Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Journal forestier suisse
Rivista forestale svizzera
Swiss Forestry Journal

30 Jahre Schweizerisches Landesforstinventar (LFI)
L'Inventaire forestier national suisse (IFN) a 30 ans

9 | 2011

IMPULS AG
Wald
Landschaft
Naturgefahren

IMPULS ist ein seit 20 Jahren etabliertes Unternehmen und bietet Dienstleistungen in den Bereichen Wald, Landschaft und Naturgefahren an.

Zur Ergänzung unseres Teams suchen wir eine erfahrene, fachlich kompetente, offene und initiative Persönlichkeit als

Fachbereichsleiter/Fachbereichsleiterin Wald
(Beschäftigungsgrad 70 - 100%)

Die vielseitige und verantwortungsvolle Tätigkeit umfasst:
- die Weiterentwicklung und Gestaltung des Fachbereichs Wald
- die Verantwortung für die Akquisition neuer Aufträge für den Fachbereich und die Pflege von Kundenkontakten
- die selbstständige Leitung und Bearbeitung von Projekten von der Auftragsgewinnung bis zum Projektabschluss
- die Leitung des Teams und die Betreuung der Mitarbeitenden
- die fachliche Betreuung der Projekte in den Bereichen Wald-Naturschutz, Standortskunde, Schutzwaldmanagement, betriebliche und regionale Waldplanung, Wald im Bereich von Gewässern und Infrastrukturen, Umweltverträglichkeit, Waldbewertung und Waldrecht.

Wir erwarten von Ihnen:
- Herzblut und Engagement für den Wald und für fachverwandte Themen
- Teamfähigkeit
- Hochschulabschluss als Forstingenieur/Forstingenieurin oder vergleichbarer Abschluss
- mehrjährige Berufserfahrung mit Erfahrung in der Projektleitung und Auftragsakquisition
- unternehmerisches Denken und ein gutes Beziehungsnetz zu verantwortlichen Stellen bei Bund, Kantonen, Gemeinden sowie der Privatwirtschaft

Wir bieten Ihnen
- vielseitige und spannende Projekte in einem interdisziplinären Umfeld
- einen attraktiven Arbeitsplatz in Thun mit zeitgemässen Anstellungsbedingungen
- die Möglichkeit, als Teilhaber oder Teilhaberin in der Geschäftsleitung der IMPULS AG Verantwortung zu übernehmen

Stellenantritt ist ab sofort oder nach Vereinbarung.

Bitte senden Sie Ihre vollständigen Bewerbungsunterlagen (per Post oder per E-Mail) an: IMPULS AG, z.Hd. Hans-Heini Utelli, Seestrasse 2, 3600 Thun.

Weitere Auskünfte erhalten Sie von:
Herrn Hans-Heini Utelli, 033 225 60 21, hans-heini.utelli@impulsthun.ch oder unserer Homepage: www.impulsthun.ch

IMPULS AG
Seestrasse 2
CH-3600 Thun
T 033 225 60 10
F 033 225 60 11
mail@impulsthun.ch
www.impulsthun.ch

Schweizerischer Forstverein
Société forestière suisse
Società forestale svizzera
Au cœur de la forêt

Arbeitsgruppe
Vegetation und Boden

Feinerschliessungsplanung im Forstbetrieb mit Nutzung von Standortkarten

Dienstag, 25. Oktober 2011, 9–16.30 Uhr
Habsburg, Kanton Aargau

1: Bewertung verschiedener Standortgrundlagen
2: Verarbeitung in Befahrbarkeits- / Verdichtungskarten
3: Umsetzung in Feinerschliessungspläne, prakt. Anwendung

Tagungsziel
Die Teilnehmer kennen: Wert und Genauigkeit von Standort- und Bodenkarten; Umsetzungsschritte zur Erarbeitung von Feinerschliessungsplänen; Vorteile und Grenzen dieser Pläne.

Referenten
Elisabeth Danner, Bodenkundlerin; Peter Ammann, Abteilung Wald Aargau; Fritz Frutig, Forsttechnik WSL; Andreas Freuler, Projektbearbeiter Habsburg; Adrian Kempf, Kreisförster Luzern; Beat von Wyl, Standortkundler (Leitung).

Zielpublikum
Betriebsleiter, Berater von Forstbetrieben, Kreis- und Revierförster.

Kosten
CHF 320.– pro Person (Mitglieder Trägerorganisationen CHF 270.–), inkl. Kursunterlagen, Mittagessen, Getränke.

Anmeldung /Auskunft
Via Internet: www.fowala.ch / E-Mail: utas@bluewin.ch.
Info: UTAS AG, Giswil, Tel. 041 675 26 60.
Anmeldeschluss: **10. Oktober 2011** (max. 30 TeilnehmerInnen).

UNSERE BESTEN ZUGPFERDE PAJERO UND L200

BEST OFFER Bonus 5'000.–

3.5t

BEST OFFER Bonus 2'000.–

Pajero: Die Nr. 1 im Hardcore-SUV-Segment zu konkurrenzlosen Preisen.
- **Genial:** Super Select 4WD, 4 Antriebsmodi, Reduktionsgetriebe
- **Genial:** Power DID Diesel, **200 PS/** 441 Nm, ab **7.9 L**
- **Genial: Anhängelast bis 3.5 Tonnen,** Nutzlast bis 675 kg

Pajero Swiss Professional	**3-Door**	**5-Door**
Netto	47'990.–	50'990.–
● Nippon Bonus*	**3'500.–**	**3'500.–**
● Cash Bonus oder 2.9% Leasing**	**1'500.–**	**1'500.–**
BEST OFFER	**42'990.–**	**45'990.–**

Weitere Pajero Modelle mit BEST OFFER Bonus bis CHF 6'000.–

DIAMOND LEASING 2.9%

L200 Pickup: Vielseitiges 4x4-Arbeits- und Zugpferd.
- **Genial:** Zuschaltbarer oder permanenter 4WD, 3 Kabinen, 4 Brückenlängen bis 2.22 m
- **Genial:** DID Diesel, 136 PS/314 Nm oder **178 PS/**400 Nm
- **Genial: Anhängelast bis 3.5 t** (Option), Nutzlast bis 1'215 kg, Homologation Schneepflug

L200 Pickup	**Single Cab**	**Double Cab**
Netto	31'990.–	37'990.–
● Nippon Bonus*	**1'000.–**	**1'000.–**
● Cash Bonus oder 2.9% Leasing**	**1'000.–**	**1'000.–**
BEST OFFER	**29'990.–**	**35'990.–**

Breites Modellangebot, auch mit Automat oder mit Schweizer Spezialaufbauten

*** Promotion BEST OFFER:** gültig vom 1.7. bis 31.12.2011 bei Kauf und Immatrikulation eines Pajero oder L200 Neuwagens bei einem offiziellen Mitsubishi Partner. Alle BEST OFFER Preise sind unverbindliche Nettopreise inkl. 8.0% MwSt. sowie inkl. Nippon Bonus und inkl. Cash Bonus. **** 2.9% Diamond Leasing:** gültig vom 1.7. bis 31.12.2011 (Immatrikulation), Vertragslaufzeit 48 Mt., Fahrleistung 10'000 km/Jahr, eff. Jahreszins 2.94%, Kaution 5% oder mind. CHF 1'000.–, Vollkasko obligat. Cash Bonus **nicht kumulierbar.** MultiLease AG gewährt keine Finanzierung, falls diese zu einer Überschuldung des Leasingnehmers führen kann. Normverbrauch Pajero 5-Door: ab 7.9 L/100 km, 209 g/km CO_2, Kategorie C. CO_2-Ausstoss: Durchschnitt aller Neuwagen in der Schweiz: 188 g/km. **www.mitsubishi-motors.ch** **www.multilease.ch**

Genial bis ins Detail.

MITSUBISHI MOTORS

Impressum

Volume 162 · 9 | 2011

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse
Rivista forestale svizzera
Swiss Forestry Journal

ISSN 0036-7818 (Print)
ISSN 2235-1469 (Internet)
http://www.forstverein.ch

Monatliche wissenschaftliche Zeitschrift des Schweizerischen Forstvereins

Journal scientifique mensuel de la Société forestière suisse

Rivista mensile scientifica della Società forestale svizzera

Monthly scientific journal by the Swiss Forestry Society

Herausgeber • Editeur • Publisher
Schweizerischer Forstverein, Geschäftsstelle, Postfach 316, CH-4402 Frenkendorf
Pierre Mollet, Leiter SZF

Redaktion • Rédaction • Editorial Office
Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Mythenstrasse 2, CH-8308 Illnau
Telefon +41 52 347 21 79, Fax 21 76, szf@forstverein.ch

Chefredaktorin • Rédactrice en chef • Editor in Chief
Barbara Allgaier Leuch

Richtlinien für Autoren • Directives pour les auteurs • Author Guidelines
http://www.forstverein.ch

Kontinuität: Paul Koller arbeitet seit 1983 als Feldmitarbeiter wiederholt für das Schweizerische Landesforstinventar. Foto: Beni Basler

Inhalt · Sommaire

273 EDITORIAL

273 *U.-B. Brändli*
30 Jahre Schweizerisches Landesforstinventar
L'Inventaire forestier national suisse a 30 ans

274 PERSPEKTIVEN · PERSPECTIVES

274 *P. Brassel*
Das Schweizerische Landesforstinventar – eine Bilanz (Essay)
282 *R. Häfner, U. Hug, R. Gordon, D. Bettelini, H. Hess*
Das Schweizerische Landesforstinventar aus Sicht einiger Kantone (Essay)

290 WISSEN · CONNAISSANCES

290 *K. Steinmann, C. Ginzler, A. Lanz*
Kombination von Landesforstinventar- und Fernerkundungsdaten für Kleingebietsschätzungen
300 *E. Kaufmann*
Nachhaltiges Holzproduktionspotenzial im Schweizer Wald
312 *U.-B. Brändli, M. Abegg, R. Bütler*
Lebensraum-Hotspots für saproxylische Arten mittels LFI-Daten erkennen
326 *P. Duc, U.-B. Brändli, F. Cioldi, A. Lanz, U. Ulmer*
Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald – methodische Überlegungen
337 *C. Ginzler, U.-B. Brändli, M. Hägeli*
Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre in der Schweiz
344 *C. Ginzler, L. Mathys, E. Thürig*
Die Baumbedeckung in der Schweiz

350 AKTUELL · ACTUALITÉS

350 Neuigkeiten · Nouvelles
351 Rezensionen · Recensions
353 Nekrologe · Nécrologie

Urs-Beat Brändli, Leiter des wissenschaftlichen Dienstes des Schweizerischen Landesforstinventars, war als Gastredaktor für die vorliegende Schwerpunktnummer verantwortlich.

Impressum

Ausschuss SZF • Commission SFS • Advisory Board
Pierre Mollet, Martin Hostettler, Hans R. Heinimann, Barbara Allgaier Leuch.

Beirat • Conseil de rédaction • Editorial Board
Martin Hostettler (Bern, Vorsitz), Peter Brang (Birmensdorf), Ika Darnhofer (Wien), Luuk Dorren (Grenoble), Marc Hanewinkel (Freiburg i.Br.), Bernhard Maier (Schruns), Daniel Mandallaz (Zürich), Christian Wilhelm (Chur), Susanne Winter (Freising).

Internetzugang • Accès internet • Internet Access
Allen Press, 810 East 10th Street, Lawrence, Kansas 66044-0368, USA

Abonnement • Abonnement • Subscription
Schweiz: CHF 175.–
International: EUR 130.–
Internet access for individual subscribers is free (starting volume: 150 [1|1999]).

Mitgliedschaft • Affiliation • Membership
Einzelmitglieder: CHF 150.– (EUR 115.–).
Kollektivmitglieder: CHF 300.– (EUR 230.–).
Familienmitglieder: CHF 225.– (EUR 170.–).
Studierende und Veteranen: CHF 75.– (EUR 58.–).
In der Mitgliedschaft sind das Abonnement und der Internetzugang inbegriffen.

Administration • Administration • Administration
Schweizerischer Forstverein, Administration, Postfach 13, CH-8808 Pfäffikon SZ
Telefon +41 55 420 22 93, Fax 22 90, admin@forstverein.ch

Druckerei • Imprimerie • Printing House
Stämpfli Publikationen AG, Wölflistrasse 1, Postfach 8326, CH-3001 Bern

Inserate • Annonces • Advertisements
Stämpfli Publikationen AG, Inseratemanagement, Wölflistrasse 1, Postfach 8326, CH-3001 Bern
Telefon +41 31 300 63 89, Fax 63 90, inserate@staempfli.com
1133 Exemplare (durchschnittlich verkaufte bzw. abonnierte Auflage, notariell beglaubigt).
Anzeigenschluss: jeweils am 15. des Vormonates oder nach Vereinbarung.
Erscheinungsdatum: jeweils am 3. des Monates.
Weitere Einzelheiten siehe www.forstverein.ch.

Finanzielle Unterstützung • Soutien financier • Financial Support
Die Zeitschrift wird finanziell unterstützt durch das Bundesamt für Umwelt (Bafu), die Schweizerische Akademie für Naturwissenschaften (SCNAT), die Kantone sowie den Selbsthilfefonds der Schweizerischen Wald- und Holzwirtschaft (SHF).

This journal is covered by AGRIS, CAB Abstracts, ELFIS and Swiss Wildlife Information Service (SWIS), Wildlife & Ecology Studies Worldwide.

www.forstverein.ch

Ziele und Ausrichtung
Buts et orientation
Aims and Scope

Ziele und Ausrichtung
Die SZF publiziert wissenschaftlich verfasste Beiträge über Entwicklung, Nutzung und Schutz von Wald. Sie druckt auch Beiträge über Landschaft, Naturgefahren oder Gesellschaft ab, welche einen Bezug zum Wald aufweisen. Beim Leserkreis, bei der Autorenschaft und bei der geografischen Fokussierung der eingereichten Beiträge strebt sie einen mitteleuropäischen Schwerpunkt an.
Die SZF richtet sich in erster Linie an Absolventinnen und Absolventen von Hochschulen und Fachhochschulen, die sich beruflich mit Wald und Landschaft auseinandersetzen. Sie sieht ihre Rolle in der Wissensvermittlung und als Bindeglied zwischen Forschern und Anwendern. Deshalb positioniert sie sich zwischen den englischsprachigen internationalen Zeitschriften für Wissenschaftler und den Magazinen für die forstlichen Praktiker.
Die SZF gliedert sich in die drei Rubriken Perspektiven, Wissen und Aktuell. Sie publiziert in deutscher und französischer Sprache, ausnahmsweise werden auch englische oder italienische Aufsätze angenommen. Die Manuskripte in den Rubriken Perspektiven und Wissen durchlaufen in der Regel ein auf den eingereichten Beitrag abgestimmtes, formelles Reviewverfahren. Einzelheiten sind der Website des Schweizerischen Forstvereins (www.forstverein.ch) zu entnehmen. Für diesen ist die SZF gleichzeitig das offizielle Vereinsorgan.

Buts et orientation
Le JFS publie des articles scientifiques sur le développement, l'exploitation et la protection de la forêt. Il inclut également des articles sur le paysage, les dangers naturels ou la société, dans la mesure où ils ont une relation avec la forêt. Il vise en priorité l'Europe centrale en ce qui concerne les lecteurs, les auteurs et la focalisation géographique.
Le JFS s'adresse principalement aux diplômés des hautes écoles et hautes écoles spécialisées dont l'activité professionnelle est liée à la forêt et au paysage. Son rôle est de diffuser des connaissances et de servir de lien entre les chercheurs et les praticiens. C'est pourquoi il se situe entre les journaux scientifiques internationaux de langue anglaise et les magazines destinés aux praticiens forestiers.
Le JFS se compose de trois rubriques: Perspectives, Connaissances et Actualités. Il est publié en allemand et en français et comprend aussi, exceptionnellement, des articles en anglais et en italien. Les manuscrits des rubriques Perspectives et Connaissances sont en général soumis à l'appréciation formelle et ciblée d'un comité de lecture. Vous trouverez davantage de détails sur le site de la Société forestière suisse (www.forstverein.ch) dont le JFS est aussi l'organe officiel.

Auflösung Fotowettbewerb 5. Serie

Mit diesem Bild hat Roli Bösch aus Abtwil die fünfte Serie des Fotowettbewerbs des Schweizerischen Forstvereins gewonnen. Es wird für die neue Postkartenserie, die am Schluss des Wettbewerbs gedruckt und zum Verkauf angeboten wird, verwendet. Als Preis erhält R. Bösch zwei Kinogutscheine.

Der Wettbewerb geht weiter
Einsendeschluss für die sechste Prämierung ist der 10. Oktober 2011. Bitte beachten Sie die Teilnahmebedingungen auf www.forstverein.ch. Bilder mit einer Auflösung von weniger als 300 dpi bei einer Grösse von 25 × 17 cm können nicht berücksichtigt werden. ■

30 Jahre Schweizerisches Landesforstinventar
L'Inventaire forestier national suisse a 30 ans

Urs-Beat Brändli Wissenschaftlicher Dienst LFI, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Am 12. August 1981 beschloss der Bundesrat die erstmalige Durchführung eines Schweizerischen Landesforstinventars (LFI), ein Projekt des Bundesamtes für Umwelt und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Derzeit läuft bereits die vierte Erhebung. Das LFI ist in Politik, Forschung und Praxis als das Referenzsystem zur Beurteilung von Zustand und Entwicklung des Schweizer Waldes etabliert. Ein Leben ohne LFI ist kaum mehr vorstellbar. Das LFI ist zu einer Informationsquelle geworden, die, würde sie versiegen, auf allen Ebenen zu massiven Wissensdefiziten führte. Immer mehr Nutzerinnen und Nutzer zählen auf diesen Daten- und Informationsschatz. Die Verantwortung der LFI-Entscheidungsträger wächst mit jedem Jahr. Die Balance zwischen Kontinuität und Innovation wird zusehends zur Gratwanderung.

Wir nehmen das 30-Jahr-Jubiläum zum Anlass, über das Erreichte nachzudenken und neue Möglichkeiten und Chancen in der Entwicklung und Anwendung des LFI aufzuzeigen. In ihren Essays beleuchten der ehemalige Projektleiter Peter Brassel und kantonale Spezialisten der Waldplanung und -inventur das LFI von innen und aussen. Sie dokumentieren die Bedeutung des LFI und die wichtigsten Entwicklungen. Dass dabei der Wechsel von einer periodischen zu einer kontinuierlichen Erhebung diametral verschieden gewertet wird, verdeutlicht die Problematik von Systemänderungen.

Die sechs Artikel in der Rubrik «Wissen» zeugen von der thematischen und methodischen Breite des LFI. Wir stellen vor, wie sich die Schätzgenauigkeit für kleine Gebiete verbessern lässt. Zu den Holzressourcen ermitteln wir das nachhaltige Nutzungspotenzial. Unter dem Thema «Vielfalt» präsentieren wir, dass das LFI wichtige (Karten-)Grundlagen bieten kann und dass verschiedene Indikatoren ähnliche Trends zeigen. Anhand von historischen Karten verfolgen wir die Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre, und mit Luftbildern schätzen wir die aktuelle Bedeckung der Schweiz mit Bäumen – inner- und ausserhalb des Waldes. Wir wünschen viel Vergnügen beim Ausloten der Möglichkeiten und Grenzen des LFI. ■

Le Conseil fédéral a décidé le 12 août 1981 de réaliser le premier Inventaire forestier national suisse (IFN), un projet de l'Office fédéral de l'environnement et de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL). Nous relevons actuellement le quatrième inventaire. L'IFN constitue pour la politique, la recherche et la pratique, l'instrument de référence pour évaluer l'état et l'évolution de la forêt suisse. L'IFN est devenu indispensable et représente une source d'informations sans laquelle on constaterait de grosses lacunes à tous les niveaux. Le nombre d'utilisateurs de cette mine de données et d'informations ne fait que croître. La responsabilité des décideurs de l'IFN grandit chaque année, et il devient toujours plus difficile de trouver un équilibre entre continuité et innovation.

Nous profitons de ces 30 ans pour réfléchir de manière critique aux résultats et pour montrer de nouvelles possibilités de développement et d'utilisation de l'IFN. Dans leurs essais, Peter Brassel, ancien chef de projet, et les spécialistes cantonaux de la planification forestière et des inventaires vont donner leurs divers points de vue sur l'IFN. Ils documentent l'importance et les principales évolutions de l'IFN. La transition de l'inventaire périodique à l'inventaire permanent est évaluée de manière diamétralement opposée, illustrant la problématique du changement de système.

Les six articles de la rubrique «Connaissances» témoignent de l'amplitude des thèmes et méthodes de l'IFN. Nous présentons l'amélioration de la précision des résultats pour les petits territoires et l'établissement du potentiel d'exploitation durable pour la ressource bois. Dans le thème «diversité», nous montrons les bases (cartographiques) qu'offre l'IFN et différents indicateurs avec des tendances analogues. Nous suivons sur les cartes historiques le développement de la surface forestière des 120 dernières années et nous évaluons sur les photos aériennes la couverture actuelle en arbres de la Suisse, en forêt et hors forêt. Prenez plaisir à découvrir les diverses possibilités et limites de l'IFN. ■

Das Schweizerische Landesforstinventar – eine Bilanz (Essay)

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

Switzerland's National Forest Inventory – review and outlook (essay)

The idea of carrying out a national forest inventory in Switzerland was first raised in the 1950s. It had become increasingly evident that such an inventory was lacking as a basis for evaluating the state of the forest in the whole country. But it was not until 1970 that this idea took concrete shape. And it took another ten years for the Swiss government to agree to the first inventory taking place. From the start, the National Forest Inventory (NFI) was a joint project of the Swiss federal administration and the Swiss Federal Research Institute WSL. It has now established itself as an objective source of information about the Swiss forest. On the national level, it is today the most important instrument for monitoring the sustainability of the management of Swiss forests, and it yields the main data needed for international reports on forests. The success of the NFI is at least partly due to the fact that it has met with widespread support from both the Swiss authorities and scientists. The NFI has, over the past 30 years, continuously developed both methodologically and in terms of content. Thus the first NFI's data catalogue was expanded to include, for example, numerous ecological parameters. Currently the fourth NFI is underway. It will mark the transition from a periodic to a continuous inventory. In the future, the survey results will be published roughly every three years. Reducing the intervals between inventories will, however, be associated with higher estimation errors. On the other hand, interesting new applications can be expected in remote sensing, as well as improved models of future forest development. Some new methods seem promising, like the so-called "small area estimation", which enables conclusions to be drawn about relatively small areas. However, if the NFI is to continue to perform its tasks adequately in future, it must receive sufficient funding.

Keywords: national forest inventory, inventory methods, history, organization, cooperation between science and administration
doi: 10.3188/szf.2011.0274

* Weidstrasse 12, CH-8803 Rüschlikon, E-Mail peter.brassel@wsl.ch

Verlässliche Informationen sind Voraussetzung für sachgerechte Entscheidungen in der Verwaltung sowie in Politik und Wirtschaft. Was den Zustand und die Entwicklung des Waldes betrifft, so stellt das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) diesbezüglich die wichtigste Informationsgrundlage auf Bundesebene dar. Im vorliegenden Artikel werden die wichtigsten Etappen des LFI von den Anfängen um 1970 bis heute aus der Sicht des ehemaligen Projektleiters LFI aufgezeigt. Die kürzlich erfolgte Umstellung von einer periodischen Datenerhebung in 10-Jahres-Abständen zu einem kontinuierlichen Aufnahmemodus sowie die damit verbundenen Folgen werden diskutiert. Zur Sprache kommen sodann mögliche künftige Entwicklungen des LFI und zu bewältigende Herausforderungen wie etwa eine langfristig gesicherte Finanzierung.

Der lange Weg zu einer nationalen Waldinventur

Zahlreiche europäische Länder verfügten um 1960 bereits über nationale Walderhebungen. Eine Vorreiterrolle kam den skandinavischen Ländern zu, die bereits in den 1920er-Jahren umfassende Forstinventuren durchgeführt hatten. In den 1950er-Jahren folgten mit Frankreich und Österreich zwei Nachbarländer der Schweiz. Eine eigentliche Geburtsstunde des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI) lässt sich nicht ausmachen. Vielmehr war es ein langer Prozess gewesen, der schliesslich in eine nationale Waldinventur mündete. Schon in den 1950er-Jahren kam die Idee einer nationalen Erhebung auf (Kurt 1957). Die Informationen über den Schweizer Wald waren sehr heterogen und unvoll-

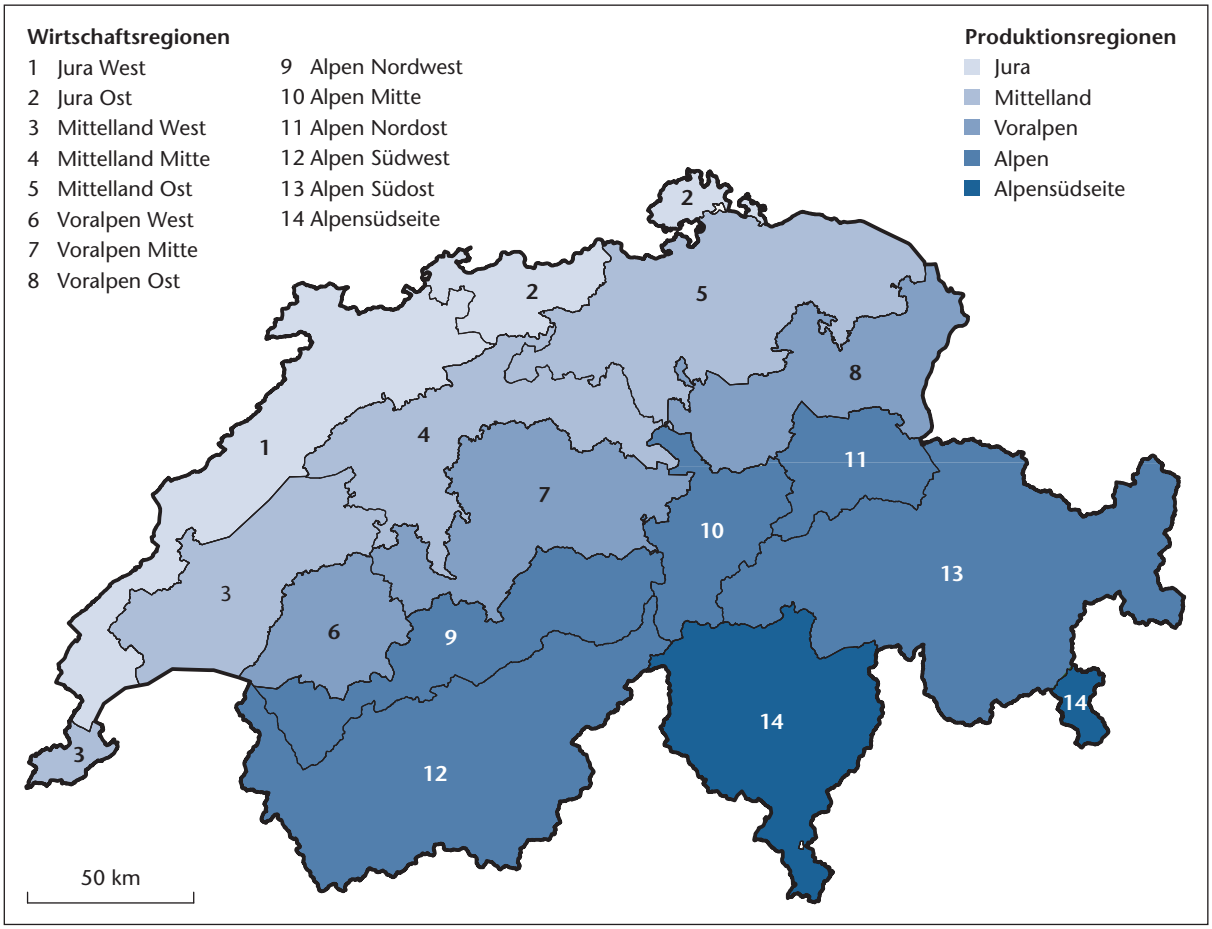


Abb 1 *Produktions- und Wirtschaftsregionen im LFI.*

ständig, sodass eine umfassende landesweite Beurteilung des Zustandes des Waldes nicht möglich war.

Mit seiner Rede vor den kantonalen Forstdirektoren lancierte Alfred Kurt, Professor an der ETH Zürich, die Idee einer nationalen Waldinventur in der Schweiz erneut (Kurt 1967). Er machte konkrete Vorschläge, was für den weiteren Verlauf wichtig war. Wenig später begann die damalige Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen (EAFV) mit den methodischen Vorarbeiten für ein nationales Waldinventar. Die Gründung der Abteilung Landesforstinventar an der EAFV im Jahr 1973 war ein klares Bekenntnis, eine solche Erhebung nun auch wirklich zu realisieren.

Die Idee einer landesweiten Waldinventur war zu Beginn umstritten. Der ursprüngliche Plan sah vor, die Kantone nacheinander zu inventarisieren und die einzelnen Erhebungen am Schluss zu einer nationalen Inventur zusammenzufügen. Die Kantone hätten sich an der Datenerfassung finanziell beteiligen müssen. Diese Idee wurde nach intensiven Diskussionen fallen gelassen. Stattdessen wurde eine landesweite Inventur mit den primären Aussageeinheiten Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite favorisiert. Im LFI werden diese geografischen Einheiten als Produktionsregionen bezeichnet (Abbildung 1).

1981 beschloss der Bundesrat die Durchführung des ersten LFI und stellte die erforderlichen Mittel zur Verfügung. Die Erhebungen im Feld begannen 1983 und dauerten bis 1985; die Ergebnisse wurden 1988 in Buchform publiziert (Mahrer et al 1988).

Breite Abstützung in Verwaltung und Wissenschaft

Das LFI ist seit Beginn ein gemeinsames Projekt der Bundesverwaltung und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Die Rollenteilung ist klar festgelegt und hat sich bewährt: Die WSL ist für die Methoden und die wissenschaftliche Interpretation verantwortlich, während das Bundesamt für Umwelt (Bafu) für die politische Interpretation und deren Umsetzung zuständig ist.

Dank der Verankerung an der WSL profitiert das LFI vom wissenschaftlichen und vom internationalen Umfeld. Neue Erkenntnisse aus der Forschung können rasch übernommen werden. Weil die Anforderungen an die Inventur sich stetig wandeln und die technischen Möglichkeiten sich laufend verbessern, kann das LFI nur mit den neuesten Methoden und Technologien seine Aufgaben optimal erfüllen. Dies betrifft alle am LFI beteiligten Disziplinen wie Inventurdesign, Fernerkundung, Feldaufnahmen, Datenbanken, Statistik und Modellierung.

Da es sich beim LFI um ein gemeinsames Projekt handelt, werden auch die Kosten geteilt. Seit Be-

ginn trägt die WSL mehr als die Hälfte der Gesamtkosten. Ohne die Eigenleistungen der WSL wäre das LFI nicht realisierbar. Während die finanziellen Beiträge der Bundesverwaltung für die Durchführung des LFI bis 2007 durch den Bundesrat beschlossen wurden, sind die laufende Phase 2008 bis 2011 und die bewilligte Phase 2012 bis 2015 mit regulären Bafu-Mitteln finanziert (Tabelle 1).

Das LFI geniesst an der WSL eine Sonderstellung. Dennoch gelten dieselben Leistungsindikatoren wie für alle anderen Forschungseinheiten. Diese Dualität führt zwangsläufig zu Prioritätskonflikten zwischen der Erbringung von wissenschaftlichen Leistungen und der Bereitstellung von Grundlagen für die Wald- und Umweltpolitik. In detaillierten Leistungsvereinbarungen mit dem Bafu wird dieser Problematik jedoch Rechnung getragen.

Stellenwert und Bedeutung des LFI

Das LFI hat sich als objektive Basis für Informationen über den Schweizer Wald etabliert. Es ist heute das wichtigste Instrument zur Kontrolle der nachhaltigen Waldbewirtschaftung auf nationaler Ebene. Nach Abschluss der zweiten Erhebung 1999 wurde das LFI hinsichtlich Kosten, Nutzen und Zielerreichung überprüft. Diese Wirkungsanalyse ergab, dass «das LFI und dessen Umsetzungsprodukte für forstliche Kreise in bestimmten Arbeitsbereichen zu einer unverzichtbaren Grundlage geworden sind» und eine «hohe Zufriedenheit bei den Nutzer/-innen» auslösen (Bättig et al 2002).

Die Ergebnisberichte waren bisher die wichtigsten Produkte des LFI (Mahrer et al 1988, Brassel & Brändli 1999, Brändli 2010). Mit diesen werden der Waldzustand und seine Veränderungen detailliert dargestellt und kommentiert. Seit einiger Zeit werden immer mehr Informationen auch im Internet zugänglich gemacht. Ein weiteres wichtiges Umsetzungsprodukt sind die Auswertungen auf Anfrage. Für spezifische Fragestellungen aus Verwaltung, Forschung und Praxis werden die LFI-Daten analysiert. Seit dem ersten LFI sind zahlreiche solcher Dienstleistungsauswertungen erstellt worden. Fünf Kantone haben sich für eine Verdichtung des LFI-Netzes entschieden. Bis 2008 konnten sie dabei die Daten der nationalen Inventur verwenden, nach eigenem Bedarf mit kantonalen Inventuren ergänzen und so die verbleibenden Kosten für die Ergänzung vergleichsweise niedrig halten.

Die Ergebnisse des LFI finden Eingang in die nationale Wald- und Umweltberichterstattung (Buwal & WSL 2005). Das LFI liefert darüber hinaus den grössten Teil der für die internationale Waldberichterstattung benötigten Informationen, etwa für das weltweite Forest Resources Assessment der Welternährungsorganisation (FAO 2006, FAO 2010) oder die europäischen Waldberichte von Forest Europe (MCPFE 2007). Dank dem Engagement von Mitarbeitenden des LFI in internationalen Expertengremien geniesst das LFI auch international eine gute Reputation.

Abb 2 *Die Auszählung, Beurteilung und Vermessung des Nachwuchses, die sogenannte Jungwalderhebung, wurde seit dem LFI1 laufend weiterentwickelt.* Foto: B. Basler

Vom LFI1 zum LFI4

Für die erste Erhebung (1983–1985) wurde über den ganzen Wald ein 1-km-Netz gelegt. Dies ergab rund 12 000 Stichprobeflächen, wobei jede dieser Aufnahmen 1 km² Wald repräsentierte (Mahrer et al 1988). Oft wird die Meinung vertreten, beim LFI1 habe es sich um eine primär forstliche Erhebung gehandelt, wobei die Holzproduktion und die Ermittlung des Vorrates im Vordergrund gestanden hätten (Abbildung 2). Doch das LFI wurde bereits von allem Anfang an als kombinierte Mehrzweckinventur konzipiert. Insbesondere die Waldfunktionen waren bereits ein wichtiges Thema. Der Naturschutz war bei der ersten Erhebung allerdings vergleichsweise schwach berücksichtigt.

Während der Durchführung des LFI1 wurde das Waldsterben aktuell. 1984 erfolgte die erste Waldschadeninventur (WSI), und der Phytosanitäre Beobachtungs- und Meldedienst (PBMD, heute Waldschutz Schweiz) wurde reaktiviert. 1985 fand die WSI erstmals auf den Probeflächen des LFI statt. In der Folge wurden LFI, WSI, PBMD und die Langfristige Waldökosystemforschung (LWF) zusammengefasst, und weil die vorhandenen Mittel geteilt werden mussten, konnte das LFI2 nicht im ursprünglich vorgesehenen Umfang realisiert werden. Dies hatte zur Folge, dass eine vollständige Wiederholung des LFI1 nicht möglich war und eine Ausdünnung des Stichprobennetzes vorgenommen werden musste.

	LFI 1	LFI 2	LFI 3	LFI 4
Entscheid für Durchführung	1981 (Bundesrat)	1991 (Bundesrat)	2002 (Bundesrat)	2007 (Bafu/WSL/Projektoberleitung LFI)
Erhebungen auf Stichproben	1983–1985	1993–1995	2004–2006	2009–2017
Publikation der Ergebnisse	1988	1999	2010	Alle drei Jahre, erstmals 2012

Tab 1 *Zeitlicher Ablauf LFI1 bis LFI4.*

Die Ergebnisse der Zweitaufnahme (1993–1995) beinhalteten neben dem neuen Waldzustand auch den Zuwachs und die Abgänge sowie die Veränderungen seit der Erstaufnahme. Das LFI2 dokumentierte somit erstmals die grosse Differenz zwischen Zuwachs und Nutzung im Schweizer Wald (Brassel & Brändli 1999). Der Datenkatalog wurde zudem um zahlreiche ökologische Merkmale erweitert. Die mit den Aufnahmen betrauten Teams erfassten unter anderem erstmals auch den Aufbau des Waldrandes sowie die dort vorkommenden Baumarten.

Die nach Abschluss des LFI2 durchgeführte Analyse des Informationsbedarfes (Bättig et al 2002) bildete die Grundlage für das Konzept zur dritten Erhebung. Die angestrebte Rückkehr zum Stichprobennetz des LFI1 wurde jedoch abgelehnt. Der Bundesrat bewilligte lediglich eine Wiederholung des LFI2. Der Merkmalskatalog der terrestrischen Erhebung konnte jedoch noch einmal erweitert werden. So wurde neu der Gebüschwald terrestrisch erfasst, und es wurden Informationen zu Totholz, holzabbauenden Pilzen, Flechten und Bodenschäden erhoben. Die Umfrage beim Forstdienst war wesentlich umfangreicher als in den ersten beiden Erhebungen. Dies widerspiegelt sich in den präsentierten Ergebnissen, welche zu rund einem Drittel der Befragung der Revierförster zu verdanken sind. Nicht realisiert werden konnten jedoch die ursprünglich vorgesehene Erhebung im Schutzwald sowie jene der Bodenvegetation. Mit der Publikation der Ergebnisse fand die dritte Erhebung 2010 ihren erfolgreichen Abschluss (Brändli 2010).

Die Erhebungen zum LFI4 sind bereits angelaufen; dessen Abschluss ist für das Jahr 2020 geplant. Auf die in jüngster Zeit vorgenommenen Änderungen (z.B. Inventurmodus) wird in einem eigenen Kapitel eingegangen.

Ausgewählte Aspekte zur Erhebungsmethode

Die Methoden des LFI sind im Rahmen des LFI2 ausführlich dokumentiert (Brassel & Lischke 2001). Daher sollen hier nur einige ausgewählte Aspekte thematisiert werden, die immer wieder Anlass zu Diskussionen gaben.

Reduktion der terrestrischen Probeflächen

Im LFI1 konnten rund 12 000 Probeflächen terrestrisch untersucht werden. Mit dem LFI2 war eine Reduktion der Anzahl Probeflächen auf die Hälfte verbunden. Das ursprüngliche 1-km-Netz wurde auf eines mit einer Maschenweite von 1.4 km ausgeweitet. Der dem LFI zugrunde liegende Stichprobenplan konnte aber beibehalten werden. Die Gitterpunkte des 1.4-km-Netzes fallen mit denjenigen des 1-km-Netzes zusammen, weil die Gitterlinien gegenüber dem ursprünglichen Netz um 45 Grad gedreht wurden (Abbildung 3).

Dank der Verdichtung des Luftbildnetzes und verbesserten statistischen Methoden, dem sogenannten «Double Sampling for Stratification», konnte der Schätzfehler bei den Zielgrössen Waldfläche und Gesamtvorrat für die ganze Schweiz und die fünf Produktionsregionen auf dem Niveau des LFI1 gehalten werden. Für kleinere Auswertungseinheiten erwies sich die reduzierte räumliche Auflösung aber als grosser Nachteil. So waren beispielsweise Aussagen zu den Vorratsveränderungen der Hauptbaumarten oder zu den 14 Wirtschaftsregionen nicht mehr möglich, weil die Schätzfehler zu hoch waren. Auch für andere wichtige Fragestellungen, etwa zu den Wildschäden, hat die statistische Aussagekraft des LFI2 abgenommen.

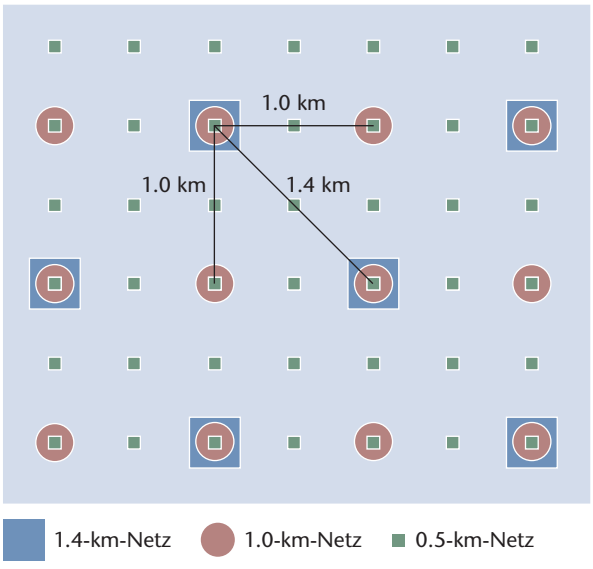


Abb 3 *Stichprobennetze beim LFI.*

Markierung der Stichproben im Wald

Immer wieder zu reden gab die Frage, ob die Stichproben im Wald dauerhaft markiert werden sollten. Für den Statistiker ist eine Markierung eigentlich nicht tolerierbar, weil dadurch die Bewirtschaftung beeinflusst werden könnte. Trotzdem wurden die Stichproben markiert, damit sie auch im schwierigen Gelände wieder gefunden werden können. Ein zusätzliches, neu angelegtes Netz mit 700 Stichproben, die gleichzeitig mit den Daten für

das LFI2 erhoben wurden, konnte keine Beeinflussung der Bewirtschaftung nachweisen (Traub 2001). Die Problematik wird künftig an Bedeutung verlieren. Zum einen wird es mit GPS künftig immer einfacher, bestimmte Punkte im Gelände wiederzufinden. Zum anderen wird im LFI4 eine neue Versicherungsmethode angewendet, sodass sich die blauen LFI-Markierungen künftig erübrigen und bereits im LFI4 zumeist entfernt werden.

Lagegenauigkeit

Luftbilder spielen seit Beginn des LFI eine wichtige Rolle. Sie sind unentbehrlich für den Wald-Nichtwald-Entscheid und somit für die Bestimmung der Waldfläche sowie für die Einmessung der Probeflächen. Ein Problem ist jedoch, dass die Lage der terrestrischen Probeflächen mit den Luftbildern nicht genau übereinstimmt. Die Luftbildinterpretation erfolgt nämlich auf den theoretischen Koordinaten, von denen die effektive terrestrische Lage in der Grössenordnung von einigen Metern abweicht. Die Lage der terrestrischen Stichprobenzentren ist

Abb 4 *Im LFI4 werden erstmals die Lagekoordinaten der Probeflächen mittels GPS ermittelt.* Foto: B. Basler

nicht genau bekannt, weil die Fixpunkte für die Einmessung beim LFI1 nicht exakt bestimmt und die verfügbaren einfachen Geräte (Bussole, Messband, Clisimeter) relativ ungenau waren. Im LFI4 werden nun die Koordinaten der Probeflächen mit GPS-Geräten genau bestimmt (Abbildung 4). Die Kompensation der Lagefehler ist für bestimmte Anwendungen unabdingbar.

Durchführung der Aufnahmen

Mit der Datenqualität steht und fällt die Aussagekraft der Inventur. Der Qualitätssicherung wird deshalb von jeher grosses Gewicht beigemessen. Wichtig sind präzise Aufnahmeanleitungen, sodass die Aufnahmegruppen in der Lage sind, die Ansprachen und Messungen nachvollziehbar durchzuführen. Rund 10 Prozent der Probeflächen werden ein zweites Mal unabhängig von der Erstaufnahme erfasst. Dank diesen Zweitaufnahmen (die jedoch nicht für Korrekturen verwendet werden) können die Reproduzierbarkeit der Ansprachen und Messungen quantifiziert und systematische Abweichungen aufgedeckt werden.

Die Auslagerung der Feldaufnahmen an Unternehmer und Freierwerbende war seit Beginn des LFI ein Diskussionsthema. Eine Anstellung der Aufnahmegruppen an der WSL hat aus Sicht der LFI-Leitung gegenüber einer Fremdvergabe jedoch erhebliche Vorteile. So ist etwa die Flexibilität grösser, weil der Merkmalskatalog nicht definitiv festgelegt werden muss, wie dies für eine Ausschreibung nötig wäre. Die Datenqualität ist dank regelmässigen Instruktionen und Trainings hoch. Zudem ist kein Aufwand für die Ausschreibung und die Kontrolle von externen Aufträgen erforderlich.

Datenbank

Die Datenerhebung im Wald ist zweifellos ein wichtiger Teil des LFI. Doch nur etwa ein Drittel des Gesamtaufwandes wird für die Felderhebungen und Luftbildauswertungen eingesetzt. Zwei Drittel des Gesamtaufwandes sind sogenannte «Systemkosten». Dazu zählen die Entwicklung der Methoden und der Datenbank, die Aufbereitung und Auswertung der erhobenen Daten sowie die Umsetzung und Organisation des gesamten Projektes.

Die Datenbank steht bei allen Aktivitäten im Zentrum. Während im LFI1 ein einfaches Filesystem ausreichte, musste bereits für das LFI2 und insbesondere für das LFI3 eine komplexe Datenbank entwickelt werden. Die langfristige Datenhaltung stellt hohe Anforderungen an die Datenkonsistenz, Dokumentation und Reproduzierbarkeit. Die Struktur und die Inhalte der Datenbank müssen vollständig dokumentiert werden, damit diese auch in Zukunft verstanden und verwendet werden kann. Die Weiterentwicklung und der Unterhalt der LFI-Datenbank sind unabdingbare Voraussetzung für den weiteren Erfolg der Inventur.

Umstellung auf eine kontinuierliche Erhebung im LFI4

Die grösste Änderung, die im Hinblick auf die bereits angelaufene vierte Erhebung vorgenommen wurde, betrifft den Inventurmodus. Bisher wurden die Erhebungen periodisch alle zehn Jahre durchgeführt. Diese dauerten jeweils drei Jahre. Anschliessend wurden die Daten ausgewertet und publiziert. Die Nachteile dieser 10-Jahres-Perioden waren die geringe Aktualität der Ergebnisse, die eingeschränkte

Abb 5 *Trotz den methodischen Entwicklungen und modernen Fernerkundungsmethoden bleibt der terrestrisch erhobene Baumdurchmesser die wichtigste und genaueste Messgrösse des LFI.* Foto: B. Basler

Flexibilität, der wiederholte Auf- und Abbau der Infrastruktur, der Abgang von Fachleuten am Ende der Erhebungsperioden und der damit verbundene Wissensverlust sowie die Finanzierung, die für jede Inventur neu gesichert werden musste.

Aus diesen Gründen entschied die LFI-Leitung mit Rückendeckung der Direktionen der WSL und des Bafu, die Erhebungen künftig kontinuierlich durchzuführen. Seit 2009 werden jährlich rund 700 Probeflächen aufgenommen. Damit können theoretisch ab 2010 jährliche Aussagen über den Waldzustand für die ganze Schweiz gemacht werden. Für die nationalen und internationalen Berichterstattungen ist dies ein Vorteil. Für hinreichend genaue Aussagen über Veränderungen im Wald reichen 700 Probeflächen jedoch nicht aus. Die ersten Ergebnisse zum LFI4 werden deshalb die drei Erhebungsjahre 2009 bis 2011 zusammenfassen. Damit werden Aussagen für das ganze Land und für die Produktionsregionen Jura, Mittelland, Voralpen, Alpen und Alpensüdseite möglich. Verglichen mit dem LFI3 werden jedoch fast doppelt so grosse Schätzfehler erwartet. Durch die kontinuierliche Erhebung wird die Aufbereitung und Auswertung der Daten wesentlich komplexer. Auch mit den Kantonen, die bisher das LFI mit eigenen Inventuren ergänzten, müssen neue Lösungen gefunden werden.

Künftige Entwicklungen und Herausforderungen

Fernerkundung

Die Bedeutung der Fernerkundung wird weiter zunehmen. Interessante neue Anwendungen sind insbesondere bei der Modellierung von Waldzuständen und Entwicklungen mit kombinierten Daten aus Fernerkundung und terrestrischen Erhebungen zu erwarten (Abbildung 5). Entscheidend für viele Anwendungen ist dabei die Lagegenauigkeit der terrestrischen Probeflächen. Die Übereinstimmung von Luftbild und terrestrischer Stichprobe ist beispielsweise Voraussetzung für die Schätzung des Vorrates anhand von Luftbildern. Die jährliche Ermittlung des Vorrates wäre vor allem im Hinblick auf die Berichterstattung zuhanden des Kyoto-Protokolls sehr hilfreich, weil sich die Schweiz verpflichtet hat, die biologischen Kohlenstoffsenken auszuweisen.

Kleingebietsschätzung

Eine vielversprechende Anwendung ist die sogenannte Kleingebietsschätzung. Infolge der Reduktion der Anzahl der Stichproben sind viele Aussagen nur noch für die fünf Produktionsregionen möglich. Es wird deshalb nach Wegen gesucht, um diesen Mangel mindestens teilweise zu kompensieren und

auch für kleinere Aussageeinheiten akzeptable Ergebnisse zu erhalten. Eine Möglichkeit besteht darin, auf Hilfsvariablen zurückzugreifen, die mit den zu schätzenden Zielvariablen gut korrelieren. Die Hilfsvariablen werden dabei oft aus Fernerkundungsdaten generiert. Somit ist es denkbar, künftig auch für kleinere Aussageeinheiten, etwa kleine Kantone, Aussagen machen zu können (Steinmann et al 2011, dieses Heft).

Modellierung

Mit der Umstellung auf die kontinuierliche Erhebung beim LFI wird die Modellierung zusätzliche Bedeutung erlangen. Im Vordergrund steht hier die Entwicklung von Waldentwicklungsmodellen. Weil künftig jedes Jahr lediglich ein Neuntel der Stichproben verteilt auf die ganze Schweiz aufgenommen wird, wäre es nützlich, wenn die jeweils nicht besuchten Stichproben mithilfe eines Modells «aktualisiert» werden könnten. Diese Aktualisierung ist komplex und wird sich einerseits auf Wachstumssimulationen und andererseits auf aktuelle Fernerkundungsdaten sowie andere externe Datenquellen stützen. Die Fortschreibung der nicht besuchten Probeflächen ist ein Forschungsschwerpunkt, der in Zukunft unbedingt aufgegriffen werden sollte.

Auch für eine jährliche Abschätzung der Kohlenstoffspeicherung (Treibhausgasinventar) im Nichtwaldareal sind Modelle eine wichtige Voraussetzung. Mithilfe von einmalig terrestrisch erfassten Parametern für die Bestimmung des Vorrates von Einzelbäumen und Kleingehölzen sowie mit Messgrössen aus aktuellen Luftbildern können die Vorräte und deren Veränderungen genauer abgeschätzt werden, als dies derzeit anhand der Daten der Arealstatistik möglich ist. Die Beschaffung solcher Grundlagen und die Entwicklung entsprechender Modelle sind weitere Forschungsthemen für die Zukunft.

Umsetzung und Kommunikation

Die Umsetzung, das heisst die Nutzbarmachung der gewonnenen Daten und Ergebnisse, hat seit Beginn des LFI einen hohen Stellenwert. Das LFI stellt einen eigentlichen Datenschatz dar. Das Internet bietet neue Möglichkeiten für eine benutzerorientierte Darstellung der Ergebnisse. Diese sind auszuschöpfen, denn auf diesem Weg können auch neue, bisher noch nicht erreichte Zielgruppen angesprochen werden.

Finanzierung

Damit das LFI auch in Zukunft seine Aufgaben vollumfänglich erfüllen kann, muss jedoch die Finanzierung langfristig sichergestellt werden. Das LFI ist als permanentes Beobachtungssystem angelegt, dessen Wert und Informationsgehalt mit jedem weiteren Inventurumgang gesteigert werden. Doch auch 30 Jahre nach dem Start der ersten Erhebung verfügt das LFI über keine solide finanzielle Basis. Mit dem Wechsel zum kontinuierlichen Inventurmodus sollte eigentlich auch die Finanzierung langfristig gewährleistet werden. Doch dieses Ziel wurde bisher noch nicht erreicht.

Schlussbemerkungen

In Zukunft ist eine weltweite Verknappung des Rohstoffs Holz zu erwarten. Dies hat Auswirkungen auf die Waldökosysteme. Auch wenn der Schweizer Wald heute noch nicht akut davon betroffen ist, so wird der Druck auf den Wald auch hierzulande zunehmen. Deshalb wird die Bedeutung von fundierten Informationen in der Schweiz und weltweit zunehmen.

In der Schweiz stehen gegenwärtig die unterschiedlichen Ansprüche an den Wald im Vordergrund. Mit dem LFI steht der Politik und Verwaltung eine zuverlässige Informationsgrundlage für ihre Entscheide zur Verfügung. Ein Vorhaben wie das LFI kostet Geld. Doch das Geld ist gut investiert. Denn das LFI liefert nicht nur unverzichtbare Informationen für die Waldwirtschaft. Es liefert vor allem auch solide Daten, die notwendig sind, um die Wirksamkeit von Massnahmen sowie die Verwendung finanzieller Mittel zu überprüfen. Für die Waldpolitik und die nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes ist das LFI deshalb unverzichtbar. ■

Eingereicht: 28. März 2011, akzeptiert (ohne Review): 29. April 2011

Dank

Das LFI ist eine Erfolgsgeschichte, auch wenn nicht immer alle Ziele erreicht und alle Anforderungen vollumfänglich erfüllt werden konnten. Diese Erfolgsgeschichte kann nur fortgeschrieben werden, wenn auch in Zukunft alle Beteiligten mit grossem persönlichem Engagement hinter diesem Projekt stehen. Als ehemaliger Leiter der Forschungseinheit Landressourcenbeurteilung und des LFI möchte ich allen Personen, die zum Erfolg des LFI beigetragen haben, meinen grossen Respekt und Dank aussprechen.

Literatur

BÄTTIG C, BÄCHTIGER C, BERNASCONI A, BRÄNDLI UB, BRASSEL P (2002) Landesforstinventar. Wirkungsanalyse zu LFI1 und 2 und Bedarfsanalyse für das LFI3. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Umweltmaterialien 143. 89 p.

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BRASSEL P, BRÄNDLI UB, EDITORS (1999) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.

BRASSEL P, LISCHKE H, EDITORS (2001) Swiss National Forest Inventory: methods and models of the second assessment. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute. 336 p.

BUWAL, WSL (2005) Waldbericht 2005. Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 151 p.

FAO (2006) Global forest resources assessment 2005. Progress towards sustainable forest management. Rome: Food Agriculture Organisation. 320 p.

FAO (2010) Global forest resources assessment 2010. Main report. Rome: Food Agriculture. 378 p.

KURT A (1967) Ein forstliches Landesinventar als Grundlage schweizerischer Forstpolitik. Wald Holz 49 (4): 94–99.

KURT A (1957) Die Produktionsmöglichkeiten im Schweizer Wald. In: Schweizerische Wald- und Holztagung 1956 in Bern. Beih Schweiz Z Forstwes 28: 31–39.

MAHRER F ET AL (1988) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Ber 305. 375 p.

MCPFE (2007) State of Europe's forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe. Warsaw: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe. 247 p.

STEINMANN K, GINZLER C, LANZ A (2011) Kombination von Landesforstinventar- und Fernerkundungsdaten für Kleingebietsschätzungen. Schweiz Z Forstwes 162: 290–299. doi: 10.3188/szf.2011.0290

TRAUB B (2001) Representativeness of the sample grid. In: Brassel P, Lischke H, editors. Swiss National Forest Inventory: methods and models of the second assessment. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute. pp. 132–149.

Das Schweizerische Landesforstinventar – eine Bilanz (Essay)

Die Idee einer nationalen Waldinventur ist in der Schweiz in den 1950er-Jahren aufgekommen. Immer mehr erwies es sich als Mangel, dass die Grundlagen für eine landesweite Beurteilung des Zustandes des Waldes nicht vorhanden waren. Aber erst um 1970 nahm das Vorhaben konkrete Züge an. Und es dauerte noch einmal zehn Jahre, bis die Schweizer Regierung 1981 grünes Licht für die erste Erhebung gab. Seit Beginn ist das Landesforstinventar (LFI) ein gemeinsames Projekt der Bundesverwaltung und der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL. Das LFI hat sich als objektive Basis für Informationen über den Schweizer Wald etabliert. Auf nationaler Ebene ist es heute das wichtigste Instrument zur Kontrolle der nachhaltigen Waldbewirtschaftung. Zudem liefert es den Hauptteil der für die internationale Waldberichterstattung benötigten Daten. Zum Erfolg des LFI mag beigetragen haben, dass dieses sowohl in der Verwaltung des Bundes und der Kantone als auch in der Wissenschaft breit abgestützt ist. Das LFI hat sich in den letzten 30 Jahren inhaltlich und methodisch permanent weiterentwickelt. So wurde beispielsweise der Datenkatalog seit der ersten Erhebung um zahlreiche ökologische Merkmale erweitert. Aktuell läuft die vierte Erhebung und damit auch die Umstellung von einer periodischen zu einer kontinuierlichen Erhebung. Es ist vorgesehen, nach jeweils etwa drei Erhebungsjahren die Ergebnisse zu publizieren. Diese höhere zeitliche Auflösung ist jedoch mit grösseren Schätzfehlern verbunden. Interessante neue Entwicklungen sind insbesondere bei der Fernerkundung und der Modellierung der künftigen Waldentwicklung zu erwarten. Nützlich sind auch neue Methoden wie die sogenannte Kleingebietsschätzung, die Aussagen auch über relativ kleine Gebiete ermöglichen. Damit das LFI auch künftig seine Aufgaben erfüllen kann, werden genügend finanzielle Mittel benötigt.

L'Inventaire forestier national suisse – un bilan (essai)

L'idée d'établir un inventaire forestier national a été lancée en Suisse dans les années 1950. En effet, l'absence de bases utiles à une appréciation de l'état des forêts de tout le pays s'est révélée être un manque de plus en plus flagrant. Mais ce n'est que vers 1970 que le projet s'est précisé. Et il a fallu attendre encore dix ans avant que le gouvernement suisse donne son feu vert aux premiers relevés en 1981. Depuis le début, l'Inventaire forestier national (IFN) est un projet commun de l'administration fédérale et de l'Institut fédéral de recherches WSL. L'IFN est devenu une base d'information objective sur la forêt suisse. A l'échelle nationale, il est aujourd'hui le principal instrument de contrôle de la gestion durable des forêts. Il fournit en outre la majeure partie des données nécessaires à l'établissement du rapport forestier international. Le succès de l'IFN a été favorisé par le large soutien qui lui fut accordé tant par l'administration que la science. Le contenu et les méthodes de l'IFN se sont constamment développés ces 30 dernières années. Ainsi, par exemple, le catalogue des données s'est enrichi de multiples critères écologiques depuis le premier inventaire. Le quatrième est en cours, tout comme le passage des relevés périodiques à des relevés permanents. Il est prévu d'en publier régulièrement les résultats tous les trois ans environ. Cette plus haute résolution temporelle est toutefois liée à de plus larges erreurs d'appréciation. De nouvelles applications prometteuses se dessinent, notamment grâce à la télédétection et au développement de modèles simulant le développement futur des forêts. De nouvelles méthodes seraient aussi utiles, comme l'estimateur pour petits domaines, un système qui livre des renseignements pour des zones relativement peu étendues. Mais pour que l'IFN puisse remplir ses tâches à l'avenir encore, il doit être doté de moyens financiers suffisants.

Das Schweizerische Landesforstinventar aus Sicht einiger Kantone (Essay)

Robert Häfner Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Abteilung Wald (CH)*
Ulrich Hug Amt für Wald des Kantons Bern (CH)
Riet Gordon Amt für Wald Graubünden (CH)
Davide Bettelini Sezione forestale cantonale ticinese (CH)
Hermann Hess Amt für Landschaft und Natur des Kantons Zürich, Abteilung Wald (CH)

The Swiss National Forest Inventory from the perspective of some cantons (essay)

Politicians and the general public rightfully expect the forest services to be able to provide information about the state of the forest and to base their policies on sound data. Public interest in the forest and expectations that it will provide certain services are today focussing more on superordinate, regional spatial units. Information above the level of the forest enterprise is becoming increasingly more important and the duties of the forest services have expanded beyond those associated with single forest enterprises. The Swiss National Forest Inventory (NFI) was set up as a national instrument, but is also relevant for the cantons. So far, three inventories have been carried out and the fourth is underway. The cantonal NFI findings have become more relevant during the past 25 years. But what has the NFI really achieved for the cantons? What are its strengths and weaknesses? What risks does the fourth NFI entail with its new, continuous method of data collection and what opportunities does it offer? These questions are addressed here by the authors, who are responsible for forest planning and for contact with the NFI, in the cantons of Aargau, Bern, the Grisons, Ticino and Zurich. The authors work in cantons that have always made above average use of the NFI. All apart from Ticino have made the NFI sampling grid more dense by adding more sampling plots. For these cantons, the NFI has become an indispensable source of basic information. This article does not, therefore, provide a representative picture of how the cantons make use of the NFI, but rather reflects how the NFI could potentially serve the cantons.

Keywords: Swiss National Forest Inventory, regional inventories, cantons, NFI data use, stakeholders
doi: 10.3188/szf.2011.0282

* Entfelderstrasse 22, CH-5001 Aarau, E-Mail robert.haefner@ag.ch

Das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) wurde als nationales Instrument konzipiert, findet aber auch Anwendung bei den Kantonen. Alle Kantone wurden nach jeder LFI-Erhebung von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) mit kantonalen Ergebnissen bedient (LFI-Standardangebot). Zudem bietet die WSL als Dienstleistung spezielle kantonale Auswertungen an, und sie unterstützt die Kantone bei der Verdichtung des LFI-Netzes zu Kantonalinventuren. Die Nachfrage der Kantone nach kantonalen Daten und Auswertungen war beim ersten LFI (LFI1) sehr gross: 17 von 26 Kantonen beziehungsweise Halbkantonen haben solche von der WSL bezogen.[1] Beim LFI2 ist die Nachfrage deutlich zurückgegangen, was wohl direkt mit der Ausdünnung der Stichprobendichte – sie wurde halbiert – zusammenhängen dürfte (Tabelle 1). Für mittelgrosse und kleine Kantone liessen sich dementsprechend erheblich weniger statistisch gesicherte Aussagen machen. Mit dem Übergang zum kontinuierlichen Erhebungsmodus scheint sich das LFI4 nach Meinung der Autoren definitiv zum nationalen Instrument zu entwickeln, das nur noch Aussagen zur ganzen Schweiz und mit Einschränkungen für die Produktionsregionen zulässt. Demgegenüber zeigen die jüngsten Erhebungen der Arbeitsgruppe Waldplanung und -management des Schweizerischen Forstvereins, dass die kantonalen LFI-Ergebnisse im Verlaufe der letzten 25 Jahre stetig an Bedeutung und Anwendung gewonnen haben.[2]

1 BRÄNDLI UB, ULMER U (2011) Nutzung von LFI-Produkten und WSL-Dienstleistungen durch die Kantone. Ergebnisse aus einer internen Analyse von Dienstleistungsauswertungen und der Umfrage bei den Kantonen 2011. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. Unveröffentlicht.

2 BERNASCONI A, SCHROFF U (2011) Anliegen und Erwartungen an das künftige Landesforstinventar LFI. Bericht zur zweiten Konferenz Waldplanung. www.forstverein.ch/fileadmin/Datenordner/arbeitsgruppen/planung_management/archiv/schlussbericht_zweitekonferenz_waldplanung_2011.pdf (14.6.2011)

Die Politik und die Bevölkerung erwarten zu Recht, dass der Forstdienst über den Waldzustand Auskunft geben kann und seine Strategien und Planungen auf fundierte Daten abstützt. Das LFI und die entsprechenden kantonalen Auswertungen liefern wichtige Grundlagen dazu. Die LFI-Ergebnisse sind zu einer unverzichtbaren Fachgrundlage für den Forstdienst des Bundes und der Kantone geworden.

Was hat das LFI den Kantonen konkret gebracht? Wo liegen seine Stärken und Schwächen? Und worin sind beim neuen LFI4 mit dem kontinuierlichen Erhebungsmodus Gefahren und Chancen zu erkennen? Welches sind die Erfahrungen mit den Kantonalinventuren, die auf einer Verdichtung des LFI basieren? Die Planungs- beziehungsweise die LFI-Verantwortlichen der fünf grösseren Kantone Aargau, Bern, Graubünden, Tessin und Zürich haben sich ad hoc zusammengefunden und ihre Einschätzungen und Überlegungen zusammengelegt. Sie sind in Kantonen tätig, die die LFI-Daten überdurchschnittlich nutzen und mit Ausnahme des Kantons Tessin auch eine Netzverdichtung vorgenommen haben. Der Artikel widerspiegelt somit das Nutzungspotenzial des LFI für die Kantone und zeigt kein repräsentatives Bild über die Kantone der Schweiz. Es handelt sich auch nicht um einen wissenschaftlichen Artikel, und er gibt ebenso wenig eine konsolidierte Meinung der Kantone wieder, sondern die persönliche Einschätzung der Autoren.

Datenlage und Datenherkunft ohne LFI

Vor der Ersterhebung des LFI behalfen sich die Kantone Aargau, Bern, Zürich und teilweise Graubünden mit Daten aus der Betriebsplanung, die zu kantonalen Schätzungen addiert wurden. Diese waren wenig verlässlich, basierten sie doch auf unterschiedlich alten und auch nicht flächendeckend vorliegenden Einzeldaten. Zudem waren Veränderungen nicht wirklich quantifizierbar. Im Kanton Bern ging mit der Aufhebung der Betriebsplanpflicht für öffentliche Waldeigentümer anlässlich der Waldgesetzrevision von 1997 diese Datenquelle verloren, und

Kanton	Standardangebot (Ergebnispaket)			Auswertungen auf Anfrage										Netzverdichtung		
				Nach Kanton			Nach Region, Forstkreis			Datenbankauszug			Auswertungen oder Daten			
	LFI1	LFI2	LFI3	LFI1	LFI2	LFI3	LFI1	LFI2	LFI3	LFI1	LFI2	LFI3	LFI4	LFI2	LFI3	LFI4
Aargau	X	X	X	3	3	3		3		D	S	D	I		R	I
Appenzell Innerrhoden	X	X	X										I			A
Appenzell Ausserrhoden	X	X	X	2		P							I	R	R	I
Bern	X	X	X	3	3	3	3	3	3	D	D, S	D	I	R	R	A
Basel-Landschaft	X	X	X	3												A
Basel-Stadt *																
Freiburg	X	X	X	3		P	3			D	D	D	N			A
Genf **	X	X	X													A
Glarus	X	X	X	3		1										
Graubünden	X	X	X	3	3	1	3	3		D	D		I	R	R	I
Jura	X	X	X	3	2	?	3				D		I			I
Luzern	X	X	X	3	2	P							N			I
Neuenburg				3							S					
Nidwalden			X								D		I			A
Obwalden	X	X	X								S	D	I		R	?
St. Gallen	X	X	X	3							S		I			
Schaffhausen	X	X	X			?							?			A
Solothurn	X	X	X	1		3			3		D	D	I			A
Schwyz	X	X	X								S	D	?			?
Thurgau	X	X	X	3	3	?					S		I			
Tessin	X	X	X	3	3	P	3		P				N			A
Uri	X	X	X													
Waadt					2						D					
Wallis	X	X	X	3	3	3	3	3	3		D		I			
Zug	X	X	X								S					
Zürich	X	X	X	3	3	3	3	3	3	D	D, S	D		R	R	A

Tab 1 *Nutzung von LFI-Produkten (Standardangebot, Auswertungen auf Anfrage) und WSL-Dienstleistungen (Netzverdichtung) durch die Kantone (Brändli & Ulmer 2011, unveröffentlicht). X = verwendet, 1 = 1–2 Tabellen, 2 = 3–10 Tabellen, 3 = > 10 Tabellen, ? = offen, P = vorgesehen, D = Datenauszug, S = Waldstrassennetz, I = ernsthaftes Interesse, N = notwendig, A = in Abklärung, R = durchgeführt, * 1 Probefläche im LFI2, ** 11 Probeflächen im LFI2.*

im Kanton Aargau wurden die Vollkluppierungen Mitte der 1980er-Jahre aus Kostengründen weitgehend aufgegeben. Der Kanton Tessin wiederum verfügte bislang über gar keine Inventurdaten seines Waldes. Fazit: Ohne LFI und kantonale Verdichtungen hätten die fünf Kantone kaum eine vertrauenswürdige Gesamtschau über alle Wälder in ihrem Kanton bezüglich Aufbau, Zustand und Entwicklung.

Erstmals umfassende Walddaten

Mit dem LFI1 standen zum ersten Mal gesicherte Daten über den gesamten Wald zur Verfügung. In den privatwaldreichen Kantonen Bern und Zürich (Privatwaldanteil je rund die Hälfte), aber auch im Aargau mit einem Privatwaldanteil von 22% fehlten vor dem LFI Informationen über einen erheblichen Teil des Waldes. Entsprechend interessant sind denn auch die mit dem LFI festgestellten deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Eigentumskategorien. Vorurteile, beispielsweise über den Nadelholzreichtum der Privatwälder in den Kantonen Aargau und Zürich, mussten revidiert werden. Im Kanton Bern hat sich dagegen bestätigt, dass der Privatwald im Durchschnitt bedeutend höhere Hektarvorräte und deutlich höhere Nadelholzanteile aufweist als der öffentlich-rechtliche Wald.

Überbetriebliche Informationen zunehmend wichtiger

Die Interessen der Bevölkerung am Wald und die Erwartungen an die Waldleistungen beziehen sich immer weniger auf die Ebene eines Forstbetriebs und immer mehr auf übergeordnete, regionale räumliche Einheiten. Der Wald «gehört» allen. Dementsprechend haben sich die Frage- respektive Aufgabenstellungen des Forstdienstes über das Betriebliche hinaus weiterentwickelt. LFI-Daten fliessen sowohl als Grundlagen als auch als Kenngrössen zunehmend in die Nachhaltigkeits- und Waldzustandsberichte der Kantone, in die kantonalen und regionalen Waldentwicklungspläne, aber auch in Medienberichte über den Wald ein, und sie unterstützen die Öffentlichkeitsarbeit (Abbildung 1). Auf diesen überbetrieblichen Ebenen dienen sie einer umfassenden Beurteilung einer nachhaltigen Waldentwicklung. Mit dem dritten LFI sind nun 20 Jahre Waldentwicklung dokumentiert, erst eine kurze Zeitspanne zwar, die jedoch ausreicht, um die Dynamik des Waldes sichtbar zu machen.

Der Kanton Bern benutzt die LFI-Daten bei der Erstellung der regionalen Waldpläne. Zudem hat er einen Nachhaltigkeitsbericht (Kawa 2010a) und einen Flyer zum Berner Wald (Kawa 2010b) publiziert, die zum grossen Teil auf LFI3-Daten basieren.

Im Kanton Aargau sind die Daten des LFI3 und die Daten der Kantonsinventur 2005 im Bericht «Waldinventar Aargau» (BVU 2010) ausgewertet und publiziert worden. Der Bericht zur Entwicklung des Waldes im Aargau (BVU 2007), in welchem die forstpolitischen Ziele und die Strategien mit entsprechenden Umsetzungsmassnahmen und deren Finanzierung festgelegt wurden, basiert zu grossen Teilen auf Daten des LFI und der kantonalen Verdichtung. Weiter fanden die LFI-Daten Eingang in den Statusbericht Umwelt (BVU 2008) und in den Bericht zur nachhaltigen Entwicklung im Kanton Aargau (Kanton Aargau 2005).

Der Kanton Zürich hat 2006 unter anderem auf der Grundlage des Kantonsforstinventars 1995 (Auswertung von LFI2-Daten und kantonale Verdichtung) einen Nachhaltigkeitsbericht verfasst (Abteilung Wald 2006), und die in gleicher Weise durchgeführten Auswertungen des LFI3 sind in den 2010 von der Zürcher Regierung verabschiedeten kantonalen WEP eingeflossen (Baudirektion 2010).

Der Kanton Graubünden verwendet die überbetrieblichen Daten der Waldinventuren für sehr viele unterschiedliche Fragestellungen, so zum Beispiel im Zusammenhang mit dem Holznutzungspotenzial, dem Ausbau und dem Unterhalt von Waldstrassen oder als ein Element für die Verteilung der finanziellen Mittel vom Kanton auf die Waldregionen. Wo vorhanden, werden die Ergebnisse der eigenen Waldinventur auf dem verdichteten LFI-Stichprobennetz benutzt. Für alle Fragestellungen, für welche Angaben zu Veränderungen des Waldzustandes (z. B. Vorrat, Baumartenzusammensetzung) oder des Zuwachses benötigt werden, wird auf die LFI-Daten zurückgegriffen.

Der kantonale Waldplan des Kantons Tessin stützt sich stark auf die LFI-Ergebnisse ab. Der Kan-

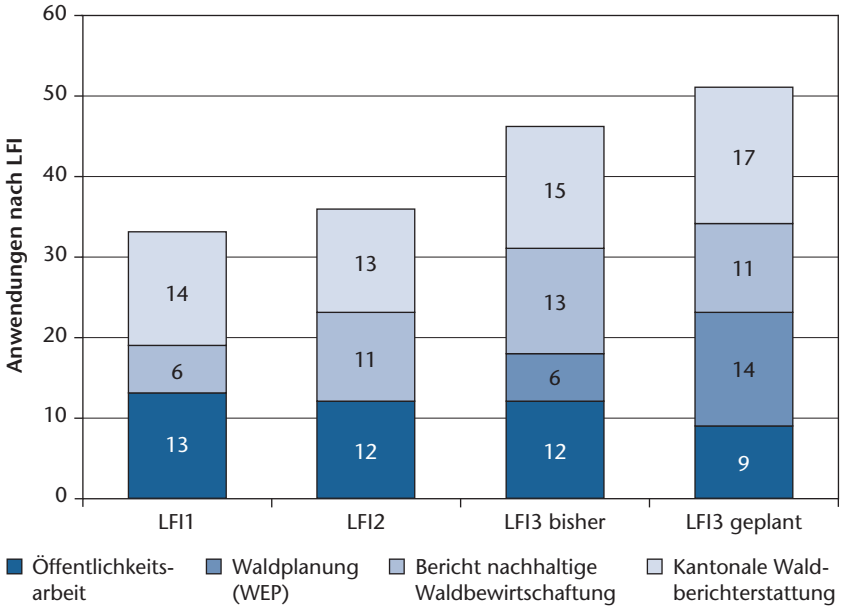


Abb 1 *Anwendung von kantonalen LFI-Daten nach Inventur und Verwendungszweck (Bernasconi & Schroff 2011).*

Kanton	Stichprobenraster	Aufgenommene Stichproben (davon aus LFI, in %)	Aufnahmekatalog (im Vergleich zum LFI3)
Aargau	707 m × 707 m, 250 m × 250 m in Waldreservaten und Altholzinseln	Ca. 1200 St. (21%)	Vollständig
Bern	1 km × 1 km	Knapp 1700 St. (50%)K	Reduziert (6 von 15 LFI3-Modulen): Basismodul, Waldrand, Einzelbaum, Bestandesbeurteilung, terrestrische Erschliessungserhebung, Bestandesstabilität
Graubünden	500 m × 500 m	Ca. 7000 St. (12.5%) von 1996 bis 2009	Reduziert: Einzelbaumdaten, Flächendaten, Bestandesbeurteilung gemäss LFI
Zürich	1 km × 1 km	Ca. 500 St. (50%)	Reduziert: Einzelbaumdaten, Bestandesbeurteilung gemäss LFI

Tab 2 *Stichprobenraster und Aufnahmekatalog in den vier Kantonen Aargau, Bern, Graubünden und Zürich für die Netzverdichtung des LFI3.*

ton vermerkt darin, dass nun Auswertungen nicht nur nach Eigentum oder geografischen Kriterien, sondern auch nach Waldfunktionen (Schutz, Erholung, Biodiversität und Holzproduktion) und Waldtypologie (Niederwald, Kastanienwälder) möglich sind (Sezione forestale 2008).

Alle Kantone verweisen auch auf den Wert der LFI-Daten zur Abschätzung von Holznutzungspotenzialen aller Art. Erhebliche Bedeutung für die Kantone haben schweizweit einheitlich erhobene Daten im Zusammenhang mit der Förderungspolitik des Bundes. So sind für die Gebirgskantone Informationen zum Zustand des Schutzwaldes besonders wichtig, um Beiträge an die Pflege des Schutzwaldes geltend machen zu können. LFI-Informationen sind eine wesentliche Grundlage für das Controlling auf nationaler Ebene, und umgekehrt erlauben sie den Kantonen, die Wald- beziehungsweise die Förderungspolitik des Bundes besser zu beurteilen und auch zu beeinflussen.

Das LFI liefert wichtige Referenzwerte

Die LFI-Resultate, insbesondere die Auswertungsergebnisse nach Kantonen und Grossregionen, dienen den Kantonen als Referenzgrössen für ihre eigenen Erhebungen und Auswertungen. Sie erlauben es, sich in differenzierter Weise in einen gesamtschweizerischen Kontext einzuordnen. Insbesondere die Vergleiche mit anderen Kantonen oder Regionen mit ähnlichen Verhältnissen sind von Interesse, sie lassen eigene Stärken und Schwächen erkennen. Nur mit differenzierten Kenntnissen über die eigenen Waldverhältnisse lassen sich eigenständige Strategien entwickeln, angepasste Handlungsschwerpunkte festlegen und auch umsetzen.

Der oft vereinfachten Argumentation von Interessenvertretern jedweder Prägung kann sachlich und objektiv begegnet werden. Beispiele dafür sind «die laufende Zunahme der Waldfläche zulasten des Kulturlandes», die als Argument für eine Lockerung des Rodungsverbotes auch im Mittelland herhalten muss, oder «die Unternutzung des überalterten Waldes», die eigentlich meint, auch die Mittellandkantone hätten noch mehr Nadelholz auf den Markt zu werfen.

Forsteinrichtungsdaten für die betriebliche Ebene

In der Forsteinrichtung sind für die Kantone LFI-Informationen zum Vorrat (lebend und tot), zum Zuwachs, zur Nutzung, aber auch über Waldstrukturen, Baumartenverteilung, Alters- und Entwicklungsstufenaufbau wichtig; in den Kantonen Bern und Graubünden bis hinunter auf die Ebene der regionalen Waldpläne beziehungsweise Betriebspläne, im Aargau und in Zürich eher im Sinne von Referenzgrössen für die planungspflichtigen Waldeigentümer. Der den Forstbetrieben im Kanton Aargau zur Verfügung stehende webbasierte «Vorrat-, Zuwachs- und Hiebsatz-Schätzer» zum Beispiel verwendet die aktuellen Kantonsinventurdaten «Vorrat» und «Zuwachs» nach Baumarten. Schliesslich sind die Inventurdaten ein wichtiger Teil der Basisinformationen, welche die kantonalen Forstdienstmitarbeitenden zur Prüfung und Genehmigung von Betriebsplänen benötigen.

Massgeschneiderte Netzverdichtung und modularer Datenkatalog

Kantonsweise Auswertungen der LFI-Daten sind grundsätzlich möglich. Bei einer Dichte von einer Stichprobe pro 200 ha sind für Kantone unter 50000 ha Wald jedoch sehr schnell die Grenzen einer statistisch zuverlässigen Auswertung erreicht. Insgesamt sechs Kantone haben die LFI3-Erhebung mit eigenen Netzverdichtungen zu einer kantonalen Waldinventur ausgebaut (Tabelle 1). Für Kantone mit eigenständigen Waldinventuren (z.B. Waadt, Neuenburg, Genf, Zug) oder mit grosser Waldfläche (Wallis, Tessin) reichen die mit LFI-Daten möglichen Kantonsauswertungen offensichtlich aus.

In den beiden Kantonen Bern und Graubünden stand der Wunsch nach (klassischen) Forsteinrichtungsdaten für die regionalen Waldpläne (Bern)

respektive für die Betriebspläne ihrer in der Regel grossen Forstbetriebe (Graubünden) im Vordergrund. Anders in den zwei bevölkerungsstarken urbanen Kantonen Zürich und Aargau mit einer vergleichsweise kleinen Waldfläche (je ca. 50000 ha), aber überdurchschnittlichen Holznutzungen: Hier sind umfassendere und differenziertere Auswertungen gefragt.

Je nach Zielsetzung unterscheiden sich demzufolge die Stichprobendichte und der Umfang des Aufnahmekatalogs (Tabelle 2). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, alle LFI-Module zu erheben oder gewisse Module wegzulassen.

Der Kanton Graubünden wünschte sich Daten, die auch auf betrieblicher Ebene in der Forsteinrichtung nutzbar sind, was ein entsprechend enges Netz mit einem 500-m×500-m-Raster erforderte. Die Aufnahmen erfolgten gestaffelt in den Jahren 1996 bis 2009. Dabei wurden auch alle LFI-Proben ein zweites Mal erhoben, um so über eine vom LFI-Stichprobennetz und von den LFI-Aufnahmen völlig unabhängige Inventur zu verfügen. Der Aufnahmekatalog des LFI wurde auf Einzelbaumdaten, Flächendaten und Bestandesbeurteilung reduziert.

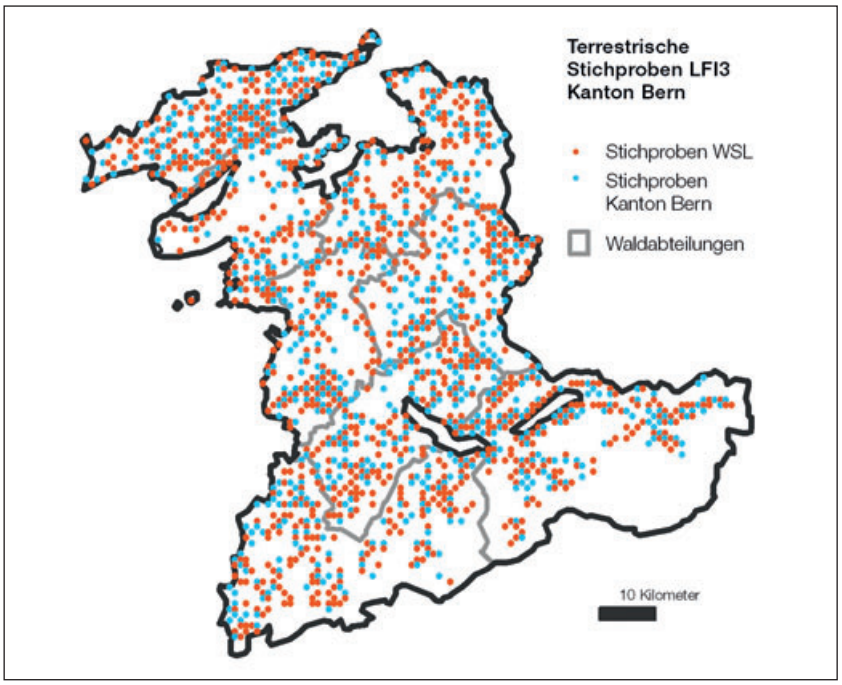


Abb 2 *Stichprobenplan zur Regionalinventur LFI3 im Kanton Bern.*

Für den Kanton Bern, der schon beim LFI2 auf rund zwei Dritteln des zugänglichen Waldes ohne Gebüschwald eine Netzverdichtung vorgenommen hatte, stand beim LFI3 die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen des LFI1 und LFI2 im Vordergrund. Er strebte an, auf der Ebene Waldabteilung (allenfalls regionaler Waldplan) für die wichtigsten Kenngrössen bei einem 68%-Vertrauensbereich einen Standardfehler von unter 15% zu erreichen. Er entschied sich für eine Verdichtung auf den 1-km×1-km-Raster und einen reduzierten LFI3-Datenkatalog (Abbildung 2).

Im Kanton Zürich wurde wie bereits beim LFI2 auf den Raster des LFI1 (1 km × 1 km) verdichtet. Im Vordergrund stand die Vergleichbarkeit aller drei Erhebungen mit Blick auf den Gesamtwald sowie den öffentlichen und den privaten Wald. Dies ist umso leichter gefallen, als der gewählte Stichprobenraster eine Auswertung der wichtigsten Kenngrössen, unterteilt nach öffentlichem und privatem Wald sowie nach Forstkreisen, in noch vertretbarer Genauigkeit erlaubte. Es wurde auch nicht der ganze Datenkatalog des LFI auf dem verdichteten Netz erhoben, sondern nur die Einzelbaumdaten und die Bestandesbeurteilung (Abbildung 3).

Für den Kanton Aargau stand das LFI als Instrument für eine langfristige Ziel-, Wirkungs- und Vollzugskontrolle der kantonalen Waldpolitik im Vordergrund. Aussagen über den ganzen Kanton, die biogeografischen Regionen Jura und Mittelland sowie den öffentlichen und privaten Wald sollten möglich sein. Auswertungen auf der Ebene der Forstkreise oder gar auf Betriebsebene waren nicht gefragt. Aufgenommen wurde in einem Stichprobenraster von 707 m × 707 m. In den vertraglich gesicherten Naturwaldreservaten und Altholzinseln mit rund 1400 ha (Stand April 2004) wurde das Stichprobennetz nochmals verdichtet (250 m × 250 m), als Grundlage für ein Monitoring. Mit der vorliegenden (Erst-)Inventur sind zwar noch keine Aussagen zu den Entwicklungen in den Waldreservaten möglich, die Unterschiede zum übrigen Wald sind aber bereits heute deutlich (z.B. dreimal mehr Totholz, höherer Laubholzanteil, Naturnähe).

Bewertung des LFI aus der Sicht der Kantone

Alle Kantone vermerken den sehr umfangreichen Datenkatalog des LFI als positiv. Er decke ein grosses Spektrum von Waldthemen ab. Was auf schweizerischer Ebene richtig sei, um gewisse Themen in einheitlicher Form darstellen zu können, wäre auf Kantonsebene in dieser Breite nicht immer erforderlich, da den Kantonen zum Teil Daten aus anderen Quellen zur Verfügung stehen (z.B. zu Waldfunktionen, Standorten, Waldflächen) und nicht alle schweizweit relevant erscheinenden Themen im Kanton von gleicher Bedeutung sind. Die Kantone haben deshalb von der Möglichkeit, Abstriche am Datenkatalog des LFI vorzunehmen, Gebrauch gemacht.

Die Kantone beurteilen die Datenqualität und Genauigkeit auf schweizerischer Ebene als ausreichend. Kantonale Auswertungen allein mit LFI-Daten sind für mittlere und kleine Kantone nicht mehr aussagekräftig, sobald differenzierte Aussagen zu Regionen, Baumarten oder Waldeigentum verlangt sind.

Abb 3 *Eine Aufnahmequipe an der Arbeit. Bei kantonalen Verdichtungen kann auf die Aufnahme gewisser LFI-Module verzichtet werden.*

Hinsichtlich Methodik weist der Kanton Zürich weiter auch darauf hin, dass das LFI zu einer gewissen Vereinheitlichung und Harmonisierung von Erhebungen auf Kantonsebene geführt habe, indem auch in anderen Erhebungen (z.B. bei Regionalinventuren) die LFI-Definitionen für gewisse Merkmale übernommen wurden. Damit habe sich auch die Vergleichbarkeit von Resultaten auf den verschiedenen Ebenen (Betriebe, Regionen, Kantone, Schweiz) verbessert. Der Kanton Bern bemängelt andererseits methodische Änderungen bei der Vorratsberechnung, die einen Vergleich der Ergebnisse von LFI2 und LFI3 nur bedingt zulassen.

WSL-Dienstleistungen

Die Kantonsinventuren in Bern, Zürich und im Aargau wurden in enger Zusammenarbeit mit der WSL durchgeführt. Die Unterstützung bei der Verdichtung der LFI-Aufnahmen hat im Allgemeinen gut funktioniert. Seitens der WSL-Mitarbeiter war eine grosse Bereitschaft zur Zusammenarbeit spürbar. Allerdings fehlte es zum Teil an der Bereitstellung der nötigen personellen Kapazitäten, um die mit den Kantonen vereinbarten Aufträge termingerecht bearbeiten zu können. Die mit dem LFI befassten Mitarbeiter der WSL haben ein eigentliches Kompetenzzentrum für Waldinventuren geschaffen. Sie verfügen heute über grosses methodisches Wissen und organisatorische Erfahrungen. Dieses Wissen wurde den Kantonen bei der Erarbeitung ihrer Inventurkonzepte bereitwillig zur Verfügung gestellt.

Die Aufnahme- und Auswertungsmethodik der WSL stand zu sehr günstigen Konditionen zur Verfügung. Schliesslich profitierten die Kantone auch, indem die Daten der LFI3-Stichproben gratis genutzt werden konnten.

Das besondere, unerwartete Ergebnis

Die Ergebnisse fielen grösstenteils wie erwartet aus. Einige Überraschungen gab es jedoch hinsichtlich Grössenordnungen oder Tempo der Waldveränderungen. Im Kanton Bern überraschte die Abnahme der Holzvorräte. Positiv zur Kenntnis genommen wurde die Zunahme der Stabilität des Schutzwaldes (Kawa 2010a).

Im Aargau wurde ein Vorratsrückgang (–7%) aufgrund der jährlichen Nutzungsmeldungen der Revierförster (Forststatistik) nicht erwartet. Die Differenz zwischen Nutzung nach LFI und nach Forststatistik ist zwar schon lange bekannt, jedoch nicht in der festgestellten Grössenordnung von circa 30%. Es hat sich gezeigt, dass zuverlässige Nutzungsschätzungen bei grossen Sturmereignissen, bei denen viel Holz im Wald liegen bleibt, nicht möglich sind. Die festgestellte Abnahme des Fichtenvorrates von 30% wurde in dieser Grössenordnung nicht erwartet. Bezüglich des Privatwaldes widerlegten die festgestellte hohe Nutzung von fast 10 m^3/ha und Jahr und der

hohe Anteil von Laubmischwäldern alte Vorurteile (BVU 2010).

Im Kanton Graubünden überraschten die hohen Zuwachswerte (bis 50% höher als in den Betriebsplänen geschätzt) und ebenfalls die viel höhere Nutzung gemäss LFI im Vergleich zur Stehendkontrolle. Im Kanton Tessin ergab sich zwischen LFI2 und LFI3 eine grössere Waldflächenzunahme (rund 1000 ha pro Jahr) als erwartet. Ebenfalls nicht erwartet wurde, dass im Niederwald die Zunahme des Totholzvorrates mengenmässig etwa einem Drittel und die Zunahme des Lebendvorrates bloss etwa zwei Dritteln des Zuwachses entspricht, bedingt vorwiegend durch die geringe Nutzung des Niederwaldes.

Nutzen des LFI4 für die Kantone und Ausblick

Im Unterschied zu den drei bisherigen Inventuren, bei welchen die Erhebungen jeweils über drei Jahre liefen, wird im LFI4 jährlich neu ein Neuntel des gesamten Probeflächennetzes erhoben (Brassel 2011, dieses Heft). Reguläre Ergebnisse betreffend Zustand und Veränderungen des Gesamtwaldes sollen jeweils nach etwa drei Jahren veröffentlicht werden. Damit wird das LFI aktueller, was Entwicklungen und Veränderungen des Waldes der Schweiz insgesamt und allenfalls von Grossregionen betrifft. Bedeutung könnte das zum Beispiel im Falle eines Grossereignisses wie des Sturms Lothar von 1999 erlangen, weil bereits innert kürzester Zeit Aussagen über den Waldzustand grösserer Regionen möglich wären.

Selbstverständlich haben auch die Kantone ein Interesse an aktuellen Daten über den Schweizer Wald, Waldpolitik ist ja nicht alleine Sache des Bundes. Der Preis für aktuellere Aussagen ist jedoch der Verlust von genügend genauen Aussagen über die Kantone. Mit der Aufgabe der bereits traditionellen LFI-Aufnahmen im 10-Jahres-Turnus brechen für die Kantone wertvolle Zeitreihen ab, und es werden ihnen wichtige aktuelle Informationen über ihren Wald fehlen.

Den sechs Kantonen, welche im Zuge des LFI3 eine Netzverdichtung vorgenommen haben (Tabelle 1), werden in Zukunft nur noch sehr beschränkt verwertbare Daten aus dem LFI zur Verfügung stehen. Zürich und Bern müssten in Zukunft fast doppelt so viele Stichproben, der Aargau etwa ein Viertel mehr Stichproben selber aufnehmen als bisher. Es sind zwar bloss sechs Kantone betroffen, doch stammten immerhin gegen 50% der gesamtschweizerischen Holznutzung zwischen LFI2 und LFI3 aus diesen sechs Kantonen.

Zudem wird mehrheitlich bedauert, dass hinsichtlich der schweizerischen Erhebung ein gewisser

Abb 4 *Mit der Aufgabe der bereits traditionellen LFI-Aufnahmen im 10-Jahres-Turnus brechen für die Kantone wertvolle Zeitreihen ab.* Foto: Barbara Allgaier Leuch

methodischer Bruch stattfindet. Im LFI4 wird noch mehr mit Modellen, Annahmen und statistischen Methoden gearbeitet, welche nur noch einzelne Spezialisten der WSL verstehen. Damit besteht eine gewisse Gefahr, dass Ergebnisse, welche nicht den eigenen Erwartungen und Interessen entsprechen, infrage gestellt werden und an den verwendeten Methoden gezweifelt wird. Man vergleiche die gegen Modelle zum Klimawandel geführte Polemik. Das ist schade, stellte doch gerade die methodische Kontinuität auch eine Qualität des bisherigen LFI dar.

Positiver beurteilt der Kanton Tessin die mit dem LFI4 erfolgte Umstellung der Methodik. Dies ist nicht weiter verwunderlich, ist der Kanton doch fast identisch mit der Produktionsregion Alpensüdseite und bleibt damit Auswerteeinheit des LFI.

Die Kantone Graubünden und Zürich haben sich bereits auf die Zeit nach dem «traditionellen» LFI vorbereitet: Im Jahr 2010 hat Graubünden mit

den Zweitaufnahmen im 500-m×500-m-Raster begonnen. Damit werden die Bündner erstmals auch gesicherte Aussagen zur Waldentwicklung für kleine Auswerteeinheiten machen können. Der Kanton Zürich hat in den letzten Jahren die bisherigen Betriebsinventuren zu regionalen Inventuren über den gesamten Wald weiterentwickelt, mit der Absicht, die benötigten Kenngrössen für die Nachhaltigkeitskontrolle in Zukunft auch auf überbetrieblicher Ebene (Forstkreise, Kanton) aus dem Zusammenzug dieser Aufnahmen herzuleiten. Deshalb sind keine Verdichtungen des LFI auf Kantonsebene mehr vorgesehen, selbst wenn diese mit der neuen Methodik möglich wären. Die Zusammenarbeit mit dem LFI wird sich somit noch mehr auf die reine Methodik beschränken, damit trotz unterschiedlichen Datenquellen vergleichbare Resultate erzielt werden können. Der Kanton Bern sieht bezüglich einer künftigen kantonalen Inventur grundsätzlich mehrere Optionen, zum Beispiel eine kantonale Verdichtung des neuen LFI4 im 10-Jahres-Rhythmus oder ein eigenständiges kantonales Forstinventar mit der LFI-Methodik.

Das LFI4 mit schweizweiten Resultaten zum Wald wird für die Kantone seinen direkten Wert zumindest als Referenzgrösse für eigene Inventuren behalten. ■

Eingereicht: 13. Januar 2011, akzeptiert (ohne Review): 14. Juni 2011

Literatur

ABTEILUNG WALD (2006) Wie nachhaltig entwickelt sich der Zürcher Wald? Zürich: Amt Landschaft Natur, Abteilung Wald. 6 p.

BAUDIREKTION (2010) Waldentwicklungsplan Kanton Zürich 2010. Zürich: Baudirektion. 60 p.

BRASSEL P (2011) Das Schweizerische Landesforstinventar – eine Bilanz (Essay). Schweiz Z Forstwes 162: 274–281 doi: 10.3188/szf.2011.0274

BVU (2007) Bericht zur Entwicklung des Waldes im Kanton Aargau. Aarau: Departement Bau Verkehr Umwelt, Abteilung Wald. 78 p.

BVU (2008) Statusbericht Umwelt. Aarau: Departement Bau Verkehr Umwelt, Abteilung Landschaft und Gewässer. 105 p.

BVU (2010) Waldinventar Aargau. Ergebnisse der Stichprobenaufnahmen. Aarau: Departement Bau Verkehr Umwelt, Abteilung Wald. 100 p.

KANTON AARGAU (2005) Nachhaltige Entwicklung im Kanton Aargau. Aarau: Regierungsrat Kanton Aargau. 49 p.

KAWA (2010A) Nachhaltigkeitsbericht 2008. Zahlen und Fakten zum Zustand des Berner Waldes, revidiert nach definitiven LFI-3-Ergebnissen. Bern: Amt Wald. 36 p.

KAWA (2010B) Wissenswertes aus dem Berner Wald. Bern: Amt Wald. 11 p.

SEZIONE FORESTALE (2008) Piano forestale cantonale. Bellinzona: Dipartimento del territorio. 42 p.

Das Schweizerische Landesforstinventar aus Sicht einiger Kantone (Essay)

Die Politik und die Bevölkerung erwarten zu Recht, dass der Forstdienst über den Waldzustand Auskunft geben kann und seine Strategien und Planungen auf fundierte Daten abstützt. Die Interessen der Bevölkerung am Wald und die Erwartungen an die Waldleistungen beziehen sich immer mehr auf übergeordnete, regionale räumliche Einheiten. Überbetriebliche Informationen werden zunehmend wichtiger, und die Aufgaben des Forstdienstes haben sich über das Betriebliche hinaus weiterentwickelt. Das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) wurde als nationales Instrument konzipiert, findet aber auch Anwendung bei den Kantonen. Bisher wurden drei Landesforstinventare durchgeführt, und das vierte ist im Gange. Die kantonalen LFI-Ergebnisse haben im Verlaufe der letzten 25 Jahre stetig an Bedeutung gewonnen. Was hat das LFI den Kantonen konkret gebracht? Was sind die Stärken und Schwächen, und wo liegen die Gefahren und Chancen des LFI 4 mit dem neuen, kontinuierlichen Erhebungsmodus? Die Autoren als verantwortliche Waldplaner beziehungsweise LFI-Zuständige in den Kantonen Aargau, Bern, Graubünden, Tessin und Zürich sind diesen Fragen nachgegangen. Sie sind in Kantonen tätig, die das LFI stets überdurchschnittlich genutzt und mit Ausnahme des Tessins auch eigene Netzverdichtungen vorgenommen haben. Für sie ist das LFI zu einer unverzichtbaren Fachgrundlage geworden. Entsprechend zeichnet der Artikel nicht ein repräsentatives Bild der Nutzung des LFI durch die Kantone, sondern widerspiegelt eher das Nutzungspotenzial des LFI für die Kantone.

L'Inventaire forestier national suisse vu par quelques cantons (essai)

Le monde politique et la population attendent à juste titre du service forestier qu'il soit capable de les renseigner sur l'état des forêts et qu'il appuie ses stratégies et projets sur des données fondées. Les attentes de la population envers la forêt et ses prestations portent de plus en plus sur des espaces régionaux et cantonaux. Le niveau interentreprise prend de l'importance en matière d'information, alors que les tâches du service forestier débordent aussi du cadre de l'entreprise. L'Inventaire forestier national suisse (IFN) a été conçu en tant qu'instrument national, mais il est également utile aux cantons. Trois inventaires forestiers nationaux ont été réalisés jusqu'ici, et le quatrième est en cours. Les résultats cantonaux de l'IFN ont constamment gagné en importance ces 25 dernières années. En quoi l'IFN a-t-il concrètement aidé les cantons? Quelles sont les forces et les faiblesses ainsi que les risques et les chances de l'IFN 4 et de son nouveau mode de relevés continus? Les auteurs de cet article, responsables de la planification forestière ou personnes de contact pour l'IFN dans les cantons d'Argovie, de Berne, des Grisons, du Tessin et de Zurich, ont étudié ces questions. Ces cantons ont toujours porté un intérêt marqué à l'IFN et ont eux-mêmes (à l'exception du Tessin) densifié la grille d'échantillonnage de l'IFN en y ajoutant des placettes. Pour eux, l'IFN est devenu une base d'information scientifique indispensable. En conséquence, cet article ne reflète pas l'usage standard de l'IFN, mais le potentiel qu'il offre à tous les cantons.

Kombination von Landesforstinventar- und Fernerkundungsdaten für Kleingebietsschätzungen

Katharina Steinmann Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Adrian Lanz Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Combining data from the Swiss National Forest Inventory and from remote sensing for small-area estimations in forestry

A design-unbiased small estimator was tested in this study. This estimator combines terrestrial data from the Swiss National Forest Inventory (LFI) with ancillary data from stereo aerial images and airborne laser scanner (ALS) data. The estimator was tested for the two target variables: the percentage of forest and the timber volume. The efficiency of the estimator depends on the model precision of the target variable obtained with remote sensing data and other ancillary spatial data, which can potentially explain the spatial variation of the target variable. Canopy heights derived from stereo aerial images (ADS40) and ALS data were used as ancillary data. Regression models for the timber volume and the forest/non-forest decision of the LFI samples were calibrated within the cantons Appenzell Inner Rhodes and Appenzell Outer Rhodes and provided a coefficient of determination of roughly 60%. Adding the forest/non-forest decision from the aerial photo interpretation of the LFI as an explanatory variable slightly improved the models and allowed to gain a coefficient of determination of 65% for the timber volume and 85% for the forest/non-forest decision. Within the forest area, the canopy height models explained nearly 40% (ALS data) and 20% (ADS40 data) of the observed timber volume variability. This case study shows that using remote sensing data can increase the precision (in terms of the standard error) of the timber volume estimation in canton Appenzell Inner Rhodes by roughly 30%. The same is valid for the estimation of the percentage of forest. A reduction in the standard error of about 10% for the latter estimation was obtained by using the aerial images and nearly 25% using the ALS data.

Keywords: small-area estimation, regression estimator, standing volume, remote sensing
doi: 10.3188/szf.2011.0290

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail katharina.steinmann@wsl.ch

Für die Forstwirtschaft und die Umweltpolitik ist eine genaue Kenntnis des Zustandes der Waldressourcen unabdingbar (Grundmann 2009, Werland 2009). Ohne genaue Kenntnisse des momentanen Zustandes und der Veränderungen des Schweizer Waldes wäre beispielsweise das für das Kyoto-Protokoll notwendige Treibhausgasinventar nicht möglich (Thürig & Schmid 2008, FOEN 2010) und es fehlten wichtige Grundlagen für die schweizerische Waldpolitik (Projektleitung WAP-CH, BHP Brugger 2004, Buwal & WSL 2005). Aus wiederholten Waldinventuren können nicht nur der momentane Zustand und rückblickend Veränderungen hergeleitet, sondern auch die zukünftige Entwicklung der Waldressourcen abgeschätzt werden (Thürig & Kaufmann 2008). Terrestrische Inventuren sind kostenintensiv. Ein grosses Potenzial, die Inventurkosten zu senken, haben Fernerkundungsdaten (Eid et al 2004, McRoberts et al 2006, Næsset et al 2004, McRoberts 2006, Tomppo et al 2008). Diese können für die Schätzung verschiedener Populationsparameter und die Modellierung unterschiedlicher Variablen eingesetzt werden, zum Beispiel auf der Einzelbaumebene für die Baumhöhe (Næsset 1997a, Magnussen et al 1999), Basalfläche (Franklin 1986, Wolter et al 2008) oder die Kronengrösse (Wu & Strahler 1994, Song et al 2010). Auf der Bestandesebene können Fernerkundungsdaten verwendet werden, um den Kronenschluss, die Artenzusammensetzung (Waser et al 2010a, 2010b), die Stammzahldichte (Hudak et al 2006, McRoberts 2008) sowie das Bestandesalter zu schätzen. Zusätzlich ermöglichen Hilfsvariablen aus Luftbildern, Laser- oder Satellitendaten die Schätzung von Populations-

parametern in kleinen Gebieten, in welchen nur wenige terrestrische Probeflächen vorhanden sind (Fay & Herriot 1979, Tomppo et al 2008).

Von Kleingebietsschätzungen wird gesprochen, wenn aus den Daten einer Inventur, welche in ihrem Umfang und Design für ein grosses Gebiet optimiert ist (z.B. eine nationale Waldinventur), Schätzungen für ein kleines Gebiet (z.B. einen Forstkreis oder einen kleinen Kanton) gemacht werden sollen. Bei der Kleingebietsschätzung geht es also darum, trotz der an sich ungenügenden Datenlage (zu kleine Stichprobe) doch noch zu akzeptablen Ergebnissen zu kommen (Lanz et al 2009). Eine Möglichkeit besteht darin, Hilfsvariablen einzusetzen (z.B. Fernerkundungsdaten), welche mit der zu untersuchenden Zielgrösse gut korrelieren und für das Kleingebiet flächendeckend (allenfalls in einer grossen Stichprobe) zur Verfügung stehen. Mit den Hilfsvariablen wird die Zielvariable modelliert, wobei das Modell oft in einem grösseren Gebiet kalibriert wird. Dabei stehen verschiedene parametrische und nichtparametrische Regressionsmodelle (generalisierte lineare Regressionsmodelle, kNN-Regressionen etc.) wie auch geostatistische Verfahren zur Auswahl (Jansen et al 2002, Mandallaz 2008, Tomppo et al 2008, Lanz et al 2009, Nothdurft et al 2009). Eine erste Möglichkeit besteht darin, den gesuchten Populationsparameter aus den (fast) flächendeckend vorhandenen Modellvorhersagen im Kleingebiet zu schätzen. Die statistischen Eigenschaften dieser synthetischen Schätzung (Mandallaz 2008, Rao 2003) hängen wesentlich davon ab, ob das Kleingebiet ähnliche Charakteristiken wie das grössere Gebiet aufweist, in welchem das Modell kalibriert wurde. Die Schätzung ist modellabhängig und damit nicht objektiv, leicht anfechtbar und wenig akzeptiert. Falls das Kleingebiet doch so gross ist, dass einige Stichprobenpunkte in diesem liegen, kann die synthetische Schätzung mit dem Differenzschätzer korrigiert und in ihrer Genauigkeit überprüft werden (Särndal et al 1992, Rao 2003, Mandallaz 2008, Lanz et al 2009). Diese Schätzung berücksichtigt die Modellabweichungen im Kleingebiet. Sie ist objektiv (Design-unverzerrt) und dadurch allgemein akzeptiert (nicht anfechtbar).

Vom ökonomischen Standpunkt aus sind die Waldfläche, das Holzvolumen und die daraus abgeleitete Biomasse von besonderem Interesse. Weil sowohl die Unterscheidung zwischen Wald- und Nichtwaldareal wie auch der Holzvorrat im Waldareal mit der Kronenhöhe gut korrelieren, ist ein digitales Oberflächenmodell eine häufig verwendete Hilfsinformation. Für die Berechnung des Modells gibt es grundsätzlich zwei Techniken: die Benutzung von Lidardaten (LiDAR: Light detection and ranging systems) sowie photogrammetrische Verfahren (Kovats 1997, Katsch & Stocker 2000, Latifi et al 2010, Hildebrandt 2010). In der vorliegenden Studie benutzten wir sowohl aus Stereoluftbildern wie auch aus Lidardaten abgeleitete Hilfsvariablen, welche wir in einfachen Regressionsmodellen zu den auf den Probeflächen der terrestrischen Inventur des Landesforstinventars (LFI) beobachteten Holzvorräten und Wald-Nichtwald-Entscheiden in Beziehung setzten. Ziel der Studie war es, herauszufinden, welche Hilfsinformationen und statistischen Methoden für die Kleingebietsschätzung bezüglich des Holzvorrats und des Waldanteils am effizientesten sind respektive inwieweit sich die verschiedenen Ansätze unterscheiden.

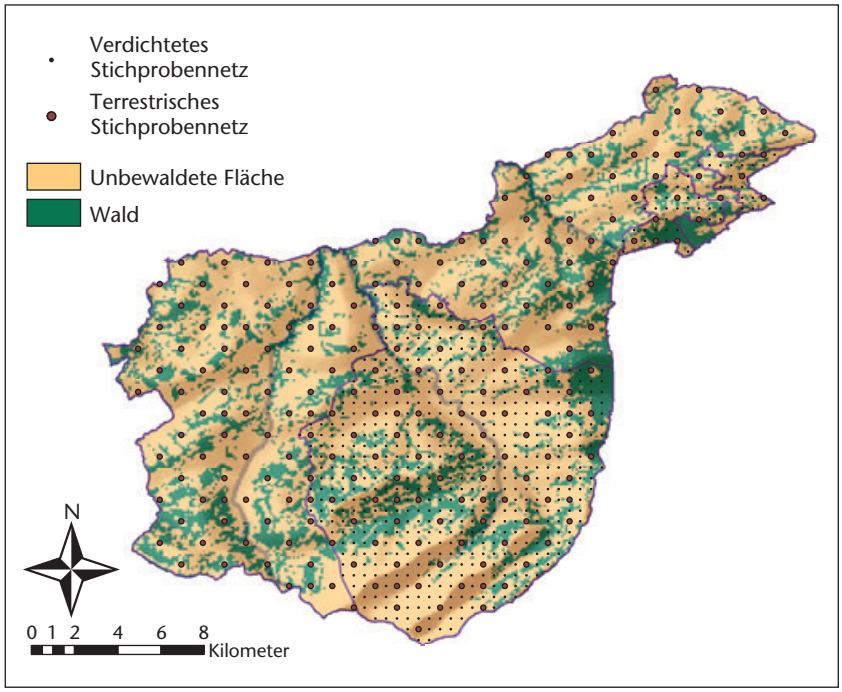


Abb 1 *Anordnung der Stichproben im Testgebiet der Kantone Appenzell Innerrhoden und Ausserrhoden.*

Material und Methoden

Als Testgebiet verwendeten wir das Gebiet der beiden Kantone Appenzell Innerrhoden und Ausserrhoden, welche zusammen eine Fläche von insgesamt 416 km² aufweisen. Dabei betrachteten wir den Kanton Appenzell Innerrhoden als Kleingebiet, in welchem wir auf einem verdichteten Stichprobennetz von 500 m × 500 m die Hilfsvariablen herleiteten. Die Anordnung der Stichproben ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Die Stichprobenumfänge sind aus der Tabelle 1 ersichtlich. Als Zielvariablen benutzten wir das von den Probeflächen repräsentierte Holzvolumen (Hektardichte der lebenden Bäume) sowie den Wald-Nichtwald-Entscheid (vgl. Keller 2005). Die Daten stammen aus dem dritten Schweizerischen Landesforstinventar (LFI3), für welches die terrestrische Erhebungen in den Jahren 2004 bis 2006 erfolgten (Brändli 2010). Das terrestrische Grundnetz des LFI3 besteht aus einem Netz mit einer Maschengrösse von 1.414 km und einem

	Appenzell Innerrhoden	Appenzell Ausserrhoden	Gesamt
Fläche (ha)	17 252	24 283	41 535
Probeflächen in der Luftbildstichprobe (500 m × 500 m; n_1)	692	972	1664
Probeflächen in der terrestrischen Stichprobe (1.4 km × 1.4 km; n_2)	97	135	232
Davon Waldprobenflächen	35	50	85

Tab 1 *Fläche des Untersuchungsgebiets und Stichprobengrössen.*

Zusatznetz mit Maschengrösse 4 km, welches diagonal zum Grundnetz liegt (Abbildung 1, für Details siehe Brändli 2010). Die einzelne Probefläche erfasst die Bäume auf zwei konzentrischen Kreisen. Im kleineren Kreis von 2 Aren Grösse wurden Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser von mindestens 12 cm, im grösseren Kreis solche mit einem Brusthöhendurchmesser von mindestens 36 cm aufgenommen.

Im LFI gilt eine Probefläche nur dann als Waldprobefläche, wenn das Zentrum im Wald liegt. Auf Nichtwaldprobeflächen werden per Definition keine Bäume gemessen (Vorrat ist 0). Der Wald-Nichtwald-Entscheid ist als binomiale Grösse (1 = Wald, 0 = Nichtwald) definiert. Das Holzvolumen auf der Waldprobefläche ist die repräsentierte (lokale) Hektardichte (m³/ha). Details zur Herleitung dieser zwei Zielgrössen sind in Kaufmann (1999) gegeben. Diese Untersuchung bezieht sich auf das Waldareal ohne Gebüschwald.

Hilfsvariablen

Die Luftbilder wurden von einem flugzeuggetragenen digitalen Sensor (Leica ADS40) am 9. Mai beziehungsweise am 7. und 28. Juli 2008 aufgenommen. Mittels Bildkorrelation (unter der Verwendung der Software SocetSet 5.4.1, BAE) wurde aus den stereoskopischen Bildstreifen ein Oberflächenmodell mit einer Auflösung (Pixelgrösse) von 1 m × 1 m erstellt.

Das digitale Geländemodell wurde aus den Lidardaten der Mai- und Oktober-Befliegungen des Jahres 2005 interpoliert. Die mittlere Punktdichte im Untersuchungsgebiet betrug 0.85 Punkte pro Pixel. Die Höhengenauigkeit (Standardabweichung) wird von Swisstopo mit 0.5 bis 1.5 m angegeben. Wie in Abbildung 2 gezeigt, kann das Kronenhöhenmodell aus der Differenz des digitalen Oberflächenmodells und des Geländemodells berechnet werden.

Weil die Präzision von Schätzungen nicht nur vom Modelltyp, sondern auch von der Qualität der Daten abhängt, verwendeten wir verschiedene Methoden zur Aufbereitung der Daten (Abbildung 2). Eine Herausforderung liegt in der Koregistrierung der terrestrischen Daten mit den Fernerkundungsdaten. So können sich bei der Einmessung der Probeflächenzentren der terrestrischen Daten im Feld Abweichungen von der Sollkoordinate ergeben, die im Bereich von über 10 m liegen können. Bei Aufnahmeflächen mit einem Radius in derselben Grössenordnung ist es also möglich, dass eine Luftbildprobefläche nur zur Hälfte die dazugehörige terrestrische

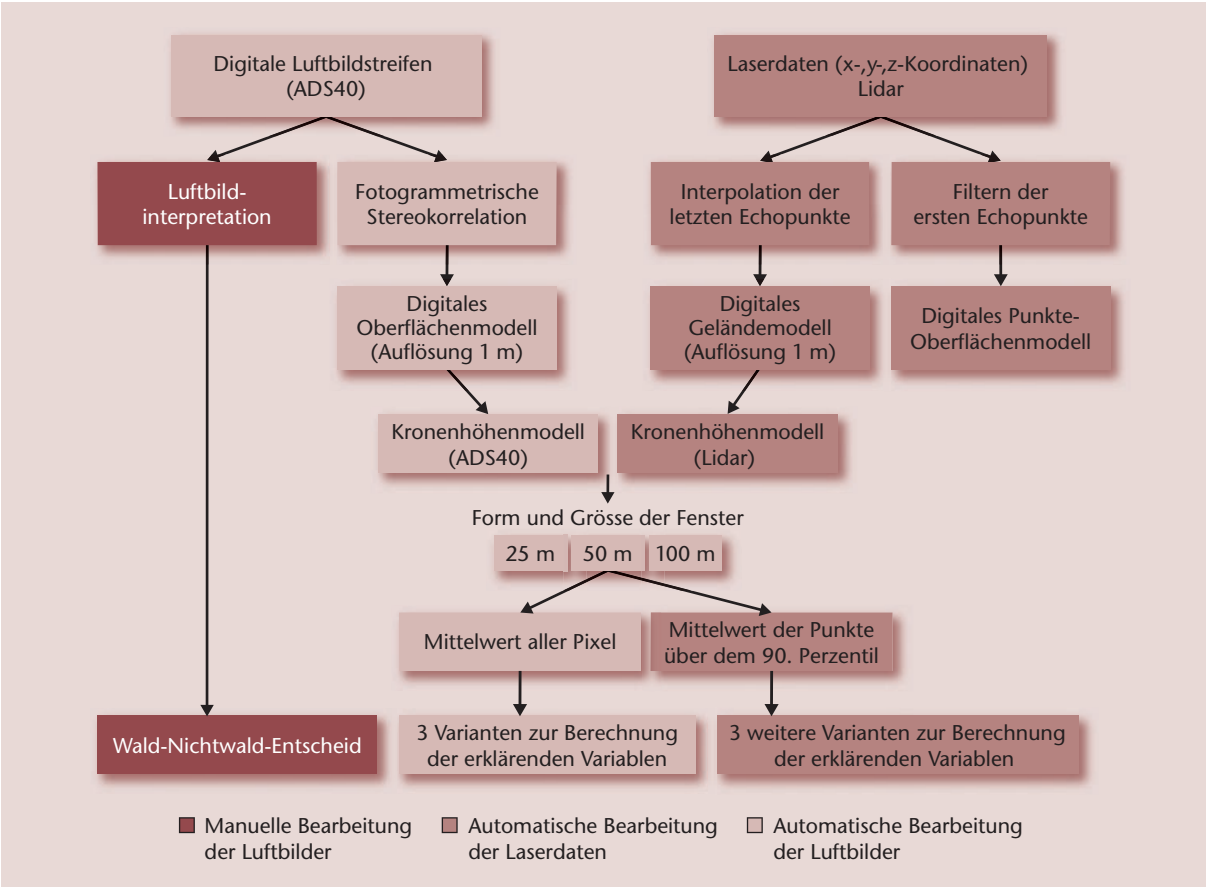


Abb 2 *Aufbereitung der Hilfsvariablen aus den Fernerkundungsdaten.*

Probefläche überdeckt. Liegt das Zentrum der terrestrischen Aufnahmefläche in der Nähe eines Waldrandes, so kann die Schätzung des Holzvorrates durch einen um 10 m verschobenen Luftbildausschnitt, welcher vollumfänglich auf ein Gebiet ausserhalb des Waldes fällt, zusätzlich mit grossen Fehlern behaftet sein. Um den Effekt dieser Fehlerquelle zu testen, verwendeten wir verschieden grosse quadratische Flächen um die Probeflächenzentren, für die die Hilfsvariablen berechnet wurden. So wurden die Hilfsgrössen innerhalb von Quadraten mit Seitenlängen von 25 m, 50 m und 100 m berechnet. Die Mittelwerte aller Pixel innerhalb dieser Quadrate wurden aus den Luftbilddaten berechnet und als Kronenhöhe verwendet. Im Falle der Laserdaten wurde die Kronenhöhe über den Mittelwert aller Punkte, die in ein Quadrat fielen und über dem 90. Perzentil lagen, berechnet. Für Stichprobepunkte, bei denen die Kronenhöhe negativ ausfiel, wurde eine Kronenhöhe von null gesetzt. Überstieg die Kronenhöhe den Wert von 50 m, wurde 50 m angenommen.

Neben den Kronenhöhenmodellen aus Luftbild- und Lidardaten wurde in einigen Modellen auch der Wald-Nichtwald-Entscheid aus der Luftbildinterpretation des LFI verwendet. Dieser wurde von den Luftbildinterpreten für jeden Stichprobenpunkt im 500-m×500-m-Netz unabhängig vom Wald-Nichtwald-Entscheid aus der terrestrischen Inventur gefällt (für Details siehe Ginzler et al 2005).

In einem weiteren Ansatz wurde der Wald-Nichtwald-Entscheid auf dem 500-m×500-m-Netz wiederum aus den Oberflächenmodellen modelliert (modellierter Waldentscheid). Mit einer logistischen Regression wurde aufgrund der Baumhöhendaten die Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Wald vorhergesagt. Stichprobepunkte, für die eine Wahrscheinlichkeit für die Präsenz von Wald von 50% oder mehr vorhergesagt wurde, wurden als Waldprobepunkte definiert, die übrigen Punkte wurden als Nichtwaldproben betrachtet.

Schätzprozeduren und Modelle

Für die Schätzung der mittleren räumlichen Dichte der Zielgrösse im Kleingebiet steht zunächst als Referenz die direkte, einphasige Schätzung

$$\hat{Y}_{dir,k} = \frac{1}{n_{2,k}} \sum_{x \in s_{2,k}} Y(x) \qquad (1)$$

mit geschätzter Varianz

$$\hat{V}(\hat{Y}_{dir,k}) = \frac{1}{n_{2,k}} \hat{V}(Y(x)_k) \qquad (2)$$

zur Verfügung, wobei

$$\hat{V}(Y(x)_k) = \frac{1}{n_{2,k}-1} \sum_{x \in s_{2,k}} (Y(x) - \bar{Y}_{2,k})^2 \qquad (3)$$

die empirische (beobachtete) Varianz der Zielgrösse im Kleingebiet bezeichnet.

Es sind:

$s_{2,k}$: die terrestrische Stichprobe im Kleingebiet k mit einem Umfang von $n_{2,k}$ Probeflächen

$Y(x)$: beobachtete Hektardichte der Zielgrösse auf der x-ten Probefläche (Holzvorrat pro ha bzw. Wald-Nichtwald-Entscheid)

$\bar{Y}_{2,k}$: arithmetischer Mittelwert der Hektardichten in der Stichprobe $s_{2,k}$

Für jeden Schnittpunkt im verdichteten Stichprobennetz ($s_{1,k}$) ist eine Modellvorhersage der Hektardichte der Zielgrösse vorhanden, wobei diese grundsätzlich aus einem beliebigen (externen) Modell stammen darf. Der Schätzer

$$\hat{Y}_{syn,k} = \frac{1}{n_{1,k}} \sum_{x \in s_{1,k}} \hat{Y}(x) \qquad (4)$$

liefert eine synthetische Schätzung der mittleren räumlichen Dichte der Zielgrösse im Kleingebiet, wobei

$s_{1,k}$: die verdichtete Stichprobe im Kleingebiet k mit einem Umfang von $n_{1,k}$ Probepunkten

$\hat{Y}(x)$: modellierte Hektardichte der Zielgrösse auf der x-ten Probefläche

Die dazugehörige Varianz ist gegeben durch

$$\hat{V}(\hat{Y}_{syn,k}) = \frac{1}{n_{1,k}} \hat{V}(\hat{Y}(x)_k) \qquad (5)$$

Weil bei der synthetischen Schätzung die Modellvorhersagen aus einem externen Modell stammen, d.h. Informationen von ausserhalb des Kleingebiets verwendet werden, wird der wahre, unbekannte Wert des gesuchten Populationsparameters in der Regel in einem nicht bekannten Ausmass über- oder unterschätzt. Ein Ausweg bietet der folgende Design-unverzerrte, erwartungstreue Schätzer

$$\hat{Y}_{diff,k} = \hat{Y}_{syn,k} + \frac{1}{n_{2,k}} \sum_{x \in s_{2,k}} R(x) \qquad (6)$$

wobei

$R(x) = Y(x) - \hat{Y}(x)$: Residuum zwischen beobachteter und modellierter Hektardichte der Zielgrösse auf der x-ten Probefläche

Ein Design-unverzerrter Schätzer für die Varianz von $\hat{Y}_{diff,k}$ ist

$$\hat{V}(\hat{Y}_{diff,k}) = \frac{1}{n_{2,k}} \hat{V}(R(x)) + \frac{1}{n_{1,k}} \hat{V}(Y(x)) - \frac{1}{n_{1,k}} \hat{V}(R(x)) \qquad (7)$$

wobei $\hat{V}(R(x))$ in Analogie zu $\hat{V}(Y(x))$ (Formel 3) gemäss

$$\hat{V}(R(x)) = \frac{1}{n_{2,k}-1} \sum_{x \in s_{2,k}} (R(x) - \bar{R}_{2,k})^2$$

auf den $n_{2,k}$ Probeflächen der terrestrischen Stichprobe im Kleingebiet k geschätzt wird.

Hilfsvariable	Erklärte Varianz der Zielvariablen in der terrestrischen Stichprobe							
	Vorrat				Waldanteil			
	ADS40		Lidar		ADS40		Lidar	
Terrestrische Stichprobe								
Kronenhöhe 25 (+ LBE)	0.61	(0.65)	0.63	(0.66)	0.63	(0.84)	0.60	(0.84)
Kronenhöhe 50 (+ LBE)	0.56	(0.63)	0.56	(0.63)	0.62	(0.84)	0.57	(0.84)
Kronenhöhe 100 (+ LBE)	0.46	(0.59)	0.45	(0.60)	0.57	(0.83)	0.44	(0.83)
Nur Waldproben								
Kronenhöhe 25	0.21		0.37					
Kronenhöhe 50	0.16		0.30					
Kronenhöhe 100	0.05		0.21					

Tab 2 *Erklärungsgrad der Modelle, die für die Schätzung der Holzvorräte und der Waldanteile über das Gebiet der Kantone Appenzell Ausserrhoden und Appenzell Innerrhoden verwendet wurden. ADS40: Luftbilddaten; Lidar: Lidardaten; LBE: Luftbildentscheid. Der Index der Kronenhöhe gibt die Seitenlänge (in m) der Stichprobenflächen zur Berechnung der Hilfsvariablen an. Die Werte in Klammern geben die Resultate der Modelle an, in denen der Luftbildentscheid als erklärende Variable integriert wurde.*

Wir nennen diesen Schätzer in Anlehnung an Särndal et al (1992) Differenzschätzer, hier im Rahmen eines zweiphasigen Stichprobendesigns. Mandallaz (2009) verzichtet auf eine besondere Namensgebung für diesen Schätzer. In seinem Buch ist er schlicht der Standardschätzer unter einem zweiphasigen Stichprobendesign mit Hilfsinformationen in der ersten Phase, welche aus einem externen Modell stammen.

Eine Erweiterung des Differenzschätzers ergibt sich bei flächendeckend vorhandenen Hilfsinformationen, beispielsweise in Form von GIS-Layer. Die synthetische Schätzung kann formal als Integral geschrieben werden:

$$\hat{Y}_{syn,\,k} = \frac{1}{\lambda(G_k)} \int_{x \in G_k} \hat{Y}(x)dx \qquad (8)$$

wobei $\lambda(G_k)$ die Fläche des Kleingebiets bezeichnet. Der Differenzschätzer für die mittlere Hektardichte der Zielgrösse im Kleingebiet behält die gleiche Form wie unter dem zweiphasigen Design (Formel 5), und

$$\hat{V}(\hat{Y}_{diff,\,k}) = \frac{1}{n_{2,\,k}} V(R(x)) \qquad (9)$$

ist in diesem Fall ein Design-unverzerrter Schätzer für die Varianz von $\hat{Y}_{diff,\,k}$. Die Herleitung aus dem Varianzschätzer (7) ist intuitiv verständlich ($n_{1,k} \rightarrow \infty$). Dieser Schätzer wird von Mandallaz (2009) als Kleingebietsschätzer und von Särndal et al (1992) als Differenzschätzer unter einem einphasigen Design bezeichnet.

In der vorliegenden Studie wurden für die Differenzschätzer lineare, parametrische Modelle verwendet. Für die Schätzung des Holzvorrates wurden klassische Regressionsmodelle benutzt. Der Wald-Nichtwald-Entscheid wurde über eine logistische Regression modelliert.

Als Mass für die Genauigkeit der Schätzungen wurde der Standardfehler verwendet: $(SF(\hat{Y}) = \sqrt{\hat{V}(\hat{Y})})$. Um den relativen Gewinn der Differenzschätzung gegenüber der direkten Schätzung anzugeben, wurde die relative Effizienz berechnet: $(RE = \hat{V}(\hat{Y}_{diff})/\hat{V}(\hat{Y}_{dir}))$.

Alle statistischen Formeln wurden in der Softwareumgebung R implementiert.[1] Für die GIS-Prozeduren wurden die rgdal-, sp- und raster- Bibliotheken von R verwendet.[2]

Resultate

Modellgüte

Wenn alle terrestrischen Probeflächen in den Kantonen Appenzell Innerrhoden und Ausserrhoden innerhalb und ausserhalb des Waldareals berücksichtigt werden, wenn also Nichtwaldgebieten eine Kronenhöhe von null zugewiesen wird, erklärt die Kronenhöhe bis zu 63% der Varianz der Variable Vorrat auf den Probeflächen (Tabelle 2). Wenn die Modelle nur über die Waldprobeflächen erstellt werden, kann die Kronenhöhe noch knapp 40% der Varianz der Variable Vorrat erklären. Die Modelle, für welche die Hilfsvariablen aus Quadraten mit Seitenlängen von 25 m extrahiert wurden, zeigen stets den besten Erklärungsgrad. Wenn der Holzvorrat über die ganze Fläche modelliert wird, resultieren aus den Luftbilddaten ähnlich gute Modelle wie aus den Lidardaten. Bei der Modellierung des Holzvorrates im Wald allein zeigen die Lidardaten einen im Vergleich

1 R DEVELOPMENT CORE TEAM (2009) R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. www.R-project.org (27.4.2011)

2 KEITT HT, BIVAND R, PEBESMA E, ROWLINGSON B (2010) Package 'rgdal': Bindings for the geospatial data abstraction library. Version: 0.6-28. sourceforge.net/projects/rgdal/ (27.4.2011)
PEBESMA E, BIVAND ROGER (2010) Package 'sp': Classes and methods for spatial data. Version 0.9-72. http://r-spatial.sourceforge.net/ (27.4.2011)
HIJMANS RJ, VAN ETTEN J (2010) Package 'raster': Geographic analysis and modeling with raster data. Version 1.5-16. http://raster.r-forge.r-project.org/ (27.4.2011)

zu den Luftbildern um 15 Prozentpunkte höheren Erklärungsgrad. Die Hinzunahme des Wald-Nichtwald-Entscheides aus der Luftbildinterpretation in die Modelle für den Holzvorrat verbessert diese nur geringfügig. Einzig bei den Modellen, deren Hilfsinformationen aus den Quadraten mit der Seitenlänge von 100 m extrahiert wurden, bringt der Wald-Nichtwald-Entscheid aus der Luftbildinterpretation eine Verbesserung von mehr als 10%.

Die Modelle für den Wald-Nichtwald-Entscheid erreichen einen Erklärungsgrad von rund 60% (siehe Tabelle 2), wobei die Modelle, welche auf den Luftbilddaten basieren, für diese Zielgrösse leicht besser sind als die Modelle mit den Lidardaten. Bei Hinzunahme des Waldentscheides aus der Luftbildinterpretation als erklärende Variable verbessert sich der Erklärungsgrad der Modelle um rund 20 Prozentpunkte.

Direkte Schätzungen

Der aus der terrestrischen Inventur direkt geschätzte, mittlere Holzvorrat pro Hektar Kantonsfläche liegt im Kanton Appenzell Ausserrhoden bei 234 m³/ha (Standardfehler [SF] = 32.02), im Kanton Appenzell Innerrhoden bei 184 m³/ha (SF = 30.79). Der geschätzte mittlere Holzvorrat pro Hektar Wald beträgt 631 m³ (SF = 49.79) im Kanton Ausserrhoden beziehungsweise 510 m³ (SF = 50.28) im Kanton Appenzell Innerrhoden (Tabelle 3).

Der direkt aus den terrestrischen Daten geschätzte Waldanteil im Kanton Appenzell Innerrhoden liegt bei 36%, mit einem Standardfehler von 4.9 Prozentpunkten. Im Kanton Appenzell Ausserrhoden liegt der Waldanteil bei 37%, mit einem Standardfehler von 4.2 Prozentpunkten (Tabelle 3).

		Gesamt	Appenzell Ausserrhoden	Appenzell Innerrhoden
Holzvorrat auf der Gesamtfläche (m³/ha)	Mittelwert	212	234	184
	Standardfehler	23	32	31
Holzvorrat im Wald (m³/ha)	Mittelwert	581	631	510
	Standardfehler	36	50	50
Waldanteil (%)	Mittelwert	0.37	0.37	0.36
	Standardfehler	0.032	0.042	0.049

Tab 3 Direkte Schätzung für das Holzvolumen und den Waldanteil über das Gebiet der Kantone Appenzell Ausserrhoden und Innerrhoden.

Kleingebietsschätzungen

Weil die Modelle, für die die Hilfsinformationen in Quadraten der Seitenlänge 25 m berechnet wurden, stets die besten Ergebnisse zeigen, werden im Folgenden auch nur Resultate basierend auf diesen Daten dargestellt (die Ergebnisse für Quadrate mit Seitenlänge 50 m und 100 m weisen jedoch ähnliche Muster auf).

Die Schätzgenauigkeiten der Differenzschätzer auf dem 500-m×500-m-Netz unterscheiden sich nur gering von den Schätzgenauigkeiten, die bei flächendeckenden Modellvorhersagen erreicht werden könnten (Tabelle 4 zeigt Differenzen der Standardfehler beider Schätzer von weniger als 2 m³/ha). Somit bewegt sich auch die Reduktion der Varianz der beiden Schätzer gegenüber der direkt aus den terrestrischen Beobachtungen geschätzten Varianz in derselben Grössenordnung (siehe relative Effizienz der beiden Schätzer in Tabelle 4).

Mittlerer Holzvorrat über das ganze Kantonsgebiet

Für diese Modelle zeigen die Differenzschätzungen eine maximale Abweichung von 33 m³/ha von der direkten Schätzung (Tabelle 4, Modell ADS40).

Erklärende Variablen	Direkte Schätzung		Synthetische Schätzung		Differenzschätzung				
					Mittelwert	500 m × 500 m		Flächendeckend	
	Mittelwert	Standardfehler	Mittelwert	Standardfehler		Standardfehler	Relative Effizienz	Standardfehler	Relative Effizienz
Holzvorrat (m³/ha)									
ADS40	184	31	213	9.45	151	23	0.56	22	0.50
ADS40 + LBE	184	31	190	9.57	157	22	0.49	20	0.42
Lidar	184	31	174	8.98	172	21	0.47	20	0.40
Lidar + LBE	184	31	176	9.25	164	20	0.44	19	0.36
Holzvorrat im Wald (m³/ha)									
Waldentscheid aufgrund der Luftbildinterpretation									
ADS40	510	50	540	9.50	492	45	0.80	44	0.77
Lidar	510	50	541	12.58	524	39	0.62	38	0.56
Waldentscheid aufgrund des Modells									
ADS40	510	50	584	8.13	535	45	0.81	44	0.77
Lidar	510	50	591	7.86	573	39	0.61	38	0.56

Tab 4 Vergleich verschiedener Methoden zur Schätzung des Holzvorrates in Appenzell Innerrhoden. Dargestellt sind die Resultate der Modelle, für die die Kronenhöhe innerhalb von Quadraten mit einer Seitenlänge von 25 m abgeleitet wurde. Unter «relativer Effizienz» der verglichenen Schätzverfahren ist das Verhältnis der Varianz des betreffenden Modells zur beobachteten Varianz zu verstehen. ADS40: Luftbilddaten, Lidar: Lidardaten, LBE: Luftbildentscheid.

Die auf Lidardaten basierenden Differenzschätzungen liegen in der Regel näher bei der direkten Schätzung. Während die synthetischen Schätzungen mit Luftbilddaten über der direkten Schätzung liegen, liefern die Lidardaten synthetische Schätzungen, die unter den direkten Schätzungen liegen. Die Differenzschätzer korrigieren jedoch alle synthetischen Schätzungen so weit nach unten, dass sie im Vergleich mit der direkten Schätzung ein tieferes mittleres Holzvolumen vorhersagen. Der direkte Schätzer liegt jedoch stets innerhalb des 95%-Vertrauensintervalls der Differenzschätzer. Dies gilt auch für die synthetischen Schätzer. Die Differenzschätzer der Modelle, welche auf den Lidardaten beruhen, liegen im Vergleich zu den Modellen, die auf den Luftbilddaten basieren, etwas näher beim direkt geschätzten Holzvolumen.

Je nach Modelltyp kann die Varianz um mehr als die Hälfte reduziert werden. Die höchste Schätzpräzision liefern die Laserdaten aus den Probenflächen mit Seitenlänge 25 m. Die relative Effizienz im Vergleich mit der direkten Schätzung liegt, wie beim Wald-Nichtwald-Entscheid, bei 0.44 (Tabelle 4, Lidar + LBE). Generell führen die Laserdaten im Vergleich zu den Luftbilddaten zu etwas präziseren Schätzungen des Holzvorrates.

Mittlerer Holzvorrat im Wald

Die Differenzschätzungen zeigen Abweichungen von unter 20 m³/ha von der direkten Schätzung, sofern der Waldentscheid des verdichteten Stichprobennetzes auf der Luftbildinterpretation basiert (Tabelle 4). Wird der Waldentscheid jedoch mittels Kronenhöhen modelliert, zeigen die Differenzschätzungen eine Abweichung von bis zu 63 m³/ha von der direkten Schätzung. Bei allen Modellen liegt der synthetische Schätzer über dem direkt geschätzten Holzvolumen. Auch in diesem Fall werden die synthetischen Schätzer nach unten korrigiert. Allerdings liegen die auf den Lidardaten basierenden Differenzschätzer über dem direkt geschätzten Holzvolumen. Dies gilt auch für den Differenzschätzer, der aus den ADS40-Daten hervorgeht, sofern der Waldentscheid aus den Luftbildern stammt. Für alle Modelle im Waldareal gilt, dass der direkte Schätzer wie auch die synthetischen Schätzer innerhalb des 95%-Vertrauensintervalls der Differenzschätzer liegen. Allerdings ist bei dem Modell, welches auf dem modellierten Waldentscheid beruht, die Differenz zwischen dem Differenzschätzer und dem direkten Schätzer im Fall der Lidardaten mit einem Wert von 63 m³/ha relativ gross.

Mit den Lidardaten kann die Varianz der Schätzung um knapp die Hälfte reduziert werden (Tabelle 4: relative Effizienz von 0.56). Modelle, die auf den Luftbilddaten basieren, können die Varianz um knapp einen Viertel reduzieren (Tabelle 4: relative Effizienz von 0.77).

Unabhängig davon, ob der Wald-Nichtwald-Entscheid anhand der Luftbildinterpretation getroffen oder modelliert wird, ergibt sich für das geschätzte Holzvolumen dieselbe Schätzgenauigkeit.

Waldanteil im Kanton

Der Waldanteil wird mit Unterstützung durch Luftbilddaten etwas genauer geschätzt als mithilfe von Lidardaten (Tabelle 5). Die relative Effizienz liegt bei etwa 0.3 bis 0.4, bei Verwendung von Lidardaten rund 0.1 Punkte höher. Sobald jedoch der Wald-Nichtwald-Entscheid aus der Luftbildinterpretation des LFI in die Modelle integriert wird, führen Luftbild- und Lidardaten zu gleichen Schätzgenauigkeiten. Dieselben Schätzgenauigkeiten werden jedoch mit dem Wald-Nichtwald-Entscheid aus der Luftbildinterpretation alleine ebenfalls erreicht (Tabelle 5). Die beiden letzten Spalten in der Tabelle geben an, wie gross der Gewinn wäre, falls die Hilfsvariablen flächendeckend statt nur im 500-m×500-m-Netz generiert würden.

Diskussion

Die Design-unverzerrten Differenzschätzungen korrigieren die direkten Schätzungen für den Holzvorrat und den Waldanteil im Kanton Appenzell Innerrhoden deutlich, aber innerhalb der Ver-

Erklärende Variablen	Direkte Schätzung		Synthetische Schätzung		Differenzschätzung				
					Mittelwert	500 m × 500 m		Flächendeckend	
	Mittelwert	Standard-fehler	Mittelwert	Standard-fehler		Standard-fehler	Relative Effizienz	Standard-fehler	Relative Effizienz
ADS40	0.37	0.049	0.32	0.013	0.31	0.031	0.40	0.028	0.32
ADS40 + LBE	0.37	0.049	0.32	0.001	0.31	0.024	0.24	0.018	0.14
Lidar	0.37	0.049	0.32	0.013	0.34	0.034	0.48	0.031	0.41
Lidar + LBE	0.37	0.049	0.32	0.001	0.32	0.024	0.24	0.018	0.13
LBE	0.37	0.049	0.38	0.015	0.37	0.024	0.23	0.018	0.13

Tab 5 *Vergleich verschiedener Methoden zur Schätzung des Waldanteils in Appenzell Innerrhoden (Angaben in %). Dargestellt sind die Resultate der Modelle, für die die Kronenhöhe innerhalb von Quadraten mit einer Seitenlänge von 25 m abgeleitet wurde. Unter «relativer Effizienz» der verglichenen Schätzverfahren ist das Verhältnis der Varianz des betreffenden Modells zur beobachteten Varianz zu verstehen. ADS40: Luftbilddaten, Lidar: Lidardaten, LBE: Luftbildentscheid.*

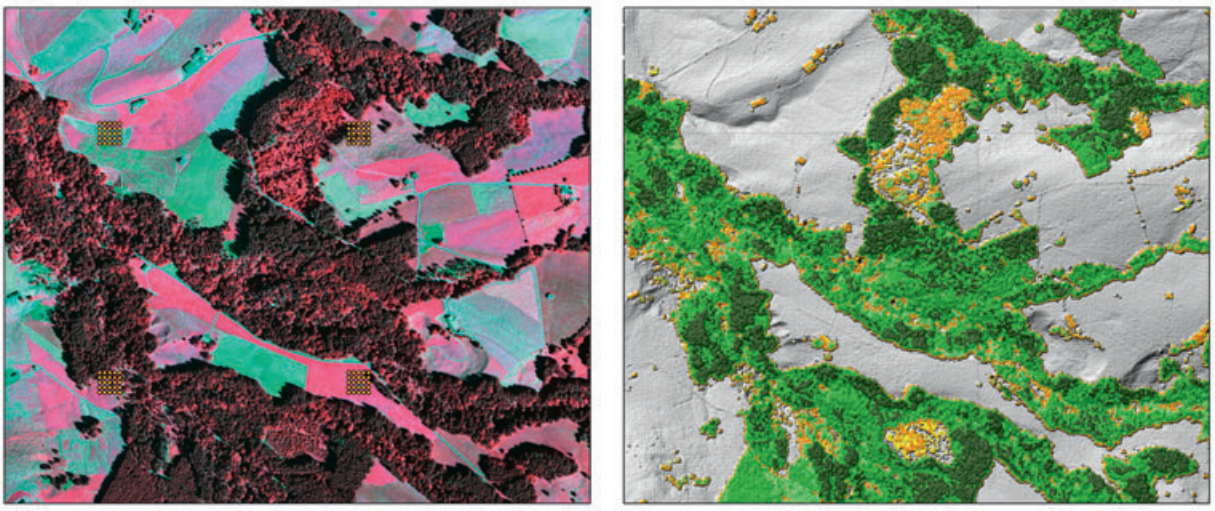


Abb 3 *Beispiel der verwendeten Fernerkundungsdaten. Links: Farbinfrarotbild mit den Rasterpunkten der verdichteten Probeflächen aus der Luftbildinterpretation. Rechts: Kronenhöhen, welche aus den Stereoluftbildern und Lidardaten berechnet wurden; gelb 3–5 m, orange 5–10 m, hellgrün 10–5 m, grün 15–20 m, dunkelgrün > 20 m. Kartendaten: DTM-AV DOM-AV © 2011 Swisstopo (5704 000 000). Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (JA100118).*

trauensbereiche, nach unten, woraus geschlossen werden kann, dass die terrestrische Stichprobe mit ihrer zufälligen Lage der Stichprobenpunkte eher etwas zu viele Waldproben mit etwas zu hohem Vorrat aufweist (Abbildung 3).

Die räumliche Variabilität der Verteilung des Holzvolumens über das Kantonsgebiet Appenzell Innerrhoden kann mit den Oberflächenmodellen aus den Luftbildern beziehungsweise aus den Lidardaten annähernd gleich gut erklärt werden. Beide Modelle liefern Vorhersagen der lokalen Kronenhöhen, welche bis zu 60% der Variabilität der beobachteten Hektarvorräte auf den terrestrischen Probeflächen erklären. Werden nur die Probeflächen im Wald betrachtet, kann mit den Lidardaten der Holzvorrat deutlich besser modelliert werden als mit den Luftbildinformationen. Allerdings erklären auch die Lidardaten kaum mehr als einen Drittel der Variabilität der Probeflächenwerte im Wald. Im Vergleich zu skandinavischen Studien, bei denen Lidardaten circa 80% der Varianz des Holzvolumens erklären können (Holmgren 2004, Næsset 2002), sind die hier untersuchten Modelle eher schwach. Ein Grund dafür liegt sicher in der höheren Baumartenvielfalt und der generell komplexeren Waldstruktur und Topografie im Testgebiet verglichen mit den borealen Wäldern der erwähnten Studien. Das geschätzte Holzvolumen ist nicht nur von der Kronenhöhe, sondern auch von den Baumarten abhängig. So zeigten beispielsweise Næsset et al (2004), dass Modelle für Koniferen verzerrte Schätzungen für Mischwälder liefern. Dabei stieg der Schätzfehler mit steigendem Anteil laubabwerfender Arten (Næsset 2004). Næsset (1997b) zeigte auch, dass die Baumhöhen und das Stammvolumen nicht für alle Arten gleich gut korrelieren. Des Weiteren ist bekannt, dass Schätzungen in sowohl dichten wie inhomogenen Wäldern mit einem hohen Anteil von Laubbäumen im Vergleich zu Schätzungen in weniger dichten und homogenen Beständen mit Nadelbäumen weniger genau sind (Brandtberg et al 2003).

Obwohl der Erklärungsgrad der Modelle eher bescheiden ist, kann der Schätzfehler für das Holzvolumen zum Teil erheblich reduziert werden. Die Varianz der Schätzung des mittleren Holzvorrats über die gesamte Fläche des Kantons Appenzell Innerrhoden kann um mehr als die Hälfte reduziert werden. Das bedeutet, dass unter Verwendung von Luftbild- oder Lidardaten mit einer Halbierung der Anzahl terrestrischer Probeflächen dieselbe Schätzgenauigkeit erreicht werden kann wie mit der direkten Schätzung. Es bedeutet aber auch, dass mit den Hilfsinformationen der Schätzfehler (Standardfehler) gegenüber der direkten Schätzung um rund einen Drittel reduziert werden kann. Der Vergleich der in der Untersuchung erzielten Schätzfehler mit im 500-m×500-m-Netz generierten Hilfsvariablen mit den erwarteten Schätzfehlern, welche mit flächendeckend generierten Hilfsvariablen erzielt werden könnten, zeigt, dass die gewählte Dichte der Hilfsvariablen im 500-m×500-m-Netz für die meisten Anwendungen in der Praxis genügt. Mit flächendeckend generierten Hilfsvariablen könnten die Schätzfehler um maximal 5% reduziert werden. Die Effizienz der Differenzschätzung für die mittlere Dichte des Holzvolumens im Wald (Vorrat pro ha Wald) hängt davon ab, mit welcher Genauigkeit bekannt ist, wo sich der Wald befindet. Idealerweise müsste eine Waldmaske zur Verfügung stehen. Unsere Modelle zeigen, dass sich der Waldanteil mit den Kronenhöhenmodellen gut schätzen lässt. Der Schätzfehler im Kanton Appenzell Innerrhoden ist kleiner als 3 Prozentpunkte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Schätzgenauigkeit für den Holzvorrat mit Lidardaten wie mit den Luftbilddaten deutlich erhöht wer-

den kann (Reduktion der Varianz um die Hälfte). Dabei sind die Lidardaten für die Schätzung des Holzvorrates im Waldareal leicht besser geeignet, während für die Schätzung des Waldanteiles (und die Prognose einer Waldmaske) Luftbilddaten möglicherweise besser sind.

Der Holzvorrat im Wald kann auch über das Verhältnis des geschätzten Holzvolumens im Gesamtgebiet zum geschätzten Waldanteil im Gesamtgebiet geschätzt werden. In einem nächsten Schritt gilt es zu prüfen, welche Schätzgenauigkeit mit einem solchen Quotientenschätzer erreicht werden kann. Der Quotientenschätzer hätte den Vorteil, dass Luftbilddaten alleine genügen würden. Dies, weil in der vorliegenden Studie der mittlere Holzvorrat für das Gesamtgebiet mit Luftbildern gleich gut geschätzt wurde wie mit Lidardaten. In Anbetracht der Tatsache, dass flächendeckende Lidarbefliegungen durch die Swisstopo in naher Zukunft unwahrscheinlich sind, während die Luftbilder nachgeführt werden, ist dieses Resultat für die Anwendung in der Praxis bedeutend. ■

Eingereicht: 12. November 2010, akzeptiert (mit Review): 15. April 2011

Literatur

BRANDTBERG T, WARNER TA, LANDENBERGER RE, MCGRAW JB (2003) Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density lidar data from the eastern deciduous forest in North America. Remote Sens Environ 85: 290–303.

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BUWAL, WSL (2005) Waldbericht 2005 – Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 152 p.

EID T, GOBAKKEN T, NÆSSET E (2004) Comparing stand inventories for large areas based on photo-interpretation and laser scanning by means of cost-plus-loss analyses. Scand J Forest Res 19: 512–523.

FAY RE, HERRIOT RA (1979) Estimates of income for small places: An application of James-Stein procedures to census data. J Am Statistical Ass 74: 269–277.

FRANKLIN J, (1986) Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. Int J Remote Sens 7: 1287–1301.

GINZLER C ET AL (2005) Luftbildinterpretation LFI3: Interpretationsanleitung zum dritten Landesforstinventar. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 85 p.

FOEN (2010) Switzerland's greenhouse gas inventory 1990–2008. National Inventory Report 2010. Berne: Federal Office Environment. 233–273 p.

GRUNDMANN R (2009) The role of expertise in governance processes. Forest Policy Econ 11: 398–03.

HILDEBRANDT G (2010) The beginnings of aerial photogrammetry and interpretation in German forestry after 1945. Photogramm Fernerkund Geoinf 4: 235–242.

HOLMGREN J (2004) Prediction of tree height, basal area and stem volume in forest stands using airborne laser scanning. Scand J Forest Res 19: 543–553.

HUDAK AT ET AL (2006) Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral satellite data. Can J Remote Sens 32: 126–138.

JANSEN M, JUDAS M, SABOROWSKI J (2002) Spatial modelling in forest ecology and management – a case study. Berlin: Springer. 225 p.

KATSCH C, STOCKER M (2000) Automatic determination of stand heights from aerial photography using digital photogrammetric systems. Allg Forst Jagdztg 171: 74–80.

KAUFMANN E (1999) Vorrat, Zuwachs, Nutzung. In: Brassel P, Lischke H. Schweizerisches Landesforstinventar – Methoden und Modelle der Zweitaufnahme 1993–1995. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. Kap. 3.2.

KELLER M, EDITOR (2005) Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Feldaufnahmen der Erhebung 2004–2007. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 393 p.

KOVATS M (1997) A large-scale aerial photographic technique for measuring tree heights on long-term forest installations. Photogramm Eng Rem S 63: 741–747.

LANZ A, BIERER D, FRINGELI G, MANDALLAZ D (2009) Neue Ansätze für die Waldinventur in der Schweiz. In: Thees O, Lemm R, editors. Management zukunftsfähige Waldnutzung. Grundlagen, Methoden und Instrumente. Zürich: VDF. 804 p.

LATIFI H, NOTHDURFT A, KOCH B (2010) Non-parametric prediction and mapping of standing timber volume and biomass in a temperate forest: application of multiple optical/LiDAR-derived predictors. Forestry 83: 395–407.

MAGNUSSEN S, EGGERMONT P, LARICCIA VN (1999) Recovering tree heights from airborne laser scanner data. Forest Sci 46: 407–422.

MANDALLAZ D (2008) Sampling techniques for forest inventories. Boca Raton: Chapman & Hall. 256 p.

MCROBERTS RE, HOLDEN GR, NELSON MD, LIKNES GC, GORMANSON DD (2006) Using satellite imagery as ancillary data for increasing the precision of estimates for the Forest Inventory and Analysis program of the USDA Forest Service. Can J Forest Res 36: 2968–2980.

MCROBERTS RE (2008) Using satellite imagery and the k-nearest neighbors technique as a bridge between strategic and management forest inventories. Remote Sens Environ 112: 2212–2221.

NÆSSET E (1997A) Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. ISPRS J Photogramm 52: 49–56.

NÆSSET E (1997B) Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. Remote Sens Environ 61: 246–253.

NÆSSET E (2002) Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. Remote Sens Environ 80: 88–99.

NÆSSET E ET AL (2004) Laser scanning of forest resources: the nordic experience. Scand J Forest Res 19: 482–499.

NÆSSET E (2004) Practical large-scale forest stand inventory using small-footprint airborne scanning laser. Scand J Forest Res 19: 164–179.

NOTHDURFT A, SABOROWSKI J, BREIDENBACH J (2009) Spatial prediction of forest stand variables. Eur J Forest Res 128: 241–251.

PROJEKTLEITUNG WAP-CH, BHP BRUGGER & PARTNER (2004) Waldprogramm Schweiz (WAP-CH). Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 363. 117 p.
RAO JNK (2003) Small area estimation. Hoboken: Wiley. 313 p.
SÄRNDAL CE, SWENSSON B, WRETMAN J (1992) Model assisted survey sampling. Berlin: Springer. 964 p.
SONG C, DICKINSON B, SU L, ZHANG S, YAUSSEY D (2010) Estimating average tree crown size using spatial information from Ikonos and QuickBird images: Across-sensor and across-site comparisons. Remote Sens Environ 114: 1099–1107.
THÜRIG E, KAUFMANN E (2008) Waldbewirtschaftung zur Senkenerhöhung? Mögliche Konfliktfelder und Synergien. Schweiz Z Forstwes 159: 281–287. doi: 10.3188/szf.2008.0281
THÜRIG E, SCHMID S (2008) Jährliche CO_2-Flüsse im Wald: Berechnungsmethode für das Treibhausgasinventar. Schweiz Z Forstwes 159: 31–38. doi: 10.3188/szf.2008.0031
TOMPPO E, HAAKANA M, KATILA M, PERÄSAARI J (2008) Multi-source national forest inventory – methods and applications. Dordrecht: Springer. 373 p.
WASER LT, KLONUS S, EHLERS M, KUCHLER M, JUNG A (2010A) Potential of digital sensors for land cover and tree species classifications – a case study in the framework of the DGPF-Project. Photogramm Fernerkund Geoinf 2: 141–156.
WASER LT, GINZLER C, KÜCHLER M (2010B) Semi-automatische Baumartendifferenzierung auf der Grundlage von ADS40-Digitalkamera-Luftbildern. Forstl Forsch.ber München. 209: 30–37.
WERLAND S (2009) Global forest governance – bringing forestry science (back) in. Forest Policy Econ 11: 446–451.
WOLTER PT, TOWNSEND PA, STURTEVANT BR, KINGDON CC (2008) Remote sensing of the distribution and abundance of host species for spruce budworm in Northern Minnesota and Ontario. Remote Sens Environ 112: 3971–3982.
WU Y, STRAHLER A (1994) Remote estimation of crown size, stand density, and biomass on the Oregon Transect. Ecol Appl 4: 299–312.

Kombination von Landesforstinventar- und Fernerkundungsdaten für Kleingebietsschätzungen

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein Design-unverzerrter Kleingebietsschätzer getestet, welcher terrestrische Daten aus dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) mit Hilfsinformationen aus Stereoluftbildern und Lidardaten kombiniert. Zielgrösse waren der Waldanteil und der Holzvorrat. Die Effizienz des Schätzers hängt im Wesentlichen davon ab, mit welcher Genauigkeit der Wert der Zielgrösse auf den einzelnen Probeflächen der terrestrischen Inventur mit aus Fernerkundungs- und möglicherweise weiteren Raumdaten hergeleiteten Hilfsgrössen modelliert werden kann. Als Hilfsvariablen wurden zunächst Kronenhöhen verwendet, welche aus Stereoluftbildern (ADS40) und Lidardaten abgeleitet wurden. Die Regressionsmodelle wurden für den Holzvorrat und den Wald-Nichtwald-Entscheid der LFI-Probeflächen der Kantone Appenzell Innerrhoden und Appenzell Ausserrhoden kalibriert und lieferten ein Bestimmtheitsmass (r^2) von rund 60%. Wenn als erklärende Variable der Wald-Nichtwald-Entscheid aus der Luftbildinterpretation des LFI verwendet wird, werden die Modelle noch etwas besser und liefern Bestimmtheitsmasse in der Grössenordnung von rund 65% für den Holzvorrat respektive 85% für den Wald-Nichtwald-Entscheid. Für den nur innerhalb des Waldareals vorhergesagten Holzvorrat ergeben sich aus den Kronenhöhenmodellen Bestimmtheitsmasse von knapp 40% (Lidardaten) respektive 20% (Stereoluftbilddaten). In der Fallstudie zeigte sich, dass die Genauigkeit (Standardfehler) der Holzvorratsschätzung im Kanton Appenzell Innerrhoden und ebenso diejenige der Waldanteilschätzung mit den Fernerkundungsdaten um etwa 30% erhöht werden kann. Für die Schätzung des Holzvorrats im Waldareal allein resultiert eine Reduktion des Standardfehlers um gut 10% mit Luftbilddaten respektive knapp 25% mit Lidardaten.

Combinaison des données de l'Inventaire forestier national et de télédétection pour l'estimation de petits domaines

Un estimateur sans biais pour petits domaines a été testé dans cette étude. Ce modèle combine des données terrestres de l'Inventaire forestier national suisse (IFN) avec des informations auxiliaires extraites de photographies aériennes stéréoscopiques et de données Lidar. Les valeurs cibles portaient sur la part de forêt et le volume sur pied. L'efficience de l'estimateur dépend principalement de la précision avec laquelle la valeur cible obtenue sur les placettes de l'inventaire terrestre peut être prédite par des variables explicatives auxiliaires basées sur des données de télédétection et éventuellement d'autres données spatiales. Comme variables explicatives nous avons d'abord utilisé les hauteurs de houppiers estimées sur la base de photos aériennes stéréoscopiques (ADS40) et de données Lidar. Les modèles de régression multiple ont été calibrés pour estimer le volume sur pied et définir la variable indicatrice IF d'appartenance à la forêt des placettes IFN des cantons d'Appenzell Rhodes-Intérieures et d'Appenzell Rhodes-Extérieures. Ces modèles ont permis d'obtenir un coefficient de détermination de 60%. L'ajustement devrait être meilleur en définissant la variable indicatrice IF par l'interprétation des photos aériennes de l'IFN. Il sera alors possible d'obtenir un coefficient de détermination de 65% pour le volume sur pied et de 85% pour la variable IF. A l'intérieur de l'aire forestière (IF=1), l'utilisation de la hauteur prédite des houppiers donne un coefficient de détermination de près de 40% (données Lidar), respectivement de 20% (données des photos aériennes stéréos) pour le volume sur pied mesuré sur les placettes terrestres. L'étude de cas montre que les données de télédétection permettent d'améliorer de quelque 30% la précision (erreur standard) de l'estimation tant du volume sur pied, dans le canton d'Appenzell Rhodes-Intérieures, que de la proportion de la surface de l'aire forestière. Pour la seule estimation du volume sur pied dans l'aire forestière, il en résulte une réduction de l'erreur standard d'au moins 10% avec les données de photos aériennes et d'environ 25% avec les données Lidar.

Nachhaltiges Holzproduktionspotenzial im Schweizer Wald

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

Potential of sustainable wood production in Swiss forests

In the Swiss National Forest Inventory (NFI), the data collected in the three inventories (NFI1 1983–1985, NFI2 1993–1995, NFI3 2004–2006) provide the basis not only for analysing the present state of the forest and how it has developed up to now, but also for assessing, with the help of models, how it might develop in future. The scenario model «Massimo 3», developed at the Swiss Federal Institut for Forest, Snow and Landscape Research, is an empirical and stochastic simulation model. It relies on data from the NFI and forecasts the development of the forest according to how it is managed. Six scenarios with different management regimes were defined according to the economic, silvicultural and ecological aspects considered. In three scenarios the growing stock is kept constant at the level of NFI3, but different management strategies are used (Scenario A: basis [business as usual], Scenario E: even-aged forests are transformed into uneven-aged forests, and Scenario F: near-natural percentages of conifers are promoted). In two scenarios forest management is partially abandoned for either ecological reasons (Scenario B: reservations, 10% of the forest area is left unmanaged) or for economic reasons (Scenario C: harvesting costs, 40% of the forest area is left unmanaged). Scenario D (rotation periods are shortened) was used to study the effects of augmenting the annual harvesting amount. A forecasting time period of 100 years was selected to assess the long-term effects of the scenarios. Scenarios A, D, and E show that the sustainable harvesting potential of merchantable wood lies in a relatively narrow range of 7.1 to 7.3 million m³/year, even though in Scenario D the growing stock is reduced from 360 m³/ha to 305 m³/ha. In Scenario F regeneration is systematically established with near-natural percentages of conifers, the long-term harvesting potential is slightly less: about 6.5 million m³/year of merchantable wood. If forest management is abandoned for economic reasons on as much as 40% of the forest area (Scenario C, harvesting costs), the impact on the wood reserves is very negative.

Keywords: wood production, forest development, simulation model, Massimo
doi: 10.3188/szf.2011.0300

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail edgar.kaufmann@wsl.ch

Die Daten aus den drei Landesforstinventaren LFI1 (1983–1985), LFI2 (1993–1995) und LFI3 (2004–2006) erlauben eine Analyse des Waldzustandes und der Entwicklung der Holzressourcen in den letzten 20 Jahren. Diese Daten sind zudem eine gute Basis, um mithilfe von Szenariomodellen künftige Waldentwicklungen in Abhängigkeit der Waldbewirtschaftung abzuschätzen. Es gehört im westeuropäischen Raum zum Standard, mit empirischen Modellen, welche aus Stichprobeninventuren stammende Daten fortschreiben, Bewirtschaftungsszenarien zu errechnen. So wurden in Baden-Württemberg (Deutschland) auf der Grundlage von Daten der Bundeswaldinventur mit dem Modell «Weham» (Bösch 2004), in Österreich auf Basis der österreichischen Waldinventur mit dem Modell «Prognaus» (Ledermann & Neumann 2009, Neumann & Schadauer 2007), für Finnland wie auch für andere europäische Wälder mit dem Modell «Efiscen» (Nabuurs et al 2000, Nabuurs & Päivinen 1998) Szenarien zur Abschätzung von Holznutzungspotenzialen gerechnet. In der Schweiz wurde zu diesem Zweck nach Abschluss des LFI2 an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) das Szenariomodell «Massimo» (Kaufmann 2001) erstellt und seither laufend weiterentwickelt. Szenarien wurden hauptsächlich gerechnet, um die Möglichkeiten der Kohlenstoffspeicherung im Schweizer Wald abschätzen (Taverna et al 2007, Kaufmann 2008, Thürig & Kaufmann 2008,

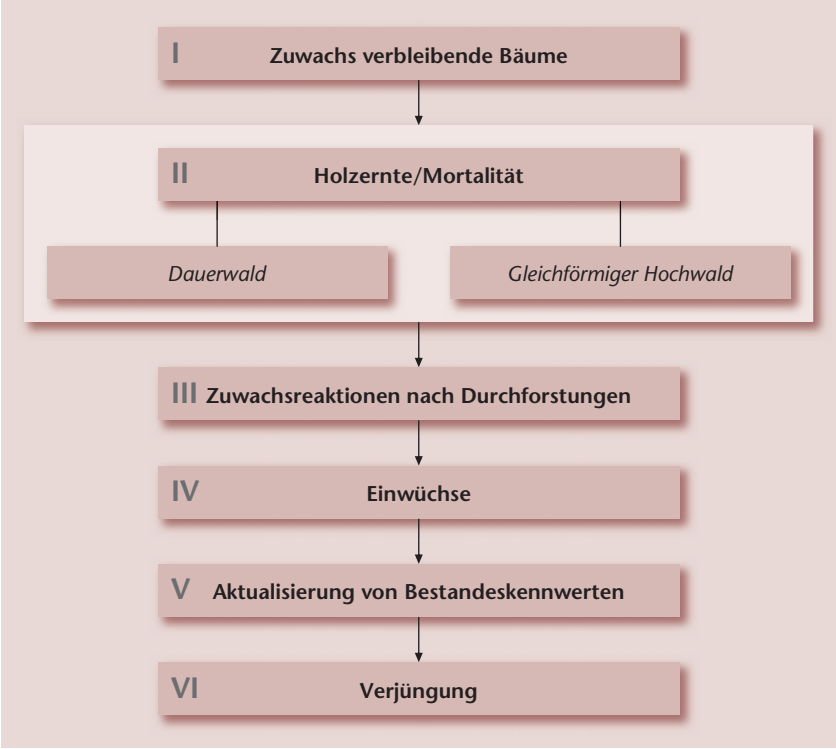


Abb 1 *Grobstruktur von «Massimo 3».*

2010, Werner et al 2010) und Nutzholzpotenziale und deren Verfügbarkeit ermitteln zu können.[1]

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Auswirkungen von verschiedenen Waldbewirtschaftungsstrategien auf die Waldentwicklung sichtbar zu machen. Dazu werden im aktuellen Modell «Massimo 3» sechs Bewirtschaftungsstrategien in Szenarien umgesetzt. Im Artikel werden einerseits die Struktur des Modells und die gewählten Strategien vorgestellt, und andererseits wird aufgezeigt, welche Auswirkungen diese auf den Gesamtvorrat, den Vorrat an Nadelholz, den Zuwachs, das Nutzungspotenzial und die Mortalität im Zeitraum von 20, 50 und 100 Jahren haben. Der Zeitraum von 100 Jahren wurde gewählt, um die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungsstrategien beurteilen zu können.

Methode

Das Szenariomodell «Massimo 3»

«Massimo 3» ist ein stochastisches, empirisches Simulationsmodell. Ein wesentliches Merkmal empirischer Modelle ist, dass sie nicht auf physiologischen Prozessen basieren, sondern auf statistischen Zusammenhängen, die in Messdaten gefunden wurden (Landsberg & Sand 2011). Bei «Massimo» enthalten die meisten Modellkomponenten statistische Funktionen, die auf der Grundlage der vorhandenen LFI-Daten hergeleitet wurden. Die Grobstruktur von «Massimo 3» ist aus Abbildung 1 ersichtlich.

Der Zuwachs wird mit einem Einzelbaum-Wachstumsmodell geschätzt. Dieses enthält als Einflussgrössen die Baumart, den Brusthöhendurchmesser (BHD), die Produktionsregion, die Standortgüte, die Höhe über Meer, die Basalfläche des Bestandes, das Bestandesalter (bzw. bei ungleichaltrigen Beständen den Oberdurchmesser, d.h. den mittleren BHD der 100 dicksten Bäume pro Hektare [d_{dom}]), einen Konkurrenzfaktor (ausgedrückt durch die Basalfläche aller Bäume auf der Probefläche, die einen grösseren BHD als der betrachtete Einzelbaum haben), die Schichtzugehörigkeit des Baumes und dessen allfällige Wachstumsreaktion auf einen Durchforstungseingriff. Die in «Massimo 3» implementierte Wachstumsfunktion ist in Thürig et al (2005) beschrieben.

Eingriffe in den Wald erfolgen im Modell aufgrund klar definierter, ertragskundlich begründeter Kriterien. Diese wurden zusammen mit einer Begleitgruppe erarbeit, welcher auch Kantons- und Kreisförster sowie Betriebsleiter mit grosser Erfahrung in waldbaulicher Tätigkeit angehörten.

Das Modell unterscheidet zwischen Eingriffen im Dauerwald und solchen im gleichförmigen Hochwald. Durchforstungen werden als Auslesedurchforstungen, wie sie in der Schweiz praktiziert werden, durchgeführt. Der Eingriffszeitpunkt ist abhängig von der Entwicklung der Basalfläche eines Bestandes seit dem letzten Eingriff. Bei einer Durchforstung wird die Basalfläche im gleichförmigen Hochwald um 30% reduziert, im Dauerwald um 25%. Die Durchforstungsmodelle berechnen die Entnahmewahrscheinlichkeit eines Einzelbaums ausgehend von der Durchmesserverteilung im Bestand vor dem Eingriff und der sich daraus bei Auslesedurchforstungen ergebenden Durchmesserverteilung der Entnahmen (Kaufmann 2001). Die Entnahmewahrscheinlichkeiten bei den Überführungsdurchforstungen werden anhand vorhandener und zu erreichender Durchmesserverteilungen berechnet. Die jährlich zu verjüngende Waldfläche im gleichförmigen Hochwald ergibt sich aus den im Modell angenommenen Umtriebszeiten (Tabelle 1). In Verjüngungsschlägen werden 20% der Bäume der Oberschicht als Überhälter stehen gelassen. Diese werden in einem Übergangszeitraum von 20 Jahren geschlagen, in der oberen montanen und subalpinen Höhenstufe in einem solchen von 30 Jahren. Waldbestände mit direkter Schutzwirkung für darunterliegende Siedlungen und Verkehrswege gemäss der Ausscheidung nach Silva Protect (Bafu 2010) werden in «Mas-

1 KAUFMANN E (2006) Holzressourcen im Schweizer Wald. Aktuelle Verfügbarkeit und künftiges Potenzial auf der Grundlage des Schweizerischen Landesforstinventars. Tagungsband des 7. Seminars für die Holzindustrie und die Forstwirtschaft vom 29.9.2006 an der Fachhochschule Biel.
KAUFMANN E (2011) Modellrechnungen zum biologischen Potenzial. In: Holznutzungs-Potenzial im Schweizer Wald. Bern: Bundesamt Umwelt, Schriftenreihe Umweltwissen. In Druck.

simo 3» waldbaulich speziell behandelt: Beim Erreichen der Hiebsreife werden sie alle zehn Jahre durchforstet, wobei bei einem Eingriff in den kollinen und montanen Höhenstufen jeweils 40%, in der subalpinen Stufe 30% der Basalfläche entnommen wird. Die Mortalität wird im Modell getrennt nach einzelnen Ursachen berechnet. In vorliegendem Artikel wird nur die Mortalität, die wegen zu grosser Bestandesdichte entsteht, separat ausgewiesen.

Nach einer Durchforstung verlagert sich der Zuwachs der ausscheidenden Bäume allmählich auf die verbleibenden Bestandesglieder. Im Modell zeigt für jeden abgehenden Oberschichtbaum ein verbleibender Oberschichtbaum auf der gleichen Probefläche eine Zuwachsreaktion. Die Stärke dieser Reaktion wurde empirisch aus LFI-Daten hergeleitet und ist Bestandteil des Wachstumsmodelles. Die Einwuchsraten werden ebenfalls mithilfe von LFI-Daten abgeschätzt. In verjüngten Probeflächen werden Jungwalddaten eingesetzt, die aus einer zufällig ausgewählten Jungwaldprobefläche des LFI auf einem Standort mit vergleichbaren Wuchsbedingungen stammen, wobei die Baumartenanteile neu festgelegt werden können.

In «Massimo» werden der Brutto- und der Nettozuwachs analog zu Husch et al (1982) nach folgenden Gleichungen ermittelt:

Bruttozuwachs (inkl. Einwuchs)

$$G_{g+i} = V_2 - V_1 + C + M = V_{s2} - V_{s1} + I \quad (1)$$

Nettozuwachs (inkl. Einwuchs)

$$G_{n+i} = V_2 - V_1 + C = V_{s2} - V_{s1} + I - M \quad (2)$$

wobei:

V_1: *Vorrat der stehenden, lebenden Bäume zum Zeitpunkt 1*
V_2: *Vorrat der stehenden, lebenden Bäume zum Zeitpunkt 2*
G: *Zuwachs*
C: *Nutzung*
M: *Mortalität*
I: *Einwuchs*
s: *Bäume, die zu beiden Inventurzeitpunkten leben*

Definition der Szenarien

Es wurden sechs Szenarien definiert, die unterschiedliche Bewirtschaftungsstrategien beinhalten. Bei drei Szenarien wird der Vorrat auf dem Niveau des LFI3 konstant gehalten. Die Bewirtschaftung in diesen Szenarien unterscheidet sich aber hinsichtlich des waldbaulichen Konzepts (Szenario A: Basis, Szenario E: Überführung in Dauerwald, Szenario F: naturnaher Nadelholzanteil). In zwei Szenarien wird ein Teil der Waldfläche aus ökologischen Gründen (Szenario B: Reservate) respektive ökonomischen Gründen (Szenario C: Erntekosten) nicht mehr bewirtschaftet. Mit dem Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) sollen die Auswirkungen einer Erhöhung der Nutzungsmenge (und damit der Verkürzung der Umtriebszeiten) untersucht werden.

Gesamtwuchsleistung kg TS/(Jahr × ha)	Standortgüteklasse	Nadelholzanteil	Umtriebszeit
≤ 1125	1	> 50	180
		< 50	180
1125–2250	1	> 50	130
		< 50	150
2250–3375	1	> 50	110
		< 50	130
3375–4500	2	> 50	110
		< 50	130
> 4500	2	> 50	90
		< 50	110

Tab 1 *Im Modell «Massimo» für den gleichförmigen Hochwald festgelegte Standortgüteklassen und Umtriebszeiten. TS: Trockensubstanz.*

Alle nachfolgend präsentierten Resultate beziehen sich auf die gemeinsame Fläche an zugänglichem Wald ohne Gebüschwald der Inventuren LFI2 und LFI3. Diese beträgt 1.11 Mio. ha.

Szenario A (Basis)

Dieses Szenario ist die Basis für alle weiteren Szenarien. In diesem wird die Bewirtschaftungsart, wie sie sich im LFI3 (Brändli 2010) zeigt, differenziert nach Wirtschaftsregionen und Standortgüteklassen (Tabelle 1) weitergeführt. Die Hektarvorräte werden auf dem Niveau des LFI3 konstant gehalten. Die Mortalität beträgt 15% der Abgänge. Sie entspricht damit dem im Zeitraum 1986 bis 1995 festgestellten Anteil (Brassel & Brändli 1999). Die jährlichen Verjüngungsflächen im gleichförmigen Hochwald ergeben sich aus den im Modell angenommenen Umtriebszeiten (Tabelle 1). Die Nadelholzanteile in den Verjüngungen entsprechen denjenigen der Jungwalddaten des LFI3. Für die Baumklasse mit 4–8 cm BHD beliefen sie sich im Mittelland beispielsweise auf 36%. Sie sind damit geringer als im LFI2 (54%).

Szenario B (Reservate)

Die Waldreservatspolitik von Bund und Kantonen zielt darauf ab, 10% der Waldfläche der Schweiz als Reservate auszuscheiden. Dabei sollen 5% als Naturwaldreservate mit Nutzungsverzicht und 5% als Sonderwaldreservate mit auf das Schutzziel abgestimmten Eingriffen ausgewiesen sein.[2] Um die Auswirkung eines naturschutzfachlich begründeten Nutzungsverzichts auf den Holzertrag quantifizieren zu können, werden in diesem Szenario circa 10% des zugänglichen Waldes ohne Gebüschwald als Reservatsfläche ohne Nutzungseingriffe ausgeschieden. Dazu wurden im Modell die seltenen Waldge-

2 BUWAL, FDK (2001) Leitsätze einer Waldreservatspolitik Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 2 p. www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang?de&msg-id=8290 (22.6.2011)

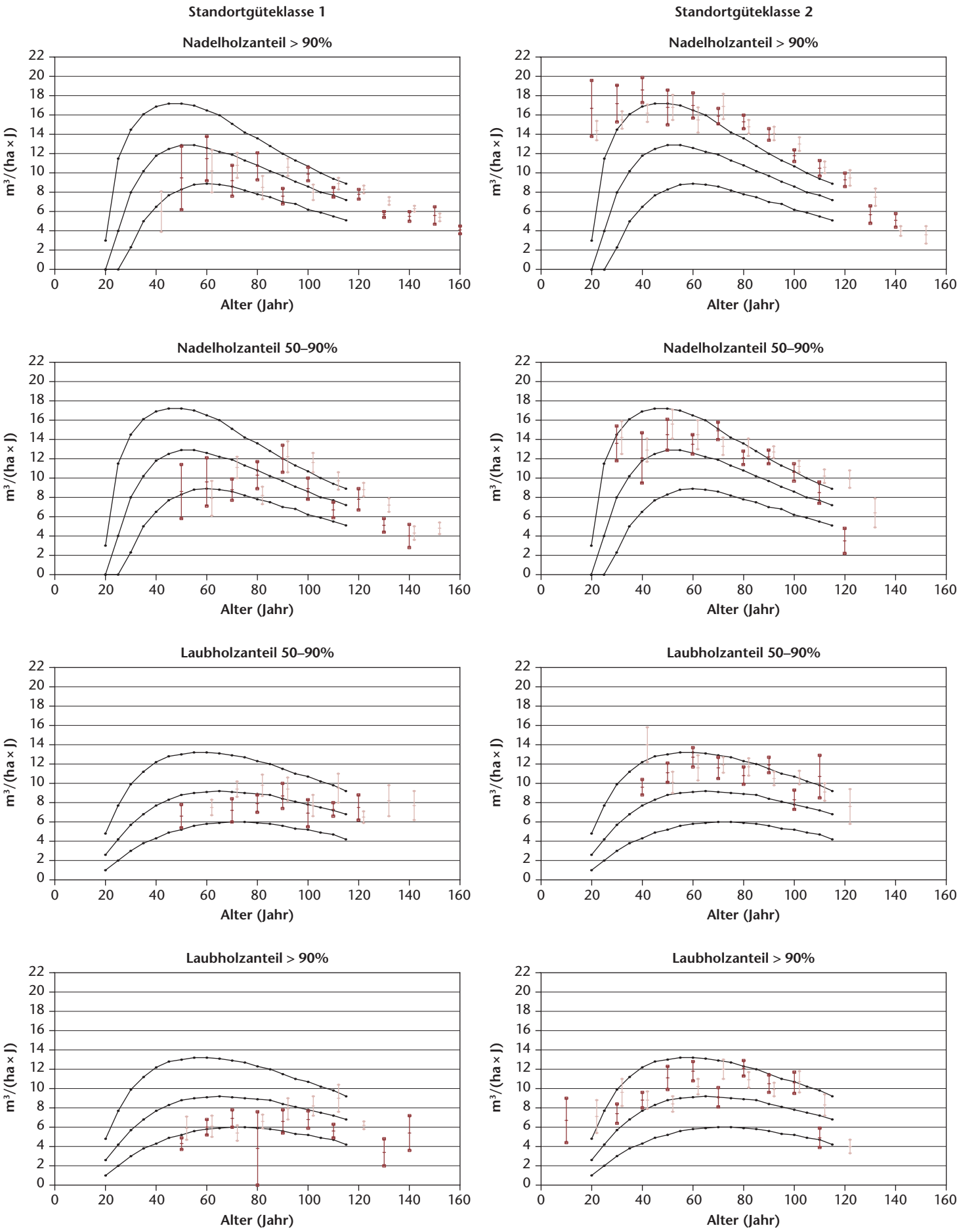


Abb 2 *Jahreszuwachs an Derbholz. Vergleich der Werte LFI1–LFI2 (rot) und LFI2–LFI3 (rosa) im gleichförmigen Hochwald für weniger wüchsige (Standortgüteklasse 1 [Gesamtwuchsleistung < 3375 kg Trockensubstanz pro ha und Jahr]) und wüchsigere Standorte (Standortgüteklasse 2 [Gesamtwuchsleistung > 3375 kg Trockensubstanz pro ha und Jahr]) mit den Ertragstafeln (schwarz; EAFV 1968). Dargestellt sind die Kurven für die Bonitäten 14, 18, 22 der Fichte für Nadelholzanteile > 50% und der Buche für Laubholzanteile > 50%. Senkrechte Linien: Standardabweichungen.*

Region	Jahr	Vorrat			Zuwachs		Abgänge		Nutzung			
		Gesamt	Nadelholz	Laubholz	Schaftholz brutto	Derbholz netto	Schaftholz	Derbholz	Rundholz			
									N2–4	N5–6	L3–4	L5–6
Schweiz	2016	1	2	2	2	2	3	3	4	6	5	9
	2106	2	2	3	2	3	4	4	7	9	6	9
Jura/Mittelland	2016	2	4	4	3	4	6	6	6	15	8	15
	2106	4	6	5	4	5	8	9	14	23	10	15
Voralpen/Alpen/	2016	3	3	5	3	5	7	7	8	13	18	34
Alpensüdseite	2106	4	5	8	5	8	8	10	13	16	20	25

Tab 2 *Zufällige Schätzfehler (Standardfehler) in %. N2–4, N5–6: Rundholzklassen für Nadelholz, L3–4, L5–6: Rundholzklassen für Laubholz.*

Jahr	LFI	Szenarien					
		A Basis	B Reservate	C Erntekosten	D Verkürzung der Umtriebszeiten	E Überführung in Dauerwald	F Naturnaher Nadelholzanteil
2006	359						
2026		353	368	436	332	346	358
2056		365	411	566	320	359	364
2106		360	451	653	304	365	364

Tab 3 *Vorrat an stehenden, lebenden Bäumen als Schaftholz in Rinde in m³/ha.*

sellschaften (rund 30 Gesellschaften nach Ellenberg & Klötzli 1972) und die Waldbestände, in denen gemäss LFI3 im Jura seit mindestens 50, im Mittelland seit 25 und im Alpenraum seit mehr als 100 Jahren kein Eingriff mehr erfolgte (Brändli 2010), berücksichtigt. Der restliche Wald wird wie in Szenario A bewirtschaftet.

Szenario C (Erntekosten)

Laut Umfrage zum LFI3 (Brändli 2010) würde auf 40% der heute bewirtschafteten Waldfläche auf Holznutzungen verzichtet, wenn diese nicht mehr kostendeckend möglich wären. In diesem Szenario wird eine Wirtschaftslage unterstellt, die kostendeckende Holzernten nicht mehr erlaubt. Es werden die Auswirkungen eines Nutzungsverzichts auf den von den Förstern genannten Waldflächen dargestellt.

Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten)

Um die Auswirkungen einer kurz- bis mittelfristig erhöhten Holznachfrage sichtbar zu machen, werden in diesem Szenario die Umtriebszeiten des gleichförmigen Hochwalds während des gesamten Simulationszeitraumes um 40% gegenüber dem Basisszenario verkürzt. Damit werden die jährlichen Schlagflächen entsprechend vergrössert.

Szenario E (Überführung in Dauerwald)

In der Schweiz ist zurzeit der Trend erkennbar, gleichförmige Hochwälder in Dauerwälder zu überführen. Dieser Trend wird im Szenario insofern berücksichtigt, als gleich zu Beginn des Simulationszeitraumes damit begonnen wird, alle Bestände der Entwicklungsstufen Stangenholz bis Baumholz II, bei denen es bis zum Erreichen der Umtriebszeit noch mindestens 30 Jahre dauert, in Dauerwälder zu überführen. Dies betrifft circa 30% der Waldfläche des gleichförmigen Hochwaldes.

Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil)

Um den Einfluss einer standortgerechteren Waldbewirtschaftung auf die nachhaltige Nutzungsmenge an Nadelrundholz, v.a. derjenigen der am stärksten nachgefragten Rundholzklassen 2–4 (WVS 2000), abschätzen zu können, wird in diesem Szenario der Wald so bewirtschaftet, dass die ökologisch vertretbaren Nadelholzanteile[3] in den Verjüngungen eingehalten werden. Mit diesen Vorgaben beträgt der Nadelholzanteil im Mittelland 33%.

Validierung der Resultate für den Zuwachs

Zuwachsveränderungen als Folge von Bewirtschaftungseingriffen spielen in den Szenarien eine wichtige Rolle. Um die Plausibilität der ermittelten Zuwächse zu überprüfen, wurden die Resultate mit Schätzungen anhand von Ertragstafeln (EAFV 1968) verglichen. Wie die Abbildung 2 zeigt, ist eine Zuordnung der im LFI empirisch festgestellten Zuwachsleistungen zu Ertragstafelkurven möglich. Damit können die Zuwachsschätzungen mithilfe der Ertragstafeln plausibilisiert werden.

Resultate und Diskussion

Genauigkeit der Ergebnisse

Die Resultate aus den Szenarien sind mit Unsicherheiten behaftet. Die statistischen Schätzfehler

3 ARBEITSGEMEINSCHAFT KAUFMANN & BADER UND IMPULS THUN (2005) Nadelholzanteile pro Waldgesellschaft, Übersichtstabelle.

Region	Jahr	Artengruppe	LFI	Szenarien					
				A Basis	B Reservate	C Erntekosten	D Verkürzung der Umtriebszeiten	E Überführung in Dauerwald	F Naturnaher Nadelholzanteil
Schweiz	2006	Nadelholz	274						
		Laubholz	126						
	2026	Nadelholz		256	263	316	238	253	251
		Laubholz		136	142	166	128	129	144
	2056	Nadelholz		242	272	386	211	244	227
		Laubholz		160	183	239	142	153	175
	2106	Nadelholz		206	269	420	172	222	181
		Laubholz		184	229	301	164	181	220
Jura/Mittelland	2006	Nadelholz	91						
		Laubholz	72						
	2026	Nadelholz		87	89	107	79	83	77
		Laubholz		72	76	87	66	68	73
	2056	Nadelholz		78	91	130	63	73	51
		Laubholz		83	97	128	70	79	78
	2106	Nadelholz		55	88	138	43	66	30
		Laubholz		92	144	163	79	92	95
Voralpen/Alpen/ Alpensüdseite	2006	Nadelholz	184						
		Laubholz	53						
	2026	Nadelholz		168	174	209	159	171	175
		Laubholz		63	65	78	61	60	69
	2056	Nadelholz		165	180	257	148	171	179
		Laubholz		77	84	109	72	74	97
	2106	Nadelholz		153	180	283	131	156	155
		Laubholz		92	104	136	84	89	125

Tab 4 *Vorrat an Nadel- und Laubholz als Schaftholz in Rinde in Mio. m³.*

der ausgewiesenen Grössen (Tabelle 2) enthalten die Stichprobenfehler sowie die Streuung der Resultate, welche zwischen mehreren Wiederholungen einer Szenarioberechnung auftreten und mit zunehmendem Simulationszeitraum grösser werden. Die Sensitivität auf Einflussgrössen könnte mit Monte-Carlo-Simulationen ermittelt werden. Diese Sensitivität sagt aber nichts aus über die Zuverlässigkeit eines empirischen Modelles, wenn Einflussgrössen, die sich zum Beispiel auf Bestandesstrukturen beziehen, in einen mit empirischen Daten schwach oder gar nicht abgestützten Bereich zu liegen kommen (Landsberg & Sands 2011). Diese Unsicherheiten sind deshalb in den in Tabelle 2 aufgeführten Fehlerbereichen nicht enthalten.

Vorrat

Gesamtvorrat

In den Szenarien A (Basis), E (Überführung in Dauerwald) und F (naturnaher Nadelholzanteil) bleibt der Gesamtvorrat entsprechend der Definition der Szenarien konstant bei 360 m³/ha. Im Szenario B (Reservate) nimmt der Vorrat der stehenden, lebenden Bäume langfristig um 9 m³/ha und Dekade zu (Tabelle 3). Im Vergleich dazu betrug die Vorratszunahme zwischen LFI2 und LFI3 12 m³/ha und zwischen LFI1 und LFI2 31 m³/ha. Im Szenario C (Erntekosten) beträgt die gesamtschweizerische Vorratszunahme 29 m³/ha und Dekade und ist damit etwa so gross wie diejenige zwischen LFI1 und LFI2. Trotz der im Laufe der Jahrzehnte grossen Zunahme der Mortalität in diesem Szenario (Tabelle 6) sind die Vorräte mit 560 m³/ha in 50 Jahren und 660 m³/ha in 100 Jahren sehr hoch. Die mit der Zeit abnehmende Stabilität der dicht bestockten Waldbestände und ihre damit zunehmende Anfälligkeit gegenüber Störungen wie Wind, Krankheiten oder Insekten können kaum quantifiziert werden, da man sich nicht auf empirische Daten abstützen kann, welche eine gut fundierte Modellierung dieser Einflüsse erlauben würden. Dass aber Vorräte in dieser Höhe erreichbar sind, zeigt ein Vergleich mit Verhältnissen in europäischen Urwäldern: So erreichte ein Urwald in Bosnien, der sich auf einer Fläche von 786 ha über alle Vegetationshöhenstufen erstreckte und zu 60% mit Tannen, zu 25% mit Buchen und zu 15% mit Fichten bestockt war, einen Gesamtvorrat von 714 m³/ha (Leibundgut 1993). In den Westkarpaten hatten die von Korpel (1995) untersuchten Buchenwälder in der kollinen, die Tannen-Buchen-Wälder in der montanen und auch die Fichtenwälder in der montanen und in der subalpinen Höhenstufe, die sich in der

Phase des fortgeschrittenen Heranwachsens, in der Optimalphase oder in der beginnenden Zerfallsphase befanden, durchgehend Holzvorräte von 700 bis 800 m³/ha. Beide Autoren fanden Teilflächen mit Vorräten von mehr als 1000 m³/ha. Mit der dem Szenario D zugrunde gelegten Verkürzung der Umtriebszeiten um 40% wird der Vorrat von heute 360 m³/ha bis in 70 Jahren auf circa 304 m³/ha abgebaut (Tabelle 3) und bleibt dann bis in 100 Jahren unverändert. Die Mortalität, die auf zu grosse Bestandesdichte zurückzuführen ist, bleibt langfristig auf gleicher Höhe wie im Basisszenario (Tabelle 6).

Vorrat an Nadelholz

Im Szenario A (Basis) geht der Nadelholzvorrat von heute 274 Mio. m³ auf 242 Mio. m³ in 50 Jahren (–12%) respektive auf 206 Mio. m³ in 100 Jahren (–25%; Tabelle 4) zurück. Im Vergleich dazu reduziert sich im Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) der Nadelholzvorrat auf 227 Mio. m³ in 50 Jahren (–17%) respektive auf 181 Mio. m³ in 100 Jahren (–34%).

Der Rückgang an Nadelholz in den Szenarien A (Basis) und F (naturnaher Nadelholzanteil) ist hauptsächlich auf die Abnahme des Nadelholzvorrates in der Region Jura/Mittelland (Tabelle 4) zurückzuführen. Diese beträgt 40% in 100 Jahren in Szenario A (Basis) respektive 67% in Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil). Die entsprechenden Abnahmen in der Region Voralpen/Alpen/Alpensüdseite betragen je 17%.

Zuwachs und Mortalität

Beim Szenario A (Basis) liegen der Bruttozuwachs und die Abgänge langfristig je bei rund 9 m³ Schaftholz in Rinde pro Hektare und Jahr (Tabelle 5). Der Bruttozuwachs entspricht damit in etwa demjenigen zwischen LFI1 und LFI2. Im Szenario C (Erntekosten) bleibt der Bruttozuwachs langfristig hoch (Tabelle 5), die stark ansteigende Mortalität (Tabelle 6) führt aber zu einem erheblichen Rückgang des Nettozuwachses (Tabelle 7). Während die auf zu grosse Bestandesdichte zurückzuführende Mortalität im Szenario A (Basis) wegen der zahlreichen vorratsreichen Bestände von anfänglich 0.3 Mio. m³/Jahr auf 1.1 Mio. m³/Jahr ansteigt, nimmt sie im Szenario B (Reservate) auf 1.7 Mio. m³/Jahr und im Szenario C (Erntekosten) gar auf 3.6 Mio. m³/Jahr zu (Tabelle 6) und entspricht beim Szenario C (Erntekosten) damit 60% der im LFI3 ausgewiesenen Nutzungsmenge (Brändli 2010) respektive 330% der für das Szenario A (Basis) für den gleichen Zeitraum (2057–2106) errechneten Mortalität. Im Szenario E (Überführung in Dauerwald) sind der Bruttozuwachs und die Abgänge unbedeutend tiefer als im Szenario A (Basis), weil bei beiden der Gesamtvorrat bei 360 m³/ha konstant gehalten wird. Trotz des starken Vorratsabbaus im Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) bleiben dort langfristig gesehen (Periode 2056–2106) sowohl der Bruttozuwachs und die Abgänge als auch der Nettozuwachs und die Nutzungen in gleicher Höhe wie im Szenario A (Basis). Dieser Sachverhalt hat sich bei den Validierungen mit den EAFV-Ertragstafeln bestätigt.

Entsprechend der allmählichen Abnahme des Nadelholzvorrates geht der Nettozuwachs an Nadelholz in allen Szenarien zurück (Tabelle 7), so im Szenario A (Basis) langfristig um 35% gegenüber dem LFI3 und im Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) sogar um 60%.

Zeitraum		LFI	Szenarien					
			A Basis	B Reservate	C Erntekosten	D Verkürzung der Umtriebszeiten	E Überführung in Dauerwald	F Naturnaher Nadelholzanteil
2006	Bruttozuwachs	8.8						
	Abgänge	8.2						
2007–2026	Bruttozuwachs		8.8	8.9	9.4	8.7	8.1	8.6
	Abgänge		9.1	8.4	5.4	10.0	8.7	8.6
2027–2056	Bruttozuwachs		8.9	9.2	10.2	8.8	8.5	8.8
	Abgänge		8.5	7.7	5.9	9.1	8.1	8.5
2057–2106	Bruttozuwachs		9.0	9.3	9.7	8.9	8.8	8.7
	Abgänge		9.1	8.5	8.0	9.2	8.6	8.7

Tab 5 *Bruttozuwachs und Abgänge (Nutzungen und Mortalität) als Schaftholz in Rinde in m³/(ha × J).*

Zeitraum	Szenarien					
	A Basis	B Reservate	C Erntekosten	D Verkürzung der Umtriebszeiten	E Überführung in Dauerwald	F Naturnaher Nadelholzanteil
2007–2026	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
2027–2056	0.5	0.7	1.5	0.4	0.3	0.6
2057–2106	1.1	1.7	3.6	1.0	0.5	1.3

Tab 6 *Mortalität wegen zu grosser Bestandesdichte in Mio. m³/Jahr.*

Region	Zeitraum	Art	LFI		Szenarien											
					A Basis		B Reservate		C Erntekosten		D Verkürzung der Umtriebszeiten		E Überführung in Dauerwald		F Naturnaher Nadelholzanteil	
			Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N
Schweiz	1997–2006	NH	4.4	4.5												
		LH	2.4	1.7												
	2007–2026	NH			3.9	4.7	4.0	4.4	4.6	2.8	3.7	5.3	3.6	4.4	3.5	4.4
		LH			3.6	2.7	3.6	2.4	4.0	1.6	3.4	3.0	3.3	2.7	3.9	2.7
	2027–2056	NH			3.6	4.2	3.7	3.6	4.1	2.3	3.4	4.4	3.5	3.9	2.8	3.8
		LH			4.1	3.2	4.2	2.6	4.5	1.5	3.9	3.4	3.9	3.0	4.6	3.4
	2057–2106	NH			2.8	3.7	2.7	3.2	1.9	2.1	2.8	3.7	3.0	3.6	1.7	2.9
		LH			4.1	3.5	4.0	2.9	3.2	1.7	4.1	3.6	4.2	3.5	4.7	3.6
Jura/ Mittelland	1997–2006	NH	1.9	2.6												
		LH	1.4	1.4												
	2007–2026	NH			1.9	1.9	1.9	1.8	2.1	1.1	1.8	2.2	1.6	1.8	1.5	1.9
		LH			2.2	1.7	2.2	1.5	2.3	1.1	2.1	2	2.0	1.7	2.3	1.8
	2027–2056	NH			1.5	1.8	1.6	1.5	1.6	1.0	1.4	1.9	1.4	1.7	1.0	1.8
		LH			2.2	2.1	2.6	1.7	2.7	1.0	2.3	2.3	2.3	2	2.5	2.4
	2057–2106	NH			1.1	1.6	1.1	1.2	0.6	0.8	1.0	1.5	1.3	1.4	0.6	1.0
		LH			2.5	2.3	2.5	1.9	2.0	1.1	2.4	2.3	2.6	2.3	2.7	2.4
Voralpen/ Alpen/ Alpensüdseite	1997–2006	NH	2.5	2.0												
		LH	1.0	0.3												
	2007–2026	NH			1.9	2.7	2.0	2.6	2.5	1.6	1.8	3.0	1.9	2.6	1.8	2.4
		LH			1.3	0.9	1.3	0.8	1.6	0.4	1.3	0.9	1.2	0.9	1.6	0.8
	2027–2056	NH			2.0	2.3	2.1	2.0	2.4	1.3	1.9	2.4	2	2.1	1.8	1.9
		LH			1.5	1.0	1.5	0.8	1.7	0.5	1.5	1.0	1.5	0.9	2.0	0.9
	2057–2106	NH			1.7	2.1	1.7	1.9	1.2	1.3	1.7	2.1	1.7	2.1	1.2	1.9
		LH			1.4	1.1	1.3	1.0	1.0	0.6	1.5	1.3	1.5	1.1	1.8	1.2

Tab 7 *Nettozuwachs an Derbholz (Z) und Derbholznutzung (N) in Mio. m³/Jahr. NH: Nadelholz, LH: Laubholz.*

Nutzungspotenziale

Derbholz

Die gesamte nutzbare Derbholzmenge liegt in den Szenarien A (Basis), D (Verkürzung der Umtriebszeiten) und E (Überführung in Dauerwald) langfristig bei 7.1 bis 7.3 Mio. m³/Jahr (Tabelle 7). Die nutzbare Derbholzmenge von 6.1 Mio. m³/Jahr im Szenario B (Reservate) und 3.8 Mio. m³/Jahr im Szenario C (Erntekosten) ist darauf zurückzuführen, dass die Mortalität, die sich in zu dichten Beständen begründet, stärker als bei den anderen Szenarien zunimmt (Tabelle 6), weil 10% respektive 40% der Waldfläche nicht bewirtschaftet werden. Der Rückgang auf 6.5 Mio. m³/Jahr in Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) resultiert aus dem allmählichen Rückgang des zuwachskräftigen Nadelholzvorrates. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass sich bei den Szenarien A (Basis), D (Verkürzung der Umtriebszeiten) und E (Überführung in Dauerwald) langfristig ein Gleichgewicht zwischen Nettozuwachs und Erntemenge an Derbholz bei circa 7 Mio. m³/Jahr einstellt, dass dieses Gleichgewicht bei den Szenarien B (Reservate) und F (naturnaher Nadelholzanteil) etwas tiefer und bei Szenario C (Erntekosten) wesentlich tiefer liegt.

Nadelderbholz

Die verfügbare Menge an Nadelderbholz (Tabelle 7) liegt in den Szenarien A (Basis), D (Verkürzung der Umtriebszeiten) und E (Überführung in Dauerwald) langfristig bei 3.6 bis 3.7 Mio m³/Jahr. Im Szenario B (Reservate) liegt sie um 12%, im Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) um 20% und im Szenario C (Erntekosten) gar um 43% tiefer.

In der Region Jura/Mittelland reduziert sich im Szenario A die verfügbare Menge an Nadelderbholz langfristig um 38% und im Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) um 62%, in der Region Voralpen/Alpen/Alpensüdseite bleibt sie gegenüber dem Jahr 2006 in beiden Szenarien unverändert.

Nadelrundholz

Die verfügbare Menge des zurzeit am stärksten nachgefragten Holzsortimentes, des Nadelrundholzes der Klassen 2–4, liegt in den Szenarien A (Basis), D (Verkürzung der Umtriebszeiten) und E (Überführung in Dauerwald) langfristig bei 1.7 bis 1.8 Mio. m³/Jahr (Tabelle 8, Abbildung 4). Dies entspricht einem Rückgang von 36% gegenüber heute und geht einher mit der allmählichen Abnahme des Nadelholzvorrates in diesen Szenarien. Im Szena-

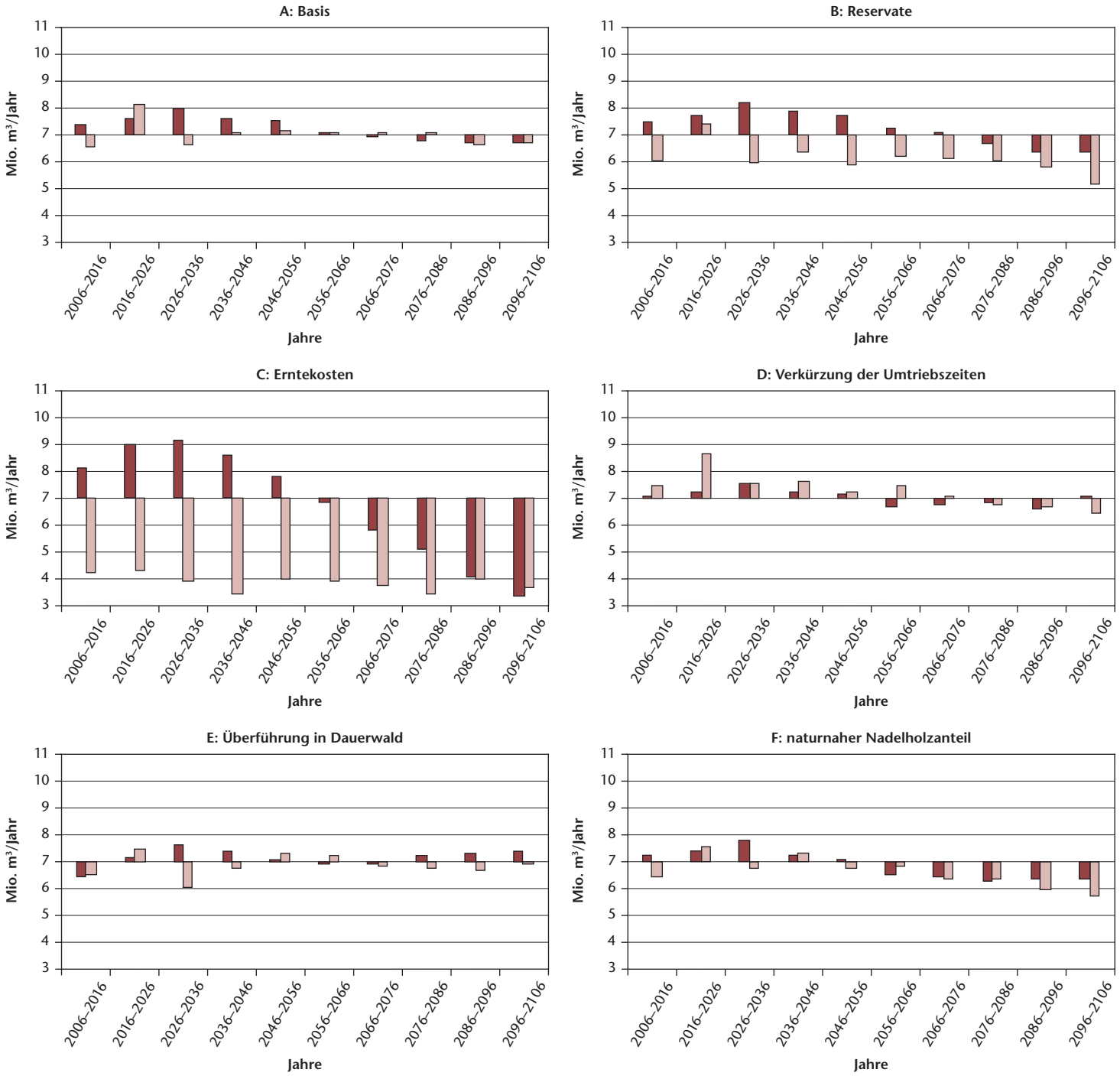


Abb 3 *Nettozuwachs (rot) und verfügbare Nutzungsmenge (rosa) an Derbholz in Mio. m³/Jahr. Die Szenarien beziehen sich jeweils auf die Basislinie von 7 Mio. m³/Jahr. Nettozuwachs nach LFI3: 6.8 Mio. m³/Jahr, Derbholznutzung nach LFI3: 6.2 Mio. m³/Jahr.*

rio B (Reservate) beträgt der Rückgang 46% gegenüber dem LFI3 beziehungsweise 17% gegenüber dem Szenario A (Basis) und im Szenario C (Erntekosten) 60% gegenüber dem LFI3 respektive 38% gegenüber dem Szenario A (Basis). Das hauptsächlich in der Region Jura/Mittelland Wirkung zeigende Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil) führt auf lange Sicht zu einem gesamtschweizerischen Rückgang an Nadelrundholz der Klassen 2–4 um 50% gegenüber dem LFI3 beziehungsweise um 22% gegenüber dem Szenario A (Basis). Die Menge an Nadelrundholz der Klassen 5–6 liegt mit 0.7 bis 0.8 Mio. m³/Jahr bei vier Szenarien über der heutigen Nutzung von 0.5 Mio. m³/Jahr. Sie liegt im Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) wegen der geringeren Vorratsanteile an Starkholz mit 0.6 Mio. m³/Jahr leicht darunter und ist im Szenario C (Erntekosten) mit 0.5 Mio. m³/Jahr wegen der hohen Mortalität noch etwas tiefer.

Gesamtbeurteilung und Ausblick

In den hier dargestellten Szenarien sind Bewirtschaftungsstrategien implementiert worden, die aus wirtschaftlichen, waldbaulichen und ökologi-

Zeitraum	Artengruppe	Klassen	LFI	Szenarien					
				A Basis	B Reservate	C Erntekosten	D Verkürzung der Umtriebszeiten	E Überführung in Dauerwald	F Naturnaher Nadelholzanteil
1997–2006	Nadelholz	2–4	2.8						
		5–6	0.5						
	Laubholz	3–4	0.5						
		5–6	0.2						
2007–2026	Nadelholz	2–4		2.4	2.3	1.5	2.7	2.4	2.3
		5–6		0.9	0.8	0.5	1.0	0.7	0.8
	Laubholz	3–4		0.7	0.7	0.5	0.8	0.8	0.7
		5–6		0.4	0.4	0.2	0.5	0.4	0.4
2027–2056	Nadelholz	2–4		1.9	1.7	1.1	2.1	1.8	1.9
		5–6		0.9	0.8	0.5	0.9	1.0	0.9
	Laubholz	3–4		0.7	0.6	0.4	0.8	0.6	0.8
		5–6		0.5	0.5	0.3	0.6	0.5	0.5
2057–2106	Nadelholz	2–4		1.8	1.5	1.1	1.8	1.7	1.4
		5–6		0.8	0.7	0.5	0.6	0.8	0.7
	Laubholz	3–4		0.8	0.6	0.4	0.8	0.7	0.8
		5–6		0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.4

Tab 8 *Nutzung an Nadel- und Laubrundholz in Mio. m³/Jahr.*

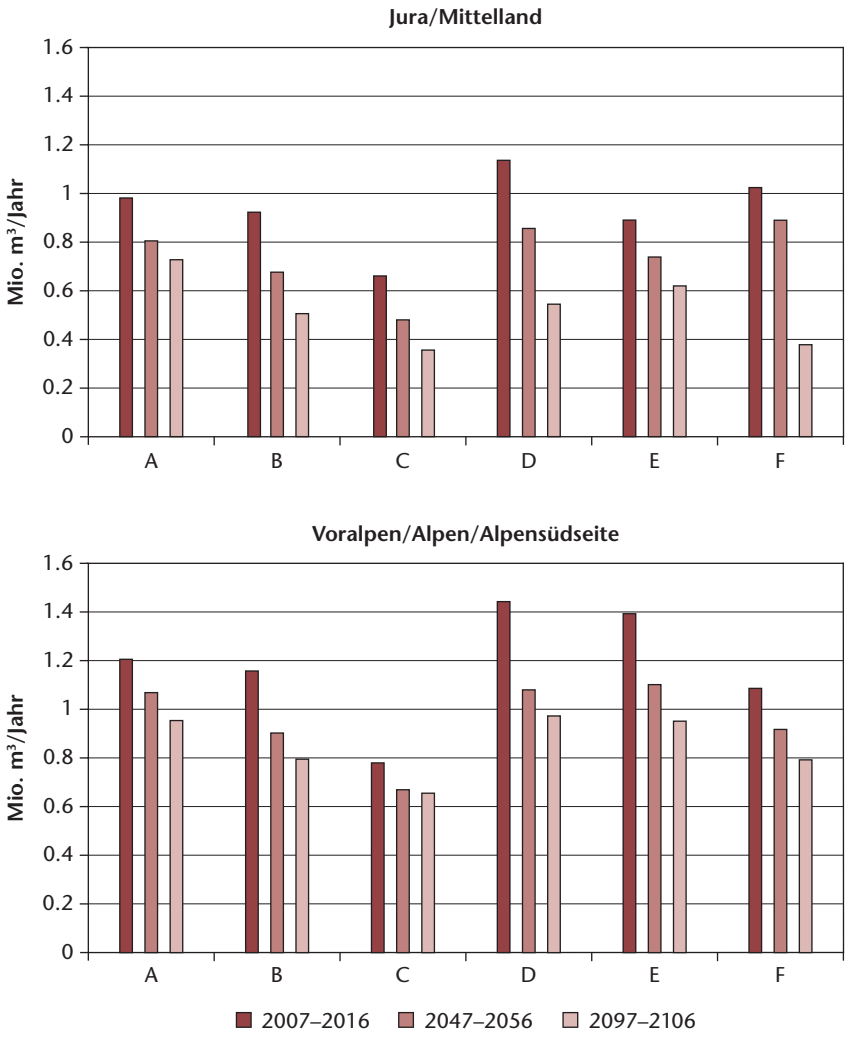


Abb 4 *Verfügbare Menge Nadelrundholz der Klassen 2–4 in Mio. m³/Jahr in den Zeiträumen 2007–2016, 2047–2056, 2097–2106. A–F: Szenarien (vgl. Tabelle 8).Nutzung Nadelrundholz Klassen 2–4 nach LFI3: Jura/Mittelland 1.7 Mio. m³/Jahr, Alpen/Voralpen/Alpensüdseite 1.2 Mio. m³/Jahr.*

schen Gründen umgesetzt werden könnten (Abbildung 5). Ein Simulationszeitraum von 100 Jahren ist sehr lang. Eine konsequente Waldbewirtschaftung, wie sie in den Szenarien unterstellt wird, ist während eines so langen Zeitraumes in der Praxis nicht möglich. Die Zuverlässigkeit der Vorhersagen nimmt zudem mit zunehmendem Simulationszeitraum ab, da sich ungenaue oder unkorrekte Modellannahmen über eine lange Zeit fortpflanzen. Dieser lange Zeitraum wurde trotzdem gewählt, um die Nachhaltigkeit der simulierten Szenarien abschätzen zu können. Die resultierenden Kennwerte aus den drei Szenarien A (Basis), D (Verkürzung der Umtriebszeiten) und E (Überführung in Dauerwald) bewegen sich in einem relativ engen Rahmen. Das nachhaltige Nutzungspotenzial aus dem Schweizer Wald liegt für diese drei Szenarien im Bereich von 7.1 bis 7.3 Mio. m³ nutzbarem Derbholz pro Jahr. Beim Szenario F (naturnaher Nadelholzanteil), bei welchem die Verjüngungen konsequent mit naturgemässen Nadelholzanteilen angelegt werden, liegt das Nutzungspotenzial an Derbholz etwas tiefer, bei 6.5 Mio. m³/Jahr. Auch mit einer Absenkung des durchschnittlichen Hektarvorrates von heute 360 m³/ha auf 305 m³/ha wie im Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) liegt das nachhaltige Holznutzungspotenzial bei circa 7 Mio. m³/Jahr. Ebenso haben umfangreiche Überführungen von gleichförmigem Hochwald in Dauerwald wie im Szenario E (Dauerwald) keine Verringerung des Holznutzungspotenzials zur Folge. Eine Ausscheidung von Reservaten im Umfang von 10% des zugänglichen Waldes ohne Gebüschwald mit gänzlichem Verzicht auf jegliche Holznutzung in den betreffenden Beständen

Abb 5 *Umsetzung eines Szenarios.*
Foto: Barbara Allgaier Leuch

(Szenario B: Reservate) führt zu einer Verringerung des Holznutzungspotenzials um circa 15% gegenüber dem Szenario A (Basis). Sehr ungünstige Auswirkungen auf die Holzressourcen zeigt das Szenario C (Erntekosten). Aus Kostenüberlegungen wird hier auf 40% der Waldfläche nicht mehr eingegriffen. Damit wird die Mortalität sehr hoch, womit sich das Nutzungspotenzial auf 3.8 Mio. m^3/Jahr reduziert.

Es ist beabsichtigt, die Zuverlässigkeit der hier gemachten Angaben mit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des Szenariomodelles «Massimo» zu erhöhen und das Spektrum der möglichen Aussagen zu erweitern. Modelle, mit welchen die Folgen des Klimawandels für das Waldwachstum und die Baumartenzusammensetzung abgeschätzt werden können, sind erst in Erarbeitung, womit auf diesen wichtigen Aspekt im Moment nicht eingegangen werden kann. ■

Eingereicht: 9. März 2011, akzeptiert (mit Review): 5. Juli 2011

Literatur

BAFU (2010) Harmonisierung der Kriterien zur Schutzwald-Ausscheidung. Synthesebericht zum Projekt SilvaProtect-CH Phase II. Bern: Bundesamt Umwelt. 41 p.

BÖSCH B (2004) Das künftige Holzaufkommen in Baden-Württemberg. Freiburg i.Br.: Forstliche Versuchs- Forsch.anstalt Baden-Württemberg, FVA-Einblick 4. pp. 10–13.

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BRASSEL P, BRÄNDLI UB, EDITORS (1999) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.

EAFV (1968) Ertragstafeln für Fichte, für Buche. Birmensdorf: Eidgenöss Anstalt forstl Vers.wesen.

ELLENBERG H, KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt Schweiz Anst Forstl Versuchsw 48: 587–930.

HUSCH B, MILLER CI, BEERS TW (1993) Forest mensuration. Florida: Krieger, 3 ed. 402 p.

KAUFMANN E (2001) Prognosis and management scenarios. In: Brassel P, Lischke H, editors. Swiss National Forest Inventory: methods and models of the second assessment. pp. 197–206.

KAUFMANN E (2008) CO_2-Senken: Möglichkeiten, Grenzen im Gebirgswald. Bündner Wald 61 (5): 56–63.

KORPEL S (1995) Die Urwälder der Westkarpaten. Stuttgart: Fischer. 310 p.

LANDSBERG J, SANDS P (2011) Physiological ecology of forest production. Amsterdam: Elsevier. 331 p.

LEDERMANN T, NEUMANN M (2009) Prognose des Waldwachstums und des Nutzungspotenzials. Wien: Bundesforschungs- Ausbildungszentrum Wald Naturgefahren Landschaft, BFW-Praxisinformation 18: 5–7.

LEIBUNDGUT H (1993) Europäische Urwälder. Bern: Haupt. 260 p.

NABUURS GJ, SCHELHAAS MJ, PUSSINEN A (2000) Validation of the European forest information scenario model (EFISCEN) and a projection of Finnish forests. Silva Fennica 34: 167–179.

NABUURS GJ, PÄIVINEN R (1998) Forest scenario studies for European forests. In: Forest scenario modelling for ecosystem management at landscape level. Joensuu: European Forest Insitute, EFI Proceedings 19: 343–350.

NEUMANN M, SCHADAUER K (2007) Holz- und Biomassenaufkommensstudie für Österreich – Hintergründe, Ausgangssituation und methodische Ansätze. www.nw-fva.de/~nagel/SektionErtragskunde/band2007/Tag2007_17.pdf (23.6.2011)

TAVERNA R, HOFER P, WERNER F, KAUFMANN E, THÜRIG E (2007) CO_2-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Wissen 0739. 102 p.

THÜRIG E, KAUFMANN E, FRISULLO R, BUGMANN H (2005) Evaluation of the growth function of an empirical forest scenario model. For Ecol Manage 204: 51–66.

THÜRIG E, KAUFMANN E (2008) Waldbewirtschaftung zur Senkenerhöhung? Mögliche Konfliktfelder und Synergien. Schweiz Z Forstwes 159: 31–38. doi: 10.3188/szf.2008.0031

THÜRIG E, KAUFMANN E (2010) Increasing carbon sink through forest management: a model-based comparison for Switzerland with its Eastern Plateau and Eastern Alps. Eur J For Res 129: 563–572.

WVS (2000) Schweizerische Handelsgebräuche für Rundholz. Solothurn: Waldwirtschaft Schweiz. 41 p.

WERNER F, TAVERNA R, HOFER P, THÜRIG E, KAUFMANN E (2010) National and global greenhouse dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. Environ Sci Policy 13: 72–85.

Nachhaltiges Holzproduktionspotenzial im Schweizer Wald

Im Schweizerischen Landesforstinventar sind die in den drei Erhebungen LFI1 (1983–1985), LFI2 (1993–1995), LFI3 (2004–2006) erfassten Daten die Grundlage nicht nur für Analysen des Waldzustandes und der bisherigen Waldentwicklung, sondern auch für die Abschätzung künftiger Entwicklungen mithilfe von Modellen. Das an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft entwickelte Szenariomodell «Massimo 3» ist ein empirisches, stochastisches Simulationsmodell, welches auf der Basis von Daten des LFI Waldentwicklungen in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung prognostiziert. Für die vorliegende Untersuchung wurden sechs Szenarien definiert, die unterschiedliche Bewirtschaftungsstrategien beinhalten, welche aus wirtschaftlichen, waldbaulichen oder ökologischen Gründen umgesetzt werden könnten: Bei drei Szenarien wird der Vorrat auf dem Niveau des LFI3 konstant gehalten, jedoch das waldbauliche Konzept variiert (Szenarien A: Basis [Weiterführung der bisherigen Bewirtschaftung], E: Überführung in Dauerwald und F: naturnaher Nadelholzanteil). In zwei Szenarien wird ein Teil der Waldfläche aus ökologischen Gründen (Szenario B: Reservate; 10% der Waldfläche) respektive ökonomischen Gründen (Szenario C: Erntekosten; 40% der Waldfläche) nicht mehr bewirtschaftet. Mit dem Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) sollen die Auswirkungen einer Erhöhung der Nutzungsmenge untersucht werden. Um die langfristigen Auswirkungen der Szenarien abschätzen zu können, wurde ein Prognosezeitraum von 100 Jahren gewählt. Es zeigt sich, dass sich das nachhaltige Nutzungspotenzial an Derbholz für die drei Szenarien A, D und E in einer relativ schmalen Bandbreite von 7.1 bis 7.3 Mio. m^3/Jahr bewegt, obschon beim Szenario D (Verkürzung der Umtriebszeiten) der Vorrat von 360 m^3/ha auf 305 m^3/ha abgesenkt wird. Beim Modell F (naturnaher Nadelholzanteil), bei welchem die Verjüngungen konsequent mit naturgemässen Nadelholzanteilen angelegt werden, liegt das Nutzungspotenzial an Derbholz auf lange Sicht mit 6.5 Mio. m^3/Jahr etwas tiefer. Sehr ungünstige Auswirkungen auf die Holzressourcen zeigt das Szenario C (Erntekosten), bei welchem aus Kostenüberlegungen auf 40% der Waldfläche keine Bewirtschaftung mehr erfolgt.

Potentiel de production durable du bois dans la forêt suisse

Les données relevées lors des trois Inventaires forestiers nationaux IFN1 (1983–1985), IFN2 (1993–1995) et IFN3 (2004–2006) contiennent les bases utiles non seulement pour analyser l'état des forêts et leur évolution passée, mais aussi pour estimer les évolutions futures en s'aidant de la modélisation. Le modèle de scénario «Massimo 3», développé à l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et paysage, est un modèle de simulation empirique et stochastique qui prévoit les évolutions de la forêt en fonction de la gestion et ceci sur la base des données de l'IFN. Six scénarios ont été définis pour cette analyse; ils comportent diverses stratégies de gestion envisageables pour des raisons économiques, sylvicoles ou écologiques: dans trois scénarios, le volume de matériel sur pied est maintenu au niveau de l'IFN3, mais le concept sylvicole varie (scénario A: base [poursuite de la gestion actuelle], E: conversion en forêt permanente, F: proportion de résineux proches de l'état naturel). Dans deux scénarios, une part de l'aire forestière n'est plus gérée pour des raisons écologiques (scénario B: réserves; 10% de la surface forestière) ou économiques (scénario C: coûts de récolte; 40% de la surface forestière). Le scénario D (raccourcissement des périodes de révolution) permet d'étudier les effets d'une augmentation du volume des exploitations. Une période prévisionnelle de 100 ans a été choisie afin d'estimer les effets à long terme de ces scénarios. Il ressort des trois scénarios A, D, et E que le potentiel d'exploitation durable de bois commercialisable varie dans une marge relativement étroite de 7.1 à 7.3 mio m^3/an, bien que dans le scénario D (périodes de révolutions plus courtes), le volume de matériel sur pied passe de 360 m^3/ha à 305 m^3/ha. Pour le modèle F (proportion de résineux proches de l'état naturel), dans lequel les rajeunissements sont systématiquement réalisés avec les parts de résineux naturels, le potentiel d'exploitation de bois commercialisable, qui est de 6.5 mio m^3/an, sera un peu moins élevé à longue échéance. Les effets sur les ressources ligneuses sont par contre très défavorables dans le scénario C (coûts de récolte) pour lequel 40% de la surface forestière n'est plus gérée pour des raisons financières.

Lebensraum-Hotspots für saproxylische Arten mittels LFI-Daten erkennen

Urs-Beat Brändli Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Meinrad Abegg Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Rita Bütler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Identifying habitat hotspots for saproxylic species using NFI data

Old wood and deadwood are the most important habitat features for thousands of typical wood-dwelling animal, fungi and plant species. In this paper, we explore the question of whether Swiss National Forest Inventory (NFI) data can be used to identify so-called habitat hotspots in order to promote species nationally and regionally. We therefore used NFI data to analyse old wood, deadwood and habitat trees, which are the three most important habitat indicators for old and deadwood specialists, and developed a structural index based on all three. The results show that national distribution maps of selected saproxylic species differ in how well they correspond with NFI habitat indicators, most probably because field observations are not representative. The indicators were therefore compared with modelled distribution areas of potential hotspots for saproxylic species. It seems that today deadwood in particular is seldom very frequent in those areas where it would most help to maintain biodiversity. Deadwood is especially plentiful in the western edges of the Alps. There are large supplies of old wood in Valais and the Engadine, and hotspots of habitat trees in Ticino, the central Jura and lower Valais. The NFI data on site characteristics, management forms and main forest functions were analysed to find out how much influence these factors have. For example, spruce-silver fir forests contain twice as much deadwood as beech forests (32 vs. 16 m³/ha), and old stands in spruce-silver fir forests untended for over 30 years as much as 50 m³/ha. Deadwood supplies tend to be greater at higher altitudes, on steep slopes and in forests difficult to access, regardless of the forest function. Protection forests tend to contain the most old stands (27% older than 120 years) and deadwood (26 m³/ha), while forests mainly used for recreation and timber production contain 12–13 m³/ha of deadwood and 17–20% of old stands. During the past two decades, the amount of old wood and deadwood has greatly increased in forests regardless of their function. The NFI inventories are very suitable for monitoring changes in forest habitats across space and time, and for assessing the influence of site characteristics, forms of management and natural events. Detailed analyses of NFI data can help in deciding on the best nature conservation strategies, for example, the geographical focus for conservation or promotion, the potential of forests that have not been used for a long time or the synergy with protection forests. NFI data should be used more for such purposes in future.

Keywords: forest biodiversity, National Forest Inventory, saproxylic species, deadwood, habitat tree
doi: 10.3188/szf.2011.0312

*Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail urs-beat.braendli@wsl.ch

Die Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität im Schweizer Wald erfordert sowohl segregative (z.B. Waldreservate für den Prozessschutz) als auch integrative Massnahmen (z.B. Totholzförderung im Wirtschaftswald) und gezielte Artenförderungsprogramme (Bollmann et al 2009). Dabei bedienen sich Bund und Kantone zur Abklärung von Zustand und Entwicklung der Biodiversität sowie für die Massnahmenplanung und Erfolgskontrolle verschiedener Instrumente, zum Beispiel des Biodiversitätsmonitorings (BDM; Koordinationsstelle Biodiversitäts-Monitoring Schweiz 2009). Was die Qualität der Waldbiotope betrifft, steht das Landesforstinventar (LFI) auf Bundesebene an erster Stelle, und die erhobenen Lebensraumindikatoren sind von bisher unbestrittener Relevanz (Brändli et al 2007a).

So gelten Alt- und Totholz als die wichtigsten Lebensraumaspekte für Tausende typischer waldbewohnender Tier-, Pilz- und Pflanzenarten (saproxylische Arten)[1], und entsprechende nationale Kon-

1 Arten, die während eines Teils ihres Lebenszyklus auf Totholz oder auf andere saproxylische Arten angewiesen sind.

zepte zu deren Förderung wurden auch auf der Basis von LFI-Daten entwickelt (Bütler et al 2006, Bütler et al 2005). Weitere Indikatoren aus dem LFI sind etwa die Struktur der Waldränder, die Dichte der Bestände, die Anzahl der Gehölzarten oder die Anteile an Naturverjüngung und Exoten (Brändli et al 2010). Solche Lebensraumindikatoren werden im Rahmen der Ergebnisberichte LFI (Brändli 2010), der nationalen Umweltberichte (Buwal & WSL 2005), im Netzwerk Umweltdaten Schweiz von Bund und Kantonen sowie im internationalen Reporting verwendet (Brändli et al 2007a).

Im Interesse einer maximalen Nutzung der LFI-Daten stellt sich die Frage nach der möglichen räumlichen und zeitlichen Auflösung von Aussagen über Waldstrukturen. Wo liegen die Schwerpunkte wertvoller Lebensräume, auch Hotspots genannt, und wie entwickeln sie sich? Die praktische Relevanz liegt dabei etwa in der «Hotspot-Strategie» (Meyer et al 2009, Hobohm 2005, Myers et al 2000), die besagt, dass Massnahmen zur Sicherung der Biodiversität dort ihre grösste Wirkung entfalten können, wo noch mehr oder weniger intakte Zentren vorhanden sind, sowohl bezüglich naturnaher Arten- wie auch Biotopvielfalt. Besonders «wertvolle» Lebensräume sind dabei solche, die sogenannte Urwaldreliktarten beherbergen, die auf urwaldtypische Strukturen und eine durchgängige Habitattradition angewiesen sind (Müller et al 2005, Bussler 2010). Ein ähnlicher Hotspot-Ansatz, jedoch auf Bestandesebene, wurde in Norwegen getestet (Gjerde et al 2007).

Der vorliegende Beitrag geht der Frage nach, ob und mit welchen LFI-Daten aus Stichprobeflächen im 1.4-km×1.4-km-Netz sogenannte Lebensraum-Hotspots für eine effiziente nationale und regionale Artenförderung ermittelt werden können. Betrachtet werden dabei nur jene Lebensraumaspekte, die durch ein Management verändert werden können, also die Waldstrukturen. Dabei liegt der Fokus auf den wichtigsten Lebensraumaspekten typischer Waldarten des Naturwaldes: dem Alt- und Totholz sowie den sogenannten Habitatbäumen, die auch als Trittsteine zwischen Reservaten und Altholzinseln von Bedeutung sind (Meier 2009, Winter & Möller 2008, Winter et al 2003). Anhand von Verbreitungskarten ausgewählter Schirmarten werden Zusammenhänge mit LFI-Daten untersucht, und mittels LFI-Zweitaufnahmen wird die Aussagekraft einzelner Indikatoren beurteilt. Geeignete Indikatoren werden auf ihre zeitliche und räumliche Entwicklung hin analysiert und auf Zusammenhänge mit der Bewirtschaftung untersucht. Dabei wird auch der Frage nachgegangen, ob sich die Sturmereignisse Vivian und Lothar oder Förderungsstrategien in der Verteilung des Totholzvorrates abzeichnen. Durch die Überlagerung (Kumulation) von Indikatoren werden Hotspots oder Potenzialgebiete für mögliche künftige Massnahmen dargestellt.

Material und Methode

Erhebung und Analyse der LFI-Daten

Das aktuelle LFI ist als Stichprobenerhebung auf einem 1.4-km×1.4-km-Netz angelegt. Die Anzahl Waldprobeflächen beträgt rund 6500. Als Datenquellen dienen Luftbilder, terrestrische Erhebungen und Umfragen beim Forstdienst sowie digitalisierte Karten, Modelle (z.B. Vegetationseinheiten) und Erhebungen von Dritten (Areal- und Forststatistik des Bundesamts für Statistik, Klimadaten von Meteo Schweiz).

Auf der sogenannten Interpretationsfläche von 50 m × 50 m (2500 m²) werden die Luftbilder interpretiert und im Gelände flächenbezogene terrestrische Daten zum Standort und zum Bestand erfasst. Die Baumdaten werden auf zwei konzentrischen Kreisflächen erhoben. Im kleineren Kreis von 200 m² werden alle Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) ab 12 cm, im grösseren Kreis von 500 m² alle Bäume mit einem BHD ab 36 cm vermessen und beurteilt. Dabei werden alle stehenden und liegenden, lebenden und toten Bäume erfasst. Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf diesen Daten. Weitere Module des LFI sind die Jungwalderhebung, die Waldrandinventur und seit dem LFI3 das «line-intersect sampling» von liegendem Moder- und Totholz ab 7 cm Durchmesser. Der Arbeitsablauf auf der Probefläche und alle erhobenen Merkmale sind in der Aufnahmeanleitung beschrieben (Keller 2010). Für die Überprüfung der Datenqualität erfolgt auf rund 10% der Probeflächen eine unabhängige Zweitaufnahme.

Alle statistischen LFI-Ergebnisse werden, zur Vermeidung von Fehlinterpretationen, grundsätzlich zusammen mit den Schätzfehlern publiziert. Zur Visualisierung der räumlichen Verteilung von Merkmalen werden im LFI drei Typen von Karten verwendet: Karten mit regionalen Mittelwerten, Punktkarten der Probeflächen und Karten mit gleitendem Mittelwert. Letztere werden hier eingesetzt, um Hotspots zu einzelnen Lebensraumindikatoren darzustellen. Dabei werden für jeden Rasterpunkt in einer Umgebung von 7 km × 7 km die Werte der Probeflächen gemittelt. Mittels GIS dargestellt werden diese Mittelwerte, falls mindestens zwei Waldprobeflächen mit Informationen im umliegenden Quadrat liegen, was einem Waldanteil von mindestens 8% entspricht.

Lebensraumindikatoren

Lebensgemeinschaften der Alters- und Zerfallsphase von Laubwäldern und von Sonderstandorten im Wald wie Moor-, Bruch-, Trocken- oder Blockschuttwäldern beinhalten zusammengenommen den grössten Teil der waldgebundenen Artenvielfalt (Meyer et al 2009). Als grösstes ökologisches Defizit im gut erschlossenen Wirtschaftswald be-

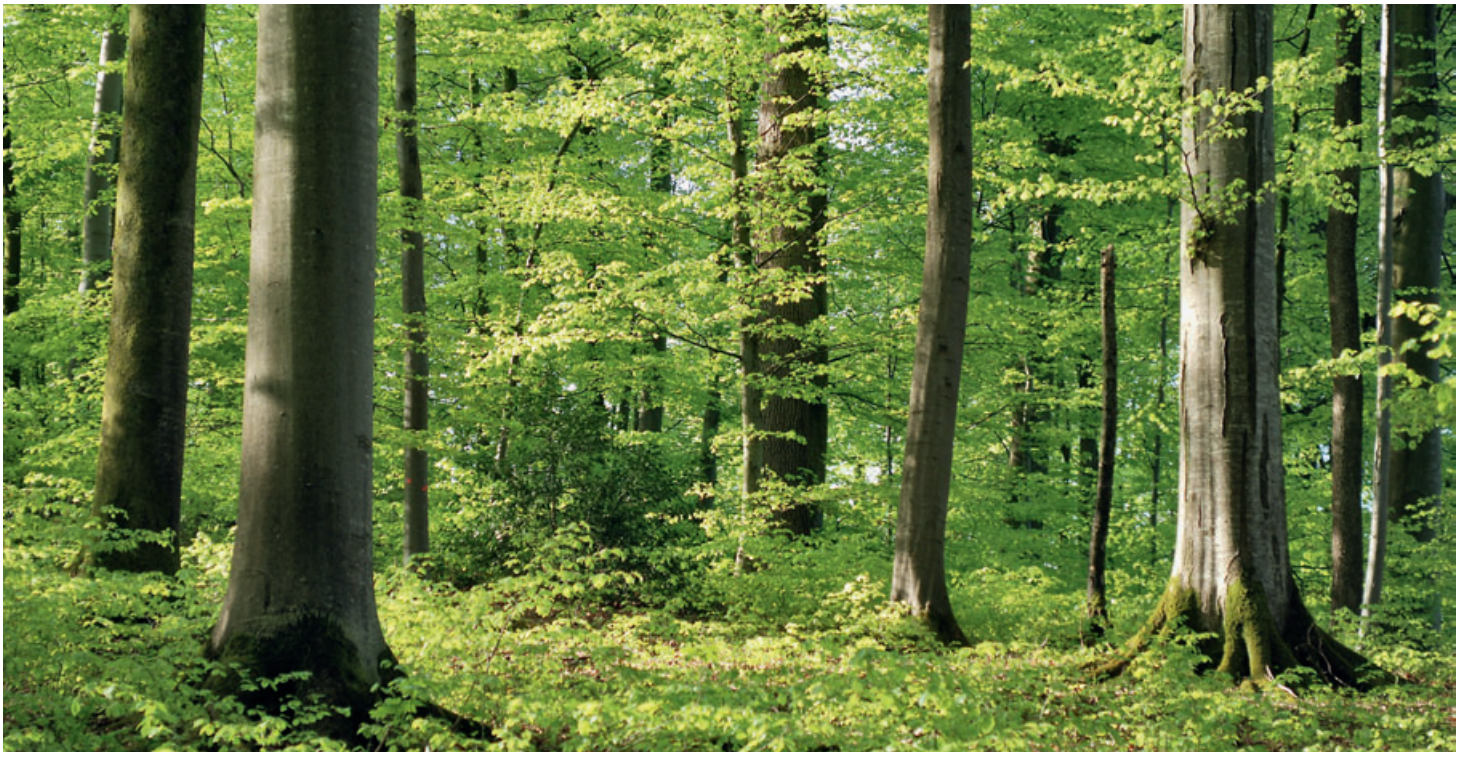


Abb 1 *«Urwaldreliktarten» sind auf Habitattradition und damit auf «uralte» Bäume oder Baumbestände angewiesen.*

zeichnete der Naturschutz schon vor über 20 Jahren anhand von LFI-Daten den Mangel an Alt- und Totholz (SBN 1989). Eine der Strategien von Bund und Kantonen ist die Förderung von Altholzinseln und Waldreservaten (Projektleitung WAP-CH & BHP-Brugger 2004). Da aber viele xylobionte[2] Waldarten über eine sehr begrenzte Ausbreitungsfähigkeit verfügen, sind sie und auch andere Waldarten auf eine Vernetzung der Altbestände angewiesen (Winter et al 2003, Müller 2005). Diese Funktion als Trittsteine sollen sogenannte Biotop- oder Habitatbäume erfüllen (Meier 2009, Lachat & Bütler 2007). Aus diesen Gründen fokussiert die vorliegende Analyse der LFI-Daten auf die Indikatoren «Altholz», «Totholz» und «Habitatbaum».

Altholz

Die stark gefährdeten «Urwaldreliktarten» sind auf Habitattradition und damit auf «uralte» Bäume oder Baumbestände angewiesen (Abbildung 1). Für Flechten, Mollusken und Vögel in Buchenwäldern fanden Moning & Müller (2009) Schwellenwerte bei einem Bestandesalter von 100 bis 170 Jahren (submontan) respektive 160 bis 220 Jahre (montan) für eine besonders grosse Artenvielfalt.

Fast alle europäischen nationalen Waldinventuren geben Auskunft über das Bestandesalter. In den meisten Fällen handelt es sich, wie im LFI, zur Hauptsache um Schätzungen. Systematische Bohrspanentnahmen an allen Probebäumen bilden die Ausnahme (Brändli et al 2011). In der Regel liegen nur Angaben für gleichaltrige Bestände vor. In ungleichaltrigen Beständen (z.B. Plenterwälder, Mittelwälder), die in der Schweiz einen Anteil von 22% ausmachen, stehen aber oftmals zahlreiche alte Bäume, die mit dem Indikator Bestandesalter unberücksichtigt bleiben. Brändli et al (2011) schlagen deshalb in Analogie zu den bekannten Grössen H_{dom} oder D_{dom} die Einführung einer neuen Grösse $Alter_{dom}$ vor. Die Autoren belegen anhand von Daten aus verschiedenen Län-

2 Arten, die zumindest einen Teil ihres Lebens in oder auf Holz leben und sich mindestens teilweise von Holz ernähren.

	Keine Angabe	0–40 Jahre	41–80 Jahre	81–120 Jahre	121–160 Jahre	> 160 Jahre	Total	Durchschnitt
	N	N	N	N	N	N	N	Jahre
Bestandesalter	230	199	160	190	123	67	969	88.4
$Alter_{dom}$	36	111	232	332	175	83	969	99.4
	%	%	%	%	%	%	%	
Bestandesalter	24	21	17	20	13	7	100	
$Alter_{dom}$	4	11	24	34	18	9	100	

Tab 1 *Vergleich des Bestandesalters und des vorherrschenden Baumalters ($Alter_{dom}$) auf Probeflächen der Inventur LFI4 (Datenstand 19.8.2010). N: Anzahl Probeflächen.*

Abb 2 *Grosse tote Bäume sind ein wesentliches Merkmal in der zweiten Lebenshälfte von Naturwäldern.*

Abb 3 *Habitatbäume weisen in der Regel Strukturmerkmale wie Dürräste, Risse, Spechtlöcher oder Rindenverletzungen auf.*

dern, dass $Alter_{dom}$ auch aus methodischen Gründen viel geeigneter ist für internationale Vergleiche als das herkömmliche Bestandesalter.

Das vorherrschende Baumalter ($Alter_{dom}$) ist definiert als das durchschnittliche Alter der 100 dicksten Bäume pro Hektare. Damit diese Grösse berechnet werden kann, wird im laufenden LFI4 seit 2009 erstmals auch das Alter jedes Probebaumes geschätzt und erfasst. Die derzeit vorhandenen Daten reichen aber für eine Hotspot-Analyse noch nicht aus. Sie erlauben jedoch erste Vergleiche mit dem Bestandesalter. Das Bestandesalter konnte nur für 76% der zugänglichen Probeflächen bestimmt werden, das $Alter_{dom}$ hingegen für 96%, weil damit auch ungleichaltrige Bestände erfasst werden (Tabelle 1). Und weil die vorherrschenden Bäume in ungleichaltrigen Beständen oftmals alt sind (z.B. Gebirgsplenterwälder), sind das Durchschnittsalter und der Anteil Altholzbestände beim $Alter_{dom}$ erheblich höher als beim Bestandesalter.

Totholz

Grosse tote Bäume sind ein wesentliches Merkmal in der zweiten Lebenshälfte von Naturwäldern (Abbildung 2). Im Gegensatz zu traditionell wirtschaftlich orientierten Waldinventuren wurden bereits im LFI1 auch tote stehende und liegende Probebäume ab 12 cm BHD erfasst, allerdings nur, sofern das Holz noch mindestens als Brennholz hätte verwertet werden können. Im LFI2 wurden dann alle toten Bäume mit erkennbarer Baumart als Totholzvorrat erfasst. Im LFI3 kamen noch tote Probebäume ohne erkennbare Baumart hinzu und wurden zusammen mit dem Totholzvorrat als sogenanntes Totholzvolumen ausgewiesen (Brändli 2010). Für das Totholzvolumen wurden auch erstmals qualitative Aspekte wie Holzfestigkeit, Rindenbedeckung oder das Vorkommen von Spechtlöchern und Holzpilzen erhoben. Für Zeitreihenvergleiche LFI1–LFI2–LFI3 sind Aussagen zum Totholzvorrat differenziert nach stehend/liegend, Baumarten und Durchmesser möglich. Es gilt zu beachten, dass die Totholzvorräte im LFI1 wegen unterschiedlicher Definition gegenüber LFI2 und LFI3 um etwa einen Drittel unterschätzt werden. Als Einheit wird in der Regel m^3/ha verwendet, da diese für das Vorkommen von Organismen und damit für die (inter)nationale Berichterstattung massgebend ist. Der Totholzvorrat wird berechnet als Schaftholz in Rinde inklusive Stock, ungeachtet allfälliger Schaftbrüche. Stöcke von geernteten Bäumen und Holzernteresten sind nicht enthalten.

Habitatbaum

Das vorliegende Habitatbaum-Modell basiert auf der Arbeit von Meier (2009, siehe auch Niedermann-Meier et al 2010) und bezieht sich auf lebende Bäume mit Habitatstrukturen (Abbildung 3). Meier hat aufgrund von Experteninterviews und Literaturangaben die verschiedenen Habitatstrukturen sowie die Baumart und den Baumdurchmesser nach ihrer Bedeutung für die fünf Organismengruppen Fledermäuse, Insekten, Vögel, Flechten und Pilze gewichtet. Im vorliegenden LFI-Modell werden die Mittelwerte der fünf Gruppen verwendet. Eingangsgrössen für das Strukturmodell sind die im LFI erfassten Baumschäden und Bemerkungen. Damit wurde gemäss Tabelle 2 für jeden lebenden Probebaum der aufsummierte Habitatwert berechnet. Diese Werte wurden anschliessend als Habitatindex pro Probefläche beziehungsweise pro Hektare hochgerechnet.

Kriterium	Ausprägung	Habitatwert	Gewichtung
Strukturmerkmale			
Dürrastanteil > 20% der Astmasse	Nadelbaum	0	3
	Laubbaum	2.4	3
Gipfel dürr		2.4	3
Kronen-, Stammbruch		3	3
Spechtlöcher und -ringe	Stammfuss	1.8	3
	Stamm, Schaft, Krone	2	3
Holzkörper frei 0 bis 4 Handflächen	Stammfuss	1.4	3
	Stamm, Schaft, Krone	1.8	3
Holzkörper frei > 4 Handflächen	Stammfuss	2	3
	Stamm, Schaft, Krone	2.2	3
Riss ≤ 1m	Stammfuss	2	3
	Stamm, Schaft, Krone	2.2	3
Riss > 1m	Stammfuss	2.4	3
	Stamm, Schaft, Krone	2.6	3
Capitozzi (≥ 3 Stammachsen)	unter 7.0 m Höhe	2.8	3
Zwiesel (zwei Stammachsen)	in 1.3 bis 9.0 m Höhe	1.4	3
Liegend oder Stockausschlag		0.8	3
Krebs > ½ Stamm oder Rindennekrosen		2.6	3
Pilzfruchtkörper		2	3
Baumart	Föhren *(Pinus spp.)*	2	1
	Lärchen *(Larix spp.)*	1	1
	Fichte, Tanne, übrige Nadelbäume	0	1
	Eichen *(Quercus spp.)*	4	1
	Erlen *(Alnus spp.)*, Pappeln *(Populus spp.)*, Kirschbaum *(Prunus sp.)*	2	1
	Buche *(Fagus sp.)*, übrige Laubbäume	1	1
Brusthöhendurchmesser (BHD)	< 40 cm	0	1
	40–59 cm	1	1
	60–79 cm	2	1
	80–99 cm	3	1
	≥ 100 cm	4	1

***Tab 2** Bewertung und Gewichtung von Strukturmerkmalen, Baumart und Durchmesser im LFI-Modell Habitatbaum.*

Im LFI3 liegen die erreichten Werte im Bereich von 0 bis 30 für den Habitatwert von Probebäumen respektive 0 bis 14 938 für den Habitatindex pro Hektare. Der aufsummierte Habitatwert sämtlicher LFI3-Probebäume resultiert zu 66% aus den gewichteten Strukturmerkmalen, zu 25% aus der Baumart und zu 9% aus dem BHD.

Aussagekraft von LFI-Lebensraumindikatoren

Die Aussagekraft von Indikatoren ist im Wesentlichen von der Datenqualität und der Relevanz der Daten abhängig. Die Qualität und die Reproduzierbarkeit der LFI-Daten lassen sich mittels statistischer Analysen von Erst- und unabhängigen Zweitaufnahmen beurteilen. Auf dieser Basis können die Genauigkeiten von Messungen (z.B. BHD), aber auch die Beobachtungswahrscheinlichkeiten etwa von Habitatstrukturen ermittelt werden. Daraus lässt sich die effektive Häufigkeit von Phänomenen abschätzen, und ihre Wertung in Habitatmodellen kann entsprechend korrigiert beziehungsweise gewichtet werden. Am Beispiel des Schadenbildes «Holzkörper freigelegt» zeigt sich, dass selbst grosse und gut einsehbare Schäden nur zu maximal 50% aufgenommen werden (Tabelle 3). Aus diesem Grund wurden die im LFI erfassten Strukturmerkmale gegenüber Baumart und BHD dreifach gewichtet (Tabelle 2).

Die Relevanz von Lebensraumindikatoren, das heisst der Nachweis ihrer Bedeutung für das Vorkommen einer Art oder einer Artengruppe, lässt sich am Beispiel von Stichprobedaten nur begrenzt zeigen, selbst wenn gewisse Daten wie im Falle des Biodiversitätsmonitorings Schweiz (BDM) und des LFI auf gemeinsamen Probeflächen erhoben werden. Vermutlich sind die Flächen dafür zu klein, und wichtige Lebensraumvariablen fehlen oder haben nicht die nötige Auflösung. Aus der Literatur sind jedoch solche Zusammenhänge für viele Arten- und Artengruppen klar belegt (Brändli et al 2007b). Somit kann die Gegenüberstellung von Verbreitungs- und Indikatorkarten für das Arten- und Umweltmanagement durchaus relevant sein.

Schadenort	Schadengrösse		
	< 1 Handfläche	1–4 Handflächen	> 4 Handflächen
Krone	*	*	*
Schaft	0.19	*	0.37
Stamm	0.35	0.37	0.48
Stammanlauf	0.35	0.43	0.48

Tab 3 *Aufnahmewahrscheinlichkeit des Schadens «Holzkörper freigelegt» (Rindenschürfung). * zu wenige Beobachtungen für gesicherte Aussagen.*

Messungen versus Schätzungen und Beobachtungen

Geht es um den Nachweis von langsamen Veränderungen, wie dies beim Lebensraum Wald der Fall ist, so sind Messungen und davon abgeleitete Grössen (Totholzvorrat) offensichtlich geeigneter als gutachtliche Schätzungen und Beobachtungen (Bestandesalter, Strukturmerkmale). So resultiert zum Beispiel aus dem Vergleich von Erst- und Zweitaufnahmen des LFI3 beim gemessenen BHD eine Standardabweichung von 1.5 cm (5% des mittleren BHD), beim geschätzten Bestandesalter eine solche von 34 Jahren (36% des Mittelwerts). Deshalb werden BHD und D_{dom} oft als Proxy-Variablen für Habitatstrukturen und Bestandesalter vorgeschlagen. Am Beispiel von Daten des schwedischen Landesforstinventars, bei dem das Alter aller Probebäume ermittelt wird, zeigten Brändli et al (2011), dass der BHD nur 33% der Variation des Baumalters erklärt. Bei D_{dom} und $Alter_{dom}$ sind es 54%. Bezüglich BHD und des aufsummierten Habitatwerts der Strukturmerkmale eines LFI-Probebaumes konnte kein Zusammenhang nachgewiesen werden ($R^2 < 0.1$), wobei die dicksten Bäume (≥ 52 cm BHD) mit 26% sogar weniger häufig Strukturmerkmale aufweisen als die dünnsten (12–15 cm BDH) mit 33%. Auch die logische Hypothese, dass Habitatstrukturen mit zunehmendem Baumalter ebenfalls zunehmen, konnte anhand von LFI4-Daten nicht bestätigt werden. Dies mag teilweise dadurch bedingt sein, dass im bewirtschafteten Wald die Bäume ohne Strukturmerkmale gefördert und stehen gelassen werden. Dementsprechend werden im LFI keine Proxy-Variablen für Bestandesalter und Strukturmerkmale verwendet.

Ergebnisse

Artverbreitungen und Lebensraum-Hotspots

Für das Vorkommen von Alt- und Totholzspezialisten sind in der Regel mehrere Lebensraumfaktoren von Bedeutung. Es ist deshalb nicht zu erwarten, dass sich die Verbreitung einzelner Tier- und Pflanzenarten direkt mit den Hotspots eines einzigen Lebensraumindikators deckt, zumal die Artenverbreitungen nicht selten unsystematisch erhoben und gemeldet werden. Systematische, repräsentative Stichprobenerhebungen wie das LFI oder BDM bilden die Ausnahme. Am Beispiel einiger typischer Waldarten sind aber doch Ähnlichkeiten in der räumlichen Verteilung von Arten und Lebensraumindikatoren zu erkennen (Abbildungen 4 und 5).

Der Wärme liebende, seltene Grosse Eichenbock *(Cerambyx cerdo)* gilt als Reliktart von Eichenurwäldern und Hartholzauen in der Zerfallsphase. Er besiedelt durchfeuchtete Stämme von sonnenexponierten, einzeln stehenden kränkelnden Eichen, seltener Buchen, in lichten Beständen. Sein Vorkommen im Rhonetal und in der Südschweiz zeigt grosse Ähnlichkeit mit den Hotspots des Eichenvorrates gemäss LFI (Abbildungen 4a und 4b). Im östlichen Jura und Mittelland mit den grössten Eichenvorräten liegen dagegen zum Grossen Eichenbock kaum Fundmeldungen vor. Möglicherweise sind diese sehr unvollständig. Vielleicht sind die Bestockungen zu dicht, und es mangelt an kränkelnden Eichen. Jedenfalls erscheinen besonders Wälder der Kantone Aargau, Zürich, Thurgau, Schaffhausen und Waadt als vom Eichenbock bisher unbesiedelte potenzielle Förderungsgebiete.

Die Echte Lungenflechte *(Lobaria pulmonaria)*, eine typische Flaggschiffart für Bewohner alter Wälder, lebt als sogenannter Epiphyt auf der Rinde alter Bäume, meist an Buche und Ahorn. Weil die empfindliche Flechte im Wesentlichen auf niederschlagsreiche, milde bis kühle Lagen beschränkt ist, findet man sie hauptsächlich in ungestörten, naturnahen (Berg-)Wäldern, die niemals völlig abgeholzt wurden. Die aktuelle Verbreitung (Abbildung 4c) zeigt denn auch Ähnlichkeiten mit dem Vorkommen alter Laubholzbestände (Abbildung 4d). Nur im Zürcher Oberland und im zentralen Jura wurde die Lungenflechte trotz günstigen Indikatorverhältnissen praktisch nicht registriert.

Der Dreizehenspecht *(Picoides tridactylus)* ist eine Charakterart des Nadelwaldgürtels oberhalb von 1200 m ü.M. Er bevorzugt naturnahe Bestände mit viel stehendem Fichtentotholz, wo er sich von Insekten in absterbenden oder frisch toten Bäumen ernährt. Gemäss Brutvogelatlas (Schmid et al 1998) hat der Dreizehenspecht zwischen den Erhebungen 1972–76 und 1993–96 sein Areal um über 30% ausgedehnt, insbesondere in der Westschweiz (Abbildung 5a). Zwischen LFI1 (1983–85) und LFI2 (1993–95) hat auch der Vorrat an stehendem Fichtentotholz erheblich zugenommen, zum Teil als Folge des Orkans Vivian (Abbildung 5b). Gebietsweise deckt sich diese Zunahme mit der Arealausdehnung des Dreizehenspechtes, z.B. im Waadtländer Jura. Aus dem Neuenburger Jura, dessen Wälder mit rund 3 m^3/ha praktisch kein Totholz aufweisen (Abbildung 6b), wurde der Dreizehenspecht dagegen nicht gemeldet.

Die Bechsteinfledermaus *(Myotis bechsteinii)* ist eine der wenigen mitteleuropäischen Fledermausarten, die fast ausschliesslich den Wald als Lebens-

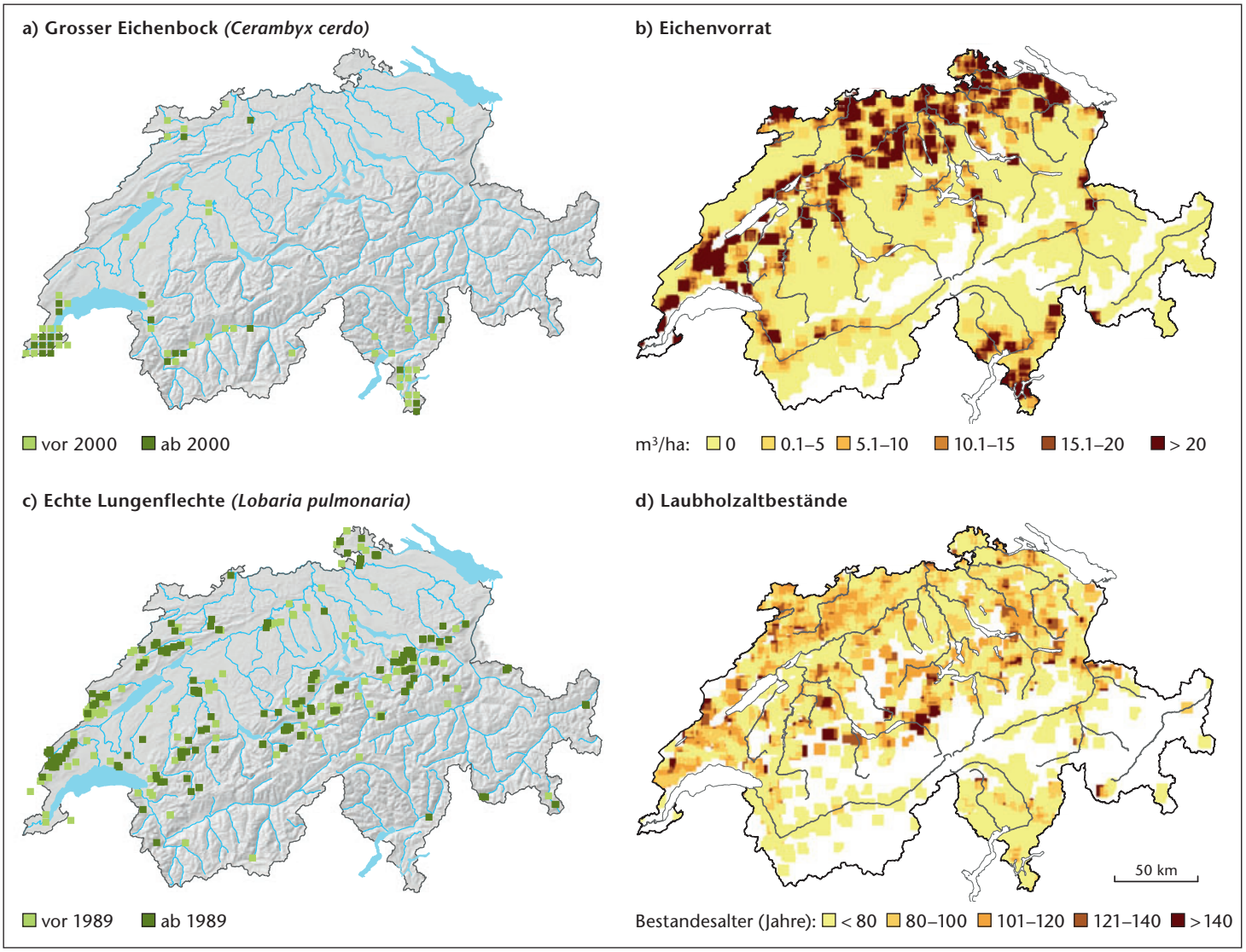


Abb 4 *Verbreitung und Vorkommen ausgewählter Arten und Lebensraumindikatoren. a) Grosser Eichenbock (Cerambyx cerdo) vor und ab 2000 (Auszug der Verbreitungskarte im 5-km×5-km-Raster aus dem Kartenserver des Centre Suisse de Cartographie de la Faune, Neuchâtel, Januar 2011), b) Eichenvorrat, c) Echte Lungenflechte (Lobaria pulmonaria) vor 1989 und ab 1989 (Stofer et al 2011), d) Laubholzaltbestände.*

raum nutzen. Sie jagt bevorzugt in Buchenaltbeständen und schläft tagsüber am liebsten in Baumhöhlen, aber auch unter abstehenden Baumrinden. Die Verbreitungskarte des Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF) in Abbildung 5c zeigt aber kaum Ähnlichkeiten mit dem Vorkommen von Laubholzaltbeständen (Abbildung 4d), Habitatbäumen (Abbildung 5d) oder toten Bäumen mit Spechtlöchern (nicht dargestellt). Vielmehr zeigt sich eine Hauptverbreitung in der Westschweiz in Gebieten mit auffallend wenig Totholz und Spechtlöchern. Die räumliche Nähe der Fledermaus-Hotspots zum CSCF in Neuenburg mag Zufall sein.

Strukturindex

Altholz, Totholz und Habitatbäume sind die Schlüsselindikatoren für das Vorkommen typischer Waldspezialisten und zeigen unterschiedliche Hotspots (Abbildung 6). Jene der Altbestände liegen beispielsweise im Engadin und im Oberwallis. Die Totholzvorräte sind besonders hoch in den westlichen Randalpen, einem Schwerpunkt des Orkanes Lothar. Und die Habitatbäume haben grosse Hotspots im Tessin, im zentralen Jura und im Unterwallis. In der gleichwertigen Kumulation der drei Indikatoren zeigen sich die aktuellen Lebensraum-Hotspots für Alt- und Totholzarten. Dazu wurden die Wertebereiche der drei Indikatoren je in fünf Quantile aufgeteilt. Werte im ersten Quantil erhielten den Wert 0, solche im fünften den Wert 4, was in der Summe für den sogenannten Strukturindex einen Wertebereich von 0 bis 12 ergibt.

Bütler et al (2006) haben anhand von ökologischen Variablen die potenziellen Verbreitungsgebiete von 55 saproxylischen Arten modelliert. Im Vergleich der kumulierten potenziellen Areale dieser Arten (Abbildung 7) mit dem LFI-Strukturindex (Abbildung 6d) zeigt sich, dass die Wälder in den potenziellen Hotspots der saproxylischen Arten vielfach relativ hohe Strukturindices aufweisen. Un-

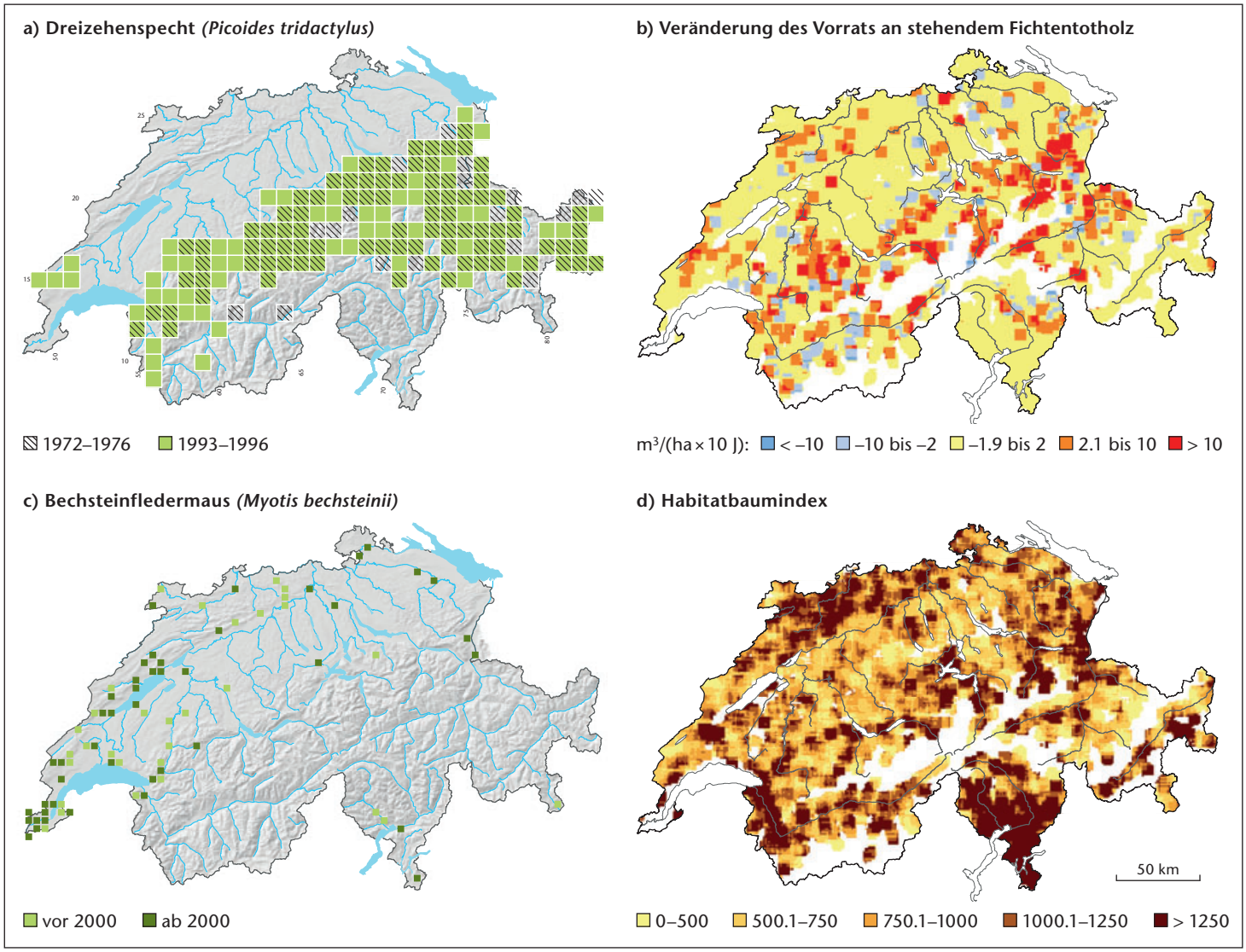


Abb 5 *Verbreitung und Vorkommen ausgewählter Arten und Lebensraumindikatoren. a) Dreizehenspecht (Picoides tridactylus) 1972/76 und 1993/96 (Schmid et al 1998), b) Veränderung des Vorrates an stehendem Fichtentotholz 1983/85 bis 1993/95, c) Bechsteinfledermaus (Myotis bechsteinii) vor und ab 2000 (Auszug der Verbreitungskarte im 5-km×5-km-Raster aus dem Kartenserver des Centre Suisse de Cartographie de la Faune, Neuchâtel, Januar 2011; Datengrundlage: Centre de coordination ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris und Koordinationsstelle Ost für Fledermausschutz), d) Habitatbaumindex.*

günstig erscheint die Situation aber weitgehend im Mittelland und westlichen Jura. Insbesondere liegt der grösste Teil des Totholzvorrates (Abbildung 6b) ausserhalb der potenziellen «saproxylischen Hotspots». Selbst nach dem Orkan Lothar besteht in vielen Jura- und Mittellandwäldern noch immer ein geringes Totholzangebot.

Totholzqualität

Neben der räumlichen Verteilung sind beim Totholz auch qualitative Aspekte von Bedeutung. Dicken Dürrständern wird eine grössere ökologische Bedeutung beigemessen als dünnem liegendem Totholz. Analysen der LFI-Daten zeigen, dass dickes und stehendes Totholz ähnlich verteilt ist wie der Totholzvorrat insgesamt. Je nach Höhenlage und Region machen Bäume über 30 cm BHD rund 60 bis 80% und stehende Bäume rund 50 bis 70% des Totholzvorrates aus. Das heisst, schon anhand des gesamten Totholzvorrates kann in der Regel ohne Zusatzerhebungen auf den Anteil an dickem und stehendem Totholz geschlossen werden. Ähnliches gilt auch für den Abbauzustand des Totholzes.

Einfluss von Standort und Waldmanagement

Wie weit sind unsere Wälder vom natürlichen Zustand entfernt? Unter welchen Bedingungen finden sich die höchsten Indikatorwerte? Am Beispiel des Totholzvolumens wird ersichtlich, dass Tannen-Fichten-Wälder heute rund doppelt so viel Totholz aufweisen wie Buchenwälder (Tabelle 4). Frisch genutzte Bestände liegen bezüglich Totholzvorrat unter dem Durchschnitt. Demgegenüber weisen während langer Zeit nicht mehr genutzte Altbestände die höchsten Werte auf, beispielsweise 34 m³/ha solche im Areal der Buchenwälder. Dieser Wert ist aber nur halb so gross wie die 70 m³/ha, die im ukrainischen Buchenurwald Uholka ermittelt wurden (Brändli & Dowhanytsch 2003). In lange nicht genutzten Altbeständen ist auch der Anteil des abge-

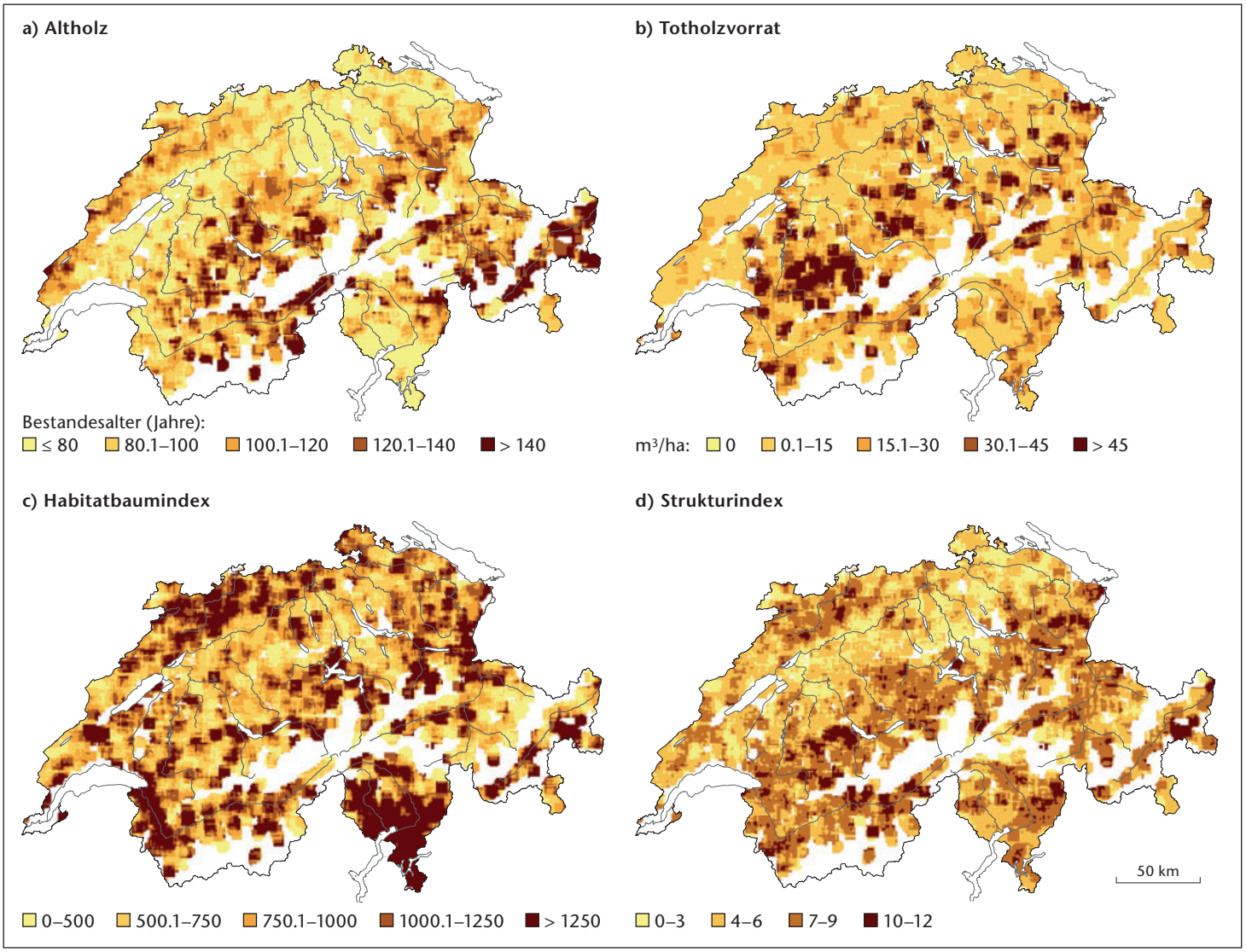


Abb 6 *Schwerpunkte (Hotspots) der Lebensraumindikatoren a) Altholz, b) Totholz und c) Habitatbaum sowie Synthese (Wertekumulation) dieser Indikatoren im Strukturindex (d).*

bauten Totholzes mit 33% höher als in relativ frisch genutzten Beständen mit rund 20%.

Die Stärken des LFI liegen in der objektiven Darstellung von Veränderungen im Schweizer Wald. So haben sich die drei Lebensraumindikatoren «Totholz», «Altholz» und «Habitatbäume» in den zwei Jahrzehnten seit dem LFI1 eindeutig und signifikant positiv entwickelt (Tabelle 5). Der Totholzvorrat hat sich innert elf Jahren fast verdoppelt. Diese Trends zeigen sich gleichermassen im Wirtschafts- und Schutzwald wie auch in Wäldern mit prioritären Naturschutzzielen, also unabhängig vom Hauptziel der Bewirtschaftung, der sogenannten Vorrangfunktion. Am grössten ist der Anteil hochwertiger Habitatbäume im Naturschutzwald, während die Schutzwälder am meisten Altbestände und den höchsten Totholzvorrat aufweisen. Im öffentlichen Wirtschaftswald ist der Totholzvorrat signifikant kleiner als im privaten (Tabelle 6).

Unabhängig von der Waldfunktion sind die Totholzvorräte in höheren Lagen, in steilerem und damit schlechter befahrbarem Gelände sowie in schlechter erschlossenen Wäldern deutlich höher als im übrigen Gebiet (Tabelle 6), wie schon Böhl & Brändli (2007) zeigen konnten. Das heisst, je höher der Holzernteaufwand ist, desto eher wird Totholz im Wald belassen. Auffallend sind die Verhältnisse im Schutzwald, wo selbst gut erreichbare und leichter zu bewirtschaftende Bestände relativ hohe Totholzvorräte aufweisen. Dies überrascht wenig, sind doch bewusst liegen gelassene tote Bäume als temporäre Schutzverbauungen Teil des Schutzwaldkonzeptes. Dass im frisch genutzten Holzproduktionswald die Totholzvorräte kaum geringer sind als im seit über 20 Jahren nicht genutzten Holzproduktionswald, dürfte auf die Orkane Vivian und Lothar zurückzuführen sein: Viele Nutzungen im Wirtschaftswald waren Zwangsnutzungen, bei denen relativ viel Totholz im Wald belassen wurde. Unabhängig von der Waldfunktion sind die Totholzvorräte in unmittelbarer Strassennähe am geringsten, dort also, wo Totholz am leichtesten erreichbar ist, aber ebenfalls für Passanten am ehesten zur Gefahr werden kann und auch deshalb vermehrt entfernt wird.

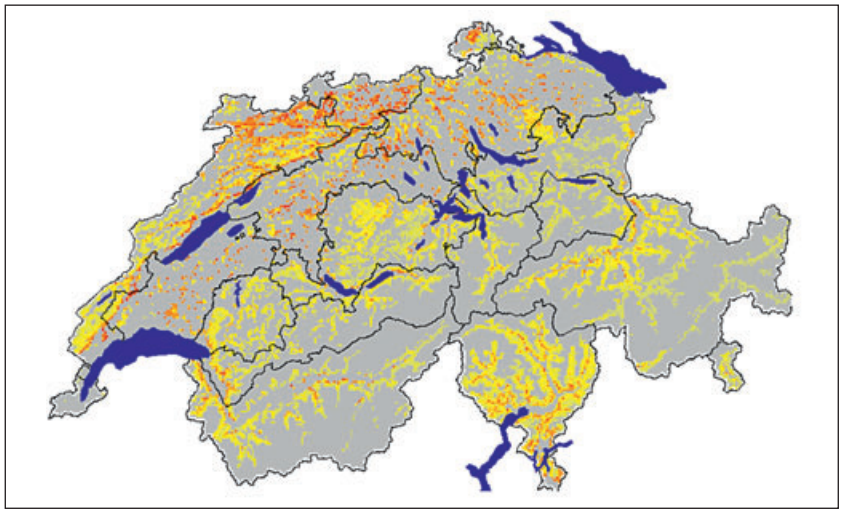


Abb 7 Potenzielle «saproxylische Hotspots» (rot) im Waldareal (gelb). Ergebnis der Kumulation von 55 modellierten Lebensraumeignungskarten für alt- und totholzabhängige Fledermaus-, Vogel-, Amphibien- und Reptilien-, Insekten-, Mollusken-, Pilz- und Flechtenarten (Quelle: Bütler et al 2006).

Diskussion

Offensichtliche Zusammenhänge zwischen der aktuellen Verbreitung einzelner saproxylischer Arten und dem Vorkommen spezifischer Lebensraumindikatoren gemäss LFI sind eher selten zu beobachten. Ein Grund liegt wohl in der beschränkten Repräsentativität der Artkartierungen. Tatsächlich sind systematisch erhobene Artkartierungen die Ausnahme. Bei den meisten Artendatenbanken handelt es sich um die Kumulation von Fundmeldungen, wobei sich intensiveres Suchen in gewissen beliebten Gebieten in einer Häufung von Daten zeigen kann. Ein anderer Grund kann in der geringen Rasterdichte und den kleinen Probeflächen des LFI liegen. Mit der Kumulation von (potenziellen) Arealen mehrerer saproxylischer Arten in Hotspots und der Kumulation von Lebensraumindikatoren im Strukturindex des LFI stehen aber robuste Instrumente für das Lebensraum- und Artenmanagement zur Verfügung.

Die Daten des LFI3 belegen, dass alte und zudem seit mindestens 30 Jahren nicht mehr genutzte Wälder eindeutige Hotspots für saproxylische Arten sind. Die Totholzvorräte liegen hier im Bereich der 20 bis 70 m³ pro Hektare, die als Schwellenwerte für das Vorkommen von anspruchsvollen Arten gelten (Müller & Bütler 2010). Frisch genutzte Bestände weisen deutlich weniger Totholz auf. Am grössten ist das Gefälle diesbezüglich im Areal der Buchenwälder, wo auch die meisten saproxylischen Arten ihr Hauptareal haben. In den letzten zehn Jahren genutzte Bestände auf Buchenwaldstandorten weisen

		Totholzvolumen					
		Alle Bestände		Bestände mit Nutzung in den letzten 10 Jahren		Bestände älter als 120 Jahre und Nutzung vor mehr als 30 Jahren	
Waldgesellschaften	Holzfestigkeit	m³/ha	± %	m³/ha	± %	m³/ha	± %
Buchenwälder	Frisch-/Hartholz	12	8	10	10	27	33
	Morsch/Moder/Mull	4	11	3	16	8	51
	Total	**16**	7	**13**	9	**34**	31
Tannen-Buchen-Wälder	Frisch-/Hartholz	20	9	20	14	25	29
	Morsch/Moder/Mull	6	10	4	17	14	28
	Total	**26**	8	**24**	12	**39**	24
Tannen-Fichten-Wälder	Frisch-/Hartholz	22	11	26	18	31	26
	Morsch/Moder/Mull	10	12	7	23	19	26
	Total	**32**	9	**33**	16	**50**	22
Fichtenwälder	Frisch-/Hartholz	16	10	13	21	23	21
	Morsch/Moder/Mull	10	10	5	26	14	20
	Total	**26**	8	**18**	19	**37**	18
Arven- und Lärchenwälder	Frisch-/Hartholz	9	17	15	69	12	27
	Morsch/Moder/Mull	7	18	6	61	13	29
	Total	**15**	14	**21**	58	**25**	24
Föhrenwälder	Frisch-/Hartholz	15	18	17	33	19	51
	Morsch/Moder/Mull	9	19	10	39	18	45
	Total	**24**	16	**27**	29	**37**	44
Übrige Laubwälder	Frisch-/Hartholz	13	8	13	14	14	31
	Morsch/Moder/Mull	5	11	3	20	16	37
	Total	**18**	7	**16**	13	**30**	30
Gesamt	Frisch-/Hartholz	15	4	15	6	22	11
	Morsch/Moder/Mull	6	4	4	8	14	11
	Total	**22**	3	**19**	5	**36**	9

Tab 4 Totholzvolumen (Mittelwerte in m³/ha; Standardfehler in %) im LFI3 nach Holzfestigkeit, Anzahl Jahren seit dem letzten Eingriff und Bestandesalter. Auswertungseinheit: zugänglicher Wald ohne Gebüschwald

Vorrangfunktion	Inventur	Totholzvorrat		Anteil Bestände älter 120 Jahre		Stammzahlanteil der Habitatbäume mit Wert > 3	
		m³/ha	± %	%	±%	%	±%
Holzproduktion	LFI1	2.7	9	10	1	19	1
	LFI2	5.6	8	19	1	21	1
	LFI3	13.1	7	20	1	21	1
Schutz vor Naturgefahren	LFI1	4.7	8	10	3	23	1
	LFI2	15.1	6	28	1	28	1
	LFI3	25.9	6	27	1	27	1
Erholung	LFI1	0.9	34	20	1	19	2
	LFI2	2.3	33	19	4	25	3
	LFI3	12.4	23	17	3	28	3
Naturschutz	LFI1	3.9	17	14	2	29	2
	LFI2	14.8	14	22	2	32	3
	LFI3	21.8	14	23	2	32	3
Übrige Waldfunktionen	LFI1	2.5	28	20	2	20	2
	LFI2	10.9	19	29	3	29	3
	LFI3	14.5	14	27	3	25	2
Keine spezielle Waldfunktion	LFI1	3.4	29	11	2	20	2
	LFI2	13.2	16	22	3	31	3
	LFI3	16.5	15	24	3	29	3
Gesamt	LFI1	3.4	5	14	0	21	0
	LFI2	10.3	4	23	1	25	0
	LFI3	18.5	4	23	1	25	0

Tab 5 *Ökologische Kenngrössen (Mittelwert in m³/ha respektive %, Standardfehler in %) nach Waldfunktionen (Vorrangfunktionen). Infolge unterschiedlicher Definitionen wird der Totholzvorrat im LFI1 um etwa einen Drittel unterschätzt. Übrige Waldfunktionen: landwirtschaftliche Nutzung, Windschutz, Trinkwasserschutz, Landschaftsschutz, Wildschutz, Militär. Auswertungseinheit: gemeinsamer zugänglicher Wald ohne Gebüschwald LFI1/LFI2/LFI3.*

durchschnittlich 13 m³/ha Totholz auf, seit mindestens 30 Jahren ungenutzte Altbestände dagegen 34 m³/ha. Dies führt zur Hypothese, dass Nutzungsverzichte schon nach 30 Jahren zu wertvollen Totholzvorräten führen könnten, wie dies Bütler & Lachat (2009) aufzeigten. Alte, ungenutzte Wälder – insbesondere Buchen- und Eichenwälder – sollten folglich prioritär in Naturschutzstrategien berücksichtigt werden, zumal das Alt- und Totholzvorkommen im Gebiet der potenziellen Hotspots von saproxylischen Arten wie gezeigt relativ gering ist.

Die LFI-Daten belegen aber auch, dass Alt- und Totholz innert 20 Jahren ganz erheblich zugenommen haben, und zwar im Naturschutzwald wie auch im Holzproduktionswald und im Wald mit Vorrangfunktion Schutz vor Naturgefahren. Dabei wurde im Holzproduktionswald zwischen LFI2 und LFI3 der gesamte Holzzuwachs genutzt, im Naturschutz- und Schutzwald dagegen war es je weniger als die Hälfte. Dies führt zur Hypothese, dass die Förderung von Alt- und Totholz als Element des integralen Naturschutzes ungeachtet der vorrangigen Waldfunktion seit einiger Zeit bei der Waldbewirtschaftung mit entsprechendem Erfolg praktiziert wird, und dies trotz zunehmender Holznutzung. Daneben haben auch Orkane wie Vivian und Lothar Wirkung gezeigt. Der Totholzvorrat und der Anteil hochwertiger Habitatbäume sind im Naturschutzwald nur gut eineinhalbmal so gross wie im Holzproduktionswald. Auch Wälder mit der Vorrangfunktion Schutz vor Naturgefahren bieten relativ gute Lebensraumqualität. Insbesondere die Totholzvorräte sind hier unter allen Standortbedingungen höher als bei jeder anderen Vorrangfunktion. Die Synergie zwischen Schutzwäldern und der Förderung von Alt- und Totholzspezialisten sollte erkannt und besser genutzt werden. Gleiches gilt für schlecht erschlossene Wälder sowie solche in steilen und höheren Lagen: Dort finden sich im Durchschnitt die grössten Totholzvorräte – ein gutes Startkapital bei der Anlage von Waldreservaten. Generell tief sind die durchschnittlichen Totholzvorräte trotz dem Orkan Lothar in der kollinen und submontanen Stufe. Hier bestehen Potenziale für Aufwertungsmassnahmen im Holzproduktionswald ebenso wie im Naturschutzwald.

Unsere Auswertungen lassen Hinweise für Biodiversitätsstrategien im Wald zu. Verallgemeinert kann man sagen, dass Erhaltungsmassnahmen (engl. conservation) hauptsächlich in hohen, schlecht erschlossenen Lagen und in alten Wäldern angesetzt werden sollten, Förderungs- oder Aufwertungsmassnahmen (engl. restoration) hingegen in erster Linie in tiefen Lagen, in flachem, gut erschlossenem Gelände mit einem Akzent in Holzproduktionswäldern. Ähnliche Ergebnisse fanden auch Bütler et al (2005).

	Waldfunktion (Vorrangfunktion)								Gesamtwald	
	Holzproduktion		Schutz vor Naturgefahren		Naturschutz		Übriger Wald			
	m³/ha	±%	m³/ha	±%	m³/ha	±%	m³/ha	±%	m³/ha	±%
Vegetationshöhenstufe										
subalpin	16.2	3.0	33.2	3.1	31.2	6.9	17.8	2.8	26.9	1.9
montan	13.8	1.3	22.9	1.8	17.3	4.1	11.6	1.7	17.0	0.9
kollin/submontan	11.3	1.4	16.9	2.5	16.3	3.9	16.0	2.8	13.3	1.0
Geländeneigung										
1–20%	9.8	1.0	12.1	4.1	12.4	3.2	12.4	2.8	10.4	0.9
21–40%	10.9	1.3	20.1	3.9	16.6	4.9	10.0	1.8	12.9	1.1
41–60%	18.2	2.9	23.2	2.5	27.5	7.4	16.2	3.1	20.6	1.6
über 60%	24.6	4.5	29.5	2.1	29.7	7.3	19.8	3.0	27.5	1.6
Horizontaldistanz Probefläche–Strasse										
bis 30 m	8.6	1.6	13.0	2.8	6.9	2.8	8.2	3.1	9.2	1.2
31–100 m	13.1	1.4	23.1	3.3	22.9	6.4	11.9	2.6	15.7	1.2
101–200 m	12.3	1.6	22.3	2.9	21.5	7.4	14.1	2.9	16.7	1.4
über 200 m	19.5	2.7	29.4	2.1	24.4	4.6	17.3	2.1	24.5	1.3
Potenzieller Holzernteaufwand										
bis 50 CHF/m³	11.9	1.2	25.3	6.0	17.5	5.3	10.9	2.9	13.3	1.1
51–100 CHF/m³	14.2	1.5	26.4	2.6	21.2	4.8	13.7	2.1	18.9	1.2
mehr als 100 CHF/m³	14.6	3.4	24.9	1.8	23.1	4.8	17.2	2.3	21.8	1.3
Letzte Nutzung vor										
bis zu 10 Jahren	12.4	1.1	29.2	3.2	16.2	4.6	10.7	2.0	16.4	1.0
11–20 Jahren	13.1	2.5	21.1	3.3	27.5	9.3	9.5	2.7	16.6	1.8
mehr als 20 Jahren	15.4	2.1	25.5	1.8	23.1	4.1	18.3	2.1	21.7	1.1
Eigentumskategorie										
öffentlich mit Steuerhoheit	11.5	1.3	22.8	2.8	22.0	4.1	15.3	3.2	16.5	1.2
öffentlich ohne Steuerhoheit	11.4	1.2	24.8	1.9	20.8	4.5	14.8	2.0	18.3	1.0
privat	15.7	1.8	30.5	3.5	23.2	8.6	14.5	2.3	20.4	1.5
Gesamt	**13.1**	**0.9**	**25.9**	**1.4**	**21.8**	**3.0**	**14.9**	**1.4**	**18.5**	**0.6**

Tab 6 *Totholzvorrat (Mittelwert in m³/ha, Standardfehler in %) nach Waldfunktionen und Aspekten des Standortes und der Bewirtschaftung. Übriger Wald: Vorrangfunktionen landwirtschaftliche Nutzung, Windschutz, Trinkwasserschutz, Erholung, Landschaftsschutz, Wildschutz, Militär, keine Vorrangfunktion. Eigentumskategorie: öffentlich mit Steuerhoheit: Bund, Kantone, politische Gemeinden; öffentlich ohne Steuerhoheit: Bürgergemeinden, Korporationen; privat: Gesellschaften, Einzeleigentum. Auswertungseinheit: gemeinsamer zugänglicher Wald ohne Gebüschwald LFI1/LFI2/LFI3.*

Angesichts von Szenarien einer verstärkten Holznutzung in der Zukunft ist die Inkraftsetzung von Alt- und Totholzkonzepten eine wichtige, dringende Massnahme, um eine langfristige gute Lebensraumqualität für Alt- und Totholzspezialisten zu garantieren. Die LFI-Daten sind auch wertvoll im Hinblick auf eine gezieltere Auswahl von potenziellen Waldreservaten, was bisher in Europa noch zu wenig systematisch verfolgt wurde (Branquart et al 2008).

Schlussfolgerung

Die Erhebungen des LFI sind, insbesondere wenn es sich um gemessene Grössen handelt, gut geeignet, die Veränderung des Lebensraumes Wald in Raum und Zeit zu verfolgen. Auswirkungen von Extremereignissen wie Orkanen, aber auch die unterschiedlichen Standorte und Bewirtschaftungen zeigen sich in den Lebensraumindikatoren. LFI-Daten bilden eine Grundlage zur Herleitung entsprechender Hypothesen. Direkte Beziehungen zwischen Letzteren und der Verbreitung von Arten(gruppen) lassen sich aus mehreren Gründen kaum nachweisen, dazu sind Fallstudien geeigneter. Hingegen können mit gezielten Aufnahmen gut definierter Merkmale auch künftig weitere, neue Informationen zur Qualität von Habitaten gewonnen werden. Wo die direkte Erfassung solcher Merkmale wie beim Baumalter an praktische Grenzen stösst, können anhand von Messungen auf Unterstichproben Modelle entwickelt werden, wie dies für die häufige Fichte derzeit gemacht wird.

LFI-Daten ermöglichen es, Lebensraum-Hotspots für Alt- und Totholzspezialisten zu identifizieren und Massnahmen für eine effiziente, nationale oder regionale Biodiversitätsförderung zu treffen. Gemäss unseren Beispielen sind Aussagen zu ver-

schiedenen Bereichen möglich. Erstens können zum Beispiel geografische Schwerpunkte für Erhaltungs- oder Förderungsmassnahmen aufgezeigt werden. Zweitens ist es möglich, die zeitliche Entwicklung des Potenzials für saproxylische Arten zu beurteilen (z.B. 30 Jahre ohne Nutzung vs. kürzlich genutzt). Drittens kann das Angebot an Habitatstrukturen, Alt- und Totholz zwischen Waldgesellschaften verglichen werden, um daraus Prioritäten für Schutzprogramme abzuleiten (z.B. Buchenwälder als Förderungsschwerpunkt). Viertens können Synergien beziehungsweise Konflikte zwischen Waldvorrangfunktionen und der Lebensraumqualität für Alt- und Totholzspezialisten aufgezeigt werden (z.B. die Synergie mit dem Schutz vor Naturgefahren oder der Konflikt mit der Holzproduktionsfunktion). Als Fazit ergibt sich, dass die LFI-Daten vermehrt für solche Zwecke genutzt werden sollten. ■

Eingereicht: 31. Oktober 2010, akzeptiert (mit Review): 23. Mai 2011

Literatur

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

BOLLMANN K ET AL (2009) Konzepte, Instrumente und Herausforderungen bei der Förderung der Biodiversität im Wald. Schweiz Z Forstwes 160: 53–67. doi: 10.3188/szf.2009.0053

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BRÄNDLI UB, ABEGG M, DUC P, GINZLER C (2010) Biologische Vielfalt. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. pp. 187–228.

BRÄNDLI UB, ABEGG M, BERANOVA J (2011) Forest age. In: Chirici G, Winter S, McRoberts RE, editors. National forest inventories: Contributions to forest biodiversity assessments. Berlin: Springer. pp. 145–160.

BRÄNDLI UB, BÜHLER C, ZANGGER A (2007A) Biodiversität und Waldinventuren. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft, LFI Info 7. pp. 1–6.

BRÄNDLI UB, BÜHLER C, ZANGGER A (2007B) Waldindikatoren zur Artenvielfalt – Erkenntnisse aus LFI und BDM Schweiz. Schweiz Z Forstwes 158: 243–254. doi: 10.3188/szf.2007.0243

BRÄNDLI UB, DOWHANYTSCH J, EDITORS (2003) Urwälder im Zentrum Europas. Ein Naturführer durch das Karpaten-Biosphärenreservat in der Ukraine. Bern: Haupt. 192 p.

BRANQUART E, VERHEYEN K, LATHAM J (2008) Selection criteria of protected forest areas in Europe: The theory and the real world. Biol Conserv 141: 2795–2806.

BUSSLER H (2010) Hotspot-Gebiete xylobionter Urwaldreliktarten aus dem Reich der Käfer. Freising: Bayerische Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF aktuell 76. pp. 10–12.

BÜTLER R, LACHAT T, SCHLAEPFER R (2005) Grundlagen für eine Alt- und Totholzstrategie der Schweiz. Lausanne: EPF Lausanne, Laboratorium Ökosystemmanagement. 100 p.

BÜTLER R, LACHAT T, SCHLAEPFER R (2006) Saproxylische Arten in der Schweiz: ökologisches Potential und Hotspots. Schweiz Z Forstwes 157: 208–216. doi: 10.3188/szf.2006.0208

BÜTLER R, LACHAT T (2009) Wälder ohne Bewirtschaftung: eine Chance für die saproxylische Biodiversität. Schweiz Z Forstwes 160: 324–333. doi: 10.3188/szf.2009.0324

BUWAL, WSL (2005) Waldbericht 2005 – Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 152 p.

GJERDE I, SAETERSDAL M, BLOM HH (2007) Complementary hotspot inventory – a method for identification of important areas for biodiversity at the forest stand level. Biol Conserv 137: 549–557.

HOBOHM C (2005) Was sind Biodiversity Hotspots – global, regional, lokal? Tuexenia 25: 379–386.

KELLER M, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Feldaufnahme-Anleitung 2010. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 213 p.

KOORDINATIONSSTELLE BIODIVERSITÄTS-MONITORING SCHWEIZ (2009) Zustand der Biodiversität in der Schweiz. Ergebnisse des Biodiversitäts-Monitorings Schweiz (BDM) im Überblick. Stand: Mai 2009. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Zustand 0911. 112 p.

LACHAT T, BÜTLER R (2007) Gestion des vieux arbres et du bois mort – îlots de sénescence, arbres-habitat et métapopulations saproxyliques. Lausanne: EPF Lausanne, Laboratoire des systèmes écologiques, Forschungsbericht. 81 p.

MEIER S (2009) Beurteilung des ökologischen und ökonomischen Wertes von Habitatbäumen in Wirtschaftswäldern am Beispiel des Forstbetriebes Baden. Zürich: ETH Zürich, Departement Umweltwissenschaften, Masterarbeit. 107 p.

MEYER P, SCHMIDT M, SPELLMANN H (2009) Die «Hotspots-Strategie» – Wald-Naturschutzkonzept auf landschaftsökologischer Grundlage. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 15: 822–824.

MONING C, MÜLLER J (2009) Critical forest age thresholds for the diversity of lichens, molluscs and birds in beech (Fagus sylvatica L.) dominated forests. Ecol Indic 9: 922–933.

MÜLLER J (2005) Waldstrukturen als Steuergrösse für Artengemeinschaften in kollinen bis submontanen Buchenwäldern. Weihenstephan: Techn Univ München, Department Ökosystem- Landschaftsmanagement, Dissertation. 228 p.

MÜLLER J ET AL (2005) Urwald relict species – saproxylic beetles indicating structural qualities and habitat tradition. www.afsv.de/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft-2-9.pdf (25.5.2011)

MÜLLER J, BÜTLER R (2010) A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. Eur J Forest Res 129: 981–992.

MYERS N, MITTERMEIER RA, MITTERMEIER CG, DA FONSECA GAB, KENT J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature 403: 853–858.

NIEDERMANN-MEIER S, MORDINI M, BÜTLER R, ROTACH P (2010) Habitatbäume im Wirtschaftswald: ökologisches Potenzial und finanzielle Folgen für den Betrieb. Schweiz Z Forstwes 161: 391–400. doi: 10.3188/szf.2010.391

PROJEKTLEITUNG WAP-CH, BHP BRUGGER (2004) Waldprogramm Schweiz (WAP-CH). Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 363. 117 p.

SBN (1989) Thesen für mehr Natur im Wald. Basel: Schweiz Bund Naturschutz, Beitr Nat.schutz Schweiz 11. 74 p.

SCHMID H, LUDER R, NAEF-DAENZER B, GRAF R, ZBINDEN N (1998) Schweizer Brutvogelatlas. Verbreitung der Brutvögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein 1993–1996. Sempach: Schweizerische Vogelwarte. 574 p.

STOFER S ET AL (2011) SwissLichens – Webatlas der Flechten der Schweiz / Modul Verbreitung (Version 2). www.swisslichens.ch (22.5.2011)

WINTER S, SCHUMACHER H, FLADE M, MÖLLER G (2003) Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland. Sachbericht der Landesanstalt für Grossschutzgebiete über das F & E-Vorhaben «Biologische Vielfalt und Forstwirtschaft». Brandenburg: Landesanstalt Grossschutzgebiete, Forschungsbericht. 445 p.

WINTER S, MÖLLER GC (2008) Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. For Ecol Manage 255: 1251–1261.

Lebensraum-Hotspots für saproxylische Arten mittels LFI-Daten erkennen

Alt- und Totholz sind die wichtigsten Lebensraumaspekte für Tausende typischer waldbewohnender Tier-, Pilz- und Pflanzenarten. Dieser Beitrag geht der Frage nach, ob mit Daten des Landesforstinventars (LFI) sogenannte Lebensraum-Hotspots für eine effiziente nationale und regionale Artenförderung ermittelt werden können. Dazu wurden die für Alt- und Totholzspezialisten wichtigsten Lebensraumindikatoren Altholz, Totholz und Habitatbäume anhand von LFI-Daten analysiert sowie aus allen drei Indikatoren ein Strukturindex berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass sich nationale Verbreitungskarten ausgewählter saproxylischer Arten in unterschiedlichem Mass mit dem Vorkommen von Lebensraumindikatoren gemäss LFI decken, oftmals ein Effekt der nicht repräsentativen Fundmeldungen. Deshalb wurden die Indikatoren auch mit modellierten Verbreitungsgebieten verglichen, den potenziellen Hotspots der saproxylischen Arten. Dabei wird ersichtlich, dass besonders das Totholz heute selten dort häufig ist, wo es zur Erhaltung der Biodiversität am meisten von Nutzen wäre. Besonders hoch sind die Totholzvorräte in den westlichen Randalpen. Schwerpunkte der Altbestände liegen im Engadin und im Wallis, grosse Hotspots der Habitatbäume im Tessin, im zentralen Jura und im Unterwallis.

Mit LFI-Daten zu Standort, Bewirtschaftung und vorrangiger Waldfunktion wird der Einfluss dieser Faktoren gezeigt. So weisen Tannen-Fichten-Wälder heute doppelt so viel Totholz auf wie Buchenwälder (32 vs. 16 m³/ha), erstere in seit über 30 Jahren ungenutzten Altbeständen 50 m³/ha. Unabhängig von der Waldfunktion sind die Totholzvorräte in höheren Lagen, in steilerem Gelände und in schlechter erschlossenen Wäldern grösser. Schutzwälder weisen am meisten Altbestände (27% älter als 120 Jahre) und Totholz auf (26 m³/ha), während Erholungs- und Holzproduktionswälder 12 bis 13 m³/ha Totholz und 17 bis 20% Altbestände haben. In den letzten zwei Jahrzehnten haben Alt- und Totholz bei allen Waldfunktionen erheblich zugenommen.

Die Erhebungen des LFI sind gut geeignet, um die Veränderung des Lebensraumes Wald in Raum und Zeit zu verfolgen sowie die Einflüsse von Standort, Bewirtschaftung und Naturereignissen aufzuzeigen. Differenzierte LFI-Datenanalysen bieten Hinweise für Naturschutzstrategien, zum Beispiel geografische Schwerpunkte für Erhaltungs- oder Förderungsmassnahmen, das Potenzial von seit längerer Zeit ungenutzten Wäldern oder die Synergie mit Schutzwäldern. LFI-Daten sollten vermehrt für solche Zwecke genutzt werden.

Identifier les hotspots d'habitat pour les espèces saproxyliques à l'aide des données de l'IFN

Le bois mort et les vieux arbres figurent parmi les composantes d'habitat primordiales pour des milliers d'espèces d'animaux, de champignons et de plantes forestières. Cet article poursuit l'objectif de vérifier si la mise en évidence des hotspots d'habitat est possible à l'aide des données de l'Inventaire forestier national (IFN). Nous avons analysé les indicateurs vieux arbres, bois mort et arbres-habitat, et calculé un nouvel indicateur structurel issu des trois derniers. Les résultats montrent que les cartes de distribution des espèces saproxyliques choisies, basées sur des observations parfois non représentatives, ne coïncident que partiellement avec les cartes des indicateurs mentionnés issues de l'IFN. C'est pourquoi nous avons également comparé les indicateurs aux hotspots potentiels modélisés d'espèces saproxyliques. On peut constater que le bois mort est souvent rare aux endroits ayant le plus grand potentiel pour la biodiversité. Les volumes de bois mort les plus élevés se trouvent en bordure des Alpes de l'Ouest. Les vieux peuplements ont leur centre de distribution en Engadine et en Valais. Les hotspots des arbres-habitat sont localisés au Tessin, au Jura central et en Bas-Valais.

Nous avons également analysé l'influence de la station, de la gestion et de la fonction forestière prépondérante sur les indicateurs. Le volume de bois mort des sapinières-pessières est deux fois plus grand que celui des hêtraies (32 vs 16 m³/ha). Les sapinières-pessières sans exploitation depuis au moins 30 ans contiennent 50 m³/ha. Quelque soit la fonction prépondérante, les volumes de bois mort sont plus grands en altitude, dans les forêts pentues ou mal desservies. Les forêts protectrices sont les plus riches en vieux arbres (27% plus vieux que 120 ans) et en bois mort (26 m³/ha), tandis que les forêts d'accueil et de production contiennent 17–20% de vieux peuplements et 12–13 m³/ha de bois mort. Durant les dernières deux décennies, les quantités de bois mort et de vieux arbres ont considérablement augmenté.

Les données de l'IFN se prêtent bien au suivi des modifications spatio-temporelles de l'habitat forestier, ainsi qu'à la mise en évidence de l'influence de la station et de la gestion forestière. Des analyses différenciées de ces données peuvent fournir des indications utiles pour les stratégies de protection de la nature, tels que par exemple les centres de gravité géographiques pour des mesures de conservation et de restauration, le potentiel des forêts non exploitées depuis longtemps, ou les synergies avec les forêts protectrices. Les données de l'IFN devraient être exploitées davantage à de telles fins.

Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald – methodische Überlegungen

Philippe Duc Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)†
Urs-Beat Brändli Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Fabrizio Cioldi Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Adrian Lanz Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Ulrich Ulmer Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Development of tree species in Swiss forests – some methodological considerations

Swiss forests have been subject to more stress in recent decades due to increased climatic and biogenic disturbances. Some tree species, such as Norway spruce, have been more severely affected than others. How the tree species composition of the Swiss forest has changed during this time has been assessed with data from the Swiss National Forest Inventory (NFI). The four indicators, presence, dominance, number of stems and basal area, were examined to see: whether the changes in the most important tree species are significant; whether the indicators have developed in the same way in the two diameter classes, D1 (12–36 cm DBH) and D2 (> 36 cm DBH); and how different diameter thresholds (12 or 36 cm DBH) and different circular sample plot sizes (200 m² or 500 m²) affect the development and significance of the indicators. All the values were estimated for the 5370 NFI forest plots that were accessible in all three inventories, NFI1 (1983–85), NFI2 (1993–95) and NFI3 (2004–06). Only in a minority of tree species did changes in the presence, dominance, number of stems and basal area develop in the same way. Most indicators for the conifer species spruce, fir and pine decreased significantly, whereas for the broadleaf species, maple and ash, as well as larch and the other conifers, they increased significantly. The basal area increased during the period investigated for all tree species except pine and spruce. The different development of the indicators number of stems and basal area can be attributed to a different development within the DBH classes D1 and D2. The inventory diameter threshold strongly affects the development of the indicator number of stems, but not that of the indicator basal area.

Keywords: tree species, significance of changes, presence, dominance, number of stems, basal area, inventory diameter threshold, circular sample plot size, Swiss National Forest Inventory
doi: 10.3188/szf.2011.0326

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail urs-beat.braendli@wsl.ch

Seit einigen Jahrzehnten ist der Schweizer Wald grösseren Belastungen ausgesetzt, insbesondere wegen der Zunahme von klimatischen und biogenen Störungen (Usbeck et al 2010, Engesser et al 2008). Entsprechend war der Anteil der Zwangsnutzungen an der gesamten Nutzungsmenge in den vergangenen Jahren sehr gross: Seit dem ersten Landesforstinventar (LFI1, 1983–1985) war rund die Hälfte aller waldbaulichen Eingriffe zumindest teilweise auf Zwangsnutzungen zurückzuführen. Die mittlere Zwangsnutzungsmenge stieg von jährlich 2.2 Mio. m³ zwischen LFI1 und LFI2 (Herold & Stierlin 1999) auf 2.9 Mio. m³ zwischen LFI2 und LFI3 (Schwyzer et al 2010). Infolge vorübergehend höherer Holzpreise war auch die reguläre Holznutzung zwischen dem LFI2 (1993–95) und dem LFI3 (2004–06) relativ gross. Darum war die Menge des genutzten und abgestorbenen Holzes in diesem Zeitraum fast gleich gross wie der Holzzuwachs (Duc et al 2010), im Mittelland gar um 23% grösser. Ob sich der Wald in der Schweiz infolge der häufiger aufgetretenen Störungen und der intensiveren Holznutzung in seiner Baumartenzusammensetzung verändert hat, kann mit Daten des LFI analysiert werden.

Die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung wurde im LFI3-Ergebnisbericht anhand der Veränderung von Stammzahl und Vorrat quantifiziert (Cioldi et al 2010). Für die Beschreibung von Pflanzenpopulationen gibt es weitere Merkmale, die sich als Indikatoren für Veränderungen eignen: etwa Präsenz, Dominanz und Deckungsgrad der Arten, sowie Total und Anteil der Variablen Basalfläche oder Biomasse. Je nach Fragestellung kommen unterschied-

Abb 1 Die Feststellung einer Art auf einem Plot ist auch vom gewählten Indikator, von der Plotgrösse und der Kluppschwelle abhängig.

liche Indikatoren zum Einsatz: Präsenz, Dominanz und Biomasse werden primär als ökologische Indikatoren, der Holzvorrat wird als ökonomischer Indikator verwendet. Die Stammzahlverteilung auf Durchmesserklassen ist ein guter Indikator für die Nachhaltigkeit von Baumarten. Die mit dem Holzvorrat eng korrelierte Basalfläche (Stammquerschnittsfläche) ist ein Mass für die Bestandesdichte. Da die Basalfläche mit der Kronenfläche eines Baumes korreliert, dient sie auch zur groben Abschätzung des Flächenanteils einer Baumart.

Für die Analyse von Veränderungen eignen sich Merkmale, welche für die Fragestellung relevant sind und reproduzierbar erfasst werden können. Im LFI sind dies insbesondere der Brusthöhendurchmesser (BHD) der Probebäume und alle davon ableitbaren Merkmale. Für unsere Untersuchung haben wir die Indikatoren Präsenz, Stammzahl, Basalfläche und Dominanz ausgewählt. Anhand dieser Indikatoren wird untersucht, ob sich die wichtigsten Baumarten im Schweizer Wald zwischen LFI1 und LFI3 signifikant verändert haben und ob die Veränderungen gleichgerichtet verlaufen sind. Um den zeitlichen Verlauf der Entwicklung aufzuzeigen, werden die Ergebnisse der ersten Periode (LFI1 zu LFI2) mit jenen der zweiten Periode (LFI2 zu LFI3) verglichen.

Das LFI erfasst Probebäume von 12 bis 36 cm BHD (als Klasse D1 bezeichnet) auf einem Probekreis von 200 m² und Probebäume ab 36 cm BHD (Klasse D2) auf einem Kreis von 500 m². Die Stammzahlentwicklung in den Klassen D1 und D2 könnte unterschiedlich sein und wird im Folgenden für einige Indikatoren getrennt dargestellt.

Das LFI weist mit 12 cm BHD die höchste Kluppschwelle aller europäischen Länder auf (Tompo et al 2009). Ob und wie sich unterschiedliche Kluppschwellen auf Stammzahl- und Basalflächenveränderungen auswirken, wird durch den Vergleich der Entwicklung aller Probebäume (ab 12 cm BHD) mit jener der Probebäume in der Klasse D2 (ab 36 cm BHD) untersucht.

Für die Berechnung der Hektarwerte pro Probefläche, die sogenannte lokale Dichte (Mandallaz 2008), und letztlich für die Schätzung von Mittelwerten, Totalen und Anteilen der Variablen Stammzahl und Basalfläche in den Auswertungseinheiten der Inventur müssen die Probebäume der Klasse D1, welche auf einer Probefläche von 200 m² erfasst werden, mit dem Faktor 50 gewichtet werden, jene der Klasse D2, welche auf einer Probefläche von 500 m² erfasst werden, mit dem Faktor 20 (Köhl 2001). Die Kennzahlen der Grundgesamtheit (Populationsparameter) für Stammzahl und Basalfläche der Klassen D1 und D2 sowie für alle Bäume ab einem BHD von 12 cm können mithilfe dieser Hochrechnungsfaktoren aus der LFI-Stichprobe unverzerrt geschätzt werden. Nebenbei sei erwähnt, dass alle Kenngrössen auch nur mit den Probebäumen auf dem kleinen Kreis (200 m²) geschätzt werden können; in diesem Fall müssen auch die Bäume mit einem BHD von mehr als 36 cm mit dem Faktor 50 gewichtet werden.

Während die Indikatoren Stammzahl und Basalfläche, bei richtiger Anwendung der Hochrechnungsfaktoren, nicht von Form und Grösse der verwendeten Probeflächen respektive der Anzahl Probeflächen abhängen, gilt dies nicht für die Indikatoren Präsenz und Dominanz (Abbildung 1). Sie sind als Anteil derjenigen Probeflächen an der Gesamtstichprobe definiert, auf denen eine bestimmte Baumart vorkommt, respektive die sie dominiert, d.h.

den grössten (lokalen) Basalflächenanteil aufweist. Es ist intuitiv leicht verständlich, dass diese zwei Indikatoren im Allgemeinen von der Grösse (oder Art) der verwendeten Probeflächen als auch vom Stichprobenumfang abhängen. Die so definierten Indikatoren Präsenz und Dominanz lassen sich also nicht (nur sehr bedingt) mit den Ergebnissen anderer National-, Regional- oder Betriebsinventuren vergleichen. Die beobachteten Veränderungen von Präsenz und Dominanz der Baumarten auf dem Netz der permanent angelegten und wiederholt gemessenen LFI-Probeflächen lassen sich aber durchaus interpretieren und unterstützen so die vertiefte Analyse der Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald.

Methode

Berechnung von Zustand und Veränderung bei permanenten Probeflächen

Das LFI ist eine Kontrollstichprobe, d.h. die Probeflächen im Basisnetz von 1.414 km × 1.414 km werden wiederholt aufgenommen (Brassel et al 2010). Bisher erfolgte die Erhebung periodisch rund alle zehn Jahre, nämlich erstmals in den Jahren 1983 bis 1985 (LFI1; Mahrer et al 1989), dann 1993 bis 1995 (LFI2; Brassel & Brändli 1999) und 2004 bis 2006 (LFI3; Brändli 2010). Die terrestrische Inventur setzt sich zusammen aus der Erhebung von Probebäumen ab einer Kluppschwelle von 12 cm BHD auf zwei konzentrischen Kreisflächen und aus der Erfassung von Bestandesdaten auf einer Fläche von 50 m × 50 m. Aus der wiederholten Aufnahme der Probebäume im systematischen Stichprobennetz können unverzerrte Schätzungen für Zustände und Veränderungen aller Variablen (z.B. Stammzahl, Vorrat) für den Schweizer Wald und seine Hauptregionen berechnet werden.

Der Mittelwert $\bar{X}$ einer Plotvariablen X im Untersuchungsgebiet und die Varianz dieses Mittelwerts unter einer einfachen Zufallsstichprobe im Untersuchungsgebiet werden wie folgt geschätzt:

$$\hat{\bar{X}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad (1)$$

$$\hat{V}(\hat{\bar{X}}) = \frac{1}{n}\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n}\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \hat{\bar{X}})^2}{n-1} \qquad (2)$$

wobei $\hat{\sigma}^2$ die Varianz (Streuung) der einzelnen Plotwerte X im Untersuchungsgebiet und X_i den Wert der Variablen X auf dem i-ten (von n) Probeflächen bezeichnet.

Das 95%-Vertrauensintervall für die Schätzung $\hat{\bar{X}}$ hat bei genügend grossem Stichprobenumfang n etwa die Grenzen:

$$\left[\hat{\bar{X}} - 1.96\sqrt{\hat{V}(\hat{\bar{X}})};\ \hat{\bar{X}} + 1.96\sqrt{\hat{V}(\hat{\bar{X}})}\right] \qquad (3)$$

Im System der verbundenen Stichproben des LFI mit periodischen Wiederholungsmessungen auf den fest eingerichteten Probeflächen (permanente Stichprobe) lassen sich Veränderungen zwischen zwei Zeitpunkten leicht berechnen und mit grosser Genauigkeit schätzen. Es sei $X_{1,i}$ der Zustandswert der Variablen X auf der Probefläche i zum Zeitpunkt der Vorinventur (oder Erstinventur) und $X_{2,i}$ der Zustandswert der Variablen X auf der Probefläche i zum Zeitpunkt der Nachinventur (oder Zweitinventur).

Die auf den einzelnen Probeflächen beobachteten Differenzen der Zustandswerte, die Variabe δ mit Wert

$$\delta_i = X_{2,i} - X_{1,i} \qquad (4)$$

für die i-te Probefläche, wird als neue Plotvariable für die Schätzung der mittleren Veränderung im Untersuchungsgebiet eingesetzt. Die obigen Formeln 1 bis 3 können analog mit δ_i für X_i verwendet werden.

Berechnung der ausgewählten Indikatoren

Stammzahl und Basalfläche sind metrische Daten, welche aus den Probebäumen des kleinen (200 m²) respektive des kombinierten Probekreises (200/500 m²) mithilfe der Hochrechnungsfaktoren für jede Probefläche gerechnet werden. Die mittleren Hektarwerte und ihre Standardfehler werden gemäss Formel 1 und 3 geschätzt; die Veränderungen gemäss Formel 4. Bei Veränderungen kann der Schätzfehler einfach interpretiert werden: Ist die halbe Breite des 95%-Vertrauensintervalls kleiner als der Absolutwert der geschätzten Veränderung, dann ist diese statistisch signifikant auf dem 95%-Niveau, d.h., es kann mit grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass sich die Population zwischen den beiden Inventuren bezüglich der untersuchten Kenngrösse tatsächlich in die geschätzte Richtung verändert hat. Veränderungen werden auch häufig in Prozent des Ausgangswertes angegeben (prozentuale Veränderung), ein Versuch, das Ausmass der Veränderung auf unterschiedlichen Skalen respektive für verschiedene Variablen vergleichbar zu machen.

Die Präsenz von Pflanzenarten ist allgemein abhängig davon, auf welcher Fläche sie erfasst wird (Magurran 2004). Aussagen zur Präsenz der Baumarten müssen sich darum auf einen einheitlichen Probekreis beziehen. Vergleichbare Daten zur Artenpräsenz liegen im LFI für Probebäume ab 12 cm BHD im kleinen Probekreis vor. Alle Werte zur Präsenz wurden deshalb für den kleinen Kreis (200 m²) berechnet. Artenpräsenz ist ein binäres Probeflächenmerkmal: Die Art kommt vor (1) oder nicht vor (0). Berechnet wird der Anteil (Prozent) der Probeflächen mit Präsenz einer bestimmten Baumart an der Gesamtheit der Probeflächen in der Auswertungseinheit. Ob sich die Präsenz signifikant verändert hat, wird – wie für die metrischen Merkmale Stammzahl

und Basalfläche – mit der Differenz der binären Werte zwischen Zweit- und Erstaufnahme untersucht.

Als dominante Baumart für eine bestimmte Probefläche wird hier die (Haupt-)Baumart mit der grössten Basalfläche bezeichnet. Sie kann mit allen Probebäumen auf dem kombinierten Probekreis mit entsprechenden Hochrechnungsfaktoren berechnet werden oder – wie in dieser Untersuchung – nur mit den Probebäumen im kleinen Kreis. Wie die Präsenz wird die Dominanz für die zwölf Hauptbaumarten-(gruppen) in ein binäres Merkmal überführt, und die statistische Analyse erfolgt mit den weiter vorne angegebenen Formeln.

Festlegung der übrigen Rahmenwerte

Im LFI werden Veränderungen der Waldfläche auf dem gesamten Stichprobennetz, Veränderungen von Aufbau und Zusammensetzung des Waldes dagegen auf den gemeinsamen Probeflächen der zu vergleichenden Inventuren geschätzt (Brassel et al 2010). Veränderungsauswertungen auf diesen gemeinsamen, zugänglichen Waldprobeflächen weisen gewisse praktische Vorteile auf (Lanz & Abegg 2010): Die benötigten Informationen liegen vollständig vor, und der Einfluss unterschiedlicher Netze auf die festgestellten Veränderungen kann ausgeschlossen werden. Entsprechend haben wir alle Werte für die gemeinsamen, zugänglichen Waldprobeflächen der drei Inventuren LFI1, LFI2 und LFI3 gerechnet. Diese Stichprobe umfasst 5370 Probeflächen im 1.414-km×1.414-km-Netz. Im Unterschied zum LFI-Bericht wurden nicht alle lebenden Bäume, sondern nur die stehend-lebenden Probebäume berücksichtigt. Die stehend-lebenden Probebäume machen im LFI3 91.2% aller erfassten (lebenden und toten) Probebäume aus.

Im LFI-Bericht werden Ergebnisse zur Artenzusammensetzung überwiegend nach den Baumgattungen Fichte, Tanne, Föhre, Lärche, Arve, Buche, Ahorn, Esche, Eiche, Kastanie ausgewiesen und als Hauptbaumarten bezeichnet. Sie werden ergänzt mit den zwei Sammelklassen «übrige Nadelbäume» und «übrige Laubbäume». Auf die Baumarten Fichte *(Picea abies)*, Tanne *(Abies alba)*, Lärche *(Larix decidua)*, Buche *(Fagus sylvatica)*, Esche *(Fraxinus excelsior)* und Kastanie *(Castanea sativa)* hat diese Aggregation kaum Auswirkungen, da die übrigen Arten dieser Gattungen sehr selten sind (Cioldi et al 2010). Die Arve *(Pinus cembra)*, obschon eine Föhrenart, wird seit dem LFI1 als Hauptbaumart geführt. Die Hauptbaumart Föhre vereint neben der Waldföhre *(P. sylvestris)* auch die baumförmig wachsende Bergföhre *(P. mugo)* sowie die beiden Exoten Strobe *(P. strobus)* und Schwarzföhre *(P. nigra)*. Die Hauptbaumart Ahorn vereint Berg- *(Acer pseudoplatanus)*, Spitz- *(A. platanoides)*, Feld- *(A. campestre)* und schneeballblättriger Ahorn *(A. opalus)*, die Hauptbaumart Eiche Stiel- *(Quercus robur)*, Trauben- *(Q. petraea)*, Zerr- *(Q. cerris)* und Flaumeiche *(Q. pubescens)* sowie die exotische Roteiche *(Q. rubra)*. In unserem Indikatorenvergleich verwenden wir dieselbe Aggregation.

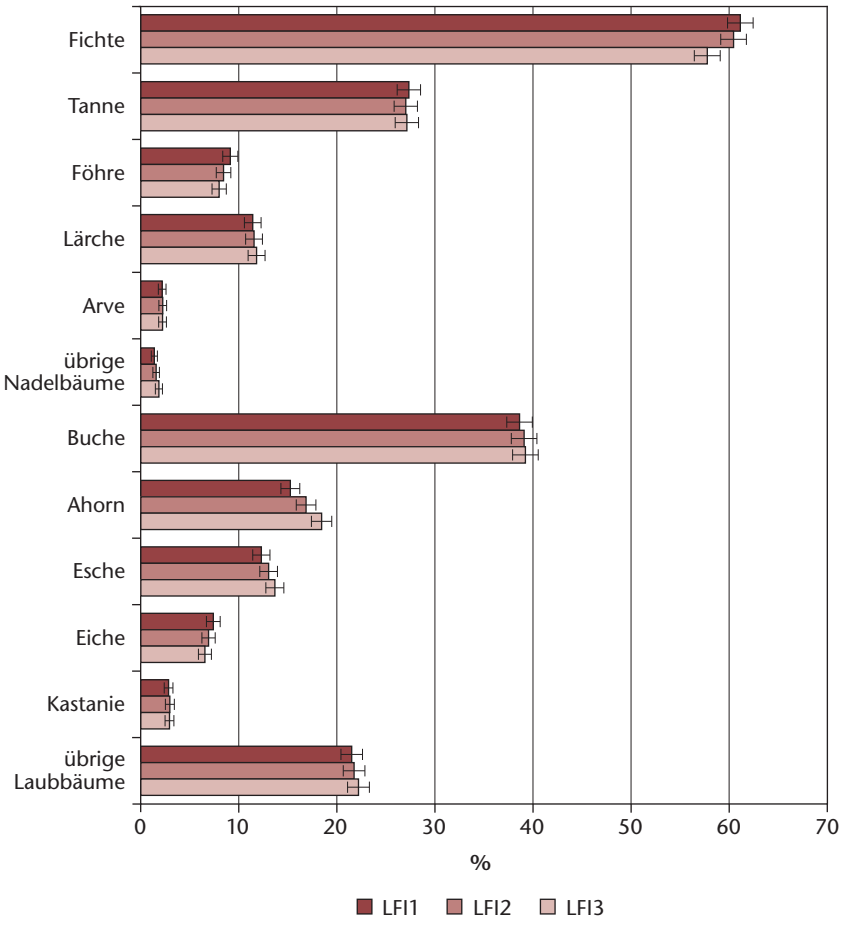


Abb 2 *Präsenz nach Baumart und Inventur auf dem 2-Ar-Kreis (Kluppschwelle 12 cm; Signifikanzniveau 95%).*

Ergebnisse

Präsenz

Bei einer Kluppschwelle von 12 cm und untersucht auf dem kleinen Kreis (200 m²) kam die Fichte im LFI1 auf 61%, die Buche auf 39% aller Probeflächen vor (Abbildung 2). Zwischen LFI1 und LFI3 nahm die Präsenz von Fichte, Föhre und Eiche in der Schweiz markant ab, jene von Ahorn, Esche und den übrigen Nadelbäumen markant zu (Tabelle 1).

Die prozentualen Veränderungen der Präsenz lagen mehrheitlich im Bereich ±1 bis 5%. Signifikante Abnahmen der Präsenz gab es bei den Föhren und Eichen in beiden Perioden und bei den Fichten in der zweiten Periode, signifikante Zunahmen bei Ahorn, Esche und den übrigen Nadelbäumen (Tabelle 1).

Dominanz

Insgesamt dominieren die drei häufigsten Baumarten Fichte, Buche und Tanne auf 70% des Schweizer Waldes (Abbildung 3). Auf rund 5% der Probeflächen gibt es keine Probebäume und entspre-

	LFI1–LFI2				LFI2–LFI3				LFI1–LFI3			
	Präsenz	Dominanz	Stamm-zahl	Basal-fläche	Präsenz	Dominanz	Stamm-zahl	Basal-fläche	Präsenz	Dominanz	Stamm-zahl	Basal-fläche
Fichte	–1.13	–2.38	–0.86	2.29	–4.44	–5.57	–6.46	–2.02	–5.51	–7.82	–7.26	0.22
Tanne	–1.16	–2.08	–6.75	3.17	0.41	2.74	–1.29	7.22	–0.75	0.61	–7.94	10.62
Föhre	–7.55	–9.90	–8.99	–3.39	–5.30	–5.03	–9.92	–5.08	–12.45	–14.43	–18.02	–8.30
Lärche	1.14	7.33	5.55	10.67	2.26	2.06	5.49	10.47	3.43	9.54	11.35	22.25
Arve	2.56	–5.45	5.63	9.93	–0.83	–2.88	4.64	7.99	1.71	–8.18	10.53	18.72
übrige Nadelbäume	13.51	31.25	23.43	36.87	17.86	4.76	10.94	29.97	33.78	37.50	36.93	77.89
Buche	1.21	4.85	–2.87	10.15	0.33	4.42	–1.32	7.98	1.54	9.48	–4.16	18.94
Ahorn	10.50	15.00	12.32	20.87	9.39	31.23	14.97	20.00	20.88	50.91	29.14	45.04
Esche	6.06	12.67	3.92	23.59	4.86	22.19	10.50	22.21	11.21	37.67	14.83	51.04
Eiche	–6.55	1.28	–3.40	9.37	–5.39	–3.80	–4.46	9.56	–11.59	–2.56	–7.71	19.83
Kastanie	4.61	0.50	2.84	16.08	–1.26	–2.46	–2.16	5.59	3.29	–1.98	0.61	22.56
übrige Laubbäume	1.13	–1.99	5.09	9.98	2.05	0.85	3.66	13.11	3.20	–1.16	8.94	24.40

Tab 1 *Prozentuale Veränderung der Indikatoren Präsenz, Dominanz, Stammzahl und Basalfläche auf dem 2-Ar-Kreis (Kluppschwelle 12 cm; Signifikanzniveau 95%). Hervorgehoben sind die Zellen mit einer signifikanten Abnahme (mittlerer Farbton) und jene mit einer signifikanten Zunahme (dunkler Farbton).*

chend keine dominierende Baumart. Seit dem LFI1 nahm die Dominanz von Fichte und Föhre deutlich ab, jene von Lärche, Buche, Ahorn und Esche deutlich zu. Im LFI3 dominierten Nadelbäume noch auf rund 60% der Waldfläche (LFI1: 63%), Laubbäume auf 35% (LFI1: 32%).

Die prozentualen Veränderungen der Dominanz streuten etwas stärker als jene der Präsenz und

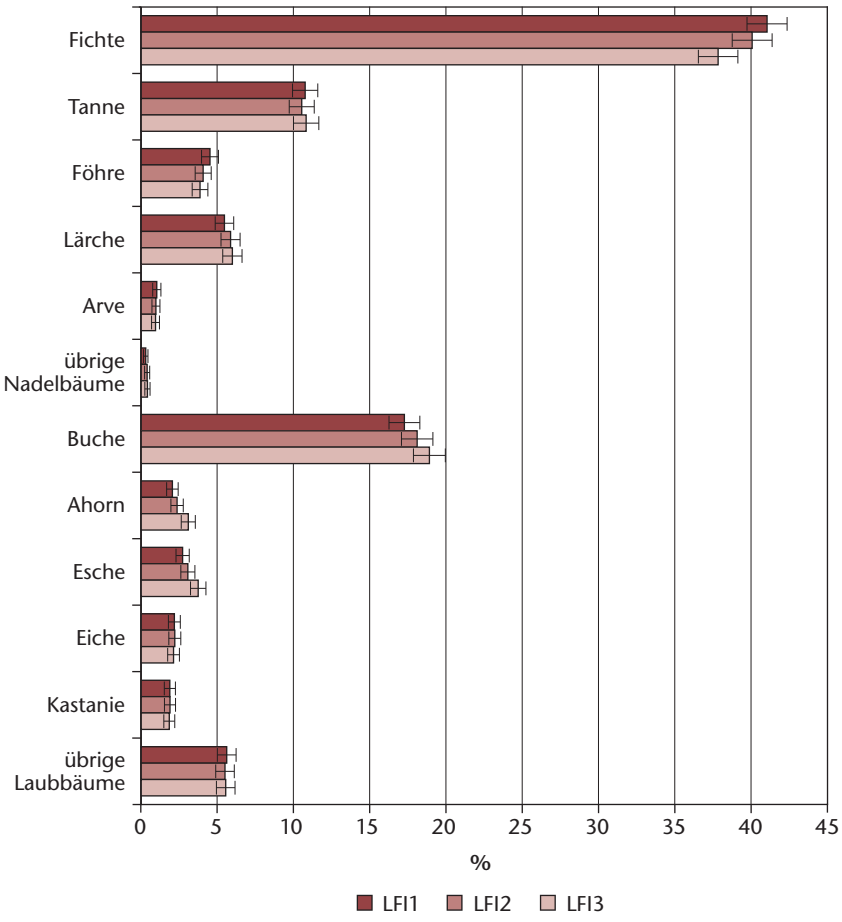


Abb 3 *Dominanz nach Baumart und Inventur auf dem 2-Ar-Kreis (Kluppschwelle 12 cm; Signifikanzniveau 95%).*

betrugen teilweise über ±10% (Tabelle 1). In der ersten Periode nahm die Dominanz von Fichte und Föhre signifikant ab, jene von Lärche, Buche, Ahorn und Esche nahm signifikant zu. In der zweiten Periode verlor die Fichte weiter an Dominanz, während Buche und insbesondere Ahorn und Esche kräftig zulegten.

Stammzahl

Zwischen LFI1 und LFI3 waren die Stammzahlen von Fichte, Tanne, Föhre und Buche signifikant rückläufig, jene von Lärche, Ahorn und Esche sowie der Sammelkategorien übrige Nadelbäume und übrige Laubbäume nahmen deutlich zu (Abbildung 4).

Obwohl die absoluten Stammzahlveränderungen grösstenteils weniger als 2 St./ha ausmachen, sind die Stammzahlabnahmen von Tanne, Föhre und Buche in der ersten Periode, von Fichte und Föhre in der zweiten Periode und von Fichte, Tanne, Föhre und Buche über beide Perioden signifikant. Signifikante Stammzahlzunahmen gab es bei Lärche, Ahorn, Esche (nur in der zweiten Periode und im Vergleich LFI1–LFI3) sowie bei den übrigen Laubbäumen (erste Periode und LFI1–LFI3) und den übrigen Nadelbäumen (nur LFI1–LFI3).

Basalfläche

Zwischen LFI1 und LFI3 nahm die Basalfläche bei allen Baumarten ausser bei Fichte und Föhre signifikant zu (Abbildung 5), und die Zunahmen waren, mit Ausnahme der Kastanie in der zweiten Periode, auch in den einzelnen Perioden statistisch signifikant (Tabelle 1).

Die Basalflächenabnahme bei der Föhre war in beiden Perioden nicht signifikant, insgesamt zwischen LFI1 und LFI3 dagegen schon. Auffallend ist der Basalflächenrückgang bei der Fichte in der zweiten Periode; dieser Rückgang ist jedoch nur auf dem 68%-Niveau signifikant, und insgesamt resultiert für

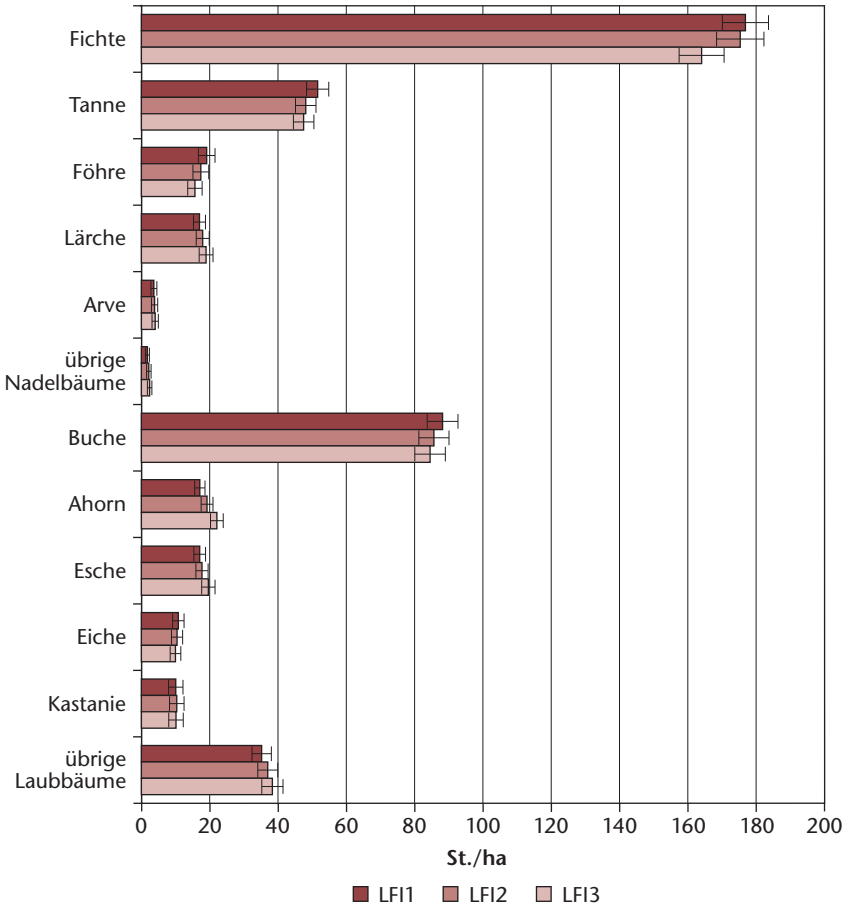


Abb 4 *Stammzahl nach Baumart und Inventur auf dem 2-Ar-Kreis (Kluppschwelle 12 cm; Signifikanzniveau 95%).*

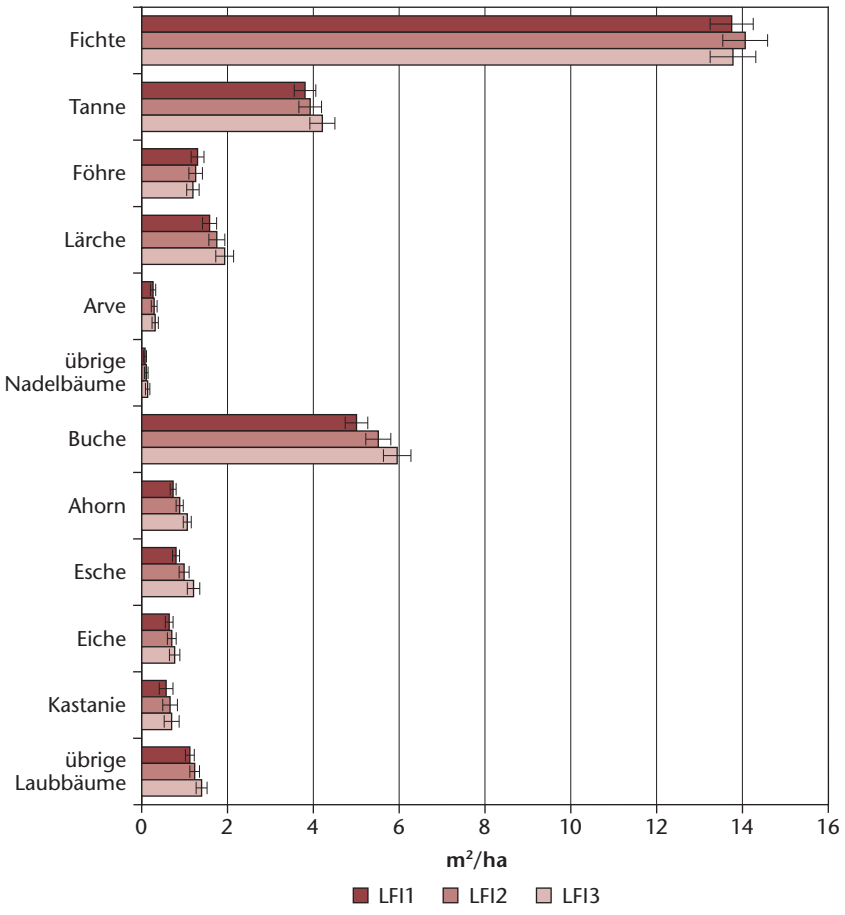


Abb 5 *Basalfläche nach Baumart und Inventur auf dem 2-Ar-Kreis (Kluppschwelle 12 cm; Signifikanzniveau 95%).*

die Fichte zwischen LFI1 und LFI3 keine signifikante Veränderung.

Vergleich der vier Indikatoren

Während bei Präsenz, Dominanz und Stammzahl signifikante Zu- und Abnahmen in beiden Perioden in etwa gleich häufig vorkamen, nahm die Basalfläche bei fast allen Baumarten signifikant zu (Tabelle 1). Bei vielen Baumarten verlief die Entwicklung der Indikatoren in den beiden Perioden und insgesamt nicht gleichgerichtet. Zwischen LFI1 und LFI3 beispielsweise gab es bei Tanne, Buche und Eiche je mindestens einen Indikator mit gegenläufig signifikanter Veränderung. Bei Fichte, Arve, Kastanie und den übrigen Laubbäumen gab es gegenläufige, aber nicht signifikante Veränderungen. Bei Lärche und den übrigen Nadelbäumen waren die Veränderungen gleichgerichtet, aber nicht alle auf dem 95%-Niveau signifikant. Nur bei der Föhre nahmen alle Indikatoren signifikant ab, und bei Ahorn und Esche alle signifikant zu.

Vergleich der beiden Durchmesserklassen

Zwischen LFI1 und LFI3 nahm die Stammzahl der BHD-Klassen D1 (12 bis 36 cm BHD) bei fünf Baumarten signifikant ab (Fichte, Tanne, Föhre, Buche, Eiche), und bei einer Baumart (Ahorn) nahm sie signifikant zu (Abbildung 6). In der BHD-Klasse D2 (ab 36 cm BHD) nahm die Stammzahl nur bei einer Baumart (Fichte) signifikant ab, dagegen nahm sie bei neun Baumarten signifikant zu (Tanne, Lärche, Arve, Buche, Ahorn, Esche, Eiche, Kastanie, übrige Laubbäume). Damit resultierten bei Tanne, Buche und Eiche signifikant gegenläufige Stammzahlentwicklungen in den beiden Klassen.

Bei der Basalflächenentwicklung waren die Unterschiede zwischen den Inventuren LFI1 und LFI3 in beiden BHD-Klassen ähnlich wie bei der Stammzahl (Abbildung 7): In der BHD-Klasse D1 nahm die Basalfläche bei vier Baumarten signifikant ab (Fichte, Tanne, Föhre, Buche), bei fünf Baumarten nahm sie signifikant zu (übrige Nadelbäume, Ahorn, Esche, Kastanie, übrige Laubbäume). In der BHD-Klasse D2 gab es zwischen LFI1 und LFI3 nur eine Basalflächenabnahme bei der Föhre, welche aber nicht signifikant ist; die Basalflächenzunahmen hingegen sind für alle elf Baumarten signifikant. Gegenläufige signifikante Basalflächenveränderungen in den BHD-Klassen D1 und D2 treten also nur bei Fichte, Tanne, Föhre und Buche auf.

Bei einer hypothetischen Kluppschwelle von 36 cm BHD fällt die Bewertung der Stammzahlveränderung zwischen LFI1 und LFI3 bei Tanne, Buche, Eiche und Kastanie anders aus als bei der aktuellen Kluppschwelle von 12 cm BHD, nämlich kommt es zu einer signifikanten Zunahme statt einer signifikanten Abnahme respektive keiner Veränderung bei der Kastanie (Abbildung 6). Die Beurteilung der Ba-

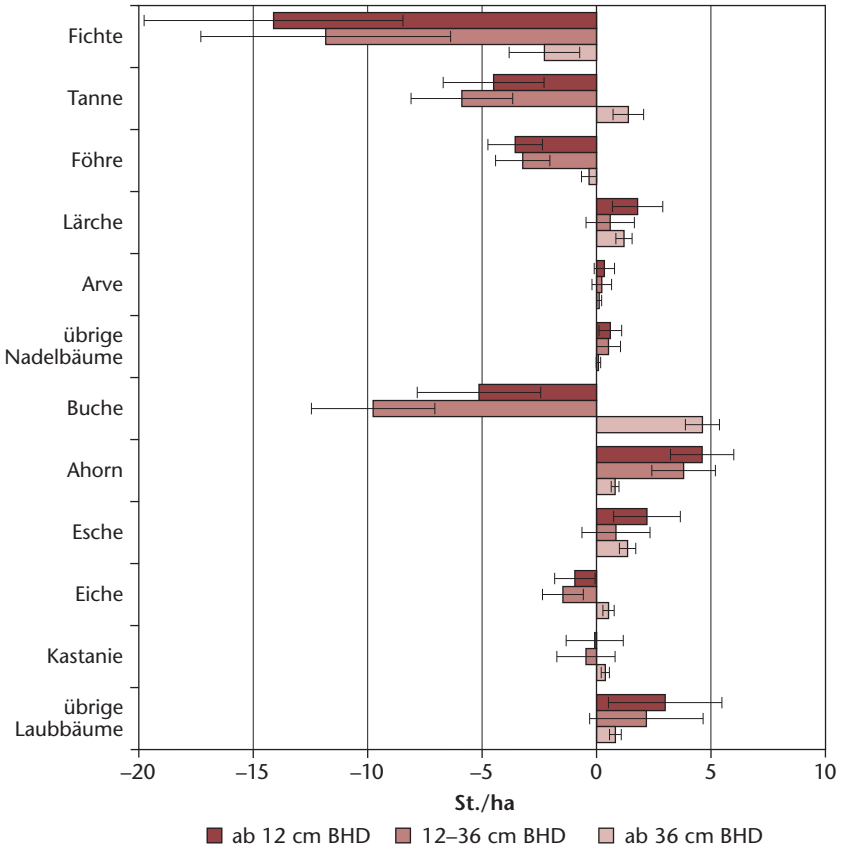


Abb 6 *Stammzahlveränderung nach Baumart zwischen LFI1 und LFI3 (kombinierte Kreisflächen). Dargestellt ist die Veränderung aller Bäume (Kluppschwelle 12 cm BHD), der Durchmesserklasse D1 (12–36 cm BHD) und der Durchmesserklasse D2 (ab 36 cm BHD).*

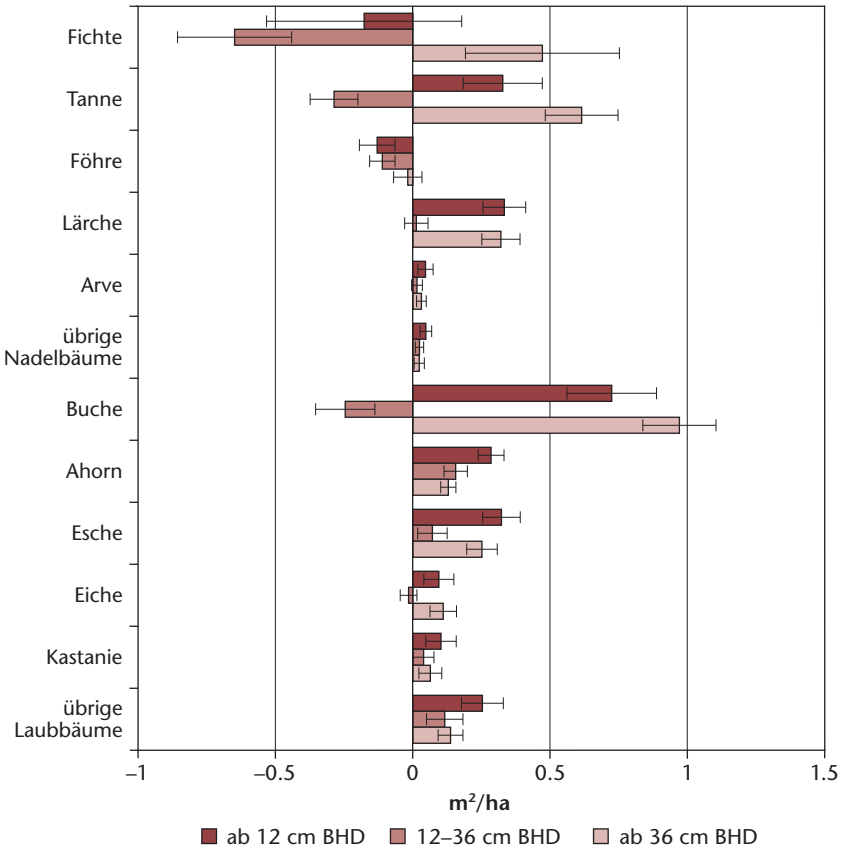


Abb 7 *Basalflächenveränderung nach Baumart zwischen LFI1 und LFI3 (kombinierte Kreisflächen, Signifikanzniveau 95%). Dargestellt ist die Veränderung aller Bäume (Kluppschwelle 12 cm BHD), der Durchmesserklasse D1 (12–36 cm BHD) und der Durchmesserklasse D2 (ab 36 cm BHD).*

salflächenveränderung dagegen ist in Klasse D2 praktisch identisch mit derjenigen in der Gesamtpopulation der Bäume ab 12 cm BHD (Abbildung 7). Einzig bei der Fichte entwickelt sich die Basalfläche in der Klasse D2 (signifikante Zunahme) gegenläufig zur beobachteten Basalflächenabnahme bei einer Kluppschwelle von 12 cm BHD; allerdings ist die Basalflächenabnahme für die Fichte zwischen LFI1 und LFI3 nicht signifikant. Bei der Föhre ist die Basalflächenabnahme signifikant mit einer Kluppschwelle von 12 cm und nicht signifikant bei einer Kluppschwelle von 36 cm. Insgesamt wirkt sich eine Verschiebung der Kluppschwelle von 12 cm auf 36 cm also primär auf die Stammzahl- und weniger auf die Basalflächenveränderung aus.

Einfluss der Probekreisfläche

Die Werte für die Präsenz und die Dominanz einer Baumart hängen im Allgemeinen neben der Struktur des Waldes auch von der Grösse der Probeflächen und unter Umständen auch vom Stichprobenumfang ab. In Abbildung 8 ist die Veränderung der Präsenz zwischen LFI1 und LFI3 für die Bäume ab 36 cm BHD für eine Probeflächengrösse von 200 m² (kleiner Kreis) und eine Probeflächengrösse von 500 m² (grosser Kreis) dargestellt. Es ist intuitiv klar, dass eine Baumart in umso mehr Probeflächen vorkommt, je grösser diese sind. Bei der Veränderung der Präsenz stellt man fest, dass mit Ausnahme von Lärche und Arve die beobachteten Veränderungen auf dem grossen Kreis grösser sind als auf dem kleinen Kreis, bei allen Baumarten zeigt die Veränderung (Zunahme oder Abnahme der Präsenz) aber in die gleiche Richtung. Die Veränderung der Präsenz für Bäume in der BHD-Klasse D2 konnte für alle Baumarten sowohl auf dem kleinen wie auf dem grossen Kreis statistisch signifikant nachgewiesen werden respektive für die Kategorie der übrigen Nadelbäume in beiden Fällen nicht nachgewiesen werden.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Analyse der Veränderung der Dominanz auf dem kleinen und dem grossen Kreis (Abbildung 9). Die beobachteten Veränderungen der Dominanz zwischen LFI1 und LFI3 zeigen ausser bei der Arve bei allen Baumarten auf dem kleinen und dem grossen Kreis in die gleiche Richtung und sind signifikant respektive auf beiden Kreisen nicht signifikant (Tanne, Arve und Eiche); bei der Kastanie ist die Zunahme der Dominanz signifikant auf dem kleinen Kreis, aber nicht signifikant auf dem grossen Kreis.

Stammzahl und Basalflächenanteil

Präsenz und Dominanz sind Indikatoren, welche sich auf (unterschiedlich definierte) Baumartenanteile in der Stichprobe abstützen. Zwei weitere Indikatoren, welche in der Praxis häufig verwendet werden, sind die Baumartenanteile an der Gesamtstammzahl und der Gesamtbasalfläche. In Abbil-

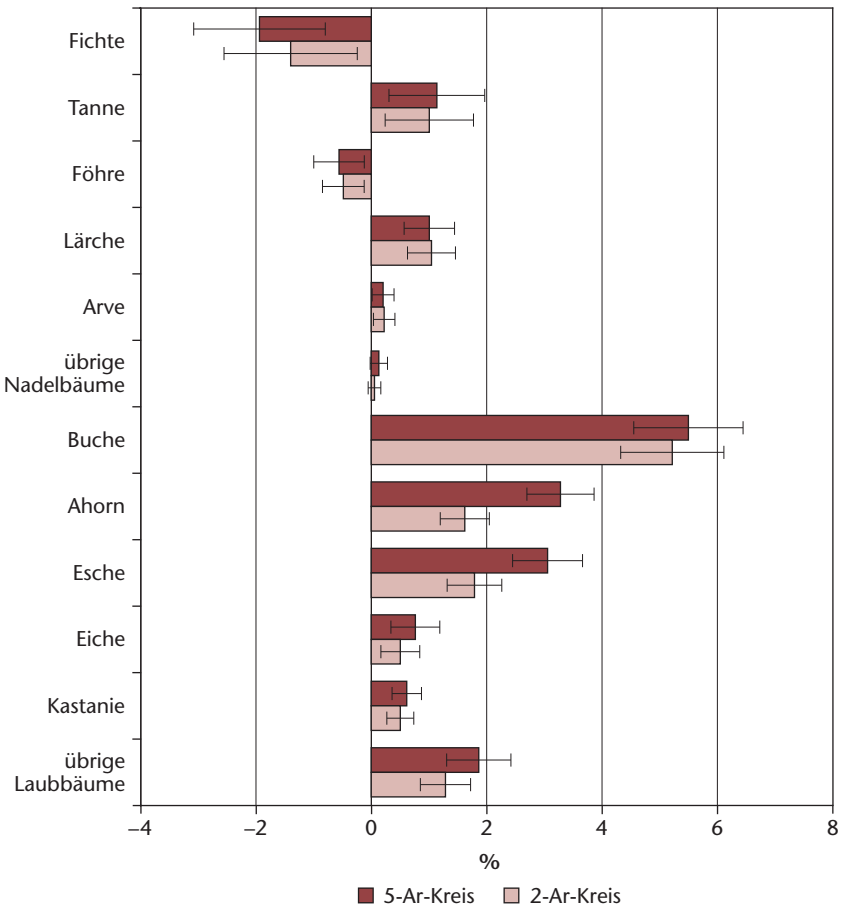


Abb 8 *Veränderung der Präsenz auf dem 2-Ar- und dem 5-Ar-Kreis nach Baumart zwischen LFI1 und LFI3 (Kluppschwelle 36 cm, Signifikanzniveau 95%).*

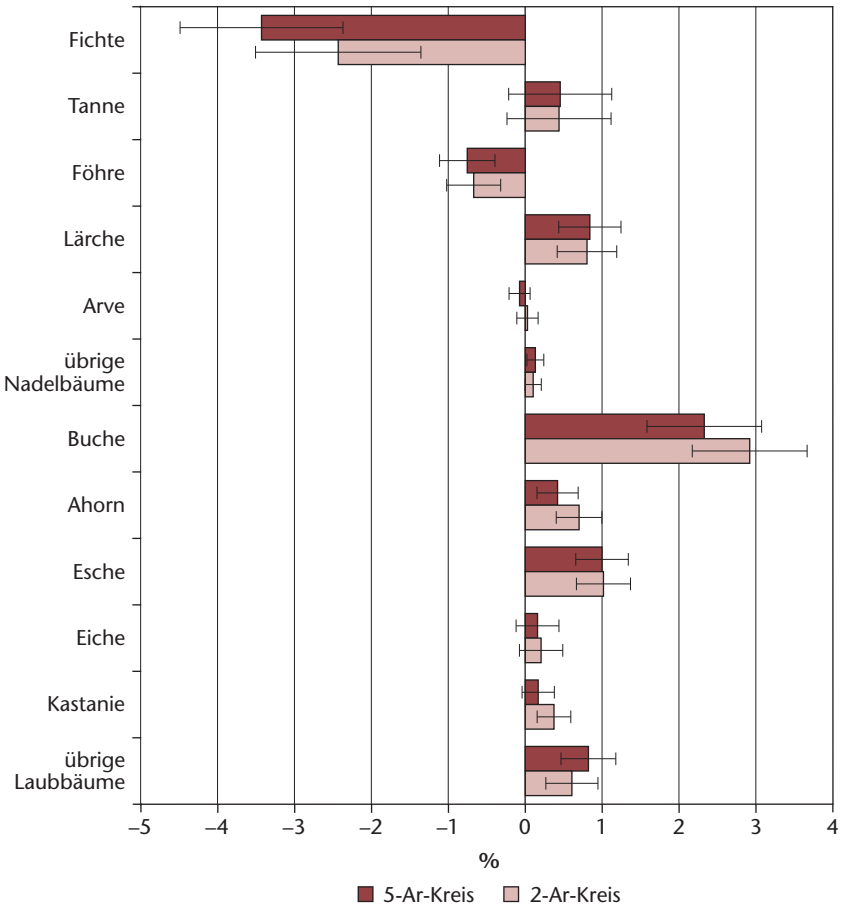


Abb 9 *Veränderung der Dominanz auf dem 2-Ar- und dem 5-Ar-Kreis nach Baumart zwischen LFI1 und LFI3 (Kluppschwelle 36 cm, Signifikanzniveau 95%).*

dung 10 sind diese vier Indikatoren für die Inventuren LFI1 und LFI3 dargestellt. Beim Vergleich ist zu beachten, dass die Summen der Anteile (Prozente) aller Baumarten bei Stammzahl und Basalfläche bei 100% liegen, bei der Dominanz wegen der leeren Probeflächen bei etwa 95% und bei der Präsenz bei über 100%.

Einige modellhafte Überlegungen zu diesen vier Indikatoren helfen, die Verteilung der Baumarten im Schweizer Wald und deren Veränderung besser zu verstehen. Wenn etwa der Schweizer Wald aus lauter Reinbeständen bestünde und alle Baumarten, wenn auch unterschiedlich häufig, mit der identischen Durchmesserverteilung vorkämen, wären die vier Indikatoren für die einzelnen Baumarten jeweils gleich gross. Aber auch sonst haben Baumarten, welche nur in Reinbeständen vorkommen, in Präsenz und Dominanz identische Werte (Kastanie und Arve tendieren dazu).

Baumarten mit verhältnismässig wenig dicken Bäumen haben einen höheren Stammzahl- als Basalflächenanteil, was zurzeit im Schweizer Wald vor allem auf die Laubbäume zutrifft (mit Ausnahme von Kastanie und Eiche). Baumarten mit – im Vergleich zu den anderen drei Indikatoren – hoher Präsenz kommen weniger in Reinbeständen und häufiger gut durchmischt vor; beispielsweise Ahorn, Esche und die übrigen Laubbäume, weniger stark ausgeprägt auch Buche, Eiche, Tanne und die übrigen Nadelbäume, und eher schwach ausgeprägt Lärche, Föhre und Fichte; eine deutliche Tendenz zum Reinbestand haben demnach Kastanie und Arve.

Baumarten mit verhältnismässig vielen dicken Bäumen haben einen höheren Wert beim Basalflächenanteil als bei der Dominanz, unabhängig von ihrer Durchmischung, was etwa für Fichte und Tanne zutrifft. Schliesslich: Je stärker die Baumarten durchmischt sind, desto mehr liegt die Summe der Präsenzen bei über 100%.

Die Abnahme von Stammzahl-, Basalflächenanteil und Dominanz bei gewissen Baumarten über die Zeit muss bei anderen Baumarten kompensiert werden. Zwischen LFI1 und LFI3 lässt sich dieser Effekt für den Basalflächenanteil und die Dominanz der Nadelbäume beobachten, welche zugunsten der jeweiligen Anteile der Laubbäume abgenommen haben (weniger ausgeprägt bei den Stammzahlanteilen).

Diskussion

Für alle vier ausgewählten Indikatoren der Baumartenveränderung gibt es geeignete statistische Verfahren zur Berechnung von Veränderungen und zur Prüfung der Signifikanz dieser Veränderungen. Bei den Indikatoren Präsenz, Dominanz und Stammzahl kamen Zu- und Abnahmen in beiden Perioden ungefähr gleich häufig vor. Die Basalfläche dagegen nahm unabhängig von den übrigen Indikatoren bei

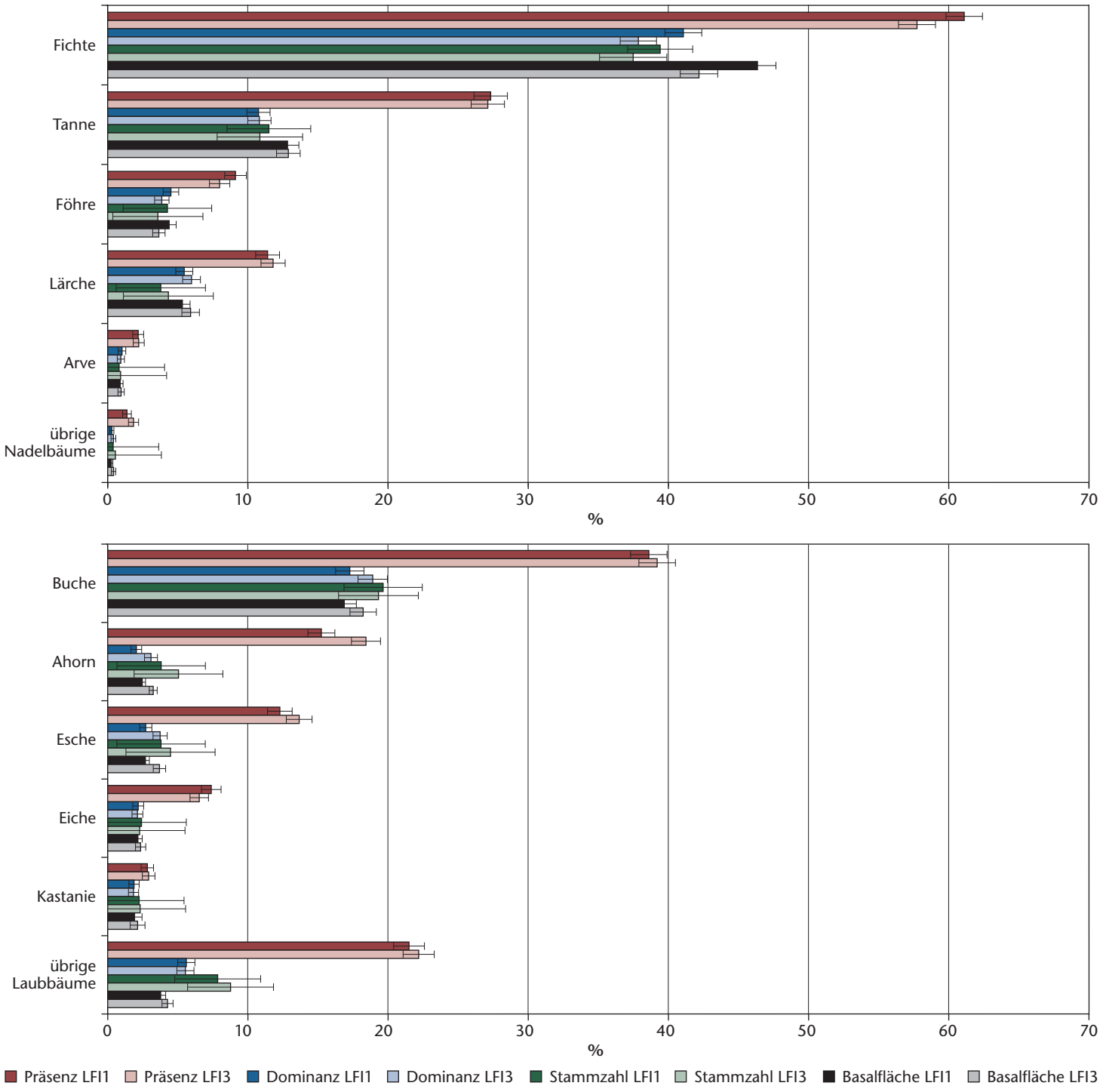


Abb 10 *Präsenz, Dominanz, Stammzahlanteil und Basalflächenanteil auf dem 2-Ar-Kreis nach Baumart im LFI1 und LFI3 (Kluppschwelle 12 cm, Signifikanzniveau 95%).*

fast allen Baumarten zu. Bei neun der zwölf untersuchten Baumarten entwickeln sich die Indikatoren unterschiedlich, wenn neben der Richtung der Veränderung auch die Signifikanz berücksichtigt wird. Nur bei Föhre (Abnahme), Ahorn und Esche (Zunahme) war die Entwicklung aller Indikatoren in der Periode LFI1 bis LFI3 gleichgerichtet und signifikant. Allgemeingültige Aussagen anhand eines einzigen Indikators sind folglich nicht möglich.

Die stark unterschiedliche Entwicklung der Stammzahlen in den Durchmesserklassen D1 und D2 wirkt sich offensichtlich auf die Indikatoren Stammzahl und Basalfläche aus. Mit der Entwicklung des Schweizer Waldes hin zu vorratsreicheren, durchschnittlich älteren Beständen (Stierlin & Ulmer 1999, Cioldi et al 2010) verschob sich die Durchmesserverteilung der meisten Baumarten in den letzten zwei Jahrzehnten hin zu dickeren Bäumen. Insgesamt führt dies zu einer Reduktion der mittleren Stammzahlen bei weiter zunehmenden Basalflächen und Vorräten. Bei der Verwendung der Indikatoren für Nachhaltigkeitsbetrachtungen ist diesem Phänomen Rechnung zu tragen.

Bei der Analyse von Veränderungen spielt der Zeitbezug eine Rolle, auch wenn die festgestellten Veränderungen der ersten und der zweiten Periode

nicht wesentlich verschieden waren. Insbesondere bei der Fichte gibt es zwischen der ersten und zweiten Betrachtungsperiode recht grosse Unterschiede. Die Fichte wurde in der zweiten Periode durch den Sturm Lothar im Winter 1999, den nachfolgenden Borkenkäferbefall und die Trockenheit des Sommers 2003 stark geschädigt (Forster et al 2008) und auch aus wirtschaftlichen Gründen stark genutzt. Entsprechend hat sie bei allen Indikatoren ausser der Basalfläche teilweise markant abgenommen, insbesondere im Mittelland. Natürlicherweise langsam ablaufende Waldentwicklungen wie die Baumartenveränderungen können also durch extreme Naturereignisse und starke Holznutzungen erheblich beschleunigt werden.

Der Einfluss der Kluppschwelle auf Zustand und Entwicklung von Stammzahl und Präsenz ist evident. Deutlich robuster reagieren die Basalfläche und die daraus auf Probeflächen abgeleitete Dominanz der Baumarten auf eine Änderung der Kluppschwelle. Die Schweiz weist mit 12 cm BHD die höchste Kluppschwelle aller europäischen Länder auf. Um ein vollständiges Bild über die Waldentwicklung zu erhalten, müssten Präsenz und Stammzahl im gesamten Durchmesserbereich bis hinunter auf 0 cm ausgewiesen werden. Entsprechende Daten werden im LFI seit der Ersterhebung für Bäumchen zwischen 0 und 12 cm BHD auf sogenannten Jungwald-Probekreisen erhoben. Zudem wird die Präsenz aller Gehölzarten, also inklusive der Sträucher, seit dem LFI3 auf dem kleinen Probekreis von 200 m^2 erhoben. Im Rahmen des LFI4 sind entsprechende Veränderungsauswertungen möglich.

Während Stammzahl und Basalfläche sowie Stammzahlanteil und Basalflächenanteil auf den kombinierten Probeflächen ausgewertet und leicht mit den Ergebnissen in anderen, regionalen oder internationalen Inventuren verglichen werden können, sind Präsenz und Dominanz der Baumarten auf den Probeflächen abhängig von der Grösse der Probefläche. Zu Vergleichszwecken müssen diese Indikatoren deshalb auf einem Probekreis von einheitlicher Grösse abgeleitet werden. Weil die Angaben zu den Gehölzen bis 36 cm BHD nur für den kleinen Kreis vorliegen, kommt dafür im LFI nur dieser infrage.

Im LFI wurden Veränderungen überwiegend auf dem 1.414-km×1.414-km-Netz im gemeinsamen, zugänglichen Wald zweier aufeinanderfolgender Inventuren gerechnet (Brassel et al 2010). Dieses Vorgehen ist angezeigt, wenn qualitative Veränderungen des Waldaufbaus und der Artenzusammensetzung betrachtet werden. Die ausgewiesenen Veränderungen sind aber dadurch nicht kompatibel mit der Differenz der jeweiligen Inventurzustände (Lanz & Abegg 2010). Zudem werden die Veränderungen auf den neu eingewachsenen Probeflächen ausser Acht gelassen. Beim Vergleich von quantitativen Merkmalen wie der Artenverbreitung, der Stammzahl oder dem Holzvorrat werden darum im LFI oftmals die Zustände für das Waldareal in den jeweiligen Inventuren dargestellt.

Die bestehende Aggregation der Baumarten zu Hauptbaumarten ist optimiert für Aussagen zur Holzproduktion. Für ökologische Fragestellungen müssten die Auswertungen möglichst nach Baumarten getrennt erfolgen. Die Hauptbaumart Föhre müsste beispielsweise in Waldföhre und Bergföhre unterteilt werden. Statistisch signifikante Veränderungen können selbst bei sehr kleinen Ausgangsstammzahlen nachgewiesen werden. Relevant und interpretierbar sind diese Veränderungen aber erst ab einer Stichprobe von rund 50 Probebäumen, denn darunter können zufällige Effekte eine grosse Rolle spielen. Für 33 Baumarten wird dieser minimale Stichprobenumfang insgesamt erreicht, nicht aber in den einzelnen Regionen. Regionale Aussagen zu den Baumartenveränderungen kann das LFI für die zehn häufigsten Baumarten Fichte, Tanne, Waldföhre, Lärche, Buche, Traubeneiche, Bergahorn, Esche und in eingeschränktem Masse für Mehlbeere und Ulme machen. Arten wie die Arve, die Bergföhre, die Vogelbeere (alle in den Alpen) die Hängebirke und die Kastanie (auf der Alpensüdseite) sind nur in einer einzigen Produktionsregion stark verbreitet und könnten dort ebenfalls differenzierter ausgewertet werden. ■

Eingereicht: 29. März 2011, akzeptiert (mit Review): 30. Juni 2011

Literatur

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BRASSEL P, BRÄNDLI UB, EDITORS (1999) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.

BRASSEL P ET AL (2010) Das Landesforstinventar. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. pp. 11–29.

CIOLDI F ET AL (2010) Waldressourcen. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch. anstalt Wald Schnee Landschaft. pp. 31–113.

DUC P ET AL (2010) Holzproduktion. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch. anstalt Wald Schnee Landschaft. pp. 265–288.

ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, WERMELINGER B (2008) Forstliche Schadenorganismen im Zeichen des Klimawandels. Schweiz Z Forstwes 159: 344–351. doi: 10.3188.szf/2008.344

FORSTER B, MEIER F, BRÄNDLI UB (2008) Deutlicher Rückgang der Fichte im Mittelland – Vorratsabbau auch durch Sturm und Käfer. Wald Holz 89 (3): 52–54.

HEROLD A, STIERLIN HR (1999) Waldzustand. In: Brassel P, Brändli UB, editors. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. pp. 185–231.

KÖHL M (2001) Inventory concept NFI2. In: Brassel P, Lischke H, editors. Swiss National Forest Inventory: Methods and models of the second assessment. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute. pp. 19–44.

LANZ A, ABEGG M (2010) Erfassung, Schätzung und Analyse von Veränderungen der Waldressourcen im Schweizerischen Landesforstinventar (LFI). In: Römisch K, Wunn U, editors. 21. Tagung der Sektion Forstliche Biometrie und Informatik (Tharandt, 21–22 Sep 2009). Trippstadt: Forschungsanstalt Waldökologie Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz. pp 160–172.

MAGURRAN A (2004) Measuring biological diversity. Malden: Blackwell. 256 p.

MAHRER F ET AL (1988) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landsch, Ber 305. 375 p.

MANDALLAZ D (2008) Sampling techniques for forest inventories. Boca Raton: Chapman Hall. 256 p.

SCHWYZER A, ABEGG M, KELLER M, BRANG P (2010) Gesundheit und Vitalität. In: Brändli UB, editor. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. pp. 31–113.

STIERLIN HR, ULMER U (1999) Waldaufbau. In: Brassel P, Brändli UB, editors. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. pp. 103–150.

TOMPPO E, GSCHWANDTNER T, LAWRENCE M, MCROBERTS R, EDITORS (2010) National forest inventories. Heidelberg: Springer. 607 p.

USBECK T ET AL (2010) Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. Agric For Meteorol 150: 47–55.

Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald – methodische Überlegungen

Seit einigen Jahrzehnten ist der Schweizer Wald wegen der Zunahme von klimatischen und biogenen Störungen grösseren Belastungen ausgesetzt. Gewisse Baumarten wie die Fichte sind davon stärker betroffen als andere. Ob sich die Baumartenzusammensetzung des Schweizer Waldes in diesem Zeitraum verändert hat, wird mit den Daten des Schweizerischen Landesforstinventars (LFI) überprüft. Dazu wird für die vier Indikatoren Präsenz, Dominanz, Stammzahl und Basalfläche untersucht, ob die Veränderungen der wichtigsten Baumarten signifikant sind, ob sich die Indikatoren in zwei Durchmesserklassen D1 (12 bis 36 cm Brusthöhendurchmesser [BHD]) und D2 (ab 36 cm BHD) gleichgerichtet entwickelt haben und wie sich unterschiedliche Kluppschwellen (12 vs. 36 cm BHD) sowie verschieden grosse Probekreisflächen (200 m² vs. 500 m²) auf die Entwicklung und Signifikanz der Indikatoren auswirken. Alle Werte wurden für die im LFI1 (1983–85), LFI2 (1993–95) und LFI3 (2004–06) gemeinsam zugänglichen Waldprobeflächen (N = 5370) berechnet. Veränderungen der Präsenz, Dominanz, Stammzahl und Basalfläche verlaufen nur bei einer Minderheit der Baumarten gleichgerichtet. Bei den Nadelbaumarten Fichte, Tanne und Föhre nahmen die meisten Indikatoren signifikant ab, bei den Laubbaumarten Ahorn und Esche sowie bei der Lärche und den übrigen Nadelbäumen signifikant zu. Die Basalfläche nahm im Untersuchungszeitraum bei allen Baumarten ausser Föhre und Fichte zu. Die unterschiedliche Entwicklung von Stammzahl und Basalfläche ist auf die unterschiedliche Entwicklung in den BHD-Klassen D1 und D2 zurückzuführen. Die Kluppschwelle wirkt sich recht stark auf die Entwicklung der Stammzahl aus, nicht aber auf jene der Basalfläche.

Evolution des essences dans la forêt suisse – considérations méthodologiques

Depuis quelques décennies, la forêt suisse est exposée à d'importants facteurs stressants dus à l'augmentation des perturbations d'ordre climatique et biotique. Certaines essences, comme l'épicéa, sont plus gravement touchées que d'autres. Afin de savoir si la composition des essences de la forêt suisse s'est modifiée durant cette période, nous avons examiné les données de l'Inventaire forestier national suisse (IFN). La présence des arbres, leur dominance, le nombre de tiges et la surface terrière sont les quatre indicateurs retenus. Ils ont permis d'étudier si les modifications des essences principales sont significatives, si les indicateurs ont évolué dans le même sens à l'intérieur des classes de diamètre D1 (12 à 36 cm de DHP) et D2 (plus de 36 cm de DHP), et comment les différents seuils d'inventaire (12 vs. 36 cm DHP) et surfaces des placettes (200 m² vs. 500 m²) influencent l'évolution et la signifiance des indicateurs. Toutes les valeurs ont été calculées pour les placettes accessibles communes (N = 5370) lors des IFN1 (1983–85), IFN2 (1993–95) et IFN3 (2004–06). La présence des essences, la dominance, le nombre de tiges et la surface terrière n'évoluent que pour une minorité d'essences dans le même sens. Parmi les résineux, la plupart des indicateurs révèlent une régression significative pour l'épicéa, le sapin et le pin, alors que cette tendance est généralement inversée pour les autres résineux ainsi que pour les feuillus, tels l'érable, le frêne et le mélèze. La surface terrière a augmenté durant la période d'observation pour toutes les essences, excepté le pin et l'épicéa. Les variations du nombre de tiges et de la surface terrière sont dues à l'évolution différente dans les classes de DHP D1 et D2. Le seuil d'inventaire influence assez fortement l'évolution du nombre de tiges, mais pas celle de la surface terrière.

Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre in der Schweiz

Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Urs-Beat Brändli Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Martin Hägeli Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Development of forest area in Switzerland within the last 120 years

Historical maps provide a useful source for spatial landscape analyses as they represent a generalized reflection of geographical reality over large areas at a certain time. Digitization and georeferencing of analog maps help to make such analyses more efficient. In Switzerland, the forest area has grown since the mid 19th century according to statistics of the federal government and the cantons. These statistics, however, provide a limited basis for regional analyses of changes in forest area. In this study, the forest areas in 1880, 1915, 1940 and 2000 were estimated based on analyses of the Topographical Atlas of Switzerland (Siegfried maps [1880, 1915, and 1940]), and of the Topographical Map (2000). Using a sample of 20 638 plots, analogous to the aerial photo-interpretation of the Swiss National Forest Inventory (NFI), a forest/non-forest decision was made for each time cutting. Overall, in Switzerland the forest area increased by 21.6% from 1880 to 2000. This is much less than what revealed the analysis of statistical sources due to differences in the methods and forest definitions used. Considerable regional differences could be detected, with one general trend from north to south and another from east to west. In most regions with strong urban development, the forest area is stagnating or has slightly decreased. The increase in forest cover has taken place mainly in the Alps and the Southern Alps.

Keywords: historical maps, Siegfried map, forest inventory, land cover change, forest area, Topographical Atlas of Switzerland
doi: 10.3188/szf.2011.0337

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail christian.ginzler@wsl.ch

Die Waldfläche der Schweiz nimmt seit über 120 Jahren zu. Hinweise darauf geben die Forststatistik (Bafu 2009), historische Statistiken (Ritzmann 1996), die Arealstatistik der Schweiz (BFS 2001) und seit den 1980er-Jahren das Schweizerische Landesforstinventar (LFI; Brändli 2010). Eine einheitliche Erfassung der Bestockung über die gesamte Schweiz in der Zeit vor der Einführung der Arealstatistik und des Landesforstinventars fehlt. Daher ist eine diesbezügliche regionale Differenzierung, beispielsweise nach Produktions- oder Wirtschaftsregionen, nur bedingt möglich. Zu heterogen sind die Daten und die Erfassungsmethoden.

Eine Möglichkeit, Informationen über historische Landschaftsmuster zu gewinnen, ist die Analyse von Kartenwerken (Ewald & Klaus 2009). Obwohl Karten die Landschaft generalisieren und sehr vom Zeitgeist und der Interpretation des Bearbeiters beeinflusst werden, erlauben sie eine räumliche Analyse der Landschaft der Vergangenheit (Leyk 2005). Neben Visualisierungsmöglichkeiten der Landschaftsentwicklung[1] wurden auf lokaler Ebene quantitative Untersuchungen auf Basis von historischen Kartenwerken durchgeführt (Holderegger & Wirth 2007, Ewald 1978). Grossflächige Analysen sind aber erst mit der Digitalisierung der Karten und mit der Georeferenzierung der digitalen Datensätze möglich geworden.

Anlässlich des dritten Schweizer Landesforstinventars (LFI3) wurde im Modul «Retrospektive» der Topographische Atlas der Schweiz aufbereitet und analysiert. Durch die Simulation eines historischen LFI zu verschiedenen Zeitschnitten wurden die Waldflächen und deren regionale Unterschiede untersucht. Es wurden zwei Ansätze verfolgt. Beim automatischen Ansatz wurden Waldsymbole (kleine, schwarze, kreisartige Symbole und Punkte, die unregelmässig verteilt sind) mittels automatischer Bilderkennung extrahiert und zu Waldpolygonen zusammengefasst (Leyk et al 2006, Leyk & Bösch 2010). Eine landesweite Prozessierung aller Kartenblätter war jedoch nicht möglich. Die Gründe lagen

1 z.B. http://map.geo.admin.ch (19.5.2011)

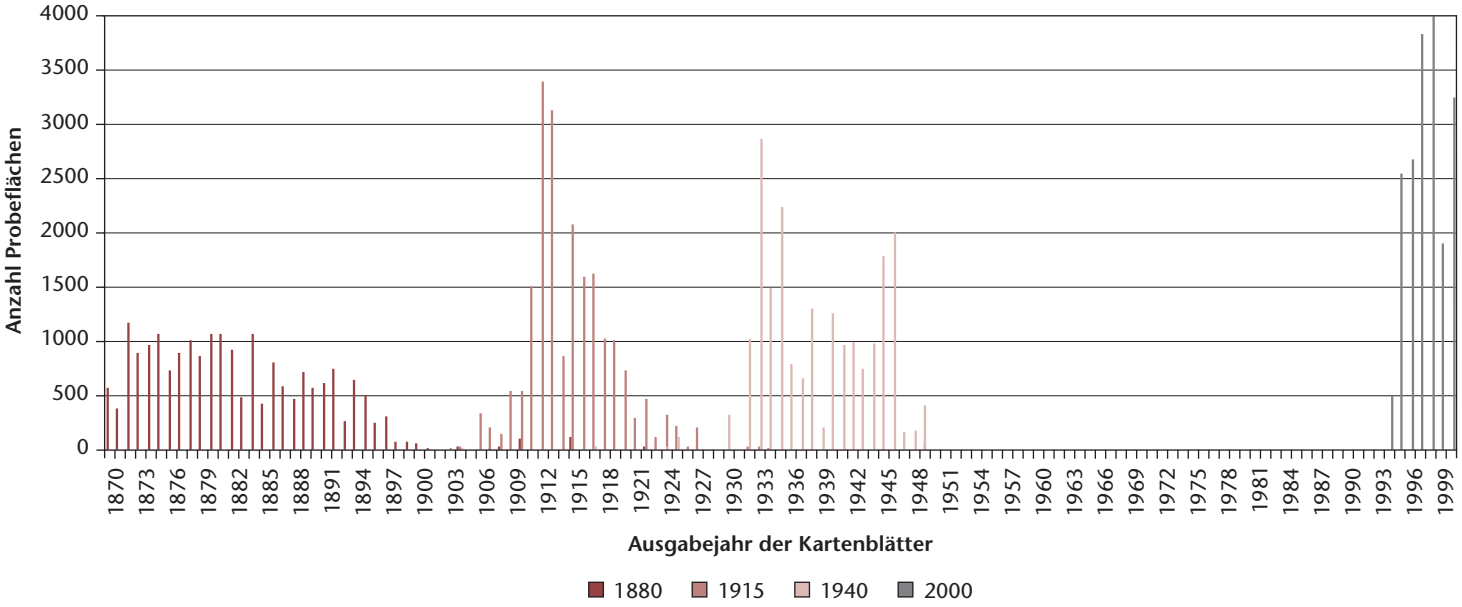


Abb 1 *Verteilung der Probeflächen auf die von den vier Zeitschnitten umfassten Kartenblätter.*

neben der Heterogenität der Kartenblätter und der unterschiedlichen Qualität vor allem in den Mischsignaturen der Gebirgskartenblätter im Massstab 1 : 50 000. Der kleinere Massstab und das Mosaik der Signaturen für Schutt, Fels und Wald erlaubten keine zuverlässige Extraktion der Waldsignaturen. Deshalb wurde für Aussagen über die ganze Schweiz ein zweiter, manueller Ansatz gewählt. Bei diesem wurde auf dem Stichprobennetz des LFI eine Interpretation am Bildschirm durchgeführt. Die Methoden und Ergebnisse des manuellen Ansatzes werden hier dargestellt und diskutiert.

Methoden

Grundlage für die Interpretationen bildete der Topographische Atlas der Schweiz (1870–1949), der auch unter dem Namen «Siegfriedkarten» bekannt ist. Unter Hermann Siegfried wurde mit der Neuaufnahme des Mittellandes, des Juras, der Voralpen und des Tessins im Massstab 1 : 25 000 begonnen (Gugerli 1999). Als Grundlage dienten die Originalfeldblätter der Dufourkarte, des ersten amtlichen Kartenwerks der Schweiz, welche bereits im Massstab 1 : 25 000 und 1 : 50 000 erstellt worden waren. Für die Kartenblätter der Alpen im Massstab 1 : 50 000 wurden die Dufourkarten hingegen lediglich revidiert. Die ersten Kartenblätter erschienen 1870, die letzten im Jahr 1949. Im Jahr 1904 war der überwiegende Teil der Blätter der Siegfriedkarte veröffentlicht. Die Nachführung in den folgenden Jahren erfolgte unregelmässig.

Sämtliche Kartenblätter wurden am Bundesamt für Landestopografie (Swisstopo) gescannt und an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zwischen 2005 und 2009 georeferenziert. Die Genauigkeit der Georeferenzierung hängt von den verwendeten Passpunkten und dem Papierverzug der Originalkarten ab.

Abb 2 *Das Stichprobenraster entspricht demjenigen des Schweizerischen Landesforstinventars (Maschenweite von 1.4 km × 1.4 km). Die Probeflächen sind als rote Quadrate mit einer Kantenlänge von 50 m × 50 m dargestellt (Kartenausschnitt aus dem Jahr 1884 bei Birmensdorf/Albisieden).*

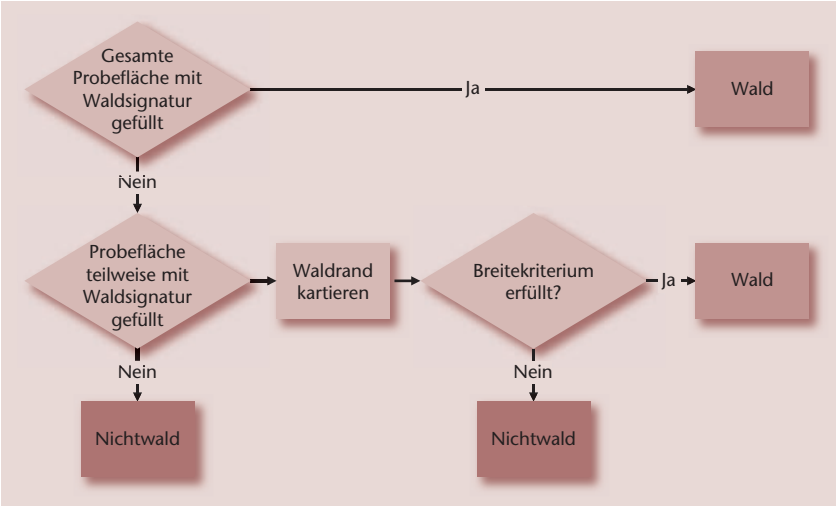


Abb 3 *Ablaufschema zum Wald-Nichtwald-Entscheid bei der Interpretation der Probefläche.*

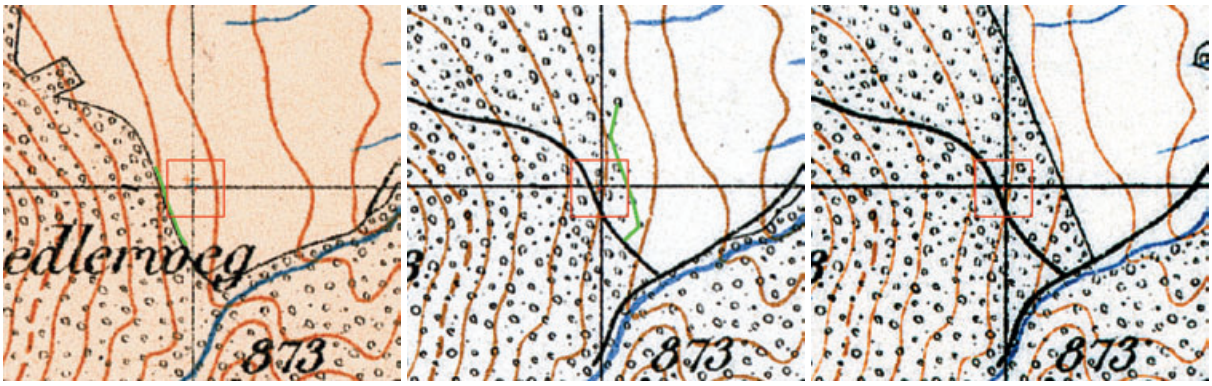
Um den Fehler abzuschätzen, wurden während der Interpretation die Koordinatenschnittpunkte auf der Karte bei den Probeflächen digitalisiert und mit den Soll-Koordinaten verglichen. Die festgestellten Abweichungen liegen im Durchschnitt unter 3 m bezogen auf das Kilometernetz. Die Ungenauigkeiten beim Karteninhalt und bei den Signaturen infolge Kartierungsungenauigkeiten und unterschiedlicher Triangulationsnetze fallen allerdings bedeutend grösser aus.

Die Erstellung und Nachführung der Kartenblätter erfolgte ab 1870 in Etappen. Es gibt daher für ein bestimmtes Jahr keine einheitliche kartografische Übersicht über die gesamte Schweiz, sondern nur für eine bestimmte Periode. In dieser Studie wurden die untersuchten Perioden so gewählt, dass deren Dauer möglichst kurz ausfiel. Als aktuelle Referenz wurde die Pixelkarte PK25 herangezogen. Die Kartenblätter dieser Periode basieren auf Luftbildern der Jahre 1993 bis 1999. Für die jeweiligen Perioden werden im Folgenden die Bezeichnungen Zeitschnitt 1880, 1915, 1945 und 2000 verwendet (Abbildung 1).

Für die Abschätzung der historischen Waldflächen wurde ein Stichprobenverfahren gewählt. Das Stichprobenraster entspricht dem Aufnahmenetz der terrestrischen Erhebungen im LFI, einem regelmässigen Raster mit einer Maschenweite von 1.4 km × 1.4 km (Abbildung 2).

Die Anzahl der Probeflächen beträgt 20 638. Das Entscheidungsdiagramm für den Wald-Nichtwald-Entscheid ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Kriterien für Wald entsprechen mit einer Ausnahme jenen des LFI (Ginzler 2005). Da eine Bestimmung des Deckungsgrades anhand der Kartensignatur nicht möglich ist, wurde auf eine deckungsgradabhängige Mindestbreite verzichtet und generell 25 m Mindestwaldbreite festgelegt. Durch diesen Entscheidungsbaum beim Wald-Nichtwald-Entscheid wurde der Spielraum des Interpretierenden klein gehalten und die Interpretation möglichst reproduzierbar gemacht.

Auf der Probefläche, d.h. in einem Interpretationsfenster von 50 m × 50 m, wurde die Kartensignatur beurteilt (Abbildung 4). War die gesamte Probefläche mit Waldsignatur gefüllt, so zählte sie als Waldprobe. Befand sich keine Waldsignatur in der Probefläche, so zählte die Fläche als Nichtwald. Bei Waldrändern wurde, wo vorhanden, die Waldrandsignatur digitalisiert. Beim Fehlen einer Waldrandsignatur wurde eine Waldrandlinie festgelegt. Dazu wurde über die Mitten der Waldsignaturen eine Verbindungslinie digitalisiert. Felssignaturen mit einer Breite von mehr als 25 m wurden als Nichtwald betrachtet und mit einer Waldrandlinie abgetrennt. Gehölzstreifen mussten eine Breite von mindestens 25 m erreichen. Bei einer geringeren Breite wurde die Probefläche als Nichtwald gezählt. Zudem wurde die Situation um die Probefläche in die Interpretation einbezogen. Besonders auf der Alpensüdseite ist die Waldsignatur in der Karte häufig schlecht und kontrastarm. In diesen Fällen wurde die Interpretation nicht nur auf der Probefläche durchgeführt,



A) 1887 (Nichtwald) *B) 1915 (Wald)* *C) 1943 (Wald)*

Abb 4 *Beispiele des Wald-Nichtwald-Entscheides für Probeflächen in der Siegfriedkarte. Rot: Probefläche von 50 m × 50 m mit dem mit einem Kreuz markierten Probeflächenzentrum. Grün: Waldrandlinie. A) Nichtwald: Das Probeflächenzentrum liegt ausserhalb der Waldsignatur. Eine Waldrandlinie ist in der Kartensignatur vorhanden, sie wird digitalisiert. B) Wald: Die Probefläche enthält Waldsignatur, das Probeflächenzentrum liegt innerhalb der Waldsignatur. Eine Waldrandsignatur ist nicht vorhanden. Die äussersten Waldsignaturen werden verwendet, um eine Waldrandlinie zu digitalisieren. C) Wald: Die gesamte Probefläche ist mit Waldsignatur gefüllt.*

Wirtschaftsregion	1880		1915		1940		2000		Veränderung 1880–2000	LFI3	
	Fläche 1000 ha	Standard-fehler ± 1000 ha	Fläche 1000 ha	Standard-fehler ± 1000 ha	Fläche 1000 ha	Standard-fehler ± 1000 ha	Fläche 1000 ha	Standard-fehler ± 1000 ha	%	Fläche 1000 ha	Standard-fehler ± 1000 ha
1 Jura West	137	3	142	3	144	3	146	2	6.6	156	1
2 Jura Ost	45	1	46	1	46	1	47	1	4.4	48	2
3 Mittelland West	45	2	47	2	47	2	50	1	11.1	51	2
4 Mittelland Mitte	68	2	68	2	66	2	69	1	1.5	70	2
5 Mittelland Ost	113	3	112	2	111	2	111	2	–1.8	112	1
6 Voralpen West	33	2	34	2	35	2	42	1	27.3	46	3
7 Voralpen Mitte	77	3	85	3	90	3	94	2	22.1	104	2
8 Voralpen Ost	63	2	63	2	63	2	69	2	9.5	75	2
9 Alpen Nordwest	38	2	40	2	43	2	51	2	34.2	66	3
10 Alpen Mitte	18	2	20	2	21	2	27	1	50.0	30	4
11 Alpen Nordost	24	2	26	2	26	2	31	1	29.2	34	4
12 Alpen Südwest	74	3	76	3	79	3	94	3	27.0	117	2
13 Alpen Südost	98	3	107	3	113	3	128	3	30.6	147	2
14 Alpensüdseite	66	3	71	3	83	3	133	3	101.5	166	1
Schweiz	**898**	**9**	**938**	**9**	**967**	**9**	**1092**	**7**	**21.6**	**1220**	**1**
Bewaldungsprozent	21.7%	0.2%	22.7%	0.2%	23.4%	0.2%	26.5%	0.2%		29.6%	0.1%

Tab 1 *Waldfläche in der Schweiz und in den Wirtschaftsregionen zu den Zeitschnitten 1880, 1915, 1940 (Siegfriedkarten) und 2000 (Pixelkarte). Die vorletzte Spalte zeigt die Differenz zwischen 1880 und 2000 in Prozent der Fläche von 1880, die letzte die Waldfläche im dritten Landesforstinventar (Erhebung der Jahre 2004–2006).*

sondern auch die Umgebung berücksichtigt und ein gutachterlicher Entscheid gefällt.

Die Interpretation der einzelnen Zeitschnitte erfolgte unabhängig, d.h., der Wald-Nichtwald-Entscheid von anderen Zeitschnitten war nicht bekannt. Um Pseudoveränderungen durch vorhandene Lageungenauigkeiten zu vermeiden, wurden alle Probeflächen nach Abschluss der Interpretationen gutachterlich kontrolliert, indem alle Zeitschnitte simultan betrachtet wurden. Durch die gleichzeitige Betrachtung (Abbildung 4) sollten Änderungen möglichst konservativ ausgewiesen werden.

Ergebnisse und Diskussion

Waldflächenzuwachs

Die Waldfläche der Schweiz hat in 120 Jahren um 21.6% zugenommen. Die Differenz der Waldflächen aus der Erstausgabe der Siegfriedkarte (Zeitschnitt 1880) und der Pixelkarte (Zeitschnitt 2000) zeigt einen Anstieg des Waldanteiles von 21.7% auf 26.5% (Tabelle 1).

Die anhand der Kartensignatur festgestellten Änderungen der Waldfläche sind regional sehr unterschiedlich (Abbildung 5). Generell lässt sich ein Trend von Norden nach Süden und von Ost nach West feststellen. Im zentralen und östlichen Mittelland ist die Waldfläche, trotz gebietsweisen Abnahmen in tiefer gelegenen und agglomerationsnahen Lagen, in den letzten 120 Jahren praktisch gleich geblieben (28.0 ± 0.6% Waldflächenanteil im Jahr 1880 zu 27.6 ± 0.4% im Jahr 2000).

Im westlichen Mittelland fand währenddessen eine Zunahme um 10.7% statt. In den Voralpen ist der Trend ähnlich, im westlichen Jura dagegen wechseln Gebiete mit Zunahmen und Abnahmen ab. Die grössten Zunahmen finden sich in den Alpen und vor allem auf der Alpensüdseite mit einer Verdoppelung des Waldareals. Zunahmen von 100% und mehr werden stellenweise in der Zentralschweiz, in den Einzugsgebieten von Hinterrhein und Maggia sowie im zentralen Tessin zwischen Biasca und Lugano festgestellt. Die Gründe für die Waldzunahme liegen zur Hauptsache in der natürlichen Wiederbewaldung ehemaliger landwirtschaftlicher Weideflächen (Baur et al 2006). Gemäss Umfrage beim Forstdienst sind in der Schweiz nur 51 000 ha aus Aufforstungen, hauptsächlich in den Voralpen und im Jura, entstanden (Brändli 2010). Dabei wurde ein Viertel dieser Fläche schon vor 1880 angelegt.

Ursprünglichkeit des Waldareals

738 000 ha waren von 1880 bis 2000 in jedem Zeitschnitt bewaldet (Tabelle 2). Das entspricht 68% der Waldfläche zum Zeitschnitt 2000 oder 61% der Waldfläche des LFI3 (Erhebung 2004–2006). Brändli (2010) weist 74% der LFI3-Waldfläche als schon in der Erstausgabe der Siegfriedkarte 1880 als Wald kartiert aus. Dies ist kein Widerspruch. Die Differenz erklärt sich durch Flächen, die in der Interpretation der Zeitschnitte 1915 oder 1940 keine Waldsignatur aufwiesen und somit in den letzten 120 Jahren nicht immer als Wald kartiert worden sind.

Ab 1940 sind laut der Kartensignatur 87 000 ha Wald zu Nichtwald geworden worden. Vergleicht

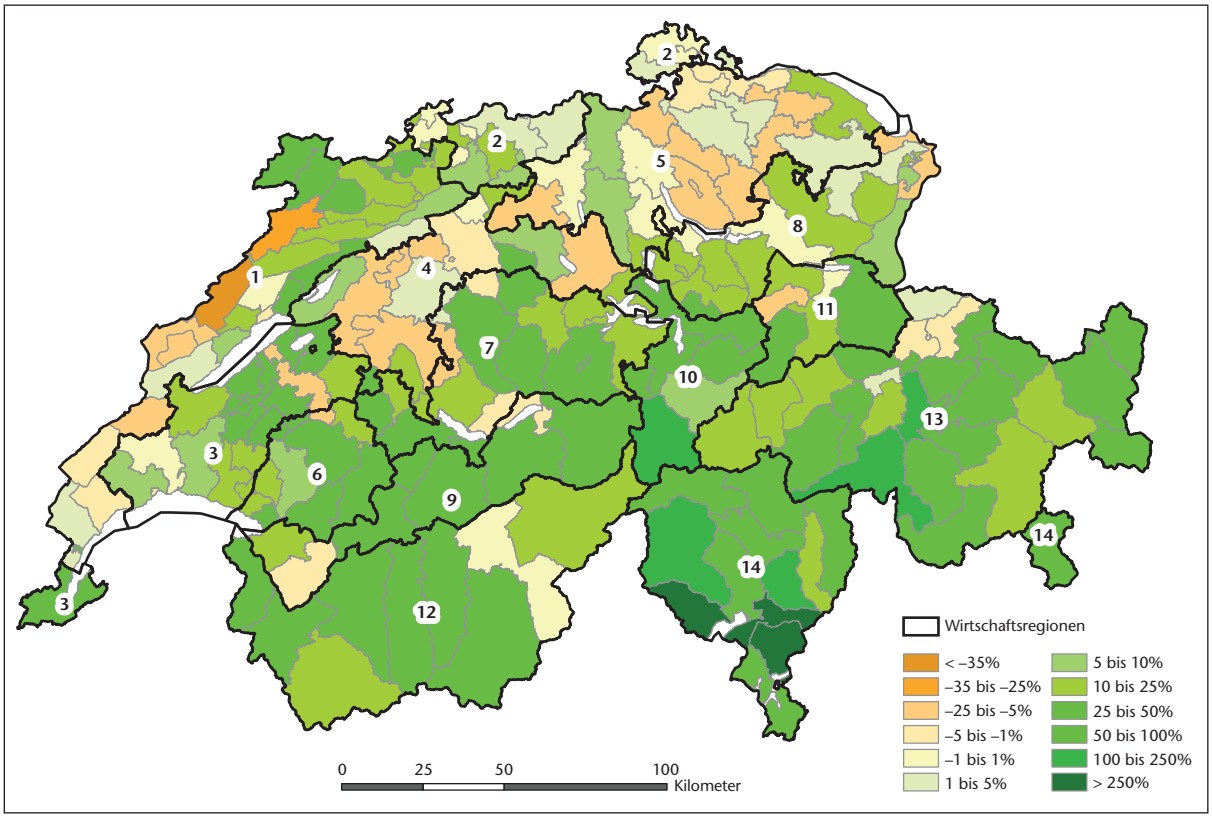


Abb 5 *Veränderung der Waldfläche zwischen den Zeitschnitten 1880 und 2000 pro Forstkreis (Stand: 1996, teilweise zusammengefasst). Angaben in Prozent der Fläche von 1880. Für die Bezeichnung der Wirschaftsregionen siehe Tabelle 1.*

man diese Resultate mit den Landnutzungsklassen der Arealstatistik 1992/97 (4 Klassen) so entfallen von diesen Nichtwaldflächen 48.3% auf die Klasse «Bestockte Flächen» und 34.4% auf die Klasse «Landwirtschaftliche Nutzflächen». Verglichen mit den Daten des LFI3 sind 48.9% dieser Nichtwaldflächen immer noch Wald gemäss LFI-Definition. Beide Vergleiche unterstreichen die Wichtigkeit einer exakten und einheitlichen Walddefinition.

Vergleich mit anderen Erhebungen

Der vorliegende Kartenvergleich ermöglicht erstmals regional differenzierte Aussagen zur Waldflächenentwicklung der Schweiz über einen Zeitraum von mehr als 100 Jahren. Gesamtschweizerische Aussagen zur Waldfläche gehen aber bis in das Jahr 1843 zurück (EDI 1855). Verschiedene statistische Einzelerhebungen und Zeitreihen dokumentieren eine kontinuierliche Waldflächenzunahme mit Zuwachsraten von jährlich 0.1% bis 0.7%, je nach Zeitabschnitt und Datenquelle (Abbildung 6). Die Siegfriedkarte zeigt über einen Zeitraum von 60 Jahren die geringste langjährige Zuwachsrate. Da objektive Walddefinitionen bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts fehlten (Leyk 2005), wurden die subjektiven Waldsignaturen der Erstkartierer bei den Nachführungen vermutlich zurückhaltend geändert.

Auffallend ist demgegenüber, dass die Waldfläche gemäss der Interpretation der Erstausgabe der Siegfriedkarte um 1880 rund 120000 ha über den Angaben aus anderen Quellen liegt. Erst um 1910 erreichen diese Werte eine ähnliche Grössenordnung wie in der Siegfriedkarte. Eine Erklärung zu den statistischen Daten von 1870 bis 1910 aus dem Etat der schweizerischen Forstbeamten liefert der ehemalige ETH-Professor und eidgenössische Oberforstinspektor Decoppet (1912): *Was die Vermehrung des Waldareals um 130000 ha während der letzten 40 Jahre anbetrifft, liegt ohne Zweifel eine blosse Fiktion vor. Diese scheinbare Zunahme verdanken wir den genaueren Vermessungs- und Schätzverfahren sowie der Ausscheidung der Kulturen, wobei die Wytweiden zum Wald geschlagen werden, statt wie früher zum landwirtschaftlich genutzten Boden*. Die Kartierer der ersten Siegriedkarte haben dagegen ungeachtet der Bodennutzung die effektive Bestockung kartiert.

1880	1940	2000
Fläche 1000 ha	Fläche 1000 ha	Fläche 1000 ha
896	825	738
		87
	71	25
		46
3228	140	106
		34
	3088	221
		2867

Tab 2 *Wald- (hell eingefärbt) und Nichtwaldfläche (dunkel eingefärbt) der Zeitschnitte 1880, 1940 (Siegfriedkarten) und 2000 (Pixelkarte).*

Die heutige Landeskarte 1 : 25 000 weist im Vergleich zu den statistischen Erhebungen die geringste Waldfläche auf. Bei der Nachführung der Landeskarte haben Bestockungen nicht die höchste Priorität. Vor allem im Gebirge wird generalisiert und die Bestockung unterschätzt (siehe auch Tabelle 1). In Regionen mit sehr klaren Nutzungsgrenzen spielen die Walddefinition und die Erhebungsmethode eine geringe Rolle. Dort sind die Ergebnisse vergleichbar. Dies zeigt sich in den Waldflächen aus der Pixelkarte (Zeitschnitt 2000) und dem LFI3 (Tabelle 1) in der Wirtschaftsregion Jura Ost und in allen Regionen des Mittellandes. Je unklarer die Nutzungsgrenzen in der Landschaft und je aufgelöster die Bestockungen sind, desto entscheidender wird die Walddefinition. In den Wirtschaftsregionen Voralpen und Alpen findet man Waldflächenunterschiede zwischen der Pixelkarte und den terrestrischen Aufnahmen des LFI von bis zu 24%, auf der Alpensüdseite sogar von 25%. In der Pixelkarte sind viele Probeflächen, die terrestrisch die LFI-Walddefinition erfüllen, als Fels, Geröll und übriges Gebiet kartiert (z.B. Alpensüdseite 21% der Waldprobeflächen des LFI3).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Landeskarte zum Zeitschnitt 2000 weist 22% mehr Wald aus als die Erstausgabe der Siegfriedkarte um 1880, was einer durchschnittlichen Waldflächenzunahme von 0.19% pro Jahr entspricht.[2]

2 Für die durchschnittliche Zunahme wurde mit 115 Jahren zwischen der Erstausgabe der Siegfriedkarte (1880) und der Pixelkarte zum Zeitschnitt 2000 (1993–1995) gerechnet.

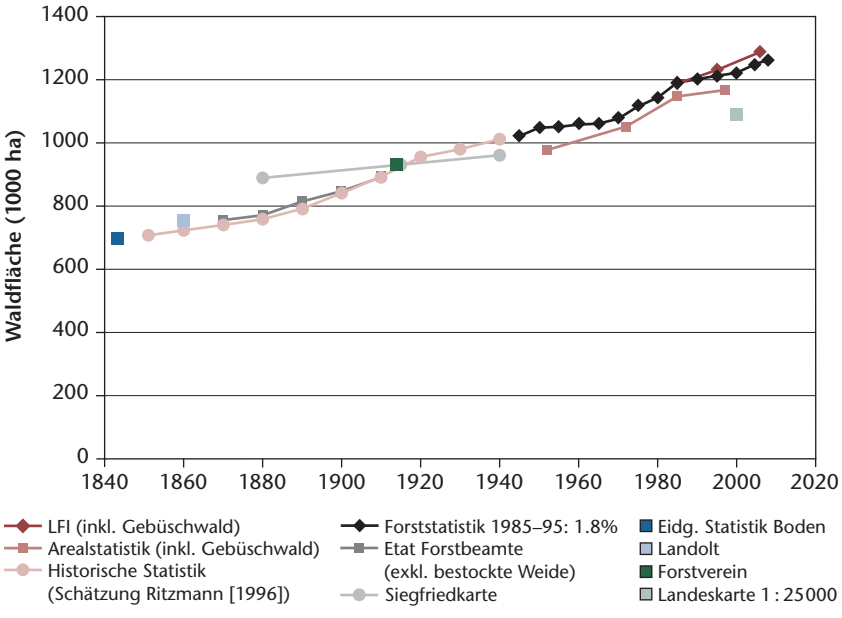


Abb 6 *Entwicklung der Waldfläche der Schweiz anhand verschiedener Datenquellen (nach Brändli 2000, ergänzt).*

Aus dem Vergleich der voll bestockten, zugänglichen Waldfläche des LFI3 (ohne Gebüschwald) mit der Schätzung von Landolt (1862) resultiert eine Zunahme von 36% (0.25% pro Jahr). Extrapoliert man diese Werte für die vergangenen 150 Jahre, so hat die Waldfläche seit Mitte des 19. Jahrhunderts je nach Methode um 30 bis 40% zugenommen.

Topografische Karten sind eine generalisierte Abbildung der Realität. Sowohl die Zeitperiode als auch der Kartenmassstab geben vor, was wichtig ist und was wie dargestellt werden muss. Eine Karte widerspiegelt daher nicht die Realität, sondern die Abstraktion der Realität und ist vom Weltbild der jeweiligen Zeit, vom subjektiven Empfinden des Kartografen, von den technischen Möglichkeiten, den Kartieranleitungen und schliesslich dem Kartenmassstab geprägt. Selbst in der modernen Kartografie können kleine Änderungen in der Anleitung Veränderungen vortäuschen, die in Wahrheit nicht existieren. Bei der Quantifizierung von Ressourcen anhand der Kartensignaturen muss dies berücksichtigt werden.

Der Vorteil von Kartenwerken liegt, im Vergleich zu Statistiken oder Stichprobenerhebungen, in ihrer hohen räumlichen Auflösung und dem lückenlosen Überblick nach einheitlichen Gesichtspunkten. In der Kombination von Karte und Stichprobe bieten sich – wie im vorliegenden Beispiel gezeigt – effiziente Möglichkeiten zur quantitativen räumlichen Analyse von Kartenwerken. Für die Interpretation sind die Kenntnis der Objektdefinitionen und Informationen aus anderen Datenquellen unerlässlich. Die systematische Analyse von historischen Ansichtskarten und deren Verwendung als Referenz liefern beispielsweise wertvolle Hinweise darauf, wie stark die Landschaft bei der Kartierung generalisiert worden ist (Bozzini 2011). Der vorliegende Ansatz, den Topographischen Atlas der Schweiz mittels Stichprobeninterpretation zu analysieren, lässt sich auch auf andere Signaturen übertragen. So können Feuchtgebiete, Reben, Gewässer, Verkehrswege und Gebäude gut identifiziert werden.

Eingereicht: 16. Dezember 2010, akzeptiert (mit Review): 15. Juni 2011

Literatur

BAFU (2009) Jahrbuch Wald und Holz 2009. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Wissen 0925. 190 p.

BAUR P, BEBI P, GELLRICH M, RUTHERFORD G (2006) WaSAlp – Waldausdehnung im Schweizer Alpenraum. Eine quantitative Analyse naturräumlicher und sozio-ökonomischer Ursachen unter besonderer Berücksichtigung des Agrarstrukturwandels. Schlussbericht. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 65 p.

BFS (2001) Bodennutzung im Wandel. Arealstatistik Schweiz. Neuenburg: Bundesamt Statistik. 31 p.

BOZZINI C, CONEDERA M, KREBS P (2011) Ein neues Tool zur Georeferenzierung und Interpretation von terrestrischen Schrägbildern. www.e-geo.ch/internet/e-geo/de/home/news.parsys.15843.DownloadFile.tmp/newsletteraktde.pdf (16.6.2011)

BRÄNDLI UB (2000) Waldzunahme in der Schweiz – gestern und morgen. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft, Inf.bl Forsch.bereich Landsch 45: 1–4.

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

DECOPPET M (1912) Produktion und Verbrauch von Nutzholz. Einige statistische Angaben über die forstlichen Verhältnisse der Schweiz. Zürich: Orell Füssli. 77 p.

EDI (1855) Statistische Übersicht über den Boden der Schweiz, seine Bebauungsarten und Haupterzeugnisse, Beiträge zur Statistik der Schweiz, III. Theil, Bern: Eidgenöss Departement Innern. 188 p.

EWALD KC (1978) Der Landschaftswandel – Zur Veränderung schweizerischer Kulturlandschaften im 20. Jahrhundert. Birmensdorf: Eidgenöss Anstalt forstl Versuchswes, Ber 191. pp. 55–308.

EWALD KC, KLAUS G (2009) Die ausgewechselte Landschaft. Vom Umgang der Schweiz mit ihrer wichtigsten natürlichen Ressource. Bern: Haupt. 330 p.

GINZLER C ET AL (2005) Luftbildinterpretation LFI3. Interpretationsanleitung zum dritten Landesforstinventar. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 85 p.

GUGERLI D, EDITOR (1999) Vermessene Landschaften. Zürich: Chronos. 203 p.

HOLDEREGGER R, WIRTH L (2007) Die Flora von Küsnacht und ihre Veränderung während der letzten zwei Jahrhunderte. Küsnachter Jahresblätter 47: 34–50.

LANDOLT E (1862) Bericht an den hohen Schweizerischen Bundesrath über die Untersuchung der schweiz. Hochgebirgswaldungen, vorgenommen in den Jahren 1858, 1859 und 1860. Bern: Weingart. 367 p.

LEYK S (2005) Computing the past: utilizing historical data for map-based retrospective landscape research. Zürich: Univ Zürich, PhD-thesis. 172 p.

LEYK S, BOESCH R, WEIBEL R (2006) Saliency and semantic processing: Extracting forest cover from historical topographic maps. Pattern Recognit 39: 953–968.

LEYK S, BOESCH R (2010) Colors of the past: color image segmentation in historical topographic maps based on homogeneity. Geoinformatica 14: 1–21.

RITZMANN H, EDITOR (1996) Historische Statistik der Schweiz. Zürich: Chronos. 1220 p.

Waldflächenentwicklung der letzten 120 Jahre in der Schweiz

Historische Karten bieten sich als Quelle für räumliche Landschaftsanalysen an. Sie stellen eine flächendeckende, generalisierte Abbildung der Wirklichkeit zu einem bestimmten Zeitpunkt dar. Durch die Digitalisierung und Georeferenzierung der analogen Karten sind heute effiziente, grossräumige Analysen möglich. In der Schweiz nimmt der Wald seit Mitte des 19. Jahrhunderts zu. Dies belegen Statistiken des Bundes und der Kantone. Eine regionale Betrachtung der Veränderungen ist mit diesen Statistiken allerdings nur begrenzt möglich. In dieser Arbeit wurde auf der Basis des Topographischen Atlasses der Schweiz (Siegfriedkarten) an drei Zeitschnitten (1880, 1915 und 1940) sowie anhand der Ausgabe der Landeskarte zum Zeitschnitt 2000 die Waldfläche erhoben. Dazu wurde in einer Stichprobe mit 20 638 Probeflächen, analog zur Luftbildinterpretation im Schweizerischen Landesforstinventar, für jeden Zeitschnitt ein Wald-Nichtwald-Entscheid getroffen. Die Zunahme der Waldfläche von 1880 bis 2000 beträgt demnach für die gesamte Schweiz 21.6%. Dies ist, bedingt durch unterschiedliche Methoden und Walddefinitionen, deutlich weniger, als die statistischen Quellen ausweisen (57.6%). Die regionalen Unterschiede sind beträchtlich. Generell lässt sich ein Trend von Nord nach Süd und von Ost nach West beobachten. In den meisten Regionen mit starker Siedlungsentwicklung stagnierte die Waldfläche, oder sie hat leicht abgenommen. Die Zunahme der Waldfläche hat vor allem in den Alpen und auf der Alpensüdseite stattgefunden.

Développement de la surface forestière en Suisse durant les 120 dernières années

Les cartes historiques sont à la source des analyses spatiales du paysage. Elles reflètent la réalité à un moment précis en offrant une image généralisée de tout le territoire. Grâce à la numérisation et au géoréférencement de cartes analogues, il est possible aujourd'hui de procéder à des analyses efficaces à grande échelle. En Suisse, la forêt gagne du terrain depuis le milieu du XIX^{e} siècle. Les statistiques de la Confédération et des cantons le prouvent. Mais celles-ci ne permettent qu'une interprétation limitée des variations régionales. Dans ce travail, l'aire forestière a été relevée sur la base de l'Atlas topographique de la Suisse (cartes Siegfried) pour trois périodes (1880, 1915 et 1940), ainsi qu'à l'aide de la carte nationale pour celle de l'an 2000. En outre, l'appartenance à la forêt ou à l'aire non boisée d'un échantillon de 20 638 placettes a été définie pour chaque période selon la méthode d'interprétation des photos aériennes de l'Inventaire forestier national. Il en résulte que l'aire forestière a augmenté de 21.6% dans l'ensemble de la Suisse entre 1880 et 2000. Ce taux est nettement inférieur à celui qui provient des sources statistiques (57.6%), car les méthodes et les définitions de la forêt sont très différentes, notamment à l'échelle régionale. Une tendance générale se constate à partir du nord au sud et de l'est vers l'ouest. Dans les régions où les zones d'habitation se sont fortement développées, l'aire forestière n'a pas changé ou a légèrement diminué. Elle a surtout augmenté dans les Alpes et au sud des Alpes.

Die Baumbedeckung in der Schweiz

Christian Ginzler Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Lukas Mathys Sigmaplan AG (CH)
Esther Thürig Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Tree cover in Switzerland

The requirements for national forest inventories have changed in recent decades, as have the issues involved. Initially, the focus was mainly information on timber resources, but today social and environmental functions are also of interest. An a priori separation of the surveyed areas into forest and non-forest during data collection limits the interpretation of the tree resources. Not all trees are located in the forest and not all forests are fully stocked. In the aerial photo interpretation of the 3rd National Forest Inventory, land cover on a regular sampling grid was determined regardless of the land use. This allowed, for the first time, nationwide information on tree resources to be obtained, independent of forest definitions. The tree cover of Switzerland is 27.0% regardless of whether the trees are in the forest or outside. The area covered with forest (proportionally 29.4%) is larger than that covered with trees. The location of the trees outside the forest tends to be mostly either very close to forest or in urban areas. The most densely stocked areas, after forests, are urban areas. The data from aerial photo interpretations of the 3rd National Forest Inventory allow a more nuanced picture of the stocking over the whole country, but the sampling error is still too large to draw conclusions for small areas. The existing and ongoing surveys, however, provide a calibration and reference dataset so that, with remote sensing data and methods, it should be possible to generate more comprehensive spatial datasets to help to fill this gap.

Keywords: forest inventory, landscape analysis, tree inventory, trees outside forest, aerial photo interpretation
doi: 10.3188.szf.2011.0344

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail christian.ginzler@wsl.ch

Die Erfassung der Schweizer Holzressourcen hat eine lange Tradition. Ursprünglich interessierte hauptsächlich die Erfassung ökonomisch relevanter Grössen wie des Holzvorrats (Kimmins 2004). Dementsprechend beschränkte sich die Wahrnehmung und Messung von Bäumen auf Flächen innerhalb des Waldes. Alles ausserhalb des Waldes war zu Beginn der meisten Inventuren ohne Belang. Ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erweiterten sich die Ansprüche an die Holzressourcen (Brassel et al 1999). Neben der Wirtschaftsfunktion kamen gesellschaftliche und ökologische Funktionen wie Erholung, Lebensraum für Organismen oder Speicher von Kohlenstoff dazu (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Bei langfristig angelegten Inventuren können sich also im Laufe der Zeit das Ziel und der Zweck der Inventur wandeln. Steht wie früher hauptsächlich die Frage des Holzvorrats im Zentrum, reicht ein einfaches, spezifisches Inventurdesign mit wenigen ausgewählten Methoden. Je breiter jedoch die zu quantifizierende Funktionspalette und je unbekannter die zukünftigen Fragestellungen sind, desto anspruchsvoller sind das Design und die Durchführung von Inventuren (Lanz & Ginzler 2005). Bei einer langfristigen Inventur sollten die Daten somit möglichst allgemeingültig erhoben werden, das heisst ohne einschränkende Vorauswahl. Beim dritten Schweizerischen Landesforstinventar (LFI3) wurde diesem Umstand insofern Rechnung getragen, als in die Luftbildauswertung alle Bäume der Schweiz einbezogen wurden. Im LFI3 wurden dementsprechend die für den Wald-Nichtwald-Entscheid notwendigen Rohdaten aus dem Luftbild schweizweit auf allen Probeflächen im regelmässigen Abstand von 500 m erfasst. Daraus entstand ein Datensatz, mit dem unabhängig von einer Walddefinition die Bodenbedeckung und damit auch die Bäume erfasst wurden. Durch die strikte Trennung von Bodenbedeckung und Landnutzung konnten erstmals schweizweit repräsentative und quantitative Informationen zu Bäumen unabhängig von vordefinierten Landnutzungskategorien gewonnen werden. Der erste Schritt von einer Waldinventur hin zu einer

Landschaftsinventur wurde damit gemacht (Mathys et al 2005).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war, die Verteilung der Wald- und Nichtwaldbäume in der Schweiz auf der landschaftlichen Ebene zu quantifizieren und deren Umgebung durch andere Bodenbedeckungen auf der lokalen Ebene zu analysieren.

Methode

Datenerhebung

Die Rohdaten wurden im LFI3 schweizweit auf einem regelmässigen Stichprobenetz mit 500 × 500 m Abstand erhoben (Brassel & Lischke 1999). Dies ergibt 165 153 Stichproben. Jede einzelne Stichprobe bestand aus einer quadratischen Probefläche mit 50 m × 50 m Ausdehnung. Auf diesen Probeflächen wurden jeweils 5 × 5 Rasterpunkte im Abstand von 10 m erhoben (Abbildung 1). Diese manuelle Datenerhebung auf Echtfarbenstereobildern mit einer Bodenauflösung von 0.5 m erfolgte in zwei Schritten.

In einem ersten Schritt wurden die 5 × 5 Rasterpunkte pro Probefläche einer von elf Bodenbedeckungskategorien zugeordnet (Ginzler et al 2005). Die möglichen Kategorien waren Laubbaum, Nadelbaum, Lärche, Strauch, Kraut-/Grasvegetation, Felsen, Sand/Gestein/Offenerde, befestigte Fläche, Bauobjekt, Gewässer und Gletscher/Firn. Die Zuordnung der 25 Rasterpunkte erfolgte völlig unabhängig davon, ob eine Probefläche zum Wald gehörte oder nicht. Ein Rasterpunkt auf einem zum Wald gehörenden Baum wurde gleich interpretiert wie ein Rasterpunkt auf einem städtischen Parkbaum oder einem landwirtschaftlich genutzten Obstbaum. Die Luftbildinterpretation konzentrierte sich somit im ersten Schritt ausschliesslich auf die Bodenbedeckung, unabhängig von der Nutzungskategorie wie zum Beispiel Wald oder Nichtwald. Wo die Rasterpunkte die Oberfläche berührten, wurde zudem die Höhe über Meer gemessen, die entsprechende Geländehöhe aus dem digitalen Terrainmodell der amtlichen Vermessung mit einer Rasterweite von 2 m × 2 m (DTM-AV, © 2010 Swisstopo) zugewiesen und daraus die Höhe des entsprechenden Elementes abgeleitet. Wurde die Interpretationsfläche von einem Waldrand geschnitten, so wurde zusätzlich eine Waldbegrenzungslinie kartiert.

Im zweiten Schritt wurden für jede Probefläche (50 m × 50 m) anhand der Rasterpunkte und der kartierten Waldbegrenzungslinie Flächeneigenschaften wie Deckungsgrad, Breite und Oberhöhe abgeleitet und darauf basierend der Wald-Nichtwald-Entscheid gefällt (Ginzler et al 2005). Damit wurde auch bestimmt, welche Probeflächen in der anschliessenden terrestrischen Waldinventur aufgesucht werden und welche nicht.

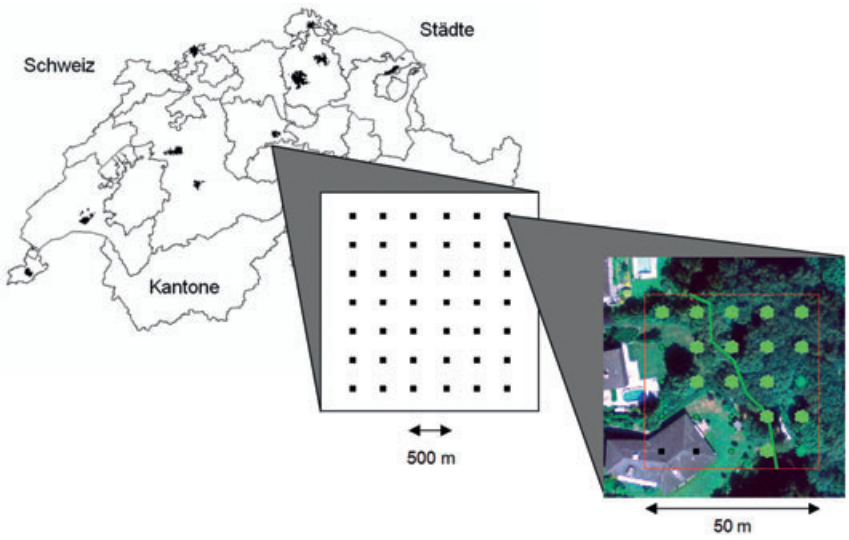


Abb 1 Regelmässiges Stichprobenetz mit regelmässig angeordneten Rasterpunkten. Auswertungseinheiten sind die Schweiz, die Kantone und die zehn grössten Städte.

Bäume innerhalb und ausserhalb des Waldes

Die Klassierung der Bäume in Wald- und Nichtwaldbäume für diese Untersuchung erfolgte anhand 1) des Waldentscheides für die Probefläche, 2) der Bodenbedeckung und 3) der Elementhöhe der Rasterpunkte sowie 4) der Lage in einer Waldecke im Falle einer Nichtwaldprobe. Um also einen Rasterpunkt als Nichtwaldbaum zu klassieren, musste die Probefläche Nichtwald, die Bodenbedeckung Nadelbaum, Laubbaum oder Lärche, die Elementhöhe des Rasterpunktes über dem Boden mindestens 3 m und die Lage nicht in einer Waldecke sein. Liegt die Probefläche im Wald, werden alle anderen Rasterpunkte mit obigen Bodenbedeckungen und einer Höhe von mindestens 3 m dem Wald zugeordnet.

Auswertungseinheiten

Die Quantifizierung der räumlichen Baumverteilung erfolgte schweizweit, nach Kantonen und den zehn siedlungsanteilsmässig grössten Städten. Dafür wurden die politischen Gemeindegrenzen (BFS Geostat) mit den Siedlungsgrenzen des Vector25-Datensatzes (Swisstopo) verschnitten. Die Daten wurden nach Landnutzungskategorien, wie den beschriebenen Wald- und Nichtwaldarealen, sowie den baumorientierten Nutzungsarealen (Tabelle 1) ausgewertet. Diese Nutzungsareale wurden aus dem vorhandenen Landschaftsmodell Vector25 (© 2010 Swisstopo) abgeleitet. Um die Datenlayer des Landschaftsmodells wurden abhängig von der Landnutzung Puffer mit unterschiedlicher Breite (Tabelle 1) gelegt. Jeder Rasterpunkt wurde mit allen elf thematischen Nutzungsarealen verschnitten. Weil sich die Kategorien überlappen können, wurde eine Priorisierung vorgenommen (Tabelle 1, rechte Spalte). Ist zum Beispiel ein Punkt siedlungsnah und bachnah, so hat bachnah eine höhere Priorität. Wurde ein Punkt von keinem Nutzungsareal geschnitten, so wurde er dem Areal Landwirtschaft zugewiesen.

Nutzungsareal	Pufferbreite (m)	Kodierung im Vector25-Datenlayer	Priorität
Landwirtschaft	–	Alle Punkte, die nicht von einem Datenlayer geschnitten werden	1
Obstbau	5	Z_ObstAn	2
Weinberge	5	Z_Reben	3
Bäche	5	Bach, Kanal, Bisse	4
Flüsse	25	Z_Fluss, Z_See	5
Grosse Strassen	15	AutoRte, Autob_Ri, Autobahn, Autostr, AutrReA, AutrRtrB	6
Siedlung	5	Z_Siedl	7
Eisenbahn	10	< > Str_Bahn, Str_Bhof, I_Geleis von Railroad	8
Kleine Strassen	5	1_Klass, 2_Klass	9
Gebäude	25	Z_Gasthof, Z_Gebaeude, Z_Huette, Z_Kirche	10
Wald 20 m	20	Z_GerWa, Z_SumWa, Z_Wald, Z_WaldOf , Z_GerWaO, Z_SumWaO, Z_SumGeb, Z_Gebue	11
Wald 50 m	50	Z_GerWa, Z_SumWa, Z_Wald, Z_WaldOf , Z_GerWaO, Z_SumWaO, Z_SumGeb, Z_Gebue	12

Tab 1 Baumorientierte Nutzungsareale abgeleitet aus den Objektklassen Vector25. Für die Kodierung des Vector25-Datenlayers siehe www.swisstopo.ch.

Kanton	Waldanteil (%)	Standard-fehler (%)	Baum-anteil (%)	Standard-fehler (%)	Bäume im Wald (%)	Bäume im Nichtwald (%)
AG	34.9	0.7	37.5	0.5	91.2	8.8
AI	31.1	2.3	28.9	1.1	96.2	3.8
AR	33.9	1.9	34.9	1.0	96.0	4.0
BE	29.5	0.4	27.9	0.2	93.9	6.1
BS/BL	44.2	1.4	45.3	0.7	90.9	9.1
FR	26.0	0.7	25.0	0.4	91.7	8.3
GE	12.1	1.1	20.0	0.8	60.9	39.1
GL	25.8	1.3	22.1	0.6	96.9	3.1
GR	24.9	0.3	18.5	0.2	97.8	2.2
JU	40.1	1.0	42.4	0.6	95.2	4.8
LU	27.9	0.7	28.8	0.4	92.0	8.0
NE	36.6	1.1	35.6	0.6	94.9	5.1
NW	29.8	1.8	27.9	1.0	95.6	4.4
OW	40.7	1.4	32.8	0.7	97.0	3.0
SG	28.2	0.7	28.1	0.3	92.6	7.4
SH	41.7	1.7	44.1	1.0	95.1	4.9
SO	41.4	1.0	42.9	0.6	93.6	6.4
SZ	34.2	1.0	28.2	0.5	94.8	5.2
TG	21.5	0.8	23.8	0.5	87.9	12.1
TI	47.8	0.6	41.2	0.3	97.3	2.7
UR	17.4	1.0	12.6	0.4	96.7	3.3
VD	31.6	0.5	29.4	0.3	93.4	6.6
VS	22.3	0.4	17.7	0.2	95.0	5.0
ZG	25.1	1.7	27.4	1.0	89.0	11.0
ZH	28.7	0.7	32.4	0.4	88.3	11.7
CH	**29.4**	**0.1**	**27.0**	**0.1**	**93.9**	**6.1**

Tab 2 Verteilung der Bäume und des Waldes nach Kantonen und für die gesamte Schweiz.

Ergebnisse und Diskussion

Baumverteilung in der Schweiz

Der Baumanteil der Schweiz beträgt 27.0%, unabhängig davon, ob die Bäume im Wald, in der Siedlung oder der übrigen Landschaft stehen (Tabelle 2). Diese Zahl berechnet sich aus der Summe aller Baumrasterpunkte (1 114 825) dividiert durch die gesamte Summe aller interpretierten Rasterpunkte (165 153 × 25 Rasterpunkte). Der Waldflächenanteil der Schweiz beträgt 29.4% der Landesfläche. Die Waldfläche ist somit grösser als die mit Bäumen überschirmte Fläche. Dies lässt sich durch die Walddefinition des LFI erklären, wo schon ein Deckungsgrad von 20% für einen positiven Waldentscheid genügt. Die Bäume liegen schweizweit zu 93.9% innerhalb und zu 6.1% ausserhalb des Waldes (Tabelle 2).

Der Wald- respektive Baumanteil ist regional sehr unterschiedlich (Tabelle 2). Den höchsten Waldanteil weist der Kanton Tessin mit 47.8% auf, am wenigsten Wald hat der Kanton Genf mit 12.1% der Fläche. Anteilsmässig die meisten Bäume hat der Kanton Basel (BS/BL, 45.3%), am wenigsten der Kanton Uri (12.6%). Das Verhältnis von Wald- zu Baumanteil scheint jedoch unabhängig davon gleichbleibend zu sein (Abbildung 2), weil alle Punkte mehr oder weniger auf der 1:1-Linie liegen und eine maximale Anteilsdifferenz von 7.9% (Kantone Obwalden und Genf) aufweisen. Dies bedeutet, dass es für den Anteil der Bäume im Nichtwaldareal entsprechende Flächen ohne Bäume im Waldareal geben muss (Windwurfflächen, Baumlücken, Schlagflächen, Waldstrassen etc.). In rund zwei Dritteln der Kantone ist der Waldanteil grösser als der Baumanteil. Dies vor allem in Kantonen mit Flächen an der oberen Waldgrenze mit aufgelösten Beständen. In Anbetracht dessen, dass ursprünglich grosse Teile der Schweizer Landesfläche von Bäumen bedeckt waren, zeigen die Resultate aber auch, dass die Nichtwaldlandschaft bezüglich Bäumen ausgeräumt ist. Der regionale Vergleich zeigt zudem, dass hinsichtlich der Bäume das Nichtwaldareal in ländlichen Regionen stärker ausgeräumt ist als in städtischen. Dies zeigt sich speziell am Beispiel des Kantons Genf, wo der Baumanteil mit 20% rund 8% grösser ist als der Waldanteil (Abbildung 2, grösster Punkt).

Baumverteilung ausserhalb des Waldes

Der Anteil (Tabelle 2) und die räumliche Verteilung der Bäume ausserhalb des Waldes (Tabelle 3) unterscheiden sich regional stark. Im Folgenden wird die räumliche Verteilung genauer betrachtet.

Je ländlicher eine Region ist, desto weniger Bäume stehen anteilsmässig ausserhalb des Waldes. In einigen ländlicheren Regionen wie zum Beispiel den Kantonen Appenzell Innerrhoden oder Graubünden stehen diese Bäume vermehrt in Waldes-

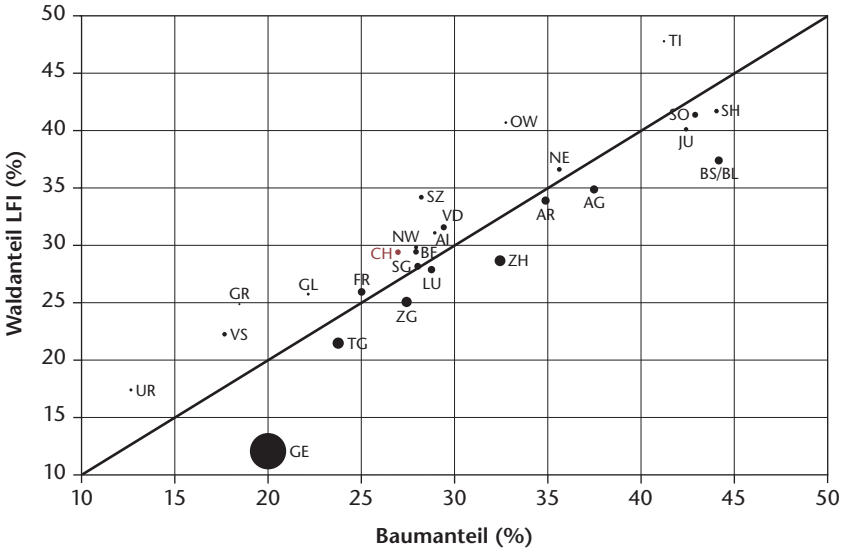


Abb 2 Wald- und Baumanteil in den Kantonen. Die Grösse der Kreise repräsentiert den Anteil der Bäume ausserhalb des Waldes. Je grösser der Kreis, desto höher der Anteil an Bäumen im Nichtwald.

Kanton	Baumanteil (%)											
	Wald 50 m	Wald 20 m	Gebäude	Kleine Strassen	Eisenbahn	Siedlung	Grosse Strassen	Flüsse	Bäche	Weinberge	Obstbäume	Landwirtschaft
AG	4.7	11.7	5.6	1.1	0.1	39.9	0.9	7.6	4.8	0.3	6.0	17.2
AI	7.3	49.9	8.2	0.2	0.0	7.1	0.0	4.5	8.9	0.0	0.5	13.4
AR	8.8	34.3	15.2	0.9	0.0	17.3	0.5	2.4	4.5	0.0	2.9	13.1
BE	9.5	26.6	8.7	1.3	0.2	22.7	0.6	5.5	4.7	0.2	2.5	17.5
BL	3.7	15.0	3.5	0.9	0.4	38.0	1.0	4.7	5.5	0.3	11.9	15.2
BS	2.4	1.5	0.0	0.0	0.0	89.9	0.3	4.4	0.7	0.2	0.7	0.0
FR	9.4	22.7	7.1	1.3	0.2	18.9	0.7	4.9	8.0	0.1	2.4	24.4
GE	3.4	5.0	4.9	2.2	0.0	60.6	0.1	2.7	1.3	2.4	1.0	16.5
GL	17.8	31.0	7.1	0.6	0.4	8.9	0.7	7.8	2.9	0.0	0.3	22.4
GR	16.9	36.3	5.5	0.7	0.3	10.1	0.6	6.7	3.4	0.2	0.6	18.7
JU	11.8	31.5	5.2	1.5	0.6	11.7	0.1	3.3	4.5	0.0	3.0	26.7
LU	7.3	23.0	7.7	0.5	0.1	17.9	1.1	5.2	7.4	0.0	8.6	21.3
NE	15.1	23.5	6.0	3.5	0.5	23.8	0.2	2.8	0.9	0.3	1.3	22.1
NW	14.1	30.2	7.5	0.2	0.0	14.8	1.0	4.8	4.2	0.0	1.9	21.3
OW	15.9	35.6	5.6	0.7	0.4	10.7	0.0	5.7	6.1	0.0	1.8	17.3
SG	9.4	24.2	7.9	1.1	0.2	20.4	0.8	6.2	5.8	0.2	6.0	17.8
SH	5.5	10.5	6.6	3.5	0.0	44.8	2.2	4.4	3.4	2.0	2.8	14.3
SO	6.3	16.4	4.7	1.4	0.2	39.3	0.4	5.1	6.2	0.0	6.8	13.2
SZ	11.9	29.8	8.8	0.4	0.1	10.9	1.2	8.5	6.2	0.0	2.1	20.2
TG	3.0	15.1	6.1	1.3	0.2	25.0	0.5	7.5	7.6	0.2	17.4	16.2
TI	13.0	21.1	7.7	1.5	0.1	28.5	1.1	5.7	3.0	4.8	0.0	13.5
UR	12.8	33.9	10.4	0.5	0.5	11.3	1.0	8.3	3.0	0.0	0.0	18.3
VD	8.3	22.4	5.7	1.4	0.2	27.5	0.4	4.1	5.0	1.3	3.8	20.0
VS	13.4	23.4	7.3	1.9	0.3	16.2	0.2	5.3	3.5	2.0	5.3	21.3
ZG	5.4	12.0	7.1	1.6	0.1	29.7	2.7	6.9	5.6	0.0	14.3	14.5
ZH	2.9	12.1	5.1	1.5	0.2	51.0	0.9	5.9	5.4	0.3	4.5	10.2
CH	**9.1**	**22.4**	**6.7**	**1.3**	**0.2**	**26.2**	**0.7**	**5.5**	**4.9**	**0.7**	**4.4**	**17.9**

Tab 3 Räumliche Verteilung der Bäume ausserhalb des Waldes. Die Zuteilung auf die einzelnen Landnutzungs- beziehungsweise Landbedeckungskategorien basiert auf dem Landschaftsmodell Vector25 der Swisstopo.

nähe (49.9% bzw. 36.3%). Weil in diesen beiden Kantonen fast alle Bäume ohnehin im Wald stehen (96.2% bzw. 97.8%), bedeutet dies, dass praktisch alle vorhandenen Bäume entweder im oder beim Wald anzutreffen sind. In anderen ländlichen Regionen wie Freiburg oder Jura befinden sich Bäume oft in der Nähe von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dies deutet einerseits auf ein Wald-Weide-Mosaik und andererseits auf eine sukzessive Waldausdehnung auf ehemaligen Weideflächen hin. Beim Kanton Appenzell Ausserrhoden spiegelt sich in der Verteilung der Bäume die Art der Besiedelung wider. Ein überdurchschnittlicher Teil der Bäume liegt im Gebäudeumschwung (15.2%), annähernd so viele wie in den Siedlungen (17.3%) In den Kantonen Thurgau, Basel-Landschaft und Zug zeigt sich die landwirtschaftliche Nutzung in einem überdurchschnittlich hohen Obstbaumanteil. In städtischen Regionen wie Genf steht ein Grossteil der Bäume ausserhalb des Waldes im Siedlungsgebiet (60.6%). Offenbar lassen einerseits der Nutzungsdruck und die Nutzungsform wenig geschlossene Waldfläche zu, andererseits scheint das Bedürfnis nach Grünflächen vor allem in den Städten so gross zu sein, dass ein respektabler Anteil der Siedlungsfläche mit Bäumen bepflanzt wird. Das Siedlungsgebiet spielt also für die Bäume ausserhalb des Waldes und deren Bewirtschaftung ein wichtige Rolle (James et al 2009).

Umgebung von Bäumen

Waldbäume sind meist umgeben von weiteren Bäumen, zu einem kleineren Teil von Waldlücken, Wiesen oder kleinen Strassen. Die räumliche Zusammensetzung dieser verschiedenen Bodenbedeckungen im Wald ist in Brändli (2010) eingehend beschrieben. Für die Bäume ausserhalb des Waldes ist diese Information erst seit dem LFI3 verfügbar, und sie variiert regional bedeutend stärker. Über die ganze Schweiz gesehen befinden sich die Bäume ausserhalb des Waldes sehr häufig in Waldesnähe (31.5%; Tabelle 3) oder in urbanen Gebieten (26.2%). Da das Siedlungsgebiet für die Bäume ausserhalb des Waldes also eine wichtige Rolle spielt, sind der Baumanteil und die Umgebung der Bäume in den zehn grössten Städten genauer analysiert worden (Tabelle 4). Der Baumanteil liegt hier zwischen 15.8% und 21.7%. Am meisten Bäume stehen in Schaffhausen und Basel (je 21.7%), am wenigsten in Thun (15.8%). Berücksichtigt man auch die Kraut- und Strauchflächen, beträgt der Grünanteil zwischen 35% und 51%. Hier haben nun Luzern (50.9%) und Winterthur (50.2%) die Nase vorn. Das Schlusslicht bildet die Stadt Genf mit 38.5% Grünanteil. Betrachtet man die einzelnen Interpretationsflächen, dann ist der Anteil der Flächen ohne Bäume (17–22%) und mit dichter Bestockung (3%–12%) gering.

Stadt	Siedlungsfläche (km²)	Bodenbedeckung (%)						Anteil Interpretationsflächen (%)		
		Bäume	Kraut/Strauch	Befestigte Fläche	Gebäude	Rest	Summe	ohne Bäume	mit < 20% Bäume	mit ≥ 50% Bäume
Zürich	2964	16.3	28.8	27.3	27.0	0.6	100.0	17	55	3
Winterthur	444	19.6	30.6	25.8	22.2	1.7	100.0	15	45	7
Basel	432	21.7	14.7	33.3	29.7	0.7	100.0	21	46	12
Bern	416	21.0	22.3	29.0	26.2	1.6	100.0	19	38	8
Lausanne	287	20.1	29.6	27.4	21.8	1.0	100.0	17	42	8
St. Gallen	204	18.6	25.6	32.0	23.2	0.5	100.0	20	40	7
Genf	193	19.6	18.9	28.1	33.4	0.1	100.0	22	40	9
Luzern	101	17.1	33.8	25.4	23.4	0.3	100.0	20	53	5
Thun	93	15.8	27.4	27.3	28.6	1.0	100.0	19	56	6
Schaffhausen	86	21.7	28.0	23.5	25.0	1.7	100.0	19	33	8

Tab 4 *Bodenbedeckungsanteile und Anteil an Interpretationsflächen mit definiertem Bestockungsgrad im Siedlungsgebiet der zehn grössten Städte.*

Ausblick

Bäume werden stark mit Wald assoziiert. Die erstmals im Rahmen des LFI3 erhobenen Daten erlauben es nun, ein viel differenzierteres Bild über die Verteilung der Bäume in der Schweiz und in ausgewählten Regionen zu zeichnen. So zeigen die Resultate dieser Untersuchung bereits, dass in einer Mehrheit der Schweizer Kantone der Waldanteil grösser als der Baumanteil ist und dass das Nichtwaldareal bezüglich Bäumen ausgeräumt ist. Als für Bäume wichtige Gebiete ausserhalb des Waldes stechen die Siedlungen hervor (Abbildung 3).

Die Verteilung der Bäume ist nun schweizweit erfasst. Damit stehen nicht nur die Wald-/Nichtwaldklassen, sondern weitere Merkmale, wie zum Beispiel Baumdeckungsgrad, Mischungsgrad oder Bodenbedeckungsvielfalt, mit welchen Landschaftsgradienten beschrieben werden können, für Auswertungen zur Verfügung (Mathys et al 2006). Aber auch die Art der Nutzung von Bäumen kann nun ohne die bisherige Beschränkung auf das Waldareal untersucht werden. Dies eröffnet neue Möglichkeiten, wie beispielsweise die konsistente Quantifizierung des Holznutzungspotenzials oder weiterer Leistungen der Bäume sowie die Erhebung der mit den verschiedenen Bodenbedeckungselementen assoziierten Nutzungen für die ganze Schweiz.

Die auf dem Luftbild durchgeführte Stichprobenerhebung im LFI3 und im aktuell laufenden LFI4 ist der erste Schritt zu einer umfassenden Erfassung des Zustands und der Veränderung der Bäume in der Schweiz. Für kleine Auswertungseinheiten ist der Stichprobenfehler aber oft so gross, dass insbesondere für Veränderungen keine zuverlässigen Resultate möglich sind. Die vorliegenden Daten können aber als Eichpunkte und zur Qualitätssicherung verwendet werden. Beispielsweise lassen sich anhand dieser Daten mithilfe der Fernerkundung flächendeckende Geodatensätze generieren. Damit kann nicht nur die terrestrische Inventur des LFI optimal vorbereitet, sondern auch die Bodenbedeckung der Schweiz flächendeckend über die entsprechenden Landschaftsgradienten beschrieben werden. ■

Eingereicht: 16. Dezember 2010, akzeptiert (mit Review): 26. April 2011

Abb 3 *Als für Bäume wichtige Gebiete ausserhalb des Waldes stechen die Siedlungen hervor.* *Foto: Photononstop*

Literatur

BRÄNDLI UB, EDITOR (2010) Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.

BRASSEL P, KÖHL M, SCHNELLBÄCHER HJ, BRÄNDLI UB (1999) Das Landesforstinventar. In: Brassel P, Brändli UB, editors. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. pp. 15–25.

BRASSEL P, LISCHKE H, EDITORS (2001) Swiss national forest inventory: Methods and models of the second assessment. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL. 336 p.

GINZLER C ET AL (2005) Luftbildinterpretation LFI3. Interpretationsanleitung zum dritten Landesforstinventar. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 85 p.

JAMES P ET AL (2009) Towards an integrated understanding of green space in the European built environment. Urban For Urban Gree 8: 65–75.

KIMMINS JP (2004) Forest ecology: a foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry. Upper Saddle River: Prentice Hall, 3 ed. 611 p.

LANZ A, GINZLER C (2005) Langfristiges Systemmonitoring – wissenschaftliche, technische und organisatorische Herausforderung. Geomatik Schweiz 103: 180–182.

MATHYS L, WILDI O, BRASSEL P (2005) LFI3 – Das Landesforstinventar ist auch ein Landschaftsinventar. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft, Inf.bl Forsch.bereich Landsch. 64: 1–4.

MATHYS L, GINZLER C, ZIMMERMANN NE, BRASSEL P, WILDI O (2006) Sensitivity assessment on continuous landscape variables to classify a discrete forest area. For Ecol Manage 229: 111–119.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington D.C.: Island Press. 137 p.

Die Baumbedeckung in der Schweiz

Die Anforderungen und die Fragestellung im Zusammenhang mit nationalen Waldinventuren haben sich über die Jahrzehnte geändert. Standen zu Beginn fast ausschliesslich die Holzressourcen im Wald im Vordergrund, so sind heute auch gesellschaftliche und ökologische Funktionen von Interesse. Die Trennung in Wald und Nichtwald bei der Datenerhebung schränkt den Blick auf die Ressource Baum ein. Nicht alle Bäume stehen im Wald, und nicht die ganze Waldfläche ist bestockt. Im dritten Landesforstinventar wurde bei der Luftbildinterpretation die Bodenbedeckung auf einem regelmässigen Stichprobennetz unabhängig von der Nutzung erfasst. So konnten erstmals repräsentative Informationen zur Verteilung der Bäume in der Schweiz gewonnen werden. Die Baumbedeckung der Schweiz beträgt 27.0%, und zwar unabhängig davon, ob die Bäume innerhalb oder ausserhalb des Waldes stehen. Der Waldflächenanteil der Schweiz beläuft sich auf 29.4% der Landesfläche. Die Waldfläche ist also grösser als die mit Bäumen überschirmte Fläche. Betrachtet man die Lage der Bäume ausserhalb des Waldes, so finden sich diese mehrheitlich entweder in Waldesnähe oder in urbanen Gebieten. Siedlungen sind neben dem Wald der am dichtesten bestockte Raum. Die Daten aus der Luftbildinterpretation des dritten Landesforstinventars erlauben ein differenziertes Bild der Bestockung über die ganze Schweiz. Für kleinräumige Aussagen ist der Stichprobenfehler allerdings gross. Die Daten können aber als Eichpunkte und zur Qualitätssicherung verwendet werden. So lassen sich beispielsweise anhand dieser Daten mithilfe der Fernerkundung flächendeckende Geodatensätze generieren.

La couverture en arbres en Suisse

Les exigences et la problématique liées aux inventaires forestiers nationaux ont changé au cours des décennies. Alors qu'au début, les ressources en bois de la forêt constituaient l'élément principal, les fonctions sociétales et écologiques revêtent également de l'importance aujourd'hui. La séparation a priori en forêt et non-forêt lors des relevés limite l'interprétation des ressources en arbres. Les arbres ne sont pas tous en forêt, et la surface forestière n'est pas entièrement boisée. Lors de l'interprétation des photos aériennes du troisième Inventaire forestier national suisse, le recouvrement du sol a été étudié indépendamment de l'utilisation des terres sur un réseau d'échantillonnage régulier. C'est la première fois que des informations sur les ressources en arbres sont collectées de façon représentative à l'échelle nationale. En Suisse, la couverture en arbres est de 27.0%, indépendamment du fait que les arbres se trouvent en forêt ou à l'extérieur. Le taux de la couverture en forêts compte 29.4%. L'aire forestière est donc plus grande que la surface couverte par des arbres. Si l'on considère l'emplacement des arbres à l'extérieur de la forêt, ils se trouvent principalement à proximité de la forêt ou dans des zones urbaines. A part la forêt, les zones d'habitation constituent l'aire la plus densément boisée. Les données de l'interprétation des photos aériennes du troisième Inventaire forestier offrent une image nuancée du boisement de toute la Suisse. Toutefois, pour une interprétation à petite échelle, l'erreur d'échantillonnage est considérable. En utilisant l'inventaire existant comme référence et pour la calibration, les méthodes de télédétection promettent de fournir des données géoréférencées généralisées qui comblent cette lacune.

Neuigkeiten
Nouvelles

Waldwirtschaft und Klimawandel – einen Schritt weiterdenken!

Mit strukturierten und gemischten Beständen wird die Anpassungs- und Widerstandskraft des Waldes verbessert. Foto: Barbara Allgaier Leuch

Unter diesem Titel fand Ende Juni in Interlaken ein gut besuchtes Seminar der Fortbildung Wald und Landschaft und der Alpenschutzkommission Cipra statt. Dabei wurden neueste Erkenntnisse über klimatische Veränderungen und Handlungsoptionen bei der Waldbewirtschaftung sowie Anpassungsstrategien beim Naturgefahrenmanagement und in der Regionalentwicklung behandelt.

Bei der Waldbewirtschaftung gilt es, die Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit des Waldes zu erhöhen und negative Auswirkungen von Störungen zu vermindern. Um diese Ziele zu erreichen, könne man sich einer «Werkzeugkiste» bedienen, welche die bekannten Eingriffe wie Pflanzung, Jungwaldpflege, Durchforstung, Verjüngungshiebe oder einen reduzierten Schalenwildeinfluss beinhalte. Dabei sei der Waldbau nicht auf ein spezifisches Klimaszenario zuzuschneiden, sondern es sei eine Breitbandstrategie zu wählen, damit bei möglichst vielen Szenarien die erwünschten Betriebsziele erreicht werden und die bestehenden Handlungsspielräume erhalten oder sogar vergrössert werden können. Betont wurde auch, dass der naturnahe Waldbau eine gute Basis sei. Er müsse aber um eine adaptive Komponente ergänzt werden, worunter eine Bewirtschaftung, die mit experimentellen Behandlungen und damit verbundenen Erfolgskontrollen systematisch verbessert wird, verstanden wird.

Der Klimawandel wird mittlerweile innerhalb des Waldsektors als Tatsache anerkannt, so die Schlussfolgerung der Seminarteilnehmenden. Trotzdem herrscht weiterhin eine grosse Unsicherheit in Bezug auf lokale und regionale Auswirkungen der Klimaänderung, da trotz vorliegender Handlungsempfehlungen die Folgerung für ein angepasstes Handeln für viele noch zu abstrakt ist. Dementsprechend liegt in der Umsetzung der komplexen Thematik eine der grössten Herausforderungen für die Zukunft.

Die Präsentationen und Ergebnisse des Seminars stehen unter www.cipra.org/de/cc.alps zum Download zur Verfügung. ■

www.fowala.ch

Herkunftszeichen Schweizer Holz unentgeltlich erhältlich

Waldwirtschaft Schweiz hat sich mit der Lignum darüber geeinigt, die Verwendung des Herkunftszeichens Schweizer Holz mit einer pauschalen jährlichen Entschädigung aus dem Selbsthilfefonds abzugelten. Dies ermöglicht es allen Schweizer Waldeigentümern, das Herkunftszeichen unentgeltlich für ihre Holzverkäufe zu verwenden. ■

Zürcher Wald 4/2011

Zypressenstamm aus längst vergangener Zeit gefunden

Im Braunkohletagebau Garzweiler (Deutschland) wurde vor Kurzem ein gut erhaltener, 500-jähriger Zypressenstamm *(Taxodioxylon germanicum)* freigelegt, der vor rund 12 Millionen Jahren an den Fundort geschwemmt und anschliessend von Meersand zugedeckt wurde. ■

www.ksta.de

Alte Buchenwälder in Deutschland sind Weltnaturerbe

Das Unesco-Welterbekomitee hat fünf Buchenwaldgebiete in Deutschland in die Liste des Welterbes aufgenommen. Damit wird das grenzüberschreitende Weltnaturerbe «Buchenwälder», zu dem bislang zehn montane und subalpine Buchenwälder der Slowakei und der Ukraine zählten, um naturnahe Tiefland-Buchenwälder erweitert. Reste solcher Wälder gibt es weltweit nur noch in Deutschland. ■

weltnaturerbe-buchenwaelder.de

Volume de bois sur pied en France en forte augmentation

Le capital de bois sur pied dans la forêt française s'est accru de 650 millions de mètres cubes dans le dernier quart de siècle. Effet de la reconquête forestière en cours depuis plus d'un siècle, elle transforme en profondeur la forêt française, car elle ne s'applique pas uniformément: elle est variable selon la zone géographique, la classe de propriété, la dimension des bois et les essences. Elle est aussi affectée par les conséquences des tempêtes de 1999 et 2009, lesquelles se combinent avec la dynamique d'expansion pour déplacer la localisation des ressources en bois des régions forestières traditionnelles du nord-est et du sud-ouest vers d'autres régions (Bourgogne, Massif central, Midi-Pyrénées notamment). L'exploitation durable de cette ressource nouvelle, majoritairement feuillue et située en forêt privée, est le défi majeur à relever dans les prochaines années, constate l'édition actuel de L'If, le journal de l'Inventaire forestier national français. ■

www.ifn.fr

Unir les forces pour un monde meilleur

Les organisations suisses d'aide au développement Helvetas et Intercooperation ont uni leurs forces. La nouvelle organisation «Helvetas Swiss Intercooperation» a un volume financier cumulé de 120 mio de francs environ et plus de 1200 collaborateurs dans le monde. Grâce à la fusion, elle est la plus grande organisation suisse d'aide au développement. ■

www.helvetas.ch

Ohne Herdenschutz geht es nicht

In der Schweiz wurden seit dem Sommer 2009 zehn verschiedene Wölfe genetisch nachgewiesen. Es wird aber vermutet, dass doppelt so viele Tiere unterwegs sind. Die in den letzten 15 Jahren gesammelten Erfahrungen zeigen, dass ein wirksamer Herdenschutz, vorab mit Hunden, die Schäden an Nutztieren klein hält. So stammen die rund 100 Meldungen des Jahres 2011 von von Wölfen gerissenen Schafen oder Ziegen allesamt aus Herden

ohne ausreichenden Schutz, wie Reinhard Schnidrig vom Bundesamt für Umwelt (Bafu) sagt. Weil ein Zusammenleben mit Wölfen, aber auch mit Bären, ohne Herdenschutz heute nicht mehr geht, unterstützt das Bafu Schafhalter bei der Umsetzung von Herdenschutzmassnahmen. ■

www.bafu.admin.ch > Fokus

Aussi en France, le loup fait parler de lui

Depuis 1990, le loup italien recolonise spontanément les Alpes françaises. Il est aujourd'hui présent de façon permanente dans neuf départements, avec une population totale entre 170 et 200 individus. On lui reproche un nombre d'attaques sur les troupeaux en hausse de 25% en 2011 par rapport à 2010. Pour faire baisser la pression sur le pastoralisme, la ministre en charge d'écologie a décidée le 27 juillet 2011 d'autoriser des tirs de défense sur cette espèce protégée. ■

www.journaldelenvironnement.net

Namenswechsel

Das Amt für Wald Graubünden wurde auf den 1. August 2011 neu in Amt für Wald und Naturgefahren umbenannt. Mit dieser Neubezeichnung soll der Aufgabenbereich des Amtes zutreffender umschrieben und die Zuständigkeit für Aussenstehende klar ersichtlich werden.

Auch der Verband der Schweizerischen Forstunternehmungen hat sich umgetauft: Seit der letzten Vollversammlung heisst er «Forstunternehmer Schweiz». ■

Zweite internationale Konferenz zu Landschaft und Gesundheit

Vom 24. bis 25. Januar 2012 findet in Birmensdorf die zweite internationale Konferenz zum Thema «Landschaft und Gesundheit: Wirkungen, Potenziale und Strategien» statt. Aus der Perspektive von Praxis und Forschung unterschiedlicher Disziplinen werden aktuelle Grundlagen und Forschungsergebnisse, neue Lösungsansätze und künftige Strategien im Zusammenhang mit Landschaft und Gesundheit vorgestellt und diskutiert. ■

www.wsl.ch/landscapeandhealth

Rezensionen
Recensions

Biologische Invasionen

KOWARIK I (2010) Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen Mitteleuropas. Stuttgart: Eugen Ulmer, 2 ed. 492 p. ISBN 978-3-8001-5889-8. CHF 109.–.

Die Ausbreitung von Organismen in neue Gebiete, die sie nicht auf natürliche Weise, sondern erst unter dem Einfluss des Menschen erreichen konnten, ist nicht nur ein weltweit bedeutendes Naturschutzthema, sondern verursacht allein in Europa nach aktuellen Schätzungen jährliche Folgekosten von mindestens 12 Milliarden Euro. Nachdem Ingo Kowarik 2003 die erste deutschsprachige Übersichtsdarstellung zu biologischen Invasionen aus mitteleuropäischer Sicht veröffentlichte – welche bereits nach kurzer Zeit vergriffen war –, ist das Werk nun in einer zweiten, überarbeiteten und erweiterten Auflage wieder erhältlich.

«Biologische Invasionen» strebt keinen kompletten Überblick über nicht einheimische Tier- und Pflanzenarten in Mitteleuropa an. Vielmehr möchte der Autor ein differenziertes Verständnis vermitteln, da nur ein kleiner Teil der Arten ökologisch, ökonomisch oder gesundheitlich problematisch ist. Ein besonderes Anliegen ist dabei die Darstellung der vielfältigen Förderung biologischer Invasionen durch den Menschen – von der absichtlichen Einführung von Arten bis hin zum Klimawandel.

Der weitaus grösste Teil des Buches besteht – geordnet nach Lebensräumen – aus zahlreichen Fallbeispielen nicht einheimischer, invasiver Pflanzen (Neophyten), Pilze (Neomyceten) und Tiere (Neozoen). Entsprechend dem Renommee des an der TU Berlin tätigen Stadt- und Vegetationsökologen Ingo Kowarik ist dabei der Abschnitt über Neophyten am umfangreichsten. Die Fallbeispiele beschränken sich jedoch nicht auf das urban-industrielle Umfeld, sondern sie behandeln auch invasive Neophyten der Gewässer und Auen, der Wälder und Forste, der Moore oder der Landwirtschaftsfläche. Im Gegensatz zum sehr kurzen Kapitel über pathogene Neomyceten ist besonders die Neubearbeitung des erweiterten Neozoenkapitels durch Wolfgang Rabitsch vom Österreichischen Bundesumweltamt zu erwähnen. Der Umfang dieses Abschnitts hat sich gegenüber der Erstauflage mehr als verdoppelt. Die Fallbeispiele folgen nun demselben Schema wie im Neophytenkapitel – von der Herkunft der Arten, über Angaben zur Einführung und zu aktuellen Vorkommen bis hin zur Problematik der Invasion und möglichen Steuerungsmassnahmen. Das Buch endet mit zwei Synthesekapiteln zur Bewertung biologischer Invasionen und Handlungsansätzen.

Auch mit Blick auf den Lebensraum Wald bietet das Werk vielfältige Informationen. So werden neben bekannten Neophyten auch invasive Nutzbaumarten (z.B. Strobe, Roteiche, Douglasie, Robinie), pathogene Neomyceten (z.B. Ulmenwelke, Kastanienrindenkrebs) und Neozoen besprochen (z.B. der erst seit Kurzem in Europa etablierte Asiatische Laubholzbockkäfer).

Als Wermutstropfen ist zu nennen, dass an wenigen Stellen Mitteleuropa allzu sehr aus deutscher Perspektive betrachtet wird, beispielsweise wenn die Vorkommen der Edelkastanie detailliert für Deutschland angegeben werden, ohne auf die Vorkommen der Nordschweiz oder Österreichs einzugehen. Ferner sind die gegenüber der Erstauflage mehr als 110 zusätzlichen Seiten nicht nur durch Aktualisierung und Erweiterung entstanden, sondern auch wegen der in der neuen Auflage verwendeten grösseren Schrift und grösseren Abbildungen. Besonders die Übersichtlichkeit mehrseitiger Tabellen hat dadurch eingebüsst.

Insgesamt überzeugt das Werk jedoch durch seine sachliche und differenzierte Darstellung – und nicht zuletzt durch die grosse Fülle an Informationen. Ingolf Kowarik und Wolfgang Rabitsch ist es gelungen, biologische Invasionen als einen alltäglichen Vorgang zu beschreiben und dennoch den differenzierten Blick für ihre Vielgestaltigkeit und die Risiken einzelner Arten zu schärfen. Durch informative Abbildungen und die Vermeidung unnötiger Fachbegriffe ist das Buch für eine breite Leserschaft interessant. Zusammen mit dem umfangreichen Literaturverzeichnis (56 Seiten!) ist es sowohl als Nachschlagewerk wie auch für einen umfassenden Überblick zum Thema biologischer Invasionen in Mitteleuropa zu empfehlen. ■

Michael Nobis

Nationale Waldinventuren und Biodiversitätsmonitoring

CHIRICI, G, WINTER S, MCROBERTS RE, EDITORS (2011) National forest inventories: Contributions to forest biodiversity assessments. Heidelberg: Springer. 224 p. ISBN 978-94-007-0481-7. CHF 201.–.

Wie die Schweiz verfolgen auch diverse andere europäische Länder Biodiversitätsziele für den Wald und sind im Rahmen internationaler Abkommen zur regelmässigen Berichterstattung verpflichtet. Weil landesweite Daten zu Flora und Fauna der Wälder in der Regel fehlen, werden stattdessen Lebensraumdaten aus den nationalen Forstinventuren verwendet. Inwieweit diese Lebensraumindikatoren tatsächlich die Vielfalt und Zusammensetzung einer lokalen Artengemeinschaft anzeigen, ist ein eigenes Thema, allerdings nicht dasjenige dieses Buches. Vielmehr möchten die Autoren aufzeigen, wie man aus dem methodisch äusserst heterogenen Datenmaterial verschiedener nationaler Forstinventuren robuste, vergleichbare und aussagekräftige Biodiversitätsindikatoren ableiten kann, die sich für das internationale Monitoring eignen. Dies ist in Anbetracht der individuellen Erhebungsmethoden und Definitionen innerhalb Europas aber eine wahre Herkulesaufgabe. Sie wurde im Rahmen des COST Action E43 angepackt. Das vorliegende Buch dokumentiert die Aktivitäten der Arbeitsgruppe 3 von 2004 bis 2009.

25 Autorinnen und Autoren haben zum Werk beigetragen und nach Wegen gesucht, Forstinventurdaten aus 21 europäischen Ländern und den USA zu harmonisieren. Auf Basis einer Expertenumfrage wurde zunächst das bestehende Wissen zu Indikatoren für Waldbiodiversität gesammelt und eine Reihe von Waldmerkmalen nach Bedeutung und Machbarkeit beurteilt. Daraus leiten die Autoren sieben wesentliche Merkmalsgruppen ab, auf die im weiteren Verlauf des Buches näher eingegangen wird: Waldkategorie, Waldstruktur, Totholz, Verjüngung, Bestandesalter, Bodenvegetation und Naturbelassenheit. Darauf wird gezeigt, inwiefern die 22 beteiligten Länder überhaupt Daten zu diesen Eigenschaften erheben und wo die methodischen Übereinstimmungen und Unterschiede liegen. Richtig spannend wird es dann im Kapitel 5, dem eigentlichen Kernstück des Buches. Es stellt die Ergebnisse der Harmonisierungstests vor, die mit Forstinventurdaten aus 14 Ländern durchgeführt wurden. Für alle sieben wesentlichen Merkmalsgruppen wurde nach international praktikablen und ökologisch aussagekräftigen Indikatordefinitionen gesucht, und dabei wurden auch innovative Ansätze verfolgt. Zum Beispiel der Vorschlag, das Bestandesalter anhand der 100 stärksten Bäume der Messfläche zu indizieren oder die Vielfalt der Bestandesstruktur mit der Standardabweichung der Brusthöhendurchmesser oder Baumhöhen zu beschreiben. Anhand der Forstinventurdaten wurde empirisch getestet, inwieweit sich solche Indikatoren tatsächlich berechnen lassen und wie stark die Resultate durch unterschiedliche Merkmalsdefinitionen beeinflusst sind. Dass dabei die Bedeutung der je nach Land sehr uneinheitlichen Grösse der Messflächen weitgehend ausser Acht gelassen wurde, ist etwas schade und bleibt als Damoklesschwert über einigen guten Ideen hängen.

Die Autoren sind allen Schwierigkeiten ihrer Aufgabe zum Trotz einige grosse Schritte auf dem Weg zu international harmonisierbaren Biodiversitätsindikatoren gegangen. Das Werk zeigt, was mit Waldinventuren derzeit möglich ist, ohne die konzeptionelle Eigenständigkeit der nationalen Erhebungen infrage zu stellen. Sie ziehen aus ihren Arbeiten sowohl in den einzelnen Kapiteln als auch in der Zusammenfassung klare Schlüsse, welche Ansätze zukunftsträchtig sind und welche nicht. Auch die Empfehlungen, wie noch bestehende Schwierigkeiten auszuräumen sind, erscheinen sehr umsetzungsorientiert. Aus diesem Grund ist das Buch vor allem für jene Leser empfehlenswert, die sich mit grossräumigem Biodiversitätsmonitoring im Wald beschäftigen und nach methodischen Lösungen suchen, die international kompatibel sind. ■

Christoph Bühler

Der Wert von Waldinformationen

KANGAS AS (2010) Value of forest information. Eur J Forest Res 129: 863–874. doi: 10.1007/s10342-009-0281-7

Täglich fällen forstliche Akteure Entscheide vielfältiger Art im Forstbetrieb, in der Verwaltung oder der Ressourcen- und Umweltpolitik. All diese Entscheide erfordern Informationen von ausreichend guter Qualität. Im vorliegenden Review-Artikel dokumentiert die Autorin den aktuellen Stand der Forschung in der Bewertung von Informationen aus forstlichen Inventuren.

Traditionellerweise wurde und wird die Qualität von Daten aus Forstinventuren mit dem statistischen Schätzfehler der interessierenden Zielgrösse gemessen. Als optimal wird dabei jenes Stichprobendesign verstanden, das bei einem gegebenen Budget die geringste Varianz ergibt oder bei einer vorgegebenen Genauigkeit die Kosten minimiert. Bislang lag der Fokus auf der Schätzgenauigkeit des Holzvolumens, obschon nicht bekannt war, ob diese Variable in Entscheidungsprozessen von grösserem Wert als andere ist. Zur Frage nach dem optimalen Timing von forstlichen Eingriffen konnte mit Simulationen gezeigt werden, dass die Verluste durch Fehlentscheide minimiert werden können, wenn verlässliche Angaben zu Basalfläche, Mittelhöhe, Bestandesalter und Standortgüte sowie von der Qualität von Prognosemodellen verfügbar sind.

Der Nutzen oder die Qualität einer Information beinhaltet neben Angabe zur Genauigkeit noch ganz andere Aspekte wie Glaubwürdigkeit, Relevanz, Aktualität, Vollständigkeit und Verständlichkeit. Deshalb wird seit einigen Jahren in Anlehnung an Methoden aus anderen Lebensbereichen vereinzelt versucht, den Wert von Inventurdaten im Rahmen von forstlichen Entscheidungsprozessen zu ermitteln. Eine solche holistische Sichtweise bietet die sogenannte «Kosten-plus-Verlust-Analyse». Dabei werden die Kosten der Datenbeschaffung den Verlusten durch Informationsdefizite im Entscheidungsprozess gegenübergestellt. Als optimale Methode der Datenbeschaffung wird jene definiert, welche die resultierenden Gesamtkosten minimiert. Die Schwierigkeit liegt dabei in der Ermittlung der Verlustkosten. Als alternative Möglichkeit zur Berechnung des Informationswertes werden Anwendungen der «Bayes'schen Entscheidungstheorie» vorgestellt und diskutiert.

Kritiker dieser rein monetären und gegenwartsbezogenen Informationsbewertung (der Schreibende eingeschlossen) wenden ein, dass forstliche Entscheide auch soziale und umweltrelevante Effekte

haben und Auswirkungen bis in die ferne Zukunft zeigen. Auch lässt sich der Wert der Daten für künftige, noch unbekannte Fragen nicht mal erahnen. Der logische Schluss liegt deshalb darin, dass Inventurdaten nur in qualitativer Hinsicht gewertet werden können. Dies gilt insbesondere für moderne Waldinventuren, die Informationen zu allen Waldfunktionen und einem umfassenden Waldzustand liefern.

Dieser Review-Artikel bietet einen wertvollen Überblick und zeigt die Stärken und Schwächen bisheriger Ansätze und Methoden zur Beurteilung von Qualität und Wert von Waldinformationen. Allerdings basieren die Anwendungsbeispiele überwiegend auf Literatur aus Finnland und Schweden, und die dargestellte «Kosten-plus-Verlust-Analyse» beschränkt sich auf den optimalen Erntezeitpunkt bei der Holzproduktion. Für Analysen in der Schweiz, besonders auf Betriebsebene, bieten diese Beispiele aber interessante Vergleichsmöglichkeiten.

Der Artikel zeigt zudem, dass die Kosten von suboptimalen Entscheiden kaum je ermittelt werden und vielleicht auch deshalb die Erhebung von verlässlichen Walddaten sehr oft als zu teuer beurteilt wird. Die meisten Entscheidungsprozesse sind weitgehend unbekannt. Selbst über die Lebensdauer der Informationen und über das Feld der Datennutzer herrscht oftmals Unklarheit. Es ist deshalb nach Ansicht der Autorin höchste Zeit, von der reinen Methodenentwicklung auf Analysen zu wechseln, die ermitteln, welche Informationsbedürfnisse die verschiedenen forstlichen Entscheidungsträger wirklich haben, wie dies beispielsweise im Vorfeld des dritten Schweizerischen Landesforstinventars gemacht wurde. ■

Urs-Beat Brändli

Onlinearchiv der SZF umgezogen
Das Onlinearchiv der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen (SZF) ist umgezogen. Die neue Adresse lautet: www.szf-jfs.org. Damit Sie auch weiter die Artikel online anschauen und herunterladen können, bitten wir Sie, sich beim erstmaligen Besuch der Seite neu zu registrieren. Ihr bisheriger Benutzername (in Form Ihrer E-Mail-Adresse) sowie Ihr bisheriges Passwort sind nach wie vor gültig. ■

Nekrologe
Nécrologie

Philippe Duc (1962–2011)

Am Abend des 29. April verabschiedete sich Philippe Duc noch persönlich bei uns vor seiner Bergtour in die Berner und Walliser Alpen. Zwei Wochen später wollte er wieder in seinem Büro an der WSL sein. Er kam nicht mehr zurück. Mit grosser Bestürzung vernahmen wir von seinem tragischen Unfall am 5. Mai in seinen geliebten Bergen im Berner Oberland, in der Westflanke des Eigers.

Philippe wuchs in Wabern bei Bern auf, besuchte das Gymnasium in Köniz und studierte von 1982 bis 1988 an der ETH Zürich Forstwirtschaft, mit Praktika in Orbe und Glarus. Nach dem Studium arbeitete er als Unterrichtsassistent an der Professur für Waldbau, ab 1990 als Doktorand. Seine Spezialthemen waren Waldökologie, Waldpflege, Waldverjüngung und Plenterung. Die Dissertation «Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers» begleitete ihn auch an der WSL noch manches Wochenende.

Nach vielen gemeinsamen Bergerlebnissen heirateten Astrid und Philippe im Jahr 1991. Zwei und fünf Jahre später kamen Lucien und Joël zur Welt. Im Herbst 1996 wurde Philippe wissenschaftlicher Mitarbeiter im Landesforstinventar (LFI). Seine Spezialgebiete waren die Waldverjüngung und der Schutzwald. Er entwickelte LFI-Modelle zur Beurteilung der Schutzwirkung und Stabilität des Waldes und zum Handlungsbedarf im Schutzwald. Er befasste sich im LFI auch mit der Erhebung und Modellierung der Waldgesellschaften und «baute Brücken» zwischen verschiedenen Klassifikationssystemen.

Bereits zum Ergebnisbericht des LFI2 schrieb Philippe wichtige Beiträge; beim Ergebnisbericht zum LFI3 nahm er eine zentrale Rolle als Hauptautor der Kapitel «Holzproduktion» und «Schutzwald» ein. Er reviewte viele wissenschaftliche Beiträge seiner Kolleginnen und Kollegen und redigierte die französischen Ausgaben der Ergebnisberichte. Daneben entstanden zahlreiche Publikationen zur Waldpflege, zur Waldverjüngung, zum Plenterwald und zur Weisstanne. Seine letzte Publikation mit dem Titel «Entwicklung der Baumarten im Schweizer Wald – methodische Überlegungen» erscheint in dieser Ausgabe der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen.

Philippe hat sein breites Fachwissen über Waldbau und das LFI im In- und Ausland weitergegeben. Er engagierte sich auch in der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe (GWG). Besonders im französischen Sprachraum war er unser Botschafter für das LFI. Sein mehrsprachiges Glossar, in dem forstliche Fachbegriffe erklärt werden, ist das am häufigsten benutzte Produkt auf der Website des LFI. Im Bereich der LFI-Dienstleistungen war er Spezialist für komplexe Datenanalysen und Fachgutachten. Philippe nahm all seine verantwortungsvollen Aufgaben mit grossem Engagement und Erfolg wahr.

Sport war Philippes grosse Passion. Schon vor dem Studium unternahm er legendäre Velotouren. Zudem war Philippe als Orientierungsläufer unterwegs und spielte auch im WSL-Fussballteam mit. Doch noch mehr bedeuteten Philippe seine Berge. Oft hat er in der Kantine, die obligate Thermosflasche neben sich, erfüllt davon erzählt, was er auf seinen Bergtouren erlebt hatte, und begeistert seine nächsten Pläne geschildert. Wir haben seine Begeisterung mitempfunden und seinen Tatendrang, sein Können und seinen Mut bewundert. Sein ehrgeiziges Ziel war es, möglichst viele Gipfel zu Fuss oder per Ski zu bezwingen. Von den 48 Schweizer Viertausendern fehlten ihm nur noch zwei. Doch dann wurde ihm das Restrisiko, mit dem Philippe mit minutiöser Tourenplanung sehr respektvoll umging, zum Verhängnis.

Philippe war beharrlich, ausdauernd und gewissenhaft bis ins Detail, ein Spezialist in vielen Belangen. Doch heute fehlt uns weit mehr als sein Fachwissen. Wir haben in Philippe nicht nur einen geschätzten, langjährigen Arbeits- und Studienkollegen verloren, der mehrere Semestertreffen organisierte, sondern vor allem einen liebenswerten, hilfsbereiten und humorvollen Freund. So wird uns Philippe in Erinnerung bleiben. ■

Urs-Beat Brändli und Peter Brang

Walter Leimbacher (1941–2011)

Walter (Läne) Leimbacher wurde am 30. März 1941 geboren. Nach der Kantonsschule wählte er das Forstingenieurstudium an der ETH. 1963/64 absolvierte er die 13 Monate Praxis beim Stadtforstamt Lausanne und beim Kreisforstamt Brig. Nach Studienabschluss im Herbst 1965 trat er eine Stelle als Assistent am Lehrstuhl für Forsteinrichtung an, wo er v.a. die Auswertung und Interpretation der Daten aus den damals neuen Stichprobenerhebungen bearbeitete. Bald wechselte er als wissenschaftlicher Mitarbeiter für das gleiche Arbeitsgebiet an die forstliche Versuchsanstalt (heute WSL).

Auf 1. Mai 1969 wurde Läne als Leiter der Forsteinrichtung im Kanton Zürich gewählt. Er verfasste in dieser Zeit zahlreiche Wirtschaftspläne (Betriebspläne). An seinem Job liebte er besonders die Möglichkeit, die Wälder und ihre Betreuer im ganzen Kanton kennenzulernen und zusammen mit den zuständigen Kreisförstern und Revierförstern im Wald draussen die waldbauliche Planung machen zu können. Gleichzeitig bedauerte er, praktisch keinen Einfluss auf die Umsetzung der Planung nehmen zu können.

Deshalb empfand er es als Glücksfall, dass er am 1. März 1977 den Forstkreis Zürcher Unterland übernehmen durfte. Nun konnte er gemäss seinen Überzeugungen arbeiten, d.h., den waldbaulichen Tätigkeiten oberste Priorität geben. Er verfasste alle Betriebspläne im Kreis selbst und war federführend bei der Anzeichnung des Hiebsatzes sowie bei der Umsetzung der planerischen Entscheide im Wald. Seine Waldbauentscheide beruhten nicht nur auf Zahlengrundlagen, sondern dank zunehmender Erfahrung in hohem Mass auch auf dem Vergleich von im Erfahrungsschatz gespeicherten Bildmodellen mit dem zu bearbeitenden Bestand.

Läne war ein Pionier der Dauerwaldbewirtschaftung, die seinem Ideal von Waldbau, nämlich mit minimalen Eingriffen eine maximale Stabilität und Erfüllung der Waldfunktionen zu erreichen, am nächsten kam. Nicht erstaunlich daher, dass er 1992 zu den Gründungsmitgliedern der ANW Schweiz (heute Pro Silva Schweiz) gehörte. Im Weiteren war er ein konsequenter Förderer der Eiche, lange bevor die Eichenförderung zu einer prioritär beitragsberechtigten Tätigkeit wurde. Pionierhaft war auch seine früh begonnene Zusammenarbeit mit Naturschützern (v.a. Ornithologen), um der grossen naturschützerischen Bedeutung der Wälder seines Kreises besser gerecht werden zu können.

Er selbst bezeichnete seine Arbeit im Wald als beglückende Aufgabe mit grosser Selbstständigkeit. Dementsprechend machten ihm die zunehmenden Tendenzen, den Ingenieur als überqualifiziert und zu teuer für die Holzanzeichnung zu betrachten, sehr zu schaffen. Immer wieder forderte er uns auf, gegen die Verbannung an den Schreibtisch, die die Übung in den forstlichen Kernkompetenzen langsam schwinden lässt, anzukämpfen. Die zunehmenden Papierberge empfand er als Frust. Die aus seiner Sicht fatale Entwicklung erleichterte ihm den Entscheid, auf den 30. April 2004 etwas vorzeitig in den Ruhestand zu treten.

Läne war ein geselliger Mensch; er liebte es, bei gutem Essen und Trinken mit Freunden zusammenzusitzen. Er reiste während seines ganzen Lebens sehr gerne, dabei war ihm keine Destination zu exotisch. Eine Kamera hatte er nie dabei, seine Erinnerungen waren im Kopf gespeichert. Wenn er dann in seinem grossen Schatz an Reiseerlebnissen und Anekdoten zu kramen begann, wurde es immer höchst spannend und unterhaltsam.

Leider reduzierten zunehmende gesundheitliche Schwierigkeiten die Lebensfreude etwas und schränkten auch die Möglichkeiten ein, weitere Reisen zu unternehmen. Am 22. März 2011 schlief Läne nach kurzem Aufenthalt im Spital friedlich ein. Zahlreiche Freunde nahmen am 30. März, seinem 70. Geburtstag, von ihm Abschied. Sie behalten eine eigenständige, markante Persönlichkeit mit vielen liebenswürdigen Seiten in bester Erinnerung. ■

Erich Oberholzer

Auflösung Wettbewerb für Sofortleser (SZF 8/2011)

Die richtige Antwort lautet: 0.86 m²/s.

Der Gewinner der Luminox-Uhr von Mondaine Watch ltd. ist Urs Mühlethaler aus Brügg.

Montagskolloquien an der ETH Zürich

Die forst- und holzwissenschaftlichen Montagskolloquien für die Praxis haben eine lange Tradition. Mit diesen Veranstaltungen an der Nahtstelle zwischen Wissenschaft und Praxis wendet sich das Institut für Terrestrische Ökosysteme (ITES) an die interessierten Praktiker. Aktuelle Probleme aus dem Bereich des Wald- und Landschaftsmanagements werden vorgestellt und diskutiert.
In diesem Herbstsemester finden vier öffentliche Veranstaltungen statt (jeweils 14.15 Uhr, ETH Zentrum, Zürich):

Datum:	**14. November 2011**
Titel:	Hightlights aus 50 Jahren Forschung in Naturwaldreservaten
Koordination:	Prof. Dr. Harald Bugmann (ETH), Dr. Peter Brang & Dr. Caroline Heiri (WSL)
Datum:	**5. Dezember 2011**
Titel:	150 Jahre AFV und die Zukunft der AFK
Koordination:	Akademische Forstkommission AFK (vormals akad. Forstverein AFV)
Datum:	**23. Januar 2012**
Titel:	Aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der Holzforschung an der ETH
Koordination:	Prof. Dr. Ingo Burgert, Prof. Dr. Peter Niemz (ETH)
Datum:	**30. Januar 2012**
Titel:	Adaptive Waldbewirtschaftung im Klimawandel – alter Wein in neuen Schläuchen?
Koordination:	Prof. Dr. Harald Bugmann (ETH), Prof.Dr. Marc Hanewinkel & Dr. Andreas Rigling (WSL)

Das Detailprogramm mit den Raumangaben wird zu einem späteren Zeitpunkt bekannt gegeben.

www.ites.ethz.ch/news/colloquiam

Veranstaltungen des SFV

5./6. September 2011: VIII. Waldökonomisches Seminar. Arbeitsgruppe Wald- und Holzwirtschaft und Partner. Münchenwiler.

25. Oktober 2011: Feinerschliessungsplanung im Forstbetrieb mit Nutzung von Standortkarten. Arbeitsgruppe Vegetation und Partner. Habsburg.

17. November 2011: Jahrestagung der Arbeitsgruppe Waldplanung und -management.

28. November 2011: Waldbau und Waldwachstum zwischen Hochschulreformen und Energiewende. Antrittsvorlesung von Prof. Dr. A. Pommerening in Zollikofen.

Datum offen: Fichte ja, aber mit Mass. Kurs der Arbeitsgruppe Vegetation und Boden mit Partnern.

Datum offen: Ertragskunde und Waldwachstumsmodelle (Teil II): praktische Anwendungen. Arbeitsgruppe Waldplanung und -management und Partner.

Präsident:
Adrian Lukas Meier-Glaser,
Humboldtstrasse 33, 3013 Bern,
Tel. G 031 633 46 14, P 031 332 26 86,
E-Mail adrian.meier@forstverein.ch

Geschäftsführer:
Fredy Nipkow,
Postfach 316, 4402 Frenkendorf,
Tel./Fax 043 343 97 38,
E-Mail info@forstverein.ch

Internet: www.forstverein.ch

kanton glarus

BAU UND UMWELT

Umwelt, Wald und Energie

Wir sind eine öffentliche Verwaltung mit über 500 Angestellten. Unsere Dienstleistungen richten sich nach der Bevölkerung und dem gesetzlichen Auftrag.

Wir suchen für die Hauptabteilung Umwelt, Wald und Energie infolge Pensionierung eine/n

Leiter/in Hauptabteilung Umwelt, Wald und Energie bzw. Kantonsoberförster/in

per 1. Mai 2012 oder nach Vereinbarung mit Arbeitsort Glarus.

Ihre Aufgaben:
- Organisatorische und personelle Führung der Hauptabteilung Umwelt, Wald und Energie
- Strategische und konzeptionelle Leitung der Abteilung Wald (Kantonsoberförster/in)
- Beratung der Departementsleitung in Belangen der kantonalen und eidgenössischen Waldpolitik sowie Umsetzung der Waldgesetzgebung
- Vorbereitung von Verwaltungs- und Regierungsgeschäften sowie Planung und Berichterstattung
- Leitung Subventionstransfer Bund/Waldbesitzer
- Aufsicht über Revierförster in deren hoheitlicher Tätigkeit
- Kommunikation innerhalb und ausserhalb der Verwaltung
- Leitung eines Forstkreises

Ihr Profil:
- Hochschulstudium ETH mit Spezialrichtung Forstwissenschaften oder Master in Umweltnaturwissenschaften mit Major in Wald- und Landschaftsmanagement
- Eidgenössisches Wählbarkeitszeugnis
- Erfahrung im staatlichen Forstdienst von Vorteil
- Kenntnisse in der Gebirgswaldwirtschaft erwünscht
- Kommunikations- und Verhandlungsgeschick, Durchsetzungsvermögen

Unser Angebot:
- Herausfordernde Kaderfunktion mit hohem Mass an Selbstständigkeit
- Führung eines anspruchsvollen Verantwortungsbereichs
- Interdisziplinäre und abwechslungsreiche Tätigkeit
- Vielfältiger Kontakt mit anderen Fachleuten sowie externen Ansprechsgruppen

Ihr Kontakt:
Weitere Auskünfte erhalten Sie von Herrn Fritz Marti, Hauptabteilungsleiter Umwelt, Wald und Energie Tel. 055 646 64 56 oder der Departementssekretärin Frau Martina Rehli, Tel. 055 646 64 08. Unseren Dienstleistungsbetrieb finden Sie unter www.gl.ch.

Bitte senden Sie Ihre Bewerbungsunterlagen bis am 23. September 2011 an den Kanton Glarus, Personaldienst, Rathaus, 8750 Glarus, Email: personaldienst@gl.ch

WIR HABEN IHREN ARBEITSPLATZ VERBESSERT

JONSERED CS 2172 MIT CLEAN POWER™ TECHNOLOGIE

70.7 cm³, 3.9 kW / 5.4 PS, 6.1 kg

Die Profisäge für dicke Stämme und Hartholz. Neu mit Clean Power™-Technologie, blitzschneller Beschleunigung und einem Leistungsgewicht, das seinesgleichen sucht. Dazu Turboluftreinigung, Vibrationsdämpfung mit Stahlfedern, Griffheizung (optional) und Dekompressionsventil.

Clean Power™, unsere neuste Technologie, die im Vergleich zu den Motoren früherer Generationen den Kraftstoffverbrauch um 20% und die Emissionen 75% senkt. Ausserdem bietet der Motor sogar bei niedrigen Drehzahlen hervorragende Leistung. Mit anderen Worten Eigenschaften, die für alle, die in der professionellen Forstwirtschaft arbeiten, den Arbeitsplatz verbessern.

Husqvarna Schweiz AG, Industriestrasse 10, 5506 Mägenwil
Tel. 062 887 37 00, Fax 062 887 37 11, info@husqvarna.ch, www.husqvarna-schweiz.ch

Jonsered®
www.jonsered.ch