freizeit, Beweidung).

3.3 Ist-Zustand: Multivariate Analyse

Der Wald ist wie jedes Ökosystem komplex und seine ökologischen Prozesse sind umso schwieriger zu erklären, als der Mensch diese Vorgänge manchmal sehr stark beeinflussen kann. Durch die statistische Analyse der LFI2-Daten möchten wir die Totholzmenge pro Produktionsregion durch erklärende Variablen erläutern. Hier verwenden wir eine multivariate Methode.

3.3.1 Methodisches Vorgehen

Wegen einer bimodalen Verteilung der Totholzdaten (Peaks bei null und $6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) wurden die Probeflächen ohne Totholz in dieser Analyse nicht betrachtet und die Daten wurden $\log(n+1)$ -transformiert, so dass die Residuen der Variablen für alle Produktionsregionen normal verteilt wurden.

Die abgeleitete Totholzmenge aus dem LFI2 wurde als abhängige Variable und weitere LFI Variablen als erklärende Variablen betrachtet. Diese letzteren wurden in einem ersten Schritt durch eine ökologisch begründete Auswahl bestimmt. In einem zweiten Schritt wurden die miteinander korrelierten Variablen pro Produktionsregion ausgeschlossen ($R > 10.71$). Kategorische Variablen ohne Trend wurden in „dummy“ Variablen transformiert. Insgesamt wurden 52 Variablen für die statistische Analyse der Totholz mengen per Produktionsregion verwendet. Die Signifikanz dieser Variablen wurde zuerst durch zwei Verfahren getestet. Gleichzeitig wurden eine multiple Regression mit drei Selektionsverfahren („all effects“, „forward stepwise“ und „backward stepwise“) und eine Kovarianz-Analyse (ANCOVA) ohne Interaktionen angewendet. Alle signifikanten Variablen aus der multiplen Regression ($p \leq 0.05$) und ANCOVA ($p \leq 0.1$) wurden für die letzte multiple Regression („Stepwise backward“) verwendet, bis alle verbleibenden Variablen eine Signifikanzschwelle von $p = 0.1$ unterschritten hatten.

3.3.2 Multivariate Modelle für die Produktionsregionen

Die folgenden Abbildungen zeigen die multivariaten Modelle und den erklärten Anteil an der Varianz (R^2) pro Produktionsregion (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Süd-Alpen). In den folgenden Abschnitten werden vor allem die wichtigsten Faktoren (grösster Koeffizient Beta) kommentiert.

3.3.2.1 Modell „Jura“

Im Jura zeigt die Neigung den grössten Einfluss auf die Totholzmenge (Abbildung 15). Die Mehrheit (70%) der Probeflächen im Jura haben eine Neigung über 50%, was die Bewirtschaftung und den Abtransport deutlich erschweren kann, so dass mehr Holz auf den steilen Standorten liegen bleibt. Auch der vorhandene Vorrat in Rinde (RVMRD) spielt eine wichtige Rolle. Je höher das Volumen von lebenden Bäumen ist, desto grösser wird die Totholzmenge. Viel weniger logisch und deshalb schwer interpretierbar ist die negative Korrelation zwischen Anzahl Bäume mit BHD >60 cm pro Stichprobenfläche (BAUM60ANZ) und Totholz. Es könnte sein, dass die Wälder im Jura von grossen gesunden Bäumen (>60 cm) dominiert sind. Resultierend aus einer gezielten Waldwirtschaft, schaffen diese Bäume kein Totholz. Das negative Zeichen könnte sich aber in einigen Jahrzehnten ändern, falls diese Bäume die Zerfallsphase erreichen würden. Die Artenvielfalt von Gehölzen fördert mehr Totholz, was für eine positive Korrelation zwischen der Naturnähe eines Waldes und der Totholzmenge spricht. Eine hohe Stammzahl (BHD ≥ 12 cm) pro Hektar (NPH) zeigt einen negativen Einfluss.

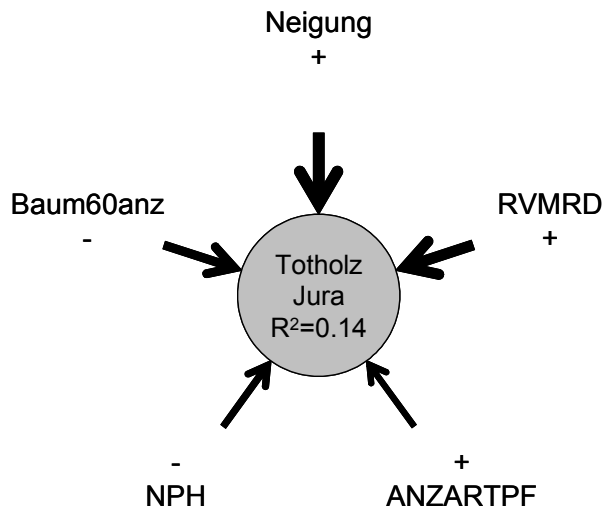


Abbildung 15: Signifikante Einflussfaktoren ($p \leq 0.1$) auf die Totholzmenge im Jura. Die Dicke der Pfeile ist proportional zum Koeffizienten (Beta). Positive und negative Einflüsse sind mit den „+“ oder „-“ Zeichen dargestellt. R^2 ist der erklärte Anteil an der Varianz (min = 0 und max = 1). Neigung = Terrestrische Neigung der Probefläche, RVMRD = Repräsentierter Vorrat in Rinde, ANZARTPF = Gehölzartenzahl der Probefläche, NPH= Stammzahl pro ha ($BHD \geq 12$ cm), BAUM60ANZ = Anzahl Bäume mit $BHD > 60$ cm pro Stichprobenfläche.

3.3.2.2 Modell „Mittelland“

Das Modell des Mittellands ist mit neun signifikanten Einflussfaktoren das komplexeste, aber gleichzeitig erklärt dieses Modell am meisten von der Varianz (28%). Die Stammzahl pro ha mit $BHD \geq 12$ cm (NPH) ist der wichtigste Einflussfaktor (Abbildung 16). Ähnlich wie im Jura zeigt die negative Korrelation, dass eine hohe Bestandesdichte kein Totholz fördert. NPH nimmt aber mit zunehmendem Bestandesalter stark ab. Die positive Korrelation mit dem Jungwuchs (EST1) scheint ein Widerspruch mit dem NPH zu sein, obwohl hier kleinere Bäume betrachtet wurden ($DDOM < 12$ cm). Es könnte sein, dass diese Probeflächen Verjüngungsflächen nach einem Windwurf oder schweren Eingriffen enthalten, wo das Totholz liegen blieb. Eine nicht-stufige Bestandesstruktur (STRUKSTUFIG), Naturverjüngungen (VERJARTNEU), Waldränder (WARA) und das Vorhandensein von Steinschlägen (STEIN) haben einen positiven Einfluss auf die Totholzmengen. Je grösser der Rückeaufwand wird (RUAUFWA in Franken), desto mehr Totholz bleibt liegen, obwohl im Mittelland schwer erreichbare Wälder eher selten sind (80% der Rückearbeit mit dem Traktor). Je höher der Laubanteil (MISCHG) im Wald ist, desto weniger Totholz bleibt liegen. Eine hohe Stabilität des Bestandes (BESTABNEU) wirkt sich auch negativ auf Totholz aus, da solche Bestände nur wenig potentiell Totholz anbieten.

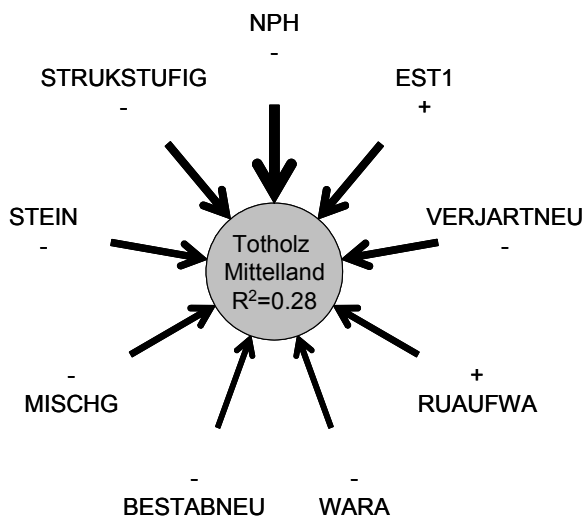


Abbildung 16: Signifikante Einflussfaktoren ($p \leq 0.1$) auf die Totholzmenge im Mittelland. Die Dicke der Pfeile ist proportional zum Koeffizient (Beta). Positive und negative Einflüsse sind mit den „+“ oder „-“ Zeichen dargestellt. R^2 ist der erklärte Anteil an der Varianz (min = 0 und max = 1). NPH = Stammzahl pro ha, EST1 = Entwicklungsstufe $DDOM < 12$ cm, VERJARTNEU = Verjüngungsart: 1 = Naturverjüngung, 2 = Keine Naturverjüngung (Pflanzungen), RUAUFWA = Rückeaufwand in Franken ha^{-1} , WARA = Waldrand, 1 = Waldrand vorhanden, 2 = kein Waldrand vorhanden. BESTSTABNEU = Bestandesstabilität 0 = instabil, 1 = stabil, MISCHG = Mischungsgrad 1 = Nadel rein bis 4 = Laub rein, STEIN = Steinschlag: 1 = vorhanden, 2 = nicht vorhanden, STRUKSTUFIG = Struktur stufig: 0 = nicht stufig, 1 = Bestandesstruktur: stufig.

3.3.2.3 Modell „Voralpen“

In den Voralpen zeigen fast alle signifikanten Einflussfaktoren eine ähnliche Wichtigkeit (alle Koeffizienten Beta zwischen 0.15 und 0.21). Waldfläche mit Stangenholz (EST2 mit DDOM = 12–30 cm), eine „normale“ Entwicklung der Kronen (SCHLUSSNORMLO, keine bis leichte gegenseitige Beeinflussung und Berührung der Kronen) und die Abwesenheit von Steinschlägen haben einen negativen Einfluss auf die Totholz mengen in den Voralpen (Abbildung 17). Andererseits sind Waldflächen im Eigentum von Bürgergemeinden, Korporationen oder Gesellschaften (EIGENTUM2) mit einem grossen Basalfächenanteil (BHD > 50 cm) und grosser Transportentfernung zur nächsten Waldstrasse (TEM) mit der Totholzmenge positiv korreliert.

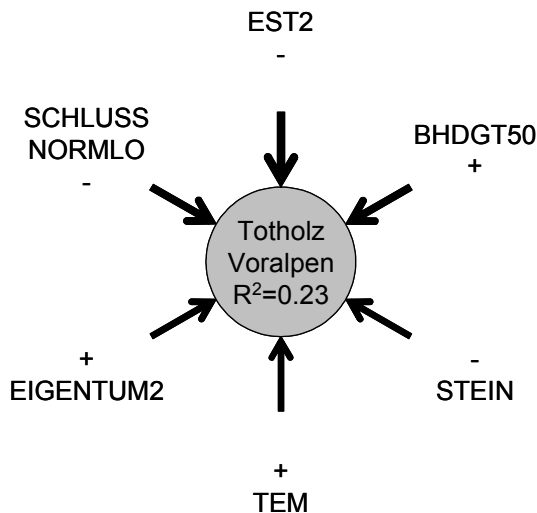


Abbildung 17: Signifikante Einflussfaktoren ($p \leq 0.1$) auf die Totholzmenge in den Voralpen. Die Dicke der Pfeile ist proportional zum Koeffizienten (Beta). Positive und negative Einflüsse sind mit den „+“ oder „-“ Zeichen dargestellt. R^2 ist der erklärte Anteil an der Varianz (min = 0 und max = 1).
 EST2 = Entwicklungsstufe DDOM 12-30 cm,
 BHDGT50 = Basalfächenanteil der Bäume mit BHD > 50 cm, STEIN = Steinschlag 1 = vorhanden, 2 = nicht vorhanden, TEM = Transportentfernung zur nächsten Waldstrasse, EIGENTUM2 = Eigentum Bürgergemeinde, Korporation, Gesellschaft, SCHLUSSNORMLO = Schlussgrad: normal, locker.

3.3.2.4 Modell „Alpen“

In den Alpen ist die Stammzahl pro ha mit BHD ≥ 12 cm (NPH) der Haupteinflussfaktor (Abbildung 18). Eine hohe Bestandesdichte (siehe Jura und Mittelland) hat also einen negativen Einfluss auf die Totholzmenge. Dazu sind eine steile Neigung (siehe Jura), ein grosser Basalfächenanteil der Bäume mit BHD > 50 cm (siehe Voralpen) und ein grosser Rückaufwand (RUAUFWA, siehe Mittelland) mit dem Totholz positiv korreliert. Waldflächen mit einem hohen Anteil an Nadelbäumen (MISCHG, siehe Mittelland), und im Eigentum von Bürgergemeinden, Korporationen oder Gesellschaften (EIGENTUM2, siehe Voralpen) zeigen tendenziell mehr Totholz in den Alpen.

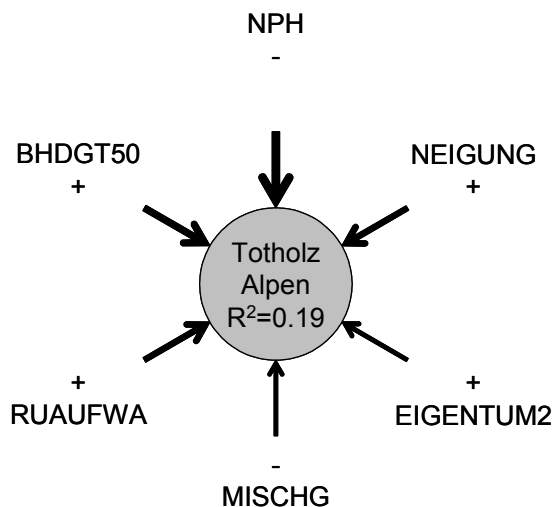


Abbildung 18: Signifikante Einflussfaktoren ($p \leq 0.1$) auf die Totholzmenge in den Alpen. Die Dicke der Pfeile ist proportional zum Koeffizienten (Beta). Positive und negative Einflüsse sind mit den „+“ oder „-“ Zeichen dargestellt. R^2 ist der Anteil an der erklärten Varianz (min = 0 und max = 1).
 NPH = Stammzahl pro ha,
 MISCHG = Mischungsgrad 1 = Nadel rein bis 4 = Laub rein, EIGENTUM2 = Eigentum Bürgergemeinde, Korporation, Gesellschaft, RUAUFWA = Rückaufwand in Franken ha^{-1} , NEIGUNG = Terrestrische Neigung der Probefläche, BHDGT50 = Basalfächenanteil der Bäume mit BHD > 50 cm.

3.3.2.5 Modell „Süd-Alpen“

Der Haupteinflussfaktor in den Süd-Alpen (Tessin) ist das Bestandesalter (BESTALT); (Abbildung 19). Die Totholzmenge nimmt mit der Alterung der Bestände zu. Im Tessin ist die Mehrheit der Bestände weniger als 60 Jahre alt. Eine Zunahme des Totholzes wäre also in die weite Zukunft zu erwarten. Unstabile Bestände (BESTABNEU, siehe Mittelland), keine Beweidung (WEIDNEU), eine starke Bewirtschaftungsintensität (FONUFL), keine einschichtigen Bestände (STRUKEIN), die Abwesenheit von Erholungseinrichtungen (ERHOLNEU) fördern alle eine höhere Totholzmenge. Wir können nicht erklären, warum in den Süd-Alpen eine starke Bewirtschaftungsintensität einen positiven Einfluss auf das Totholz hat. Üblicherweise zeigen nicht bewirtschaftete Wälder mehr Totholz als bewirtschaftete.

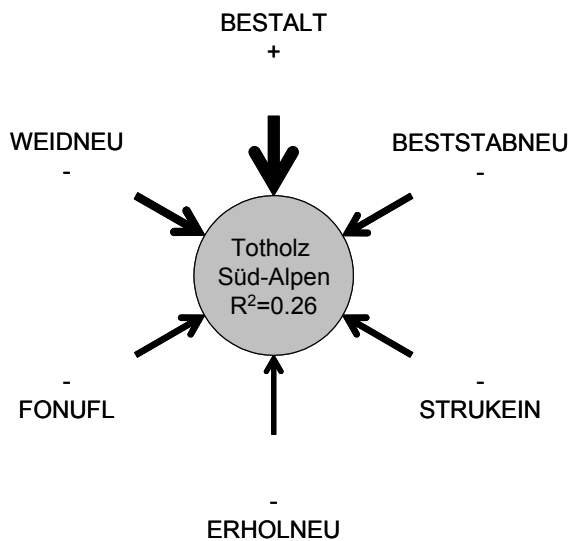


Abbildung 19: Signifikante Einflussfaktoren ($p \leq 0.1$) auf die Totholzmenge in den Süd-Alpen. Die Dicke der Pfeile ist proportional zum Koeffizienten (Beta). Positive und negative Einflüsse sind mit den „+“ oder „-“ Zeichen dargestellt. R^2 ist der Anteil an der erklärten Varianz (min = 0 und max = 1).
 BESTALT = Bestandesalter,
 BESTSTABNEU = Bestandesstabilität 0 = instabil, 1 = stabil, STRUKEIN = Bestandesstruktur:
 Einschichtig ERHOLNEU = Erholungseinrichtung: 0 = keine, 1 = Vorhanden, FONUFL = Bewirtschaftungsintensität: 1 = stark bewirtschaftet bis 3 = nicht bewirtschaftet, WEIDNEU = Beweidungsart 0 = keine Beweidung, 1 = Beweidung.

3.3.2.6 Diskussion

Alle Produktionsregionen der Schweiz (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Süd-Alpen) zeigen verschiedene erklärende Modelle für die Totholzmenge. Mit fünf bis neun erklärenden Variablen können die Modelle sehr komplex werden. Einfache Modelle mit weniger erklärenden Variablen könnten hergestellt werden. Ihre Qualität (R^2) würde aber stark abnehmen, sodass sie nicht mehr vertretbar wären.

Grundsätzlich sind die fünf erhaltenen Modelle sehr verschieden. Einige Ähnlichkeiten bestehen aber trotzdem, da acht erklärende Variablen gleichzeitig in mehreren Modellen erscheinen (Tabelle 19). Die Stammzahl pro Hektar (NPH) ist sogar in drei Modellen vorhanden (Jura, Mittelland und Alpen).

Sechs von acht dieser gemeinsamen Variablen waren im Alpen-Modell und fünf von acht im Mittelland-Modell. Mit drei gemeinsamen Variablen zeigen auch diese beiden Regionen (Mittelland und Alpen) die grösste Modellähnlichkeit miteinander. Im Gegensatz dazu zeigen die Süd-Alpen eine einzige gemeinsame Variable (BESTABNEU), was für ein einzigartiges Modell für diese Produktionsregion spricht.

Tabelle 19: Modellähnlichkeiten nach erklärenden Variablen.

Modell	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Süd-Alpen
Jura		NPH	-	Neigung, NPH	-
Mittelland	NPH		STEIN	NPH, MISCHG RUAUFWA,	BESTABNEU
Voralpen	-	STEIN		BHDGT50, EIGENTUM2	-
Alpen	Neigung, NPH	NPH, MISCHG RUAUFWA,	BHDGT50, EIGENTUM2		-
Südalpen	-	BESTABNEU	-	-	
# gemeinsame Variablen	2	5	3	6	1

BESTSTABNEU = Bestandesstabilität 0 = instabil, 1 = stabil, BHDGT50 = Basalflächenanteil der Bäume mit BHD>50cm, EIGENTUM2 = Eigentum Bürgergemeinde, Korporation, Gesellschaft, MISCHG = Mischungsgrad 1 = Nadel rein bis 4 = Laub rein, NEIGUNG = Terrestrische Neigung der Probefläche, NPH = Stammzahl pro ha, RUAUFWA = Rückaufwand in Franken ha⁻¹, STEIN = Steinschlag: 1 = vorhanden, 2 = nicht vorhanden.

Die multivariate Analyse der Totholzmenge für die fünf Produktionsregionen konnte 14 bis 28% der Varianz (R^2) des Totholzvolumens erklären (ausschliesslich für Probeflächen mit Totholzvolumen > 0 m³). Auch wenn in der Ökologie kleine R^2 -Werte oft akzeptabel sind, bleiben 70 bis 80% der Variablen „Totholz“ von den LFI2-Variablen unerklärt. Einerseits könnte die bescheidene Qualität der Modelle in der Totholzerfassungsmethode liegen. Die Probeflächen (200 bis 500 m²) des LFI2 sind zu klein, um das Totholz genau zu erfassen. Wegen seiner klumpigen Verteilung sollte Totholz entweder entlang eines Transekts oder auf einer Fläche von mindestens einem Hektar gemessen werden. Andererseits, basierend auf den Ergebnissen aus einer früheren Studie über Totholz (u. a. Interviews mit Förstern), scheinen die Förster eine sehr wichtige Rolle zu spielen, indem sie entscheiden, ob Totholz oder alte Bäume entfernt werden oder liegen/stehen bleiben. Dieser Einfluss lässt sich anhand von Felddatenerhebungen nicht messen, da der Förstereinfluss auf das Totholz von Fall zu Fall variiert und dies je nach Förster.



Durch die multivariate Analyse wurde gezeigt, dass die Totholzmenge pro Produktionsregion mit den LFI2-Daten schlecht erklärbar und deswegen nicht einfach modellierbar ist. Dies bedeutet, dass Massnahmen, welche auf die Modellvariable wirken würden, einen bescheidenen Einfluss hätten (20-30%). Es ist aber vielversprechend zu sehen, dass die Förster einen grossen Einfluss ausüben können (70-80%). Zudem sind viele der Einflussvariablen auch von der Bewirtschaftung abhängig – also ebenfalls von den Förstern (z.B. Mischungsgrad, Bestandesalter, Entwicklungsstufe, usw.). Man könnte also behaupten, dass die entscheidenden Förderungsmaßnahmen für Totholz in ihren Händen liegen.

3.3.3 Synthese aus univariater und multivariater Analyse

Tabelle 20 zeigt einen synthetischen Überblick aller Faktoren, die in der univariaten und/oder der multivariaten Analyse statistisch signifikant waren.

Tabelle 20: Zusammenhang zwischen verschiedenen Faktoren und Totholz mengen ($m^3 ha^{-1}$) in den verschiedenen Regionen der Schweiz. Synthese der uni- und multivariaten Analyse.

Legende: + signifikanter positiver Zusammenhang; – signifikanter negativer Zusammenhang; keine Angabe bedeutet keinen signifikanten Zusammenhang gefunden.

Faktor	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Südalpen
Standort und Bestand					
Basalflächenanteil BHD >50 cm (gross)			+	+	
Bestandesalter (gross)					+
Bestandesstruktur einschichtig					–
Bestandesstruktur stufig		–			
Blockschutt	–				
Entwicklungsstufe Jungwuchs		+		–	–
Entwicklungsstufe Stangenholz			–		
Entwicklungsstufe Starkes Baumholz	–				
Felsbänder	+			+	
Gehölzartenanzahl (gross)	+				
Gesamtvorrat (gross)	+				
Laubwaldanteil >90%		–		–	–
Nadelbaumanteil >90%	–				+
Neigung (gross)	+			+	
Schäden am Bestand	+	+	+	+	+
Schlussgrad gedrängt	+				
Schlussgrad normal-locker			–		
Schlussgrad räumig-aufgelöst	–				
Stabilität des Bestandes (gross)		–			–
Stammzahl Bäume >60 cm (gross)	–				
Stammzahl pro Hektar (gross)	–	–		–	
Steilhang	+	+	+	+	
Steinschlag vorhanden	+	+	+	+	
Verjüngungsdeckungsgrad hoch	–		–	–	–
Waldrandnähe		+		–	
Bewirtschaftung					
Bewirtschaftung (keine / selten)	+	+	+		–
Eingriff erfolgt seit dem LFI1	–	–	–		
Holzauereihindernisse $\geq 10\%$ der Fläche	+	+	+	+	
Rückeaufwand (gross)		+		+	
Transportdistanz bis zur nächsten Waldstrasse (gross)			+		
Verjüngung mittels Pflanzung (auch teilweise)	–	–	–		
Anthropogene Einflüsse					
Beweidung vorhanden					–
Fuss-, Wander-, Radwege und Strassen	–		–		–
Trockenmauern / Steinhaufen vorhanden	–			–	–
Überbelastungen und Störungen			–	–	
Eigentumsverhältnisse					
Eigentümer Bund, Kanton oder politische Gemeinde			–	–	
Eigentümer Bürgergemeinde, Korporation oder Gesellschaft			+	+	
Einzeleigentümer					–

Für jeden Faktor kann herausgelesen werden, ob er einen positiven oder negativen oder gar keinen statistischen Zusammenhang mit den Totholzvolumen gezeigt hat. Es bestehen praktisch keine Widersprüche (drei Ausnahmen) bezüglich der Richtung (positiver bzw. negativer Zusammenhang). D.h. ein Faktor hat nicht in einer Region einen positiven, in einer anderen jedoch einen negativen Zusammenhang. Wir betonen an dieser Stelle nochmals, dass es sich um statistische Zusammenhänge, jedoch nicht um Kausalzusammenhänge handelt.

3.4 Vergleich zwischen Ist- und Soll-Zustand

Es gibt in der wissenschaftlichen Literatur erst wenige Referenzwerte für Totholz mengen und kaum solche für Altholz. Trotz dieser Wissenslücken werden in der Praxis zum Teil bereits Soll-Werte angewandt oder zumindest empfohlen. Für den folgenden Vergleich zwischen dem Ist- und möglichen Soll-Zuständen stützen wir uns auf drei Quellen:

- eine Praxishilfe „Holznutzung und Naturschutz“;
- eine Literatursynthese;
- quantitative FSC-Zertifizierungsstandards.

Wenn man sich auf mehrere unterschiedliche Quellen stützt, ist das Resultat des Vergleichs im Falle eines einheitlichen Trends umso verlässlicher.

3.4.1 Die Praxishilfe „Holznutzung und Naturschutz“⁷

Es handelt sich um einen Bericht in der Reihe Vollzug Umwelt, der vom BUWAL und der Schweizerischen Vogelwarte im Jahre 2005 herausgegeben wird. Diese Praxishilfe ist eine Anleitung für Förster, die mit der Holzanzzeichnung betraut sind. Sie zeigt auf, wie eine verstärkte Holznutzung naturverträglich ausgeführt werden kann. Darin werden für sechs Gruppen wirtschaftlich wichtiger Schweizer Waldgesellschaften ein Soll-Zustand für Alt- und Totholz u.a.m. definiert. Die Forderungen beziehen sich auf Wirtschaftswälder in den Produktionsregionen Mittelland, Jura und tiefere Lagen des Alpennordrandes. Die Tabelle 21 zeigt die alt- und totholzrelevanten Soll-Werte und Forderungen.

3.4.1.1 Methodisches Vorgehen

Mit Hilfe der LFI2-Daten wurden mittlere Totholz mengen für die sechs Waldgruppen berechnet, indem die pro LFI-Probefläche vorherrschende Baumart der jeweiligen Waldgruppe zugeordnet wurde (Tabelle 22). Beispielsweise wurden für die Eschenwälder alle LFI2-Probeflächen mit Esche als vorherrschender Baumart zur Berechnung herangezogen. Für die anderen Gruppen wurde analog vorgegangen.

Für das Altholz wurde die Auswertung regionenweise gemacht. Das heisst, es wurden alle in der jeweiligen Region vorkommenden Waldgruppen einbezogen. Die LFI2-Daten erlauben es, bezüglich Einzelbäumen eine Aussage zu machen. Sie sind jedoch nicht dazu geeignet, für flächige Elemente wie z.B. Altholzinself quantitative Aussagen zu liefern.

3.4.1.2 Vergleich Ist- mit Soll-Zustand für Totholz

Für alle Waldgruppen, aber ganz besonders für Eschen- und Eichenwälder, liegen die Ist-Werte stark unter den geforderten Soll-Werten (Soll-Werte siehe Tabelle 21; Ist-Werte Tabelle 22). Die Ist-Werte des stehenden Totholzes in Eschen- und Eichenwäldern müssten mit einem Faktor >10 multipliziert werden, um die Soll-Werte zu erreichen! Auch Buchenwälder haben mindestens 4-5 mal weniger Totholz als die geforderten Soll-Werte. Die Totholz mengen fichtendominierter Wälder liegen nur leicht unter den Soll-Werten. Schliesst man allerdings die subalpinen fichtendominierten (wahrscheinlich eher extensiv bewirtschafteten) LFI2-Probeflächen aus der Berechnung aus, so sinkt die Menge des liegenden Totholzes auf weniger als 4 m³ ha⁻¹ und liegt somit 2-3 mal tiefer als der geforderte Soll-Wert (der für Wirtschaftswälder gilt).

⁷ Hahn, P., D. Heynen, M. Indermühle, P. Mollet & S. Birrer. 2005. Holznutzung und Naturschutz, Praxishilfe. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft und Schweizerische Vogelwarte. Bern und Sempach.

Es muss bemerkt werden, dass die Zahlen bezüglich des Ist-Zustandes für das liegende Totholz (Tabelle 22) zu optimistisch sind, da für die Berechnung einfachheitshalber alle Durchmesser (gemäss LFI2 ab 12 cm BHD) und nicht nur Durchmesser >20 cm (Forderung für liegendes Totholz in der Praxishilfe; Tabelle 21) einbezogen wurden. Das bedeutet, dass die Multiplikationsfaktoren, die bis zur Erreichung des Soll-Wertes nötig wären, in Wirklichkeit noch einiges über dem in der Tabelle 22 gezeigten Wert liegen mögen. Für das stehende Totholz ist die Berechnung für die fichtendominierten Wälder zu optimistisch, da der geforderte Durchmesser >45 cm ist, der Ist-Zustand jedoch mit BHD >40 cm berechnet wurde. Der Ist-Zustand ist also in Wirklichkeit noch weiter vom Soll-Zustand entfernt als die Tabelle 22 zeigt.

3.4.1.3 Vergleich Ist- mit Soll-Zustand für Altholz

Tabelle 21: Übersicht der Soll-Werte und Forderungen, die in der Praxishilfe „Holznutzung und Naturschutz“ bezüglich Alt- und Totholz formuliert sind. Die Forderungen beziehen sich auf Wirtschaftswälder und sind in sechs Waldgruppen aufgeschlüsselt.

	Mittlere Buchenwälder	Anspr. volle Kalk-Buchenwälder	Eschenwälder	Eichen-Hainbuchenwälder	Tannen-Buchenwälder	Montane Fichten-Tannenwälder
Altholz:						
• Einzelbäume (Anzahl)	> 50 cm BHD 5-10 pro ha	> 50 cm BHD 5-10 pro ha	> 40 cm BHD ≥5 pro ha	> 40 cm BHD 5 pro ha In Mittelspechtgebieten: ≥ 26 Eichen pro ha mit ≥ 36 cm BHD	> 50 cm BHD 5-10 pro ha	> 45 cm BHD 5-10 pro ha
• Inseln	5-10 Flächen ≥ 1 ha pro 100 ha	5-10 Flächen ≥ 1 ha pro 100 ha	5-10 Flächen ≥ 1 ha pro 100 ha	5-10 Flächen ≥ 1 ha pro 100 ha	5-10 Flächen ≥ 1 ha pro 100 ha	5-10 Flächen ≥ 0.5 ha pro 100 ha
Totholz:						
• stehend (Anz. Bäume)	> 40 cm BHD ≥ 5 pro ha	> 40 cm BHD ≥ 5 pro ha	> 40 cm BHD ≥ 5 pro ha	> 40 cm BHD ≥ 5 pro ha	> 40 cm BHD ≥ 5 pro ha	> 45 cm BHD ≥ 5 pro ha
• liegend	> 20 cm BHD ≥ 10-15 m ³ ha ⁻¹	> 20 cm BHD ≥ 10-15 m ³ ha ⁻¹	> 20 cm BHD ≥ 10-15 m ³ ha ⁻¹	> 20 cm BHD ≥ 5-10 m ³ ha ⁻¹	> 20 cm BHD ≥ 10-15 m ³ ha ⁻¹	> 20 cm BHD ≥ 10-15 m ³ ha ⁻¹

Tabelle 22: Übersicht der Ist-Werte in der Schweiz bezüglich stehendem und liegendem Totholz gemäss der Daten aus dem LFI2 (Mittelwert mit Standardfehler).

Vorherrschende Baumart gemäss LFI2	Buche	Buche	Esche	Eiche	Tanne	Fichte
Totholz:						
• stehend > 40 cm BHD (Anz. Bäume)	0.8 ± 0.1 pro ha	0.8 ± 0.1 pro ha	0.3 ± 0.2 pro ha	0.2 ± 0.2 pro ha	1.0 ± 0.2 pro ha	2.7 ± 0.2 pro ha
Faktor bis Erreichen des Soll-Wertes	> 5!	> 5!	> 10 !!	> 12 !!	> 4!	> 1.5
• liegend > 12 cm BHD	1.9 ± 0.3 m ³ ha ⁻¹	1.9 ± 0.3 m ³ ha ⁻¹	1.2 ± 0.5 m ³ ha ⁻¹	1.2 ± 0.4 m ³ ha ⁻¹	2.7 ± 0.5 m ³ ha ⁻¹	6.7 ± 0.6 m ³ ha ⁻¹
Faktor bis Erreichen des Soll-Wertes	> 4!	> 4!	> 5!	> 3	> 3	> 1.3

Die Abbildung 7 (Kapitel 3.2.2) zeigt, dass in jeder Region im Mittel zwischen 19 und 36 Bäume mit einem BHD >50 cm pro Hektare vorhanden sind. Das geforderte Soll (Tabelle 21) scheint also erfüllt zu sein. Allerdings sinkt die Anzahl Bäume pro Hektare mit zunehmendem Durchmesser drastisch ab, so dass bereits für BHD >70 cm in keiner Region mehr als 5 Bäume pro Hektare zu finden sind. Das bedeutet, dass tatsächlich alte Bäume (im ökologischen Sinn) nur spärlich oder aber kaum vorhanden sind. Im Mittelland ist die Situation am prekärsten.

3.4.2 Literatursynthese

Wir erstellten eine Übersicht der Sollwerte für verschiedene Gruppen von Organismen und europäische Waldgesellschaften, die in der internationalen Literatur gefunden wurden. Die Zusammenstellung ist in Tabellenform in Bütler et al. (2004)⁸ auf den Seiten 28-31 zu finden. Abbildung 20 zeigt die Werte in summarischer Form in der Mitte (Soll-Werte). Obwohl die Soll-Werte aus ganz verschiedenen Quellen stammen, ergibt sich ein Konsens zwischen ca. 20 und 40 m³ ha⁻¹. Nur wenige Soll-Werte liegen tiefer oder höher. Der tiefste Soll-Wert (Nr. 15) bezieht sich nur auf Bäume mit BHD >20 cm. Im Vergleich dazu haben Naturwälder Mittelwerte von 40-140 m³ ha⁻¹.

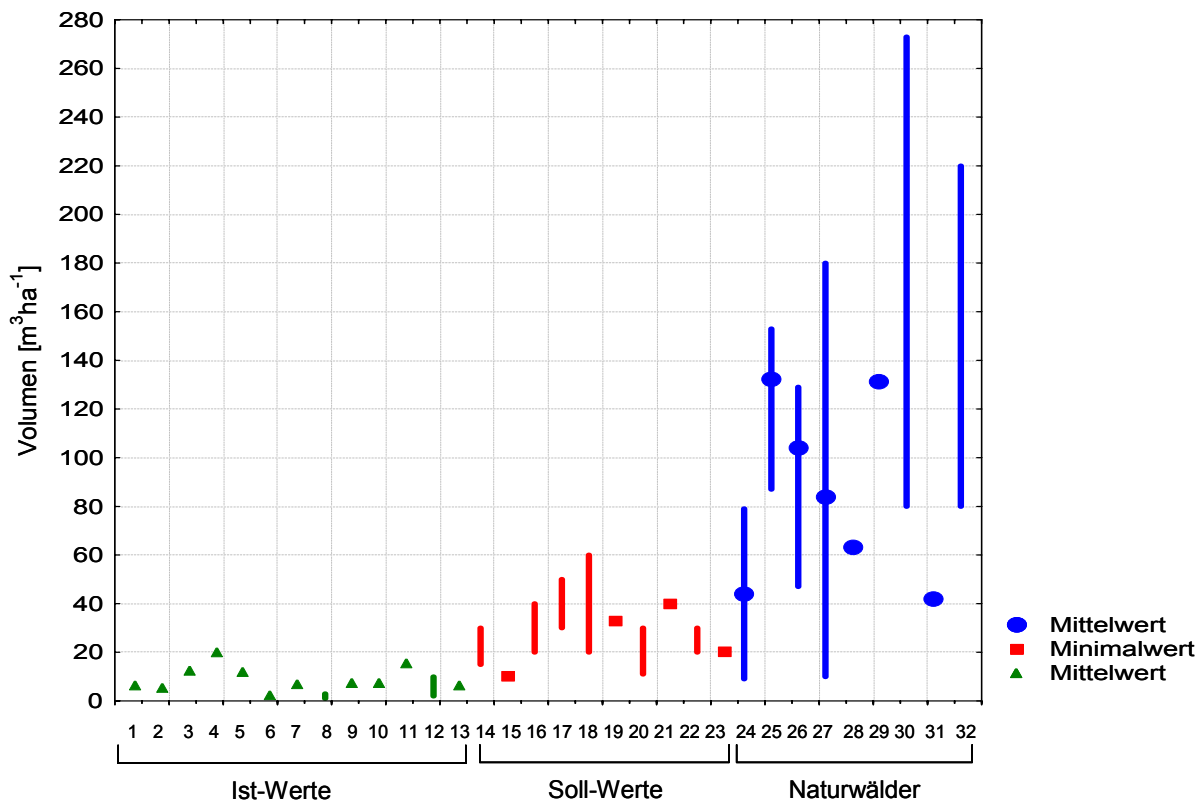


Abbildung 20 : Totholzvolumen in verschiedenen europäischen Ländern (Ist-Werte, links in der Abbildung; grün), in der Literatur empfohlene Soll-Werte für verschiedene Organismengruppen (in der Mitte der Abbildung; rot) und Werte aus Naturwäldern Mitteleuropas (rechts in der Abbildung; blau). Balken zeigen Minimal- und Maximalwerte. Quadrate in der Mitte der Abbildung zeigen minimale Soll-Werte. Quellen:

Ist-Werte: 1. Jura Schweiz; 2. Mittelland Schweiz; 3. Voralpen Schweiz; 4. Alpen Schweiz; 5. Südalpen Schweiz; Brassel & Brändli (ed.), 1999; 6. Frankreich ; Vallauri & Poncet, 2002; 7. Savoyen ; Vallauri & Poncet, 2002; 8. Bayern ; Ammer, 1991 ; 9. Flandern ; Afdeling Bos en Groen, 2001; 10. Wallonien ; Lecomte, 2000 ;

⁸ Bütler, R., Gogerat, V. & Schlaepfer, R. 2004. Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie für die Schweiz : Vorstudie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidg. Forstdirektion. Laboratoire de Gestion des écosystèmes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, November 2004.

11. **Luxemburg** ; Wagner et al., 2003 ; 12. **Finnland** ; Siitonen, 2001; 13. **Schweden** ; Fridman & Walheim, 2000.

Soll-Werte: 14. Ammer, 1991; 15. Erdmann & Wilke, 1997; 16. Kirby et al., 1998 ; 17. Winter et al., 2003 ; 18. Utschick, 1991; 19. Bütler et al., 2004; 20. Pechacek & d'Oleire-Oltmanns, 2004 ; 21. Haase et al., 1998 ; 22. WWF, 2004 ; 23. Memorial Luxemburg, 2002.

Naturwälder: 24. Meyer, 1999; 25. Bobiec, 2002; 26. Green & Peterken, 1997; 27. Rauh & Schmitt, 1991; 28. Derleth et al., 2000 ; 29. Holeska, 2001; 30. Korpel, 1995; 31. Korpel, 1995 ; 32. Korpel, 1995.

Abbildung 20 zeigt, dass die Ist-Werte systematisch unter den Soll-Werten liegen. Die ersten fünf Dreiecke von links sind die regionalen Mittelwerte der Schweizer Regionen (Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Südalpen). Abbildung 21 präsentiert ein Gesamtbild der Schweiz und zeigt die Mittelwerte pro Wirtschaftsregion. Regionen, die $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (unterste Grenze für Soll-Werte) übersteigen, sind grün gefärbt. Je röter, desto weiter von diesem Minimal-Sollwert entfernt befindet sich die Region. Das Wallis und die Alpen-Nordost sind die einzigen Regionen, die gemäss diesem Massstab genügend Totholz haben. Es wird aus den Abbildungen 20 und 21 klar, dass die Schweiz – sowie auch die anderen zitierten Länder – verschiedene Massnahmen ergreifen müssen, um die Soll-Werte zu erreichen, die für die Erhaltung der Artenvielfalt notwendig sind.

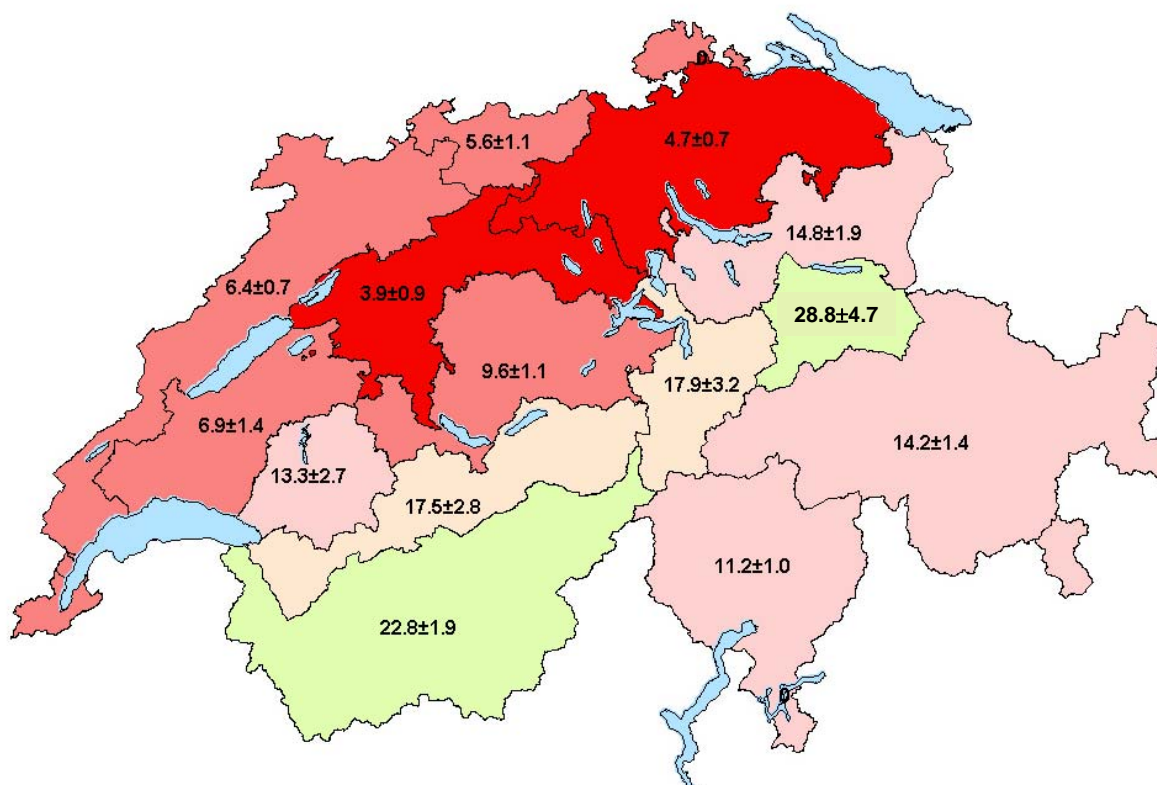


Abbildung 21: Mittelwerte mit Standardfehlern für Totholz ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) in den Wirtschaftsregionen im Vergleich mit Soll-Werten aus der Literatur ($20\text{-}40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Grün: minimaler Soll-Wert erreicht; rot: nicht erreicht.

3.4.3 FSC-Zertifizierungsstandards

Die Schweiz hat nur qualitative Alt- und Totholzforderungen in ihren Zertifizierungsstandards. Gewisse Länder, so zum Beispiel die Niederlande oder Grossbritannien, haben in ihren FSC-Standards quantitative Forderungen bezüglich Alt- und Totholzmengen. Wir zitieren als Beispiel den FSC-

Standard der Niederlande⁹. Es werden darin mindestens 4 stehende oder liegende tote Bäume pro Hektare mit einem Durchmesser von mindestens 30 cm, oder 5% des Waldbesitzes ohne jegliche Eingriffe gefordert. Im folgenden vergleichen wir den Schweizer Ist-Zustand mit dem niederländischen FSC-Standard.

Abbildung 22 basiert auf dem niederländischen FSC-Standard. Grün bedeutet, dass die Forderung des Standards erreicht ist. Je röter, desto weiter von der Forderung entfernt befindet sich die Region. Gemäss diesem Massstab erreichen die Alpen, das Tessin sowie die Voralpen West und Ost das Soll. Die Voralpen Mitte, das ganze Mittelland und der Jura erfüllen die Forderungen nicht.

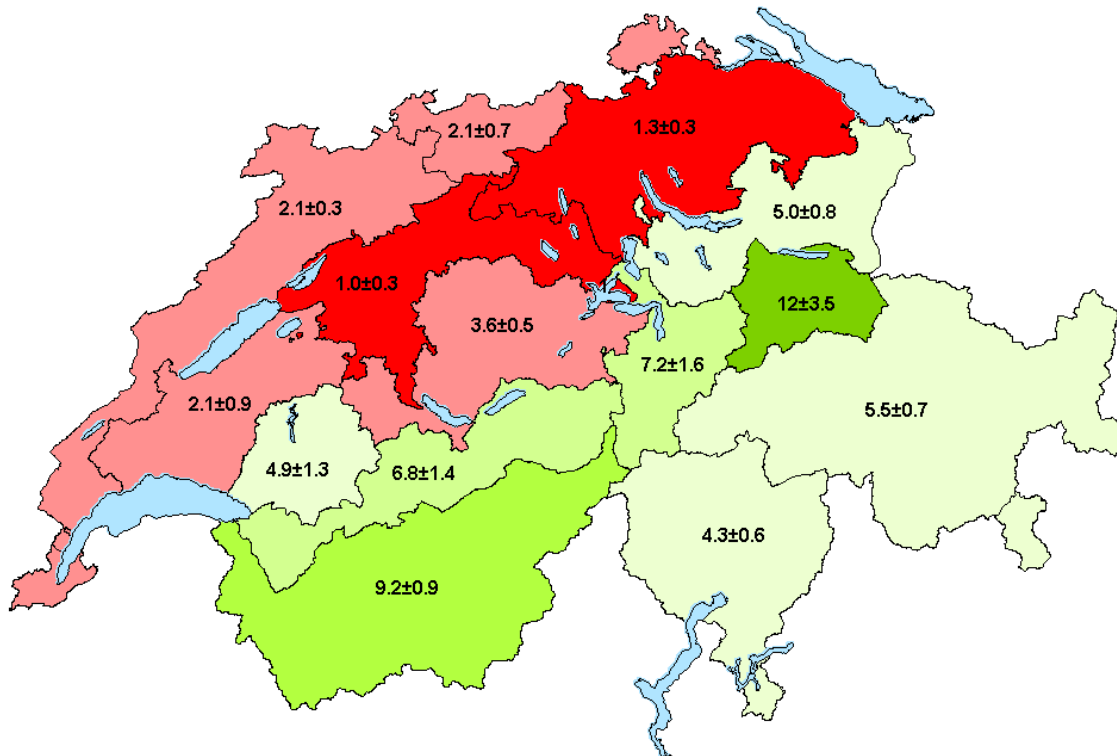


Abbildung 22: Mittelwerte mit Standardfehlern für Totholz (Anzahl stehend oder liegend mit BHD ≥ 30 cm pro ha) in den Wirtschaftsregionen im Vergleich mit quantitativen FSC-Zertifizierungsstandards (Niederlande). Grün: minimale Forderung erreicht; rot: nicht erreicht.



Soll-Werte aus der wissenschaftlichen Literatur, eine Praxishilfe und FSC-Standards, also breit gestreute Vergleichsmassstäbe, zeigen in etwa dasselbe Bild: Grosse Teile der Schweiz liegen stark unterhalb den für die Erhaltung der Artenvielfalt geforderten Soll-Werten. Am schlimmsten ist es in den tiefen Lagen (Laubwaldgebiete). Zumindest in diesen Gebieten (Mittelland, Jura, z.T. Voralpen) müssen Massnahmen zur Totholzförderung ergriffen werden.

⁹ FSC – Forest Stewardship Council. 2003. Final version of the National Dutch FSC Standard for certification of good forest management, FSC the Netherlands, 34 p. – In: <http://www.fscnl.org/>

4. WO: Erhaltungs- und Förderungspotentiale aus nationaler Sicht

Die jahrhundertelange intensive Waldbewirtschaftung, insbesondere die radikale Entfernung von totem und absterbendem Holz, wirkte sich sehr negativ auf die Artenvielfalt aus (Schiegg 1999). Natürlicherweise nahmen Alters- und Zerfallsphasen in mitteleuropäischen Urwäldern umfangreiche Flächenanteile ein, sodass grössere Mengen alten, absterbenden und toten Holzes akkumulieren konnten. Die Vielfalt der Alt- und Totholzhabitate liess im Laufe der Zeit eine vielfältige und teilweise auch hoch spezialisierte Fauna und Flora entstehen. Heutige Schätzungen lassen bis zu 90% der Totholz-abhängigen Wirbellosenarten als schutzbedürftig gelten. Nach Speight (1989) sind in Europa 40% der saproxylichen Käferarten gefährdet. Es ist also anzunehmen, dass die Mehrheit der Arten heute suboptimal leben und ihre heutige Verbreitung nicht mehr dem natürlichen Zustand entspricht.

Um das Potential von Waldgebieten für Alt- und Totholz nachzuweisen, haben wir in diese Untersuchung alt- und totholzabhängige Organismen einbezogen (siehe Tabelle 23). Wegen der lückenhaften Verbreitungsdaten (Fauna und Flora) konnten die Rohdaten aus den Inventaren nicht per se verwendet werden, um Verbreitungskarten herzustellen. Meistens wurde keine systematische Erhebung gemacht und die Abwesenheit von Funden in einem Gebiet kann bedeuten, dass diese Art da tatsächlich nicht vorkommt, aber auch, dass für diese Art eine Erfassungslücke besteht. Um diese Problematik zu reduzieren, haben wir Lebensraumeignungskarten für eine Auswahl von alt- und totholzabhängigen Organismen hergestellt. Die 55 ausgewählten Arten bilden eine Gilde, welche definitionsgemäss aus einer Gruppe ökologisch nahe stehender Arten besteht, die dieselben Habitate nutzen. Die erhaltenen Lebensraumeignungskarten zeigen ein Potential und nicht eine eigentliche Verbreitung.

4.1 Auswahl der alt- und totholzabhängigen Organismen

Ungefähr 20% der mitteleuropäischen Waldarten (Fauna und Flora) sind direkt oder indirekt von Alt- und Totholz abhängig. Direkt abhängig sind zum Beispiel Käferlarven, die in abgestorbenen Bäumen leben oder Pilze und Flechten, die Totholz als Substrat brauchen; indirekt abhängig sind räuberische Arten, die von xylobionten Organismen leben. Das Vorkommen von mehreren Tausend Arten hängt also zu einem grossen Teil von der Quantität ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) und der Qualität (Abbauzustand, Baumart, Durchmesser und Lage) von Totholz ab. Um den Einfluss der einzelnen ausgewählten Arten zu reduzieren, haben wir eine breite Selektion von Arten durchgeführt. Das Zusammenfassen von mehreren Arten hat gegenüber dem Einzelarten-Ansatz den Vorteil, dass die Realität besser wiedergegeben wird (BUWAL, 2004a). Die Auswahl der Arten zur Bildung der Gilde erfolgte in Zusammenarbeit mit Experten (siehe Danksagung). Grundsätzlich müssen die ausgewählten Arten „saproxylich“ sein (sensus Speight 1989, siehe Definition Kapitel 1 Fussnote 2) und sich ökologisch und geographisch ergänzen. Die Ergänzenbarkeit der Arten wurde in einer Matrix geprüft (siehe Tabelle 23). Alle Kriterien in den Klassen „Status“, „Ökologie“, „Lebensraum“ und „Verbreitung“ mussten mindestens von neun Arten vertreten werden, so dass die von den ausgewählten Arten gebildete Gilde keine öko-geographische Lücke aufweist.

Durch dieses Verfahren erhielten wir eine für die Schweiz repräsentative Artenliste. Als letztes Kriterium verwendeten wir die Anzahl Beobachtungen: Arten mit weniger als 20 Beobachtungen konnten nicht für die Modellierung verwendet werden. Als Beobachtung gilt ein Quadratkilometer mit mindestens einem Fund. Die ältesten Daten vom Schweizer Zentrum für die Kartographie der Fauna (SZKF) stammen aus den fünfziger Jahren. Die Vogeldaten wurden zwischen 1993 und 1997 erhoben.

Tabelle 23 : Matrix zur Überprüfung der öko-geographischen Ergänzung der ausgewählten saproxylichen Arten.

	Rote Liste	Annex EU	Geschützte Art	Berner Convention	Flagship species	Art im Rückgang	Spezialist	Generalist	Thermophil	Laubbaum	Nadelbaum	Totholz stehend	Totholz liegend	Asthaufen	Höhlenbaum	Totholz frisch	Holz an-gemodert	Holz morsch	Waldrand	Jura	Mittelland	Voralpen	Alpen	Süd-Alpen
SÄUGETIERE																								
<i>Nyctalus noctula</i>	VU		ja	ja	ja	ja				ja		ja			ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Nyctalus leisleri</i>	NT		ja	ja	ja					ja	ja	ja			ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Myotis bechsteinii</i>	NT	ja	ja		ja	ja				ja	ja	ja			ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
VÖGEL																								
<i>Aegolius funereus</i>	LC	ja			ja					ja	ja	ja			ja					ja		ja	ja	ja
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	LC									ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Columba oenas</i>	EN	ja				ja				ja	ja	ja			ja						ja	ja	ja	ja
<i>Dendrocopos major</i>	LC	ja			ja					ja	ja				ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Dendrocopos medius</i>	VU	ja			ja	ja				ja					ja					ja	ja	ja	ja	ja
<i>Dendrocopos minor</i>	VU				ja	ja				ja		ja			ja						ja	ja	ja	ja
<i>Dryocopus martius</i>	LC	ja			ja					ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Ficedula hypoleuca</i>	LC									ja					ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Glaucidium passerinum</i>	VU	ja			ja					ja	ja			ja	ja						ja	ja	ja	ja
<i>Orniolus oriolus</i>	VU			ja		ja				ja				ja	ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Parus montanus</i>	LC										ja	ja			ja					ja	ja	ja	ja	ja
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	LC									ja	ja	ja							ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Picoides tridactylus</i>	VU	ja			ja	ja					ja	ja							ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Picus canus</i>	EN	ja			ja	ja				ja		ja							ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Picus viridis</i>	LC				ja	ja				ja		ja							ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Tetrao urogallus</i>	EN	ja		ja	ja	ja					ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
REPTILIEN UND AMPHIBIEN																								
<i>Natrix natrix</i>	EN		ja			ja		ja	ja					ja					ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Salamandra atra</i>	LC	ja	ja	ja			ja	ja						ja	ja	ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Salamandra salamandra</i>	VU		ja		ja	ja		ja						ja	ja	ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Zamenis longissimus (Elaphe long.)</i>	EN		ja	ja				ja	ja					ja	ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Zootoca vivipara (Lacerta vivipara)</i>	LC		ja					ja	ja					ja	ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
INSEKTEN																								
<i>Buprestis rustica</i>								ja	ja		ja					ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja
<i>Cerambyx cerdo</i>		ja	ja	ja	ja		ja	ja		ja					ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Chrysobothris affinis</i>								ja		ja					ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Clytus arietis</i>								ja		ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Lamia textor</i>			ja			ja				ja									ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Lucanus cervus</i>		ja	ja	ja	ja		ja	ja	ja	ja		ja			ja	ja	ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Platycerus caraboides</i>								ja		ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Rhagium bifasciatum</i>								ja		ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Rosalia alpina</i>		ja	ja	ja	ja		ja		ja	ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Scintillatrix rutilans</i>			ja				ja		ja	ja					ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Vespa crabro</i>										ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
MOLLUSKEN																								
<i>Limax cinereoniger</i>								ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Macrogastra attenuata lineolata</i>	NT							ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Macrogastra ventricosa</i>								ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
PILZE																								
<i>Aleurodiscus amorphus</i>	VU				Kandidat	ja	ja			ja					ja				ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Bondarzewia mesenterica</i>	NT						ja			ja										ja	ja	ja	ja	ja
<i>Climatocystis borealis</i>	LC									ja					ja	ja				ja	ja	ja	ja	ja
<i>Coriolopsis gallica</i>	LC								ja	ja		ja		ja	ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Fistulina hepatica</i>	LC						ja		ja	ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Laricifomes officinalis</i>	VU		ja	Kandidat	Kandidat	ja	ja		ja	ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Phellinus hartigii</i>	LC						ja		ja	ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Pluteus roseipes</i>	LC							ja		ja					ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Pulcherrimum coeruleum</i>	LC							ja	ja	ja					ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Sparassis crispa</i>	LC							ja		ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Tricholomopsis decora</i>	LC							ja		ja		ja			ja	ja			ja	ja	ja	ja	ja	ja
FLECHTEN																								
<i>Cladonia cenotea</i>	LC					ja				ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Cladonia coniocraea</i>	LC					ja		ja		ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Cladonia digitata</i>	LC					ja				ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Cladonia fimbriata</i>	LC					ja				ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Lecanora varia</i>	LC					ja				ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja
<i>Micarea denigrata</i>	LC					ja				ja	ja								ja	ja	ja	ja	ja	ja

Rote Liste: EN : endangered (2), Vu : vulnerable (3), NT : near threatened (4), LC: least concern (n). In (:): Status der "Rote Liste der Schweiz"

Insgesamt wurden 55 Arten aus den folgenden Gruppen betrachtet (Tabelle 24)

Tabelle 24: Artenzahl pro ausgewählte Gruppen.

Gruppe	Anzahl Arten
Säugetiere (Fledermäuse)	3
Vögel	16
Amphibien und Reptilien	5
Insekten	11
Mollusken	3
Pilze	11
Flechten	6
TOTAL	55 Arten

4.1.1 Säugetiere

Säugetiere zeigen eine geringere Abhängigkeit von Totholz als Insekten, da sie auch oft auf andere Habitate ausweichen können. Einige Fledermausarten sind aber stark von stehenden Höhlenbäumen als Tagesschlaf- und Winterschlafquartiere abhängig und werden als typische Waldarten bezeichnet (Meschede & Heller, 2003¹⁰) (Tabelle 25). Ihr Vorkommen ist meistens gut erhoben, es gibt aber kein systematisches Inventar der Säugetiere in der Schweiz. Verbreitungskarten, potentielle Gebiete und Daten sind beim SZKF und im Atlas der Säugetiere der Schweiz vorhanden (Hausser, 1995).

Tabelle 25: Auswahl der Säugetierarten, die von Alt- und Totholz abhängig sind.

SÄUGETIERE		Funde (km ²) ^a
<i>Nyctalus noctula</i>	Grosser Abendsegler	326
<i>Nyctalus leisleri</i>	Kleiner Abendsegler	132
<i>Myotis bechsteinii</i>	Bechsteinfledermaus	54

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.2 Vögel

Die Vögel gehören zu den am besten untersuchten Tieren der Schweiz. Ihr Vorkommen wurde im Rahmen des Schweizer Brutvogelatlas 1993–1996 (Schmid et al., 1998) systematisch aufgenommen. Punktkarten und Dichtekarten sind für jede Art vorhanden. Die Qualität der vorhandenen Vogelarten würde eine Herstellung von Verbreitungskarten ohne Modellierung ermöglichen. Um die Standardisierung der Datenbearbeitung zu respektieren, wurden aber alle Datensätze gleich behandelt. Die ausgewählten Vogelarten entsprechen der Liste, die uns von der Vogelwarte Sempach zur Verfügung gestellt wurde (Tabelle 26).

¹⁰ Meschede, A., Heller K.-G. 2003 Ecologie et protection des chauves-souris en milieu forestier. In Le Rhinolphe : Revue internationale de chiroptérologie. Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Genève et l'Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris. 16, 248 S.

Tabelle 26: Auswahl der Vogelarten, die von Alt- und Totholz abhängig sind.

VÖGEL		Funde (km ²) ^a
<i>Aegolius funereus</i>	Raufusskauz	431
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	Kernbeisser	594
<i>Columba oenas</i>	Hohltaube	277
<i>Dendrocopos major</i>	Buntspecht	1909
<i>Dendrocopos medius</i>	Mittelspecht	94
<i>Dendrocopos minor</i>	Kleinspecht	344
<i>Dryocopus martius</i>	Schwarzspecht	1093
<i>Ficedula hypoleuca</i>	Trauerschnäpper	748
<i>Glauclidium passerinum</i>	Sperlingskauz	268
<i>Oriolus oriolus</i>	Pirol	308
<i>Parus montanus</i>	Mönchsmeise	1014
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	Waldlaubsänger	828
<i>Picoides tridactylus</i>	Dreizehenspecht	180
<i>Picus canus</i>	Grauspecht	272
<i>Picus viridis</i>	Grünspecht	1511
<i>Tetrao urogallus</i>	Auerhuhn	204

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.3 Reptilien und Amphibien

Das Vorkommen von Reptilien und Amphibien wird von Asthaufen, liegenden Stämmen und morschem Holz gefördert. Solche Strukturelemente sind als Versteck und Eiablagestandort sehr wichtig. Waldarten der Reptilien sind spezifisch an Waldränder gebunden. Für Amphibien besteht ein Schweizer Inventar der Laichbiotope (Borgula et al. 1994¹¹) und die zugehörige Datenbank wird vom KARCH und SZKF verwaltet. Tabelle 27 zeigt die ausgewählten Arten.

Tabelle 27: Auswahl der Reptilien- und Amphibienarten, die von Alt- und Totholz abhängig sind.

REPTILIEN UND AMPHIBIEN		Funde (km ²) ^a
<i>Salamandra salamandra</i>	Feuersalamander	1853
<i>Salamandra atra</i>	Alpen-Salamander	958
<i>Natrix natrix</i>	Ringelnatter	2238
<i>Zamenis longissimus</i>	Äskulapnatter	405
<i>Zootoca vivipara (Lacerta vivipar)</i>	Berg-, Waldeidechse,	2668

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.4 Insekten

Über 2000 Insektenarten Mitteleuropas sind von Totholz abhängig. Insektendaten für die Verbreitungskarten stammen vom SZKF. Basierend auf der Literatur und auf Expertenlisten haben wir

¹¹ Borgula, A., P. Fallot & J. Rysen. 1994. Inventaire des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale. Cahier de l'environnement N°233, OFEFP, Berne. 74 S.

elf Insektenarten ausgewählt (Tabelle 28). Diese Arten sind direkt von Alt- oder Totholz abhängig, so dass sie in deren Abwesenheit nicht leben können (ausser *Vespa crabro*). Totholz dient meistens als Habitat für die Larven (Buprestidae, Cerambycidae, Lucanidae) – während in Fundmeldungen in den meisten Fällen das Vorkommen von Adulten nachgewiesen wird. Insekten sind besonders gute Indikatoren einzelner Lebensräume wegen ihres kleinen Aktionsradius.

Tabelle 28: Auswahl der Insektenarten, die von Alt- und Totholz abhängig sind.

INSEKTEN		Funde (km ²) ^a
<i>Buprestis rustica</i>	Ländlicher Prachtkäfer	29
<i>Cerambyx cerdo</i>	Eichenheldbock	55
<i>Chrysobothris affinis</i>	Goldgruben-Prachtkäfer	64
<i>Clytus arietis</i>	Gemeiner Widderbock	281
<i>Lamia textor</i>	Weberbock	28
<i>Lucanus cervus</i>	Hirschkäfer	177
<i>Platycerus caraboides</i>	Kleiner Rehschröter	36
<i>Rhagium bifasciatum</i>	Gelbbindiger Zangenbock	38
<i>Rosalia alpina</i>	Alpenbock	43
<i>Scintillatrix rutilans</i>	Grosser Lindenprachtkäfer	24
<i>Vespa crabro</i>	Hornisse	217

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.5 Mollusken

Insgesamt sind in der Schweiz 250 Schnecken- und 28 Muschelarten bekannt. Da Mollusken natürlicherweise weniger in höheren Lagen leben, nimmt ihre Artenvielfalt mit zunehmender Höhe ab. Dies steht im Gegensatz zu anderen Gruppen, welche wegen der Nutzungsintensität im Tiefland weniger Arten aufweisen als in höheren Lagen (Gefässpflanzen, Moose, Tagfalter). Die Molluskendatenbank liegt bei der SZKF. Tabelle 29 zeigt die ausgewählten Arten.

Tabelle 29: Auswahl der von Alt- und Totholz abhängigen Molluskenarten.

MOLLUSKEN		Funde (km ²) ^a
<i>Limax cinereoniger</i>	Schwarzer Schnegel	181
<i>Macrogastera attenuata</i>	Mittlere Schließmundschnecke	504
<i>Macrogastera ventricosa</i>	Bauchige Schließmundschnecke	316

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.6 Pilze

Über 2000 Pilzarten wachsen in der Schweiz auf Totholz. Der Verbreitungsatlas der Pilze der Schweiz ist auf www.swissfungi.ch erhältlich. Die vorhandenen Daten stammen aus Meldungen von Freiwilligen und aus dem Landesforstinventar (LFI2). Tabelle 30 zeigt die ausgewählten Arten.

Tabelle 30: Auswahl der von Totholz abhängigen Pilzarten.

PILZE		Funde (km ²) ^a
<i>Aleurodiscus amorphus</i>	Orangerote Mehlscheibe	79
<i>Bondarzewia mesenterica</i>	Gemeiner Bergporling	70
<i>Climatocystis borealis</i>	Schwammporling	316
<i>Corioloopsis gallica</i>	Braune Borstentramete	166
<i>Fistulina hepatica</i>	Leberreischling,	120
<i>Laricifomes officinalis</i>	Lärchenbaumschwamm	51
<i>Phellinus hartigii</i>	Tannenfeuerschwamm	146
<i>Pluteus roseipes</i>	Rosastieliger Dachpilz	71
<i>Pulcherricium caeruleum</i>	Blauer Rindenpilz	73
<i>Sparassis crispa</i>	Krause Glucke	50
<i>Tricholomopsis decora</i>	Olivgelber Holzritterling	72

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.1.7 Flechten

Es besteht keine Datenbank für totholzbesiedelnde Flechtenarten. Einige Arten, deren Alt- und Totholzabhängigkeit bekannt ist, wurden im Rahmen des Verbreitungsatlas der baumbewohnenden Flechten der Schweiz aufgenommen (www.swisslichens.ch). Diese Arten wurden aber auf lebenden Bäumen oder Sträuchern beobachtet. Wir gingen davon aus, dass die ausgewählten Arten (Tabelle 31) ihre Source-Populationen auf Totholz haben und dann proportional zu ihren Totholzvorkommen auch auf lebenden Bäumen gefunden wurden.

Tabelle 31: Auswahl der von Totholz abhängigen Flechtenarten.

FLECHTEN		Funde (km ²) ^a
<i>Cladonia cenotea</i>		75
<i>Cladonia coniocraea s.l.</i>	Gewöhnliche Säulenflechte	277
<i>Cladonia digitata</i>		219
<i>Cladonia fimbriata</i>		212
<i>Lecanora varia</i>		60
<i>Micarea denigrata</i>		33

^a Anzahl Quadratkilometer mit mindestens einer Beobachtung

4.2 Herstellung der potentiellen Verbreitungskarten

Die potentiellen Verbreitungskarten (Lebensraumeignungskarten) wurden mittels der Software Biomapper¹² hergestellt. Biomapper ist eine Kombination von GIS- und Statistikwerkzeugen. Basierend auf einer „ökologischen Nischen Faktor Analyse“ (ENFA: Ecological Niche Factor Analysis) berechnet das Programm Lebensraumeignungskarten für jegliche Pflanzen- und Tierarten. Die Nische wird jeweils durch Umweltfaktoren bestimmt. Für die ENFA haben wir 20 ökogeographische Variablen betrachtet, welche die klimatischen Bedingungen, den Wald (Mischungsgrad, Waldrand), den

¹² Alexandre H. Hirzel, Jacques Hausser and Nicolas Perrin (2004). Biomapper 3.1. Laboratory for Conservation Biology, University of Lausanne

Schutzstatus und die Topographie beschreiben (siehe Tabelle 32). Mit diesen Angaben sollten sich die wichtigsten Charakteristika des Lebensraumes der ausgewählten Arten bestimmen lassen.

Tabelle 32: Liste der ökogeographischen Variablen für die Herstellung der Habitatseignungskarte (pro Kilometer-Quadrat).

	Ökogeographische Variablen	Einheit
Klimatische Bedingungen ^a	Monatlicher Feuchte-Index	1/10 mm/mnt
	Anzahl Niederschlagstage pro Vegetationsperiode	Anzahl Tage
	Durchschnittliche monatliche Niederschläge (1961–1990)	1/10 mm/mnt
	Sommerfrosthäufigkeit	1/10 Anz. Tage
	Jährliche durchschnittliche Wasserbilanz	1/10 mm/yr.
	Monatsmitteltemperatur (1961–1990): 30-jähriger Mittelwert März	1/10 deg.C
	Monatsmitteltemperatur (1961–1990): 30-jähriger Mittelwert Juli	1/10 deg.C
	Monatlicher Mittelwert der Durchschnittstemperatur (1961–1990)	1/10 deg.C
Wald ^b	Waldrandlänge	Meter
	Laubmischwald (10–50% Nadelbäume)	m ²
	Laubwald (0–10% Nadelbäume)	m ²
	Nadelmischwald (50–90% Nadelbäume)	m ²
	Nadelwald (90–100% Nadelbäume)	m ²
Schutzstatus ^c	Geschützte Zone	ha
Topographie ^d	Höhe ü. M.	M.ü.M
	Konvexität	-
	COSINUS von Exposition (Ost–West)	-
	SINUS von Exposition (Nord–Süd)	-
	Neigung	°
	Standardabweichung der Höhe ü. M.	-

Quellen:

^a Bioklimatische Karten der Schweiz © WSL auf Grundlagen der Stationsdaten SMA-Meteo Schweiz.

^b Bundesamt für Statistik, Mischungsgrad

^c Bundesamt für Statistik, Strenggeschützte Flächen: Nationalpark und Biotope nationaler Bedeutung

^d LASIG, EPFL, abgeleitet aus dem Höhenmodell

Im Gegensatz zu anderen Modellen braucht Biomapper keine Absenz-Daten. Die Beobachtungslücken haben also keinen negativen Einfluss auf das Modell. Sowohl für die Umweltfaktoren als auch für die Arten verwendet Biomapper überlagerbare Rasterkarten. Ähnlich wie im Atlas der Säugetiere der Schweiz (Hausser, 1995), haben wir uns für einen Kilometerraster entschlossen. Jedes von diesen Quadraten wurde mit Hilfe der 20 ökogeographischen Variablen beschrieben. Wegen Umrechnungen der topographischen Daten (Höhenmodell), konnten wir die Daten innerhalb einer Pufferzone von einem Kilometer um die Landesgrenze nicht berücksichtigen, sodass die Fläche der Schweiz in diesem Modell 39'574 km² anstatt 41'285 km² beträgt.

4.3 Lebensraumeignungskarte: Saproxylic Hotspots

Für jede saproxyliche Art wurde eine Lebensraumeignungskarte hergestellt, welche die Eignung in Prozent pro Quadratkilometer angibt (0% nicht geeignet bis 100% sehr geeignet, siehe Beispiele im Anhang). Die geeigneten Quadrate sind nicht unbedingt alle genutzt und können vom eigentlichen

Verbreitungsgebiet durch geographische unüberwindliche Barrieren getrennt sein (Hausser, 1995). Das Auerhuhn zum Beispiel würde sich im Tessin wohl fühlen, heute fehlt aber jede Spur in diesem Kanton (bis Ende der Vierzigerjahre konnte das Auerhuhn im Tessin noch beobachtet werden). Potentielle Gebiete können also heute nicht oder nur teilweise genutzt werden.

Um die prozentualen Lebensraumeignungskarten in binäre Karten umzuwandeln (0 = nicht geeignet, 1 = geeignet), betrachteten wir in einem ersten Schritt 50% als Schwellenwert zwischen geeigneten und nicht geeigneten Habitaten. In einem zweiten Schritt wurden die binären Lebensraumeignungskarten der 55 Arten kumuliert, um eine „Saproxylic Hotspots“ Karte der 55 ausgewählten Arten herzustellen. Jede Zelle vom Kilometerraster kann also Werte zwischen null und 55 Arten enthalten.

In den folgenden Abschnitten werden die Lebensraumeignungskarten nach 3 verschiedenen geographischen Einteilungen dargestellt: Produktionsregion, Wirtschaftsregion und Kanton.

4.3.1 Relative und absolute Fläche

Zwei Standpunkte sind für die Interpretation der saproxylicen Hotspotskarten möglich:

- die relative Fläche in Prozenten = potentiell geeignete Habitatsfläche im Wald / gesamte Waldfläche (auch als Waldanteil im Bericht bezeichnet).
- die absolute Fläche in km² = potentiell geeignete Habitatsfläche im Wald.

Diese beiden Standpunkte zeigen sowohl ökologische wie politische Vor- und Nachteile (Tabelle 33). Die politische Bedeutung entsteht durch die Einteilung in Kantone.

Tabelle 33: Relative und absolute Fläche: zwei Standpunkte für die Beurteilung von potentiell geeigneten Habitaten. Vorteile in weiss, Nachteile in grau.

	Ökologische Bedeutung	Politische Bedeutung*
Relative Fläche	Eine grosse relative Fläche entspricht einer hohen Dichte und besseren Vernetzung zwischen den saproxylicen Hotspots (z.B. Kt. JU, SO).	Kleine Kantone werden nicht benachteiligt (z.B. Kt. SH).
	Kleine Flächen können einen grossen Anteil darstellen, falls die Waldfläche gering ist (z.B. Kt. BL + BS).	Die Wichtigkeit von Regionen mit kleinen Waldflächen kann überschätzt werden (z.B. SH).
Absolute Fläche	Grosse Flächen sind ökologisch wertvoller als kleine (z.B. Kt. BE, TI, VD).	Gebiete mit niedrigem Flächenanteil aber grossen Flächen werden berücksichtigt (z.B. Kt. TI)
	Die absolute Fläche gibt keine Informationen über die Dichte und die Verteilung der potentiell wertvollen Flächen (z.B. Kt. BE).	Kleine Regionen werden benachteiligt (z.B. Kt. SH, BS + BL).

*im Sinn einer finanziellen Unterstützung

4.3.2 Saproxylic Hotspots nach Produktionsregionen

Die Karte der saproxylicen Hotspots nach PRODREG zeigt die höhere Dichte von saproxylicen Hotspots im Jura und im Mittelland im Vergleich zu den anderen Regionen (Abbildungen 23 und 24). Mindestens 98% der Waldfläche dieser beiden Produktionsregionen können potentiell mindestens

eine von 55 ausgewählten Arten beherbergen (Abbildung 24 und Tabelle 34). Ab 20 Arten sinkt der potentielle Waldanteil auf 38 und 39% für das Mittelland und den Jura. Die tiefsten Werte (3 bis 4 %) werden in den Voralpen und Alpen beobachtet. In den Südalpen nähert sich der Anteil dem Schweizer Gesamtwert (12% in den Südalpen und 16% für die Schweiz).

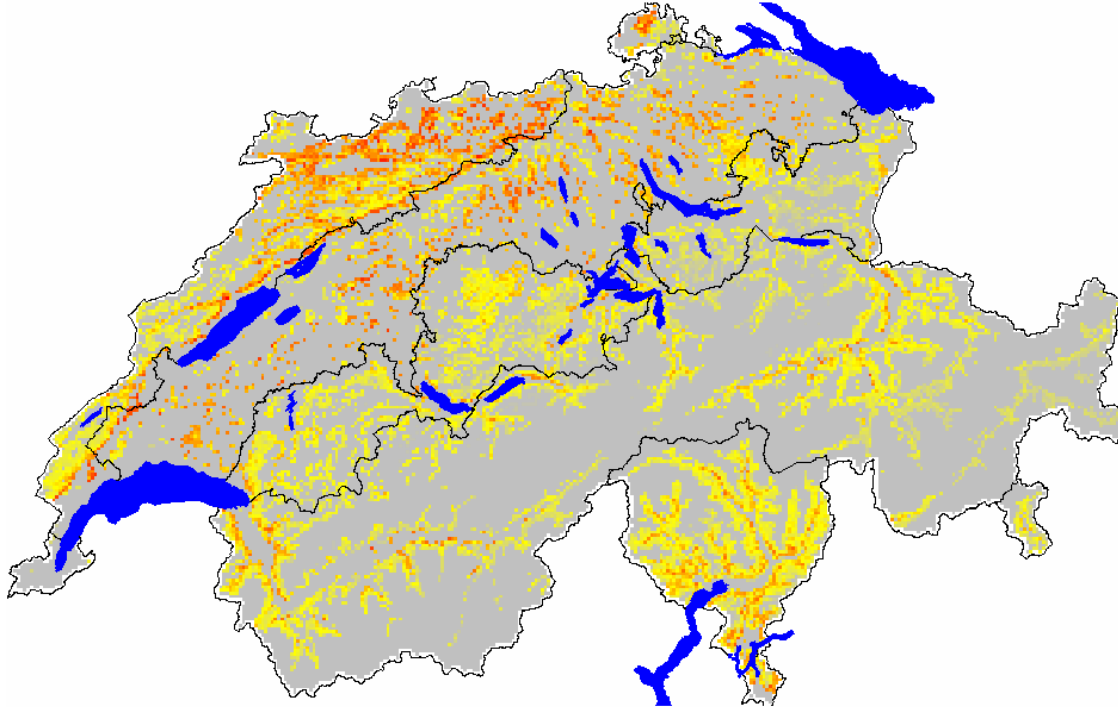


Abbildung 23: Karte der saproxylicen Hotspots nach Produktionsregion für 55 ausgewählte saproxyliche Arten in der Schweiz. Grau = nicht geeignet (Artenzahl = 0), gelb = geeignet, rot = sehr geeignet (maximale Artenzahl = 31).

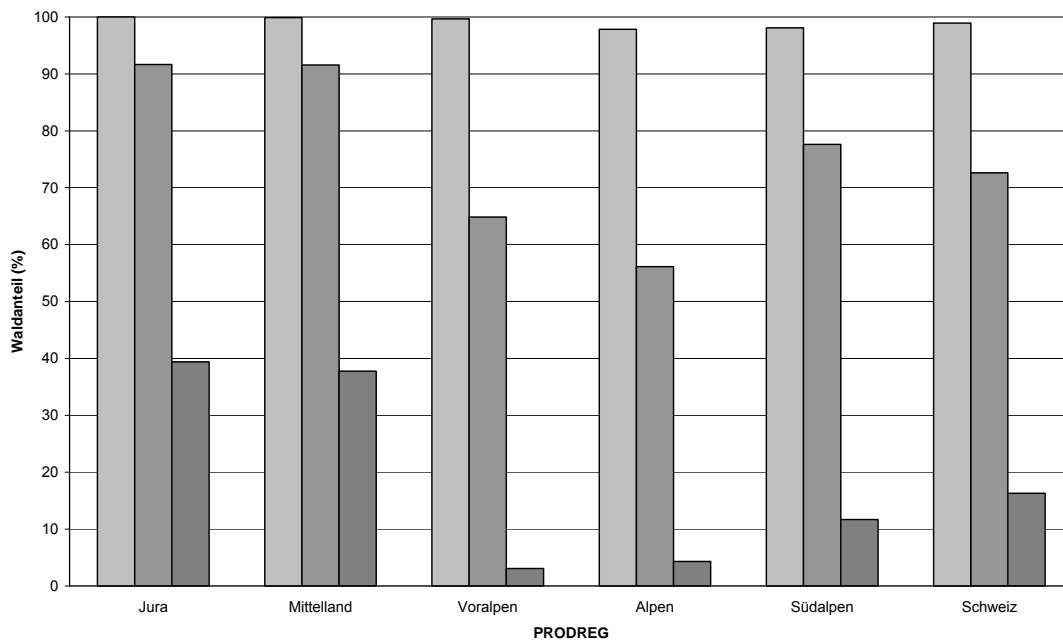
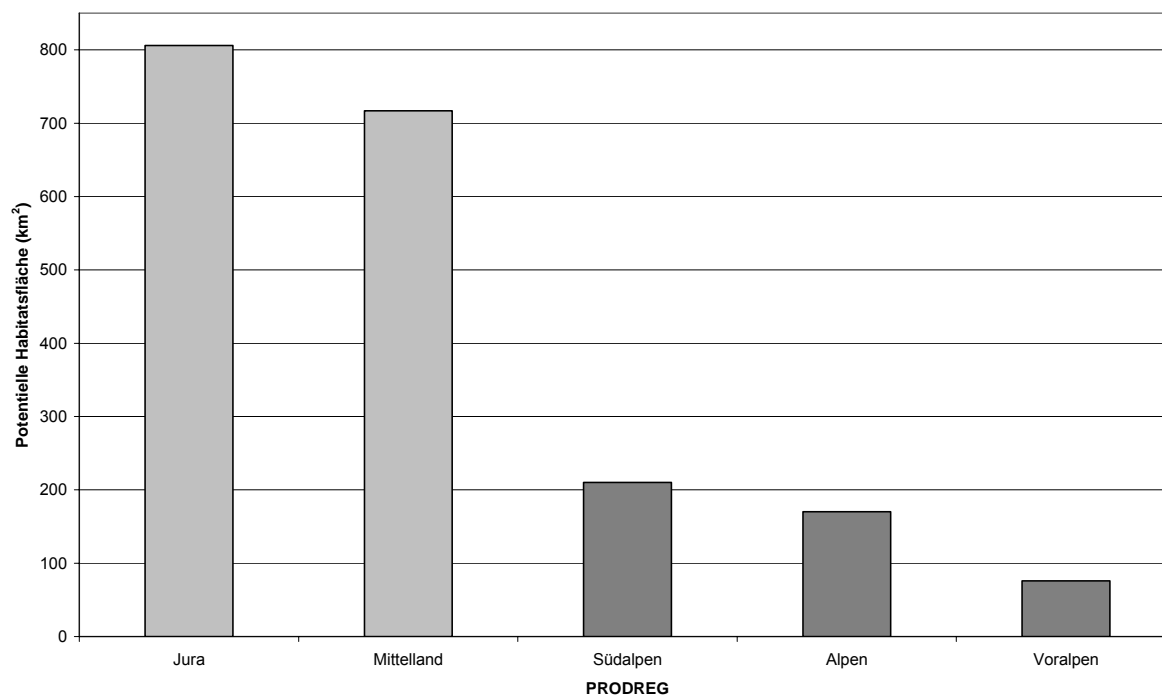


Abbildung 24: Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten nach PRODREG. Hellgrau = Habitat geeignet für mindestens eine Art; mittelgrau = Habitat geeignet für mindestens 10 Arten; dunkelgrau = Habitat geeignet für mindestens 20 Arten.

Tabelle 34: Wald (in ha und %) und Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten für saproxyliche Arten nach PRODREG.

	Gesamtareal [km ²]	Waldfläche [ha]	Waldfläche (%)	Anteil geeignete Habitats ≥ 1 Art	Anteil geeignete Habitats ≥ 10 Arten	Anteil geeignete Habitats ≥ 20 Arten
Jura	4766	211626	44	1.00	0.92	0.39
Mittelland	9836	241317	25	1.00	0.92	0.38
Voralpen	6459	210936	33	1.00	0.65	0.03
Alpen	16679	383214	23	0.98	0.56	0.04
Südalpen	3546	171434	48	0.98	0.78	0.12
Schweiz	41286	1218527	30	0.99	0.73	0.16

Die absoluten Flächen von geeigneten Habitaten pro PRODREG, die mindestens 20 Arten beherbergen können, scheiden auch Jura und Mittelland aus. Beide zeigen eine absolute Fläche von geeigneten Habitaten grösser als 700 km² (siehe Abbildung 25).

**Abbildung 25:** Absolute Flächen von potentiell geeigneten Habitaten nach PRODREG (für ≥ 20 Arten). In hellgrau sind die PRODREG mit dem höchsten Flächenanteil.

4.3.3 Saproxyliche Hotspots nach Wirtschaftsregionen

Für mindestens 20 von 55 saproxylichen Arten befinden sich die höchsten Lebensraumeignungswerte im Jura (Ost, Mitte und West) und im Mittelland (West, Mitte, Ost) (Abbildungen 26 und 27). Über ein Drittel der Waldfläche dieser Regionen hat ein hohes Potential für die Erhaltung von saproxylichen Arten. Im Gegensatz dazu zeigen alle alpinen Regionen (Voralpen und Alpen, 0 bis 8%) sowie das Tessin (12%) ein niedrigeres Potential für eine hohe saproxyliche Artenvielfalt.

Fast 100% der Schweizer Wälder der WIREG sind potentiell geeignet, um mindestens eine der 55 ausgewählten saproxylichen Arten zu beherbergen (siehe Abbildung 27 und Tabelle 35). Dieses Potential sinkt mit einer Erhöhung der Artenzahl (z.B. ≥ 10 oder ≥ 20). Der höchste Waldanteil mit einem grossen Potential befindet sich im Jura Ost, wo 57% der Waldfläche über 20 saproxyliche Arten aus unserer Selektion potentiell beherbergen könnten.

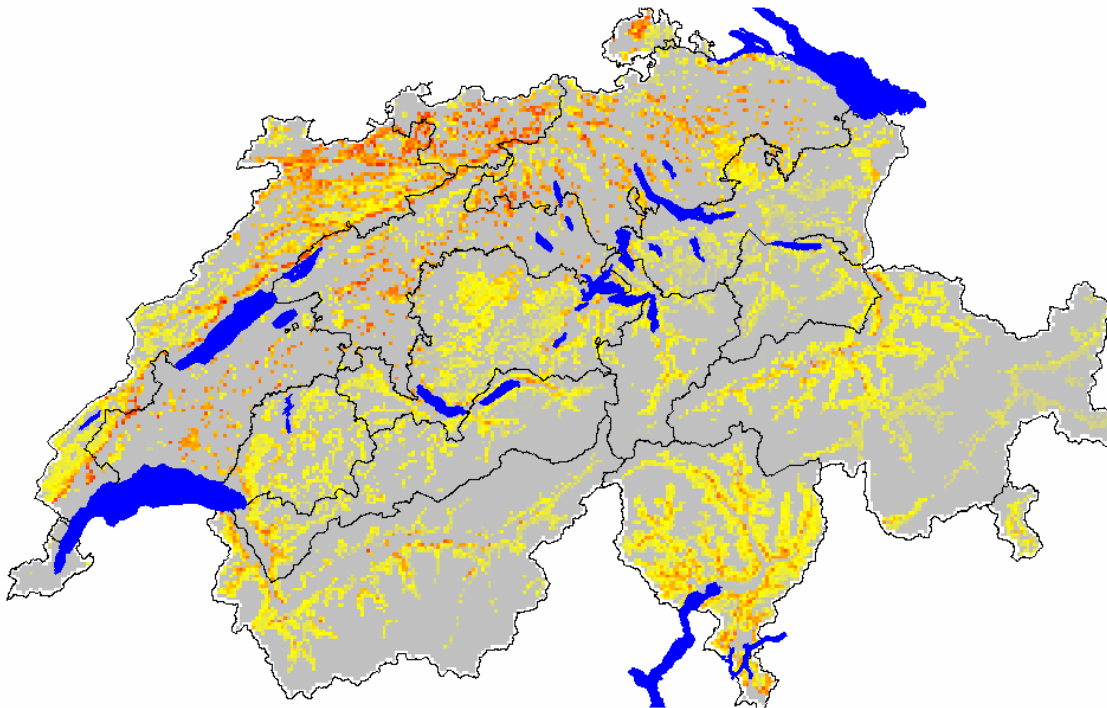


Abbildung 26: Karte der saproxylichen Hotspots nach Wirtschaftsregionen für 55 ausgewählte saproxyliche Arten in der Schweiz. Grau = nicht geeignet (Artenzahl = 0), gelb = geeignet, rot = sehr geeignet (maximale Artenzahl = 31).

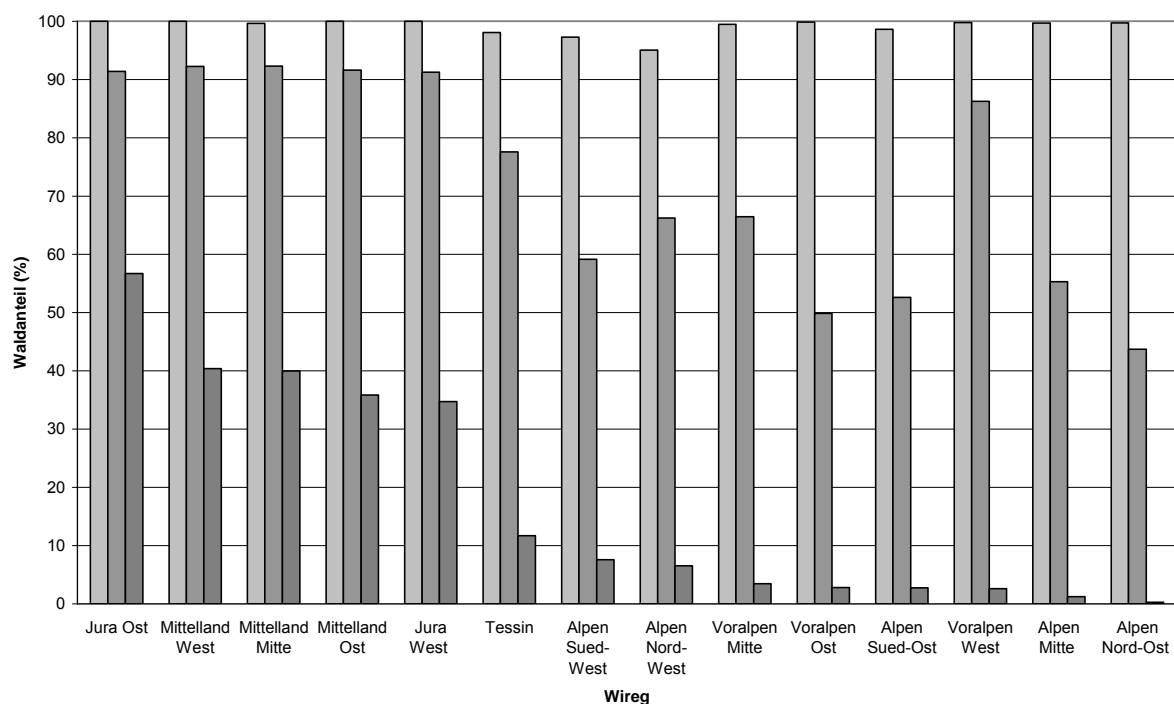


Abbildung 27: Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten nach WIREG. Hellgrau = Habitat geeignet für mindestens eine Art; mittelgrau = Habitat geeignet für mindestens 10 Arten; dunkelgrau = Habitat geeignet für mindestens 20 Arten.

Tabelle 35: Wald (in km² und %) und Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten für saproxyliche Arten nach WIREG.

	Gesamtareal [km ²]	Waldfläche [km ²] ^a	Waldfläche (%)	Anteil geeignete Habitats ≥ 1 Art	Anteil geeignete Habitats ≥ 10 Arten	Anteil geeignete Habitats ≥ 20 Arten
Jura West	3698	1638	44	1.00	0.91	0.35
Jura Ost	1230	418	34	1.00	0.91	0.57
Mittelland West	2665	322	12	1.00	0.92	0.40
Mittelland Mitte	2711	598	22	1.00	0.92	0.40
Mittelland Ost	4044	970	24	1.00	0.92	0.36
Voralpen West	1335	459	34	1.00	0.86	0.03
Voralpen Mitte	2876	1213	42	1.00	0.66	0.03
Voralpen Ost	2397	788	33	1.00	0.50	0.03
Alpen Nord-West	2478	690	28	0.95	0.66	0.07
Alpen Mitte	1490	331	22	1.00	0.55	0.01
Alpen Nord-Ost	1217	357	29	1.00	0.44	0.00
Alpen Sued-West	5224	1028	20	0.97	0.59	0.08
Alpen Sued-Ost	6372	1530	24	0.99	0.53	0.03
Tessin	3546	1796	51	0.98	0.78	0.12

^a aus unseren 1 km²-Raster Karten

Die absoluten Flächen von potentiell geeigneten Habitaten, die mindestens 20 Arten beherbergen können, trennen auch Jura (Ost, Mitte und West) und Mittelland (West, Mitte, Ost). Jura West zeigt mit über 550 km² den höchsten Wert. Dazu kann auch das Tessin gerechnet werden mit über 200 km² potentiell geeigneter Waldfläche für reiche saproxyliche Artenzusammensetzungen (Abbildung 28). Mit 130 km² bietet das Mittelland West die kleinste absolute Fläche im Mittelland und im Jura – diese ist aber deutlich höher als die absoluten Flächen in den Alpen und Voralpen (alle <80 km²).

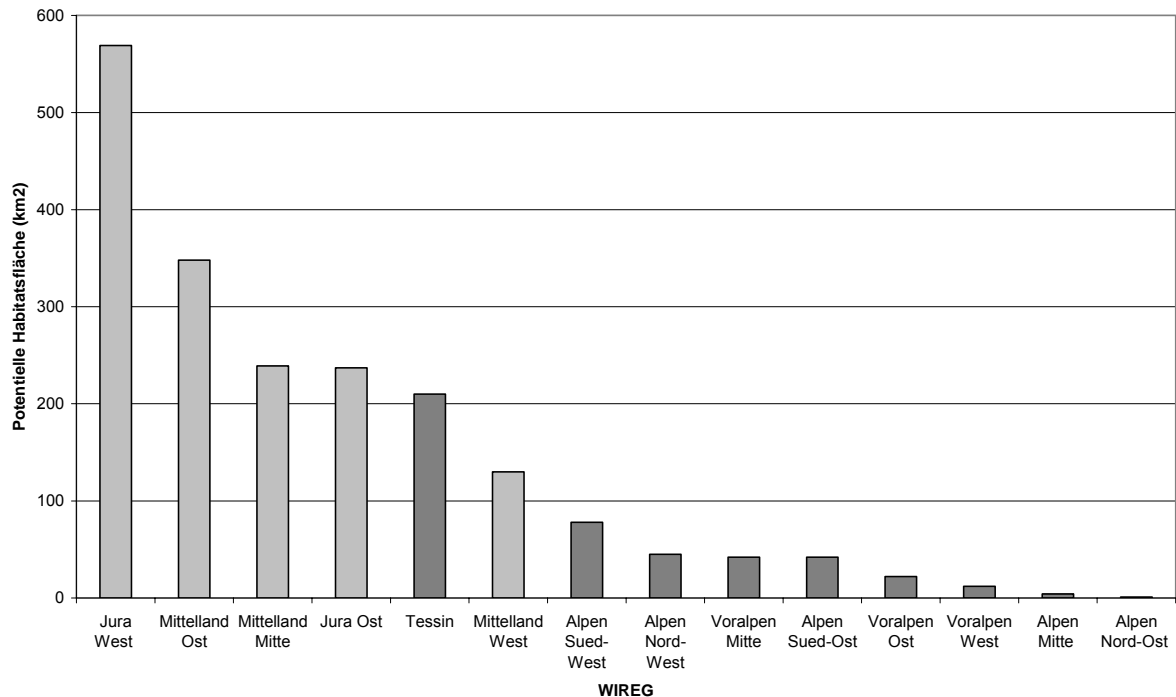


Abbildung 28: Absolute Flächen von potentiell geeigneten Habitaten nach WIREG (≥ 20 Arten). In Hellgrau sind die WIREG mit dem höchsten Flächenanteil.

4.3.4 Saproxyliche Hotspots nach Kantonen

Mindestens 97% der Waldfläche jedes Kantons kann potentiell mindestens eine von 55 saproxylichen Arten beherbergen (Abbildung 29). Ab 20 Arten zeigen Kantone der Voralpen sehr tiefe Werte (z.B. UR, SZ, GL, AI, AR). Andere Kantone des Mittellands und Juras zeigen sehr hohe Werte wie z.B. Basel (BS und BL), Jura und Solothurn, wo mehr als 50% der Waldfläche potentiell über 20 Arten beherbergen könnte (Abbildung 30 und Tabelle 36).

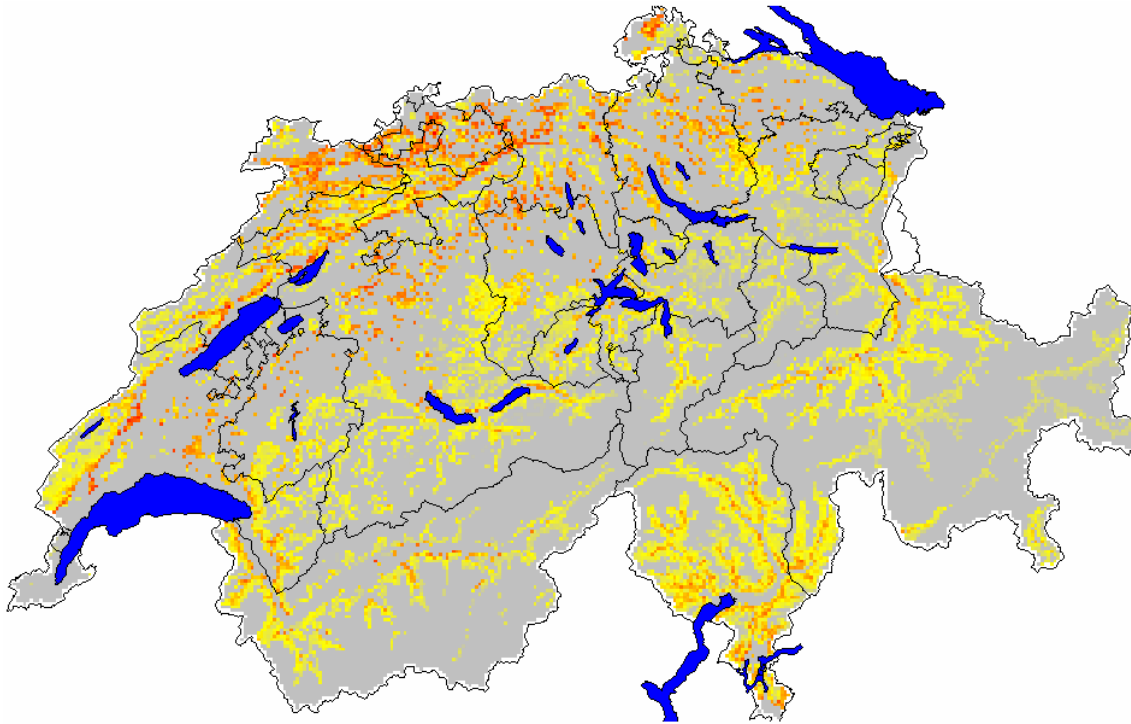


Abbildung 29: Karte der saproxylichen Hotspots nach Kanton für 55 ausgewählte saproxyliche Arten in der Schweiz. Grau = nicht geeignet (Artenzahl = 0), gelb = geeignet, rot = sehr geeignet (maximale Artenzahl = 31).

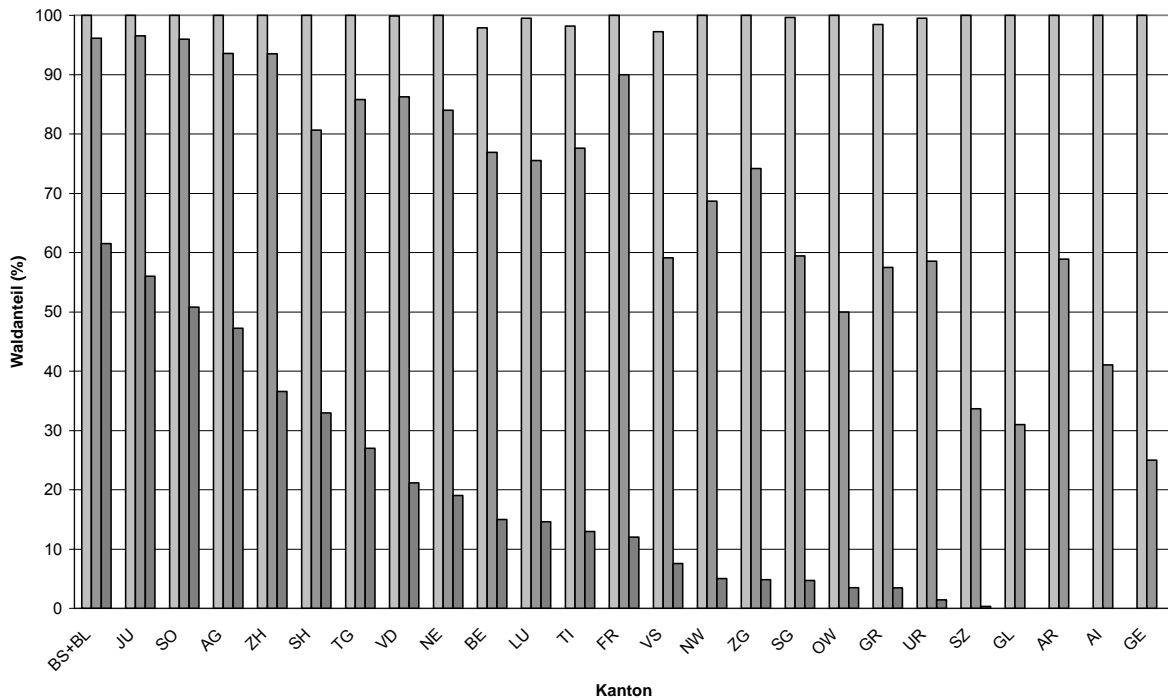


Abbildung 30: Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten nach Kanton. Hellgrau = Habitat geeignet für mindestens eine Art; mittelgrau = Habitat geeignet für mindestens 10 Arten; dunkelgrau = Habitat geeignet für mindestens 20 Arten.

Table 36: Wald, Waldanteil und Waldanteil von potentiell geeigneten Habitaten für saproxyliche Arten nach Kanton. In Fettdruck: Kanton mit Anteil geeignete Habitate $\geq 25\%$.

	Gesamtareal [km ²]	Waldfläche [ha]	Waldfläche (%)	Anteil geeignete Habitate ≥ 1 Art	Anteil geeignete Habitate ≥ 10 Arten	Anteil geeignete Habitate ≥ 20 Arten
Zürich	1729	49506	28,6	1.00	0.94	0.37
Bern	5959	171991	28,9	0.98	0.77	0.15
Luzern	1493	39488	26,4	1.00	0.76	0.15
Uri	1077	18813	17,5	1.00	0.59	0.01
Schwyz	908	27528	30,3	1.00	0.34	0.00
Obwalden	491	17960	36,6	1.00	0.50	0.04
Nidwalden	276	7758	28,1	1.00	0.69	0.05
Glarus	685	18738	27,4	1.00	0.31	0.00
Zug	239	6129	25,6	1.00	0.74	0.05
Fribourg	1671	41768	25,0	1.00	0.90	0.12
Solothurn	791	31380	39,7	1.00	0.96	0.51
Basel S. + L.	554	19750	35,6	1.00	0.96	0.62
Schaffhausen	299	12553	42,0	1.00	0.81	0.33
Appenzell A.-Rh.	243	7199	29,6	1.00	0.59	0.00
Appenzell I.-Rh.	172	4850	28,2	1.00	0.41	0.00
St. Gallen	2026	54866	27,1	1.00	0.59	0.05
Graubünden	7105	187119	26,3	0.98	0.57	0.03
Aargau	1404	47624	33,9	1.00	0.94	0.47
Thurgau	991	19514	19,7	1.00	0.86	0.27
Ticino	2812	141773	50,4	0.98	0.78	0.13
Vaud	3212	111027	34,6	1.00	0.86	0.21
Valais	5225	109628	21,0	0.97	0.59	0.08
Neuchâtel	803	29396	36,6	1.00	0.84	0.19
Genève	282	2997	10,6	1.00	0.25	0.00
Jura	839	39172	46,7	1.00	0.97	0.56

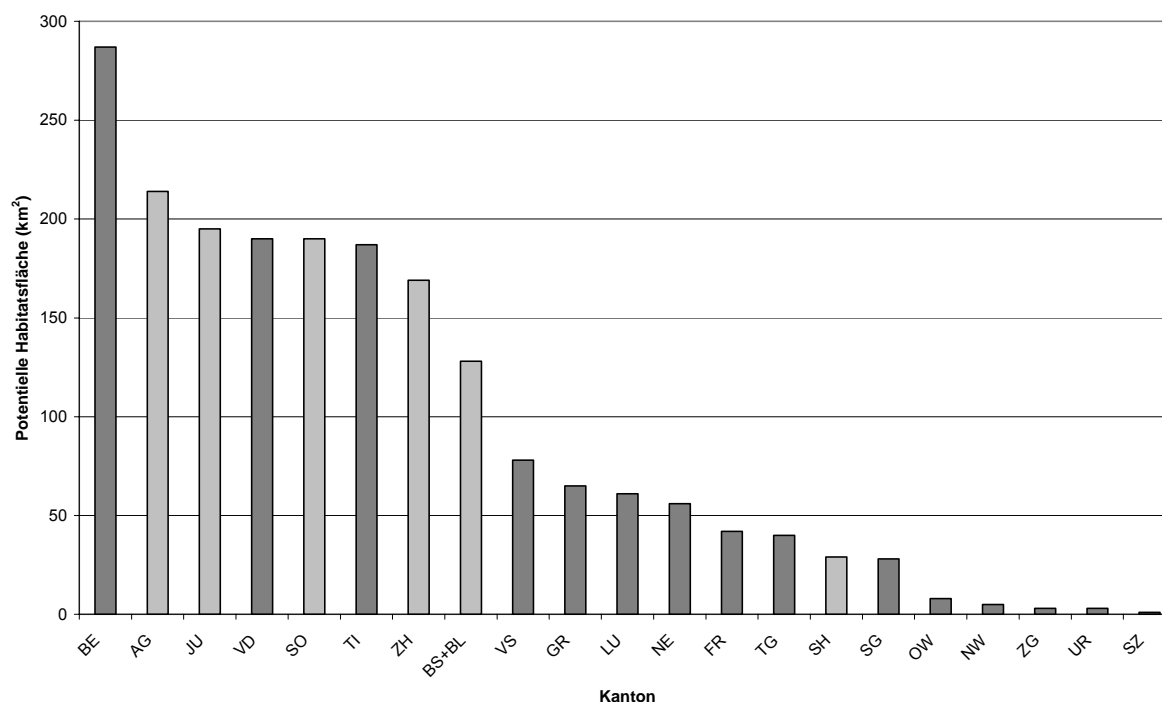


Abbildung 31 : Absolute Flächen von potentiell geeigneten Habitaten nach Kantonen (≥ 20 Arten). In Hellgrau sind die Kantone mit dem höchsten Flächenanteil. Abwesende Kantone haben eine potentielle Habitatsfläche = 0.

Nach der absoluten Fläche von potentiell geeigneten Habitaten hat der Kanton Bern am meisten Fläche, die mindestens 20 Arten beherbergen kann ($>280 \text{ km}^2$) (Abbildung 31). Zwischen 150 und 215 km^2 liegen Aargau, Jura, Waadt, Solothurn, Tessin und Zürich. Kleine Kantone wie BL+BS und besonders Schaffhausen, welche einen hohen Waldanteil mit geeigneten Habitaten zeigten, werden mit der absoluten geeigneten Waldfläche benachteiligt. Grosse Kantone, wie zum Beispiel Bern, werden begünstigt, obwohl ihre relative Fläche von geeigneten Habitaten eher tief liegt (15%).

4.4 Regionale Handlungsschwerpunkte und Prioritäten

Die Ergebnisse aus den PRODREG-, WIREG- und Kantonseinteilungen deuten alle darauf hin, dass sich das höchste Potential für die 55 ausgewählten saproxylichen Arten im Jura und im Mittelland befindet.

Die relative und die absolute Fläche wurden als zwei verschiedene Standpunkte betrachtet, um die Prioritäten der Gebiete (hier die Kantone) festzulegen. Somit werden die Vor- und Nachteile dieser Methoden berücksichtigt. Als erste Priorität gelten Kantone, welche gleichzeitig einen hohen Flächenanteil ($\geq 25\%$) und eine grosse absolute Fläche ($\geq 100 \text{ km}^2$) nachweisen (Tabelle 37). Diese beiden Schwellenwerte ermöglichen eine sinnvolle Selektion der Kantone (nicht zu wenig und nicht zu viele Kantone). Die zweite Priorität besteht aus Kantonen, welche entweder einen hohen Flächenanteil oder eine grosse absolute Fläche nachweisen. Die dritte Priorität wurde qualitativ bestimmt und besteht aus Kantonen oder Kantonsteilen, welche eine Vernetzungsrolle zwischen Gebieten mit hohem Potential spielen. Diese Vernetzung wurde aufgrund der Eignungskarten bestimmt und ist auf das Mittelland und den Jura (PRODREG) begrenzt.

Tabelle 37: Zusammenfassung der Prioritätsgebiete.

Kanton	Relative Fläche ^a	Absolute Fläche ^b	Vernetzung	Priorität ^c (1 bis 3)
Zürich	✓	✓		1
Bern		✓		2
Luzern-Mittelland			✓	3
Luzern-Voralpen				-
Uri				-
Schwyz				-
Obwalden				-
Nidwalden				-
Glarus				-
Zug				-
Fribourg-Mittelland			✓	3
Fribourg-Voralpen				-
Solothurn	✓	✓		1
Basel S. + L.	✓	✓		1
Schaffhausen	✓			2
Appenzell A.-Rh.				-
Appenzell I.-Rh.				-
St. Gallen				-
Graubünden				-
Aargau	✓	✓		1
Thurgau	✓			2
Ticino		✓		2
Vaud		✓		2
Valais				-
Neuchâtel			✓	3
Genève				-
Jura	✓	✓		1

^a Kantone mit einer relativen Fläche der saproxylichen Hotspots von $\geq 20\%$ der Waldfläche

^b Kantone mit einer absoluten Fläche von $\geq 100 \text{ km}^2$ saproxyliche Hotspots

^c 1. Priorität = absolute und relative Fläche gross; 2. Priorität = absolute oder relative Fläche gross; 3. Priorität = Vernetzung.

Abbildung 32 zeigt die Einheit der vorrangigen Regionen im Jura und Mittelland auf. Ausserhalb von Jura und Mittelland kommen noch das Tessin und voralpine und alpine Teile des Kantons Waadt dazu. Da sich in den Kantonen Bern, Fribourg und Luzern die saproxylichen Hotspots in den tieferen Lagen konzentrieren ($\sim 90\%$ der geeignete Habitate), wurden die Regionen in den Voralpen und Alpen nicht einbezogen. Der Kanton Neuchâtel, die tiefen Lagen von Fribourg und Luzern wurden ausschliesslich wegen ihrer geographischen Lage hinzugefügt. Weder ihre relative noch absolute Fläche überschreiten die Schwellenwerte für eine Einteilung in die 1. und 2. Priorität. Ihre geographische Lage zwischen saproxylichen Hotspots des Juras und des Mittellands weist ihnen eine Vernetzungsfunktion zu und sie erhalten die 3. Priorität.

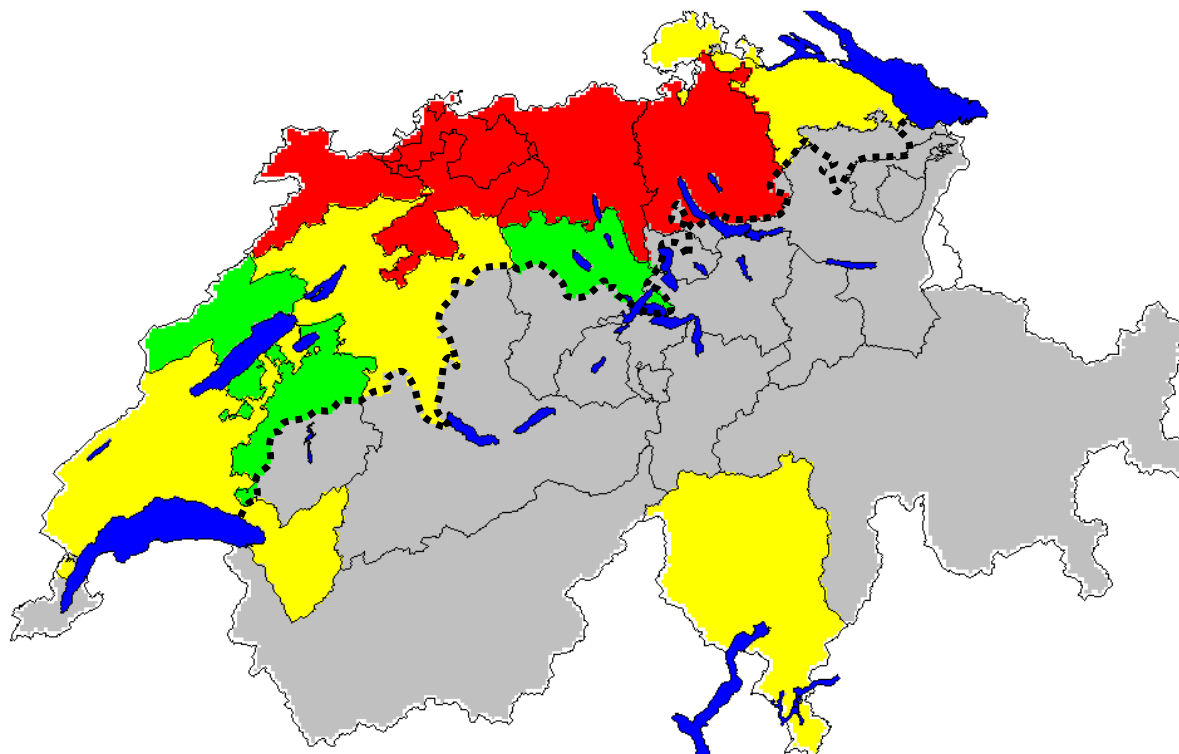


Abbildung 32 : Karte der Prioritäten nach Kanton. Rot = 1. Priorität (absolute und relative Fläche) , Gelb = 2. Priorität (absolute oder relative Fläche), grün = 3. Priorität (Vernetzung). Gepunktete Linie: südliche Grenze des Mittellands.

Im allgemeinen befinden sich die saproxylichen Hotspots in den Produktionsregionen Jura und Mittelland. Diese potentielle höhere Artenvielfalt in den tiefen Lagen ist mit der Abnahme des Artenreichtums mit zunehmender Höhe zu erklären, ein sehr verbreitetes Phänomen, das fast in allen terrestrischen Ökosystemen beobachtet werden kann (Begon et al. 2005). Die Biodiversität wird auch von der Produktivität des Ökosystems beeinflusst – im Sinn eines vielfältigen Ressourcenangebots. Ein Ökosystem mit einer hohen Produktivität wird also eine hohe Artenvielfalt beherbergen können. Potentiell werden also mehr Wälder mit einer höheren Artenvielfalt in den tieferen Lagen des Mittellands und des Juras erwartet. Wie das Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM) gezeigt hat, können subalpine und alpine Flächen artenreicher sein als Flächen im Jura oder im Mittelland. Schmetterlinge und Gefässpflanzen im Wald sind zwei Beispiele. Diese Artenvielfalt ist aber mehr durch die Nutzungsintensität als durch den Höhengradienten bedingt. Da die Biodiversität im Sinne des Artenreichtums nicht überall gleich hoch sein kann, sollte man die erhaltenen Lebensraumeignungskarten mit der maximalen biologischen Vielfalt relativieren (relative Artenvielfalt = Artenzahl / maximale mögliche Artenzahl). Die so erhaltenen Werte würden wahrscheinlich artenarmen Flächen in hohen Lagen einen höheren Wert als potentielles Gebiet zuteilen. Dafür wären Biodiversitätskarten von allen potentiellen Arten der Schweiz nötig (leider noch nicht verfügbar).

Die niedrigeren Potentiale der Berggebiete (Alpen und Voralpen) bedeuten aber nicht, dass diese Gebiete keinen Wert für die Erhaltung der saproxylichen Fauna und Flora darstellen, sondern, dass die „saproxylichen Hotspots“ nicht in den Alpen erwartet werden. Totholz in den Voralpen und Alpen bleibt eine Schlüsselressource für zahlreiche Arten. Eine ähnliche Beobachtung könnte auf der Weltkala gemacht werden. Verglichen mit den reichsten Ökosystemen der Welt wie tropische

Regenwälder und Korallenriffe, sind alle unsere Schweizer Ökosysteme artenarm. Der Schutz unserer Ökosysteme ist aber für die Schweiz trotzdem eine Priorität.



Da die Verbreitungsdaten zu lückenhaft waren, wurden Lebensraumeignungskarten für 55 ausgewählte saproxyliche Arten hergestellt. Die Überlagerung dieser Karten zeigt auf, wo sich potentielle saproxyliche Hotspots befinden. Die potentiellen saproxylichen Hotspots der Schweiz liegen vorwiegend im Jura, im Mittelland und im Tessin. Im allgemeinen zeigen die tieferen Lagen ein höheres Potential für saproxyliche Arten als die höheren Lagen. Die Kantone wurden in drei Prioritätsklassen eingeteilt, je nach ihrer relativen und absoluten Fläche mit hohem Potential und ihrer Vernetzungsrolle.

5. WIE und WAS: Handlungsoptionen

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen markante Mängel an Alt- und Totholz für die Erhaltung der Artenvielfalt in fast allen Regionen der Schweiz (ausser in den Alpen). Darunter befinden sich Gebiete mit sehr grossen Erhaltungspotentialen bezüglich ihrer potentiellen Vielfalt an saproxylichen Arten. Massnahmen zur Förderung von Alt- und Totholz sind also notwendig, um die schon bedrohten und rückgängigen saproxylichen Arten zu schützen. Angesichts der unersetzlichen Nutzfunktion unserer Wälder, kann jedoch nur ein relativ bescheidener Flächenanteil als strenge Schutzgebiete (Waldreservate, insbesondere Totalreservate) ausgeschieden werden. Ein umfassendes Konzept für die Alt- und Totholzförderung mit dem Anspruch, die Lebensraumfunktion auf der gesamten Waldfläche zu verbessern oder zu erhalten, muss daher weitere Bestandteile und Massnahmen umfassen, die auch mit den übrigen forstlichen Zielen in Einklang zu bringen sind. Es lassen sich Bausteine verschiedener Grössenordnung unterscheiden, die alle unersetzliche Bestandteile einer Strategie darstellen.

Wir unterscheiden zwischen direkten im Wald auszuführenden Massnahmen und solchen, die zur Verbesserung der Rahmenbedingungen führen. Zu den direkten Massnahmen gehören:

- *Weniger machen*: natürlich entstandenes Totholz (z.B. aus Windwurf, Insektenbefall, etc.) nicht entfernen;
- *Waldreservate*: die Ausscheidung von Waldreservaten;
- *Altholzinseln*: das Schaffen von Altholzinseln;
- *Biotopbäume*: Erhalten von Bäumen mit Merkmalen von Altholz;
- *Methusalems (Baumveteranen)*: das dauerhafte Markieren von im Bestand zu belassenden Alt- und Totholzanwärttern;
- *Vernetzung*: Nur gut vernetzte Naturstrukturen wirken dem Artenverlust entgegen;
- *Technik*: das künstliche Herstellen von Totholz und Biotopbäumen mittels technischen Eingriffen, die lebende Bäume zum vorzeitigen Absterben bringen oder typische Merkmale von Altholz schaffen.

Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen:

- *Bildung*: Alt- und Totholz als Themen in die Aus- und Weiterbildung der Verantwortlichen (Förster, Waldarbeiter, etc.) aufnehmen;
- *Information*: Informationsdefizit der Bevölkerung ausmerzen;
- *Sicherheit und Haftbarkeit*: Ausmerzen des Widerspruchs zwischen der Rechtslage (Haftbarkeit des Waldeigentümers bei Unfällen) und der staatlichen Forderung nach mehr Alt- und Totholz (vom Bund subventioniert);
- *Monitoring und Forschung*: Gezielte Forschungsprojekte sind notwendig für die Beantwortung von Fragen zur Umsetzung der nationalen Strategie. Zum Beispiel müssen standardisierte Methoden für das Monitoring erarbeitet werden;
- *Ökonomische Aspekte*: Ausarbeitung von konkreten Fallstudien und Lehrbeispielen aus ökonomischer Perspektive zur Demonstration der potentiellen finanziellen Vorteile durch vermehrtes Belassen von Alt- und Totholz.

Im folgenden beschreiben wir kurz alle Massnahmen. In erster Linie interessieren wir uns für die wahrscheinlich kostengünstigste Massnahme „*Weniger machen*“.

5.1 Direkte Massnahmen

5.1.1 Alt- und Totholzanreicherung durch „Weniger machen“

In diesem Kapitel untersuchen wir, was geschehen würde, wenn systematisch die Massnahme „Weniger machen“ angewendet würde. Das heisst, wie viel Totholz würde in den verschiedenen Regionen nach einem bestimmten Zeitraum anfallen, wenn kranke Bäume und Totholz nicht mehr entfernt würden? Genügt der natürliche Input (Mortalität) unter den gegebenen Zerfallsraten, um innert nützlicher Frist (z.B. 10, 20 oder 30 Jahre) zu einem genügenden Anteil von Totholz zu kommen? Oder ist es nötig, künstlich Totholz zu schaffen, um die Soll-Werte zu erreichen?

Um diese Fragen zu beantworten, führten wir eine einfache Simulation durch. Wichtige Variablen für diese Simulation sind der Totholzinput (anfallendes Volumen pro Jahr und Fläche), der Zerfallskoeffizient (durch Zersetzung jährlich abgebauter Anteil) sowie das im Jahre 0 vorhandene Totholz (Ausgangsvolumen pro Fläche).

5.1.1.1 Input

Über Totholzinput (natürliche Mortalität) gibt es nur wenig Zahlenmaterial aus Europa. Jährlich sterben ca. 0.5-2.3% der Bäume ab (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38: Zahlen zum Totholzinput (natürliche Mortalität) aus der Schweiz (unbewirtschaftete Wälder) und zu Vergleichszwecken aus Lituanien und Nordamerika.

Totholzinput				Region und Quelle
Prozent der Bäume	Anzahl Bäume [ha ⁻¹ x Jahr]	Volumen [m ³ ha ⁻¹ x Jahr]	Anteil am Lebendvolumen [%]	
0.83 – 0.99		2.3 – 3.0 ¹	0.66 – 0.84	Schweiz; Brassel & Brändli, 1999
0.45 – 0.89		0.9 – 2.1 ¹	0.25 – 0.59	Jura; Brassel & Brändli, 1999
1.11 – 2.25		3.4 – 7.0 ¹	0.78 – 1.62	Mittelland; Brassel & Brändli, 1999
0.52 – 0.86		2.4 – 4.3 ¹	0.53 – 0.95	Voralpen; Brassel & Brändli, 1999
0.71 – 0.93		2.0 – 2.8 ¹	0.68 – 0.94	Alpen; Brassel & Brändli, 1999
0.87 – 1.15		1.1 – 1.6 ¹	0.55 – 0.77	Südalpen; Brassel & Brändli, 1999
	1.28	1.01	0.27	Lituanien; Vasiliauskas et al., 2004
	1.5-2.5			Nordamerika; Tyrrell & Crow, 1994
1				Nordamerika; Parker et al., 1985
0.7	1.4 (>10 cm) ²			Nordamerika; Busing, 2005
	0.5 (>10-20 cm) ²			
	0.1 (>20-50 cm) ²			
	0.4 (>50 cm) ²			

¹ Volumen berechnet aus den Tabellen Nr. 185 und 44 der zitierten Literatur. Minima und Maxima unter Einbezug der in der Quelle angegebenen Fehlerschätzung.

² Brusthöhendurchmesser

Auf das Volumen des Vorrats bezogen macht dies pro Jahr ungefähr 0.3-1.6% aus. In den Schweizer Regionen fallen jährlich zwischen 0.9 und 7.0 m³ Totholz an, am meisten im Mittelland und am wenigsten in den Südalpen. Die Zahlen für die Schweiz beziehen einerseits Bäume ein, die bei der ersten Aufnahme (LFI1) lebend und bei der zweiten Aufnahme (LFI2) abgestorben waren, aber auch solche, die aufgrund eines natürlichen Phänomens in der Zwischenzeit verschwunden sind. Diese Zahlen sind also eher zu optimistisch, denn es ist nicht gewiss, ob alle verschwundenen Bäume tatsächlich in Form von Totholz noch vorhanden sind (z.B. ausserhalb Probefläche) (pers. Mitteilung, A. Herold, WSL).

5.1.1.2 Zerfall

Die wenigen Zahlen zum Totholzerfall in Europa ergeben folgendes Bild: Für die Fichte *Picea abies* und die Föhre *Pinus sylvestris* kann von einer mittleren Zerfallsdauer von 29-37 Jahren ausgegangen werden (Naesset, 1999; Krankina & Harmon, 1995; Harmon et al., 1986; Krankina et al., 1999). Allerdings gibt es grosse standortsbedingte Unterschiede (bedingt durch Substratqualität, z.B. Durchmesser; Temperatur; Niederschlag). So gibt z.B. Naesset (1999) für die Fichte in fünf verschiedenen Untersuchungsgebieten in Norwegen zwischen 20 und 61 Jahre an. Für die Buche *Fagus sylvatica* wurden 30-40 Jahre in den Niederlanden (Van Hees, 2003), 40-45 Jahre in Ungarn (Odor & Standovar, 2003) und 50 Jahre in Dänemark (Christensen & Vesterdal, 2003) berichtet. Es sind uns keine Untersuchungen aus der Schweiz bekannt.

Das im Jahre t verbleibende Volumen (Y_t) kann mit folgender Gleichung ungefähr geschätzt werden:

$$Y_t = Y_0 e^{-kt}$$

wobei Y_0 das anfänglich vorhandene Totholzvolumen ist,

k der Zerfallskoeffizient und

t das Jahr, für das das verbleibende Volumen geschätzt wird.

Es wurden in der Literatur mittlere k -Werte (d.h. Zerfallskoeffiziente) zwischen 0.5 und 5% berichtet (Tabelle 39). Es ist zu beachten, dass die meisten Untersuchungen aus Nordamerika und Russland stammen. Die drei oben genannten Untersuchungen zur Buche in den Niederlanden, in Ungarn und Dänemark ergeben k -Werte von 2.0-3.3%. Für Fichte und Föhre in Europa wurden k -Werte von 2.7-3.5% gefunden.

Da keine Untersuchungen aus der Schweiz vorliegen, müssen wir hypothetische k -Werte annehmen. Wir basieren unsere Berechnungen je nach Region auf Zerfallskoeffizienten von 1.5-4%. Die grossen standortsbedingten Unterschiede (Temperatur, Niederschlag, Boden- und Luftfeuchtigkeit usw.) sowie die Substratsunterschiede (Baumart, Durchmesser usw.), die einen Einfluss auf die Zerfallsdauer haben, werden dadurch einigermassen, wenn auch nur grob, berücksichtigt.

Tabelle 39: Mittlerer jährlicher Zerfallskoeffizient (*k*-Wert) für verschiedene Baumarten und Regionen. In den gemässigten Breiten variiert der *k*-Wert zwischen ca. 0.5 und 5%. Europäische Baumarten zerfallen i.a. schneller als nordamerikanische, was die beträchtlich höheren Totholzvolumen in alten Wäldern Nordamerikas verglichen mit Europa teilweise erklärt. In heissen, tropischen Regionen ist der Zerfall viel schneller (mittlerer Wert für 5 Baumarten in Puerto Rico $k = 11.5\%$ und 46% für 9 Arten in Panama). Quelle: Gilg, 2004.

Baumart, (Region)	Mittlerer <i>k</i> -Wert [%]	Quelle
<i>Abies concolor</i> (Kalifornien, USA)	4.9	Gilg, 2004
<i>Betula pendula</i> (NW Russland)	4.5	Gilg, 2004
<i>Populus tremula</i> BHD > 25 cm (Russland)	4.4	Gilg, 2004
<i>Picea abies</i> (Norwegen)	4.4	Laiho & Prescott, 2004
<i>Pinus sylvestris</i> (NW Russland)	3.4	Gilg, 2004
<i>Picea abies</i> (NW Russland)	2.7-3.3	Laiho & Prescott, 2004
<i>Quercus</i> spp. (Indiana, USA)	3.0	Gilg, 2004
<i>Abies balsamea</i> (New Hamp., USA)	2.9-3	Gilg, 2004
<i>Fagus sylvatica</i> (Niederlande)	2.5-3.3	Van Hees, 2003
<i>Picea engelmannii</i> (Alberta, Kanada)	2.5	Laiho & Prescott, 2004
<i>Fagus sylvatica</i> (Ungarn)	2.2-2.5	Odor & Standovar, 2003
<i>Fagus sylvatica</i> (Dänemark)	2.0	Christensen & Vesterdal, 2003
<i>Picea abies</i> (St. Petersburg, Russland)	1.6	Gilg, 2004
<i>Pinus sylvestris</i> BHD > 15 cm (Russland)	1-2.7	Gilg, 2004
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Oregon, USA)	0.5	Gilg, 2004

5.1.1.3 Anfallende Volumen und Dauer

Das Ziel der Massnahme „Weniger machen“ ist das Erreichen eines gewissen festgelegten Totholzvolumens (Zielvorgabe). Das pro Jahr an einem Ort zu belassende Volumen (*R*) kann anhand der Tabelle 40 geschätzt werden. Es beträgt: $R = (Y_g \times k) / 100$

Wobei Y_g das mittlere Totholzvolumen ist, das erreicht werden soll (in m^3) und

k der jährliche Zerfallskoeffizient in % pro Jahr.

Kennt man den *k*-Wert für die Baumart und die örtlichen Verhältnisse, so kann einfach das jährlich zu belassende Totholzvolumen berechnet werden, das zur Erreichung der Zielvorgabe notwendig ist (Tabelle 40). Zum Beispiel sind für eine Zielvorgabe von $20 m^3$ Totholz pro Hektare $0.6 m^3 ha^{-1}$ jährlich zu belassen, wenn der Zerfallskoeffizient $k = 3\%$ beträgt oder $0.4 m^3 ha^{-1}$ bei $k = 2\%$.

Diese Zahlen sind theoretische Werte, die von einem aktuellen Totholzvolumen von 0 ausgehen. Die nötige Zeitdauer, um die Zielvorgabe zu erreichen, beträgt mehr als 200 Jahre. Um die Zahlen für die Schweiz brauchbar zu machen und sinnvoll anzuwenden, präsentieren wir in diesem Abschnitt eine Simulation, die auf folgenden Annahmen beruht: *i*) Die natürliche Mortalitätsrate, die im LFI2 für die Zeitdauer von 10 Jahren (also seit dem LFI1) angegeben wurde, geht in gleicher Masse von jetzt an (Jahr 0) weiter; *ii*) Diese natürliche Mortalitätsrate, welche in den unbewirtschafteten Wäldern erhoben wurde (13.5% der Waldfläche¹³), kann auch auf die bewirtschafteten Wälder extrapoliert werden. D.h.

¹³ Der Anteil unbewirtschafteter Waldfläche ist regionenweise sehr unterschiedlich: 4.7% im Jura, 3.0% im Mittelland, 7.2% in den Voralpen, 19.3% in den Alpen und 41.0% in den Südalpen. Die Unsicherheiten, die aus einer Extrapolation resultieren, sind für Mittelland und Jura am grössten, für die Südalpen am kleinsten.

sie käme in allen Wäldern zur Ausprägung, wenn keinerlei menschliche Eingriffe erfolgten. Unter diesen Annahmen berechneten wir das zu erwartende Totholzvolumen im Jahre X für verschiedene Zerfallskoeffizienten (k-Werte), die wir für die jeweilige Region als möglich erachten, folgendermassen:

$$\text{Jahr 1: } Y_1 = Y_0 e^{-k} + J$$

$$\text{Jahr 2: } Y_2 = Y_0 e^{-2k} + J * e^{-k} + J$$

$$\text{Jahr 3: } Y_3 = Y_0 e^{-3k} + J * e^{-2k} + J * e^{-k} + J$$

etc.

mit Y_0 = anfängliches Totholzvolumen

k = Zerfallskoeffizient

J = jährlicher Input

t = Jahr

Tabelle 40: Jährlich in bewirtschafteten Wäldern zu belassendes Totholzvolumen (in $m^3 ha^{-1} \times \text{Jahr}$), um eine gewisse Zielvorgabe zu erreichen und für verschiedene Zerfallskoeffizienten k. Aus Gilg (2004).

		Zerfallskoeffizient (k) für Totholz (in %)					
		1.5	2	2.5	3	3.5	4
Mittleres zu erreichendes Totholzvolumen pro Hektare (Zielvorgabe)	10	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
	15	0.225	0.3	0.375	0.45	0.525	0.6
	20	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
	25	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
	30	0.45	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2
	40	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6
	50	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
	60	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
	70	1.05	1.4	1.75	2.1	2.45	2.8
	80	1.2	1.6	2	2.4	2.8	3.2
	90	1.35	1.8	2.25	2.7	3.15	3.6
	100	1.5	2	2.5	3	3.5	4
	150	2.25	3	3.75	4.5	5.25	6
	200	3	4	5	6	7	8
	300	4.5	6	7.5	9	10.5	12

Für die Simulation benutzten wir die Volumen-Inputwerte aus Tabelle 38, die im LFI2 berichteten mittleren vorhandenen Totholzvolumen pro Region (Jahr 0), sowie plausible k-Werte. Tabelle 41 zeigt, dass je nach Region die natürliche Totholzanreicherung unterschiedlich verläuft. Die höchsten Werte werden im Mittelland und in den Voralpen erreicht. Hingegen sind im Jura und in den Südalpen die zu erwartenden Mengen relativ bescheiden.

Tabelle 41: Totholzvolumen, die gemäss unserer Simulation im Jahre X in den verschiedenen Produktionsregionen der Schweiz erwartet werden können.

Totholzvolumen [$\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$], das im Jahre X erreicht würde ¹					
Jahr	Jura (k = 2-3%)	Mittelland (k = 2.5-4%)	Voralpen (k = 2-3%)	Alpen (k = 1.5-3%)	Südalpen (k = 2.5-4%)
2010	9.5-9.9	19.1-20.1	21.4-22.2	25.8-27.5	14.0-15.0
2015	12-13	31-34	29-31	31-35	16-18
2020	15-16	40-45	36-40	36-42	18-21
2035	20-24	59-73	51-60	47-60	22-28
2050	23-29	69-92	61-75	53-75	24-33

¹ unter den oben genannten Annahmen, d.h. insbesondere, dass keine tote/kränkende Bäume durch den Waldbauer entfernt werden.

Wie lange dauert es, bis eine bestimmte Zielvorgabe (20 respektive $30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ gemäss den Soll-Werten; siehe Kapitel 3.4.2) erreicht ist? Tabelle 42 zeigt, dass in den Regionen Mittelland, Voralpen und Alpen schon nach 10 Jahren die Soll-Werte erreichbar sind. Im Jura und in den Südalpen hingegen braucht es wesentlich länger (13-31 Jahre), um nur schon die Minimalmenge von $20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ zu erreichen. Strebt man $30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ an, so scheint diese Zielvorgabe unter den gegebenen Bedingungen und Annahmen überhaupt nicht erreicht werden zu können.

Tabelle 42: Nötige Dauer, um eine Zielvorgabe von 20 respektive 30 m^3 Totholz pro Hektare zu erreichen.

Nötige Dauer in Jahren, um die Zielvorgabe zu erreichen					
Zielvorgabe	Jura (k = 2-3%)	Mittelland (k = 2.5-4%)	Voralpen (k = 2-3%)	Alpen (k = 1.5-3%)	Südalpen (k = 2.5-4%)
$20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$	23-31	5-6	4-5	1	13-22
$30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$	49- unerreichbar	9-10	10-11	7-9	36-unerreichbar

5.1.1.4 Machbarkeit

In der Tabelle 43 wird dargestellt, welcher Anteil des Vorrates jährlich als Totholz zur Verfügung gestellt werden muss, um in 30 Jahren ein Totholzvolumen von 20 respektive $30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ zu erreichen. Für die Berechnung wurde für jede Region ein mittlerer Zerfallskoeffizient von 2.5% (Jura, Voralpen und Alpen) respektive 3.5% (Mittelland und Südalpen) angenommen. Es genügen in allen Regionen ca. 0.2-0.7% des Lebendvorrats. Der im LFI2 berichtete natürliche Totholzinput reicht im Mittelland, in den Voralpen und Alpen vollkommen aus, um die angestrebten Werte innert gesetzter Frist (30 Jahre) zu erreichen. Im Jura und in den Südalpen wird es kritischer. Der natürliche Input (unterer Wert) reicht zwar aus, um in 30 Jahren $20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ zu erreichen. Strebt man aber innert 30 Jahren grössere Totholzmengen an, so genügt der natürliche Input möglicherweise nicht mehr, insbesondere in den Südalpen. Es wären dann für die Zielerreichung aktive Massnahmen zur Totholzschaffung nötig. Wie Tabelle 42 zeigt, sind im Jura und in den Südalpen relativ lange Zeiträume nötig (allermindestens ca. 40 Jahre, eher aber 70-120 Jahre), um 30 m^3 Totholz pro ha zu erreichen. Falls der k-Wert in diesen Regionen relativ hoch ist und sich das Totholz dementsprechend schnell zersetzt (z.B. mildes Klima

mit gemässigten Niederschlägen), kann diese Menge von $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ausgehend vom heutigen vorhandenen Totholzvolumen überhaupt nicht erreicht werden.

Tabelle 43: Totholzvolumen respektive Anteil des Vorrates, der jährlich pro Hektare belassen werden muss, um unter den gegebenen Bedingungen (vorhandenes Totholz, natürlicher Input) die Zielvorgaben von 20 oder 30 m^3 Totholz pro Hektare innert 30 Jahren zu erreichen.

Region	Vorrat, lebend [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$] ¹	Vorhandenes Totholz [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$] ¹	Totholzinput [$\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \times \text{Jahr}$] ¹	Zielvorgabe		Anteil des Vorrats [%]
				20 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ²	30 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ²	
Jura	358.8	6.3	0.9 – 2.1	0.83	1.33	0.23 – 0.37
Mittelland	434.6	4.9	3.4 – 7.0	1.02	1.58	0.23 – 0.36
Voralpen	456.1	12.1	2.4 – 4.3	0.69	1.18	0.15 – 0.26
Alpen	297.7	19.4	2.0 – 2.9	0.53	1.02	0.18 – 0.34
Südalpen	206.7	11.2	1.1 – 1.6	0.90	1.45	0.44 – 0.70

¹ Zahlen aus dem LFI2 (Brassel & Brändli, 1999; Tab. 44)

² Angestrebtes Endvolumen 20 resp. $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in 30 Jahren; für $k = 2.5$ (Jura, Voralpen und Alpen), $k = 3.5$ (Mittelland und Südalpen)

Abbildung 33 zeigt das Volumen eines Baumes in Abhängigkeit seines BHD. Ein einziger Baum von 60 cm Durchmesser stellt bereits ein Volumen von 3 m^3 dar. Aus dieser Abbildung wird klar, dass die geforderten Totholzvolumen schnell erreicht werden können, wenn grosse Bäume zur Verfügung gestellt werden. Rechnerisch müsste also überall ein 60 cm-dicker Baum alle drei Jahre pro Hektare als Totholz der Natur zur Verfügung gestellt werden, um die ökologischen Anforderungen zu erfüllen.

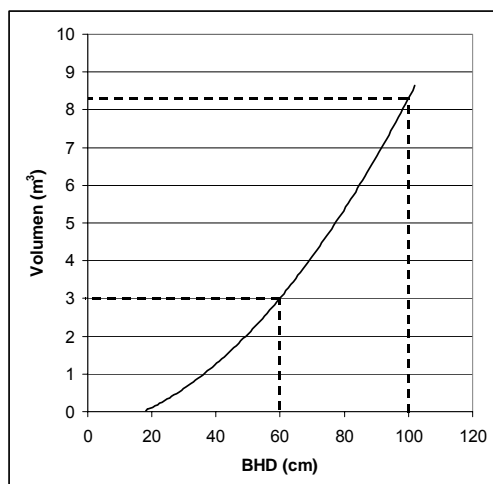


Abbildung 33: Volumen eines Baumes in Abhängigkeit seines Brusthöhendurchmessers. Berechnet aufgrund der Lokaltarife des Kantons Schwyz.



„Weniger machen“ als Massnahme zur Totholzanreicherung scheint in allen Regionen machbar und sinnvoll. Der natürliche Input sollte im Prinzip genügen, um innerhalb 30 Jahren ein ökologisch vertretbares Endvolumen an Totholz von 20-30 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ zu erreichen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie Alt- und

Totholz im Bestand gemehrt werden kann, ohne dass dem Waldbesitzer grössere finanzielle Einbussen entstehen. Dazu gehören:

- Belassen von kleinparzelligen Windwürfen, abgebrochenen Bäumen, Blitzbäumen etc.;
- Unterlassen der Aufarbeitung von Kronenabbrüchen;
- Belassen von pilzbesiedeltem Holz (stehend und liegend).

Diese Massnahme wird in erster Linie empfohlen. Sie erfordert keine finanziellen Abgeltungen. „Weniger machen“ bedeutet auch, weniger Geld zu investieren für das Aufarbeiten von Holz, das höchstens zu schlechten Preisen verkauft werden könnte.

5.1.2 Waldreservate

Waldreservatskonzepte (Sonder- und Naturwaldreservate) liegen bereits in allen Kantonen vor. Die Realisierung der einzurichtenden Reservate geht voran und ihre Fläche erreicht heute 2.5 Prozent der Schweizer Waldfläche (314 km²). Die Waldpolitik hat sich zum Ziel gesetzt, bis spätestens 2030 auf 10 Prozent der Waldfläche Reservate einzurichten (BUWAL, 2005¹⁴).

Diese Massnahme ist bestens geeignet für die Erhöhung der Alt- und Totholzanteile im Schweizer Wald. Allerdings ist sie alleine keineswegs ausreichend, wie in der wissenschaftlichen Literatur immer wieder hervorgehoben wird. Die Reservate bedecken nur eine geringe Fläche des Schweizer Waldes und liegen oft viel zu weit auseinander, um Migrationen und Austausch von Arten zu ermöglichen. Altholzinseln, Methusalems und genügend Totholz auf der ganzen Fläche müssen die Waldreservate ergänzen. In diesem Bericht gehen wir nicht weiter auf Waldreservate ein, da das Thema im Auftrag des BUWAL früher bereits eingehend bearbeitet wurde (siehe Konzept Waldreservate Schweiz).

In Nord-Amerika und Australien werden grossflächige alte Wälder ausgeschieden und als „old growth forest“ bezeichnet. Es handelt sich um alte Waldbestände, welche besondere Habitate, Naturnähe und Ästhetik aufweisen. Höhlenbäume sowie liegendes und stehendes Totholz sind typisch für solche alte Bestände. Sie zeigen eine stufige Struktur mit grossen alten Bäumen und einem gut entwickelten Unterholz. Wachstumsraten sind in solchen Wäldern niedrig mit einem Gleichgewicht zwischen jungen wachsenden Bäumen und absterbenden alten Bäumen. Die Bestandesfläche muss gross genug sein, um die Nachhaltigkeit des Altbestandes zu gewährleisten. Die „old growth forests“ blieben von menschlichen Einflüssen während einer langen Periode verschont (die Zeit ohne Bewirtschaftung ist sehr variabel, je nach Definition 150 Jahre bis länger als die Lebensdauer der dominanten Baumart). In der Schweiz sowie in Mitteleuropa sind solche Bestände äusserst selten oder sogar völlig abwesend. Waldreservate sowie Altholzinseln bieten einen ökologisch und politisch angepassten Habitatersatz, wenn sie einigermaßen miteinander vernetzt werden.

5.1.3 Altholzinseln

Schwieriger als eine genügende Totholzmenge zu erreichen, ist es, ausreichende Anteile von Altholz sicherzustellen. Denn dies ist ein viel länger dauernder Prozess, da es Jahrzehnte brauchen kann, bis ein Baum Altersmerkmale aufweist. Zudem ist die Ausgangssituation ziemlich schlecht (siehe Kapitel 3.2.2), da in den meisten Regionen im Prinzip Bäume nach dem Erreichen von 50 cm BHD bald einmal gefällt werden und deshalb fast keine grossen Bäume mehr existieren. Die Schweizer Wälder

¹⁴ BUWAL, 2005. Waldbericht 2005. Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. 150 S.

werden aber immer weniger intensiv bewirtschaftet. In rund 13% der Wälder wurde seit mindestens 50 Jahren waldbaulich nicht mehr eingegriffen. So entstehen immer mehr Naturwälder, die alle Phasen der natürlichen Waldentwicklung durchlaufen, also auf natürliche Weise altern (BUWAL, 2005). Trotz der Seltenheit von alten Bäumen, besteht ein reelles Potential für Altholzinseln. Diese unbewirtschafteten Waldflächen befinden sich aber vorwiegend in den Alpen, Voralpen und Südalpen (Mittelland und Jura – Regionen wo Altholzinseln nötig sind – weisen einen viel niedrigeren Anteil zwischen 0.4 und 5% auf).

In Mitteleuropa werden Altholzinseln folgendermassen definiert: Altholzinseln sind in der Regel 1 bis 5 Hektar grosse, reife Altholzbestände heimischer Baumarten, die temporär, d.h. bis zum Zeitpunkt ihres natürlichen Zerfalls, nutzungsfrei bleiben. Es gibt keine obere Grenze für die Fläche von Altholzinseln. Ab 20 Hektaren sollten es sich die Promotoren überlegen, ein Waldreservat auszuscheiden. Man beachte, dass in dieser Definition die Nutzung des Altholzbestandes ausgeschlossen ist. In gewissen Definitionen wird nur eine Verlängerung der Umtriebszeit verlangt, wonach dann der Bestand genutzt wird. Die verlorene Altholzinsel wird dann durch einen anderen Altbestand ersetzt. Es handelt sich also um ein räumlich wechselndes Netz. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Altholzspezialisten (Pflanzen- und Tierarten) genügend schnell und weit wandern können, um sich den veränderten Verhältnissen anzupassen. Diese Anpassungsfähigkeit wird aber auf wissenschaftlicher Ebene in Zweifel gezogen, weshalb postuliert wird, dass räumliche und zeitliche Kontinuität für die Erhaltung der Artenvielfalt eine wichtige Rolle spielen. Im Gegensatz zu Waldreservaten wird der Zeitraum für die Altholzinsel nicht festgelegt (z.B. mindestens 50 Jahre), sondern durch die Entwicklung der Insel bestimmt (bis zum natürlichen Zerfall). Um möglichst rasch funktionelle Altholzinseln zu haben, sollten diese auf Waldflächen mit mindestens 10 bereits alten grossen Bäumen pro Hektare (BHD >35 cm und Alter >> Umtriebszeit) geplant werden. Das Einrichten oder Belassen von Altholzinseln in der Grössenordnung von 2-5% der Waldfläche wird empfohlen (pers. Mitteilung, Hagen Kluttig BfN, Deutschland).

Altholzinseln werden in der Praxis bereits ausgeschieden (gewisse Regionen und Kantone der Schweiz, Frankreich, Deutschland etc.). Allerdings fehlen die wissenschaftlichen Grundlagen noch, um die notwendige Grösse, Konfiguration, Abstand zwischen Inseln usw. festzulegen. Bisher werden Entscheidungen ad hoc auf intuitiver Basis gefällt, indem vielmehr politische und finanzielle Machbarkeit als wissenschaftliche Erkenntnisse als Entscheidungshilfe dienen. Bereits existierende Altholzinseln sollten also in Zukunft als Labor für Experimente benützt werden, um die fehlenden wissenschaftlichen Grundlagen für künftige Altholzinselprojekte zu erarbeiten.

Falls für Altholzinseln eine finanzielle Abgeltung gegeben wird, müssen sie als Prinzip in der überbetrieblichen Planung (WEP oder Waldentwicklungsplan) verankert sowie als konkrete Flächen in einem Lageplan in die Betriebsplanung integriert werden. Auch sollten sie dauerhaft in der Natur gekennzeichnet werden.

5.1.4 Biotopbäume (Biotopholz, Habitatbäume)

Der Begriff « Biotopbaum » wird folgendermassen definiert: Bäume mit Schäden (aus forstlicher Sicht), welche für die (tot)holzbewohnenden Lebewesen oft geeignete ökologische Nischen zur Verfügung stellen. Biotopbäume umfassen:

- Bäume mit größeren Stammverletzungen, Blitzrinnen, Rissen, Spalten, aufgesplitterte Stämme;
- Bäume mit Kronenbruch, Zwieselabbruch, Ersatzkrone, viel Kronentotholz;
- Bäume mit Stammfäulen, Pilzbefall (z.B. Buchen mit Zunderschwamm);
- Bäume mit Natur- und Spechthöhlen („Höhlenbäume“), ausgehöhlte Stämme, mit Mulmhöhlen, Rindentaschen;

- Bäume mit Krebsbildungen, Schürfstellen, Wurzelteller;
- Bäume mit Horsten baumbrütender Vogelarten („Horstbäume“);
- Uralte Bäume („Methusalems“);
- Totholz (stehend und liegend).

Solche Bäume zu erhalten oder zu fördern ist eine geeignete Massnahme, dem Mangel an Alt- und Totholz entgegenzuwirken. Denn Biotopbäume weisen Merkmale auf, die für sehr alte Bäume oft charakteristisch sind. Sie müssen aber nicht zwingend ein hohes Alter erreichen, da bereits relativ junge Biotopbäume vielfältige Funktionen erfüllen können.

Winter et al. (2003) fassen diese Merkmale als Sonderstrukturen zusammen. In ihrer Untersuchung über Buchenwälder im nordostdeutschen Tiefland gelang es ihnen, die Häufigkeit solcher Sonderstrukturen in unbewirtschafteten Wäldern zu beschreiben (Tabelle 44). Der Erwartungswert für eine naturnahe Waldwirtschaft beträgt gemäss dieser Untersuchung ein Fünftel des Referenzwertes (im unbewirtschafteten Wald).

Tabelle 44: Beispiele von Sonderstrukturen in unbewirtschafteten Buchenwäldern (Referenzwerte) und Erwartungswerte für eine naturnahe Waldwirtschaft (gemäss Winter et al., 2003).

Sonderstruktur	Referenzwert	Erwartungswert für naturnahe Waldwirtschaft
	Strukturen ha ⁻¹	Strukturen ha ⁻¹
Zunderschwammbäume	3.2	0.6
Kronenbruch	2.6	0.5
Stammbruch am lebenden Baum	1.5	0.3
Ersatzkronenbäume	2.7	0.5
Blitzrinnen	0.7	0.1
Höhlenbäume	8.2	1.6
Höhlen mit Mulm	6.0	1.2
Rindentaschen	20.0	4.0

Winter et al. (2003) definierten zwei Prüfkriterien, um den Erhaltungszustand eines Wirtschaftswaldes zu beurteilen: die qualitative Vielfalt der Sonderstrukturen und die Anzahl von Sonderstrukturen. Gemäss diesen Autoren stellt ein durchschnittliches Vorkommen von mehr als 10 verschiedenen Sonderstrukturtypen pro Hektare einen sehr guten Erhaltungszustand dar; 9 und 10 Sonderstrukturtypen pro Hektare stellen einen guten, 7 und 8 einen mittleren und weniger als 7 einen schlechten Erhaltungszustand dar. Bei einem sehr guten Erhaltungszustand kommen >80 Sonderstrukturen, bei einem guten >60 bis 80, bei einem mittleren >40 bis 60 und bei einem schlechten Erhaltungszustand weniger als 40 Sonderstrukturen pro Hektare vor. Ob diese Beurteilungsskala in der Schweiz direkt angewendet werden kann, müsste wahrscheinlich noch geprüft werden. Jedenfalls ist sie als Ausgangspunkt sicher verwendbar.

Es macht keinen Sinn, die Zahl der Biotopbäume (ca. 10 pro ha) schematisch auf der Fläche umzusetzen in Form von Markierungen an geplanten Biotopbäumen. Es ist sinnvoller, bestehende Bruchereignisse, Höhlenbäume, Methusalems zu nutzen und dort diese Funktionsbäume zu markieren. Wo Biotopbäume nicht in genügender Anzahl vorhanden sind, sollten alle Bäume mit Ansätzen zu Strukturen belassen werden. In gewissen Fällen kann der Anzahl Bäume durch

künstliche Verletzung nachgeholfen werden. Dort, wo es genug Biotopbäume gibt, sollten diejenigen mit seltenen oder ökologisch besonders wertvollen Sonderstrukturen erhalten werden (Müller 2005¹⁵). In den Schweizer Wäldern sind Bäume mit Sonderstrukturen (im LFI2 als Schaden betrachtet) nicht selten. In den Alpen erreicht die Anzahl der potentiellen Biotopbäume pro Hektar das Doppelte (52.3 ± 1.7) des Mittellandes (26.8 ± 1.3); (Tabelle 45). Biotopbäume sind also in stattlicher Zahl vorhanden. Sie müssen aber noch als solche erkannt und gezielt erhalten werden. Damit wird ihre Kontinuität gewährleistet. Da die Vielfalt der Sonderstrukturen auch eine Rolle spielt, sollte auch die Qualität der Sonderstrukturen analysiert werden.

Tabelle 45: Anzahl potentieller Biotopbäume pro Probefläche in den Produktionsregionen basierend auf der Schadenart (LFI2).

Prodreg	Total Anzahl Bäume mit bedeutenden Schäden*	Anzahl Biotopbäume pro Probefläche	Anzahl Biotopbäume pro ha \pm SE
Jura	805	0.73	30.7 ± 1.6
Mittelland	910	0.70	26.8 ± 1.3
Voralpen	1358	1.12	47.0 ± 2.1
Alpen	2559	1.27	52.3 ± 1.7
Südalpen	886	1.15	50.8 ± 2.9

* Summe der bedeutenden Schäden (SCHNR = 1): freigelegte Holzkörper (>4 Hände), Riss (>1 m), Schaftbruch (>1/2 Krone), Stammbuch, abgestorbener Kronenteil (>50%), absterbender Baum, Gipfeldürre, Harzfluss, Pilz, Specht, Hauptast weg.

5.1.5. Methusalems (Baumveteranen, Totholzanwärter)

Methusalems sind wichtige Sonderstrukturen für die Alt- und Totholzförderung. Innerhalb der bewirtschafteten Fläche lässt sich eine kontinuierliche Bereitstellung von Altholz über ein Belassen von Altholzanteilen bei der Endnutzung realisieren. Winter et al. (2003) empfehlen, durchschnittlich 5-7 Methusalems pro Hektare auszuwählen und dauerhaft zu markieren.

Definition: Methusalems sind aus der Nutzung genommene Bäume ab einem BHD von 40 cm, die meist eine gewisse Vitalitätsschwäche oder aufgrund des Wuchsverhaltens eine geringe Holzqualität aufweisen.

Dieses Konzept zur Altholzförderung wird z.B. in Mecklenburg-Vorpommern (Deutschland) bereits angewendet. Die Bäume werden aus ökologischen Motiven und Sicherheits-Gründen bevorzugt in Gruppen stehen gelassen. Da die Bäume auf die Freilandssituation vorbereitet werden müssen, soll die Auswahl 30-40 Jahre vor Endnutzung des betreffenden Bestandes erfolgen. Eine dauerhafte Markierung im Feld ist daher unerlässlich (z.B. mit einem X-Reisserzeichen). Solche Bäume müssen in der Betriebsplanung eingetragen werden. Falls dies nicht gemacht wird, ist die Fortdauer der Methusalems bei Personalwechsel nicht gewährleistet.

Die räumliche Verteilung der rechnerisch 5-7 Methusalems pro ha kann aufgrund der Verzahnung von natürlichen Wuchsprozessen und den angewandten Nutzungsstrategien nicht überall genau eingehalten werden. Um aber trotzdem auch für wenig mobile Insekten eine ausreichende Biotopvernetzung von vitalitätsschwachen Bäumen zu gewährleisten, ist eine Betrachtungseinheit von 10 ha notwendig, auf denen sich dann insgesamt 50-70 Totholzanwärter verteilen. Winter et al. (2003) definierten eine Beurteilungsskala für den Erhaltungszustand eines Buchenwirtschaftswaldes. Mehr

¹⁵ Müller, J. 2005. Waldstrukturen als Steuergrösse für Artengemeinschaften in kollinen bis submontanen Buchenwäldern, Dissertation, TU München.

als 5 Methusalems pro ha stellen einen sehr guten, 5 einen guten, 4 einen mittleren und weniger als 4 einen schlechten Erhaltungszustand dar. In Erholungswäldern soll die Entwicklung vitaler eindrucksvoller Methusalems im Spazier- und Sichtbereich aus didaktischen Gründen in die Waldgestaltung einbezogen werden.

Menschen, die den Wald als ihre letzte Ruhestätte wählen, erhalten die Garantie, dass «ihr» Baum zwischen 30 und 100 Jahren geschützt wird (BUWAL, 2005). Diese Friedhofwälder (zurzeit über 60 in der Schweiz) stellen ein Potential für alte Bäume dar. Ökologisch gesehen sind diese Friedwälder unbedenklich und sind finanziell für den Waldeigentümer interessant (750 bis 1500 Franken pro Beerdigung).

5.1.6 Vernetzung

Die grossräumige Vernetzung auf der Produktionsregionsebene wurde in der Prioritätensetzung berücksichtigt. Jura und Mittelland bilden ein Kontinuum. Die Kantone Neuchâtel, Freiburg (Mittelland) und Luzern (Mittelland) wurden dank ihrer Vernetzungsrolle als 3. Priorität bezeichnet, obwohl sie ein eher niedriges Potential in den Alpen und Voralpen aufweisen. Das Tessin bleibt als Einzelregion isoliert. Ökologisch gesehen würde es wenig Sinn machen, die einzigartigen Wälder der Südalpen mit den restlichen Schweizer Wäldern zu vernetzen, da die Vernetzung eher Richtung Süden (Italien) stattfinden sollte.

Unter Berücksichtigung der geringen Mobilität vieler gefährdeter, von Alt- und Totholz abhängigen Arten ist ein System von Waldschutzgebieten (Reservate, Altholzinseln,...) allein nicht ausreichend. Eine zu starke Verinselung der Reliktpopulationen würde die Reservatsmassnahmen wirkungslos machen und dies auch für mobile Arten. Um den Erhalt aller Arten zu sichern, müssen die Alt- und Totholzstrukturen möglichst vernetzt werden. Die Netzwerke von Waldgebieten in tiefen und höheren Lagen bedecken zusammen rund 57% der Landesfläche (BUWAL, 2004a). Insgesamt weisen also die Waldflächen der Schweiz eine hohe Vernetzung und relativ wenig Unterbrüche auf. Eine Ausnahme ist der westliche Teil des Mittellandes (Romandie), wo die Vernetzungskarte nur wenige und schlecht vernetzte Waldflächen aufzeigt. Man kann also annehmen, dass im allgemeinen die Wälder eine optimale Ausgangslage darstellen, indem sie eine vollständige und gut vernetzte Matrix für die Waldarten anbieten. Für die Ausscheidung von Waldreservaten oder für andere flächendeckende Massnahmen zur Förderung von Alt- und Totholz sollten in erster Linie die Kerngebiete der ökologischen Netzwerke des Lebensraumes Wald in Betracht gezogen werden.

5.1.7 Technik

Es gibt Beispiele in Italien (LIFE-Projekt) und Nordamerika, wo Totholz und Biotopbäume mittels technischen Eingriffen künstlich hergestellt werden (siehe dazu die entsprechende gut illustrierte Literatur¹⁶). Lebende Bäume werden zum vorzeitigen Absterben gebracht oder typische Merkmale von Altholz geschaffen. Zu den verwendeten Techniken gehören zum Beispiel:

- das Ringeln (Rinde ringförmig am unteren Stammbereich durchtrennen, um den Saftstrom zu unterbrechen);
- der Einsatz von Sprengstoff für das Abbrechen oder Aufreissen von Bäumen;
- Umlegen von Bäumen mit Traktor und Seilwinde;
- Abbrechen von Bäumen auf halber Höhe mit Seilwinde;
- Einsägen von Schlitzern, Höhlen etc.

¹⁶ Arcari, G. (ed). 2003. Techniques for re-establishment of dead wood for saproxylic fauna conservation. LIFE Nature project NAT/IT/99/6245 «Bosco della Fontana» (Mantova, Italy).

Solche Mittel sind höchstens in Ausnahmefällen angebracht. Im LIFE-Projekt in Italien ging es darum, standortfremde, konkurrenzstarke Baumarten durch heimische zu ersetzen. Durch das künstliche Absterbenlassen konnten die zu eliminierenden Bäume daran gehindert werden, weiterhin Samen zu produzieren, und als tote Bäume waren sie durchaus geeignet zur Erfüllung ökologischer Funktionen für Totholzbewohner. In einem Beispiel aus der Schweiz wurden geschwächte Fichten durch Ringeln zum Absterben gebracht, um zu verhindern, dass sie als Borkenkäferbrutmaterial dienen. Als besondere Förderungsmassnahme für den Alpenbock (*Rosalia alpina*) empfehlen die WSL und Pro Natura das Aufstellen von etwa 2 m langen, mindestens 25 cm dicken Buchenstämmen an gut besonnten Orten neben Buchen-Brennholzbeigen mit gesichertem oder vermutetem Alpenbock-Vorkommen. Darauf werden die Weibchen einen Teil ihrer Eier ablegen, und die Larven werden später nicht mit dem Brennholz verbrannt. Vor dem Schlüpfen der Käfer (dritter Sommer) sollten die Stämme an eine Stelle ohne Brennholzbeige gebracht werden. Solche Vorkehrungen sind aber nur als Notfallmassnahme zu betrachten, um Habitatsengpässe zu überstehen. Langfristig sollte die Förderung des Alpenbocks in seinem Habitat geschehen: Buchen-(Ur)wälder mit viel Alt- und Totholz.

5.1.8 Finanzielle Unterstützung in anderen Ländern: Beispiele

In gewissen Regionen der Schweiz sind aktive Massnahmen nötig, um innert nützlicher Frist Soll-Werte für Totholz zu erreichen. Das heisst, dass öffentliche Gelder dafür aufgewendet werden müssen. Wie viel für welche Leistung bezahlt werden soll, müsste aufgrund von ökonomischen Analysen (auf betriebswirtschaftlicher Basis) abgeklärt werden. Dies übersteigt den Rahmen dieser Untersuchung. Im folgenden präsentieren wir drei Beispiele aus dem Grossfürstentum Luxemburg, aus Österreich und aus dem Burgund, um wenigstens eine grobe Idee über die Handhabung in anderen Ländern zu geben.

5.1.8.1 Erstes Beispiel: Grossherzogtum Luxemburg

Tabelle 46 gibt einen Überblick der finanziellen Unterstützung Luxemburgs für Alt- und Totholz. Für das Stehenlassen und Markieren von mindestens sieben alten Bäumen pro Hektare (Minimaldurchmesser 60 cm für die Buche oder Eiche) gibt es alle fünf Jahre 6.25 Euro m⁻³ (Buche) bzw. 10 Euro m⁻³ (Eiche). Für das Belassen von mindestens 20 m³ unzerkleinerten, toten Bäumen (stehend

Tabelle 46: Finanzielle Unterstützung des Grossherzogtums Luxemburg für die Alt- und Totholzförderung. Quelle: Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg.¹⁷

Altholz	Anzahl Bäume	Durchmesser	Betrag	Frequenz
Buche	≥ 7 ha ⁻¹	≥ 60 cm	6.25 € m ⁻³	alle 5 Jahre
Eiche	≥ 7 ha ⁻¹	≥ 60 cm	10 € m ⁻³	alle 5 Jahre
Maximum (Buche)	40 m ³ ha ⁻¹		250 € ha ⁻¹	alle 5 Jahre
			50 € ha⁻¹	pro Jahr
Maximum (Eiche)	40 m ³ ha ⁻¹		400 € ha ⁻¹	alle 5 Jahre
			80 € ha⁻¹	pro Jahr
Totholz (unzerkleinert, stehend oder liegend)	Volumen	Durchmesser	Betrag	Frequenz
Buche	≥ 20 m ³ ha ⁻¹	≥ 50 cm	20.50 € m ⁻³	einmalig
Eiche	≥ 20 m ³ ha ⁻¹	≥ 50 cm	48.25 € m ⁻³	einmalig
Maximum (Buche)	40 m ³ ha ⁻¹		820 € ha⁻¹	einmalig
Maximum (Eiche)	40 m ³ ha ⁻¹		1930 € ha⁻¹	einmalig

¹⁷ Memorial Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. Recueil de Législation A - N° 36. 4 avril 2002. Régimes d'aides pour la sauvegarde de la diversité biologique. <http://www.legilux.public.lu/leg/a/archives/2002/0360404/0360404.pdf#page=2> <19.07.2005>

oder liegend) pro Hektare mit mindestens 50 cm Brusthöhendurchmesser gibt es einmalig 20.50 Euro m⁻³ für die Buche und 48.25 Euro m⁻³ für die Eiche. Pro Hektare werden für Alt- und Totholz je maximal 40 Kubikmeter subventioniert.

5.1.8.2 Zweites Beispiel: Vorarlberg, Österreich, Natura2000-Gebiete

Ein anderes Beispiel stammt aus dem Vorarlberg in Österreich und betrifft die Natura 2000-Gebiete, d.h. spezielle Flächen, die sich in einem europäischen Netzwerk befinden. Für eine Altholzinsel von mindestens 10 Bäumen, deren Alter wesentlich über der Umtriebszeit liegt, gibt es 50 Euro pro Jahr (siehe Tabelle 47). Pro 10 Hektaren werden bis zu zwei Altholzinseln gefördert. Für stehende, alte oder tote Einzelbäume mit 35 cm Durchmesser (Totholz) bzw. 50 cm (Altholz), gibt es 5 Euro pro Baum und Jahr.

Tabelle 47: Finanzielle Unterstützung, die in Vorarlberg (Österreich) für Alt- und Totholz in Natura 2000-Gebieten erhältlich ist.

Altholz	Anzahl Bäume	Alter/Durchmesser	Betrag	Frequenz
Insel	≥ 10	wesentlich über Umtriebszeit	50 €	pro Jahr
Einzelbaum	pro Baum	≥ 50 cm	5 €	pro Jahr
<i>Maximum</i>	2 Inseln/10 ha		100 €/10 ha 10 €ha⁻¹	pro Jahr pro Jahr
Totholz (stehend)	Anzahl Bäume	Durchmesser	Betrag	Frequenz
Einzelbaum	pro Baum	≥ 35 cm	5 €	pro Jahr

Quelle: Natura 2000.¹⁸

5.1.8.3 Drittes Beispiel: Burgund, Frankreich

Im Rahmen des Programms LIFE „Forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire“ 1999-2003 wurden Abgeltungen errechnet aufgrund von realen Expertisen. Diese Abgeltungen wurden für eine Periode von 30 Jahren berechnet und belaufen sich auf 5500-6900 € ha⁻¹ für Altholzinseln¹⁹. Sie betreffen Buchenbestände in Steilhanglagen.

5.2 Verbesserung der Rahmenbedingungen

5.2.1 Bildung

Unsere multivariate Analyse der LFI2-Daten hat gezeigt, dass je nach Region nur 14-28% der Varianz des Totholzvolumens durch die LFI2-Variablen erklärt werden kann. 70-80% bleiben also trotz der grossen Anzahl Variablen unerklärt. Wir vermuten, dass ein beachtlicher Teil dieser unerklärten Varianz im Einfluss der Förster zu suchen ist. Dieser Einfluss ist sehr gross, indem die Förster von Fall zu Fall entscheiden, ob Totholz oder alte Bäume entfernt werden oder liegen/stehen bleiben. Bereits

¹⁸ Natura 2000. Richtlinien der Vorarlberger Landesregierung für die Gewährung von Beiträgen zur Erhaltung und Verbesserung des Zustandes und der Vielfalt der Wälder in Natura 2000 Gebieten. 1. April 2003.
http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt/natur-undumweltschutz/foerderungen/forstfoerderung_natura200.htm <19.07.2005>

¹⁹ Office National des Forêts. La Bourgogne calcaire. Préservation des forêts, des pelouses et des habitats associés. Bilan du programme Life Forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire. Bourgogne-Champagne Ardenne. Décembre 2003.

die Vorstudie (Bütler et al., 2004) hat eindeutig gezeigt, dass es dringend notwendig ist, die Aus- und Weiterbildung der Akteure (Ingenieure, Revierförster, Forstwarte) ökologisch aufzuwerten. Die damals Befragten sagten, während der Ausbildung nichts oder fast nichts über die ökologische Bedeutung von Alt- und Totholz vermittelt bekommen zu haben. Diejenigen Befragten, die ihren Informationsstand als gut bezeichneten, gaben an, durch persönliche Lektüre aus eigener Initiative die nötigen Kenntnisse nach der Ausbildung erworben zu haben.

Gemäss unserer Analyse ist wahrscheinlich die Sensibilisierung des Försters der Hauptfaktor für das Gelingen der Umsetzung der Alt- und Totholzstrategie. Wir empfehlen, die Bildung als Hauptmassnahme zur Verbesserung der Rahmenbedingungen möglichst schnell zu verbessern. Mittelfristig ist dies wahrscheinlich die kostengünstigste Massnahme, die zur Herstellung von geeigneten ökologischen „Reflexen“ führt. Konkret empfehlen wir:

- die Ausarbeitung eines Kurses zum Thema Alt- und Totholz mit geeigneter Dokumentation und die Einbettung dieses Kurses in die obligatorischen Lehrgänge (Zollikofen, Lyss, Maienfeld);
- die Einrichtung (mindestens) eines Marteloskopes²⁰ nach dem Beispiel des ONF in Frankreich und das Durchführen von Sensibilisierungstagen im Marteloskop sowie die Durchführung von Weiterbildungsveranstaltungen zum Thema Alt- und Totholz mit dem gleichen Inhalt wie der obligatorische Kurs (z.B. CRIFOR).

5.2.2. Information

Die Begriffe Alt- und Totholz und deren ökologische Funktionen sind auch in der Bevölkerung noch weitgehend unbekannt. Totholz wird noch als Unordnung, Verschwendung oder Gefahr (Borkenkäfer, Unfallrisiko) betrachtet. Die Information der Bevölkerung sollte gleichzeitig mit der Bildung der Forstleute stattfinden, um Ungleichgewichte des Kenntnisstandes und Missverständnisse zu vermeiden. Schweizweite Info-Kampagnen sollten durch die Medien, Schulen (alle Stufen) und durch permanente didaktische Pfade geführt werden.

5.2.3. Sicherheit und Haftbarkeit

Trotz all ihrer Vorteile können Alt- und Totholz auch potentielle Gefahren in sich bergen. Obwohl diese Gefahren im Vergleich mit anderen Risiken (z.B. Suchtmittelabhängigkeit, Strassenverkehr) als gering betrachtet werden können, müssen die nötigen Vorsichtsmassnahmen in der Nähe von Strassen und anderen öffentlichen Infrastrukturen ergriffen werden. Besonders exponiert sind Waldarbeiter. Deswegen sollten Alt- und Totbäume in Wirtschaftswäldern eher als Gruppen in Form von Alt- und Totholzinseln organisiert werden als allein stehende Methusalems (siehe auch Kapitel 5.4.2: Gefährdung durch herabfallendes Totholz).

Der Widerspruch zwischen der Rechtslage (Haftbarkeit des Waldeigentümers bei Unfällen) und der staatlichen Forderung nach mehr Alt- und Totholz (vom Bund subventioniert) muss ausgemerzt werden. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel, dass klare Bedingungen im Waldgesetz formuliert werden. In Zukunft sollte wohl die Eigenverantwortlichkeit des Waldbenutzers erhöht werden, indem die Bedeutungen und Gefahren von Alt- und Totholz der Gesellschaft vermittelt werden. Die

²⁰ Marteloskop : eine simulierte Hiebsauszeichnung. Dieses Aus- und Weiterbildungsinstrument besteht aus einer Parzelle, wo alle Bäume beschrieben, nummeriert und kartografiert sind. Der Förster führt in dieser Parzelle gedanklich einen Hieb oder eine Durchforstung aus und protokolliert seinen Eingriff. Am Schluss erhält er die computersimulierten Resultate des Eingriffs: die Auswirkung auf das im Bestand verbleibende Volumen, den ökonomischen sowie ökologischen Wert der verbleibenden respektive geschlagenen Bäume usw. Diese Übung wird gleichzeitig durch mehrere Förster durchgeführt, um am Ende die verschiedenen Hiebe vergleichen und kritisch diskutieren zu können. Das Ziel ist es, das Försterauge für ökologische Anliegen zu schulen. <http://www.onf.fr/doc/pdf/2004RDD-gouvern.pdf>

Gesellschaft muss (wieder) lernen, dass Alt- und Totholz auch zum Wald gehört und gewisse Risiken in sich birgt.

5.2.4. Monitoring und Forschung

Die Alt- und Totholzwissenschaft (Deadwoodology, Grove 2002) ist eine relative junge Wissenschaft. Der Begriff „saproxylich“ wurde erstmals von Dajoz (1966) in Frankreich gebraucht und wurde seit den Publikationen von Harding und Rose (1986) und Speight (1989) immer öfter verwendet. Heute fehlen beispielsweise noch standardisierte Instrumente und Methoden, um Alt- und Totholz und die damit verbundene Vielfalt zu studieren. Gezielte Forschungsprojekte für die Beantwortung von offenen Fragen sind für die Umsetzung der nationalen Strategie notwendig. Denn in der Praxis werden oft quantitative Massnahmen ohne wissenschaftlichen Hintergrund vorgeschlagen werden, da die wissenschaftlichen Antworten noch weitgehend fehlen. Die Ergebnisse der Forschung sollten direkt als Richtlinien für eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder anwendbar sein. Es sollten ebenfalls Erfolgskontrollen durchgeführt werden, basierend auf vorgängig bestimmten Zeigerarten, um die Wirksamkeit der umgesetzten Massnahmen zu beurteilen.

Beispiele von offenen Fragen:

1. Was und wie soll gemessen werden?

- Einfache und schnelle Methode zur Alt- und Totholzquantifizierung erarbeiten;
- Standardisierte Methoden für das Monitoring von Pilotflächen konzipieren.

2. Wie viel Alt- und Totholz ist nötig?

- Totholzmengen bestimmen, die in den verschiedenen Schweizer Waldgesellschaften natürlicherweise vorkommen würden;
- Optimale Dichte und Grösse von Alt- und Totholzinseln respektive Waldreservaten für Migration und Austausch von saproxylichen Arten studieren;
- Anzahl Biotopbäume oder Methusalems in natürlichen Wäldern quantifizieren;
- Ökologische Anforderungen von Alt- und Totholzarten quantifizieren;
- Zerfallsraten und chemische Vorgänge des Abbaus der Schweizer Baumarten analysieren.

3. Welches ist die langfristige Walddynamik?

- Langfristiges „Follow up“ der dynamischen Waldentwicklung in Pilotprojekten unter Ausschluss des konkurrierenden Forstmanagements (Entwicklung der Alt- und Totholzmenge, Entwicklung der Fauna und Flora, Entwicklung des gesamten Ökosystems).

4. Welches sind die finanziellen Konsequenzen der Alt- und Totholzförderung?

- Finanzielle Konsequenzen der Massnahmen zur Förderung des Alt- und Totholzes auf verschiedenen Massstäben (Forstrevier, Kanton, Bund) evaluieren.

Tabelle 48 präsentiert eine Übersicht der Massnahmen und definiert einen Zeithorizont für deren Umsetzung.

Tabelle 48: Dringlichkeit der Massnahmen zur Förderung des Alt- und Totholzes.

Massnahmen		Kurzfristig bis 2008–11	Mittelfristig 2012–2020	Langfristig Nach 2020
Direkte Massnahmen	Weniger machen	> 10 m ³ ha ⁻¹	> 20 m ³ ha ⁻¹	> 30 m ³ ha ⁻¹
	Waldreservate	> 5%	> 10%	> 10–20%
	Altholzinsel			> 2–5%
	Biotopbäume			> 60 Sonderstrukt. ha ⁻¹
	↳ Methusalems			50–70 Bäume 10 ha ⁻¹
	Vernetzung			
	Technik			
Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen	Bildung			
	Information			
	Haftbarkeit und Sicherheit			
	Monitoring und Forschung			



Zahlreiche Massnahmen zur Förderung von Alt- und Totholz sind bekannt und wurden in Mitteleuropa schon angewendet. Zwei Massnahme-Kategorien wurden gebildet:

- Direkt im Wald auszuführende Massnahmen;
- Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen.

In erster Linie empfehlen wir das „Weniger machen“ und die Aus- und Weiterbildung der Forstleute. Zusätzlich sollte ein Netz von Waldreservaten, Alt- und Totholzinseln und Biotopbäumen – besonders in den vorrangigen Regionen – ausgeschieden werden. Da noch viele offenen Fragen bestehen, müssen Forschungen in diesem Bereich weitergeführt werden.

5.3 Gegenüberstellung Saproxylic Hotspots (Organismen) und Ist-Zustand (Totholz)

Die Handlungsschwerpunkte resultieren aus der Synthese zwischen der Karte der regionalen Prioritäten (siehe Kapitel 4) und der Karte des Ist-Zustandes betreffend Totholz (siehe Kapitel 3.4). Für die regionalen Handlungsschwerpunkte werden also zwei Standpunkte kombiniert: einerseits die Perspektive der saproxylicischen Arten und ihrer potentiellen Habitate (hohes und niedriges Potential) und andererseits die Perspektive des Totholzes und seiner Volumenverteilung in der Schweiz.

Verallgemeinernd empfehlen wir entweder „Conservation“ (Erhaltung) oder „Restoration“ (ökologische Aufwertung, Wiederherstellung):

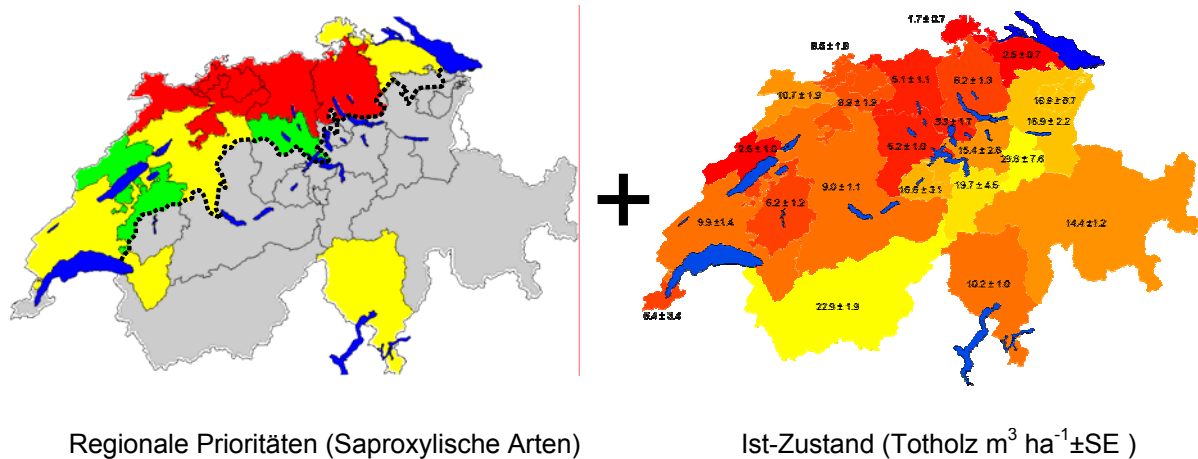
- „Conservation“ in Regionen mit genug Totholz ($> 20\text{-}30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)
- „Restoration“ in Regionen mit zu wenig Totholz ($< 20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)

Unter „Conservation“ ist die Erhaltung des aktuellen Zustands gemeint (Status quo). In den meisten Kantonen ist aber eine „Restoration“ notwendig. Die Wiederherstellung des natürlichen Zustands verlangt je nach Potential für saproxylicische Arten entweder die Anwendung von besonderen Massnahmen (alle möglichen Massnahmen, siehe Kapitel 5: Handlungsoptionen) oder nur von kostengünstigen Massnahmen (minimaler Kostenaufwand).

Aus dieser Synthese resultieren vier mögliche Szenarien (Abbildung 34):

1. In Gebieten mit niedrigem Potential für saproxylicische Arten und ungenügend Totholz sollten kostengünstige Wiederherstellungs-Massnahmen angewendet werden (Restoration-1). Da die Vielfalt an Totholzarten auch mit genügend Totholz bescheiden bleiben wird, würden zu grosse Anstrengungen zur Förderung des Alt- und Totholzes keinen Sinn machen.
2. Gebiete mit niedrigem Potential und hohem Totholzvolumen brauchen keine Regenerations- sondern Erhaltungsmassnahmen (Conservation-2), um die bestehenden Arten und Strukturen zu erhalten (Abbildung 34). Der Status quo wird vorgeschlagen.
3. In Gebieten mit einem hohen Potential für saproxylicische Arten und niedrigen Totholz mengen sind Regenerationsmassnahmen dringend nötig (Restoration-3). In solchen Regionen müssen sämtliche möglichen Massnahmen unternommen werden (siehe Kapitel 5: Handlungsoptionen).
4. In Gebieten mit hohem Potential und genügend Totholz (in der Schweiz kommt dieser Fall nicht vor) sind keine besonderen Massnahmen erforderlich, sondern nur Erhaltungsmassnahmen im Sinne einer Verbesserung der Vernetzung zwischen den saproxylicischen Hotspots.

Die Prioritäten aufgrund der potentiellen Habitate der saproxylicischen Arten liegen vor allem im Jura, im Mittelland und im Tessin. Der Vergleich mit den Totholzvolumen zeigt gewisse Ähnlichkeiten. Regionen mit einem hohen Potential an „saproxylic Hotspots“ sind meistens mit niedrigen Totholz mengen verbunden. In anderen Worten heisst dies, dass die meisten saproxylicischen Arten in suboptimalen Bedingungen leben. Diese Beobachtung unterstreicht die Dringlichkeit der Massnahmen in solchen Gebieten, um diese Artenvielfalt zu schützen. Die Abwesenheit von Gebieten mit hohem Potential und genügend Totholz erscheint als ein Paradox: Warum sind die von der Ressource Alt- und Totholz abhängigen Arten nicht dort besonders vertreten, wo diese Ressource in genügendem Mass vorkommt? Dieses Paradox lässt sich durch zwei schon erwähnte Gründe erklären. Einerseits nimmt die Totholzmenge mit der Höhe zu, weil u.a. die Abtransportarbeit durch Hindernisse (Felsen, Steilheit, ...) erschwert ist. Zudem liefern Bergwälder wenig wertvolle Hölzer und werden weniger intensiv bewirtschaftet. Andererseits nimmt die Artenvielfalt natürlicherweise mit der Höhe ab (siehe Kapitel 4.4). Die Kumulation dieser beiden Gründe ergibt eine niedrige potentielle Artenvielfalt trotz genügend Totholz in den Alpen.



		Ist-Zustand: Totholzvolumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	
		$< 20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$	$> 20\text{-}30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$
Priorität gemäss Potential für saproxyliche Arten	Keine	1. Restoration: nur kostengünstige Massnahmen	2. Conservation: Status quo
	1 bis 3	3. Restoration: besondere Massnahmen unentbehrlich	4. Conservation: Vernetzung, Waldreservate, Altholzinseln

Abbildung 34: Synthese der regionalen Prioritäten und des Ist-Zustands bezüglich Totholzvolumen.

Wegen limitierten finanziellen Mitteln wird im Naturschutz nur noch investiert, wo mit wenig Geld viel erreicht wird. Wie die Abbildung 35 (nach Gilg 2004) zeigt, nimmt die Artenzahl von Totholzkäfern mit einer geringen Zunahme des Totholzes extrem rasch zu, wenn die Ursprungsvolumen niedrig sind. Die Kurve der Artenzahl flacht sich ab $25 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ ab. Für die Kantone Schaffhausen, Thurgau und Neuchâtel mit sehr kleinen Totholzvolumen ($< 3 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ Totholz) sind jegliche Massnahmen zur Förderung des Alt- und Totholzes umso wichtiger, als sie in solchen totholzarmen Regionen einen grossen Einfluss auf die Artenvielfalt haben sollten.

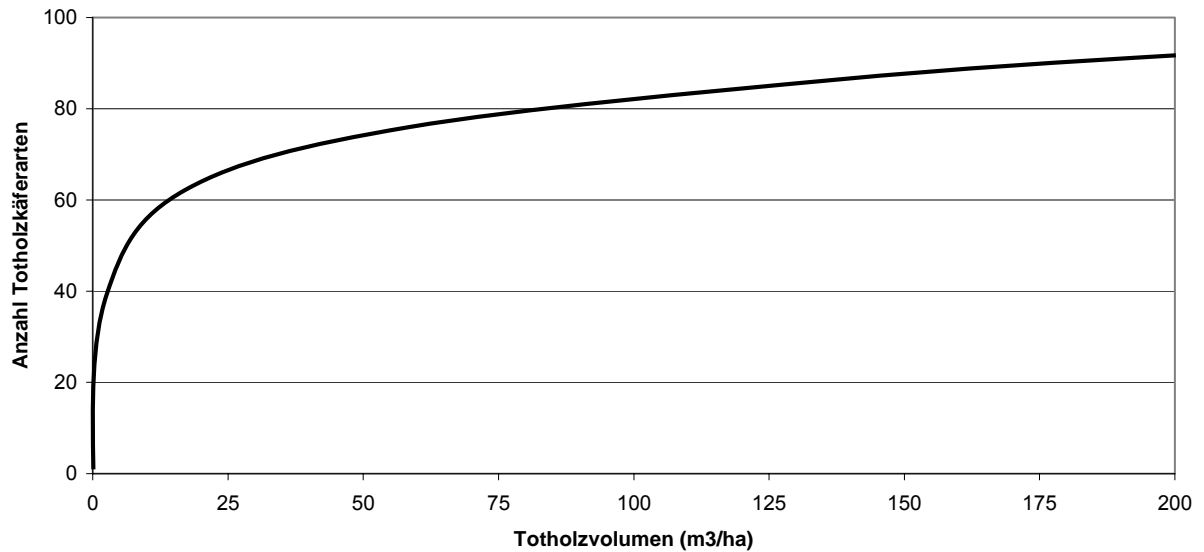


Abbildung 35: Anzahl Tothholzkäferarten nach Totholzvolumen (nach Gilg, 2004).



Die Regionen mit dem höchsten Potential für saproxyliche Arten fallen mit den totholzärmsten Gebieten zusammen. Die Handlungsschwerpunkte liegen also deutlich in diesen Gebieten (Jura, Mittelland und Tessin). Je nach Potential für saproxyliche Arten und vorhandener Totholzmenge sind entweder Erhaltungs- oder Wiederherstellungsmassnahmen erforderlich. Heute gibt es keine Region in der Schweiz mit gleichzeitig einem sehr hohen Potential und genügend Totholz. In der Mehrheit der Gebiete ist eine Aufwertung unentbehrlich (siehe Tabelle 49).

Tabelle 49: Massnahmenkatalog nach Kanton

Kanton	Kriterien		Synthese	Direkte Massnahmen							Massnahmen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen		
	P ^a	Totholz (m ³ ha ⁻¹)		Handlungstypus ^b	Weniger machen	Wald-reservat	Altholz-insel	Biotop-bäume	Methu-saleme	Vernetzung	Technik	Bildung, Information	Haftbarkeit Sicherheit
AG	1	5.1±1.1	Restore-3	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
BS + BL.	1	6.5±1.6	Restore-3	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
JU	1	10.7±1.9	Restore-3	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
SO	1	8.9±1.9	Restore-3	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
ZU	1	6.2±1.3	Restore-3	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++
BE Jura + Mitt.	2	9.0±1.1	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
SH	2	1.7±0.7	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
TG	2	2.5±0.7	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
TI	2	10.2±1.0	Restore-3	+	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
VD	2	9.9±1.4	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
FR, Mittelland	3	3.6±1.5	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
LU, Mittelland	3	3.5±1.3	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
NE	3	2.5±1.0	Restore-3	++	++	++	++	++	+++	+	+++	+++	+++
AR+AI	-	18.9±6.7	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
BE Vor+Alpen	-	12.9±1.8	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
FR Voralpen	-	7.8±1.7	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
GL	-	29.8±7.6	Conserve-2	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
GR	-	14.4±1.2	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
LU Voralpen	-	6.3±1.4	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
OW + NW	-	16.6±3.1	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
SH	-	15.4±2.6	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
SG	-	16.9±2.2	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
UR	-	19.7±4.5	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
VS	-	22.9±1.9	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++
ZG	-	3.3±1.7	Restore-1	+	+	+	+	+	+++		+++	+++	++

^a 1. Priorität = absolute und relative Fläche gross, 2. Priorität = absolute oder relative Fläche gross 3. Priorität = Vernetzungsfunktion (siehe Kapitel 4.3).

^b Restore-3: besondere Massnahmen unentbehrlich, Restore-1: nur kostengünstige Massnahmen, Conserve-2: Status quo

+: empfohlen, ++: sehr empfohlen, +++: unentbehrlich

5.4 Bedenken, Zielkonflikte und mögliche Lösungen

Gewisse Bedenken und Zielkonflikte sind zuweilen der Grund, warum eine Anreicherung von Alt- und Totholz in manchen Situation unerwünscht ist. Im folgenden beschreiben wir in Kürze einige dieser Bedenken und Zielkonflikte sowie mögliche Lösungsansätze zur Vermeidung von Konfliktsituationen. Tabelle 50 am Ende des Kapitels fasst die Informationen in synthetischer Form zusammen.

5.4.1 Phytosanitäre Risiken

In Laubbeständen ist das Risiko für phytosanitäre Probleme durch Totholz gering. Die Frage, in welchem Ausmass Totholzanreicherung zur Infektion bisher gesunder Buchen mit dem Zunderschwamm (Weissfäule) führt, ist noch nicht abschliessend geklärt. Der Zunderschwamm lebt nicht saprophytisch, sondern ist ein Primärparasit. Neuere Untersuchungen deuten auf einen Wund- und Schwächeparasiten hin. Das heisst, dass z.B. Rindenverletzungen durch die Holzernte das Infektionsrisiko erhöhen, jedoch vom Zunderschwamm bereits befallene Buchen wahrscheinlich nicht. Da Ulmen nicht bestandesbildend vorkommen, lässt sich das Ulmensterben durch Waldschutzmassnahmen nicht verhindern.

Die Fichte (Rottanne, *Picea abies*) ist praktische die einzige Baumart, bei der wegen der Gefahr von Buchdrucker (*Ips typographus*)-Massenvermehrungen eine gewisse Vorsicht bei der Totholzförderung am Platz ist. In Tannengebieten gilt dies auch für die Weisstanne (*Abies alba*) und den Weisstannenborkenkäfer (*Pityogenes*). Es muss aber betont werden, dass diese Käfer sich in mehr als einjährigem Totholz meist nicht mehr entwickeln können, da die Rinde bereits zu trocken ist. Abgestorbene Bäume mit bereits abfallender Rinde können ohne Risiko im Bestand verbleiben. Sie sind kein geeignetes Brutmaterial mehr für Borkenkäfer.

Die massenhafte Vermehrung (Gradation) von Borkenkäfern z.B. nach grossen Sturmereignissen kann nie ganz verhindert werden. Hingegen ist es in vielen Situationen möglich, einer örtlichen Massenvermehrung zuvorzukommen oder sie zu einem schnelleren Abklingen zu bringen. Die nach Lothar empfohlenen Massnahmen sind auf den Seiten des Phytosanitären Beobachtungs- und Meldedienstes (PBMD)²¹ der WSL zu finden.

Im folgenden führen wir stichwortartig einige grundsätzliche Überlegungen auf, die auf der Internetseite des PBMD zu finden sind.

a) Gefährdung:

- Speziell nach Stürmen mit grossem Fichtenholzanfall ist immer die Gefahr einer Explosion der Buchdruckerpopulationen gegeben.
- Geeignet für eine starke Käfervermehrung sind grosse, fichtenreiche Sturmschadengebiete.
- Gefährdet sind in der Folge angrenzende Bestände mit hohem Fichtenanteil.

b) Verhütung von Stehendbefall:

- Bei grossen Sturmflächen Räumungsmassnahmen regional koordinieren (es nützt nichts, an einem Ort zu "putzen", wenn 300 m weiter entfernt Holz liegengelassen wird).
- Können die grossen Sturmflächen nicht vor dem Ausflug der nächsten Generation geräumt werden, Konzentrieren auf Streuschäden.
- Bei kleineren Sturmflächen und grossem Käferdruck warten, bis das liegende Holz befallen ist (= Fangbäume), dann vor dem Ausfliegen der Käfer räumen oder entrinden. Dies entlastet die vom Sturm in Mitleidenschaft gezogenen stehenden Randbäume.

²¹ <http://www.wsl.ch/forest/wus/pbmd/>

c) Massnahmen nach Stehendbefall:

Im allgemeinen wird der Nutzen von korrekten und konsequenten Zwangsnutzungen anerkannt. Gerade bei der Sanierung von Bestandesrändern müssen jedoch folgende Überlegungen gemacht werden:

- Positiver Effekt: Die rechtzeitige, vollständige Räumung von Käfernestern eliminiert einen grossen Teil der lokalen Käferpopulation.
- Negative Effekte: Die Zwangsnutzungen eliminieren auch die im Aufbau begriffenen Populationen der natürlichen Gegenspieler. Durch die Zwangsnutzungen werden neue Randbäume freigestellt, die dadurch vorübergehend in eine Stresssituation geraten und für Borkenkäfer attraktiv werden.

Es gibt viele Beispiele, wo die Ausbreitung von Käfernestern spontan aufhörte, oder wo bei laufend ausgeführter Randsanierung sich der Befall immer weiter in den Bestand hineinfraß. Ebenso gibt es aber Beispiele für den Erfolg von Käfernestsanierungen. Wird ein Befall im Anfangsstadium erkannt (wenige Einzelbäume) und saniert, ist der Eingriff erfolgsversprechender. Da nicht nur die lokale Käferpopulation an der Ausbreitung eines Herdes beteiligt ist, sondern auch viele Käfer aus der Umgebung zufliegen, ist das regional koordinierte Vorgehen wichtig. Kontraproduktiv sind jedoch "Zwangsnutzungen" von Käferfichten, aus denen die Käfer bereits ausgeflogen sind. Hier werden nur noch die natürlichen Feinde vernichtet.

Frehner et al. (2005)²² präsentieren eine vorbeugende phytosanitäre Massnahme, bei der die käfergefährdeten Bäume zwar gefällt werden, aber als liegendes Totholz im Wald bleiben. Der Baum wird gefällt und mit der Motorsäge der Stamm eingeschnitten. Der Abstand zwischen den Schnitten sollte kleiner sein als das Brutbild der Buchdrucker (ca. 15 cm). So trocknet die Rinde schnell aus, die Larven, die sich entwickeln, haben zu wenig Platz zum Fressen und können sich nicht zu Käfern entwickeln. Das Holz muss im Gegensatz zu anderen Methoden also nicht vollständig entastet werden. In den Schnitten vermodert das Holz etwas schneller. In der subalpinen Stufe kann an schattigen Stellen bereits nach etwa 15 Jahren mit erfolgreicher Ansamung gerechnet werden.

5.4.2 Gefährdung durch herabfallendes Totholz

Alt- und Totholz sind ein fester Bestandteil unserer Wälder. Jedoch bergen sie gewisse Unfallgefahren in sich. Waldarbeiter und andere Waldbenutzer sollen auf diese Gefahren aufmerksam gemacht werden und lernen, bestmöglich damit umzugehen. Für die Arbeitssicherheit, aber auch aus ökologischen Gründen, ist es besser, Biotopbäume, stehendes Totholz und Methusalems in Gruppen und nicht gleichmässig über die gesamte Fläche zu verteilen. Dadurch wird der Gefahrenbereich verringert und das Uraltwerden der Bäume im Schutz der Gruppe verbessert. Die typischen Gefahren von Totholz, wie kaum zu berechnende Fallrichtung oder herabbrechende Äste, ergeben sich stets aus der Situation vor Ort. Besondere Umsicht und Vorsicht bei der Waldarbeit sowie eine klare Arbeitsanweisung in den entsprechenden Waldbeständen können helfen, gefährliche Situationen zu vermeiden oder Risiken zu verringern. Entlang von Verkehrsachsen, vielbegangenen Wegen und Waldteilen, wo Besucher durch entsprechende Infrastrukturen speziell zum Verweilen eingeladen werden (z.B. Parkplätze, Picknickplätze, usw.), sollen Dürrständer aus Sicherheitsgründen eher gefällt und liegengelassen werden. Didaktische Hinweistafeln können aber auch helfen, gezielt auf die Gefahr aufmerksam zu machen und zugleich die ökologische Rolle von Alt- und Totholz zu vermitteln. Innerhalb des Waldes oder in Naturwaldreservaten können wenn nötig Massnahmen zur Besucherlenkung (z.B. entbehrliche Wege stilllegen) ergriffen werden.

²² Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.

5.4.3 Holznutzungsentgang (Ernteausfall)

Es gibt immer wieder Bestände, Bestandesteile, Baumgruppen und Einzelbäume, die geringwertig sind und deren Nutzung betriebswirtschaftlich wenig gewinnbringend oder gar unrentabel ist. Selbst in gut gepflegten Beständen sind zwangsläufig Bäume mit Kronen- und Astbrüchen, Astwunden, Faulstellen an Zwieseln, Fällungsschäden, Frostrissen, Blitzschäden oder Drehwuchs zu finden. Häufig haben gerade diese Bäume keinen Einfluss auf die Weiterentwicklung des Zielbestandes mehr und können deshalb unbedenklich im Bestand verbleiben. Werden in erster Linie qualitativ schlechte Bäume mit geringem Holzwert als Biotopbäume oder Totholzanwärter gewählt, ist die finanzielle Einbusse gering. Die Nutzung von bereits toten Bäumen ist vom ökonomischen Standpunkt aus wahrscheinlich meist unlohnend. Die Präsenz eines toten Baumes behindert die Verjüngung nicht. In Wäldern mit Schutzfunktion kann das Belassen von liegendem Totholz manchmal die Kosten für die Holzernte verringern (siehe dazu den Bericht zu Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald; Frehner et al., 2005).

5.4.4 Unordnung und Verschwendung

In manchen Erholungsgebieten wird Totholz manchmal als störende Unordnung empfunden und die Wälder werden deshalb entsprechend gesäubert. Gewisse Leute beurteilen unter Umständen das vermehrte Belassen von Totholz als Verschwendung von Ressourcen. Totes Holz gehört als Strukturelement zum Erscheinungsbild mitteleuropäischer Wälder. Durch frühere Lese- und Brennholznutzung waren wir dieses Bild bis vor kurzem jedoch nicht mehr gewöhnt. Durch gezielte Information muss der Bevölkerung die Rolle von Alt- und Totholz für die Artenvielfalt besser vermittelt werden. Die Gesellschaft muss (wieder) lernen, dass Alt- und Totholz auch zum Wald gehört.

5.4.5 Erschwerung von Folgeeingriffen

Manche Förster führen an, dass bei Verjüngung mittels Aufforstung liegendes Totholz ein Hindernis ist, weil auf toten Bäumen nicht gepflanzt werden kann. Auch werden die Arbeiten bei der Jungwuchspflege erschwert. Diese Bedenken sind aber die Ausnahme und nicht die Regel. Da für die nachhaltige Waldbewirtschaftung im Prinzip Naturverjüngung empfohlen wird, ist Totholz mehrheitlich nicht als Hindernis zu bewerten. Seine Rolle zur Förderung der Naturverjüngung (z.B. Moderverjüngung im Gebirge) ist wissenschaftlich belegt (Eichrodt, 1969). Die Fichte ist eine Baumart, bei der der Erfolg der Ansamung auf Moderholz deutlich besser ist als daneben. Nach der Zersetzung alter Totholzstämme führt dies zu höheren Humusvorräten und damit zu besseren Standorteigenschaften. Ähnliches trifft auch auf die Verjüngung von Eiche, Buche und Hainbuche an toten Laubholzstämmen zu.

Auch sehen gewisse Förster liegendes Totholz als eine Behinderung für die Holzurückarbeiten. Wenn Altholz gruppenweise in Beständen gelassen und bis zum Zerfall nicht genutzt wird, so müssen in diesen Bestandesteilen gar keine Rückarbeiten ausgeführt werden. Liegende tote Bäume müssen allenfalls aus der Rückegasse entfernt werden.

5.4.6 Brandgefahr

Die Wahrscheinlichkeit von Waldbränden ist auf der Alpensüdseite, in den Zentralalpen und in den ausgesprochenen Föhntälern bedeutend höher als in den übrigen Gebieten der Schweiz. Flächenmässig finden etwa 90% der Schweizer Waldbrände im Laubwaldgürtel der Alpensüdseite statt. Vom Brand werden hier besonders die südwest- bis südostexponierten Standorte heimgesucht, die in der Nähe von potentiellen Zündquellen (menschliche Aktivitäten) liegen und wo die Kastanie noch einen beträchtlichen Anteil am Bestand besitzt. Liegendes Totholz auf trockenen Waldstandorten

kann die Schädigung im Falle eines Waldbrandes erhöhen. Es kann dazu beitragen, dass sich lokal aus einem Lauffeuer ein Erdfeuer entwickelt. Die Brenntemperaturen erreichen höhere Spitzenwerte und bleiben länger hoch. Erdfeuer können aber durch das Entfernen des liegenden Holzes nicht grundsätzlich verhindert werden, da immer noch Baumstrünke und Humus als Brennmaterial vorhanden sind. Frehner et al. (2005) empfehlen, liegendes Holz nur dann zu entfernen, wenn alle folgenden Elemente gegeben sind:

- Helikopterentfernung zum nächsten Wasserreservoir mehr als 5-8 Flugminuten;
- Keine Leitungen/Rohre an Ort;
- Entfernung von Strassen und Wegen grösser als 200 m;
- Feuer in den letzten 30 Jahren aufgetreten;
- Information der Bevölkerung schlecht;
- Entasten des Holzes, so dass es auf dem Boden aufliegt, ist nicht möglich.

5.4.7 Rutschgefahr

Die Rutsch- oder Sturzgefahr von liegendem Totholz nimmt mit zunehmender Hangneigung, Aufarbeitung des Holzes (Entasten und Entrinden) und Schneewirkung zu. In Lawinenzügen ist liegendes Holz ungünstig, da es durch die Lawine mitgerissen werden kann. Totholz kann sich hingegen positiv auf mögliche Schneerutsch- und Steinschlagrisiken auswirken. Gemäss Frehner et al. (2005) (siehe dazu Anhang 7 in Frehner et al., 2005: Verwendung von Holz an Ort und Stelle) ist liegendes Holz für das Verhindern von Schneebewegungen in gewissen Standortstypen wichtig oder gar notwendig. Vor allem an steilen Südhängen können starke Schneebewegungen auftreten, so dass ein gezieltes Deponieren von Stämmen als Schutz vor Schneebewegung notwendig ist. Die Oberflächenrauigkeit (z.B. hohe Stöcke, liegendes Totholz, Wurzelteller) in Lücken sowie am Rande von Lawinenzügen reduziert die Wahrscheinlichkeit von Lawinenanrissen. Auf ungeräumten Windwurfflächen ist das Holz ein sehr effizienter Schutz gegen Steinschlag. Umgefallene Wurzelteller, hohe Stöcke und liegende Stämme verstärken die Oberflächenrauigkeit und bremsen oder stoppen Steine.

5.4.8 Verklausung und Überschwemmungsgefahr

Liegengelassenes Holz stellt in Rutschgebieten dann ein Problem dar, wenn das Holz in den Einflussbereich eines Wildbachgerinnes gelangen kann, wo es zu Verklausungen oder zu Schwemmholz in Murgängen kommen könnte. Baumstämme, die sich im Einflussbereich des Hochwasserprofils befinden, können durch ein Hochwasser oder einen Murgang mitgerissen werden. An verengten Stellen (Felsvorsprünge, Bachbiegungen, Brückendurchlässe) kann es dann zu Verklausungen kommen. Verklausungen sind äusserst ungünstig, da sich hinter ihnen eine Akkumulation von Geschiebe ergeben kann, das später in Form eines Murgangs mobilisiert werden kann. Bei einem Hochwasser kann es an einer Verklausungsstelle zu einem Gerinneausbruch und anschliessender Überschwemmung kommen. Obwohl dieses Phänomen oft erwähnt wird, hat es oft nur lokale Wirkungen, da das Volumen des Murgangs im Verhältnis zum Hochwasser oft klein ist. Falls die Holzstücke grösser als das Flussbett sind, werden sie kaum transportiert. Sie fördern die Sedimentation und verlangsamen die Flutwelle (Boyer, 1998²³). Liegendes Holz im Einflussbereich des Hochwasserprofils soll deshalb nur wenn zwingend nötig entfernt werden. Den unerwünschten Wirkungen von Totholz im Bereich der Gerinne steht auch der positive Einfluss des Waldes auf den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet gegenüber.

²³ Boyer, M. 1998. Guide technique N°1: La gestion des boisements de rivières. Fascicule 1 : Dynamique et fonctions de la ripisylve. Bassin Rhone Méditerranée Corse.

Tabelle 50: Bedenken und Zielkonflikte, die einer Anhäufung von Alt- und Totholz gegenüberstehen sowie mögliche Lösungsansätze zur Vermeidung von Konfliktsituationen.

Bedenken, Zielkonflikt	Mögliche Lösungen
Phytosanitäre Risiken, Angst vor Borkenkäfern	<ul style="list-style-type: none"> • Aufklärung: > 1-jähriges Totholz meist zu trocken für den Borkenkäfer! • Bei grossen Windwürfen Empfehlungen des PBMD²⁴ befolgen • Effiziente präventive Massnahme zur Belassung des Baumes im Bestand als liegendes Totholz: Baum fällen ohne zu entrinden, mit Motorsäge Schnitte in Stamm sägen → schnelle Austrocknung (siehe Frehner et al., 2005)
Gefährdung durch herabfallendes Totholz	<ul style="list-style-type: none"> • Arbeitssicherheit: Alt- und Totholz in Gruppen statt einzeln; klare Arbeitsanweisungen und besondere Umsicht • Entlang von Verkehrsachsen und vielbegangenen Wegen, bei Park- und Picknickplätzen Dürrständer fällen und liegen lassen • Massnahmen zur Besucherlenkung im Waldesinnern und in Naturwaldreservaten • Sensibilisierung: Alt- und Totholz gehört zum Wald → Eigenverantwortung fördern • Didaktische Hinweise bei Feuerstellen und Picknickplätzen: auf die Gefahren aufmerksam machen und ökologische Rolle von Alt- und Totholz erklären
Holznutzungsentgang	<ul style="list-style-type: none"> • Geringwertige Bestandesteile oder Baumgruppen auswählen • Qualitativ schlechte Bäume als Totholzanzwarter auswählen: mit Kronen- oder Astbrüchen, Astwunden, Frostrissen, Blitz- oder Fällungsschäden, Drehwuchs, Zwiesel etc. • Aufwand für Holzernte verringern durch Belassen von Totholz in Schutzwäldern (siehe Frehner et al., 2005)
Unordnung, Verschwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisierung: Alt- und Totholz gehört zum Wald. Wald hat nebst der ökonomischen Funktion auch ökologische und soziale Funktionen sowie Schutzfunktionen
Erschwerung von Folgeeingriffen	<ul style="list-style-type: none"> • Naturverjüngung statt Pflanzungen • Altholz in Gruppen ohne Nutzung bis zum Zerfall • Positive Auswirkungen ausnützen (höhere Humusvorräte und bessere Standorteigenschaften nach Totholzzersetzung)
Brandgefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Risikogebiete: Laubwaldgürtel Alpensüdseite, Zentralalpen und ausgesprochene Föhntäler in südwest- bis südostexponierten Lagen in der Nähe von potentiellen Zündquellen (menschl. Aktivitäten) • Liegendes Totholz entfernen, wenn: <ul style="list-style-type: none"> • Helikopterentfernung zum nächsten Wasserreservoir mehr als 5-8 Flugminuten; • Keine Leitungen/Rohre an Ort; • Entfernung von Strassen und Wegen grösser als 200 m; • Feuer in den letzten 30 Jahren aufgetreten; • Information der Bevölkerung schlecht; • Entasten des Holzes, so dass es auf dem Boden aufliegt, nicht möglich ist.
Rutschgefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Risikofaktoren: grosse Hangneigung und Schneewirkung, stark aufgearbeitetes Holz (Entastung, Entrindung) • In Lawenzügen liegendes Totholz entfernen, falls grosses Schadenpotential • Positive Wirkung des Totholz (Strünke, Wurzelteller, etc.) ausnützen zur Erhöhung der Oberflächenrauigkeit → Verhindern von Schneebewegungen, Steinschlagschutz
Verklauung, Überschwemmungsgefahr	<ul style="list-style-type: none"> • Positive Wirkung des Totholz (Stämme grösser als Flussbett) ausnützen. Liegendes Totholz im Einflussbereich des Hochwasserprofils entfernen, wenn es transportiert werden kann und Schäden verursachen würde.

²⁴ PBMD : Phytosanitärer Beobachtungs- und Meldedienst der WSL

6. Schlussfolgerungen

Die verheerenden Waldschäden nach den Stürmen „Vivian“ und „Lothar“ (1990 und 1999), die schlechten Renditen der Waldwirtschaft und eine international zunehmende ökologische Wahrnehmung des Waldes haben der Schweizer Waldpolitik neue Ausrichtungen erteilt. Im neuen Waldprogramm der Schweiz (WAP) steht die Erhaltung der biologischen Vielfalt als Schwerpunkt. Da Alt- und Totholz eine sehr reiche Flora und Fauna beherbergen (>6000 Arten), bedroht ihr Mangel die biologische Vielfalt und beeinträchtigt viele der damit verbundenen ökologischen Prozesse (Biomasseabbau, Nährstoffrecycling, Moderholzverjüngung, usw.).

Die grössten Alt- und Totholzdefizite in der Schweiz befinden sich vorwiegend im Jura und im Mittelland. Diese Regionen sind meistens mit hohem Potential für saproxyliche (totholzabhängige) Arten verbunden. Ihre Alt- und Totholz mengen liegen weit unter den gelegentlich in der Praxis für die Erhaltung der Artenvielfalt empfohlenen minimalen Soll-Werten. Allerdings fehlen die wissenschaftlichen Grundlagen noch weitgehend, um nach Waldtypen differenzierte, ökologisch sinnvolle Soll-Werte zu definieren. In höheren Lagen (Alpen und Voralpen) nähern sich zwar die Totholz mengen den minimalen Soll-Werten, das Potential für saproxyliche Arten bleibt aber bescheiden. Diese Beobachtungen unterstreichen einerseits die Dringlichkeit, mehr Erkenntnisse über die Bedeutung von Alt- und Totholz für die Ökosystemprozesse zu gewinnen. Andererseits sind dringend Massnahmen nötig zur Erhaltung oder Rettung von zahlreichen saproxylichen Arten, welche in unseren Wäldern oft in suboptimalen Bedingungen überleben und grossteils vom Aussterben bedroht sind. In der Schweiz sind in den Alpen- und Voralpengebieten vor allem Erhaltungs-Massnahmen nötig. In den meisten Regionen des Juras, des Mittellandes und teilweise im Tessin braucht es hingegen Anstrengungen zur Wiederherstellung von geeigneten Alt- und Totholzstrukturen.

Mittels einer nachhaltigen Waldwirtschaft, die der Artenvielfalt gemäss den internationalen Verpflichtungen einen wichtigen Stellenwert einräumt, muss vermehrt eine gewisse natürliche Dynamik in den Schweizer Wäldern zugelassen werden. Bäume müssen die Gelegenheit haben, im Wald ihren natürlichen Alterstod zu sterben und vor Ort abgebaut zu werden. Verschiedene Massnahmen ermöglichen das Erreichen von Soll-Werten bezüglich Alt- und Totholz. Die Bedingungen in der Schweiz sind für die Realisierung der Massnahmen zurzeit günstig: Waldreservate werden schon ausgeschieden, Wirtschaftswälder wurden in den letzten Jahren immer seltener bewirtschaftet, Waldbestände werden älter, die Totholzmenge nimmt ohne formale Förderungsprogramme zu, usw. Eine gewisse Tendenz zu einem naturnäheren Zustand in einem Teil der Schweizer Wälder ist also zu erhoffen. Allerdings wird die Ressource Holz angesichts der prekären Lage von fossilen Rohstoffen in Zukunft wahrscheinlich auch in der Schweiz an Bedeutung gewinnen. Eine Intensivierung der Bewirtschaftung und das vermehrte Interesse an Alt- und Totholz als Brennstoffe könnten mittelfristig diese für die Artenerhaltung unerlässlichen Strukturen sogar in Berggebieten wieder gefährden. Alt- und Totholz müssen daher strategisch gefördert werden, um die Erhaltung der Artenvielfalt zu gewährleisten.

Die Fragen *wie viel*, *wo* und *wie* Alt- und Totholz gefördert werden kann, müssen beantwortet werden, um Erfolge zu gewährleisten. Totholz ist nicht immer gleich Totholz. Je nach Grösse, Lage, Durchmesser, Exposition, Baumart, Abbauzustand und Vernetzung werden unterschiedliche saproxyliche Artengemeinschaften gefördert. Wertvolle Bäume müssen aber nicht zwingend alt oder tot sein. Die sogenannten Biotopbäume können auch als relativ junge Bäume ähnliche Strukturen wie ältere zeigen (Baumhöhlen, Rindentaschen, tote Äste, usw.). Was aber am meisten fehlt in den Schweizer Wäldern sind die sogenannten Methusalems oder Baumveteranen, also sehr alte Bäume, die der Nutzung entzogen bleiben und erst nach einigen Jahrhunderten absterben.

Neben verschiedenen direkten Massnahmen zur Förderung von Alt- und Totholz (Schaffen von Altholzinseln, Markieren und Erhalten von Totholzanzwählern, usw.), müssen die Rahmenbedingungen verbessert werden. Alt- und Totholz wird grösstenteils vom Forstpersonal beeinflusst. Dessen Aus- und Weiterbildung im Bereich Alt- und Totholzmanagement sind also Schlüsselemente eines erfolgreichen Förderungsprogramms. Gleichzeitig muss auch die Forschung einbezogen werden. Wegen dem noch jungen Alter der Alt- und Totholzwissenschaften fehlen noch wichtige, wissenschaftlich belegte Erkenntnisse in den Bereichen der Ökologie (z.B. nötige Fläche für Altholzinseln, deren Abstände und Konfiguration), der Ökonomie (z.B. Kosten-Nutzen-Analysen) und der Soziologie (z.B. Wahrnehmung bei der Öffentlichkeit). Die neuen Projekte im Bereich des Alt- und Totholzes, die im Rahmen dieser Strategie entstehen sollen, sind eine einmalige Gelegenheit, die wissenschaftlichen Lücken zu füllen.

Ohne ein geeignetes Förderungsprogramm für Alt- und Totholz kann die Artenvielfalt der Schweizer Wälder nicht erhalten werden. Mit der Umsetzung einer nationalen Alt- und Totholzstrategie verstärkt die Schweiz ihre Position im internationalen Bereich der nachhaltigen Waldbewirtschaftung und wird weiterhin zu den führenden Ländern zählen.

7. Danksagung

Diese Untersuchung war nur möglich dank der Hilfe zahlreicher Personen und Institutionen, denen wir an dieser Stelle unseren Dank aussprechen möchten. Ganz besonders danken wir:

- Markus Bolliger, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Sektion Walderhaltung und Biodiversität;

der Abteilung Landschaftsinventuren der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL):

- Urs-Beat Brändli, für die Beratung und den Review der Texte und Abbildungen zum Kapitel „Deskriptive Analysen der LFI2-Daten“;
- Peter Brassel, für das Angebot zur Zusammenarbeit;
- Ulrich Ulmer, für die Bereitstellung der Daten und stichprobenweise Überprüfung der Ergebnisse;

für die Beratung bezüglich der Auswahl der saproxylichen Organismen sowie die Bereitstellung der Datenauszüge:

- Sylvie Barbalat, Centre suisse de cartographie de la faune ;
- François Claude, Centre suisse de cartographie de la faune ;
- Philippe Clerc, Conservatoire et jardin botaniques, Genève ;
- Goran Dusej, Büro für faunistische Felduntersuchungen
- Yves Gonzeth, Centre suisse de cartographie de la faune ;
- Kurt Grossenbacher, Naturhistorisches Museum Bern;
- Peter Hahn, Schweizerische Vogelwarte, Sempach;
- Nicolas Kueffer, Université de Neuchâtel;
- Pascal Moeschler, Musée d'histoire naturelle, Genève ;
- Pierre Mollet, Schweizerische Vogelwarte, Sempach ;
- Jörg Rüetschi; Leiter der «Aktualisierung der Roten Liste der Landschnecken der Schweiz»;
- Christoph Scheidegger, WSL, Abteilung Genetische Ökologie, Forschungsbereich Landschaft;
- Hans Schmid, Schweizerische Vogelwarte, Sempach;
- Benedikt Schmidt, Koordinationsstelle für Amphibien- und Reptilienschutz in der Schweiz, KARCH;
- Beatrice Senn-Irlet, WSL, Abteilung Biodiversität, Forschungsbereich Landschaft ;
- Beat Wermelinger, WSL, Abteilung Wald- und Umweltschutz, Forschungsbereich Wald;

für technische und statistische Beratung sowie für die Bereitstellung der öko-geografischen Daten:

- Gilles Gachet, EPFL, Laboratoire de systèmes d'information géographique, LASIG ;
- Nilüfer Gündüz, EPFL, Laboratoire de gestion des écosystèmes, GECOS ;
- Jean-Marie Helbling, EPFL, Section des mathématiques ;
- Alexandre Hirzel, Université de Lausanne, Département d'écologie et évolution ;
- Stéphane Joost, EPFL, Laboratoire de systèmes d'information géographique, LASIG ;
- Lukas Meier, ETH Zürich, Statistische Beratung;
- Abram Pointet, EPFL, Laboratoire de systèmes d'information géographique, LASIG ;
- Niklaus Zimmermann, WSL, Abteilung Landschaftsdynamik und Raumentwicklung, Forschungsbereich Landschaft;
- Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

8. Bibliographie

- Afdeling Bos en Groen, 2001. De bosinventarisatie van het Vlaamse Gewest. Resultaten van de eerste inventarisatie 1997-1999.
- Ammer, U. 1991. Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforschung für die forstliche Praxis. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110:149-157.
- Arcari, G. (ed). 2003. Techniques for re-establishment of dead wood for saproxylic fauna conservation. LIFE Nature project NAT/IT/99/6245 «Bosco della Fontana» (Mantova, Italy).
- Begon, M., J.L. Harper & C.R. Townsend. 1996. Ecology: Individuals, Population, and Communities. Blackwell Science, Oxford.
- Bobiec, A. 2002. Living stands and dead wood in the Bialowieza forest: suggestions for restoration management. Forest Ecology and Management 165:125-140.
- Borgula, A., P. Fallot & J. Rysen. 1994. Inventaire des sites de reproduction de batraciens d'importance nationale. Cahier de l'environnement N°233, OFEFP, Berne. 74 S.
- Boyer, M. 1998. Guide technique N°1: La gestion des boisements de rivières. Fascicule 1 : Dynamique et fonctions de la ripisylve. Bassin Rhone Méditerranée Corse.
- Brändli, U.-B. 1996 Die häufigsten Waldbäume der Schweiz: Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983-85: Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten. Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 342: 278 S.
- Brassel, P., & U.-B. Brändli, Herausgeber. 1999. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995 Haupt, Bern.
- Busing, R.T. 2005. Tree mortality, canopy turnover, and woody detritus in old cove forests of the southern Appalachians. Ecology 86(1): 73-84.
- Bütler, R. 2003. Dead wood in managed forests: how much and how much is enough? Development of a snag-quantification method by remote sensing and GIS and snag targets based on Three-toed woodpeckers' habitat requirements. Thèse de doctorat N° 2761. Laboratoire de Gestion des écosystèmes. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne EPFL, Lausanne.
- Bütler, R., P. Angelstam, P. Ekelund, & R. Schlaepfer. 2004. Dead wood threshold values for the three-toed woodpecker in boreal and sub-alpine forest. Biological Conservation 119(3): 305-318.
- Bütler, R., Gorgerat, V. & Schlaepfer, R. 2004. Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie für die Schweiz : Vorstudie. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Eidg. Forstdirektion. Laboratoire de Gestion des écosystèmes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, November 2004.
- BUWAL. 2004a. Nationales ökologisches Netzwerk REN: Schlussbericht. Eine Vision für einen landesweit vernetzten Lebensraum. Schriftenreihe Umwelt Nr. 3763. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 131 S.
- BUWAL. 2004b. Waldprogramm Schweiz (WAP-CH): Handlungsprogramm 2004-2015. Schriftenreihe Umwelt Nr. 363. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 117 S.
- BUWAL. 2005. Waldbericht 2005. Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 150 S.
- Christensen, M., Vesterdal, L., 2003. Physical and chemical properties of decaying beech wood in two Danish forest reserves. Nat-Man Working Report 25. <<http://www.flec.kvl.dk/natman/html/menu.asp?id=124>> 13.09.2005.
- Dajoz, R. 1966. Ecologie et biologie des coléoptères xylophages de la hêtraie. *Vie Milieu* 17:525-636.
- Derleth, P., R. Bütler, & R. Schlaepfer. 2000. Le Pic tridactyle (*Picoides tridactylus*), un indicateur de la qualité écologique de l'écosystème forestier du Pays-d'Enhaut (Préalpes suisses). *Schweiz. Z. Forstwes.* 151, 8:282-289.
- Eichrodt, R., 1969: Ueber die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. ETH Zürich Diss. Nr. 4261, (Beiheft *Schweiz. Zeitschrift für Forstw.*, 1970); 122 S.
- Erdmann, M., & H. Wilke. 1997. Quantitative und qualitative Totholzerfassung in Buchenwirtschaftswäldern. Forstwissenschaftliches Centralblatt 116:16-28.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S.
- Fridman, J., & M. Walheim. 2000. Amount, structure, and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management* 131:23-36.
- FSC – Forest Stewardship Council. 2003. Final version of the National Dutch FSC Standard for certification of good forest management, FSC the Netherlands, 34 p. – In: <http://www.fscnl.org/>

- Gilg, O., 2004. Forêts à caractère naturel: caractéristiques, conservation et suivi. Cahiers Techniques de l'ATEN : 74. ATEN, Montpellier, 96p.
- Green, P., & G. F. Peterken. 1997. Variation in the amount of dead wood in the woodlands of the Lower Wye Valley, UK in relation to the intensity of management. *Forest Ecology and Management* 98:229-238.
- Grove, S. 2002: Saproxyl insect ecology and the sustainable management of forests. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 33: 1-23
- Haase, V., Topp, W. & P. Zach. 1998. Eichen – Totholz im Wirtschaftswald als Lebensraum für xylobionte Insekten. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 7: 137-153.
- Hahn, P., D. Heynen, M. Indermühle, P. Mollet & S. Birrer. 2005. Holznutzung und Naturschutz, Praxishilfe. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft und Schweizerische Vogelwarte. Bern und Sempach.
- Harding, P.T. & F. Rose. 1986. *Pasture-Woodland in Lowland Britain*. Huntingdon, UK: Inst. Terr. Ecol. 89 S.
- Harmon, M.E., Franklin, J.F. et al., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 15: 133-302.
- Hausser, J 1995 Säugetiere der Schweiz : Verbreitung, Biologie, Oekologie = Mammifères de la Suisse : répartition, biologie, écologie = Mammiferi della Svizzera : distribuzione, biologia, ecologia / unter der Leitung vom Jacques Hausser; hrsg. von der Denkschriftenkommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften
- Hirzel, A.H., Hausser, J., & Perrin, N. (2004) Biomapper 3.1. Division of Conservation Biology, University of Bern.. URL: <http://www.unil.ch/biomapper>
- Holeksa, J. 2001. Coarse woody debris in a Carpathian subalpine spruce forest. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120:256-270.
- Kirby, K. J., C. M. Reid, R. C. Thomas & F. B. Goldsmith. 1998. Preliminary estimates of fallen dead wood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. *Journal of Applied Ecology* 35:148-155.
- Korpel, S. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena, New York.
- Krankina, O.N., Harmon, M.E., 1995. Dynamics of the dead wood carbon pool in northwestern Russian boreal forests. *Water, Air, and Soil Pollution*:227-238.
- Krankina, O.N., Harmon, M.E., Griazkin, A.V., 1999. Nutrient stores and dynamics of woody detritus in a boreal forest: Modeling potential implications at the stand level. *Canadian Journal of Forest Research*:20-32.
- Laiho, R., Prescott, C.E., 2004. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests: A synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*:763-777.
- Lecomte, H. 2000. L'inventaire permanent des ressources forestières de Wallonie. Actes du colloque „Inventaire et suivi de la biodiversité en Région wallonne“, La Marlagne, Mars 2000.
- MCPFE, 2003. Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management: as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7-8 October 2002, Vienna, Austria.
- Memorial Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. Recueil de Législation A - N° 36. 4 avril 2002. Régimes d'aides pour la sauvegarde de la diversité biologique. <http://www.legilux.public.lu/leg/a/archives/2002/0360404/0360404.pdf#page=2> <19.07.2005>
- Meschede, A., Heller K.-G. 2003 Ecologie et protection des chauves-souris en milieu forestier. In *Le Rhinolphe : Revue internationale de chiroptérologie*. Muséum d'histoire naturelle de la Ville de Genève et l'Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris. 16, 248 S.
- Meyer, P. 1999. Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118:167-180.
- Müller, J. 2005. Waldstrukturen als Steuergrösse für Artengemeinschaften in kollinen bis submontanen Buchenwäldern, Dissertation, TU München.
- Naesset, E. 1999. Decomposition rate constants of *Picea abies* logs in southeastern Norway. *Canadian Journal of Forest Research*:372-381.
- Natura 2000. Richtlinien der Vorarlberger Landesregierung für die Gewährung von Beiträgen zur Erhaltung und Verbesserung des Zustandes und der Vielfalt der Wälder in Natura 2000 Gebieten. 1. April 2003. http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt/natur-undumweltschutz/foerderungen/forstfoerderung_natura200.htm <19.07.2005>
- Ódor, P., Standovár, T., 2003. Changes of physical and chemical properties of dead wood during decay. *Nat-Man Working Report* 24.
- Office National des Forêts. La Bourgogne calcaire. Préservation des forêts, des pelouses et des habitats associés. Bilan du programme Life Forêts et habitats associés de la Bourgogne calcaire. Bourgogne-Champagne Ardenne. Décembre 2003.
- Parker, G.R., Leopold, D. J. & Eichenberger J.K. 1985. Tree dynamics in an old-growth, deciduous forest. *For. Ecol. Manage.* 11 (1-2): 31-57.

- Pechacek, P. & W. d'Oleire-Oltmanns. 2004. Habitat use of the three-toed woodpecker in central Europe during the breeding period. *Biological Conservation* 116(3): 333-341.
- Rauh, J. & M. Schmitt. 1991. Methodik und Ergebnisse der Totholzforchung in Naturwaldreservaten. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110:114-127.
- Saniga, M. & J. P. Schütz, 2001. Dynamics of changes in dead wood share in selected beech virgin forests in Slovakia within their development cycle. *J. of Forest Science*, 47 (12): 557-565.
- Scherzinger, W. 1996. *Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Schmid, H., R. Luder, B. Naef-Daenzer, R. Graf N. Zbinden. 1998. *Schweizer Brutvogelatlas: Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein 1993-1996* Schweizerische Vogelwarte, Sempach. 574 S.
- Siitonen, J. 2001. Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. *Ecological Bulletin* 49:11-41.
- Speight, M.C.D. 1989. *Saproxylic invertebrates and their conservation*. Council of Europe, Strasbourg. 79 S.
- Tyrrell, L.E. & Crow, T.R. 1994. Dynamics of dead wood in old-growth hemlock-hardwood forests of northern Wisconsin and northern Michigan. *Can. J. For. Res.* 24: 1672-1683.
- Utschick, H. 1991. Beziehungen zwischen Totholzreichtum und Vogelwelt in Wirtschaftswäldern. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 110:135-148.
- Vallauri, D. & L. Poncet. 2002. *Etat de la protection des forêts en France: indicateurs 2002*. 100 p. Rapport WWF, Paris.
- Van Hees, A.F.M., 2003. Decay and physical-chemical characteristics of dead beech wood in The Netherlands. *Nat-Man Working Report* 46.
<<http://www.flec.kvl.dk/natman/html/menu.asp?id=124>> 13.09.2005.
- Vasiliauskas, R., Vasiliauskas, A., Stenlid, J. & Matelis, A. 2004. Dead trees and protected polypores in unmanaged north-temperate forest stands of Lithuania. *For. Ecol. Manage.* 193(3): 355-370.
- Wagner, M. et al. 2003. *La forêt luxembourgeoise en chiffres. Résultats de l'inventaire forestier national au Grand-Duché de Luxembourg 1998-2000*. Luxembourg, 210 pages.
- Winter, S., Flade, M., Schumacher, H. Möller, G. et al. 2003. *Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland*. Sachbericht. Landesanstalt für Grossschutzgebiete Brandenburg und Bundesamt für Naturschutz. Unpubl.
- WWF, 2004. *Deadwood – living forests. The importance of veteran trees and deadwood to biodiversity*. Report, October 2004.

9. Anhang

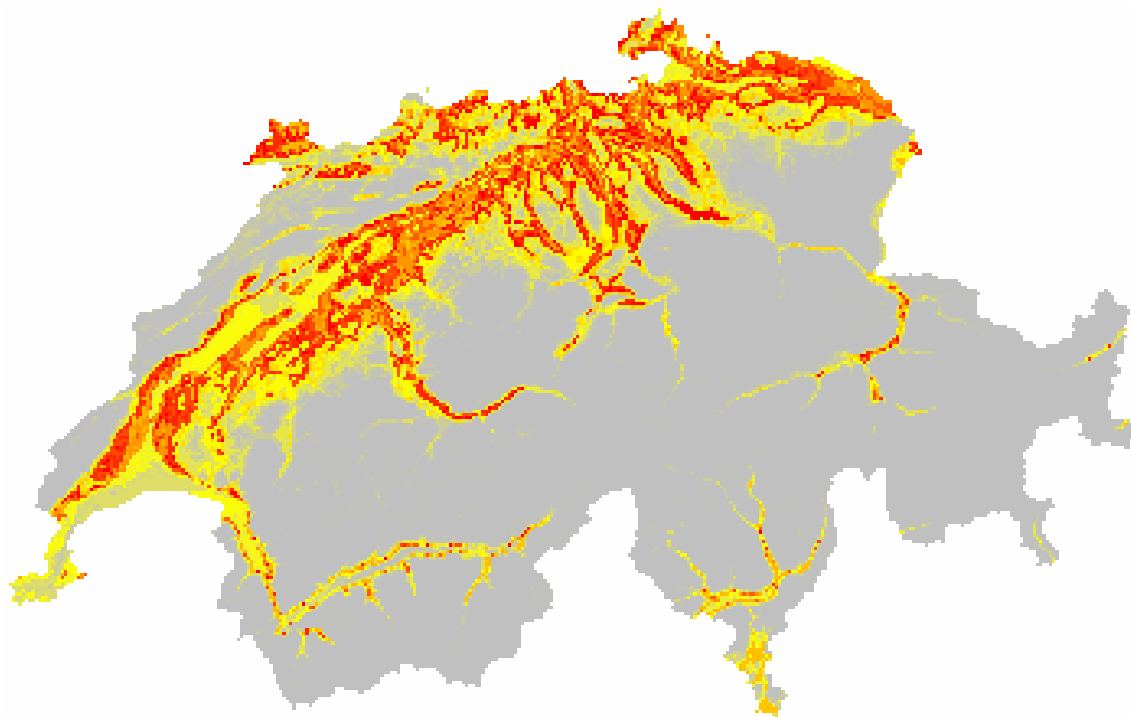


Abbildung 36 : Saproxyliche Hotspots für *Nyctalus noctula* (Säugetiere)

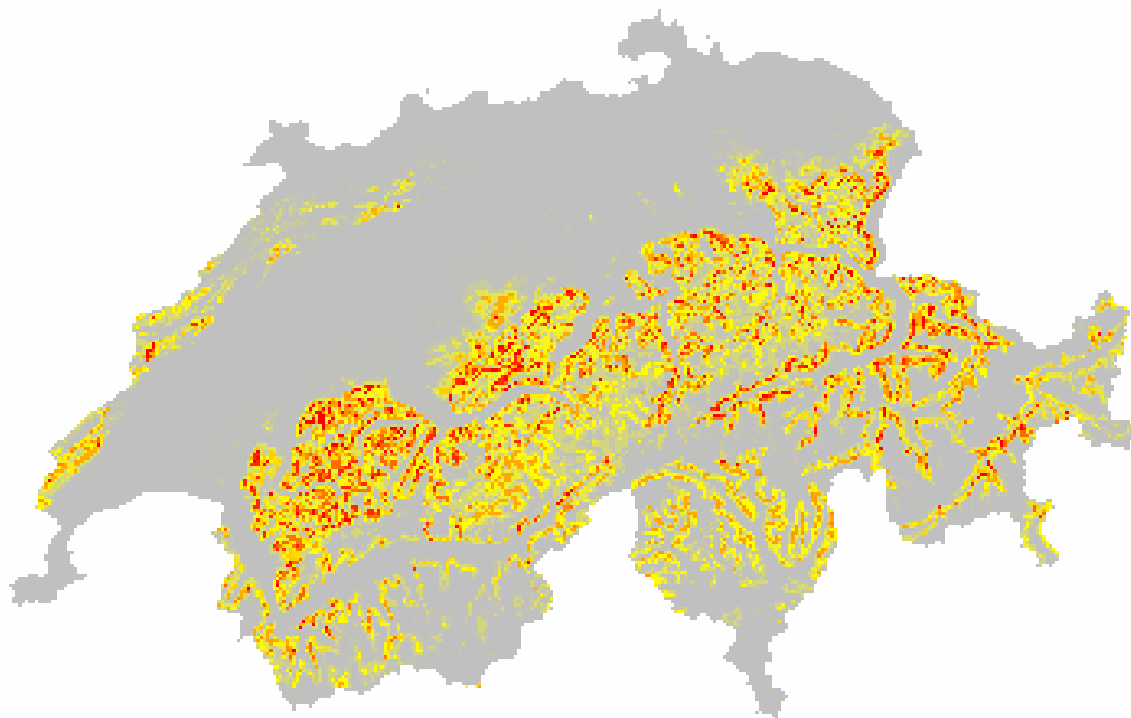


Abbildung 37 : Saproxyliche Hotspots für *Picoides tridactylus* (Vögel)

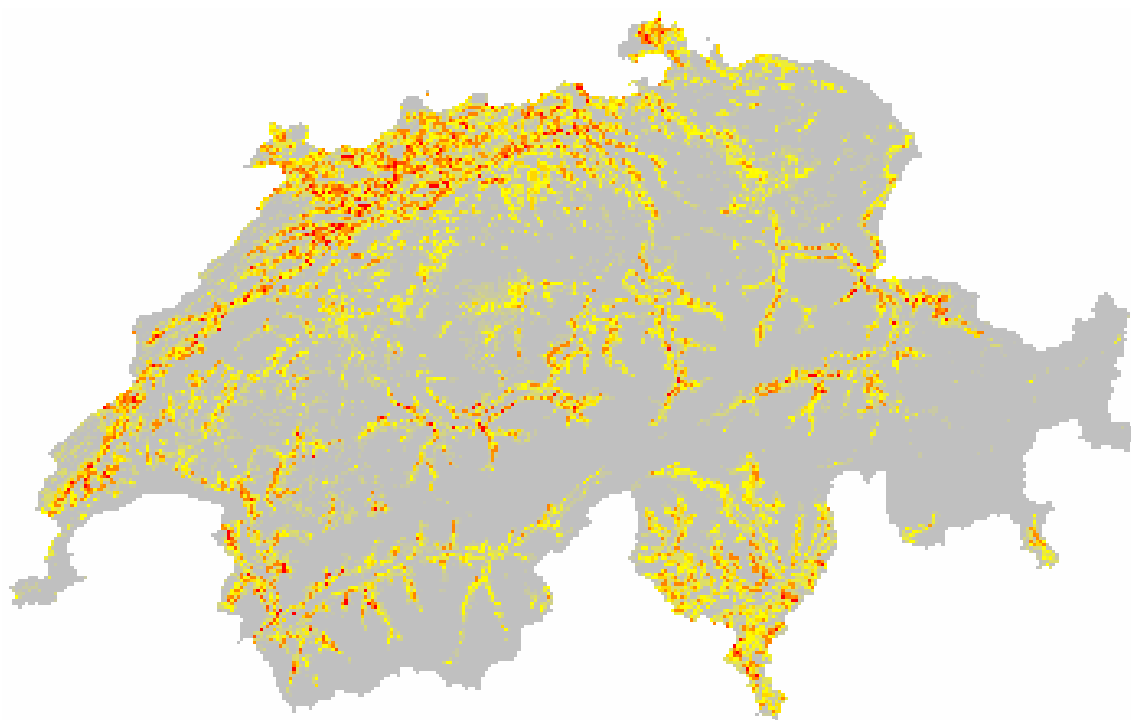


Abbildung 38: Saproxyliche Hotspots für *Rosalia alpina* (Insekten)

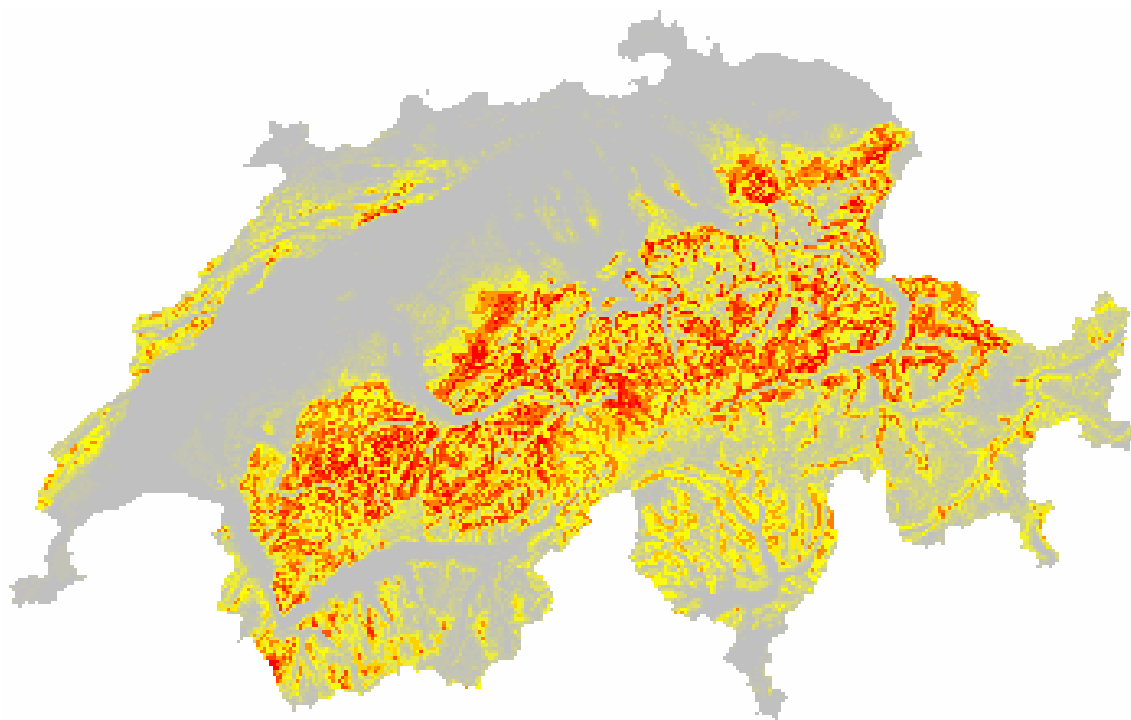


Abbildung 39 : Saproxyliche Hotspots für *Salamandra atra* (Amphibien)

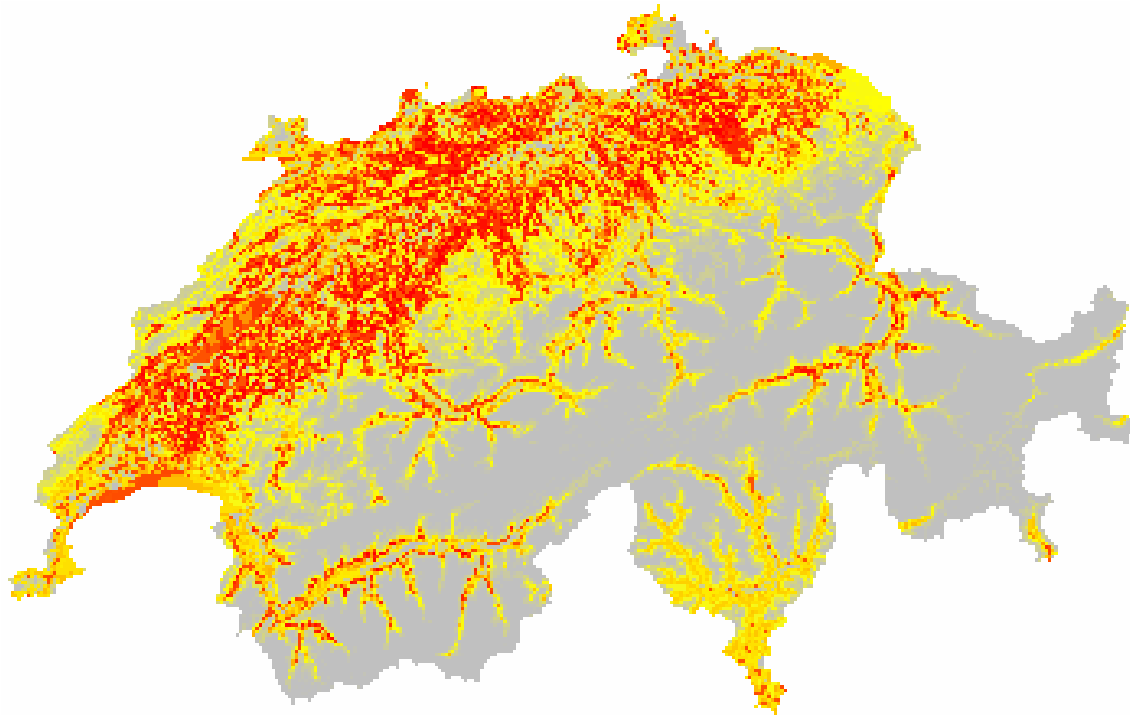


Abbildung 40: Saproxyliche Hotspots für *Limax cinereoniger* (Mollusken)

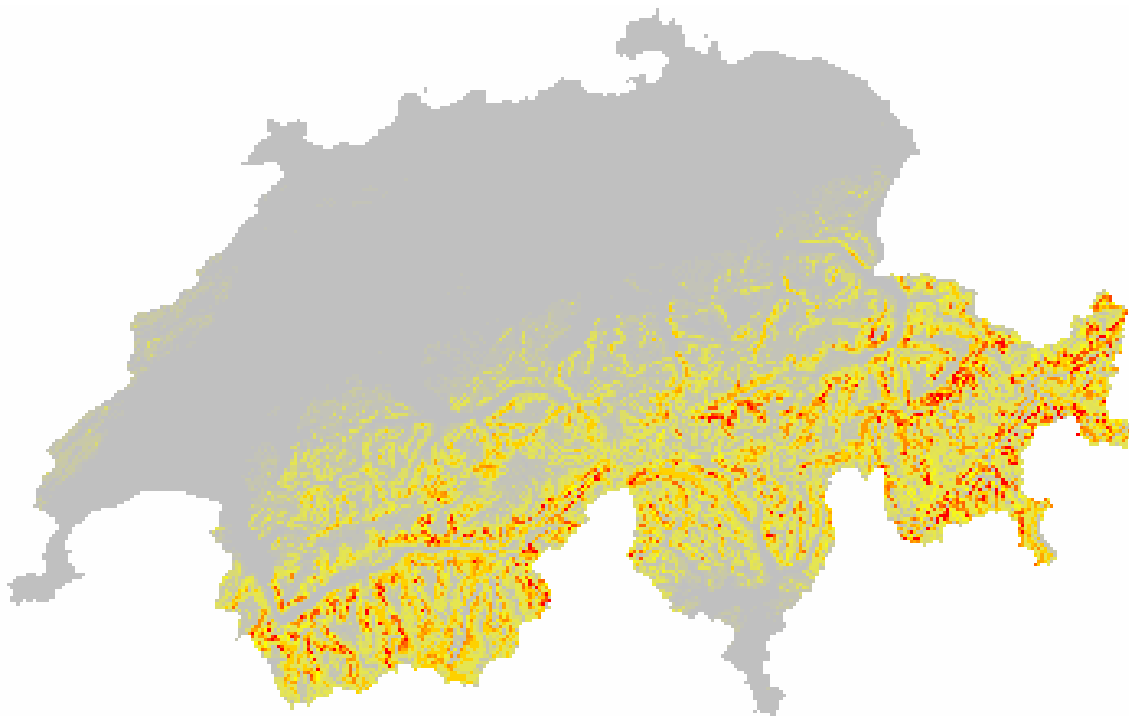


Abbildung 41: Saproxyliche Hotspots für *Laricifomes officinalis* (Pilze)

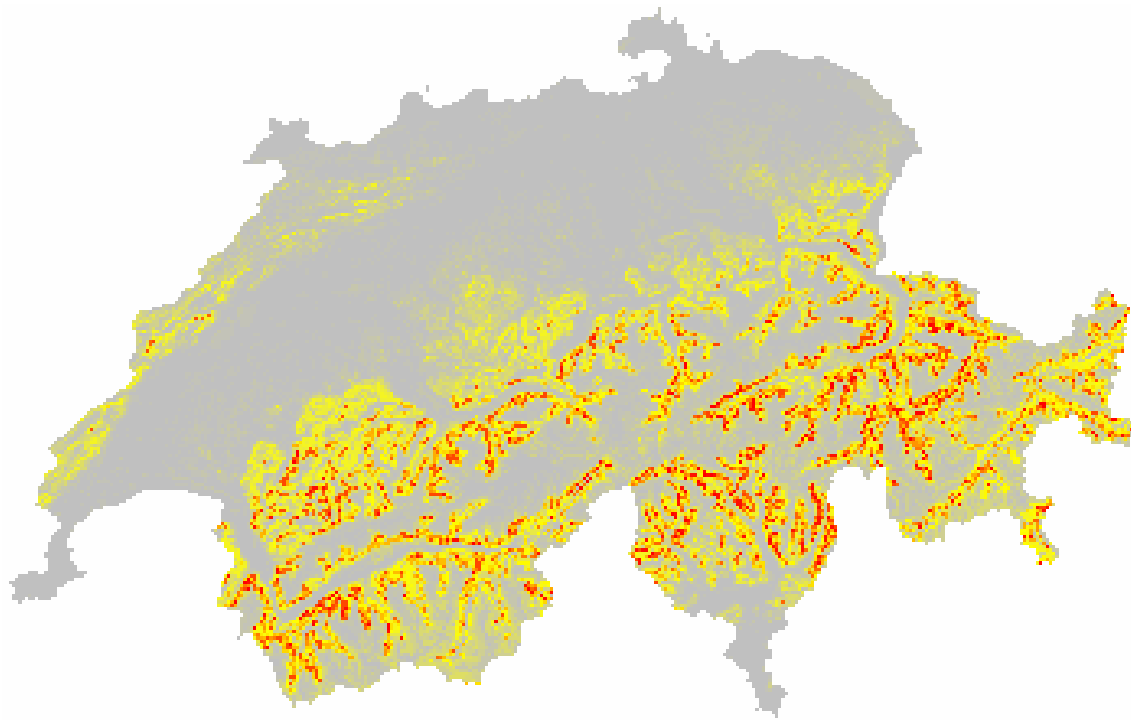


Abbildung 42: Saproxyliche Hotspots für *Lecanora varia* (Flechten)