

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 162 (2011)

**Heft:** 6

**Artikel:** Stand und Perspektiven der Nutzung neuer Fernerkundungstechnologien im Waldbereich

**Autor:** Koch, Barbara

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097715>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 02.05.2026

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

# Stand und Perspektiven der Nutzung neuer Fernerkundungstechnologien im Waldbereich

Barbara Koch Abteilung Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (DE)\*

## Status and perspectives of the application of new remote sensing technologies in forestry

Remote sensing has been used in forestry for a long time. Aerial photography has mainly been used to support national and operational inventories and medium resolution satellite data for large area inventories. Today, through the availability of new technologies there are greatly extended possibilities for remote sensing in the forestry sector. The major change is the better availability of 3-D information, which allows a much better modelling of forests and forest attributes. The paper presents an overview of the newest remote sensing technologies, such as the systems carried by satellite which can be used to record changes or degradation in the area covered by forest for the global forestry resources assessment of the UN World Food and Agriculture Organisation or are examined in connection with the United Nations REDD program. Besides these, other small scale applications are presented based on optical or laser systems carried by aircraft. The article finishes with an outlook on expected developments in the near future. It is expected that the future of forestry remote sensing will be characterized above all by the combination of information obtained from diverse sources, such as data based on terrestrial and on remotely sensed sources.

**Keywords:** forestry, remote sensing, airborne laser, digital aerial photography, high resolution satellite  
**doi:** 10.3188/szf.2011.0156

\* Tennenbacherstrasse 4, DE-79085 Freiburg, E-Mail [barbara.koch@felis.uni-freiburg.de](mailto:barbara.koch@felis.uni-freiburg.de)

Die Fernerkundung wird in der Forstwirtschaft zur Unterstützung von Inventuren schon lange eingesetzt: für nationale und betriebsorientierte Inventuren vorwiegend das Luftbild und für Grossrauminventuren meistens Satellitenaufnahmen mit mittlerer Auflösung. Durch die Verfügbarkeit neuer Technologien ergeben sich heute deutlich erweiterte Möglichkeiten, Fernerkundung im Waldbereich einzusetzen. Die bedeutendste Veränderung hat dabei die Verfügbarkeit von 3-D-Daten in der Fernerkundung gebracht, welche zu einer wesentlich verbesserten Modellierung von Wald und Forstattributen führte. Die neuen 3-D-Fernerkundungsdaten führen zu verlässlicheren Schätzungen der forstlichen Kenngrößen mit Fehlern, die denen der terrestrischen Stichprobeninventur nahekommen oder, in Kombination mit terrestrischen Stichprobenpunkten, den terrestrischen bestandesweisen Inventuren sogar überlegen sind. Ein weiterer wichtiger Bereich ist heute der Einsatz der Fernerkundung für die Regionalisierung der terrestrischen Inventur. In vorliegendem Beitrag werden die neuesten Ferner-

kundungstechnologien vorgestellt und ihre Anwendungsmöglichkeiten im grossräumigen und kleinräumigen Einsatz im Wald aufgezeigt.

### Grossräumiger Einsatz

#### Praxiserprobte Verfahren

Der grossräumige Einsatz von Fernerkundungstechnologien im Forstbereich basiert in erster Linie auf satellitengestützten Systemen. In der praktischen Anwendung finden bis heute fast ausschliesslich optische Systeme Anwendung. Neben der Nutzung von Satellitenbildern für nationale Waldinventuren werden diese heute vor allem für die globale Erfassung von Waldflächen und Waldzustandsveränderungen genutzt.

Der Einsatz von Satellitendaten für Nationalinventuren spielt ausserhalb Europas eine wichtige Rolle. So hatten im Jahr 2002 (Saket 2002) nur 9% aller an der globalen Waldinventur der Welternährungsorganisation (FAO) beteiligten Nationen eine

systematische, auf terrestrischen Stichprobenaufnahmen beruhende Nationalinventur. Für viele Länder sind satellitengegründete Daten die einzigen Informationsquellen für ihre Nationalinventuren, falls überhaupt in regelmässigen Abständen eine Nationalinventur durchgeführt wird. Die Sammlung nationaler Daten zum Wald im Rahmen des «Global Forest Resources Assessment» (FRA; FAO 2010) hat darüber hinaus gezeigt, dass trotz allen Standardisierungsversuchen seitens der FAO noch immer grosse Qualitätsunterschiede bei den gemeldeten Daten vorliegen. Dies ist auf die unterschiedlichen technischen und finanziellen Möglichkeiten sowie Traditionen in den einzelnen Ländern zurückzuführen. Die Statistiken, die von den einzelnen Ländern geliefert werden, sind daher nur schwer vergleichbar.

wenigen Ausnahmen ist die finnische Nationalinventur. Diese nutzt optische Satellitendaten (Landsat TM) als eine Informationsquelle im Rahmen einer Mehrquelleninventur. Zusammen mit weiteren räumlichen Daten werden Satellitendaten zunächst für die Erstellung einer Waldmaske verwendet. In einem nächsten Schritt werden dann die forstlichen Kennwerte aus terrestrischen Stichproben mithilfe von Regressionsansätzen zwischen den Satellitendaten über Stichprobenpunkte mit bekannten forstlichen Kennwerten und Satellitendaten über Flächen ohne Bodeninformation auf die Flächen ohne Bodeninformation übertragen (sog. kNN-Verfahren; Tomppo 2000). Dieser Ansatz wird in der Fachsprache als Regionalisierung bezeichnet. Gerade die Nutzung von Satellitendaten für die Regionalisierung ist zukunftsweisend und wird wohl für National- als auch Regionalinventuren an Bedeutung gewinnen. Insbesondere in Verbindung mit einer vorhergehenden Stratifizierung ist mit einem Informationsgewinn zu rechnen (Dees et al 1998).

Auflösung		Satellit (Beispiele)
Sehr hoch	1–10 m	Rapideye, SPOT 5
Hoch	10–30 m	Landsat 5, Landsat 7, Landsat TM/ETM, SPOT 5, IRS
Mittel	500–1000 m	Modis, Meris
Niedrig	1 km	AVHRR

Tab 1 Definition der Auflösung von optischen Satellitendaten.

Im Jahr 2010 hat die FAO deshalb erstmals die nationalen Berichte durch eine globale Fernerkundungsinitiative ergänzt. Ziel ist es in diesem Zusammenhang, nicht nur den Istzustand, sondern auch die Veränderungen seit 1990 (Gerrand et al 2009<sup>1</sup>, Ridder 2007) zu erfassen. Für diese globale, fernerkundungsbasierte Inventur wird zunächst auf der Basis von Satellitenbildern (z.B. Modis) mit mittlerer Auflösung (0.5 bis 1 km) eine Wald/Nichtwald-Maske erstellt, und dann werden basierend auf einem globalen Raster an den Kreuzungspunkten von Längen- und Breitengraden Stichproben von 10×10 km Grösse mit hochaufgelösten Landsat-5- und Landsat-7-Satellitendaten (30 m) genommen (Tabelle 1). Dort, wo aufgrund permanenter Bewölkung Lücken entstehen, werden diese über die Auswertung von TerraSAR-X-Radardaten geschlossen. Der Einsatz von Radardaten wird allerdings noch als experimenteller Ansatz gesehen. Die Auswertung nach Landbedeckungsklassen erfolgt über die visuelle Interpretation der Satellitenbilder. Damit nutzt die FAO die optische Fernerkundung in ähnlicher Weise, wie sie auch in manchen nationalen Waldinventuren verwendet wird, nämlich zur Feststellung der Waldfläche und der Waldflächenveränderung. Die Ableitung forstlicher Kenngrössen erfolgt nicht. Dieser Ansatz der FAO spiegelt in etwa den praktischen Einsatz der Fernerkundung für forstliche Grossrauminventuren wider. Informationen aus Satellitendaten, welche über die Erfassung der Waldfläche hinausgehen, werden bei grossräumigen Inventuren bis heute nur selten genutzt. Eine der

### Neue Entwicklungen

Ein weiteres wichtiges Thema, das den grossflächigen Einsatz von Fernerkundung für forstliche Anwendungen vorantreibt, ist die Initiative zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch Entwaldung und Degradation in Entwicklungsländern (REDD). Es herrscht allgemeine Übereinstimmung, dass die im Rahmen der REDD-Initiative notwendige Schätzung der globalen Waldflächenveränderung und Walddegradation nur mithilfe der Fernerkundung möglich sein wird. Zurzeit laufen mehrere internationale Projekte, um ein anerkanntes und von den Ländern zertifiziertes Verfahren zu entwickeln. Erste Gedanken, wie die Satellitenfernerkundung eingesetzt werden kann, sind im Sourcebook von GOF-C-Gold (2009) beschrieben. Es wird vorgeschlagen, die Veränderungen auf der Basis von mittel- und hochaufgelösten optischen Satellitendaten (z.B. Landsat TM/ETM, SPOT 5 oder IRS) zu kartieren, weil im Rahmen der REDD-Initiative neben der Waldflächenveränderung auch die Degradation des Waldes erhoben werden muss, mit mittleren Auflösungen von mehreren 100 m aber nur Flächenveränderungen, nicht jedoch Degradationen erfasst werden können. Die Kartierung der Degradation mit hochaufgelösten Satellitendaten kann nicht flächendeckend durchgeführt werden, sondern muss auf der Basis von Stichproben erfolgen. Der Waldzustand muss daher im Rahmen der REDD-Initiative auf der Basis eines kombinierten Systems von flächendeckenden Aufnahmen für die Waldfläche und Stich-

1 GERRAND AM ET AL (2009) The 2010 global forest resources assessment remote sensing survey. In: Proc 33<sup>rd</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), 4–8 May 2009, Stresa, Italy, pp. 1–4.



**Abb 1** Farbcodierte TerraSAR-(Radar-)Aufnahme nördlich von München (DLR). Aufnahmedaten: 26. Juni und 7. Juli 2007, jeweils 5:26 UTC, Originalauflösung: 3 m (Bild Darstellung reduziert), Modus: Stripmap Mode, Polarisation: VV und HH.

proben zur Ermittlung der Degradation erfasst werden. Ein wichtiges internationales Projekt in diesem Zusammenhang ist das TREES-Projekt am Joint Research Center.<sup>2</sup> Bei diesem Projekt werden Veränderungen in der Waldbedeckung und im Zustand auf globaler und regionaler Ebene für den tropischen Bereich unter Nutzung von Stichproben aus mittel- und hochaufgelösten Satellitendaten erfasst. Im Rahmen des Projektes wurden eine Vielzahl von Satellitendaten und automatisierte Auswertungsverfahren getestet. Das Projekt läuft im Rahmen des europäischen «Global Environment Monitoring»(GEM)-Programms<sup>3</sup> und wird in enger Zusammenarbeit mit dem Fernerkundungsansatz der FAO durchgeführt. Die schon vorliegenden Ergebnisse sind im «Sourcebook» berücksichtigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Fernerkundung für grossräumige Waldinventuren und -flächenüberwachungen noch erheblich an Bedeutung gewinnen wird, da nur mit ihrer Hilfe eine standardisierte globale Erfassung mit der im Rahmen internationaler Vereinbarungen wie REDD-plus<sup>4</sup> geforderten Transparenz und Nachprüfbarkeit möglich ist. Hierfür haben optische Satellitendaten ihre Praktikabilität bewiesen, die Forschung wird

sich deshalb in Zukunft stark auf das Aufnahmedesign, den Einsatz von Radardaten (Abbildung 1) in bewölkten Gebieten und auf die automatisierte Auswertung konzentrieren.

#### Satellitengetragene Radardaten

Anhand von Radardaten lassen sich in vielen Gebieten Waldflächen recht gut von Nichtwaldflächen unterscheiden, womit sich die Waldflächenveränderung kartieren lässt.<sup>5</sup> Radardaten werden trotzdem in nächster Zeit nur ausnahmsweise eingesetzt, da die Datenbearbeitung sehr komplex ist und bei stark bewegtem Gelände grosse Probleme hinsichtlich der Radiometrie und Geometrie auftreten. Insbesondere können in stark bewegtem Gelände grossflächige Verschattungen entstehen, die nicht korrigierbar sind. Des Weiteren treten aufgrund der unterschiedlichen Exposition der Geländeoberfläche zum einfallenden Radarstrahl grosse Unterschiede in der Rückstreuintensität auf, die nur unbefriedigend korrigiert werden können. Trotzdem ist Radar aufgrund der relativen Wetterunabhängigkeit oft die einzige Möglichkeit, Informationen über die Waldflächenveränderung und den Waldzustand zu erhalten. Neue Systeme, die sehr hohe Auflösungen bieten und sowohl polarimetrische als auch interferometrische (z.B. TanDEM-X) Auswertungen in Bezug auf den Wald erlauben, sind zwar noch ausschliesslich Gegenstand der Forschung, werden aber wohl zu deutlich verbesserten Möglichkeiten bei der Ableitung forstlicher Information führen.

Des Weiteren sind im Hinblick auf die Bewertung der Degradation auch sehr hochaufgelöste Satellitendaten (im Meterbereich) und hyperspekt-

2 <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/TREES> (27. 07. 2010)

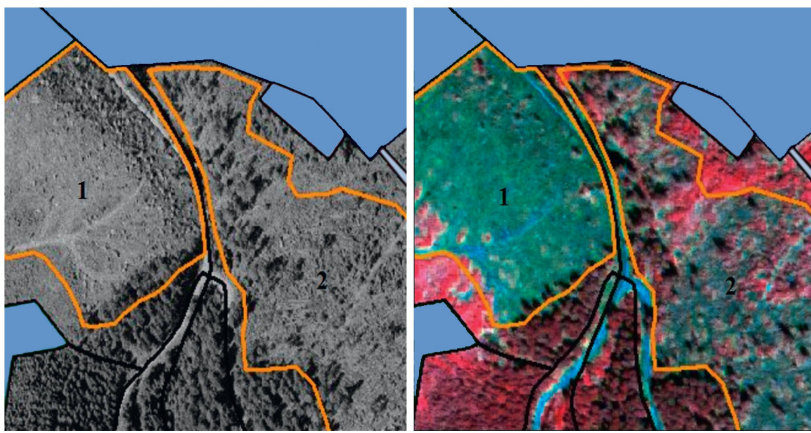
3 <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/> (8.2.2011)

4 The Copenhagen Accord. [http://unfccc.int/files/meetings/cop\\_15/application/pdf/cop15\\_cph\\_auv.pdf](http://unfccc.int/files/meetings/cop_15/application/pdf/cop15_cph_auv.pdf) (29.7. 2010)

5 HÄME T, RAUSTE Y, SIRRO L, STACH N (2009) Forest cover mapping in French Guiana since 1992 using satellite radar imagery. In: Proc 33<sup>rd</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE), May 4–8, 2009, Stresa, Italy.



**Abb 2** Digitale Luftbildaufnahme (swissimage Level 2, ADS40, 25 cm, SH; links) und analoges Luftbild (swissimage Level 1, RC30, 50 cm, SH; rechts). swissimage © 2011 swisstopo (BA 110136)



**Abb 3** Aufgearbeitete (1) und nicht aufgearbeitete (2) Sturmflächen, dargestellt auf einem Luftbild (links) und einem Ikonos-Satellitenbild (rechts). Nichtstaatswaldflächen, Nichtwaldflächen oder Bestände jünger als 30 Jahre sind ausmaskiert (Ramminger 2000, modifiziert).

rale Satellitendaten ein wichtiges Forschungsgebiet. Mit sehr hochaufgelösten optischen Satellitendaten kann auf der Basis von Stichproben die Degradation des Waldes zumindest visuell recht gut angesprochen werden. Die Hyperspektraldaten zeigen grosses Potenzial, um unterschiedliche Waldtypen auch automatisiert besser trennen zu können (Buddenbaum et al 2005, Dudeni et al 2009).

#### Luftbilder

Die Nutzung von Luftbildern im Rahmen nationaler Inventuren ist in vielen Fällen eine Standardanwendung, um eine Wald/Nichtwald-Entscheidung vorzunehmen. Bisher basieren die meisten Anwendungen noch auf der Interpretation von digitalisierten Luftbildern. Innovative Entwicklungen zeichnen sich jedoch durch den Einsatz von digitalen Luftbildern ab. Diese Bilder, die mit neuartigen digitalen Luftbildkamern aufgenommen werden, verfügen über eine deutlich verbesserte radiometrische Bildqualität und erlauben eine flexiblere Kombination verschiedener scharf getrennter spektraler Bereiche (Abbildung 2). Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von digitalen Luftbildern wird sich wohl die Anwendung im Rahmen nationaler Inventuren intensivieren.

### Neue Fernerkundungstechnologien für lokale Anwendungen

#### Hochaufgelöste Satellitendaten

Wenn man von lokalen forstlichen Anwendungen spricht, so sind vor allem Inventuren auf der Ebene der Betriebe oder darunter gemeint. Hier gibt es im Bereich der Fernerkundung zwei wesentliche Entwicklungen. Diese betreffen den Laser- und den digitalen Luftbildbereich. Sehr hochaufgelöste Satellitendaten, die im Meterbereich arbeiten, spielen in Europa aufgrund ihrer eingeschränkten Verfügbar-

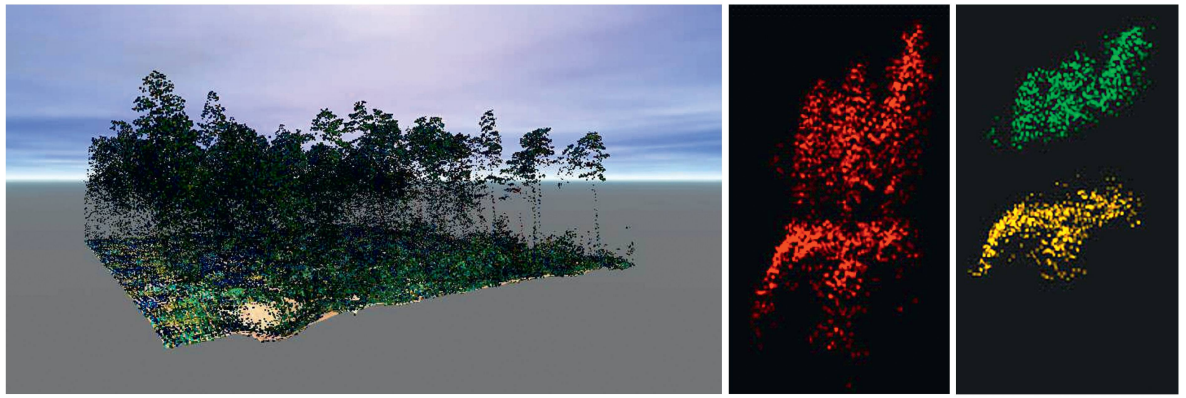
keit und wegen der relativ hohen Kosten nur eine geringe Rolle. In vielen Ländern ausserhalb Europas sind aufgrund der grossen Probleme bei den Fluggenehmigungen aber sehr hochaufgelöste Satellitendaten auch auf Betriebsebene von grossem Interesse. Innerhalb Europas werden sehr hochaufgelöste Satellitendaten vielfach für Sonderanwendungen, wie bei plötzlich auftretenden Kalamitäten, eingesetzt. So zeigte sich nach den heftigen Sturmereignissen in den 1990er-Jahren, dass mithilfe sehr hochaufgelöster Satellitendaten eine ähnlich gute automatische Erfassung von Sturmflächen über 1 ha möglich war wie mit mittel- und kleinmasstäbigen Luftbildern. Sowohl die visuelle Interpretation als auch die automatische Segmentierung der Flächen erbrachten Genauigkeiten zwischen 90% und 100% bei Windwurfflächen (Abbildung 3).<sup>6</sup> Vorteile des Einsatzes von Satellitendaten bei Kalamitäten sind der geringere logistische Aufwand und die in der Regel deutlich schnellere grossflächige Verfügbarkeit von geeigneten Daten.

Für forstliche Inventuren auf Betriebsebene zeigen sehr hochaufgelöste Satellitendaten allerdings keinen Vorteil. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass für Befliegungen im Raum der europäischen Union relativ leicht Genehmigungen zu erhalten sind und eine entsprechende Infrastruktur von Befliegungsfirmen zur Verfügung steht. Auch zeigt sich für sehr hochaufgelöste Satellitendaten bisher kein Kostenvorteil verglichen mit Befliegungen, und es ist relativ schwierig, wolkenfreie Szenen in einem engen Zeitfenster zu erhalten. Der Vorteil einer besseren spektralen Auflösung und der direkten Verfügbarkeit von digitalen Daten besteht mit der Einführung digitaler Luftbildkamern auf dem Markt nicht mehr. Nur multi- oder hyperspektrale Satellitensysteme liefern noch den Vorteil der besseren spektralen Auflösung, der aber durch eine geringere räumliche Auflösung, die heute zwischen 10 und 30 m liegt, erkauft wird. Da darüber hinaus die Verfügbarkeit von räumlich wie spektral sehr hochaufgelösten Satellitendaten zumindest in den nächsten Jahren nicht gesichert ist respektive die Daten noch sehr teuer sind, werden diese für forstliche Inventuren auf betrieblicher oder lokaler Ebene in gut zugänglichen Waldgebieten in der Praxis nur eine geringe Rolle spielen.

#### Digitales Luftbild

Wie Untersuchungen von Holopainen et al (2010) zeigen, sind es vor allem Fehler bei der Inventur, die sich deutlich auf die Schätzung der Sortimente auswirken. Eine möglichst genaue und flächendeckende Inventur ist daher von grosser öko-

<sup>6</sup> RAMMINGER G ET AL (2004) Konzepte für die Erfassung von Sturmschäden mit Fernerkundung und für die GIS-basierte Risikoanalyse. Freiburg i. Br.: Univ Freiburg, Abteilung Fernerkundung Landschaftsinformationssysteme. Interner Bericht.



**Abb 4** Ausschnitt einer Laserscannerbefliegung mit Light Mapper 5600 im Waldgebiet Karlsruhe (Blickwinkel  $\pm 30^\circ$ , 16 bis 22 Punkte pro Quadratmeter; links) und Punktwolke eines vertikal geschichteten Bestandes (rot) mit anschliessender automatischer Klassifizierung der Schichten (gelb: Unterschicht, grün: Oberschicht; Wang et al 2008; rechts).

nomischer Bedeutung. Im Hinblick auf eine qualitativ hochwertige, aktuelle und kostengünstige Inventur kann angenommen werden, dass vor allem digitale Luftbilder im europäischen Raum in den nächsten Jahren zur Unterstützung der terrestrischen Inventuren an Bedeutung gewinnen. Eine relativ gross angelegte Untersuchung zur Eignung von digitalen Luftbildern (DMC und Ultra-Cam-D) zur Ableitung forstlicher Kenngrössen auf Betriebsebene wurde von der forstlichen Versuchsanstalt in Sachsen durchgeführt (Hoffmann 2008). Die Studie zeigt, dass digitale Farbinfrarotluftbilder für die Auswertung von Waldzustandsparametern geeignet sind. Sehr gut konnten über visuelle Interpretation und automatische Auswertung die Hauptbaumarten, Lücken, Schäden und die Kronendachdiversität erfasst werden. Die Trennung nach Wuchsklassen war in 50% der Fälle möglich. Probleme entstanden bei Nebenbaumarten, der Schichtung und in verschatteten Bereichen. Waser et al (2008a, 2010) machten vergleichbare Untersuchungen am digitalen Luftbildmaterial der ADS40-Kamera. Sie generierten ein Vegetationshöhenmodell, indem sie ein digitales Geländemodell (DGM) aus flugzeuggetragenen Laserscannerdaten von einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) aus ADS40-Stereo-Luftbildern subtrahierten. Unter Nutzung dieser Höheninformation in Kombination mit der spektralen Bildinformation bestätigen auch sie, dass selbst unter schwierigen Geländebeziehungen die Hauptbaumarten mit grosser Sicherheit im Rahmen eines halbautomatischen Ansatzes bestimmt werden können. Die Grenzen sehen sie in der Bestimmung von Nebenbaumarten und in verschatteten Bereichen. Zur Erfassung der Vertikalstrukturen innerhalb des Bestandes machten sie keine Aussage. Aus den Untersuchungen wird deutlich, dass digitale Luftbilder hohes Potenzial für die Ableitung forstlicher Kenngrössen haben. Insbesondere die von Waser et al (2008b) beschriebene Oberflächenmodellierung aus digitalen Luftbildern erlaubt es bei gleichzeitiger Verfügbarkeit eines guten Geländemodells, Höhen abzugrei-

fen und diese für eine bessere Baumartenbestimmung, aber auch als Eingangsgrösse für die Schätzung wichtiger forstlicher Kenngrössen wie Brusthöhen, Durchmesser oder Holzvolumen zu nutzen.

#### Flugzeuggetragene Laserscannerdaten

Neben den digitalen Luftbildern haben für lokale Anwendungen vor allem flugzeuggetragene Laserscannerdaten (ALS, auch Lidar genannt) grosses Interesse für forstliche Anwendungen hervorgerufen. Die Nutzung solcher Daten ist die wohl grösste Innovation in der forstlichen Fernerkundung im letzten Jahrzehnt. Während zu Beginn ALS-Daten noch kaum für forstliche Anwendungen wahrgenommen wurden, sind sie heute im Zentrum der Forschung zur forstlichen Fernerkundung. Das enorme Potenzial steckt vor allem in der Möglichkeit, aus den Punktdaten die Waldoberfläche und den Boden hochgenau zu modellieren, aber auch vertikale Strukturen innerhalb des Waldes zu erfassen. So können Aussagen zur Waldschichtung (Abbildung 4) und Verjüngungssituation getroffen, aber auch Einzelkronen dargestellt und modelliert werden. Im Gegensatz zum Luftbild gibt es kaum verschattete Bereiche.

Allein aus der Geometrie der Punktwolken der ALS-Daten können schon eine Vielzahl forstlich relevanter Informationen mit hoher Genauigkeit abgeleitet werden. So ist es möglich, die Waldfläche weitgehend automatisiert und präzise zu erfassen (Straub et al 2008; Abbildung 5). Dies bedeutet einen enormen Zeitgewinn und damit Kostenvorteil im Vergleich zu terrestrischen Aufnahmen oder Luftbildinterpretationen.

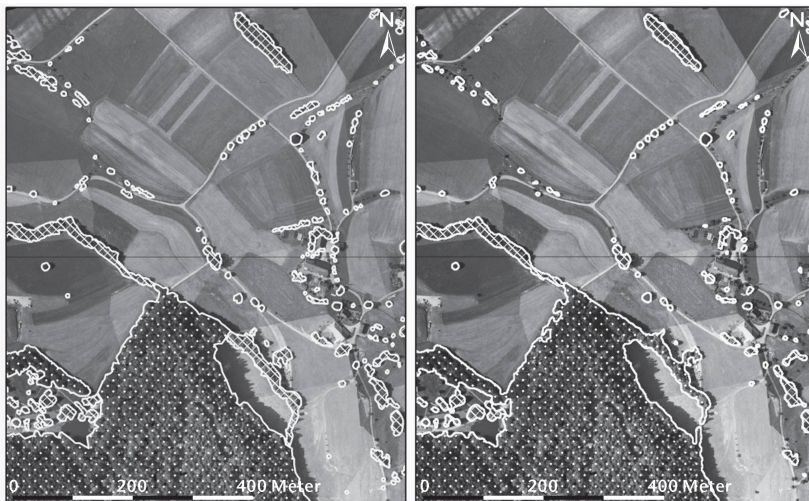
Des Weiteren können homogene Bestandesbereiche automatisch gegeneinander abgegrenzt werden, da sowohl die Höhe, die Schichtigkeit, die Lückigkeit und die Laub-/Nadelwaldanteile hochgenau aus den ALS-Daten ableitbar sind (Koch et al 2009a). Bei entsprechend hoher Punktdichte der ALS-Daten ist in älteren Beständen auch die Erfassung und Modellierung von Einzelbäumen möglich

(Koch et al 2009b). Mithilfe von Regressionsverfahren können so das Holzvolumen oder die Biomasse auf der Fläche oder für den Einzelbaum bestimmt werden (Straub et al 2009, Straub 2010, Latifi et al 2010). Wie Latifi et al (2010) zeigen, sind auf Basis der aus ALS-Daten ableitbaren Metriken sehr gute Schätzungen für Holzvolumen und Biomasse (RMSE 22–24%) möglich. Holopainen et al (2010) beschreiben bei ihren Untersuchungen an Kiefer, Fichte und Birke in skandinavischen Wäldern sogar eine höhere Genauigkeit für die Schätzung des Holzvolumens aus ALS-Daten verglichen mit bestandesweisen terrestrischen Inventuren. Über das hochgenaue Gelände-Modell, welches mithilfe von ALS-Daten gleichzeitig zum Oberflächenmodell erstellt werden kann, ist es möglich, Forststrassen unter Wald zu erkennen und teilautomatisiert Wege zu erfassen. Auch für viele naturschutzfachliche Aufgaben sind die ALS-Daten nutzbar. So können Gewässerläufe, Schluchten, Gräben oder Rinnen unter Wald kartiert wie auch grosse Altbäume und Bestandeslücken erfasst werden (Koch et al 2010).

noch relativ hohen Kosten und die geringen Möglichkeiten bei der Baumartenerkennung entgegen. Allerdings ist die Informationsfülle, die aus ALS-Daten schon heute ableitbar ist, so überzeugend, dass in Teilen Skandinaviens für die Forstinventur die Luftbildbefliegung durch die Laserbefliegung ersetzt wird. Die Verfügbarkeit neuer Lasertechnologie und Informationsverarbeitungsalgorithmen in Kombination mit fallenden Preisen lassen diese Daten zunehmend für den forstlichen Bereich interessant werden. So gibt es erste Projekte, die mithilfe von aus Laserdaten gewonnenen, differenzierten Bestandes- und Einzelbauminformationen die Anforderungen der Holz verarbeitenden Industrie und das Angebot aus dem Wald besser aufeinander abstimmen wollen und so die Holzprozesskette zu optimieren versuchen.<sup>7,8</sup>

### Verknüpfung von verschiedenen Fernerkundungsdaten

Da die Informationen aus verschiedenen Fernerkundungsdatentypen oft komplementär sind, ist die Verknüpfung von Information aus verschiedenen (multisensoral) Fernerkundungsdaten von grossem Interesse. Gerade die Verknüpfung von optischen Daten und Laserdaten zeigt einen Mehrwert bei der Auswertung von forstlichen Parametern, wie zum Beispiel für die Baumartenerkennung (Holmgren et al 2008, Ørka et al 2009). Dem steht jedoch entgegen, dass Laser- und Luftbilddaten nicht auf einer Plattform geflogen werden können. Da zwei Befliegungen die Inventur wesentlich verteuern, fällt die Entscheidung in der Praxis häufig zugunsten der Luftbildbefliegung. In Kombination mit Laser können zwar optische multispektrale Scannerdaten aufgenommen werden, allerdings haben diese eine geringere räumliche Auflösung und die optimalen Befliegungszeitpunkte für optische multispektrale Daten und Laserdaten weichen voneinander ab. So sollten multispektrale Daten bei voller Belaubung erfasst werden, um die Baumartenerkennung als wesentliche Information aus diesen Daten zu optimieren, während die Modellierung von Forstparametern und des Geländes aus Laserdaten im laubfreien Zustand deutlich besser ist. Daher ist der Einsatz von multisensoralen Daten in der Praxis schwierig. Vorstellbar sind möglicherweise Kombinationen von ALS-Daten und satellitengetragenen optischen Daten. Dies bedarf aber noch weiterer Forschung. Nach jetzigem Stand werden Radardaten und hyperspektrale Daten in den nächsten Jahren auf Betriebsebene oder darunter für die forstliche Praxis kaum Bedeutung haben, sondern wohl mehr Gegenstand der Forschung bleiben.



**Abb 5** Visuelle Interpretation von Waldfläche, Feldgehölzen und Einzelbäumen aus dem Luftbild (links) und automatische Abgrenzung der Objekte aus Laserscannerdaten (rechts).

Die Möglichkeiten, die sich mit dem Einsatz von ALS-Daten für forstliche Anwendungen eröffnet haben, stehen immer noch am Beginn ihrer Erforschung. Neue Lasertechnologien, wie der Full-waveform-Laser oder der Flash-Laser, der Bildprodukte liefern kann, bieten zukünftig Daten, die bisher wenig oder nicht untersucht worden sind. Des Weiteren werden bis zum heutigen Tag vor allem die geometrischen Informationen aus Laserdaten genutzt und damit nur ein Teil der möglichen Gesamtinformation. Es ist also zu erwarten, dass sich mit fortschreitender Forschung das Anwendungspotenzial von Laserdaten nochmals deutlich vergrössert. Trotz der wertvollen forstlichen Information, die heute schon aus ALS-Daten ableitbar ist, stehen dem Einsatz in der forstlichen Praxis die im Vergleich zum Luftbild

<sup>7</sup> [www.matchwood.uni-freiburg.de/kontakt](http://www.matchwood.uni-freiburg.de/kontakt) (27. 7. 2010)

<sup>8</sup> [www.flexwood-eu.org](http://www.flexwood-eu.org) (27. 7. 2010)

## Fazit und Ausblick

Die Satellitenfernerkundung hat sich auf internationaler Ebene als ein wichtiges Instrument für globale und nationale Inventuren durchgesetzt. In vielen Ländern der Erde kann ausschliesslich mithilfe von Satellitendaten ein Überblick zum Waldzustand erstellt werden. Für internationale Vereinbarungen, die den Wald im Hinblick auf Klimaschutz oder auch Biodiversität betreffen, wird die Fernerkundung als das Mittel gesehen, um den Vollzug zu überprüfen. Vorwiegend optische Satellitendaten, aber auch Radardaten, dort wo die optischen Daten nicht einsetzbar sind, werden für diese Aufgaben herangezogen. In Zukunft sind diesbezüglich vor allem weitere Entwicklungen im Aufnahmedesign, in der Kombination von terrestrischen Inventuren und Fernerkundungsaufnahmen und in der Automatisierung der Auswertung notwendig. Neue Entwicklungen sind vor allem noch auf dem Gebiet der hochaufgelösten, polarimetrisch und interferometrisch auswertbaren Radardaten zu erwarten sowie für den Einsatz hyperspektraler Satellitendaten, welche vor allem einen Vorteil bei der Waldtypenfeststellung erkennen lassen. Zukunftsmusik ist die Entwicklung satellitengetragener Lasersysteme zur Erdbeobachtung. Zwar wird an solchen Systemen gearbeitet, aber in den nächsten Jahren werden diese der Praxis nicht zur Verfügung stehen.

Der Einsatz von Fernerkundung auf lokaler Ebene wird in den nächsten Jahren durch die Entwicklungen im digitalen Luftbild- und flugzeuggetragenen Laserscannerbereich gekennzeichnet sein. Die Weiterentwicklung innovativer statistischer Ansätze zur Verknüpfung terrestrischer Aufnahmen mit der Information aus der Fernerkundung wird dabei eine wichtige Rolle spielen. Des Weiteren werden visuelle Interpretationsverfahren zunehmend durch teilautomatische Auswertungen ersetzt werden. Die 3-D-Modellierung und -Visualisierung aus Fernerkundungsdaten wird bei der Ableitung forstlicher Information zunehmend nachgefragt sein. Inwieweit der Einsatz von hochaufgelösten, polarimetrisch und interferometrisch auswertbaren Radardaten an Bedeutung gewinnt, ist für lokale Anwendungen schwer abzuschätzen. In Nordeuropa ist die zunehmende Nutzung von Radardaten aufgrund der Wetterunabhängigkeit bei grossflächigen Schadereignissen im Hinblick auf eine schnelle Kartierung oder für Überwachungsaufgaben vorstellbar. Der Einsatz von sehr hochaufgelösten optischen Satellitendaten, aber auch von hyperspektralen Satellitendaten wird für lokale Anwendungen wohl in absehbarer Zeit auf Fallstudien beschränkt bleiben, da Erstere im Vergleich zu flugzeuggetragenen Daten keine wesentlichen Vorteile bringen und Letztere im Hinblick auf die räumliche Auflösung nicht geeignet sind.

Die Zukunft der forstlichen Fernerkundung wird vor allem auch durch die Verknüpfung von Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen geprägt werden, insbesondere im Hinblick auf die Zusammenführung von terrestrischen und fernerkundungsbasierten Daten. ■

*Eingereicht: 8. September 2010, akzeptiert (mit Review): 8. Februar 2011*

## Literatur

- BUDDENBAUM H, SCHLERF M, HILL J (2005)** Classification of coniferous tree species and age classes using hyperspectral data and geostatistical methods. *Int J Remote Sens* 26: 5453–5465.
- DEES M, KOCH B, PELZ D (1998)** Integrating satellite based forest mapping with Landsat TM in a concept of a large scale forest information system. *Photogramm Fernerkun* 4: 209–220.
- DUDENI N, DEBBA P, CHO M, MATHIEU R (2009)** Spectral band discrimination for species observed from hyperspectral remote sensing. *Proc IEEE Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing (Whispers)*, 26–28 Aug 2009, Grenoble. pp. 1–4. doi: 10.1109/WHISPERS.2009.5289067
- FAO (2010)** Global forest resources assessment 2010. Main report. Rome: Food Agriculture Organization. 378 p.
- GOFC-GOLD (2008)** Reducing greenhouse gas emissions from deforestation and degradation in developing countries: a sourcebook of methods and procedures for monitoring, measuring and reporting. Report version COP13-2. Alberta: GOFC-GOLD Project Office, Natural Resources Canada. 108 p.
- HOFFMANN K (2008)** Erfassung von Waldstruktur- und Waldzustandsparametern aus digitalen Luftbilddaten der sachsenweiten Befliegung 2005. In: Schmidt O, Seitz R, editors. *Der gepixelte Wald – forstliche Fernerkundung vor dem Hintergrund aktueller Entwicklungen in Umwelt und Technik*. Weihenstephan: Zentrum Wald-Forst-Holz, Forstl Forsch.ber Münch 209. pp. 18–29.
- HOLMGREN J, PERSSON Å, SÖDERMAN U (2008)** Species identification of individual trees by combining high resolution LiDAR data with multispectral images. *Int J Remote Sens* 29: 1537–1552.
- HOLOPAINEN M ET AL (2010)** Uncertainty in timber assortment estimates predicted from forest inventory data. *Eur J For Res.* 129: 1131–1142. doi: 10.1007/s10342-010-0401-4
- KOCH B, STRAUB C, DEES M, WANG Y, WEINACKER H (2009A)** Airborne laser data for stand delineation and information extraction. *Int J Remote Sens* 30: 935–963.
- KOCH B, HEINZEL J, GUPTA S, WANG Y, WEINACKER H (2009B)** Extraction of forest parameter from laser data. In: Seyfarth E, editor. *Zukunft mit Tradition*. Münster: Deutsche Gesellschaft Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, Tagungsband 18. pp. 345–355.
- KOCH B, WALENTOWSKI H, DEES M, SEITZ R (2010)** Untersuchung der Nutzungsmöglichkeiten von amtlichen Laserscannerdaten für den Wald-Forst-Bereich – Entwicklung von Methoden für forstliche Inventur- und Monitoringaufgaben im Rahmen der FFH-Kartierung. Göttingen: Arbeitsgemeinschaft Forstliche Standorts- Vegetationskunde, Waldökologie Landschaftsforschung Naturschutz 9: 23–37.
- 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.

- ØRKA HO, NÆSSET E, BOLLANDSÅS OM (2009)** Classifying species of individual trees by intensity and structural features derived from airborne laser scanner data. *Remote Sens Environ* 113: 1163–1174.
- RAMMINGER G (2000)** Visuelle Erfassung von Sturmwurfflächen auf den hochauflösenden Satelliten IRS – 1 C und Ikonos unter Einbeziehung eines forstlichen geografischen Informationssystems. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs-Univ Freiburg, Diplomarbeit. 71 p.
- RIDDER R (2007)** Global forest resources assessment 2010. Options and recommendations for a global remote sensing survey of forests. Rome: Food Agriculture Organization, Working paper 141. 57 p.
- SAKET M (2002)** Forestry and tree information gaps at national level. Luhtala A, Verjo J, editors. Proc FAO Expert Consultation on Global Forest Resources Assessment. Helsinki: Finnish For Res Inst. pp. 122–141.
- STRAUB C (2010)** Erfassung des Energieholzpotentials und seiner Verfügbarkeit im Wald und im Offenland mit neuen Fernerkundungstechniken. Freiburg i.Br.: Albert-Ludwigs-Univ Freiburg, Dissertation. 165 p.
- STRAUB C, WEINACKER H, KOCH B (2008)** A fully automated procedure for delineation and classification of forest and non-forest vegetation based on full waveform laser scanner data. Proc ISPRS Conf 2008, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing. pp. 1013–1020. [www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8\\_pdf/11\\_WG-VIII-11/02.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/8_pdf/11_WG-VIII-11/02.pdf) (12.2.2011)
- STRAUB C, WEINACKER H, KOCH B (2009)** A comparison of different methods for forest resource estimation using information from airborne laserscanning and CIR orthophotos. *Eur J For Res* 129: 1069–1080.
- TOMPPA E (2000)** National forest inventory of Finland and its role estimating the carbon balance of forests. *Biotechnol Agron Soc Environ* 4: 281–284.
- WANG Y, WEINACKER H, KOCH B (2008)** A Lidar point cloud based procedure for vertical canopy structure analysis and 3D single tree modelling in forest. *Sensors* 8: 3938–3951. doi: 10.3390/s8063938
- WASER LT, GINZLER C, KUECHLER M, BALTSAVIAS E (2008A)** Potential and limits of extraction of forest attributes by fusion of medium point density LiDAR data with ADS40 and RC30 images. Proc SilviLaser 2008, LiDAR applications in forest assessment and inventory, 18–19 Sep 2008, Edinburgh. pp. 625–634. [http://geography.swan.ac.uk/silvilaser/SilviLaser\\_2008\\_Proceedings.pdf](http://geography.swan.ac.uk/silvilaser/SilviLaser_2008_Proceedings.pdf) (11.2.2011)
- WASER LT ET AL (2008B)** High-resolution digital surface models (DSM) for modelling fractional shrub/tree cover in a mire environment. *Int J Remote Sens* 29: 1261–1276.
- WASER LT, GINZLER C, KUECHLER M, BALTSAVIAS E, HURNI L (2010)** Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sens Environ* 115: 76–85.

## Stand und Perspektiven der Nutzung neuer Fernerkundungstechnologien im Waldbereich

Die Fernerkundung wird in der Forstwirtschaft zur Unterstützung von Inventuren schon lange eingesetzt: für nationale und betriebsorientierte Inventuren vorwiegend das Luftbild und für Grossrauminventuren meistens Satellitenaufnahmen mit mittlerer Auflösung. Durch die Verfügbarkeit neuer Technologien ergeben sich heute deutlich erweiterte Möglichkeiten, Fernerkundung im Forstbereich einzusetzen. Die deutlichste Veränderung hat dabei die Verfügbarkeit von 3-D-Daten in der Fernerkundung gebracht, welche zu einer wesentlich verbesserten Modellierung von Wald und Forstattributen führte. Im Beitrag werden die neuesten Fernerkundungstechnologien besprochen, so die satellitengetragenen Systeme, wie sie grossräumig zur Erfassung der Waldflächenveränderung und der Degradation für das globale Waldressourcenassessment der Welternährungsorganisation verwendet oder im Zusammenhang mit der REDD-Initiative geprüft werden. Daneben werden auch kleinräumige Anwendungen vorgestellt, die auf flugzeuggetragenen optischen oder Lasersystemen basieren. Der Beitrag schliesst mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen. Es wird erwartet, dass die Zukunft der forstlichen Fernerkundung vor allem durch die Verknüpfung von Informationen aus unterschiedlichen Datenquellen geprägt sein wird, beispielsweise von terrestrischen und fernerkundungsbasierten Daten.

## Nouvelles technologies de télédétection dans le secteur forestier: état actuel et perspectives

Dans le secteur forestier, la télédétection est utilisée depuis longtemps dans le cadre des inventaires: les photos aériennes pour les inventaires nationaux ou au niveau de l'entreprise, et les images satellites à résolution moyenne pour les inventaires à grande échelle. Les nouvelles technologies offrent aujourd'hui une plus grande palette d'utilisation de la télédétection dans la branche forestière. Le changement le plus marquant est la disponibilité de données en trois dimensions, qui permettent une bien meilleure modélisation de la forêt et des paramètres forestiers. Le présent article fait le point sur les plus récentes technologies de la télédétection, comme, par exemple, les systèmes satellites utilisés à grande échelle pour enregistrer l'évolution des surfaces forestières ou la dégradation dans le cadre de l'examen des ressources forestières par l'Organisation mondiale de l'alimentation, ou par les initiatives REDD. Des applications, prévues pour de plus petites échelles, basant sur des systèmes optiques aéroportés ou laser sont également présentées. L'article se termine sur les perspectives des développements futurs. A l'avenir, la télédétection forestière devrait être marquée tout particulièrement par l'intégration d'informations de diverses sources, telles que les données terrestres et les données de télédétection.